

## **INFORME TÉCNICO**

### **ESTUDIO DE LA VENTILACIÓN A TRAVÉS DE PATIOS EN EDIFICACIÓN.**

**Peticionario:**

**DEMARCACIÓN DE TENERIFE, GOMERA, HIERRO DEL  
COLEGIO OFICIAL DE ARQUITECTOS DE CANARIAS.  
DEPARTAMENTO CAT**

**Güímar, 27 abril 2007**

## Índice

1. Antecedentes.
2. Objeto.
3. Prestaciones exigidas por el CTE.
4. Información meteorológica: El viento.
5. El problema de la ventilación y conceptos relacionados.
  - a) Ventilación por succión del viento en la coronación del patio.
  - b) Ventilación por ascenso adiabático/isotérmico de la burbuja de aire a mayor temperatura que sus alrededores.
  - c) Efecto combinado de chimenea y viento.
  - d) Mecanismo de convección.
6. Inversión térmica y ausencia de viento.
7. Conclusiones.
8. Anexo: Ejemplo práctico.

### 1. Antecedentes.

Con fecha 13 de abril del presente, el departamento CAT del Colegio Oficial de Arquitectos de Canarias, a través de su Coordinador el Arquitecto Profesor D. Carlos Gigou Fernández, procedió a encargar al Laboratorio COAC el presente estudio, que se redacta sobre bases teóricas fundamentadas en leyes y principios solidamente establecidos y sus aplicaciones a la arquitectura e ingeniería.

### 2. Objeto.

Se trata de investigar en que condiciones los patios de ventilación, en edificación residencial, con luz mínima de 3 metros, pueden ser capaces de cubrir las prestaciones exigidas por el Código Técnico de la Edificación para tales elementos.

### 3. Prestaciones exigidas por el CTE.

El DB HS Salubridad establece cuales son los requisitos de ventilación a través de unos caudales mínimos exigibles que se regulan en la tabla 2.1 y que se reproduce en este informe para diferentes tipos de locales y en función de diferentes criterios ( personas, superficies, etc. )

Tabla 2.1 Caudales de ventilación mínimos exigidos

		Caudal de ventilación mínimo exigido $q_v$ en l/s		
		Por ocupante	Por $m^2$ útil	En función de otros parámetros
Locales	Dormitorios	5		
	Salas de estar y comedores	3		
	Aseos y cuartos de baño			15 por local
	Cocinas		2 <sup>(1)</sup>	50 por local <sup>(2)</sup>
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

<sup>(1)</sup> En las cocinas con sistema de cocción por combustión o dotadas de calderas no estancas este caudal se incrementa en 8 l/s.

<sup>(2)</sup> Este es el caudal correspondiente a la ventilación adicional específica de la cocina (véase el párrafo 3 del apartado 3.1.1).

El documento de referencia se plantea la ventilación como un mecanismo natural, forzado o híbrido, de renovación del aire, que debe funcionar con independencia de

la posición abierta o cerrada de la carpintería. Para ello, se establecen unos huecos fijos de admisión y extracción de aire, cuyas superficies mínimas se regulan en la tabla 4.1 del apartado 4 del documento DB HS que se reproduce a continuación

#### 4.1 Aberturas de ventilación

- 1 El *área efectiva* total de las *aberturas de ventilación* de cada *local* debe ser como mínimo la mayor de las que se obtienen mediante las fórmulas que figuran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 *Área efectiva de las aberturas de ventilación de un local en cm<sup>2</sup>*

<b>Aberturas de ventilación</b>	<b>Aberturas de admisión</b> <sup>(1)</sup>	4·q <sub>v</sub> ó 4·q <sub>va</sub>
	<b>Aberturas de extracción</b>	4·q <sub>v</sub> ó 4·q <sub>ve</sub>
	<b>Aberturas de paso</b>	70 cm <sup>2</sup> ó 8·q <sub>vp</sub>
	<b>Aberturas mixtas</b> <sup>(2)</sup>	8·q <sub>v</sub>

(1) Cuando se trate de una *abertura de admisión* constituida por una *apertura fija*, la dimensión que se obtenga de la tabla no podrá excederse en más de un 10%.

(2) El *área efectiva* total de las *aberturas mixtas* de cada zona opuesta de fachada y de la zona equidistante debe ser como mínimo el área total exigida.

siendo

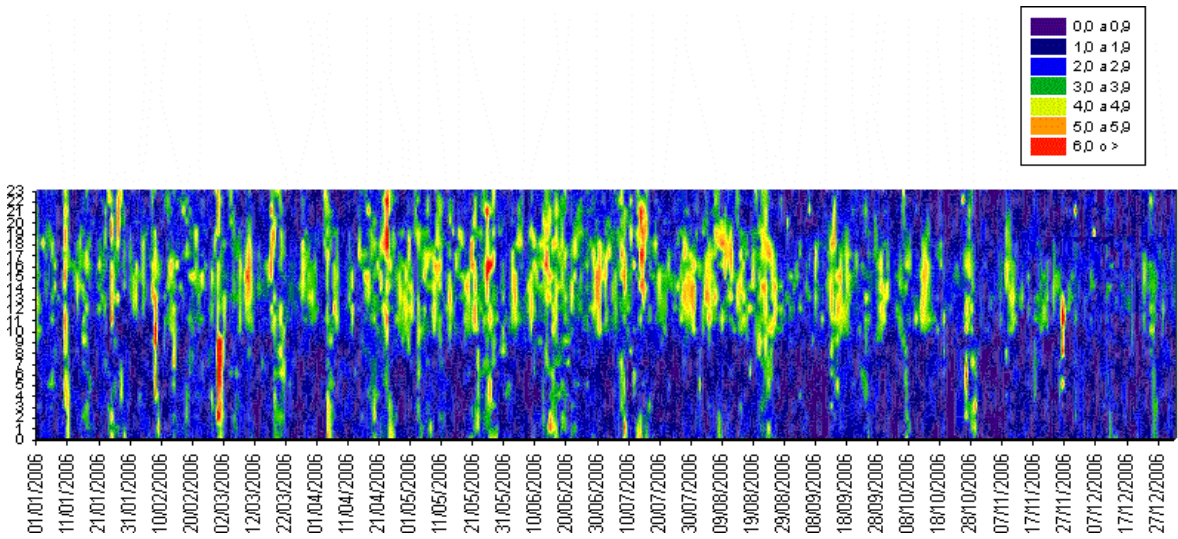
q<sub>v</sub>: *caudal de ventilación* mínimo exigido de el *local* [l/s], obtenido de la tabla 2.1.

q<sub>va</sub>: *caudal de ventilación* correspondiente a cada *abertura de admisión* del local calculado por un procedimiento de equilibrado de caudales de *admisión* y de *extracción* y con una hipótesis de circulación del aire según la distribución de los locales, [l/s].

q<sub>ve</sub>: *caudal de ventilación* correspondiente a cada *abertura de extracción* del local calculado por un procedimiento de equilibrado de caudales de *admisión* y de *extracción* y con una hipótesis de circulación del aire según la distribución de los locales, [l/s].

q<sub>vp</sub>: *caudal de ventilación* correspondiente a cada *abertura de paso* del local calculado por un procedimiento de equilibrado de caudales de *admisión* y de *extracción* y con una hipótesis de circulación del aire según la distribución de los locales, [l/s].

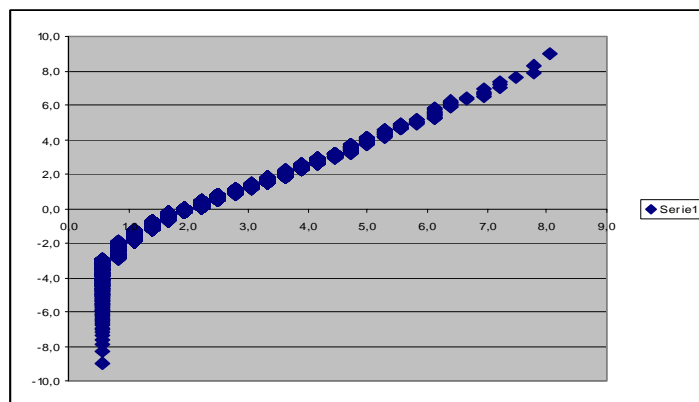
**4. Información meteorológica: El viento.**



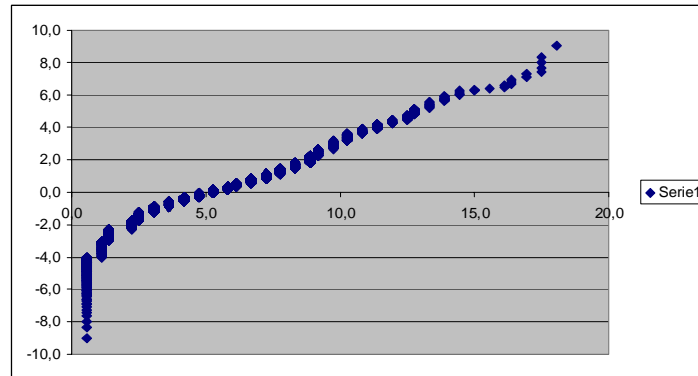
**Fig. 1 Representación en Contorno de los Datos de Velocidad del Viento (Z), las 24 horas del día, los 365 días del año para Santa Cruz**

Se ha solicitado del Instituto Nacional de Meteorología ( INM ) la información relativa a la velocidad del viento, con frecuencia de una hora a lo largo de todo el año 2006, en dos estaciones: Santa Cruz de Tenerife y La Laguna ( Los Rodeos ). La primera, en un entorno mas abrigado, y la segunda en un entorno expuesto. Un total de mas de 16.000 datos han sido analizados entre ambas estaciones, para determinar la distribución por frecuencias, en la zona de bajas velocidades.

La Fig. 1 muestra una representación gráfica de la distribución de velocidades.



**Fig. 2 Distribución acumulada de velocidades en m/s. Santa Cruz**

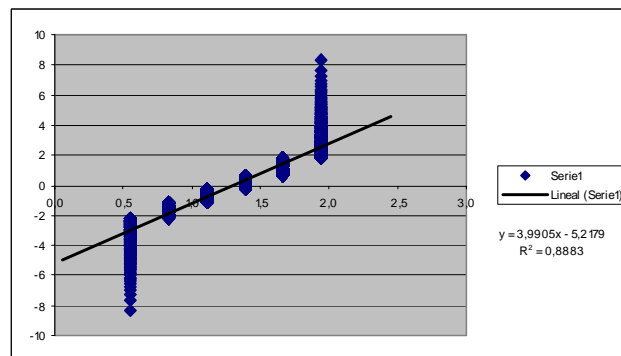


**Fig. 3 Distribución acumulada de velocidades en m/s. Los Rodeos**

Las Fig. 2 y Fig. 3, representan en ordenadas, la función  $\ln\left(\frac{n^<(x)}{N - n^<(x)}\right)$  donde  $N$  es el número total de datos y  $n^<$  el número de orden ascendente del dato considerado. Esta representación permite calcular, por interpolación lineal de un rango de datos, el valor medio y la dispersión de un conjunto de datos para una distribución “logística” del tipo

$$\ln\left(\frac{n^<(x)}{N - n^<(x)}\right) = \frac{x - \mu}{T} \quad (1)$$

donde  $\mu$  representa la media y  $T$  la dispersión. Las figuras arriba indicadas muestran una distribución discontinua de los datos con un cambio significativo por debajo de los 2 m/s. Por ello, seleccionamos, para ambas estaciones el rango de datos por debajo de 2 m/s que se muestra en las Fig. 4 y Fig. 5

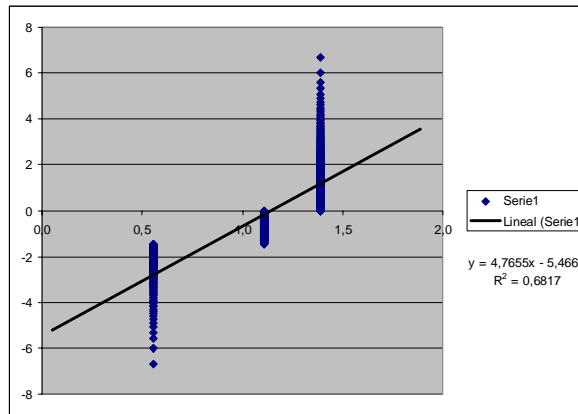


**Fig. 4 Santa Cruz. Ajuste de la distribución.**

Las Tabla 1 y la 2, muestran el resumen de resultados y las probabilidades de excedencia para diferentes velocidades en Santa Cruz de Tenerife y La Laguna.

Santa Cruz Tfe.		Velocidad m/s		Prob. Excedencia	Velocidad
				%	m/s
T	Dispersion	0,25		99	0,25
M	Media	1,31		98	0,39
				95	0,60
				90	0,77

**Tabla 1 Resumen de resultados estadísticos para Santa Cruz.**



**Fig. 5 La Laguna. Ajuste de la distribución.**

Los Rodeos		Velocidad m/s		Prob. Excedencia	Velocidad
				%	m/s
T	Dispersion	0,21		99	0,26
M	Media	1,15		98	0,37
				95	0,55
				90	0,69

**Tabla 2 Resumen de resultados estadísticos para Los Rodeos.**

## 5. El problema de la ventilación y conceptos relacionados.

El tratamiento que sigue puede aplicarse a patios de cualquier luz, donde la altura predomine, o sea comparable a la dimensión característica de la planta, y con las siguientes hipótesis:

- a) Se supone que la temperatura dentro del patio es estacionaria y homogénea sobre las paredes, no considerándose el aporte de radiación solar directa o difusa sobre las mismas.

- b) Se considera que las velocidades del aire son suficientemente pequeñas para el establecimiento de un régimen laminar, sin turbulencias.
- c) El aire se comporta como un fluido incompresible.

Estas hipótesis son ajustadas a la realidad y no suponen desviaciones de los resultados.

Para que funcione la ventilación de locales que comunican a un patio, es necesario que este tenga un buen tiro. Para que esto ocurra de forma pasiva es necesario que la temperatura interior sea al menos ligeramente superior a la temperatura exterior y que el volumen de aire desalojado por la coronación del patio sea repuesto con aire limpio desde el nivel inferior, o que exista cierta brisa en la cubierta para que funcione el arrastre o succión en el patio. Para este tipo de estudios, es habitual considerar el concepto de renovación de aire de un volumen determinado en una hora ( "R" en este trabajo ). En la práctica, una renovación de aire no elimina en su totalidad los contaminantes disueltos o las partículas suspendidas, pero sí los elimina en una buena parte. Por ello, suelen considerarse como valores recomendables en edificación a aquellos comprendidos entre 0,5 y 1,5 renovaciones por hora, dependiendo de la peligrosidad potencial o molestia de la sustancia suspendida. En el caso de la edificación, las emisiones de gases mas habituales con las que nos encontramos son: CO<sub>2</sub> y CO provenientes de la respiración y combustión o combustión incompleta ( garajes ), humos, H<sub>2</sub>O, vapores de cocina y gases procedentes de combustibles licuados ( Metano, Butano y Propano ) o descomposición de materia orgánica ( Fosas sépticas, conductos de evacuación ) y las acumulaciones de Radón de origen geológico, en algunos sótanos o locales poco ventilados. Dependiendo de la naturaleza del riesgo, tiempos de permanencia, aforo y otras consideraciones, el arquitecto deberá considerar además, un coeficiente de seguridad "s" para el número de renovaciones, para el que sugerimos, en ausencia de otras limitaciones  $1 \leq s \leq 2$ .

Conocido el caudal Q de ventilación a través de un volumen V, el número de renovaciones horarias se determina por la expresión

$$R = \frac{Q}{V} \quad (2)$$

y se expresa en unidades *tiempo*<sup>-1</sup>.

Para calcular el número de renovaciones  $R$  que debe producir un patio de volumen  $V$  al que ventilan un conjunto de locales con volúmenes  $V_i$  y renovaciones individuales  $R_i$ , resulta, por igualación de los caudales entrantes y saliente del patio

$$R = \frac{\sum_{i=1..N} R_i V_i}{V} \quad (3)$$

siendo  $N$  el número total de locales Fig. 6, y  $Q = \sum_i q_i$ .

$V$ = Volumen del patio.

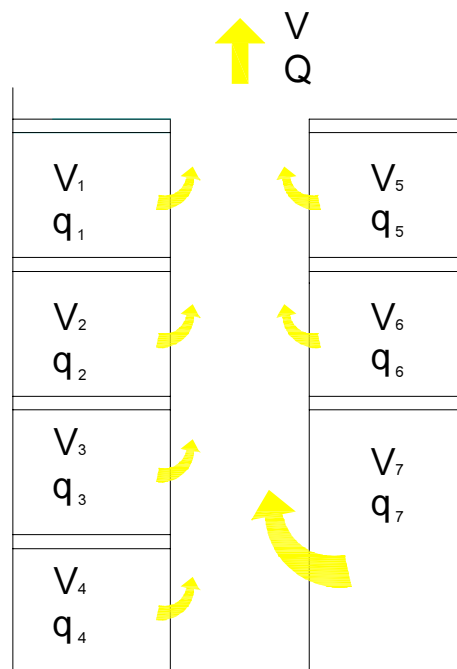


Fig. 6

La verificación de la eficacia de la ventilación a través de un patio consiste en la comprobación de que durante una fracción aceptable del tiempo, las renovaciones de aire exigibles a la suma de los locales, y por tanto al patio “ $R$ ” es inferior a la que se produce por medio natural o forzado y que denominaremos  $R'$  para diferenciarla del anterior, esto es, debe ser

$$R' \geq sR \quad (4)$$

siendo  $s$  el coeficiente de seguridad o nivel de confianza adoptado.

La expresión “*durante una fracción aceptable del tiempo*” la situaremos, para continuar el análisis, en un límite de 15 minutos de interrupción de la ventilación al día, esto es, una probabilidad de fallo de la ventilación de  $1/(24*4)=1\%$  , o un nivel de confianza superior al 99%.

Consideraremos los mecanismos siguientes de extracción de aire del patio:

- a) Ventilación por succión del viento en la coronación del patio.
- b) Ventilación por ascensión adiabática/isoterma de la burbuja de aire a mayor temperatura que sus alrededores.
- c) Mecanismo de Convección.

Las consideraciones técnicas que realizamos a continuación se basan en el teorema de Bernoulli de la mecánica de fluidos, que establece la conservación de la energía a lo largo de cualquier línea de corriente de un fluido incompresible

$$Energía = \frac{P}{\rho} + \frac{1}{2}v^2 + gh \quad (5)$$

con los siguientes significados:

$P$	=	Presión
$\rho$	=	densidad
$v$	=	velocidad
$g$	=	aceleración de la gravedad = $9,81 \text{ ms}^{-2}$
$h$	=	altura

**a) Ventilación por succión del viento en la coronación del patio.**

El mecanismo de succión se produce con el encuentro de dos corrientes de aire: La del viento rasante y la que asciende por el patio. No se trata del efecto Venturi, y no se ha encontrado en la literatura una formula práctica para evaluar el caudal succionado por un viento a una velocidad conocida  $v$ . Así que analizamos este problema desde la perspectiva de la hidrodinámica teórica, mediante un modelo

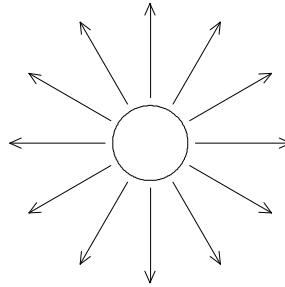
consistente en la suma de una corriente y un manantial. El modelo bidimensional, se considera suficientemente aproximado. La corriente se caracteriza por un caudal de velocidad  $v$ , de izquierda a derecha según el eje  $x$ . El manantial se caracteriza por un flujo radial de magnitud  $m$ , tal que

$$\iint v_r r d\theta = 2\pi m \quad (6)$$

y por tanto, se tiene, para la velocidad radial

$$v_r = \frac{m}{r} \quad (7)$$

siendo el gasto  $m$  constante e independiente de  $r$ . Ver Fig. 7



**Fig. 7 Representación de un manantial de magnitud  $m$ .**

Para un movimiento de tipo irrotacional, el campo de velocidades se describe por medio de dos funciones: Un potencial de velocidad  $\phi$  tal que  $v = -\nabla\phi$  y una función de corriente  $\psi$  que representa el flujo en las direcciones  $x$  e  $y$ . Ambas funciones cumplen

$$\frac{\partial\phi}{\partial x} = \frac{\partial\psi}{\partial y} \quad \frac{\partial\phi}{\partial y} = -\frac{\partial\psi}{\partial x} \quad (8)$$

luego son armónicas, esto es

$$\nabla^2\phi = 0 \quad \nabla^2\psi = 0 \quad (9)$$

La función compleja  $\omega = \phi + i\psi$  se denomina potencial complejo y de él puede derivarse el campo de velocidades mediante

$$|v| = \left| \frac{d\omega}{dz} \right| \quad (10)$$

siendo  $z = x + iy$ .

Para el presente problema el potencial viene dado por

$$\omega = -Uz - m \ln z \quad (11)$$

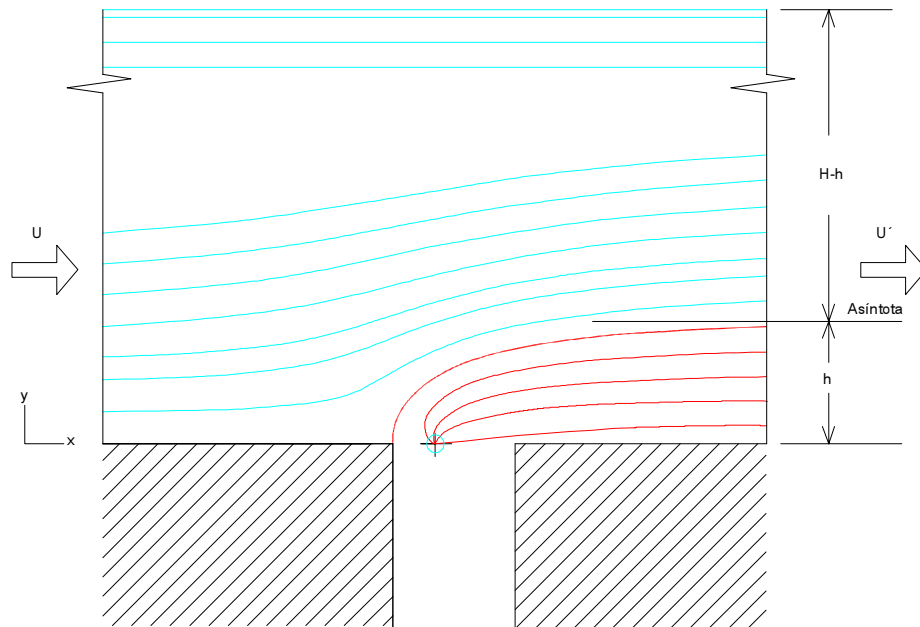
por consiguiente, la magnitud de la velocidad viene dada por

$$|v| = \left| U + \frac{m}{z} \right| \quad (12)$$

y la función de corriente, parte imaginaria de (11), por

$$\psi = -Uy - m \arctan\left(\frac{y}{x}\right) \quad (13)$$

A lo largo de una línea de corriente el valor de  $\psi$  permanece constante, así que dando valores a la función de corriente se obtiene la Fig. 8



**Fig. 8 Distribución de líneas de corriente según (13) para la succión de un patio.**

Existe una línea divisoria  $\psi = 0$ , que separa el flujo succionado ( en rojo ) del flujo rasante ( en azul ), y que corresponde a la expresión

$$x(y) = y \cot\left(\frac{vy}{m}\right) \quad (14)$$

Esta expresión tiene singularidades cuando el argumento es un múltiplo entero de  $\pi$ . Ello da lugar a la asíntota de valor

$$y = h = \frac{\pi m}{U} \quad (15)$$

Las velocidades en la región de succión se obtienen escribiendo (12) en coordenadas polares

$$v(r, \theta) = \left| U + \frac{m}{r} e^{-i\theta} \right| = \sqrt{\left( U + \frac{m}{r} e^{-i\theta} \right) \left( U + \frac{m}{r} e^{i\theta} \right)} \quad (16)$$

$$v(r, \theta) = \sqrt{U^2 + \frac{m^2}{r^2} + \frac{2mU}{r} \cos \theta} \quad (17)$$

de donde, la velocidad sobre el eje x ( $\theta = 0, \theta = \pi$ )

$$v(r, \theta) = U \pm \frac{m}{r} \quad (18)$$

y por tanto, la velocidad en puntos alejados del patio, de las líneas de corriente del flujo succionado, es la misma que la velocidad del viento  $U$ . Esto significa que la velocidad de arrastre es igual a la del viento.

La ecuación de continuidad

$$\nabla(\rho v) + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (19)$$

integrada sobre un volumen como el de la Fig. 8

$$\int \nabla(\rho v) d^3x + \frac{\partial}{\partial t} \int \rho d^3x = \int (\rho v) d^2x + \pi m = \text{Flujo superficies} + \frac{1}{2} \text{manantial} \quad (20)$$

esto es

$$UH + \pi m - Uh - U'(H - h) = 0 \quad (21)$$

y teniendo en cuenta (15) resulta

$$U' = U \left( \frac{H}{H - h} \right) \quad (22)$$

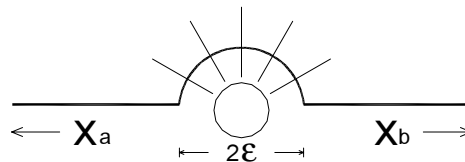
luego la velocidad de las líneas de corriente por encima de la divisoria son mayores que  $U$  y por lo tanto se presentan mas apretadas, mientras que bajo la divisoria, el caudal saliente  $Uh$  ha de ser igual al tiro del patio, luego

$$\pi m = QL = Uh \quad (23)$$

Con arreglo a (18) la divisoria corta al eje  $x$  en el punto de remanso

$$x_a = -\frac{m}{U} \quad (24)$$

El manantial se encuentra en  $x=0$  y supongamos que el otro extremo del patio se encuentra en  $x_b$ . Supongamos que las líneas de flujo se cortan por un plano horizontal ligeramente por encima del manantial y este se rodea por una superficie semicilíndrica para aislar la singularidad, como en la Fig. 9



**Fig. 9 Contorno de integración sobre el manantial.**

La velocidad media de las líneas de corriente justo por encima del patio, y evitando la singularidad de radio  $\varepsilon$  vale

$$\langle v \rangle = \frac{1}{(x_b - x_a)} \left\{ \int_{x_a}^{-\varepsilon} \left( U + \frac{m}{x} \right) dx + \int_{\varepsilon}^{x_b} \left( U + \frac{m}{x} \right) dx \right\} \quad (25)$$

de donde

$$\langle v \rangle = U + \ln \left( \frac{x_b}{|x_a|} \right) \quad (26)$$

luego la velocidad media de las líneas de corriente a la salida del patio es igual a  $U$ , si se elige  $x_b = |x_a|$ . En este caso, y según (23), si es  $Q=U$  ha de ser  $h = L$ .

En otras palabras, el caudal por unidad de longitud succionado del patio por una brisa de velocidad  $U$  vale

$$Q = UL \quad (27)$$

o bien

$$Q = UA \quad (28)$$

con unidades de *volumen/hora* y siendo  $A$  la superficie del patio

La renovación  $R'_v$  viene dada por

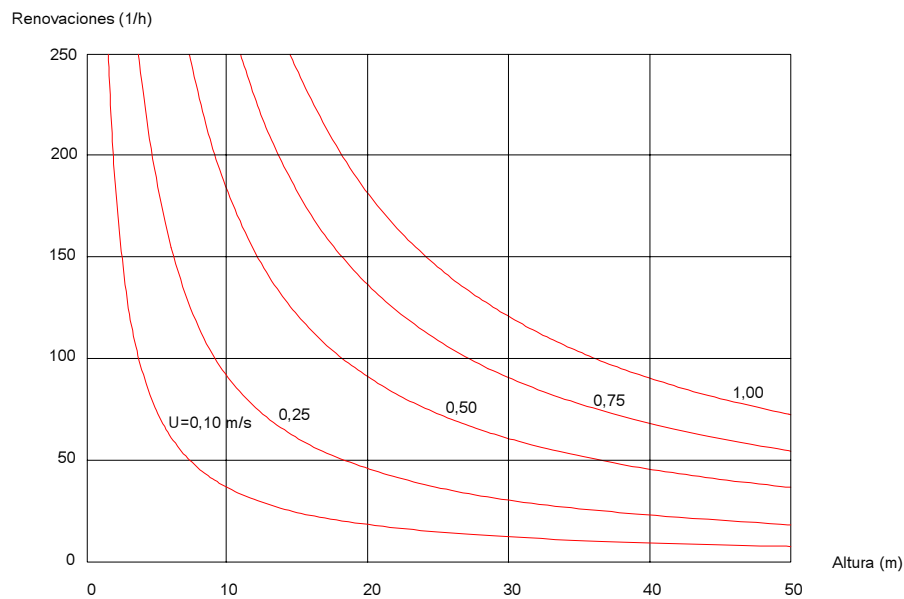
$$R'_v = \frac{U}{H} \quad (29)$$

donde H es la altura total del patio.

En situación de tiro libre, con lo que queremos decir que no hay obstáculo a la entrada de aire en el patio para compensar el volumen de aire saliente, la expresión (29), con una velocidad del viento tan baja como 10 cm/s y una altura de 12 m produce una renovación

$$R'_v = \frac{0,1(3600)}{12} = 30 \text{ h}^{-1}$$

de 30 veces el volumen del patio a la hora. En la Fig. 10, se muestra un ábaco para diferentes velocidades de viento expresadas en  $m/s$



**Fig. 10 Representación de las renovaciones horarias para velocidades del viento de 0.10, 0.25, 0.50, 0.75 y 1 m/s**

**b) Ventilación por ascenso adiabático/isotérmico de la burbuja de aire a mayor temperatura que sus alrededores.**

Consideraremos el caso de ascenso isoterma de una burbuja de aire en el interior del patio a una temperatura interior  $T_i$  superior a la exterior  $T_e$ . Dicha burbuja experimenta, en virtud del principio de Arquímedes, un empuje ascendente dado por el peso del volumen de aire que desaloja, de valor resultante

$$F = (\rho_e - \rho_i) g V_i \quad (30)$$

siendo  $\rho_e$  y  $\rho_i$  las densidades del aire exterior e interior a la burbuja y  $V_i$  el volumen de esta. Con ayuda de la ecuación de los gases perfectos

$$P = \rho \frac{RT}{M_m} \quad (31)$$

siendo  $M_m$  el peso molecular equivalente del aire, la ecuación (30) se convierte en

$$F = \rho g V \left( \frac{T_i - T_e}{T_e} \right) \quad (32)$$

Para un campo de fuerzas conservativo existe un potencial  $\Phi$  tal que

$$F = +\nabla\Phi \quad (33)$$

y por tanto,

$$\Delta\Phi = \int F dh = \rho g V \left( \frac{T_i - T_e}{T_e} \right) \Delta h \quad (34)$$

El cambio en la energía potencial por unidad de volumen es la presión, luego (34) puede escribirse como

$$\frac{\Delta P}{\rho} - g \left( \frac{T_i - T_e}{T_e} \right) \Delta h = 0 \quad (35)$$

ecuación que expresa la conservación de la energía total si se añade a la anterior el término de energía cinética:

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{1}{2} \Delta v^2 - g \left( \frac{T_i - T_e}{T_e} \right) \Delta h = 0 \quad (36)$$

o bien

$$\left(\frac{P}{\rho}\right)_1 + \frac{1}{2}v_1^2 - g\left(\frac{T_i - T_e}{T_e}\right)h_1 = \left(\frac{P}{\rho}\right)_2 + \frac{1}{2}v_2^2 - g\left(\frac{T_i - T_e}{T_e}\right)h_2 = E \quad (37)$$

a lo largo de toda línea de corriente. La expresión (37) concuerda con el teorema de Bernoulli (5) con la excepción del signo atribuido a la energía potencial. Ello es debido a que la fuerza ascendente sobre la burbuja tiene la misma dirección que el gradiente del potencial.

( Todo lo contrario que en el caso del campo gravitatorio donde  $F = -\nabla\Phi$  ).

Considérese ahora una burbuja que asciende desde el punto 1 en la base del patio a altura  $h_1 = 0$  y con velocidad inicial  $v_1 = 0$  hasta el punto 2 en la coronación del patio a altura  $h_2 = H$  y con velocidad  $v_2 = v$ .

La expresión (37) da

$$v = \sqrt{2gH\left(\frac{T_i - T_e}{T_e}\right)} \quad (38)$$

Expresión en la que no se ha tomado en cuenta el rozamiento con las superficies del patio.

Se ha encontrado alguna referencia empírica en que se utiliza una expresión similar a la (38) para el caso de chimeneas:

$$v = C\sqrt{2gH\left(\frac{T_i - T_e}{T_e}\right)} \quad (39)$$

donde al coeficiente C se le atribuye un valor  $0,65 < C < 0,7$  debido al rozamiento.

La fórmula (38) da para el caudal saliente del patio el valor

$$Q = A\sqrt{2gH\left(\frac{T_i - T_e}{T_e}\right)} \quad (40)$$

Y para la renovación,

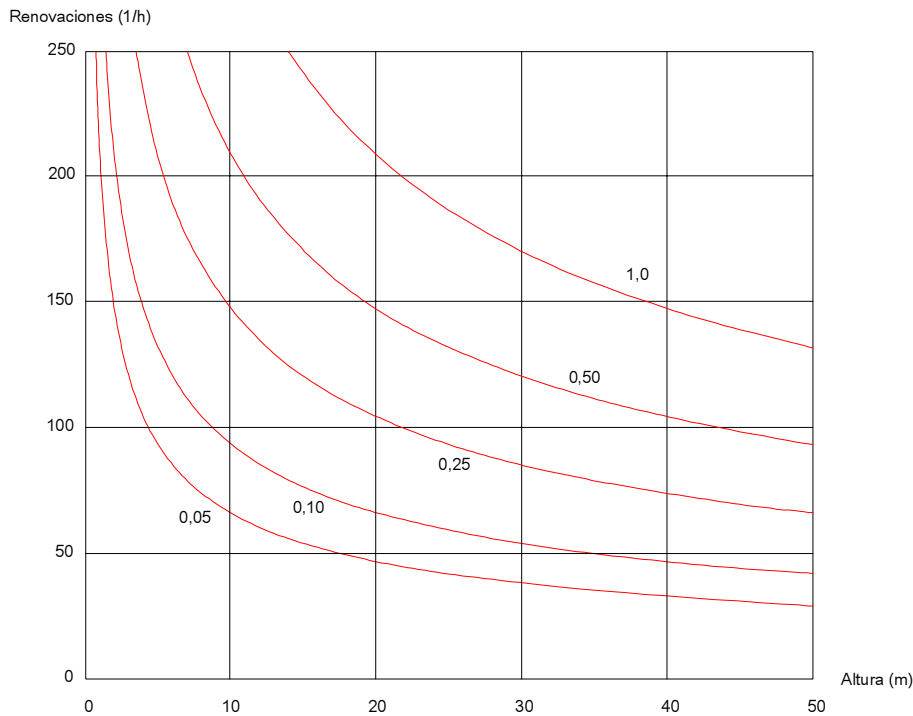
$$R' = \sqrt{2\frac{g}{H}\left(\frac{T_i - T_e}{T_e}\right)} \quad (41)$$

En la expresión (41) las temperaturas han de tomarse en °K. (°K=°C+273)

Por ejemplo, para una diferencia de temperaturas  $(T_i - T_e) = 0,1$  a 20°C resulta

$$R' = 3600 \sqrt{2 \frac{9,8}{12} \left( \frac{0,1}{293} \right)} = 85 \text{ h}^{-1} \quad (42)$$

La Fig. 11 muestra un ábaco para calcular el tiro por renovaciones en función de la altura  $H$  para diferentes valores de  $(T_i - T_e)$  con  $T_e = 293 \text{ °K}$ , según (41).



**Fig. 11 Representación de la renovación horaria en función de la altura para diferencias de T de 0.05, 0.1, 0.25, 0.50 y 1 °C**

La ascensión isoterma, tal y como se ha descrito solo funciona cuando la temperatura interior del patio  $T_i$  es superior a la exterior  $T_e$ , pues en otro caso la expresión (41) es imaginaria. No se dispone de datos experimentales sobre la evolución de la temperatura a lo largo del día y noche, pero es razonable suponer que la diferencia es positiva durante buena parte del día y algo de la noche, para dar cuenta de la inercia térmica acumulada en la construcción que rodea el patio. Suponiendo que la inversión dura unas 8 horas entre las 2 am y las 10 am, el mecanismo de tiro natural en el patio no funcionará durante un tiempo aproximado

de 8/24 horas, un 30% del tiempo. Durante este tiempo funcionará normalmente la ventilación por arrastre del viento. La simultaneidad de fallo se calcula en el apartado siguiente.

**c) Efecto combinado de chimenea y viento.**

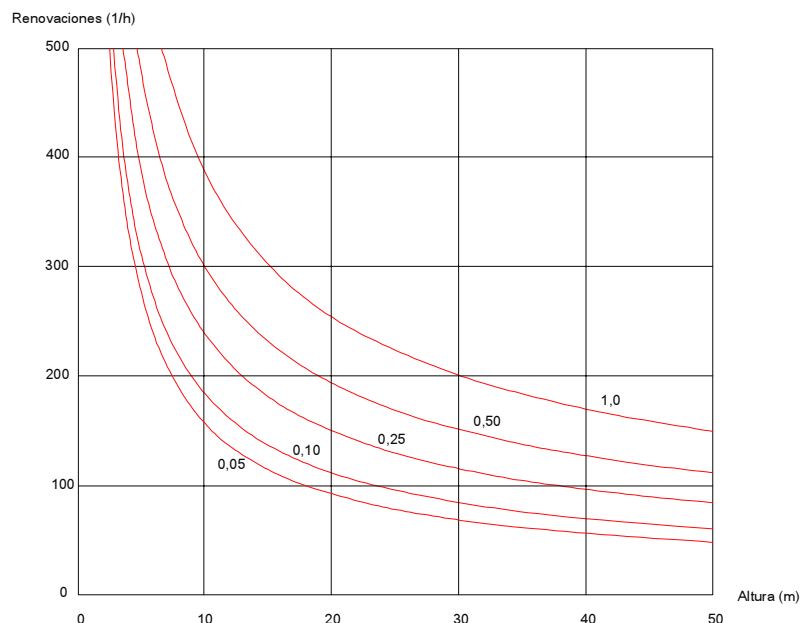
El caudal en términos de renovaciones de aire se obtiene por adición de la fórmulas (29) y (41), esto es

$$R'(H) = \frac{U}{H} + \sqrt{2 \frac{g}{H} \left( \frac{T_i - T_e}{T_e} \right)} \quad (43)$$

o en términos del caudal

$$Q'(H) = \left( U + \sqrt{2gH \left( \frac{T_i - T_e}{T_e} \right)} \right) A \quad (44)$$

La fórmula (43) se representa en la Fig. 12 para una velocidad  $U=0,25$  m/s que es la velocidad del viento que se excede en un 99% del tiempo, y para diferentes valores de  $(T_i - T_e)$



**Fig. 12 Representación de (43) para  $U=0,25$  m/s y  $\Delta T = 0,05, 0,10, 0,25, 0,5$  y  $1,0$  °C**

Obsérvese como la capacidad para renovar aire crece rápidamente por debajo de 16 m de altura.

La probabilidad de que no funcione a la vez el tiro por efecto chimenea en el patio  $P_c^f$ , y tampoco la succión por arrastre del viento  $P_v^f$  viene dada por el producto de las probabilidades de que ambos mecanismos no funcionen independientemente, esto es  $P^f$

$$P^f = P_c^f P_v^f = \frac{1}{300}$$

aproximadamente 1 día al año, en tiempo acumulado o 5 minutos cada 24 horas.

Para estimar el margen de seguridad entre las exigencias del CTE y la capacidad de extracción de un patio, supondremos que este es de 3x3 m<sup>2</sup> con dos dormitorios dobles que ventilan a él, con  $N$  plantas y altura total del patio  $H$ . La tabla 2.1 del CTE exige un caudal de ventilación de  $10 \times 2 = 20$  l/s o  $20 \times 3,6 = 72$  m<sup>3</sup>/h. El caudal total para  $N$  plantas iguales que debe evacuar el patio es  $72 \times N$  m<sup>3</sup>/h y por tanto, la capacidad de renovación del patio debe ser mayor de

$$R_{CTE} = \frac{72 N}{A H} = 3 h^{-1} \quad (45)$$

resultado obtenido para una sección del patio  $A = 9$  m<sup>2</sup>. Obsérvese que (45) es independiente del número de plantas o la altura del edificio. Como puede comprobarse mirando el gráfico de la Fig. 12, este valor es como poco, varios cientos de veces menor que la capacidad real de ventilación del patio, esto es, unos 2 ordenes de magnitud inferior, o un coeficiente de seguridad del orden de 100.

#### **d) Mecanismo de convección.**

Cuando la fuerza ascensional o flotación de la burbuja de aire excede a las fuerzas de viscosidad sobre las paredes del patio en cuantía tal que se supera cierto valor crítico de un número adimensional debido a Rayleigh ( $Ra$ ), se rompe el régimen laminar del fluido en movimiento, produciéndose celdas de convección o turbulencias que facilitan la mezcla, difusión y escape de gases.

El número de Rayleigh viene dado por la expresión

$$R_a = \frac{g\beta}{\nu\alpha}(T_s - T_\infty)L^3 \quad (46)$$

siendo, para el aire en condiciones normales

$g$  = Aceleración de la gravedad =  $981 \text{ cm s}^{-2}$

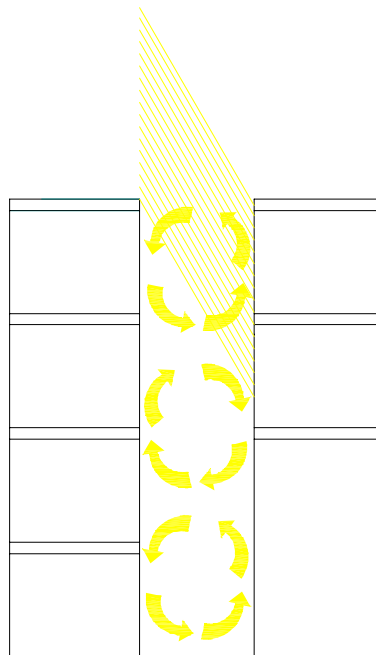
$\beta$  = Coeficiente de expansión térmica ( a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) =  $1/293 \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$

$\nu$  = Viscosidad cinemática =  $0,15 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$

$\alpha$  = Coeficiente de difusión térmica =  $0,23 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$

$(T_s - T_\infty)$  = Diferencia de temperaturas entre superficie e interior del patio ( $^\circ\text{K}$ )

$L$  = Longitud característica del patio



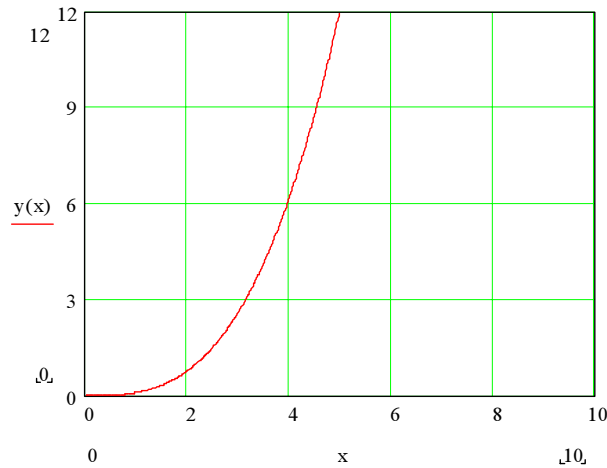
**Fig. 13 Esquema de convección con 3 celdas.**

Con los anteriores datos resulta, para  $Ra$  en unidades de  $10^9$  la expresión

$$y(L) = \frac{1}{10,3} L^3$$

donde se ha tomado una diferencia de temperaturas de  $1 \text{ }^\circ\text{K}$  entre paredes e interior del patio.

El gráfico resultante se muestra en la Fig. 14



**Fig. 14** Número de Rayleigh  $\times 10^{-9}$  en función de la profundidad del patio en m.

Obsérvese el rápido crecimiento de  $Ra \times 10^{-9}$ , a partir de una luz de patio de 2 metros. Ello indica la existencia de probables celdas convectivas a partir de esta y mayores dimensiones, lo que facilita la ventilación, como se ha explicado, aunque de forma impredecible, por lo que no se tiene en cuenta en el cálculo.

## 6. Inversión térmica y ausencia de viento.

Cuando la temperatura interior  $T_i$  es menor que la exterior  $T_e$ , y no hay viento ni convección, el aire dentro del patio tiende a estratificarse a nivel del piso inferior. Para garantizar la renovación de aire en esta situación, es necesario colocar una extracción forzada en la cubierta con sección transversal del conducto y características del ventilador tales que sean capaces de extraer el caudal de ventilación exigible para la suma de todos los locales que ventilan al patio. Por tanto, el caudal del extractor  $Q'$  debe ser

$$Q' \geq Q = \sum_{i=1..N} q_i$$

El ventilador solo debe funcionar en el sentido de extracción del aire del patio y no en impulsión. Puede emplearse un ventilador trifásico para ajustar la dirección de marcha. La colocación del dispositivo de extracción debe estar a la altura del peto y con dirección de salida de corriente horizontal o hacia el suelo, protección de la lluvia y en dirección a barlovento si es posible. El conducto funcionará como vía de admisión cuando exista tiro en el patio y en caso contrario como conducto de extracción forzada. La velocidad del aire en el conducto debe ser baja para no generar ruidos que puedan perturbar durante la noche. Un valor prudente es 2 m/s, que en una sección de 200 cm<sup>2</sup> (  $\phi$  150 mm ) da un caudal de 40 l/s= 144 m<sup>3</sup>/h, equivalente a 1,3 renovaciones horarias para un patio de 3x3 y 4 plantas de altura, que cubre la mayoría de proyectos habituales. El conducto puede estar hecho de chapa metálica, PVC o fábrica de bloque, pero en cualquier caso, es deseable que discorra por una fachada en sombra para que, en condiciones pasivas, facilite la admisión de aire. En todo caso, el conducto debe estar separado del piso del patio una distancia vertical que permita la limpieza ( 20 cm ). El motor debe activar la extracción , por medio de un relé, cuando un pequeño anemómetro o dispositivo similar detecte ausencia de admisión de aire.

## 7. Conclusiones.

1. Los patios de cualquier dimensión, superior o inferior a 3 metros, patinillos y chimeneas son soluciones de muy alta eficiencia para conseguir una ventilación efectiva, incluso de grandes volúmenes. En este estudio se ha tratado de establecer una fórmula (43) y (44), para la comprobación y dimensionamiento de la ventilación a través del patio interior, solución que no se contempla, de forma expresa, en el CTE.
2. Las claves para el buen funcionamiento de la ventilación en un patio son la cubierta libre para permitir la circulación del aire y facilitar la reposición del aire extraído por aire nuevo en la base del patio.
3. Las medidas pasivas de ventilación, como las propuestas, pueden asegurar una efectividad superior al 99,5% del tiempo. Para una mayor efectividad es necesario incorporar una extracción forzada de características estándar en ventilación.

JEFE DE CALIDAD



D. ARMANDO SÁNCHEZ YAMAGUCHI  
DR. EN CIENCIAS QUIMICAS

EL DIRECTOR DEL LABORATORIO



D. LUIS CABRERA PÉREZ  
ARQUITECTO

Güimar, 27 abril de 2007

Laboratorio COAC, S.L.

## 8. ANEXO

### EJEMPLO PRACTICO

Edificio de 4 plantas con patio interior de 3x3 y 14 m de altura, con los siguientes requerimientos de ventilación:

- PB Local comercial de 125 m<sup>2</sup> y 4 m de altura del que se desconoce su futuro destino.
- P1 y 2 1 dormitorio doble mas 1 sencillo
- P3 1 dormitorio doble y una cocina.

### Propuesta

#### 1.1 Planteamiento

En general es conveniente, si no exigible, que los locales comerciales tengan un conducto de ventilación independiente del patio, para no gravar con servidumbres un espacio comunal, por lo tanto, la ventilación del local debe tratarse con independencia del patio a través de un conducto exclusivo.

En ausencia de otros requerimientos de ventilación mas restrictivos, y en términos de renovaciones horarias, es habitual considerar, para usos no especialmente contaminantes, valores de renovación entre 0,5 y 1,5 h<sup>-1</sup> Adoptando el valor intermedio, el caudal de aire a extraer es

$$Q = 125 \times 4 \text{ m}^3 \times 1 \text{ h}^{-1} = 500 \text{ m}^3/\text{h} = 140 \text{ l/s}$$

Las plantas 1 y 2 deben garantizar cada una un caudal de ventilación mínimo de 5+10 = 15 l/s, según la tabla 2.1. La planta 3 debe garantizar 10+50 = 60 l/s.

#### Resumen:

		1/s	1/s	
Local		140		
P1			15	
P2			15	
P3			60	
	Total	140	90	1/s

## 1.2 Caudales de extracción.

### a) Conducto de ventilación del local.

Debe limitarse la velocidad a un valor bajo, que no produzca ruidos perturbadores durante la noche. Ello depende además de la velocidad, de las características del tubo: Chapa, PVC, fábrica, etc. Tomando como referencia una velocidad de 2 m/s para un caudal de 140 l/s, resulta una sección

$$S = 140000/200 = 700 \text{ cm}^2$$

Equivalente a un conducto de  $\Phi 300 \text{ mm}$ . El extractor debe tener una capacidad de  $140 \times 3,6 = 500 \text{ m}^3/\text{h}$ .

### b) Patio:

El caudal que debe ser extraído del patio es de  $90 \text{ l/s}$ , equivalente a  $90 \times 3,6 = 324 \text{ m}^3/\text{h}$ .

El caudal real succionado por el viento a velocidad de  $0,10 \text{ m/s}$  es

$$Q' = 9 \text{ m}^2 \times 0,10 \text{ m/s} = 0,9 \text{ m}^3/\text{s} = 3240 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ esto es, } 10 \text{ veces superior al exigible.}$$

Del ábaco de la Fig. 10, para una velocidad de  $0,10 \text{ m/s}$  y altura de  $10 \text{ m}$  se obtiene aproximadamente una renovación de  $35 \text{ h}^{-1}$ , equivalente a un caudal de

$$35 \times 9 \text{ m}^2 \times 10 \text{ m} = 3150 \text{ m}^3/\text{h}$$

c) El caudal que puede ser extraído por una diferencia de temperaturas de  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  para una altura de  $10 \text{ m}$  según las formulas 40, 41 o el ábaco de la Fig. 11 es de aproximadamente  $90 \text{ h}^{-1}$  equivalente a  $90 \times 9 \times 10 = 8100 \text{ m}^3/\text{h}$ , 24 veces superior al exigible.

El ábaco de la Fig. 12, para un efecto combinado, con altura y diferencia térmica anteriores y para una velocidad de  $0,25 \text{ m/s}$ , da unas  $180 \text{ h}^{-1}$ , equivalente a

$$180 \times 9 \times 10 \text{ m}^3/\text{h} = 16200 \text{ m}^3/\text{h}$$

considerablemente superior a las exigencias.



## CÁLCULO JUSTIFICATIVO DE LA VENTILACIÓN A TRAVÉS DE PATIOS EN EDIFICACIÓN

Para que funcione la ventilación de locales que comunican a un patio, es necesario que éste tenga buen tiro.

Las claves para el buen funcionamiento de la ventilación en un patio son la cubierta libre para permitir la circulación del aire y facilitar la reposición del aire extraído por aire nuevo en la base del patio.

Para que el tiro se produzca de forma pasiva, se precisa que la temperatura interior del patio sea ligeramente superior a la exterior y que el volumen de aire desalojado por la coronación del patio sea repuesto con aire limpio desde el fondo del patio o que exista una brisa en la coronación del patio que renueve el aire por arrastre o succión.

El concepto que se emplea en este fenómeno es el de RENOVACIÓN (R) de un volumen de aire (m<sup>3</sup>) por unidad de tiempo (1 hora). Conocido el caudal que se precisa extraer (Q, en l/seg. Pasarlos a m<sup>3</sup>/h multiplicándolo por 3,6) a través de un volumen (V, en m<sup>3</sup> del patio), el número de renovaciones por hora es  $R = Q / V$  (en h<sup>-1</sup>).

De igual modo, decir que el caudal succionado por un patio de área A (m<sup>2</sup>) por una brisa de velocidad U (m/s transformada en m/h) es:  $Q = U \times A$  (en m<sup>3</sup>/hora).

Está claro que cuanto mayor sea la velocidad del viento en la coronación, mayor será la capacidad de renovación por succión o arrastre.

### VERIFICACIÓN DE LA EFICACIA DE VENTILACIÓN A TRAVÉS DE PATIO.

Se ha de cumplir que el caudal de ventilación demandado por los locales (R<sub>v</sub>) que dan al patio (especialmente dormitorios, estar; probablemente algún baño, cocina; ocasionalmente algún local de comunidad, etc.), sea inferior a la capacidad de renovación que ofrece el patio (R'v).



### EJEMPLO.

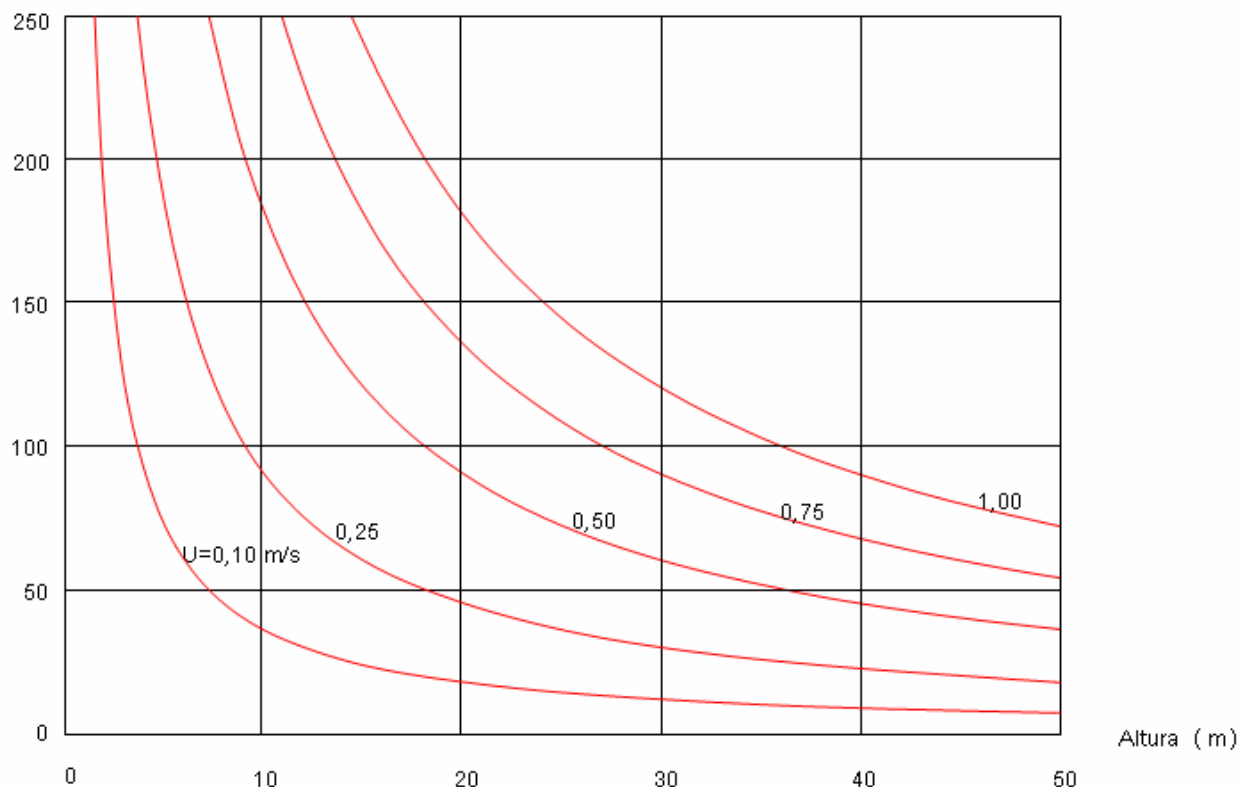
Supongamos un patio de  $3 \times 3 \text{ m} = 9 \text{ m}^2$  que ventila a tres plantas de viviendas. La altura que se considera es de 10m, por lo que el volumen del patio es  $90 \text{ m}^3$ .

### A) CAUDAL REAL SUCCIONADO.

Si consideramos una velocidad muy baja de viento, tal como  $0,10 \text{ m/seg}$ , el caudal real succionado por esta brisa será  $Q = 9 \text{ m}^2 \times 0,10 \text{ m/ seg} = 0,9 \text{ m}^3/\text{seg}$  lo que supone:  $0,9 \times 3600 = 3240 \text{ m}^3/\text{h}$ .

(Para otras velocidades más altas, consultar la gráfica adjunta)

Renovaciones (1/h)





## B) CAUDAL DEMANDADO PARA SER EXTRAÍDO (ver tabla 2.1 CTE HS3)

Supongamos un patio que ventila 3 plantas de viviendas, con dos viviendas por planta:

PLANTA 1: 1 dormitorio doble + 1 sencillo. ( $5 \times 2 + 5 \times 1 = 15$  l/s;  $\times 2$  viv = 30 l/s)

PLANTA 2: 1 dormitorio doble + 1 sencillo. ( $5 \times 2 + 5 \times 1 = 15$  l/s;  $\times 2$  viv = 30 l/s)

PLANTA 3: 1 dormitorio doble + 1 baño. ( $5 \times 2 + 15 \times 1 = 25$  l/s;  $\times 2$  viv = 50 l/s)

---

Caudal demandado:..... 110 l/s = **396 m<sup>3</sup>/hora**

### RESULTADO.

**Vemos que  $R_v$  es muy inferior a  $R'v$ , por lo que la capacidad de renovación que ofrece el patio es sobrada.**

Si le añadimos un local que pudiera ser de uso compatible (no aquellos usos que requieran extracción propia, como bares, etc.), que tenga unos 125m<sup>2</sup> y 4m de altura, su volumen es de 500m<sup>3</sup>.

Para usos no contaminantes, se considera normal un valor de renovación que oscile entre 0,5 y 1,5 h<sup>-1</sup>. Emplearemos un valor intermedio: 1h<sup>-1</sup>.

El caudal de aire a extraer sería:  $500 \text{ m}^3 \times 1 \text{ h}^{-1} = \mathbf{500 \text{ m}^3 / \text{h. ó } 140 \text{ l/seg. que también podría ser asumido por el propio patio.}$

### OBSERVACIONES.

La aportación de aire al patio se mejora apreciablemente mediante la disposición de un conducto (por ejemplo, en PVC  $\Phi 160$ ) en una esquina del patio, cuya boca inferior no llegue al suelo, y cuya boca superior sobresalga del antepecho, rematado con caperuza.

En determinados momentos del año puede producirse una temperatura en el fondo del patio ligeramente inferior a la temperatura exterior, con lo cual se generaría ocasionalmente un déficit de ventilación. Para esta eventualidad, cabría justificar la disposición de extractor en la coronación de este tubo, que, ante la ausencia eventual de corriente de aire dispararía dispositivo automático de arranque y parada. El extractor se dimensiona para el caudal de extracción y se alojaría dentro de armario con puerta de rejilla.