

VENTILACIÓN NATURAL

CÁLCULOS BÁSICOS PARA ARQUITECTURA

VÍCTOR ARMANDO FUENTES FREIXANET
MANUEL RODRÍGUEZ VIQUEIRA



1



VÍCTOR ARMANDO
FUENTES FREIXANET

Arquitecto egresado de la UNAM con mención honorífica en 1981. En 1987 realiza estudios de actualización en Planificación y Medio Ambiente en Venezuela. En 1993 estudia la especialización en Diseño Ambiental y en 2002 obtiene el grado de maestro en Diseño Arquitectura Bioclimática en la UAM. Ha sido profesor investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco desde 1984 y desde entonces ha desarrollado investigaciones en el campo de la Arquitectura Bioclimática que lo han llevado a ganar varios reconocimientos y premios a nivel nacional.

Ha diseñado y construido varias casas y edificios en donde se aplican criterios de diseño bioclimático. También ha publicado numerosos artículos en revistas y publicado varios libros relacionados con la temática ambiental y de arquitectura bioclimática.

VENTILACIÓN NATURAL

CÁLCULOS BÁSICOS PARA ARQUITECTURA



COLECCIÓN / LIBROS DE TEXTO Y MANUALES DE PRÁCTICA
SERIE / MATERIAL DE APOYO A LA DOCENCIA



...transformando el diálogo por la razón

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

U.P. 2017400

VENTILACIÓN NATURAL CÁLCULOS BÁSICOS PARA ARQUITECTURA

Víctor Armando Fuentes Freixanet,
Manuel Rodríguez Viqueira



2894483

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Dr. Luis Mier y Terán Casanueva
RECTOR GENERAL

Dr. Ricardo Solís Rosales
SECRETARIO GENERAL

UAM
NA2541
F8.47

UNIDAD AZCAPOTZALCO

Mtro. Víctor Manuel Sosa Godínez
RECTOR

Mtro. Cristian Eduardo Leriche Guzmán
SECRETARIO

Mtra. María Aguirre Tamez
COORDINADORA GENERAL DE DESARROLLO ACADÉMICO

DCG. Ma. Teresa Olalde Ramos
COORDINADORA DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

DCG. Silvia Guzmán Bofill
JEFA DE LA SECCIÓN DE PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN EDITORIALES

Primera edición, 2004

D.R.© 2004 Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco
Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas
C. P. 02200, México, D. F.
e.mail: secedi@correo.azc.uam.mx

Diseño y producción editorial •nopase. Eugenia Herrera/Israel Ayala
Ilustración de portada. ©Emilio García. *Ventilación*. 2003
Fotografía de autores. ©Roberto Cano

ISBN 970-31-0205-0
Impreso en México/*Printed in Mexico*

*Dedico este trabajo a mis hijas:
Eréndeni y Ayari*

VAFF.

*Dedico este trabajo a
Janek y Laura*

MRV.

PRÓLOGO

Desde que el hombre construyó sus primeras moradas se enfrentó a la problemática de satisfacer los requerimientos de renovación del aire con una adecuada calidad del mismo, así como dar salida a los humos y olores provocados por la combustión y sus actividades cotidianas.

El surgimiento de vanos y ventanas está relacionado con la necesidad de ventilar e iluminar, donde generalmente sus características están condicionadas por el entorno climatológico del lugar.

Históricamente los tratadistas de la arquitectura han prestado gran importancia al problema de la ventilación en la arquitectura; en la antigüedad mediterránea Vitruvio¹ lo aborda tanto desde el punto de vista térmico, como el de la calidad del aire. Y posteriormente Palladio² se centra en la descripción de sistemas de ductos tanto para la ventilación y el acondicionamiento térmico, como para la evacuación de humos. Es a partir del siglo XVI, con las nuevas tendencias estilísticas, que se percibe una mayor preocupación por las condiciones de confort en los interiores arquitectónicos. Complejos sistemas de ductos y chimeneas son usados para la calefacción y ventilación de los interiores, aprovechando los diferenciales térmicos y de presiones del aire. En los climas templados aparecen los patios de luz y ventilación como sistemas de acondicionamiento. Menos representativa pero con innumerables ejemplos del uso de ventilación como estrategia de diseño es la arquitectura vernácula.

Los principios utilizados para el trazo de las ciudades estaban condicionados a las distintas variables ambientales, de entre ellas el viento y su impacto en la ventilación. Las nuevas ciudades del continente americano, durante el periodo colonial, establecían una serie de criterios relacionados con los vientos dominantes, con la intención de que éstos favorecieran la ventilación, tanto a nivel urbano como arquitectónico.

Las nuevas tipologías arquitectónicas asociadas a los procesos de industrialización nos plantean nuevos problemas. Edificios industriales con calderas en sus interiores, con procesos productivos que generan gases inflamables o partículas contaminantes,

1 Vitruvio Marco Lucio, *Los diez libros de arquitectura*, lib. I, cap. IV.

2 Andrea Palladio, *Los cuatro libros de arquitectura*, 1er. lib., cap. XXVII.

obligan a crear sistemas de ventilación dinámicos y eficientes, ya que existía peligro de explosión o envenenamiento. Es durante esta época que surge cierta normatividad con respecto a la calidad del aire en los interiores de carácter industrial y también se desarrollan los inicios de los sistemas de extracción y ventilación mecánica en las edificaciones.

Cines, auditorios, centros comerciales, instalaciones deportivas cerradas, edificios de oficinas de grandes dimensiones, etcétera, son las tipologías arquitectónicas del siglo veinte y se caracterizan por requerimientos importantes de ventilación y acondicionamiento térmico. El problema ha sido resuelto con la utilización de sistemas mecánicos y de acondicionamiento térmico que requieren altos consumos energéticos.

Hoy en día estamos en un proceso de reflexión sobre las características de nuestro desarrollo, donde la arquitectura se ha convertido en alto consumidor de energía. El bajo costo de los energéticos durante años ocasionó distorsiones y el abandono de conceptos tradicionales, como puede ser la ventilación natural.

Las subsecuentes crisis energéticas y ambientales, y el incremento de los costos de mantenimiento de los edificios aunados a la premisa de que a mayor consumo energético mayor impacto ambiental, está provocando que a los arquitectos se les exija mayor atención a este problema. La idea de edificios más saludables, confortables y que utilicen eficientemente la energía está cada vez más presente.

Conceptos como Arquitectura Bioclimática o Desarrollo Sustentable se asocian a las distintas corrientes arquitectónicas, partiendo de la premisa de que los edificios deben ofrecer condiciones de confort ambiental y optimizar el uso de los recursos energéticos. Un ambiente confortable es aquel donde existen condiciones idóneas para la realización de las actividades físicas o mentales predeterminadas para un espacio físico.

Dentro de este contexto la ventilación es una de las principales estrategias de diseño que deben ser consideradas en la arquitectura. En primer lugar se requiere para satisfacer las necesidades de renovación del aire y garantizar un ambiente con una adecuada calidad del aire. Y en segundo lugar con fines de climatización natural, tanto por efecto de enfriamiento directo al incidir claramente sobre los ocupantes, como disipando el calor acumulado en las edificaciones. En México, esta estrategia desde el punto de vista térmico es fundamental para las zonas de clima templado-húmedo y cálido-húmedo.

El objetivo del texto que aquí se presenta es apoyar la formación de los alumnos de la carrera de arquitectura y del posgrado en diseño en el área de arquitectura bioclimática, en lo que se refiere al manejo de la ventilación como estrategia de diseño.

El trabajo está estructurado en cuatro apartados: El primero se centra en describir las principales características del viento, que se deben considerar en los estudios de ventilación. El segundo aborda el problema de la estimación de la velocidad del viento a partir de los diversos parámetros que afectan su comportamiento. El tercero trata sobre el comportamiento del viento alrededor de los edificios y las turbulencias provocadas

por éstos. Y, por último, el cuarto se dedica al cálculo de la ventilación natural en interiores. Todos ellos acompañados de ejemplos para su mejor comprensión. Se incluyen tres anexos: uno con los datos de viento de las principales ciudades de la República Mexicana, otro con tablas de requerimientos de ventilación según varios autores y por último un ejemplo de aplicación, además de un glosario de términos.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 CONCEPTOS GENERALES

Las principales características del viento que se deben considerar en cualquier estudio de ventilación son las siguientes:

- Dirección
- Frecuencia de direcciones
- Velocidad
- Turbulencia y ráfaga.

La dirección, la velocidad, y la frecuencia son parámetros usualmente expresados cuantitativamente, mientras que la turbulencia y ráfaga se expresan generalmente en términos cualitativos o relativos, aunque existen algunos modelos matemáticos que tratan de definir el grado de intensidad de la turbulencia del viento cerca del suelo³.

1.1.1 Dirección del viento

Convencionalmente la dirección del viento señala de donde viene y no hacia donde va, es decir que define su procedencia. La dirección del viento se mide por medio de las *veletas* o anemoscopios, y siempre estarán referidas a los puntos cardinales, a sus divisiones y subdivisiones (**rumbo**):

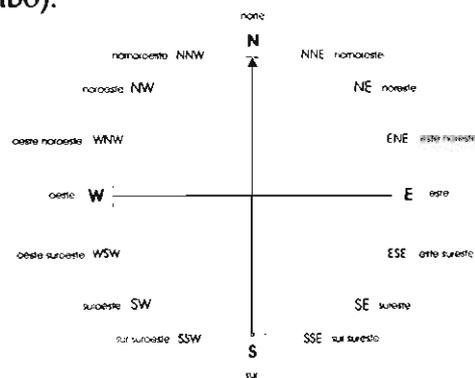


Fig. 1 Código para definir la dirección del viento (DGSMN)

3 Cf. Tom Lawson, *Building aerodynamics*, Londres, Imperial Collage Press, 2001.

La dirección del viento también puede definirse como Variable (V) cuando debido a su variabilidad no se puede precisar su procedencia; o como Calma (C) cuando el viento está ausente.

1.2 FRECUENCIA DE DIRECCIONES

Con el fin de ordenar todas las lecturas efectuadas, y para estimar la dirección dominante es necesario contar con la frecuencia de lecturas tomadas para cada orientación. La mayor frecuencia definirá la dirección dominante del viento. Si bien la dirección proporciona la dominancia de procedencia del viento, las frecuencias indican la variabilidad de la dirección del viento, los rangos probables de su procedencia, además de poder distinguir posibles variaciones horarias, o estacionales. La definición de las frecuencias es indispensable para poder graficar la rosa de los vientos.

Rosa de los vientos

Existen básicamente dos formas de graficar la rosa de los vientos. La primera consiste en graficar por separado los datos mensuales y anuales. La gráfica se realiza sobre los ejes cardinales y círculos concéntricos equidistantes, donde cada uno de ellos representa, a escala, iguales intervalos de frecuencia. Generalmente el círculo interior se reserva en blanco para escribir la frecuencia de las calmas. Las frecuencias para cada orientación se grafican por medio de una barra con una longitud equivalente al dato de la frecuencia presentada. La velocidad promedio para cada orientación se escribe numéricamente al extremo de cada barra.

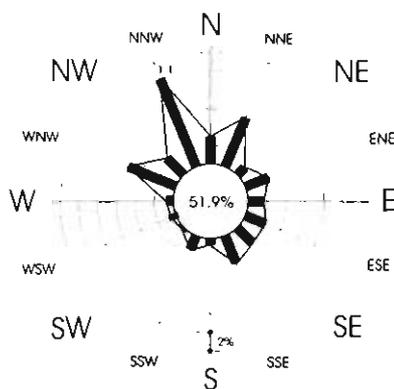


Fig. 2 Rosa de los vientos. Ciudad de México. Diciembre 1981

La segunda forma consiste en trazar en una sola gráfica los datos de frecuencias de todos los meses. En este caso la rosa de los vientos tendrá una forma octagonal, donde

cada una de los lados representa la orientación de los ejes cardinales y su división básica. En cada una de estos lados, se ubican trece barras, correspondientes a las frecuencias de cada uno de los meses para cada orientación y el valor anual. La lectura siempre se hace de izquierda a derecha, siendo la última barra la correspondiente al valor anual. Por lo tanto la gráfica del sur queda invertida, por lo que la rosa de los vientos deberá girarse para poder efectuar la lectura correctamente. En caso de que alguno de los meses presente una frecuencia cero, es decir, que no hubo viento en esa dirección, el espacio de la barra deberá respetarse para mantener los trece espacios correspondientes.

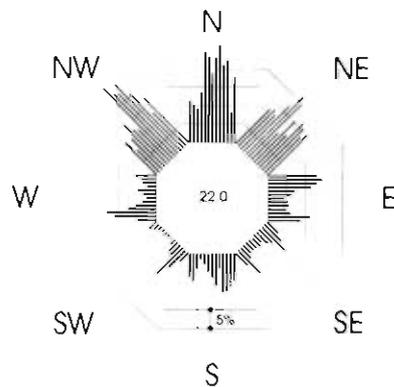


Fig. 3 Rosa de los vientos. Ciudad de México. Promedio anual

Si bien esta gráfica octogonal permite visualizar de manera conjunta el comportamiento de todos los meses, para análisis detallados es más conveniente el sistema tradicional de una gráfica por cada mes o gráficas trimestrales cuando el viento presenta un comportamiento estacional definido.

Determinación de la rosa de los vientos

Las frecuencias representan las lecturas de viento realizadas, y se expresan en porcentaje con respecto al total de lecturas. El procedimiento es el siguiente:

- a. Se toma la lectura de dirección del viento para cada observación realizada. Es conveniente que estas observaciones sean horarias, ya que la información resultante permitirá determinar patrones de viento a lo largo de todo el día. Si por alguna razón no es posible tener esta información hora tras hora, deberán tomarse lecturas dividiendo el día en cuatro periodos: madrugada (0-6), mañana (6-12), tarde (12-18) y noche (18-24).
- b. De todas las lecturas realizadas se hace una distribución de frecuencias para cada dirección (rumbo), y se establecen los porcentajes con respecto al total de lecturas realizadas, incluyendo las calmas y los vientos variables (frecuencias relativas).

- c. Se elabora una gráfica de tipo “polar” marcando los ejes cardinales y sus divisiones. Se trazan varios círculos concéntricos equidistantes los cuales representarán intervalos iguales de porcentajes de frecuencia; el círculo interior se reserva para anotar el porcentaje de calmas. Por lo tanto el 0% u origen de las frecuencias se medirá a partir del primer círculo y no desde el centro de la gráfica.
- d. En cada rumbo se grafica una barra de longitud a escala igual al porcentaje de la frecuencia correspondiente.

Ejemplo 1

Elaborar la distribución de frecuencias y rosa de los vientos para el mes de diciembre de la Ciudad de México de acuerdo a las lecturas horarias de viento de la tabla 2:

Tabla 1. Distribución de frecuencias de dirección

RUMBO	CONTEO	FRECUENCIA	PORCENTAJE
N	### ### ### ### //	22	3.0%
NNE	### ### ### ### ### ### ### ### //	43	5.8%
NE	### ////	9	1.2%
ENE	### ### ### ###	20	2.7%
E	### ### ///	13	1.7%
ESE	### ### ### ///	18	2.4%
SE	### ### ### ///	18	2.4%
SSE	### ### ### ### ////	24	3.2%
S	###	5	0.7%
SSO	### ### //	12	1.6%
SO	//	2	0.3%
OSO	###	5	0.7%
O	### /	6	0.8%
ONO	### ### ### ### ### ### ### ### //	42	5.6%
NO	### ### ### ////	19	2.6%
NNO	### ### ### ### ### ### ### ### ### ### ### ### ### ### ### //	77	10.3%
V	### ### ### ### ///	23	3.1%
Total de lecturas con viento		358	48.1%
Total de lecturas en calma		389	51.9%
Total de lecturas		744	100.0%

En la figura 2 se encuentran graficados los datos de frecuencia de esta tabla.

Para visualizar claramente los patrones de comportamiento del viento a lo largo del día en cada uno de los meses y de manera estacional, conviene colorear la tabla horaria de vientos asignando un color a cada rumbo o dirección. Se recomienda la utilización de la siguiente gama de colores:

Tabla 2. Dirección del viento en la Ciudad de México en el mes de diciembre de 1981

VIENTO DOMINANTE 1981

Latitud:	19° 24'
Longitud:	99° 12'
Merid. de ref:	96° 00'
Altitud:	2308

DICIEMBRE 1981

DIRECCIONES OBSERVADAS

hora	mañana							tarde							noche							MODA				
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21		21-22	22-23	23-24	
1																										ESE
2																										NO
3																										ENE
4																										ENE
5																										N
6																										NNE
7																										NNE
8																										NNE
9																										NNE
10																										NNE
11																										NNE
12																										NNE
13																										NNE
14																										NNE
15																										NNE
16																										NNE
17																										NNE
18																										NNE
19																										NNE
20																										NNE
21																										NNE
22																										NNE
23																										NNE
24																										NNE
25																										NNE
26																										NNE
27																										NNE
28																										NNE
29																										NNE
30																										NNE
31																										NNE
MODA																										NNE

los espacios en blanco representan las calmas

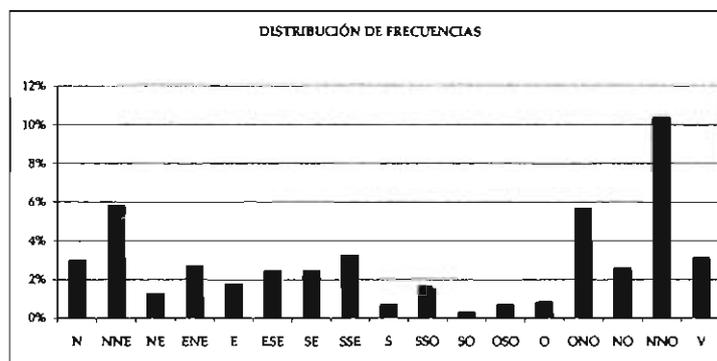
Tabla 2. Dirección del viento en la Ciudad de México en el mes de diciembre de 1981 (continuación)

TOTAL		744	100%
REGISTROS CON VIENTO		358	48.1%
CALMAS		386	51.9%

DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS

rumbo	frecuencia	porcentaje
N	22	3.0%
NNE	43	5.8%
NE	9	1.2%
ENE	20	2.7%
E	13	1.7%
ESE	18	2.4%
SE	18	2.4%
SSE	24	3.2%
S	5	0.7%
SSO	12	1.6%
SO	2	0.3%
OSO	5	0.7%
O	6	0.8%
ONO	42	5.6%
NO	19	2.6%
NNO	77	10.3%
V	23	3.1%
CALMAS	386	51.9%

TOTAL	744	100.0%
-------	-----	--------



Fte. de datos: Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional

Tabla 3. Código de colores

DIRECCIÓN	CÓDIGO	COLOR
Norte	N	Azul
Noreste	NE	Verde
Este	E	Amarillo
Sureste	SE	Naranja
Sur	S	Rojo
Suroeste	SW	Magenta
Oeste	W	Café
Noroeste	NW	Morado

1.3 VELOCIDAD

La velocidad del viento normalmente se expresa en metros por segundo (m/s), aunque también puede ser expresada en km/h cuando la velocidad del viento es alta o se presenta con mucha fuerza. La velocidad del viento se mide con un anemómetro; existen distintos tipos de anemómetros: anemómetro de copas o molinete, de hélice, de presión, de hilo caliente o de rayo láser.

En los observatorios meteorológicos, generalmente cuentan con un anemocinógrafo, el cual es un aparato que mide y grafica tanto las direcciones como las velocidades del viento. La medición se efectúa normalmente entre los 4 y 10 metros de altura, en terreno despejado, sin embargo la norma internacional es de 10 metros de altura.

Determinación de la velocidad media

Al igual que con las direcciones, es conveniente analizar las velocidades, haciendo una distribución de frecuencias por rangos de velocidad. El procedimiento es el siguiente:

- a. Se toma la lectura de velocidades del viento para cada observación realizada. Normalmente las observaciones de dirección y velocidad se hacen simultáneamente, por lo que existirá el mismo número de lecturas en ambos casos.
- b. De todas las lecturas de realizadas se hace una distribución de frecuencias por rangos de velocidad (frecuencia de clase), generalmente con un intervalo de 0.5 m/s. (Sin embargo hay que tomar en cuenta que el valor más significativo es el de 1.5 m/s ya que éste es el límite máximo de velocidad para ventilación natural en espacios interiores.) y determinar las frecuencias relativas o porcentajes.
- c. Deben obtenerse los datos de velocidad máxima y media para cada una de las direcciones o rumbos. El valor medio se anotará en la rosa de los vientos al final de cada barra en su dirección correspondiente.

- d. Se debe obtener el valor medio total, máximo total, y moda de todas las lecturas. El valor para las calmas es de 0 m/s. También de deberá obtener el porcentaje de casos con velocidades inferiores a 1.5 m/s.

Ejemplo 2

Elaborar la distribución de frecuencias de velocidades del viento para el mes de diciembre de la Ciudad de México de acuerdo a las lecturas de viento horarias de la tabla 6 y determinar los valores estadísticos básicos:

Tabla 5. Distribución de frecuencias de velocidad

Rangos de velocidad		sólo viento		con calmas	
calmas				386	51.9%
0.1	0.5	187	52.2%	187	25.1%
0.6	1	71	19.8%	71	9.5%
1.1	1.5	37	10.3%	37	5.0%
1.6	2	31	8.7%	31	4.2%
2.1	2.5	20	5.6%	20	2.7%
2.6	3	7	2.0%	7	0.9%
>3		5	1.4%	5	0.7%
Totales		358	100%	744	100%

Velocidad del viento

Máxima	3.40		3.40	
Media	0.87		0.42	
Moda	0.50		0.00	
Dominante	1.10		1.10	
Desviación estándar	0.70		0.65	
Viento menor o igual a 1.5 m/s	295	82.4%	681	91.5%

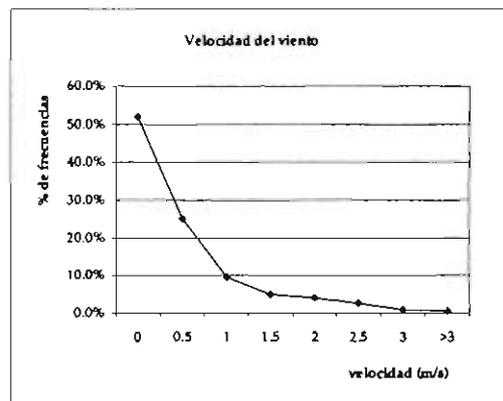


Fig. 4 Gráfica de velocidades del viento

Tabla 6. Velocidad del viento en la Ciudad de México en el mes de diciembre de 1981

WIENTO DOMINANTE 1981

TACUBAYA, D.F.	
Latitud:	19° 24'
Longitud:	99° 12'
Metra de ref:	90° 00'
Altitud:	2508

DICIEMBRE 1981

VELOCIDAD m/seg

hora	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	MODA	MEDIA	DOMINANTE		
1											0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	1.5	1.5	0.5								0.4	0.8	0.8	
2																						1.4	0.6				0.4	0.4	0.7
3											0.3			0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	1.4	1.2	0.4					0.3	0.8	1.9	
4										1.2	0.6	0.5	0.7	0.9	1.3	1.7	2.4	2.8	2.8	3.2	2.6	2.4	2	1.9		2.4	1.8	1.9	
5	0.8	0.6	0.9	0.3	0.1	0.3	0.6	1.3	1	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5	0.3	0.5	1.6	0.8	0.5	0.9	0.5	1.3				0.5	0.7	0.5	
6	0.4	0.4									0.3	0.3	0.4	0.5	0.4	1.5	2.1	1.7									0.4	0.8	0.4
7											0.3	0.3	0.3	0.6	0.7	0.6	0.4										0.4	0.8	0.4
8	0.7	0.4		0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.4	0.3	0.3	1.9	2.5	0.8	0.6	0.3	0.3		0.4	0.6	0.6	
9	0.7	0.8	1	0.7	0.3	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.5	0.5	1.2	2.3	1.8	1.8	2.2	1.8	1.3	1.6	2.5	1.2		0.6	1.1	1.4	
10	0.9	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.4				1.1	1	1.8	1.5	1.4	0.6		0.4	0.7	0.7	
11											0.4	0.5	0.5	0.3	0.4				0.5	0.9	0.5	0.4	0.4			0.4	0.5	0.8	
12											0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	0.4	0.5			0.3	0.4	0.3				0.5	0.4	0.5	
13											0.5	0.5	0.5	2	2.5	1.4	1.6	1.8		0.3						0.5	1.4	1.8	
14										0.5	0.5	0.5	0.8	2	2.2	2.2	1.7	1.7	0.8	1.4	1.2	1.5	1.4	0.7		0.5	1.3	1.4	
15	0.7	0.4									0.3	0.5	0.9	1.3	1.7	1.6	1.2	0.7		0.3	1.5	1.7	0.5			0.3	1.0	1.0	
16											0.4	0.5	0.8	1.8	1.1	1.6	1.8	2.4	0.6	2.4	2.9	1.4	0.8			0.8	1.4	2.1	
17											0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3			0.4	0.4						0.8	0.5	0.4	
18	0.5	0.6	0.4	1	0.3					0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5			1.8	1.3	0.5	1.3	1.8	1.3	0.3		0.5	0.8	0.7	
19											0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5				0.6	0.5					0.5	0.5	0.5	
20											0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5									0.5	0.6	0.5	
21											0.4	0.5	0.5	0.5	1.5					1.5						1.5	1.0	1.5	
22											0.4	0.5	0.6	0.5	0.4	1.8	2.2	2.5	3.2	1	1.1					0.4	1.3	2.6	
23										0.3	0.3	0.3	0.5	0.8	3.2	3.1	2.1	0.9	0.5							0.3	1.2	1.8	
24											0.3	0.3	0.3	0.6	0.6	0.3	0.4	1	0.4	0.4						0.3	0.5	0.5	
25											0.3	0.9	0.9	0.5	2.5	2.2	1.3	0.4	0.8							0.8	1.2	1.8	
26											0.4	0.9	0.3	0.2	0.3	0.2	2.5	0.4								0.4	0.7	0.3	
27											0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	1.8	1	0.6							0.3	0.7	1.0	
28											0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	1.2	0.9	0.5							0.3	0.5	0.7	
29										0.3	0.3	0.5	0.5	2.7	2.6	2.6	1.9	0.8								0.3	1.4	1.8	
30										0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	2.1	2	1.8	2.4	3.1						0.5	1.2	2.0	
31										0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.7	1.2	0.5	0.5	0.8							0.3	0.6	0.9	
											0.7	0.5	0.7	0.6	0.3	0.6	0.3	0.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.2	0.8		0.5	0.9	1.1	

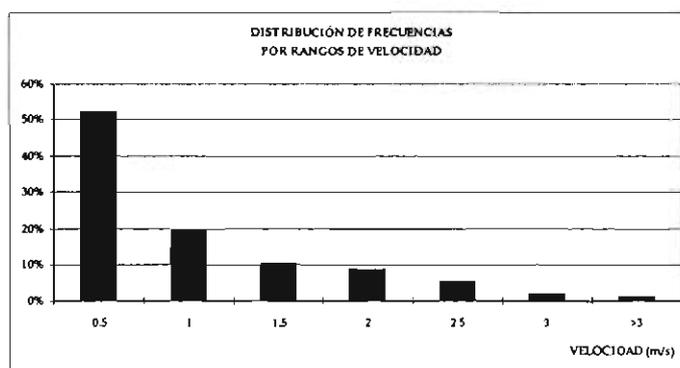
Tabla 6. Velocidad del viento en la Ciudad de México en el mes de diciembre de 1981 (continuación)

DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE VELOCIDAD

Rangos de velocidad		Solo viento		Con calmas	
calmas	0			386	51.9%
0.1	0.5	187	52.2%	187	25.1%
0.6	1	71	19.8%	71	9.5%
1.1	1.5	37	10.3%	37	5.0%
1.6	2	31	8.7%	31	4.2%
2.1	2.5	20	5.6%	20	2.7%
2.6	3	7	2.0%	7	0.9%
	>3	5	1.4%	5	0.7%
		358		744	100.0%

VIENTO

Máxima	3.40		3.40	
Media	0.87		0.42	
Moda	0.50		0.00	
Dominante	1.10		1.10	
Des. estándar	0.70		0.65	



Fte. de datos: Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional

La velocidad máxima es el valor más alto de todas las velocidades registradas u observadas, en este ejemplo 3.4 m/s. La velocidad media representa a la media aritmética de todas las lecturas o casos observados, se presentan dos formas de analizarla, la primera es considerando únicamente los casos en los que se presentó viento, la segunda, considerando también las calmas, es decir las observaciones con velocidad del viento igual a cero (ausencia de viento).

La moda corresponde al valor de velocidad que se presenta con mayor frecuencia, mientras que la desviación estándar representa la dispersión de los valores de velocidad con respecto a la velocidad media; esta medida nos indica qué tan disperso o variable es el viento en cuanto a su velocidad o fuerza.

En el ejemplo analizado el 91.5 % de los casos presentan una velocidad igual o inferior a 1.5 m/s, lo que significa que la ventilación puede hacerse de manera directa sin utilizar elementos de atenuación o aceleración.

Frecuentemente, cuando no se dispone de instrumentos de medición, la intensidad del viento es medida cualitativamente en función sus efectos y su percepción. Para hacer esta estimación se utiliza generalmente la escala de Beaufort:

Tabla 7. Escala de fuerza del viento de Beaufort

Grados Beaufort	Descripción	Velocidades				Efecto en el hombre	Efecto en edificios y vegetación
		m/s		Km/h			
0	Calma	0.0	0.5	0.0	1.8	Ninguno	El humo sube verticalmente y la superficie del agua está tranquila
1	Aire ligero	0.6	1.5	2.2	5.4	Movimiento apenas percibido debido al efecto de enfriamiento	La dirección del viento la muestra el humo pero no las veletas
2	Brisa ligera	1.6	3.3	5.8	11.9	El aire fresco se siente sobre la cara	Murmullo de las hojas
3	Brisa suave	3.4	5.4	12.2	19.4	El cabello se mueve, ligero golpeteo de la ropa; empieza la incomodidad.	Las hojas y ramitas se mueven. Existe una ligera extensión de banderas y rizos en el agua
4	Brisa moderada	5.5	7.9	19.8	28.4	El cabello se desarregla; medianamente incómodo	El polvo se levanta y los papeles se vuelan. La arena se extiende sobre el terreno

Grados Beaufort	Descripción	Velocidades				Efecto en el hombre	Efecto en edificios y vegetación
		m/s		Km/h			
5	Viento fuerte	8.0	10.7	28.8	38.5	La fuerza del viento se siente incómodamente sobre el cuerpo	Los árboles con follaje empiezan a ladearse, la arena es impulsada y existen ondas de agua con cresta blanca
6	Viento muy fuerte	10.8	13.8	38.9	49.7	Se escucha el viento, el cabello se extiende de frente y es difícil caminar firmemente	Las hojas se desprenden, la arena o nieve sopla sobre la cabeza y las ramas grandes se mueven
7	Vendaval	13.9	17.1	50.0	61.6	Caminar contra el viento equivale a subir una inclinación de 1/7	Todos los árboles se encuentran completamente en movimiento
8	Ventarrón	17.2	20.7	61.9	74.5	Generalmente se impide el paso, lo que equivale a subir una cuesta de 1/5	Las ramas grandes se doblan y las ramitas pequeñas se rompen
9	Ventarrón fuerte	20.8	24.4	74.9	87.8	Las ráfagas empujan a lo que equivale a subir una cuesta de 1/4	Las estructuras ligeras se dañan y las maderas y trejas se remueven
10	Borrasca	24.5	28.4	88.2	102.2	Caminar contra el viento equivale a subir una cuesta de 1/3, pero las ráfagas hacen prácticamente imposible moverse	Las estructuras están considerablemente dañadas, y los árboles partidos o arrancados de cuajo
11	Borrasca fuerte	28.5	29.0	102.6	104.4	Hombres y animales arrastrados o elevados	Edificios totalmente destruidos y bosques enteros arrancados
12	Borrasca muy fuerte	29.1	mas	104.8	mas	Más fuerte que el anterior	Más fuerte que el anterior

El procedimiento para determinar la velocidad media del viento a partir de la escala de Beaufort es el siguiente:

- a. Se toma la lectura de velocidades del viento para cada observación realizada. Anotando el grado de la escala de Beaufort.
- b. De todas las lecturas realizadas se hace el conteo y la distribución de frecuencias por grados Beaufort (frecuencia de clase), en este caso el intervalo es igual a 1 (grado Beaufort). Y se considera en la lista desde el grado inferior al máximo en donde hubo lecturas.
- c. Para obtener la media aritmética se multiplican los grados Beaufort por su frecuencia correspondiente, se obtiene la sumatoria de estos productos y el resultado se divide entre el número total de lecturas o casos.

$$gB_m = (\sum gB \cdot f) / N$$

donde:

gB_m = grado Beaufort medio

gB = grado Beaufort

f = frecuencia

N = número total de casos o lecturas

- d. La velocidad media en m/s se obtiene mediante:

$$V_m = (gB_m \cdot v_{mg}) / gB_p$$

donde:

V_m = velocidad media (m/s)

gB_m = grado Beaufort medio

v_{mg} = velocidad media del grado Beaufort más próximo a gB_m (m/s)

gB_p = grado Beaufort más próximo a gB_m

Tabla 8. Fuerza del viento de acuerdo a la escala de Beaufort.
Ciudad de México, enero de 1985

VIENTO MÁXIMO 1985

Latitud:	19° 31'
Longitud:	99° 12'
Altitud de ref:	900' MSN
Altitud:	2308'

TACUBAYA, D.F.

ENERO 1985

VELOCIDAD BEAUFORT

hora	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	MODA	MEDIA	
1																									0.0	0.0	
2												1	2	2		3	3	4	4	4	1					3.0	2.5
3														1	3	3	3	2	2	3	1	1				3.0	2.1
4													1	1	1	1	4	3	3	1	3	3	3			3.0	2.3
5			1															2	2	3	2	3	1	1		3.0	1.7
6		1																2	3							2.0	2.0
7																		1								1.0	1.0
8																		1	3	1	1	1				1.0	1.2
9																		3	3	2	1	1	2			1.0	2.0
10																		4	3	2	1	3	2			1.0	2.0
11																		1	1	1	4	4	2	1		1.0	2.3
12																		1	1	1						1.0	1.2
13																		1	3	3	1		1			1.0	1.9
14																		1	1	1						1.0	1.0
15			1															3	3	1	1					1.0	1.4
16																		4	4	1	1	1				4.0	3.1
17																		4	4	4	1	1				4.0	2.1
18																		4	4	3	3	4	3	1		3.0	3.7
19																		4	4	2	3	3	4	4		4.0	2.7
20																		3	3	2	3	2	4	4		4.0	1.0
21																		1	1	3	4	3	1			1.0	1.9
22																		1	1	2	3	1				1.0	1.3
23																		1	1	3	1	2	3	1		1.0	1.5
24																		1	1	4	1					1.0	1.3
25																		1	3	3	2	1				1.0	1.7
26																		1	2	3	2	2	1			1.0	1.4
27																		1	1	2	2	1	1			1.0	1.9
28																		4	4	1	1	1	1			1.0	1.9
29																		1	1	1	3	3	2	3		1.0	1.8
30																		3	4	4	3	4	4			1.0	2.5
31																		4	3	3	3	3	3			1.0	2.8
TOTAL	0.0	3.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0	1.4	1.3	1.6	1.8	2.3	2.4	2.7	2.2	2.1	2.3	2.3	2.1	1.8	1.4	1.8	

Los espacios en blanco representan un grado Beaufort = 0
100%

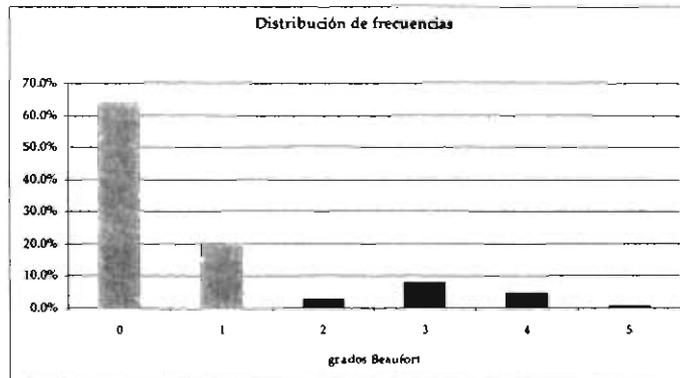
**Tabla 8. Fuerza del viento de acuerdo a la escala de Beaufort.
Ciudad de México, enero de 1985
(continuación)**

Distribución de frecuencias

grado Beaufort	rango de velocidad m/s	velocidad media m/s	Distribución de frecuencias				gB*f
			sólo viento		con calmas		
gB			f	fr	f	fr	
0	0 - 0.5	0.25			473	63.6%	0
1	0.6 - 1.5	1.05	151	55.7%	151	20.3%	151
2	1.6 - 3.3	2.45	21	7.7%	21	2.8%	42
3	3.4 - 5.4	4.4	59	21.8%	59	7.9%	177
4	5.5 - 7.9	6.7	35	12.9%	35	4.7%	140
5	8.0 - 10.7	9.35	5	1.8%	5	0.7%	25
Totales			271	100.0%	744	100.0%	535

Velocidad del viento

gB Máximo	5.00	5.00	
gB Medio	1.97	0.72	
Moda gB	1.00	1.00	
Velocidad (m/s)	2.42	0.76	



Fte. de datos: Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional

Ejemplo 3

Determinar la velocidad media a partir de la escala de Beaufort de acuerdo a las lecturas de la tabla 8.

Solución

El primer paso es elaborar la tabla de distribución de frecuencias:

Tabla 9. Estimación de la velocidad a partir de la escala de Beaufort

grado Beaufort	rango de velocidad	velocidad media	Distribución de frecuencias				
			sólo viento		con calmas		gB*f
gB	m/s	m/s	f	fr	f	fr	
0	0 - 0.5	0.25			473	63.6%	0
1	0.6 - 1.5	1.05	151	55.7%	151	20.3%	151
2	1.6 - 3.3	2.45	21	7.7%	21	2.8%	42
3	3.4 - 5.4	4.4	59	21.8%	59	7.9%	177
4	5.5 - 7.9	6.7	35	12.9%	35	4.7%	140
5	8.0 - 10.7	9.35	5	1.8%	5	0.7%	25
Totales			271	100%	744	100%	535

Velocidad del viento

gB Máximo	5	5
gB Medio	1.97	0.72
Moda gB	1	1
Velocidad (m/s)	2.42	0.76

$$gBm1 = 535 / 271 = 1.974$$

$$gBm2 = 535 / 744 = 0.719$$

Si el grado de Beaufort es 1.97, entonces el grado más próximo es 2, cuyo rango de velocidad es de 1.6 a 3.3 m/s con una velocidad media de $((1.6 + 3.3) / 2) = 2.45$ m/s, por lo tanto la velocidad media del viento en el caso de estudio es:

$$V_m = (1.974 * 2.45) / 2$$

$$V_m = 2.42 \text{ m/s}$$

En el caso de considerar las calmas, el grado Beaufort es de 0.72, entonces en grado más cercano es 1, con un rango de velocidades entre 0.6 y 1.5 m/s; con un valor medio de 1.05 m/s, por lo tanto:

$$V_m = (0.719 * 1.05) / 1$$

$$V_m = 0.76 \text{ m/s}$$

Con fines prácticos, la Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional utiliza la siguiente escala simplificada.

Tabla 10. Escala de rangos de intensidad del viento (DGSMN)⁴

codificación	descripción	velocidad (m/s)			
0	Calma	menor que	0.6		
1	Débil	de	0.6	a	2.0
2	Moderado	de	2.1	a	6.0
3	Algo Fuerte	de	6.1	a	12.0
4	Fuerte	de	12.1	a	18.0
5	Violento	de	18.1	a	29.0
6	Huracán	mayor que	29.0		

Sin embargo para fines arquitectónicos es necesario considerar los efectos que el viento tendrá en los espacios interiores y particularmente sobre los ocupantes, de esta forma es conveniente consultar la tabla 11.

Tabla 11. Velocidades del viento en espacios interiores y su efecto en los usuarios⁵

Velocidad m/s	Efecto mecánico	Efecto en el usuario	Efecto de enfriamiento TBS °C				
			piel seca				piel húmeda
			15°	20°	25°	30°	30°
0.10	Mínimo a nivel doméstico	Se puede sentir sofocación	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.25	El humo del cigarro indica el movimiento	Hay movimiento imperceptible excepto a bajas temperaturas del aire	2.0	1.3	0.8	0.7	0.7

4 Comisión Nacional del Agua-Servicio Meteorológico Nacional, <http://www.cna.gob.mx/SMN.html>

5 Evans, B.H., *Research Report 59*, Texas, Texas Engineering Station, College Station, 1957.

**Tabla 11. Velocidades del viento en espacios interiores y su efecto en los usuarios
(Continuación)**

Velocidad m/s	Efecto mecánico	Efecto en el usuario	Efecto de enfriamiento TBS °C				
			piel seca				piel húmeda
			15°	20°	25°	30°	30°
0.5	Flamear de una vela	Se siente fresco a temperaturas confortables, pero incómoda a bajas temperaturas.	4.0	2.7	1.7	1.2	1.2
1.0	Los papeles sueltos pueden moverse, lo que equivale a la velocidad al caminar	Agradable generalmente cuando el clima es confortable o caliente, pero causa una sensación de movimiento patente. Es el nivel máximo aceptable de confort nocturno.	6.7	4.5	2.8	1.7	2.2
1.5	Demasiado rápido para trabajos de oficina. Se vuelan los papeles	Incómodo a temperaturas confortables. Límite máximo de confort para actividades interiores.	8.5	5.7	3.5	2.0	3.3
2.0	Equivale a la velocidad al caminar rápido	Aceptable sólo en condiciones muy cálidas y húmedas, cuando ningún otro alivio ambiental está disponible.	10.0	6.7	4.0	2.3	4.2

1.4 TURBULENCIA Y RÁFAGAS

Para analizar los vientos locales, o aquellos que se presentan en un sitio particular, es necesario conocer el grado de rugosidad y morfología del terreno, ya que la turbulencia, además de reducir la velocidad, también puede modificar la dirección del flujo de aire canalizándolo o desviándolo. La turbulencia puede ser de dos tipos: turbulencia térmica, asociada con la inestabilidad atmosférica y actividad convectiva. Este tipo de turbulencia se incrementa con la intensidad del calentamiento superficial, por lo que es muy común en áreas urbanas donde el calentamiento es muy variado en las distintas superficies constructivas. Y la turbulencia mecánica que está determinada por la rugosidad y forma de la superficie u objetos que interfieren con el flujo de aire. El tamaño y tipo de este tipo de turbulencia dependen básicamente de la forma y tamaño del obstáculo.

Como se mencionó anteriormente, la rugosidad del terreno provoca la fricción del aire, y por lo tanto una disminución de velocidad en las capas inferiores. La masa de aire que se está desplazando, sufre entonces una diferencia de velocidades entre las capas inferiores y superiores; si la distribución vertical de velocidades no es estable, el aire superior, que viaja más rápido, a veces, irrumpe en las capas inferiores produciendo bruscos cambios de velocidad por lapsos breves, que son llamados ráfagas.

Tanto la turbulencia como las ráfagas no pueden ser estimadas cuantitativamente, sino únicamente de manera cualitativa a través de túneles de viento que puedan simular capa límite. En todo caso son elementos importantes que hay que tener presentes cuando se hacen estudios del comportamiento del viento con fines arquitectónicos.

2. ESTIMACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO

2.1 PERFILES DE VELOCIDAD

El viento es un parámetro difícil de estimar debido a que intervienen diversos parámetros que afectan su comportamiento, principalmente, las diferencias de presión atmosférica, temperatura y densidad del aire, topografía y rugosidad del suelo etc. Sin embargo, es posible estimar cambios de velocidad en función de la rugosidad del suelo y en función de la altura, esto suponiendo una misma velocidad y dirección en campo libre y sin efecto de ráfagas.

El viento es afectado en su velocidad debido a la rugosidad del terreno. Entre mayor rugosidad, mayor será la afectación o disminución de la velocidad y mayor será la capa atmosférica afectada. Por ejemplo: en una zona urbana con alta rugosidad debido a las edificaciones, la capa atmosférica afectada puede llegar a ser de 500 metros de altura. Este espesor de atmósfera afectada se llama *gradiente de altitud* afectada por la rugosidad. Mientras que la altitud a partir de la cual el viento ya no es afectado se llama *capa límite*. En terrenos menos rugosos como es el caso de zonas suburbanas, la capa límite se encuentra alrededor de los 400 metros; En terreno abierto, como es el caso de planicies o aeropuertos, la capa límite se ubica en 300 metros. Mientras que en mar abierto, la capa afectada se encuentra entre los 250 y 275 metros.

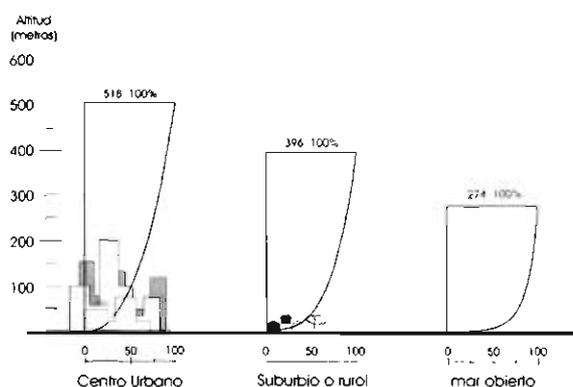


Fig. 5 Perfiles de velocidad del viento en distintos tipos de terrenos

Tabla 12. Perfiles de velocidad del viento⁶

altitud %		de velocidad		
pies	metros	Centro Urbano	Suburbio o Rural	Mar abierto
1700	518.16	100		
1500	457.20	95		
1300	396.24	90	100	
1100	335.28	84	96	
900	274.32	78	90	100
700	213.36	72	84	97
500	152.40	62	76	92
300	91.44	48	65	86
100	30.48	31	45	72

2.2 CORRECCIÓN POR EL EFECTO DE LA RUGOSIDAD

Si se cuenta con datos de velocidad del viento, medidos en zona de aeropuerto, (velocidad del viento de la estación meteorológica más cercana, V_{met}) la disminución de velocidad por el efecto de la rugosidad puede estimarse por medio de la ecuación⁷:

$$V_{ref} = A_0 * V_{met}$$

donde:

V_{ref} = velocidad de referencia (estimada) (m/s)

A_0 = constante de rugosidad:

V_{met} = velocidad meteorológica (medida) (m/s)

La constante de rugosidad para distintos gradientes de altura o distintas alturas de la capa límite se puede estimar aproximadamente mediante:

$$A_0 = 1.291 \exp (-0.005214 (\delta - 250))$$

donde:

A_0 = constante de rugosidad

δ = capa de fricción o altura de la capa límite (m) (aprox. entre 300 y 500; ver tablas 12 y 13)

6 ASHRAE Handbook, *Fundamentals*, Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1993. p. 14.4.

2.3 CORRECCIÓN POR LA ALTURA

Además de la corrección por la rugosidad del terreno, se puede hacer una corrección por altura cuando esto sea necesario. Generalmente las estaciones meteorológicas miden la velocidad del viento a una altura de 10 metros sobre el nivel del terreno. Esto quiere decir que para alturas menores deberá tomarse directamente la velocidad medida. El incremento de velocidad del viento en función de la altura puede calcularse de varias maneras: Por medio de la *ecuación exponencial*⁸:

$$V_H = V_{met} (\delta_{met} / H_{met})^{a_{met}} (H / \delta)^a$$

donde:

V_H = velocidad del viento a la altura H (m/s)

V_{met} = velocidad meteorológica (medida en la estación) (m/s)

δ_{met} = capa de fricción o altura de la capa límite en la estación meteorológica (m) (ver tabla 12) (generalmente medida en campo abierto o aeropuertos; ASHRAE sugiere $\delta=270$ m)

H_{met} = altura meteorológica (10 m) (generalmente las estaciones meteorológicas miden la velocidad del viento a 10 metros de altura)

a_{met} = exponente de velocidad media correspondiente al terreno en la estación meteorológica. (ver tabla 12) (exponente correspondiente a la altura de la capa límite meteorológica elegida; para $\delta=270$ $a=0.14$)

a = exponente de velocidad correspondiente a la altura de la capa límite del sitio de interés (ver tabla 12)

H = altura de cálculo (m)

δ = capa de fricción o altura de la capa límite del sitio que nos interesa calcular (m) (ver tabla 12)

Otra forma para encontrar la velocidad media del viento a cierta altura es a través de la fórmula para encontrar el perfil de velocidad logarítmica o simplemente: *relación logarítmica*:

$$V_H = V_{ref} \ln (H / Z_0) / \ln (H_{met} / Z_0)$$

donde:

V_H = velocidad del viento a la altura H (m/s)

V_{ref} = velocidad de referencia (estimada) (m/s)

8 *Ibid.*, p. 16.3.

H = altura de cálculo (m)

Z₀ = longitud de rugosidad⁹

H_{met} = altura meteorológica

(generalmente las estaciones meteorológicas miden la velocidad del viento a 10 metros de altura)

Con fines meteorológicos se puede utilizar¹⁰:

$$V_H = V^* / k \ln (H / Z_0)$$

donde:

V_H = velocidad del viento a la altura H (m/s)

V* = velocidad de fricción $V^* = (\tau / \rho)^{1/2}$

τ = reynolds stress

ρ = densidad del aire (aproximadamente ρ = 1.2 kg/m³)

(La velocidad de fricción depende del tipo de terreno y de la velocidad media del viento; generalmente su valor se ubica entre 2.5 % y 12 % de la velocidad media del viento)

k = constante de Von Karman (k = 0.42)

H = altura de cálculo (m)

Z₀ = longitud de rugosidad

donde h > Z₀

Las fórmulas anteriores asumen que la longitud de rugosidad Z₀ es el punto teórico o altura sobre el nivel del terreno (en metros) donde la velocidad del viento es igual a 0 m/s, por lo tanto no calculan valores por debajo de este nivel.

Según el Reglamento de Construcciones del D.F.¹¹ el valor de velocidad del viento a diferentes alturas, exclusivamente para un centro urbano, se puede estimar mediante la fórmula simplificada que define que la velocidad es directamente proporcional a la raíz cúbica de la altura.

$$V_H = k H^{1/3}$$

9 La longitud de rugosidad es el punto o altura teórica en donde la velocidad del viento es igual a cero. Generalmente se toma como 1/30 de la altura promedio de los obstáculos, sin embargo este valor es muy variable dependiendo de la velocidad del viento y de las características aerodinámicas de los objetos, pudiendo alcanzar valores de hasta 10 por ciento la altura media de los obstáculos (edificios, vegetación, etcétera).

10 Ray Linsley, *Hydrology for engineers*, Nueva York, McGraw-Hill, 1982, p. 38.

11 *Reglamento de Construcciones del D.F.*, citado por Francisco Robles y Rafael García, *Diseño Estructural*, unidad 3 "Acciones sobre las estructuras. Sismo y Viento", México, UAM Azcapotzalco-CBI, 2000.

donde:

V_H = velocidad del viento a la altura H (m/s)

k = constante de velocidad

H = altura de cálculo (m)

La constante de velocidad se determina en función de la velocidad de referencia a la altura de 10 m es decir:

$$k = V_{ref} / H_{ref}^{1/3}$$

donde:

k = constante de velocidad

V_{ref} = velocidad del viento (m/s)

H_{ref} = altura de referencia. (generalmente 10 m)

Desde el punto de vista arquitectónico es necesario conocer la velocidad del viento a niveles bajos de ocupación. Para calcular la velocidad media del viento a 2 (dos) metros de altura sobre el terreno, independientemente de la longitud de rugosidad, se puede utilizar la siguiente fórmula. El cálculo se realiza en función de la velocidad registrada a cierta altura de referencia; convencionalmente las estaciones meteorológicas miden la velocidad del viento a 10 m de altura:

$$V_2 = V_{ref} (4.87 / \ln (67.8 H_{met} - 5.42))$$

donde:

V_2 = velocidad del viento a 2 metros de altura (m/s)

V_{ref} = velocidad de referencia (m/s)

H_{met} = altura meteorológica o de referencia

(generalmente las estaciones meteorológicas miden la velocidad a 10 m)

Tabla 13. Constantes de rugosidad del terreno para diferentes capas límite

Tipo de terreno	Altura de obstrucciones	Capa de fricción o altura de capa límite	Constante de rugosidad	Longitud de rugosidad	Exponente de velocidad media	Velocidad de fricción
		δ	A_o	Z_o	a	v^*
	(m)	(m)		(m)		%v
Mar abierto, tundra o desierto	0 - 0.30	250	1.16	0.001	0.11	0.01596v
Campo abierto con arbustos bajos o Aeropuertos	0.30 - 0.60	300	1.00	0.030	0.15	0.02530v
Campo con vegetación media	0.95 - 1.90	350	0.76	0.095	0.20	0.03156v
Suburbios, poblados bajos (máximo 2 niveles)	3.0 - 6.0	400	0.59	0.30	0.25	0.04192v
Zona Urbana (entre 3 y 6 niveles)	9.5 - 19.0	450	0.46	0.95	0.30	0.06240v
Centros Urbanos, edificios altos (más de 6 niveles)	20.0 - 60.0	500	0.35	3.00	0.36	0.12208v

Tabla 14. Longitud de Rugosidad Zo para distintas coberturas vegetales

Superficie	Velocidad del viento a H = 2 m	Longitud de Rugosidad Zo	Longitud de Rugosidad Zo
	m/s	(cm)	(m)
Agua en espacio abierto	2.1	0.001	0.00001
marisma plana		0.001	0.00001
Nieve lisa o plana		0.005	0.00005
Suelo mojado		0.02	0.0002
Desierto		0.03	0.0003
Nieve sobre pradera o llanura		0.10	0.001
Pasto cegado o cortado	2 6-8	1.5 cm	0.2
3.0 cm		0.7	
4.5 cm		2.4	
4.5 cm		1.7	
Alfalfa		20-30cm	1.4
30-40 cm		1.3	
Pasto largo	1.5 3.5 6.2	60-70 cm	9.0
60-70 cm		6.1	
60-70 cm		3.7	
Maíz		90 cm	2.0
170 cm		9.5	
300 cm		22.0	
Caña de Azúcar		100 cm	4.0
200 cm		5.0	
300 cm		7.0	
400 cm		9.0	
Maleza		135 cm	14.0
Huerto de naranjas		3.5 m	50.0
Bosque de pinos		5 m	65.0
27 m		300.0	
Bosque de hoja caduca		17 m	270.0

Ejemplo 4

Calcular la velocidad media estimada a 19 metros de altura en un centro urbano, a partir de los datos del aeropuerto con una velocidad media del viento de 3.8 m/s, lectura tomada a 10 m de altura sobre el nivel del terreno.

Solución:

Corrección por rugosidad del terreno.

$$V_{ref} = A_0 * V_{met}$$

$$V_{ref} = 0.35 * 3.8$$

$$V_{ref} = 1.33 \text{ m/s}$$

Corrección por altura (ecuación exponencial):

$$V_H = V_{met} (\delta_{met} / H_{met})^{a_{met}} (H / \delta)^a$$

$$V_H = 3.8 (300 / 10)^{0.15} (19 / 500)^{0.36}$$

$$V_H = 1.95 \text{ m/s}$$

Si se usa la ecuación exponencial directamente con la velocidad de referencia V_{ref} , entonces:

$$V_H = V_{ref} (H / H_{ref})^a$$

$$V_H = 1.33 (19 / 10)^{0.36}$$

$$V_H = 1.676 \text{ m/s}$$

Corrección por altura. (ecuación logarítmica):

$$V_H = V_{ref} \ln(H / Z_0) / \ln(H_{ref} / Z_0)$$

$$V_H = 1.33 \ln(19 / 3) / \ln(10 / 3)$$

$$V_H = 2.039 \text{ m/s}$$

O bien:

$$V^* = 0.12208 V_{met}$$

$$V^* = 0.12208 * 3.8$$

$$V^* = 0.4639$$

$$V_H = V^* / k \ln(H / Z_0)$$

$$V_z = 0.4639 / 0.42 \ln(19 / 3)$$

$$V_z = 2.039 \text{ m/s}$$

De acuerdo al Reglamento de Construcciones del D.F.:

$$k = V_{ref} / H_{ref}^{1/3}$$

$$k = 1.33 / 10^{1/3}$$

$$k = 0.61733$$

$$V_H = k H^{1/3}$$

$$V_H = 0.61733 * 19^{1/3}$$

$$V_H = 1.65 \text{ m/s}$$

La velocidad del viento a 2 metros de altura será:

$$V_2 = V_{ref} (4.87 / \ln (67.8 Z_{ref} - 5.42))$$

$$V_2 = 1.33 (4.87 / \ln (67.8 * 10 - 5.42))$$

$$V_2 = 0.995 \text{ m/s}$$

3. EL VIENTO ALREDEDOR DE LOS EDIFICIOS

Cuando el viento incide sobre un edificio se crea una zona de alta presión en la cara frontal; el viento rodea al edificio originando zonas de baja presión en las caras laterales, posterior y en la superior¹². Estas zonas forman distintos patrones de flujo de aire y turbulencia que es comúnmente llamada "estela o sombra de viento". Los patrones del flujo de aire pueden ser muy complejos dependiendo de la forma y dimensiones del edificio, y de la dirección y velocidad del viento¹³. Si se simplifican estas variables y se considera un paralelepípedo regular con incidencia perpendicular del viento, los patrones pueden ser estimados con relativa facilidad.

La cara frontal o de barlovento, recibirá el choque del viento por lo que se forma una presión positiva o empuje; siendo mayor aproximadamente a dos terceras partes de la altura del edificio o, de acuerdo con Lawson¹⁴, aproximadamente al 70% de su altura. A partir de este punto el viento escapará hacia arriba, hacia los lados y hacia abajo. Al chocar con el piso, el flujo descendente formará un vórtice o remolino y una pequeña zona de flujo inverso o ascendente en la parte más baja de esta cara¹⁵.

En las caras laterales del edificio, así como en la superior, también se forma un vórtice y flujo inverso. En el lado de sotavento, se forma una amplia zona de turbulencia o sombra de viento que puede llegar a tener una longitud de hasta 20 veces la altura del edificio¹⁶. Sin embargo la zona de recirculación o flujo inverso es mucho menor.

3.1 DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE TURBULENCIA

Si se considera al edificio con una altura H , ancho W , y profundidad o largo L , se puede definir un patrón del viento particular basado en las relaciones de la dimensión R ¹⁷:

12 Cf. J.R. García y Víctor Fuentes F., *Viento y arquitectura*, México, Trillas, 1995.

13 Cf. Terry S. Boutet, *Controlling air movement*, Nueva York, McGraw-Hill Book Company, 1987.

14 Tom Lawson, *op. cit.*, p. 50.

15 Esto sucede generalmente cuando la altura del edificio es por lo menos tres veces mayor que su ancho.

16 Basado en ASHRAE Handbook, *Fundamentals* 1993, *op.cit.*, p. 14.2.

17 B.H. Evans, *op. cit.*

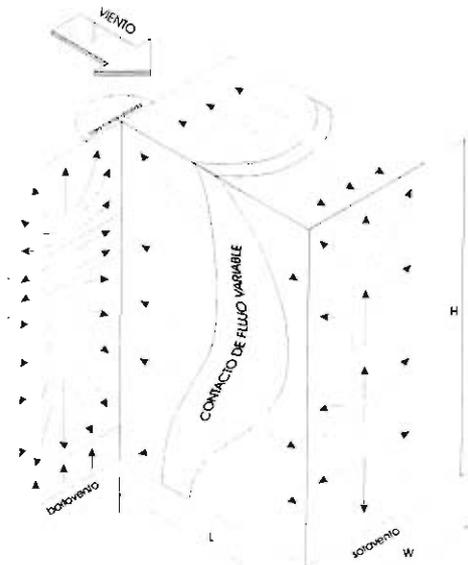


Fig. 6 Patrones del flujo del viento superficial en un edificio¹⁸

$$R = B_s^{0.67} * B_L^{0.33}$$

donde:

R = escala de longitud

B_s = dimensión menor entre H y W

B_L = dimensión mayor entre H y W

cuando B_L > 8 B_s, B_L = 8B_s

La escala de longitud R, también se puede obtener mediante la siguiente expresión¹⁹:

$$R = B_s p^{0.33}$$

donde:

R = escala de longitud

B_s = dimensión menor entre H y W

p = proporción mayor H/W o W/H (dimensión mayor / dimensión menor)

cuando p > 8, entonces p = 8

De tal forma, las "sombras" de viento o de turbulencia quedan definidas de acuerdo a²⁰:

18 ASHRAE Handbook, *Fundamentals* 1993, *op. cit.*, p. 14.1.

19 J.R. García y Víctor Fuentes F., *op. cit.*

20 ASHRAE Handbook, *Fundamentals* 1993, *op. cit.*, p. 14.1.

$$\begin{aligned}
 H_c &= 0.22 R \\
 X_c &= 0.50 R \\
 L_c &= 0.90 R \\
 L_r &= 1.00 R
 \end{aligned}$$

La sombra de viento en sotavento normalmente se extiende aproximadamente entre 5 y 12 veces la altura del obstáculo o edificio, L_r se refiere a la zona de recirculación o reflujo mínimo del viento.

La primera zona de "recirculación" en la techumbre (Z1) queda definida por H_c , L_c y X_c . La segunda zona de "alta turbulencia" (Z2) se define a partir de H_c con una relación 1:10, es decir con una inclinación de 5.7° . Para determinar la distancia (L_{z2}), a partir de la fachada de sotavento, en donde la zona de turbulencia Z2 incide en el suelo, se puede usar:

$$L_{z2} = ((H + H_c) / 0.1) - (L - X_c)$$

donde:

L_{z2} = distancia a partir de la fachada de sotavento del edificio donde Z2 incide en el suelo.

La relación de esta distancia o sombra de viento con respecto a la altura será por lo tanto:

$$L_{z2} / H$$

La tercera zona (Z3), "estela de viento" generada por el edificio queda definida por los puntos encontrados con la fórmula:

$$Z3 / R = 0.28 (x/R)^{0.33}$$

donde:

x = distancia a partir del vértice de barlovento del edificio donde se forma la turbulencia.

La zona de recirculación de sotavento queda definida por L_r , es decir con una longitud igual a R . Cabe señalar que la capa límite en donde el viento no es afectado por el edificio se presenta a partir de una distancia aproximada de $1.5 R$ por arriba de la techumbre.

Ejemplo 5

Encontrar las dimensiones de las zonas de recirculación o turbulencia del viento al incidir perpendicularmente sobre un edificio de 7 m de altura (H), con un ancho de fachada frontal al viento de 12 m (W) y un largo o profundidad de 8 m (L).

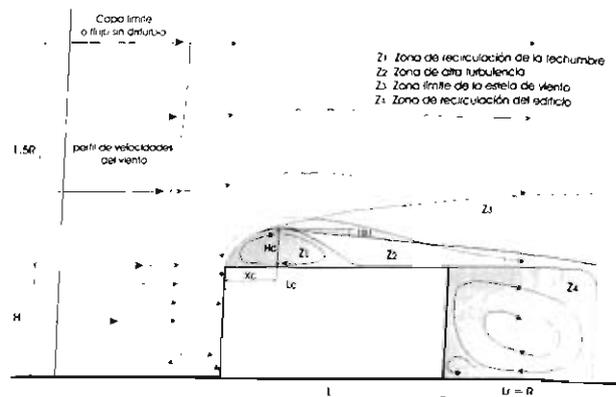


Fig. 7 Zonas de turbulencia y recirculación originadas por el choque del viento en un edificio²¹

$$R = B_s^{0.67} * B_L^{0.33}$$

$$R = 7^{0.67} * 12^{0.33}$$

$$R = 8.36$$

O también:

$$R = B_s p^{0.33}$$

$$R = 7 (12/7)^{0.33}$$

$$R = 8.36$$

Por lo tanto:

$$H_c = 0.22 (8.36) = 1.84 \text{ m}$$

$$X_c = 0.50 (8.36) = 4.18 \text{ m}$$

$$L_c = 0.90 (8.36) = 7.52 \text{ m}$$

$$L_r = 1.00 (8.36) = 8.36 \text{ m}$$

$$L_{Z2} = ((H + H_c) / 0.1) - (L - X_c)$$

$$L_{Z2} = ((7 + 1.84) / 0.1) - (8 - 4.18)$$

$$L_{Z2} = 84.58 \text{ m}$$

Relación sombra de viento Z_2 con respecto a la altura:

$$L_{Z2} / H$$

$$84.58 / 7 = 12.08$$

21 Basado en ASHRAE Handbook, *Fundamentals* 1993, op. cit., p. 14.2.

Altura de la "estela de viento" zona (Z3) a la distancia L y a partir del nivel de la azotea:

$$Z3 / R = 0.28 (L/R)^{0.33}$$

$$Z3 = 8.36 (0.28 (8/8.36)^{0.33})$$

$$Z3 = 2.31 \text{ m}$$

Altura de capa límite o sin perturbación a partir del suelo:

$$CL = 1.5 R + H$$

$$CL = (1.5 * 8.36) + 7$$

$$CL = 19.54 \text{ m}$$

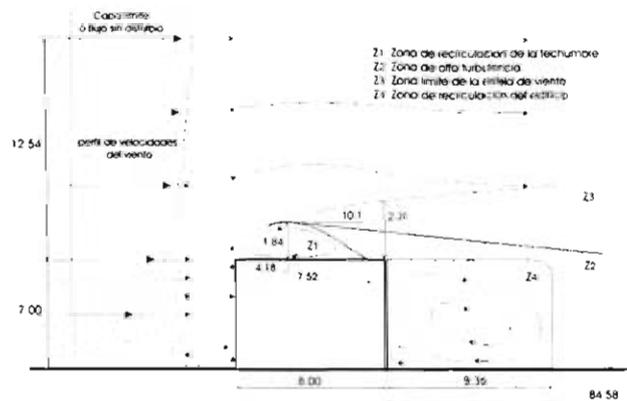


Fig. 8 Zonas de turbulencia y recirculación para el ejemplo 5

En caso de que la dimensión L_c sea mayor a la longitud total del edificio L , entonces:

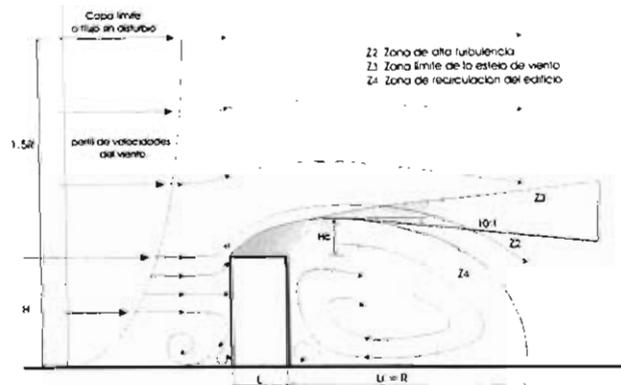


Fig. 9 Zonas de turbulencia y recirculación originadas por el choque del viento en un edificio angosto²²

22 *Idem.*

4. VENTILACIÓN NATURAL EN EL INTERIOR DE LOS ESPACIOS

“Ventilación es el proceso de suministrar aire, natural o acondicionado y removerlo de cualquier espacio por cualquier método”²³. De manera simple se puede decir que la ventilación es el intercambio de aire en un espacio. Este intercambio puede darse de tres maneras: por *ventilación natural*, por *infiltración* o por *ventilación forzada*.

La *ventilación natural* se refiere al intercambio de aire que se da de manera intencional a través de las aberturas de los espacios, ya sean puertas, ventanas, vanos, tiros, etc. La ventilación natural puede ser originada por dos causas: por presiones debidas al viento y por diferencias de temperatura, y por lo tanto de densidad del aire, entre el exterior y el interior. Ambas fuerzas pueden actuar de manera independiente o combinadas.²⁴

La *infiltración* se refiere al intercambio de aire que se da de manera no controlada y no intencional a través de aberturas, fisuras o ranuras de la edificación. Al igual que la ventilación natural, la infiltración puede ser provocada por presiones de viento o por diferencias térmicas. A pesar de que la infiltración no es controlada y por lo tanto poco confiable es una fuente de ventilación importante en las edificaciones, sobre todo en aquellas localidades donde, por su clima o deficiencias tecnológicas, no se pone atención a los sellos, trampas o esclusas contra la infiltración del aire.

La *ventilación forzada* es aquella que utiliza sistemas mecánicos para lograr el intercambio de aire. Desde luego este tipo de ventilación es sobre el cual se tiene más control, tanto en el flujo de intercambio de aire, su distribución y acondicionamiento artificial. Sin embargo es el menos recomendable desde el punto de vista de la salud, bienestar y confort de los ocupantes, así como por su alto consumo energético.

La ventilación es necesaria por dos razones fundamentales: para renovar el aire de los espacios y con fines de climatización.

23 Terry S. Boutet, *op. cit.*

24 A veces se introduce el término de *ventilación inducida*, refiriéndose al intercambio de aire provocado al inducir intencionalmente diferencias de temperatura en la edificación. Este tipo de intercambio corresponde a la ventilación natural.



4.1 RENOVACIÓN DEL AIRE

La renovación del aire tiene como objetivo primordial garantizar la calidad del aire interior de los espacios. Esto se logra por medio de la oxigenación y la dilución o extracción de los contaminantes.

A través de la renovación del aire se provee de oxígeno a los espacios; éste es un elemento vital. En los espacios cerrados y con ocupación, el oxígeno se va agotando debido a los procesos naturales de la respiración, por lo tanto es necesario renovar el aire pobre con aire más rico en oxígeno.

Generalmente se piensa que los únicos contaminantes interiores son el CO₂ generado por la respiración, los olores desagradables y el humo de cigarro, pero en realidad existen muchas fuentes generadoras de contaminantes en los espacios interiores. Además se debe conocer la calidad del aire exterior que se pretende usar para la ventilación, ya que éste puede también estar contaminado. La tabla 15 muestra los principales elementos contaminantes y sus fuentes:

Tabla 15. Contaminantes del Aire en los Interiores

Fuente	Tipo de contaminantes
EXTERIOR	
Aire	SO ₂ , NO, NO ₂ , O ₃ , hidrocarburos, CO,
Motores de vehículos	CO, Pb, hidrocarburos, partículas
Suelo	Radón, orgánicos
INTERIOR	
Materiales de construcción	
Concreto, piedras	Radón
Radón	Formaldehídos
Aglomerados y laminados de madera	Formaldehídos, fibra de vidrio
Aislantes	Asbestos
Retardadores de fuego	Orgánicos
Pegamentos	Mercurio, materia orgánica
Pinturas	
Elementos interiores del edificio	
Calentamiento y cocina	CO, NO, NO ₂ , formaldehídos
Aparatos de combustión	Partículas y orgánicos
Mobiliario	Orgánicos
Servicio de agua, gas natural	Radón
Ocupación humana	
Actividad metabólica	H ₂ O, CO ₂ , NH ₃ , olores

Actividad humana	
Tabaco	CO, NO ₂ , orgánicos
Aerosoles	Fluorocarbono, cloruro de vinilo, orgánicos
Productos de cocina y de limpieza	Orgánicos, NH ₃ , olores
Ocupaciones y pasatiempos	Orgánicos
Materia orgánica húmeda	
Agua estancada	Bio-aerosoles
Tuberías de desagüe	
Humidificadores	

La renovación del aire es una eficaz estrategia para remover o diluir los principales tipos de contaminantes:

Olores

El sentido del olfato del hombre es muy sensible y permite percibir concentraciones muy bajas de olores. Desde luego, la sensibilidad varía en cada persona. Existen muchos olores tóxicos y no tóxicos que provocan disconfort, muchos de ellos pueden ser originados por productos químicos u orgánicos usados en las edificaciones (productos de limpieza, de cocina, insecticidas, solventes, pinturas, pegamentos, etc.), lo mejor es almacenarlos en lugares aislados y bien ventilados lejos de los espacios habitables²⁵. Sin embargo muchos de los olores desagradables no tóxicos provienen del cuerpo humano. Los olores del cuerpo provienen de la secreción de gases orgánicos y vapores a través de la piel. Uno de sus principales componentes es el ácido butírico, el cual puede ser percibido en concentraciones tan bajas como 9×10^{-6} mg/cm³ de aire²⁶.

En estudios realizados por Yaglou²⁷ encontró que "la recirculación fue efectiva para diluir los olores"; variaciones de juicio no son atribuibles a diferencias de sexo; los niños necesitan mayores grados de ventilación.

Un factor importante es la *densidad de ocupación por persona*; cuando el suministro de aire es constante, la intensidad de los olores del cuerpo varía inversamente al logaritmo del volumen de aire.

Los *factores socio-económicos* también son importantes para determinar los requerimientos de ventilación por olores, ya que intervienen factores tales como la frecuencia del baño, lavado de ropa, hábitos de vestir, tipo de trabajo desarrollado, tipo de alimentación, etc.

25 Cf. Manuel Rodríguez Viqueira, *Estudios de arquitectura bioclimática*, cap. "Confort olfativo y calidad del aire en la arquitectura", vol. IV, Anuario 2002, México, UAM-A/Limusa, 2002, p. 159.

26 Derek Croome y Brian Roberts, *Airconditioning and ventilation of buildings*, Oxford, Pergamon Press, 1981, p. 167.

27 C.P. Yaglou *et al.*, ASHRAE, Trans. 42, 133-58 (1955), citado por Derek Croome y Brian Roberts, *op. cit.*

Tabla 16. Requerimientos mínimos de ventilación (en función de olores)

Volumen de aire por persona (m ³)	Requerimientos mínimos de ventilación			
	Adulto		niño	
	(l/s)	m ³ /h	(l/s)	m ³ /h
13.4	3.3	11.9	5.7	20.5
5.7	7.5	27.0	9.9	35.6
2.8	11.8	42.5	13.7	49.3

Contaminación por humo de cigarro

Los principales contaminantes e irritantes del humo de tabaco son el monóxido de carbono, los aldehídos, especialmente la acroleína, piridina, amonio, algunos hidrocarburos, nicotina, óxidos de nitrógeno y partículas de humo.

La tabla 17 muestra una comparación entre las cantidades de aire fresco recomendadas en Gran Bretaña y los Estados Unidos, en función del humo de tabaco²⁸.

Tabla 17. Cantidades de aire fresco recomendadas en Gran Bretaña y Estados Unidos

Ejemplos de aplicación	Intensidad en el fumar	Gran Bretaña CIBS Guide (1978)	Estados Unidos de América ASHRAE Guide (1972)	
			MÍNIMO	RECOMENDADO
		(m ³ /h por persona)		
Fábricas, tiendas, departamentales	Sin Fumar ligero	29	8.5	13
Residencias	variable		42.5	68
Oficinas	intermedia	43	17	34
Restaurantes	intensa	43	25	51
Sala de juntas	intensa	65	51	85
		90		

Notas:

El anteproyecto de Código de Práctica de los Estándares Británicos refiere una cantidad de dilución de humo de 10m³/cigarrillo

El mínimo flujo de aire para mantener el monóxido de carbono por debajo de 9 ppm es 12 m³/h por fumador en Gran Bretaña y de 20 m³/h por fumador en Estados Unidos.

²⁸ Derek Croome y Brian Roberts, *op. cit.*

Dióxido de Carbono

El dióxido de carbono producido en el interior de los espacios se origina principalmente por el proceso de respiración. Cuando el dióxido de carbono es muy elevado, se empieza a acumular en la sangre y en los tejidos provocando efectos nocivos en las personas, es por ello que la concentración de dióxido de carbono debe mantenerse por debajo de 0.1 %, es decir por debajo de 1,000 ppm. Algunos efectos que se presentan al rebasar esta cifra se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 18. Efectos objetivos y subjetivos en el hombre ante la exposición de Dióxido de Carbono²⁹

% de CO ₂	Efectos
0 - 1	Ningún efecto percibido
1.5 - 2	Escasamente perceptible. El ritmo respiratorio se incrementa ligeramente. Ningún efecto en las capacidades de ejercicio. El pH arterial desciende inicialmente, pero se adapta con la exposición continua. Exposición prolongada puede provocar acidosis.
2-3	Efectos perceptibles. Las personas están conscientes del incremento en el ritmo respiratorio. Subjetivamente se dificulta al hacer ejercicios severos. Se presenta dolor de cabeza en individuos sensibles, durante las primeras 24 o 48 horas de exposición. El pH arterial disminuye inicialmente, pero regresa a niveles normales ante la exposición continua.
3 - 4	Efectos notables. Se duplica el ritmo respiratorio. Más dificultad subjetiva al hacer ejercicios moderados. Se incrementa la incidencia de dolores de cabeza. El pH arterial inicialmente se incrementa, pero regresa a niveles normales. Grado de compensación indefinido. Ligera pérdida de los umbrales de audición. Marcada variabilidad en las reacciones al CO ₂ . Posible afectación en la atención.
4 - 7	Disminución en la eficiencia de algunas tareas mentales. Disminución significativa en la frecuencia del parpadeo. Dolor de cabeza y ojos irritados.
10	Inquieto, confundido, apatía progresiva. Posible pérdida de conciencia.

Nota: Concentraciones de 0.1%, 1%, y 10% equivalen a 1,000, 10,000 y 100,000 ppm respectivamente.

La producción de CO₂ de las personas depende de su grado de actividad y por lo tanto de su grado metabólico y ritmo respiratorio. Las tasas de producción para distintos grados de actividad se muestran en la tabla siguiente³⁰:

²⁹ Randel Glatte *et al.*, citados por Derek Croome y Brian Roberts, *op. cit.*, p. 173.

³⁰ BRE Digest, 206, 1977, citados por Derek Croome y Brian Roberts, *idem*.

Tabla 19. Tasa de producción de CO₂

Fuente	Actividad	CO ₂		Vapor de agua
		l/s por persona	m ³ /h por persona	g/h por persona
Fisiológica Actividad adulta	Descansando	0.0041	0.015	30
	Trabajo ligero	0.006 – 0.013	0.022 – 0.047	40
	Trabajo moderado	0.013 – 0.020	0.047 – 0.072	40
	Trabajo pesado	0.020 – 0.026	0.072 – 0.094	
	Trabajo muy pesado	0.026 – 0.032	0.094 – 0.115	

Cálculo de la ventilación (para renovación del aire)

La concentración de los contaminantes depende del tipo de fuente contaminante y de cómo es removido; si se considera que la fuente es suficientemente estable durante un periodo prolongado y que la ventilación es el único medio de dilución o remoción, la concentración del contaminante se puede estimar por medio de³¹:

$$C_i = C_o + S / Q_{oa}$$

donde:

C_i = concentración interior (estado-constante) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C_o = concentración exterior ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

S = potencia total de la fuente contaminante ($\mu\text{g}/\text{s}$)

Q_{oa} = tasa de ventilación (m^3/s)

De tal forma, la tasa de ventilación en una situación de régimen estacionario de producción de CO₂, en función del umbral permitido es:

$$Q_{oa} = S / C_i - C_o$$

donde:

Q_{oa} = tasa de ventilación (m^3/h)

S = tasa de emisión contaminante (m^3/h)

C_i = concentración de gas - límite permitido (%)

C_o = concentración del gas del aire que se introduce (%)

31 ASHRAE Handbook, *Fundamentals*, Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001, p. 26.9.

Cf. Givoni Baruch, *Man, climate and architecture*, Londres, Applied Science Publishers, 1981, p. 265, para ver fórmula original.

Para efectos de esta fórmula se considera que:

El aire puro contiene aproximadamente una proporción de 0.03 % de CO₂

El aire normal en áreas pobladas contiene aproximadamente una proporción de 0.05% de CO₂

En zonas urbanas esta concentración puede elevarse hasta 0.07 o 0.1% de CO₂.

Los efectos nocivos se presentan al rebasar el 0.1% de CO₂ (límite máximo permitido).

Recordemos también que:

Un adulto en reposo emite $S = 0.015 \text{ m}^3/\text{h}$ de CO₂ (ver tabla 19)

Ejemplo 6

Determinar la tasa de ventilación para una persona, si se fija como límite el umbral de $C_i = 0.1 \%$ y se utiliza para la ventilación un aire puro $C_o = 0.03 \%$:

$$\begin{aligned}Q_{oa} &= S / C_i - C_o \\Q_{oa} &= 0.015 / (0.001 - 0.0003) \\Q_{oa} &= 21.4 \text{ m}^3/\text{h} \text{ por persona.}\end{aligned}$$

Es decir que 21.4 m³/h por persona es el requerimiento mínimo de ventilación para mantener el CO₂ por debajo del límite de 0.1%. Esto suponiendo que la renovación se hace con aire puro. Considerando un aire normal el requerimiento será de 30 m³/h mientras que si se cuenta con un aire urbano el requerimiento mínimo por persona asciende a 50 m³/h.

Ejemplo 7

Determinar la tasa de ventilación y los cambios de aire necesarios para que el aire de una habitación de 50 m³, ubicada en un centro urbano, ocupada por dos personas haciendo un trabajo ligero, no sobrepase el umbral de 1% de CO₂;

Solución:

$$\begin{aligned}Q_{oa} &= S / C_i - C_o \\Q_{oa} &= 2 (0.022 / (0.001 - 0.0007)) \\Q_{oa} &= 146.7 \text{ m}^3/\text{h}\end{aligned}$$

Determinar el número de cambios de aire:

$$\begin{aligned}N &= Q_{oa} / \text{vol} \\N &= 146.7 / 50 \\N &= 2.934 \text{ cambios de aire por hora}\end{aligned}$$

4.2 VENTILACIÓN CON FINES DE CLIMATIZACIÓN

Además de la renovación, la cual se hace con fines de mantener las condiciones de calidad del aire en los interiores, también se utiliza la ventilación con el fin de proporcionar condiciones térmicas confortables. La climatización de los espacios a través de la ventilación se logra de dos maneras: primero, al hacer pasar el viento por sobre los ocupantes. El aire al entrar en contacto con la piel de las personas provocará la sensación de enfriamiento porque absorbe calor por convección y porque facilita y acelera la evaporación del sudor. En el cambio de fase del sudor, de estado líquido a gaseoso, se absorberá calor de la superficie de la piel. En segundo lugar, la ventilación removerá el aire más caliente del interior sustituyéndolo por aire más fresco del exterior, al mismo tiempo que se enfriará la estructura del edificio, también por medio de procesos convectivos.

4.2.1 Ventilación debida a la presión del viento (ventilación cruzada)

Para que pueda darse la ventilación es necesario que haya ventilación cruzada. Este tipo de ventilación se logra únicamente cuando existen dos ventanas; una tiene que estar ubicada forzosamente en el lado de barlovento (presión positiva), ya que es por donde entrará el viento. La otra ventana debe estar en sotavento o en cualquier zona de presión negativa, ya que de otra manera el viento no podrá salir y por lo tanto el flujo de ventilación no se establecerá. Las habitaciones con una sola ventana tendrán ventilación deficiente. En todo caso se pueden diseñar dispositivos de ventilación que propicien la formación de presiones positivas y negativas para que se pueda establecer un flujo de ventilación.

Existen básicamente dos métodos para calcular la tasa de ventilación (cruzada), éstos son:

En función de las diferencias de presión

El flujo de aire a través de una habitación o un edificio, se establece en función de las diferencias de presión en los lados de barlovento y sotavento.

La presión del viento en barlovento se puede estimar mediante la ecuación de Bernoulli³²:

$$p_w = \frac{1}{2} \rho v^2$$

32 Francis Allard (ed.) et al., *Natural ventilation in buildings*, Londres, A Design Handbook, James & James, 1998, p. 27.

donde:

p_w = presión dinámica del viento (Pa)

ρ = densidad del aire ambiente –exterior– (kg/m³)

Para una temperatura de 20 °C al nivel del mar (1 atm) la densidad del aire es aproximadamente $\rho = 1.2$ kg/m³

v = velocidad del viento (m/s)

Para edificios altos, suele tomarse la velocidad a la altura (H) total del edificio

De manera simplificada y considerando una densidad media del aire Szokolay³³ sugiere utilizar directamente:

$$p_w = 0.612 v^2$$

Si se quiere determinar la presión en función de una densidad de aire determinada, entonces hay que recordar que la densidad del aire a cierta temperatura se puede estimar mediante³⁴:

$$\rho = 1.293 * 273.15 / T_k$$

donde:

1.293 = ρ_0 densidad referencia (kg/m³)

273.15 = T_0 temperatura de referencia (K)

T_k = temperatura del aire (expresada en K –temperatura absoluta–)

La presión no es uniforme a lo largo de toda la fachada, ni en barlovento ni en sotavento. El valor de la presión del viento a lo largo de la fachada se determina en función del “coeficiente de presión” en cualquier punto. Cuando el viento es perpendicular a la fachada, en el lado de barlovento del edificio se pueden presentar presiones entre 0.5 y 1.0 p_w , presentándose el valor máximo aproximadamente al 70% de la altura; mientras que en la fachada de sotavento, la presión negativa estará entre –0.3 y –0.4 p_w ; ambas, dependiendo del punto de ubicación en la fachada, de la dirección del viento o ángulo de incidencia y los efectos aerodinámicos particulares de la edificación debido a su forma.

33 Steven Szokolay y Michael Docherty, *Climate analysis*, Australia, PLEA & The University of Queensland, 1999, p. 43. También referido por Derek Croome y Brian Roberts, *op. cit.*, p. 155.

34 Steven Szokolay y Michael Docherty, *op. cit.*, p. 42.

Como valores promedio de toda la fachada, el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal³⁵ define los siguientes valores de Coeficiente de Presión:

**Tabla 20. Coeficientes de presión
Reglamento de Construcciones del D.F.**

Elemento constructivo	Coeficiente de presión Cp
Pared de barlovento	0.8
Pared de sotavento	-0.5
Paredes laterales	-0.7
Techo plano	-0.7
Techo inclinado (acción paralela a la generatriz)	-0.7
Techo inclinado, lado de sotavento	-0.7
Techo inclinado, lado de barlovento $\Theta < 20^\circ$	$-0.8 < 0.04\Theta - 1.6 < 1.8$

Θ = ángulo de inclinación del techo en grados

Para cubiertas curvas, el mismo reglamento define los coeficientes de presión en función de la relación entre la flecha y la cuerda del arco, es decir:

$$r = f / c$$

donde:

r = relación de arco

f = flecha del arco (m)

c = cuerda del arco (m)

De esta forma los coeficientes de presión para las distintas secciones del arco son:

**Tabla 21. Coeficientes de presión para techos curvos
Reglamento de Construcciones del D.F.**

Relación $r = f/c$	A = ¼ parte del arco en barlovento	B = 2/4 partes del arco, parte superior	C = ¼ parte del arco en sotavento
$r < 0.2$	-0.8	-0.7 - r	-0.5
$0.2 < r < 0.3$	$5r - 1.8$		
$r > 0.3$	$2.7r + 0.7$		
Para cubiertas curvas apoyadas directamente sobre el suelo (cualquier r)	$1.4r$		

35 Luis Arnal S., *Reglamento de Construcciones del D.F.*, México, Trillas, 1991. Normas Técnicas Complementarias: Diseño por viento, p. 401.

Para determinar el Coeficiente de presión de manera precisa en cada punto del edificio, es conveniente realizar pruebas en túnel de viento. De manera muy simplificada y con las reservas del caso, el coeficiente de presión para las fachadas de barlovento, con viento perpendicular, se puede estimar a través de una aproximación aritmética, de la siguiente manera:

Para edificios altos verticales ($H > 3W$)

Para estimar el C_p de un punto dado, se debe determinar un coeficiente vertical (C_{p_h}) y otro horizontal (C_{p_x}). El coeficiente total será el menor de los dos valores estimados. Proceda de la siguiente manera:

Coeficiente vertical

La altura del punto de cálculo se introducirá de manera relativa con respecto a la altura total del edificio, es decir:

$$h_r = (h/H) 100$$

donde:

h_r = altura relativa

h = altura del punto de cálculo (m)

H = altura total del edificio (m)

Para $h_r < 70$

$$C_{p_h} = 0.65 + 0.005 h_r$$

Para $h_r > 70$

$$C_{p_h} = 1 - (0.01166667 (h_r - 70))$$

Coeficiente horizontal

La distancia horizontal del punto de cálculo se introducirá de manera relativa con respecto al ancho total de la fachada, es decir:

$$x_r = (x/W) 100$$

donde:

x_r = distancia relativa

x = distancia del punto de cálculo (m)

W = ancho total del edificio (m)

Para $x_r < 50$

$$C_{p_x} = 0.5 + 0.01 x_r$$

Para $x_r > 50$

$$C_{p_x} = 1 - (0.01 (x_r - 50))$$

Donde el valor C_p del punto de cálculo, será el menor valor entre C_{p_h} y C_{p_x}

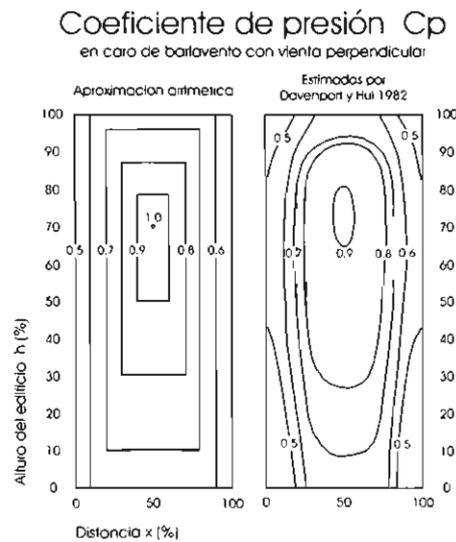


Fig. 10 Comparación de Coeficientes de presión, estimada y medida por Davenport y Hui

Para edificios horizontales ($W > 3H$)

Al igual que en los edificios verticales, para estimar el C_p de un punto dado, se debe determinar un coeficiente vertical (C_{p_h}) y otro horizontal (C_{p_x}). El coeficiente total será el menor de los dos valores estimados. Proceda de la siguiente manera:

Coeficiente vertical

La altura del punto de cálculo se introducirá de manera relativa con respecto a la altura total del edificio, es decir:

$$h_r = (h/H) 100$$

donde:

h_r = altura relativa

h = altura del punto de cálculo (m)

H = altura total del edificio (m)

Para $h_r < 70$

$$C_{p_h} = 0.7 + (0.3 h_r / 70)$$

Para $h_r > 70$

$$C_{p_h} = 1 - (0.01 (h_r - 70))$$

Coeficiente horizontal

La distancia horizontal del punto de cálculo se introducirá de manera relativa con respecto al ancho total de la fachada, es decir:

$$x_r = (x/W) 100$$

donde:

x_r = distancia relativa

x = distancia del punto de cálculo (m)

W = ancho total del edificio (m)

Para $x_r < 50$

$$Cp_x = 0.65 + 0.007 x_r$$

Para $x_r > 50$

$$Cp_x = 1 - (0.007 (x_r - 50))$$

Donde el valor Cp del punto de cálculo, será el menor valor entre Cp_h y Cp_x

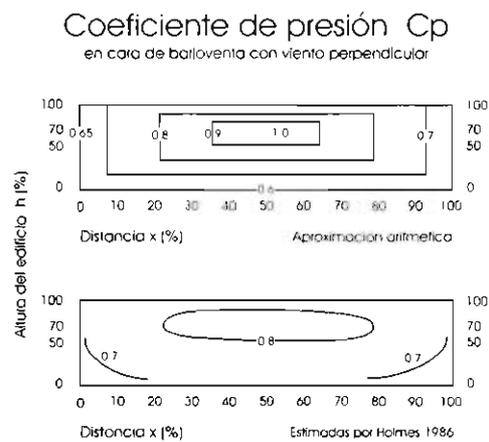


Fig. 11. Comparación de Coeficientes de presión, estimada y medida por Holmes

El método descrito es exclusivamente para viento perpendicular a la fachada, pero hay que recordar que el coeficiente de presión varía dependiendo del ángulo de incidencia y de acuerdo a las características particulares de la edificación. Algunos datos experimentales de Cp para distintos ángulos de incidencia se pueden observar en la siguiente tabla 22.

Tabla 22. Coeficiente de presión C_p medio, en función del ángulo de incidencia del viento³⁶

elemento	relación	ángulo de incidencia															
		0	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5
Muro	1:1	0.7	0.525	0.35	-0.075	-0.5	-0.45	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.4	-0.45	-0.5	-0.075	0.35	0.525
Techo plano	1:1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
Techumbre, pendiente <10°	1:1	-0.8	-0.75	-0.7	-0.65	-0.6	-0.55	-0.5	-0.45	-0.4	-0.45	-0.5	-0.55	-0.6	-0.65	-0.7	-0.75
Techumbre, pendiente 10° - 30°	1:1	-0.4	-0.45	-0.5	-0.55	-0.6	-0.55	-0.5	-0.45	-0.4	-0.45	-0.5	-0.55	-0.6	-0.55	-0.5	-0.45
Techumbre, pendiente >30°	1:1	-0.3	-0.35	-0.4	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	-0.45	-0.5	-0.45	-0.4	-0.5	-0.6	-0.55	-0.4	-0.35
Muro largo	2:1	0.5	0.375	0.25	-0.125	-0.5	-0.65	-0.6	-0.75	-0.7	-0.75	-0.8	-0.65	-0.5	-0.125	0.25	0.375
Muro corto	1:2	-0.9	-0.35	0.2	0.4	0.6	0.4	0.2	-0.35	-0.9	-0.75	-0.6	-0.475	-0.35	-0.475	-0.6	-0.75
Techumbre, pendiente <10°	2:1	-0.7	-0.7	-0.7	-0.75	-0.8	-0.75	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.75	-0.8	-0.75	-0.7	-0.7
Techumbre, pendiente 10° - 30°	2:1	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.65	-0.6	-0.55	-0.5	-0.55	-0.6	-0.65	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7
Techumbre, pendiente >30°	2:1	0.25	0.125	0	-0.3	-0.6	-0.75	-0.9	-0.85	-0.8	-0.85	-0.9	-0.75	-0.6	-0.3	0	0.125

36 Francis Allard (ed.) *et al.*, *op. cit.*

La presión del viento resultante para cada punto particular del edificio será entonces igual al producto de la presión máxima del viento (p_w) (estimada con la velocidad del viento que se presenta en el punto más elevado de edificio, es decir a la altura H), por el coeficiente de presión del punto específico, es decir³⁷:

$$p_w = C_p (0.5 \rho v^2)$$

O bien:

$$p = p_w C_p$$

Una vez determinadas las presiones sobre el punto específico de la fachada (donde se encuentran las ventanas), el rango del volumen de flujo, o tasa de ventilación que pasa por la ventana se estima de la siguiente manera:

$$Q = 0.827 A (\Delta p)^{0.5}$$

donde:

Q = tasa de ventilación (m^3/s)

A = área de la abertura de ventilación (m^2)

Δp = diferencia de presiones entre las dos aberturas de ventilación cruzada (Pa), es decir la diferencia entre la presión de barlovento y sotavento.

La gráfica inferior³⁸ muestra las diferencias de presión en función de la altura de un edificio o punto analizado, considerando un viento meteorológico de 4.0 m/s. a 10 metros de altura en campo abierto. Aunque no son datos precisos, ofrecen información básica para el desarrollo de cálculos generales.

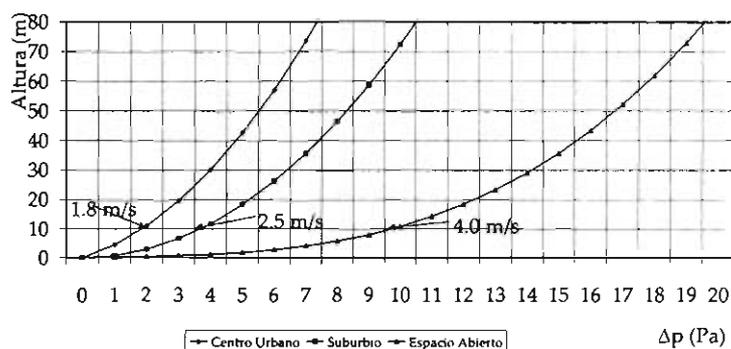


Fig. 12 Diferencias de Presión del Viento para 4.0 m/s de velocidad meteorológica

37 Cf. *Natural ventilation in non-domestic buildings*. Application manual AM10:1997, Londres, CIBSE, 1997, p. 51.

38 Adaptado de BRE Digest 399, citado en *Natural ventilation in non-domestic buildings*, op. cit., p. 41.

La velocidad del viento a través de la ventana será por lo tanto:

$$v = Q / A$$

El "British Standard Method" propone la siguiente fórmula para calcular la ventilación a través de un sistema de ventanas:

$$Q = C_D A_e v (\Delta C_p)^{0.5}$$

donde:

Q = tasa de ventilación (m³/s)

C_D = Coeficiente de descarga de las aberturas

A_e = área efectiva de ventilación (m²)

v = velocidad del viento (m/s)

ΔC_p = diferencia de Coeficientes de presión (Pa), es decir la diferencia entre el C_p de barlovento y el C_p de sotavento.

El coeficiente de descarga considera la viscosidad del aire así como la turbulencia que se genera cerca de las aberturas, por lo tanto está en función de la diferencia de temperaturas del aire interior y exterior, la velocidad del viento y la geometría de las aberturas. En términos generales el coeficiente de descarga se puede considerar como "0.65 para aberturas pequeñas, mientras que para las aberturas grandes el coeficiente se acerca a la unidad. Un valor medio para aberturas estándar es C_D = 0.78"³⁹

Cuando las ventanas de entrada y de salida no son del mismo tamaño debe considerarse el "área efectiva" (A_e), la cual se obtiene mediante:

$$1 / A_e^2 = (1 / A_1^2) + (1 / A_2^2)$$

O bien mediante⁴⁰:

$$A_e = (A_1 A_2) / (A_1^2 + A_2^2)^{0.5}$$

39 Francis Allard (ed.) *et al.*, *op. cit.*, p. 101.

40 T.A. Markus y E.N. Morris, *Buildings, climate and energy*, Londres, Pitman, 1980.

Ejemplo 8

Para un edificio con una fachada expuesta al viento (barlovento) de 10 metros de ancho por 30 de alto, determinar el coeficiente de presión C_p para una ventana que se encuentra a $x=4$ metros a partir del límite de la fachada y a $h=10$ metros de altura.

Edificio predominantemente vertical

Altura relativa del punto por analizar:

$$h_r = (10/30) 100$$
$$h_r = 33.3 \%$$

$$C_{p_h} = 0.65 + 0.005 * 33.3$$
$$C_{p_h} = 0.816$$

Distancia relativa x :

$$x_r = (3/10) 100$$
$$x_r = 30 \%$$
$$C_{p_x} = 0.5 + 0.01 * 30$$
$$C_{p_x} = 0.80$$

Dado que $C_{p_x} < C_{p_h}$, entonces:

$$C_p = 0.80$$

Ejemplo 9

Para la ventana del ejemplo 7, determinar la presión del viento, la tasa de ventilación y la velocidad entrante; suponiendo una velocidad meteorológica de viento de 1.4 m/s y un área de ventana de 1.3 m², cuando el edificio está situado en un Centro Urbano.

Solución

Por tratarse de un edificio alto debe considerarse la velocidad a la altura total del edificio. Ya que la velocidad meteorológica se establece a 10 metros de altura por lo que la velocidad a 30 m, altura total del edificio es:

$$V_H = V_{ref} \ln (H / Z_0) / \ln(H_{ref} / Z_0)$$
$$V_{30} = 1.4 \ln (30 / 3) / \ln(10 / 3)$$
$$V_{30} = 1.4 \cdot 2.302585093 / 1.203972804$$
$$V_{30} = 2.68 \text{ m/s}$$

Según el Reglamento de Construcciones del D.F.:

$$k = V_{ref} / H_{ref}^{1/3}$$

$$k = 1.4 / 10^{1/3}$$

$$k = 0.65$$

$$V_H = k H^{1/3}$$

$$V_{30} = 0.65 * 30^{1/3}$$

$$V_{30} = 2.02 \text{ m/s}$$

La presión del viento en la ventana de barlovento será:

$$p_w = 0.612 v^2$$

$$p_w = 0.612 * 2.68^2$$

$$p_w = 4.395 \text{ Pa}$$

$$p = p_w C_p$$

$$p = 4.395 * 0.8$$

$$p = 3.516 \text{ Pa}$$

La presión del viento en la ventana de sotavento será:

$$p = p_w C_p$$

$$p = 4.395 * -0.3$$

$$p = -1.3185 \text{ Pa}$$

Por lo tanto la tasa de ventilación será:

$$Q = 0.827 A (\Delta p)^{0.5}$$

$$Q = 0.827 * 1.3 * (3.516 - (-1.3185))^{0.5}$$

$$Q = 0.827 * 1.3 * (4.8345)^{0.5}$$

$$Q = 2.364 \text{ m}^3/\text{s}$$

La velocidad del viento a través de la ventana será por lo tanto:

$$v = Q / A$$

$$v = 2.364 / 1.3$$

$$v = 1.8184 \text{ m/s}$$

Siguiendo el método Británico:

$$Q = C_D A v (\Delta C_p)^{0.5}$$

$$Q = 0.65 \times 1.3 \times 2.68 (0.8 - (-0.3))^{0.5}$$

$$Q = 2.375 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ventilación en función del flujo de viento que pasa por una abertura

En el caso de la ventilación cruzada, la tasa de ventilación según ASHRAE⁴¹ se obtiene mediante:

$$Q = C_v A_e v$$

donde:

Q = tasa de ventilación (m³/s)

C_v = efectividad de las aberturas (C_v = 0.5 a 0.6 para viento perpendicular, y 0.25 a 0.35 para viento diagonal)

A_e = área libre de la abertura de entrada de viento (m²)

v = velocidad del viento (m/s)

Esta fórmula coincide con la propuesta por Víctor Olgyay⁴², con la diferencia que establece un factor de relación entre las aberturas de entrada y salida de aire, para definir la efectividad de las aberturas en caso de que éstas no sean de la misma dimensión. De tal forma que:

$$C_v = 0.6 \text{ fr}$$

De acuerdo a Olgyay, el factor de relación (fr) de aberturas se obtiene de la siguiente tabla:

Tabla 23. Factor de relación de ventanas

área de salida / área de entrada	factor de relación (fr)
5:1 = 5	1.40
4:1 = 4	1.38
3:1 = 3	1.35
2:1 = 2	1.27
1:1 = 1	1.00
3:4 = 0.75	0.86
1:2 = 0.50	0.63
1:4 = 0.25	0.35

41 ASHRAE Handbook, *Fundamentals 2001*, op. cit., p. 26.11. Víctor Olgyay, *Design with climate*, Nueva Jersey, Princeton University Press, 1963, p. 104.

42 Cf. J.R. García y Víctor Fuentes F., op. cit., para ver conversión a unidades métricas.

De acuerdo a Fuentes Freixanet⁴³, el factor de relación entre las aberturas puede obtenerse a través de la siguiente ecuación:

$$fr = (R_v / (1+R_v^2)^{0.5}) / \text{seno } 45^\circ$$

donde:

fr = factor de relación de aberturas

R_v = relación entre la ventana de salida y la de entrada de aire R_v = A_s / A_e

A_s = área de la abertura de salida del aire (m²)

A_e = área de la abertura de entrada del aire (m²)

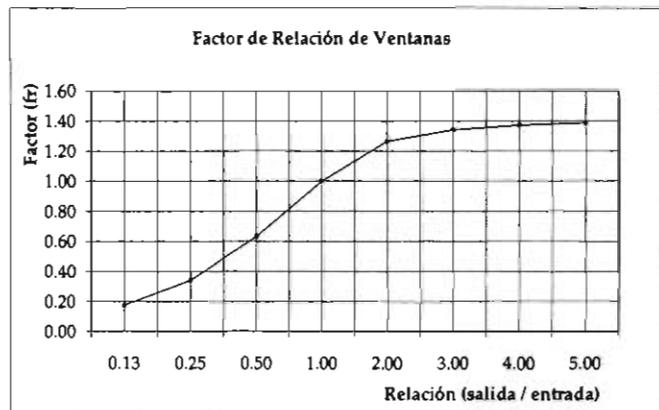


Fig. 13 Gráfica de factores de relación de ventanas

De tal forma que la efectividad de las aberturas será:

$$C_{fr} = 0.6 ((R_v / (1+R_v^2)^{0.5}) / \text{seno } 45^\circ)$$

Ya que la efectividad de las aberturas disminuye con respecto al viento diagonal, según ASHRAE, se sugiere que disminuya de acuerdo al seno del ángulo de incidencia del viento. De tal forma que la ecuación completa queda de la siguiente manera:

$$Q = C_{fr} A_e v \text{ seno } \Theta$$

donde:

Q = tasa de ventilación (m³/s)

43 Víctor Fuentes Freixanet, *Estudios de arquitectura bioclimática*, Anuario 2002, México, UAM Azcapotzalco/Limusa, 2002.

C_{fr} = efectividad de las aberturas ya considerando el factor de relación

A_e = área de la abertura de entrada del aire (m^2)

v = velocidad del viento al nivel de la ventana (m/s)

Θ = ángulo de incidencia del viento (considerando 90° al viento perpendicular a la ventana)

Ventilación Unilateral

En el caso de ventilación unilateral, es decir cuando sólo se dispone de una abertura de ventilación en el lado de barlovento, "The British Standards Method" sugiere⁴⁴:

$$Q = 0.025 A v$$

donde:

Q = tasa de ventilación (m^3/s)

A_e = área libre de la abertura de ventilación (m^2)

v = Velocidad del viento (m/s)

Ejemplo 10

Determinar la tasa de ventilación con los mismos datos del ejemplo 8. Considerando iguales áreas de aberturas de entrada y salida de viento.

Solución

Debido a que las áreas de entrada y salida son iguales, entonces $fr = 1$ y por lo tanto $C_{fr} = 0.6$

$$\begin{aligned} Q &= C_{fr} A_e v \text{ seno } \Theta \\ Q &= 0.6 * 1.3 * 2.68 * \text{seno } (90) \\ Q &= 2.09 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Ejemplo 11

Determinar la tasa de ventilación con los mismos datos del ejemplo 8. Considerando un área de entrada de viento de 1.3 m^2 (barlovento) y un área de salida de 1.8 m^2 (sotavento).

Solución

Cálculo del factor de relación de ventanas (fr):

Relación de ventanas (K_v) = área de salida (A_s) / área de entrada (A_e)

44 Francis Allard (ed.) *et al.*, *op. cit.*, p. 65.

$$R_v = 1.8 / 1.3$$

$$R_v = 1.385$$

$$f_r = (R_v / (1+R_v^2)^{0.5}) / \text{seno } 45^\circ$$
$$f_r = (1.385 / (1+1.385^2)^{0.5}) / \text{seno } 45^\circ$$
$$f_r = 1.15$$

Por lo tanto C_{fr} :

$$C_{fr} = 0.6 * 1.15$$

$$C_{fr} = 0.69$$

$$Q = C_{fr} A_e v \text{ seno } \Theta$$
$$Q = 0.69 * 1.3 * 2.68 * \text{seno } (90)$$
$$Q = 2.40 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ejemplo 12

¿Cuál sería la ventilación si se tratara de ventilación unilateral con un área de entrada de 1.3 m^2 ?

$$Q = 0.025 A v$$
$$Q = 0.025 \times 1.3 \times 2.68$$
$$Q = 0.087 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidad del Viento

Como puede apreciarse, la efectividad de las aberturas C_{fr} se modifica en función de la relación de dimensiones entre las ventanas de salida y de entrada. Si la abertura de entrada es mayor que la de salida, la efectividad disminuye, mientras que si ésta es menor que la de salida, la efectividad aumenta. Esto quiere decir que a través del adecuado dimensionamiento de las aberturas es posible controlar tanto el flujo o tasa de ventilación como su velocidad. Aunque la velocidad y flujo dependen de esta relación entre las aberturas, es posible estimar de manera general la velocidad interior de viento de manera aproximada.

Szokolay propone la siguiente fórmula para calcular la velocidad del viento a través de la ventana⁴⁵:

$$v = Q / A$$

Sin embargo si se considera la fórmula completa de Olgyay, ésta queda como sigue:

45 Steven Szokolay y Michael Docherty, *op. cit.*, p. 43.

$$v = Q / C_{fr} A_e \text{ seno } \Theta$$

donde:

v = velocidad del viento (m/s)

Q = tasa de ventilación (m³/s)

C_{fr} = efectividad de las aberturas ya considerando el factor de relación.

A_e = área de la abertura de entrada del aire (m²)

Θ = ángulo de incidencia del viento.

Velocidad Interior

La velocidad interior en los locales depende de varios factores, entre ellos están las dimensiones y proporción del local, la velocidad y dirección del viento, el tamaño de las aberturas en relación al muro (relación vano–macizo), y la relación entre las aberturas de entrada y salida. Para estimar la velocidad interior es necesario efectuar pruebas en túnel de viento. De acuerdo estudios experimentales, Givoni⁴⁶ encontró una relación entre la velocidad promedio interior y el tamaño de las ventanas. Esta relación matemática asume una habitación de planta cuadrada con aberturas (ventanas) de igual tamaño, ubicadas de manera opuesta en los muros de barlovento y sotavento con viento perpendicular.

$$V_i = 0.45 (1 - e^{-3.48x}) V_e$$

donde:

V_i = velocidad interior promedio (m/s)

e = constante de Euler o número e (aproximadamente 2.71828)

x = relación del área de la ventana con respecto al área del muro (vano-macizo)

V_e = velocidad del viento exterior (m/s)

Además de la relación de la ventana con respecto al muro, la velocidad del viento interior también depende de la dirección del viento, es decir del ángulo de incidencia con respecto a la ventana. En las tablas siguientes, desarrolladas por Givoni⁴⁷, se muestra el efecto del tamaño de las aberturas de entrada y salida en la velocidad del viento interior, dependiendo de la ubicación de las ventanas y el ángulo de incidencia del viento. Las aberturas de entrada y salida están expresadas en fracciones de ancho de ventana con respecto al ancho del muro, es decir (ancho de ventana / ancho de muro).

46 Givoni Baruch, *op. cit.*, p. 293.

47 *Ibid.*, p. 290.

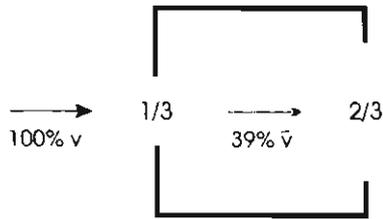


Tabla 24. Ventilación cruzada

Velocidad promedio del viento interior
 Aberturas en muros **opuestos**
 Viento **perpendicular** a la entrada

Abertura de salida	Abertura de entrada		
	1/3	2/3	3/3
1/3	36	34	32
2/3	39	37	36
3/3	44	35	47

porcentaje con respecto a la velocidad del viento exterior

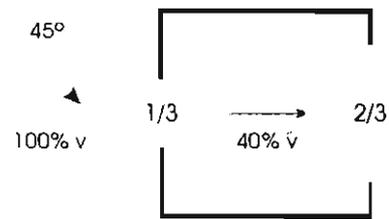


Tabla 25. Ventilación cruzada

Velocidad promedio del viento interior
 Aberturas en muros **opuestos**
 Viento **oblicuo** a la entrada (45°)

Abertura de salida	Abertura de entrada		
	1/3	2/3	3/3
1/3	42	43	42
2/3	40	57	62
3/3	44	59	65

porcentaje con respecto a la velocidad del viento exterior

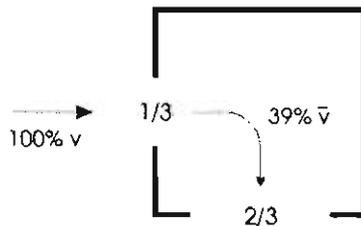


Tabla 26. Ventilación cruzada

Velocidad promedio del viento interior
 Aberturas en muros **adyacentes**
 Viento **perpendicular** a la entrada

Abertura de salida	Abertura de entrada		
	1/3	2/3	3/3
1/3	45	51	50
2/3	39	-	-
3/3	51	-	-

porcentaje con respecto a la velocidad del viento exterior

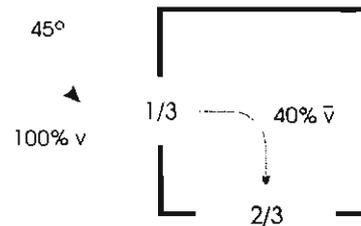


Tabla 27. Ventilación cruzada

Velocidad promedio del viento interior
 Aberturas en muros **adyacentes**
 Viento **oblicuo** a la entrada (45°)

Abertura de salida	Abertura de entrada		
	1/3	2/3	3/3
1/3	37	36	37
2/3	40	-	-
3/3	45	-	-

porcentaje con respecto a la velocidad del viento exterior

Ejemplo 13

En una habitación cuadrada con ventanas de igual tamaño. Determinar la velocidad promedio interior si la velocidad del viento es de 2.5 m/s, el área de ventana es de 1.3 m² y el área de la fachada es de 10 m².

Solución

Relación vano-macizo:

$$\begin{aligned} & \text{área de ventana / área de muro} \\ & 1.3 / 10 = 0.13 \end{aligned}$$

Velocidad interior:

$$\begin{aligned} V_i &= 0.45 (1 - e^{-3.48x}) V_e \\ V_i &= 0.45 (1 - 2.71828^{-3.48(0.13)}) 2.5 \\ V_i &= 0.41 \text{ m/s} \end{aligned}$$

4.2.2 Ventilación debida a diferencias térmicas (Efecto Stack)

Como ya se mencionó, la ventilación también puede darse a partir de diferencias térmicas. En el interior de los espacios el aire tiende a estratificarse debido a diferencias térmicas y en consecuencia debido a diferencias de densidad.

La tasa de ventilación debida al efecto Stack, se puede calcular en función de las diferencias de presión generadas por el flujo de aire, o en función de las diferencias de temperatura.

De acuerdo a Szokolay⁴⁸ el efecto Stack aprovecha la ascensión del aire debido a las diferencias de presión entre un aire frío y otro cálido. Por ello se considera como un efecto convectivo. El efecto será mayor a mayor diferencia de temperaturas y a mayor diferencia de alturas entre las distintas aberturas. El efecto Stack funciona solamente cuando la temperatura Stack o interior es mayor a la temperatura exterior. La diferencia de presiones se puede determinar por:

$$\Delta p = h g (\rho_o - \rho_i)$$

donde:

Δp = diferencia de presiones (Pa)

h = diferencia de altura (m)

g = aceleración gravitacional (9.81 m/s²)

48 Steven Szokolay y Michael Docherty, *op. cit.*, p. 42.

ρ_o = densidad del aire exterior (kg/m³)

ρ_i = densidad del aire interior (kg/m³)

De tal forma, el volumen del flujo de viento o tasa de ventilación debida al efecto Stack se puede estimar mediante:

$$Q = 0.827 A (\Delta p)^{0.5}$$

donde:

Q = tasa de ventilación (m³/s)

A = área de la abertura de ventilación de salida o sección de ducto (m²)

Δp = diferencia de presiones entre las dos aberturas de ventilación (Pa)

El cálculo del efecto Stack por medio de las diferencias de temperatura se describe en el ASHRAE⁴⁹ por medio de la siguiente ecuación:

$$Q = C_D A [2g \Delta h (t_i - t_o) / t_i]^{0.5}$$

donde:

Q = tasa de ventilación (m³/s)

C_D = coeficiente de descarga para las aberturas

(Generalmente $C_D = 0.65$; cuando el flujo de aire a través de la abertura es unidireccional y no hay mezcla. En caso contrario $C_D = 0.40 + 0.0045 (t_i - t_o)$)

A = área de la abertura de salida o sección de ducto (m²)

g = aceleración gravitacional (9.81 m/s²)

Δh = diferencia de alturas al NPL (m) (Altura del punto medio de la abertura inferior al NPL)

t_o = temperatura del aire exterior (K)

t_i = temperatura del aire interior (K)

El "Nivel de Presión Neutra" (NPL) es el nivel o zona del edificio o local en donde no existen diferencia de presión, o ésta es igual a cero. La diferencia de alturas al NPL (nivel de presión neutra) se puede estimar por⁵⁰:

$$\Delta h = h / 1 + [(A_1 / A_2)^2 (t_i / t_o)]$$

49 ASHRAE Handbook. *Fundamentals 2001*, op. cit., p. 26.11.

50 ASHRAE Handbook. *Fundamentals 1977*, op. cit., pp. 21.2. y 21.11.

donde:

Δh = diferencia de alturas NPL (m)

h = altura entre aberturas

A_1 = área de la abertura de entrada (inferior)

A_2 = área de la abertura de salida (superior)

t_o = temperatura del aire exterior (K)

t_i = temperatura del aire interior (K)

Nota: el nivel de presión neutra (NPL) en edificios altos varía entre 0.3 y 0.7 de la altura total; mientras que en las casas generalmente se encuentra alrededor de 0.5 la altura.

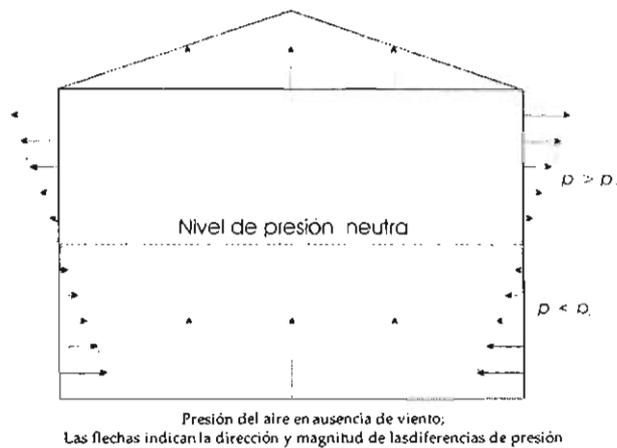


Fig. 14 Nivel de presión neutra

Otra fórmula para el cálculo de la ventilación por efecto Stack es la presentada por Olgay, y también publicada por ASHRAE en 1977:

$$Q = C_v A (h (t_o - t_i))^{0.5}$$

donde:

Q = tasa de ventilación (m^3/s)

C_v = efectividad de las aberturas

A = área de la abertura de entrada (m^2)

h = diferencia de alturas entre las aberturas (m)

t_o = temperatura exterior o de entrada ($^{\circ}C$)

t_i = temperatura interior o de salida ($^{\circ}C$)

El coeficiente de efectividad de las aberturas es de $C_v = 0.111$ según Olgyay; $C_v = 0.116$ según ASHRAE (1977); y $C_v = 0.121$ según B. Evans. Sin embargo, Fuentes Freixanet sugiere $C_v = 0.165$ con el fin de ajustar los resultados a la fórmula propuesta por Szokolay (ver arriba).

Esta fórmula asume que las dimensiones de las aberturas de entrada y salida son iguales: De igual manera que en el cálculo de la ventilación cruzada, la efectividad de las aberturas (C_v) deberá ser modificada en caso de que las dimensiones de las aberturas sean distintas. De este modo la efectividad de las aberturas queda de la manera siguiente:

$$C_{fr} = 0.165 ((R_v / (1+R_v^2))^{0.5} / \text{seno } 45^\circ)$$

Y por lo tanto la fórmula para calcular el flujo de la ventilación:

$$Q = C_{fr} A (h (t_o - t_i))^{0.5}$$

Las tres ecuaciones mostradas para el cálculo del efecto Stack, asumen que la abertura de salida es menor a la de entrada y en este caso funcionan de manera similar. Sin embargo la fórmula del ASHRAE (2001) no coincide con las demás cuando la abertura de salida es mayor que la de entrada.

Ejemplo 14

Determinar la tasa de ventilación de vida al efecto Stack en un espacio de 8 m de altura, con dos aberturas de ventilación de $1.2 \text{ m}^2 \text{ c/u}$, ubicadas, una en la parte más baja y otra en la más alta del local en muros opuestos, con una diferencia de alturas entre los ejes de ventana de 7 m. La temperatura exterior es de 20°C y la interior en la parte más elevada es de 26°C .

Solución

Para determinar la diferencia de presión entre ambas aberturas es necesario estimar la densidad del aire de acuerdo a las temperaturas en cada punto de las ventanas:

$$T_o = 20 + 273.15 = 293.15$$

$$\rho = 1.293 * 273.15 / T_k$$

$$\rho_o = 1.293 * 273.15 / 293.15$$

$$\rho_o = 1.2048 \text{ Kg/m}^3$$

$$T_i = 25 + 273.15 = 298.15$$

$$\rho = 1.293 * 273.15 / T_k$$
$$\rho_i = 1.293 * 273.15 / 298.15$$
$$\rho_i = 1.1846 \text{ Kg/m}^3$$

Diferencia de presiones:

$$\Delta p = h g (\rho_o - \rho_i)$$
$$\Delta p = 7 * 9.81 (1.2048 - 1.1846)$$
$$\Delta p = 1.386 \text{ Pa}$$

Tasa de ventilación:

$$Q = 0.827 A (\Delta p)^{0.5}$$
$$Q = 0.827 * 1.2 (1.386)^{0.5}$$
$$Q = 1.168 \text{ m}^3/\text{s}$$

La velocidad del flujo es:

$$V = Q/A$$
$$V = 1.168 / 1.2$$
$$V = 0.97 \text{ m/s}$$

De acuerdo al ASHRAE:

Determinación del NPL:

$$\Delta h = h / 1 + [(A_1 / A_2)^2 (t_i / t_o)]$$
$$\Delta h = 7 / 1 + [(1.2 / 1.2)^2 (298.15 / 293.15)]$$
$$\Delta h = 3.47 \text{ m}$$

Tasa de ventilación:

$$Q = C_D A [2g \Delta h (t_i - t_o) / t_i]^{0.5}$$
$$Q = 0.65 * 1.2 [2(9.81) * 3.47 (298.15 - 293.15) / 298.15]^{0.5}$$
$$Q = 0.8334 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por lo tanto la velocidad del flujo será:

$$V = Q/A$$
$$V = 0.8334 / 1.2$$
$$V = 0.695 \text{ m/s}$$

4.2.3 Efectos simultáneos

El efecto Stack se establece de manera importante en ausencia de viento, sin embargo en ocasiones la ventilación cruzada y la originada por efecto Stack se presentan de manera simultánea. Una forma de estimar la tasa de ventilación por el efecto combinado es por medio de la ecuación de Bernoulli⁵¹:

$$Q_t = C_D A (2 \Delta p / \rho)^{0.5}$$

donde:

Q_t = tasa de ventilación total (m³/s)

C_D = coeficiente de descarga para las aberturas

(Número adimensional que depende de la geometría de las aberturas y del número de Reynolds del flujo de aire)

A = área de la abertura de salida o sección de ducto (m²)

Δp = diferencia de presiones entre las dos aberturas considerando ventilación y efecto stack (Pa)

ρ = densidad del aire (kg/m³)

El coeficiente de descarga está en función de la diferencias de temperatura, de la velocidad del viento y de la geometría de las aberturas. En términos generales para aberturas pequeñas se puede considerar $C_D = 0.65$ mientras que para grandes aberturas C_D está cercano a 1. Como valor medio para aberturas normales $C_D = 0.78$.⁵²

En este caso de flujo combinado, la diferencia de presiones debe considerar tanto a la ventilación cruzada como al efecto Stack, por lo tanto⁵³:

$$\Delta p = P_0 - 0.5 (\rho_o C_p V^2) + h g (\rho_o - \rho_i)$$

donde:

P_0 = Presión en la parte baja (exterior)(Pa)

C_p = Coeficiente de presión

V = Velocidad del viento (m/s)

Δp = diferencia de presiones (Pa)

h = diferencia de altura (m)

51 ASHRAE Handbook, *Fundamentals*, Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1997, pp. 21.2. y 21.11.

52 Francis Allard (ed.) *et al.*, *op. cit.*, p. 101.

53 *Ibid.*, p. 98.

g = aceleración gravitacional (9.81 m/s^2)

ρ_o = densidad del aire exterior (kg/m^3)

ρ_i = densidad del aire interior (kg/m^3)

De manera simplificada, la tasa de ventilación total se puede estimar mediante⁵⁴:

$$Q_t = (Q_v^2 + Q_s^2)^{0.5}$$

donde:

Q_t = tasa de ventilación total (m^3/s)

Q_v = tasa de ventilación cruzada (m^3/s)

Q_s = tasa de ventilación por efecto Stack (m^3/s)

Ejemplo 15

Utilizando los datos del ejemplo 12, determinar la tasa de ventilación por efecto combinado de la ventilación cruzada y efecto Stack suponiendo una velocidad del viento de 1.8 m/s . y un coeficiente de presión de 0.8 .

Solución

Determinar las diferencias de presión combinadas:

$$P_0 = 0.612 * v^2$$

$$P_0 = 0.612 * 1.8^2$$

$$P_0 = 1.98288 \text{ Pa}$$

$$\Delta p = P_0 - 0.5 (\rho_o C_p V^2) + h g (\rho_o - \rho_i)$$

$$\Delta p = 1.98288 - 0.5 (1.2048 * 0.8 * 1.8^2) + 7 * 9.81 (1.2048 - 1.1846)$$

$$\Delta p = 1.809 \text{ Pa}$$

Determinar la tasa de ventilación:

$$Q_t = C_D A (2 \Delta p / \rho_o)^{0.5}$$

$$Q_t = 0.65 * 1.2 (2 * 1.809 / 1.2048)^{0.5}$$

$$Q_t = 1.35 \text{ m}^3/\text{s}$$

54 M. Santamouris y D. Asimakopoulous, *Passive cooling of buildings*, Londres, James & James, 1996, p. 244.

4.3 REQUERIMIENTOS DE VENTILACIÓN EN FUNCIÓN DE LA ENERGÍA CALORÍFICA

La ventilación implica necesariamente intercambios de energía, ya que las características térmicas y de humedad del aire exterior e interior son diferentes. Es evidente que si el aire exterior tiene mayor temperatura que el interior, la ventilación se traducirá en un incremento de temperatura, y viceversa. Es decir que la ventilación ocasiona una carga térmica adicional al espacio (ya sea ésta positiva o negativa)

4.3.1 Calor sensible

El flujo o tasa de *calor sensible*, ya sea de calentamiento o enfriamiento, que impacta al espacio interior se puede calcular por⁵⁵:

$$q_s = \rho C_p Q \Delta t$$

donde:

q_s = flujo de calor sensible (W)

ρ = densidad del aire kg/m³ (aproximadamente 1.2)

C_p = calor específico volumétrico del aire (J/kg K) (aproximadamente 1,000)

Q = tasa de ventilación (m³/s)

Δt = diferencia de temperaturas entre el aire interior y exterior

De tal manera, la carga por calor sensible puede estimarse como:

$$q_s = 1200 Q \Delta t$$

Por lo tanto la tasa de ventilación requerida para remover cierta cantidad de calor de un local se puede calcular mediante:

$$Q = q_s / C_p \delta (t_i - t_o)$$

O sea:

$$Q = q_s / 1200 \Delta t$$

55 ASHRAE Handbook. *Fundamentals 2001*, op. cit., p. 26.9.

donde:

Q = tasa de ventilación (m^3/s)

q_s = calor sensible a ser removido (W)

C_p = calor específico del aire (J/kg K)

δ = densidad del aire (kg/m^3)

t_i = temperatura interior (K)

t_e = temperatura exterior (K)

De esta forma, el número de cambios requeridos para renovar el aire de una habitación puede expresarse como:

$$N = (3600 Q) / vol$$

donde:

N = número de cambios de aire por hora

Q = tasa de ventilación (m^3/s)

vol = volumen de la habitación (m^3)

Si se desea calcular el área de las ventanas en función de flujo de ventilación requerida se puede aplicar la fórmula:

$$A_e = Q / (C_{fr} v \text{ seno } \Theta)$$

donde:

A_e = área de la abertura de entrada del aire (m^2)

Q = tasa de ventilación requerida (m^3/s)

C_{fr} = efectividad de las aberturas ya considerando el factor de relación.

v = velocidad del viento al nivel de la ventana (m/s)

Θ = ángulo de incidencia del viento.

4.3.2 Calor latente

Como se mencionó anteriormente, la ventilación también modifica el contenido de humedad de los espacios, debido a las diferencias que existen entre el interior y exterior.

El flujo o tasa de energía o *calor latente* debido a la ventilación (sin considerar la posible energía por condensación) se puede estimar por medio de⁵⁶:

56 *Ibid.*, p. 26.9.

$$q_l = Q \Delta W (4775 + 1.998 \Delta t)$$

donde:

q_l = flujo de calor latente (W)

Q = tasa de ventilación (m^3/s)

ΔW = diferencia de humedad (específica) entre el interior y el exterior. (kg/kg) — masa de agua / masa de aire seco —

Δt = diferencia de temperaturas entre el aire interior y exterior.

Ejemplo 16

Calcular el flujo de ventilación requerido para remover 5,750 W de calor sensible de una habitación de 30 m^2 de superficie con 2.5 m de altura. Cuando la temperatura exterior es de 20 °C y la interior de 25 °C. Determinar la renovación de aire y el área de la ventana suponiendo que habrá ventilación cruzada con ventanas opuestas de la misma dimensión y una velocidad de viento de 1.5 m/s.

Solución

Calcular la tasa de ventilación:

$$Q = q_s / 1200 \Delta t$$

$$Q = 5,750 / 1200 * 5$$

$$Q = 0.958 \text{ m}^3/s$$

Determinar la renovación de aire del local:

$$N = (3600 Q) / \text{vol}$$

$$N = (3600 * 0.958) / (30 * 2.5)$$

$$N = 45.98 \text{ cambios por hora}$$

Calcular el área de la ventana:

$$A_e = Q / (C_{fr} v \text{ seno } \Theta)$$

$$A_e = 0.958 / (0.6 * 1.5 \text{ seno } 90)$$

$$A_e = 1.064 \text{ m}^2$$

4.4 REQUERIMIENTOS DE VENTILACIÓN EN FUNCIÓN DEL CONFORT

4.4.1 Efecto del viento en climas cálido húmedos

De acuerdo con MacFarlane⁵⁷ (1958) la temperatura de la zona de confort térmico disminuye 0.8 °C por cada 10% de incremento en la humedad relativa cuando ésta es superior al 60%, es decir:

$$\partial T = 0.8 \left(\frac{HR - 60}{10} \right)$$

Mientras que la zona de confort probablemente se amplía 0.55 °C por cada 0.15 m/s de ventilación, para velocidades hasta de 1 m/s y una temperatura hasta 37 °C. Es decir:

$$\partial T = 0.55 \left(\frac{v}{0.15} \right)$$

En 1997 ASHRAE⁵⁸ ajustó esta fórmula hasta 2.2 m/s quedando de la siguiente forma:

$$\partial T = 0.55 \left(\frac{v - 0.2}{0.15} \right)$$

Con base en estos antecedentes R. Aynsley⁵⁹ establece que la velocidad del viento necesaria para restablecer el confort en climas cálidos húmedos se puede estimar mediante la siguiente ecuación:

$$v = 0.15 \left[T - 27.2 + 0.56 \left(\frac{HR - 60}{10} \right) \right]$$

donde:

v = velocidad del viento (m/s)

T = temperatura del aire (°C)

HR = humedad relativa (%)

57 Michael McKenna, *Motion effects*, Department of Architecture RMIT University, ESD seminar 2001.

58 ASHRAE Handbook. *Fundamentals 1997*, op. cit.

Cf. Richard Aynsley, *Microclimate and urban planning in the humid tropics*, Australia, Australian Institute of Tropical Architecture/James Cook University, 1999.

59 Richard Aynsley, *Unresolved issues in natural ventilation for thermal comfort*, Australia, Australian Institute of tropical Architecture/James Cook University.

Como se puede apreciar, Aynsley limita la utilización de su fórmula en 27.2 °C de temperatura. Debido a que el requerimiento de ventilación se establece a partir del límite máximo de confort, es conveniente sustituir 27.2 por dicho límite; de tal forma que:

$$v = 0.15 \left[T - ZC_{\max} + 0.56 \left(\frac{HR - 60}{10} \right) \right]$$

donde:

ZCmax = límite máximo de confort

La zona de confort puede establecerse a partir de la fórmula de Auliciem⁶⁰;

$$T_n = 17.6 + 0.31 T_m$$

donde:

Tn = temperatura Neutra (°C)

T = temperatura media (°C)

De tal forma que el límite máximo de confort ZCmax será:

$$ZC_{\max} = T_n + 2$$

Aplicando la fórmula de MacFarlane para ventilación se obtiene que la efectividad de la ventilación a 1.5 m/s es de 4.77 K por arriba del límite de confort. Sin embargo S. Szokolay menciona que "el movimiento del aire sobre la superficie de cuerpo tiene un efecto de enfriamiento aún cuando el aire sea más caliente que la piel, debido a la aceleración de la evaporación del sudor y difusión de la humedad"⁶¹. Así mismo establece que el efecto de enfriamiento del viento se puede definir mediante:

$$\partial T = 6 (v - 0.2) - (v - 0.2)^2$$

Por lo que la efectividad de la ventilación para 1.5 m/s es de 6.1 K. valor que debe ser agregado al límite superior de la zona de confort al 50% de HR.

$$Lv_{(50\%)} = ZC_{\max} + 6.1$$

donde:

Lv(50%) = temperatura límite de efectividad de ventilación (1.5 m/s) a 50% de HR (°C) = *ET límite

60 Auliciems y Szokolay, *Thermal comfort*, Australia, PLEA & University of Queensland, Dept. of Architecture, 1997.

61 Steven Szokolay y Michael Docherty, *op. cit.*, p. 35.

Para definir el límite de la estrategia de ventilación en la carta psicrométrica (para humedades superiores al 50%), Szokolay toma como máximo la velocidad del viento de 1.5 m/s. Este límite se ubica sobre la misma línea, y pendiente, de la Nueva Temperatura Efectiva (*ET), correspondiente a la temperatura encontrada al sumar 6.1 a la temperatura máxima de confort, sobre la curva de 50% de HR.

Para definir la línea de Temperatura Efectiva (*ET), Szokolay propone seguir el siguiente procedimiento: La Temperatura Efectiva (*ET), coincide con la Temperatura de Bulbo Seco (TBS) en la línea de 50% HR. La línea de *ET tendrá una pendiente (inclinación) específica de acuerdo a la temperatura que se trate, e intersectará a la línea base de la carta psicrométrica (HA = 0 g/Kg.) en el punto correspondiente a la temperatura TBS resultante de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\Delta T = 0.023 (T - 14) HA_{i(50\%)}$$

donde:

T = temperatura (°C)

HA = humedad absoluta para T y 50% de HR. (g/Kg)

⊕ = punto de intersección

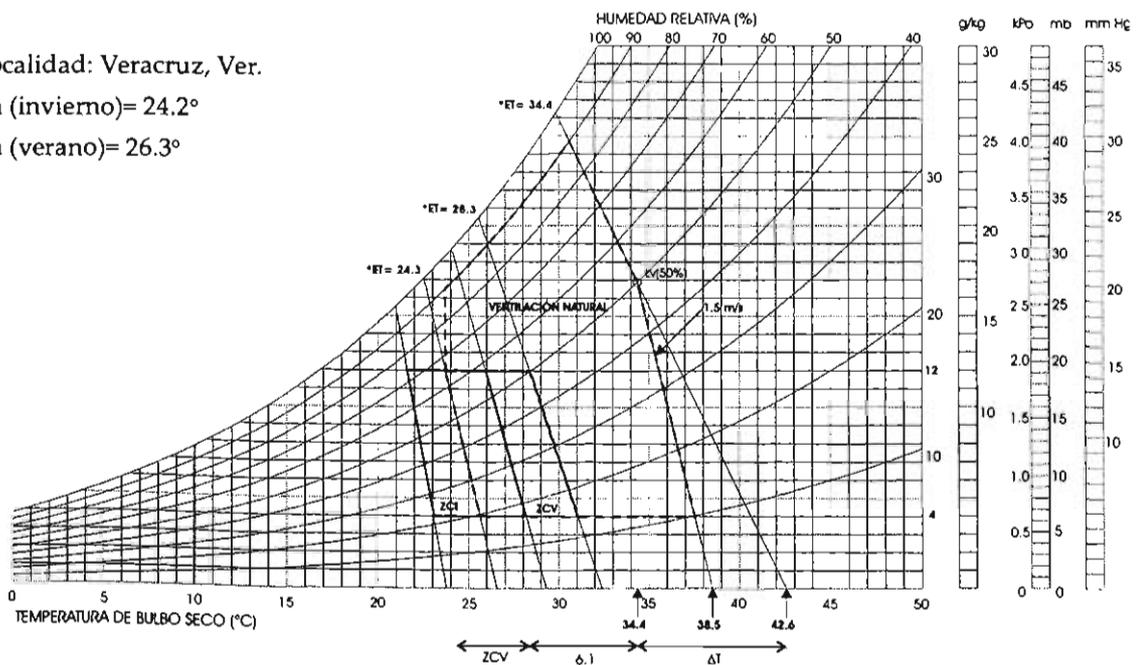
De tal forma el punto de intersección será igual a:

$$\oplus = T + \partial T$$

Localidad: Veracruz, Ver.

Tn (invierno)= 24.2°

Tn (verano)= 26.3°



La línea límite de la efectividad de ventilación a 1.5 m/s seguirá la misma pendiente de *ET cuando la HR es mayor a 50% pero para HR menores la pendiente cambia. Esta línea se obtiene uniendo el punto $L_{(50\%)}$ con el punto de intersección $T + 0.5 \cdot T$. La efectividad de la ventilación queda limitada en $HA = 4 \text{ g/kg}$ y en la curva de 90% de HR. El límite de efectividad para cualquier otra

La figura 5 muestra los límites de efectividad de la ventilación a 1.5 m/s para distintas Temperaturas Neutras (T_n), según la fórmula de Auliciem, y de acuerdo a los criterios establecidos por Szokolay de utilizar la línea *ET para humedades relativas mayores a 50%.

La temperatura límite (TL) para 1.5 m/s en función de HR se puede obtener mediante⁶²:

$$TL = \left[(9.9722 \text{E-}07 \text{ HR}^2) (-12.199 + T_n)(0.8844 + T_n) \right] - \left[(1.7506 \text{E-}04 \text{ HR}) (-9.74621 + T_n)(24.04072 + T_n) \right] + \left[6.2146654 \text{E-}03 (5.4209 + T_n)(180.3666 + T_n) \right]$$

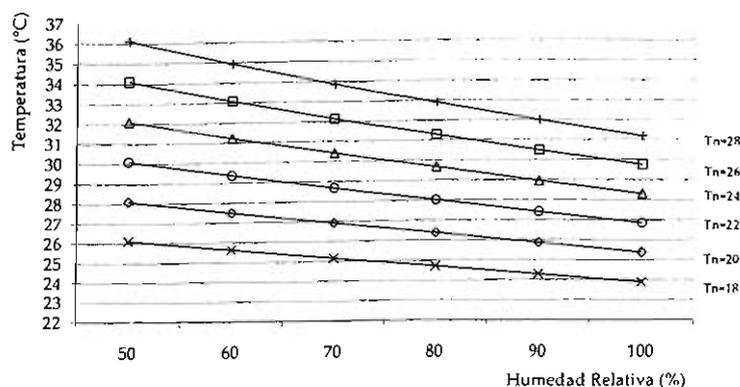


Fig. 15 Límite de efectividad de la Ventilación Natural (1.5 m/s) Para diversas temperaturas neutras

4.4.2 Clima Frío

Índice de viento frío (Wind chill index)⁶³

El índice de viento frío indica el flujo o tasa de pérdidas de calor, por radiación y convección, de un cilindro térmico parcialmente lleno de agua con una temperatura superficial de

62 Fórmula desarrollada por Víctor Fuentes Freixanet para este trabajo.

63 ASHRAE Handbook, *Fundamentals 2001. op. cit.*, p. 8.21.

33 °C⁶⁴, debido a cierta temperatura ambiente y velocidad de viento. Las pérdidas de calor o índice de viento frío (WCI) se pueden estimar mediante:

$$WCI = [(10.45 + 10(v^{0.5}) - v) (33 - t)]$$

donde:

WCI = Wind Chill Index (kcal / (m² h))

WCI_{SI} = WCI * 1.162 (W / m²)

v = velocidad del viento (m/s)

t = temperatura del aire TBS (°C)

Con fines meteorológicos y para expresar la severidad del ambiente el índice de viento frío se puede traducir a una temperatura equivalente de viento frío. La cual equivale a la temperatura de aire quieto que provocaría el mismo grado de pérdidas de calor del cuerpo debido al efecto combinado de temperatura y viento. Esta temperatura equivalente se puede calcular mediante:

$$t_{eq,wc} = 33 - [(10.45 + 10(v^{0.5}) - v) (33 - t)] / 22$$

O sea:

$$t_{eq,wc} = 33 - (WCI / 22)$$

donde:

t_{eq,wc} = Temperatura equivalente de viento frío (°C)

WCI = Wind Chill Index (°C)

v = velocidad del viento (m/s)

t = temperatura del aire TBS (°C)

Ejemplo 17

Calcular el Índice de Viento Frío (WCI) y su temperatura equivalente para una localidad donde la temperatura ambiente es de -3.5 °C y la velocidad del viento de 2.8 m/s.

Solución

Cálculo de WCI:

$$WCI = [(10.45 + 10(v^{0.5}) - v) (33 - t)]$$

64 33 °C representa la temperatura de la superficie de la piel de una persona descansando en un ambiente confortable.

$$WCI = [(10.45 + 10(2.8^{0.5}) - 2.8) (33 - -3.5)]$$

$$WCI = [(10.45 + 16.7332 - 2.8) (36.5)]$$

$$WCI = 890 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$$

$$WCI_{SI} = 1,034.16 \text{ W/m}^2$$

Cálculo de la temperatura equivalente por viento frío:

$$t_{eq,wc} = 33 - (WCI / 22)$$

$$t_{eq,wc} = 33 - (890 / 22)$$

$$t_{eq,wc} = -7.4545 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Tabla 28. Índice de Viento Frío

Temperatura (°C)	Velocidad del viento (m/s)								
	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
10	9.4	8.2	7.1	6.2	5.3	4.6	3.9	3.3	2.7
9	8.4	7.1	6.0	5.0	4.1	3.4	2.7	2.0	1.4
8	7.3	6.0	4.9	3.8	2.9	2.1	1.4	0.7	0.1
7	6.3	4.9	3.7	2.7	1.7	0.9	0.1	-0.6	-1.2
6	5.3	3.8	2.6	1.5	0.5	-0.3	-1.1	-1.9	-2.5
5	4.2	2.8	1.5	0.3	-0.7	-1.6	-2.4	-3.1	-3.8
4	3.2	1.7	0.3	-0.8	-1.9	-2.8	-3.7	-4.4	-5.2
3	2.2	0.6	-0.8	-2.0	-3.1	-4.0	-4.9	-5.7	-6.5
2	1.2	-0.5	-1.9	-3.2	-4.3	-5.3	-6.2	-7.0	-7.8
1	0.1	-1.6	-3.0	-4.3	-5.5	-6.5	-7.5	-8.3	-9.1
0	-0.9	-2.6	-4.2	-5.5	-6.7	-7.7	-8.7	-9.6	-10.4
-1	-1.9	-3.7	-5.3	-6.7	-7.9	-9.0	-10.0	-10.9	-11.7
-2	-2.9	-4.8	-6.4	-7.8	-9.1	-10.2	-11.2	-12.2	-13.0
-3	-4.0	-5.9	-7.5	-9.0	-10.3	-11.4	-12.5	-13.5	-14.4
-4	-5.0	-7.0	-8.7	-10.2	-11.5	-12.7	-13.8	-14.8	-15.7
-5	-6.0	-8.0	-9.8	-11.3	-12.7	-13.9	-15.0	-16.1	-17.0
-6	-7.0	-9.1	-10.9	-12.5	-13.9	-15.2	-16.3	-17.3	-18.3
-7	-8.1	-10.2	-12.0	-13.7	-15.1	-16.4	-17.6	-18.6	-19.6
-8	-9.1	-11.3	-13.2	-14.8	-16.3	-17.6	-18.8	-19.9	-20.9
-9	-10.1	-12.4	-14.3	-16.0	-17.5	-18.9	-20.1	-21.2	-22.3
-10	-11.2	-13.4	-15.4	-17.2	-18.7	-20.1	-21.4	-22.5	-23.6

Actualmente en algunos países se está utilizando una «nueva fórmula para el cálculo del índice de viento frío»⁶⁵, ésta es:

$$WCI = 13.2 + 0.6215 T - 11.37v^{0.16} + 0.3965 T v^{0.16}$$

donde:

v = velocidad del viento (km/h)

4.5 VIENTO Y PRECIPITACIÓN

La interrelación del viento con la precipitación da como resultado la obtención del ángulo de la lluvia. Este parámetro es importante para el diseño de dispositivos de protección contra la lluvia.

El ángulo de lluvia está en función de la velocidad del viento y la velocidad de caída de las gotas de agua. La velocidad terminal de la caída de las gotas de lluvia está en función del tamaño de las gotas de agua. Esta velocidad se puede estimar mediante la ecuación⁶⁶:

$$Vt(d) = -0.166033 + 4.91844d - 0.888016d^2 + 0.054888d^3$$

donde:

Vt(d) = velocidad terminal de las gotas de diámetro (d) (m/s)

d = diámetro de las gotas (mm)

Esta fórmula es aplicable únicamente para la lluvia, es decir para gotas entre 0.1 y 5 mm, es decir que la velocidad debe ser menor a ≤ 9.20 m/s, y supone una caída en aire quieto.

65 Fuente: *Environment Canada's Wind Chill Program*. http://www.msc-smc.ec.gc.ca/education/windchill/science_equations_e.cfm

66 *The speed of falling rain drops*. <http://solstice.crest.org/efficiency/strawbale-list-archive/0001/msg00437.html>

Tabla 29. Precipitación⁶⁷
Tamaño de las gotas y velocidad terminal de caída

Tipo de precipitación		Tamaño típico de las gotas	Velocidad terminal	
		(mm)	(m/s)	
ligera	moderada	niebla	0.01	0.003
		neblina o bruma	0.1	0.3
		llovizna	0.2	0.8
		llovizna fuerte	0.5	1.9
		lluvia ligera	0.5	2.1
		lluvia	1.0	3.9
	intensa	lluvia fuerte	1.5	5.4
		lluvia muy fuerte	2.1	6.8
		aguacero	2.6	7.6
		chaparrón	3.0	8.1
		chaparrón fuerte	4.0	8.8
		diluvio	5.0	9.1
		Granizo*	10.0	10.0
			25.0	22.3
32.0	25.0			
38.0	27.4			
45.0	29.6			
51.0	32.0			

* Granizo con más de 30 mm es muy poco común

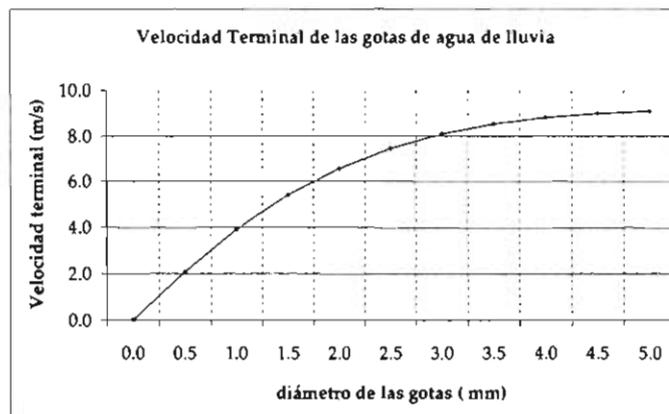


Fig. 16 Velocidad terminal de las gotas de lluvia

67 *Ibid.* Complementado con datos de granizo* de: <http://www.lafargeroofing.co.za/win hail.htm>

De esta forma el ángulo de lluvia será el resultado vectorial entre las velocidades de la lluvia y del viento:

$$\alpha = \arctan (V_a / V_v)$$

donde:

α = ángulo de lluvia (grados)

V_a = velocidad de caída de las gotas de agua (m/s)

V_v = velocidad del viento (m/s)

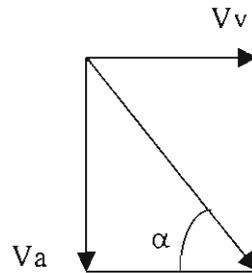


Tabla 30. Ángulo de lluvia (α)

		gotas de lluvia o granizo		Velocidad del viento (m/s)					
		diámetro (mm)	velocidad terminal (m/s)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
lluvia	ligera	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		0.5	2.1	76.5	64.3	54.2	46.1	39.7	34.7
	moderada	1.0	3.9	82.7	75.7	69.1	63.0	57.5	52.6
		1.5	5.4	84.7	79.5	74.5	69.7	65.2	60.9
	intensa	2.0	6.6	85.6	81.3	77.1	73.0	69.1	65.4
		2.5	7.4	86.2	82.3	78.6	74.9	71.4	68.0
		3.0	8.1	86.5	82.9	79.5	76.1	72.8	69.6
		3.5	8.5	86.6	83.3	80.0	76.8	73.7	70.6
		4.0	8.8	86.8	83.5	80.3	77.2	74.2	71.2
		4.5	9.0	86.8	83.7	80.5	77.5	74.5	71.5
		5.0	9.1	86.9	83.7	80.6	77.6	74.6	71.7
	granizo	10.0	10.0	87.1	84.3	81.5	78.7	76.0	73.3
25.0		22.3	88.7	87.4	86.2	84.9	83.6	82.3	
32.0		25.0	88.9	87.7	86.6	85.4	84.3	83.2	

Ejemplo 18

Determinar la velocidad terminal de caída de una lluvia intensa con gotas de 2.5 mm y el ángulo de lluvia cuando el viento es de 3.2 m/s

Solución

Determinar la velocidad terminal de caída:

$$V_t(d) = -0.166033 + 4.91844d - 0.888016d^2 + 0.054888d^3$$
$$V_{t(2.5)} = -0.166033 + 4.91844(2.5) - 0.888016(2.5)^2 + 0.054888(2.5)^3$$
$$V_{t(2.5)} = 7.44 \text{ m/s}$$

Determinar el ángulo de lluvia:

$$\alpha = \arctan (V_a / V_v)$$
$$\alpha = \arctan (7.44 / 3.2)$$
$$\alpha = 66.72^\circ$$

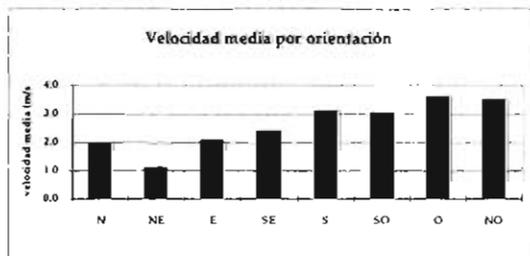
ANEXO 1

DATOS DE VIENTO
PARA ALGUNAS CIUDADES DE LA REPÚBLICA MEXICANA

Acapulco, Guerrero		
LATITUD	16°50'	
LONGITUD	99°56'	
ALTITUD	28	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	0.0	0.6	2.1	2.1	5.9	36.0	41.6	9.8	1.9	0.0	2.4	41.6
	v	0.0	1.6	1.9	2.1	3.6	2.9	3.3	3.5				3.6
FEBRERO	f	0.5	0.3	1.6	1.6	7.0	34.7	44.6	9.1	0.6	0.0	2.5	44.6
	v	3.0	0.6	0.4	2.2	3.5	3.0	3.5	3.8				3.8
MARZO	f	0.2	0.2	0.0	1.4	2.1	33.0	54.5	7.6	1.0	0.0	2.5	54.5
	v	1.5	2.0	0.0	3.0	2.3	3.4	4.0	4.0				4.0
ABRIL	f	0.2	0.0	0.0	2.2	2.9	35.3	52.4	6.9	0.1	0.0	2.3	52.4
	v	3.0	0.0	0.0	1.4	2.2	3.6	4.4	3.8				4.4
MAYO	f	0.2	0.0	1.0	5.5	4.6	24.3	54.4	9.4	0.6	0.0	2.7	54.4
	v	2.5	0.0	1.0	2.3	3.8	3.0	3.8	4.8				4.8
JUNIO	f	0.8	1.2	6.5	6.3	4.4	31.9	30.2	6.1	2.6	0.0	3.1	31.9
	v	2.8	2.1	3.4	2.7	3.4	3.2	4.1	3.3				4.1
JULIO	f	1.4	1.0	7.8	8.7	4.0	26.8	25.1	10.7	4.5	0.0	3.2	26.8
	v	3.1	1.5	5.2	3.1	3.7	3.2	3.5	2.6				5.2
AGOSTO	f	0.5	0.8	2.7	9.2	10.2	34.3	26.2	10.0	6.1	0.0	2.9	34.3
	v	2.0	1.9	2.6	2.9	3.4	3.3	3.6	3.2				3.6
SEPTIEMBRE	f	1.0	1.7	9.5	13.4	12.2	22.9	26.6	7.7	5.0	0.0	3.1	26.6
	v	2.2	2.3	4.1	3.7	3.3	2.9	3.4	3.1				4.1
OCTUBRE	f	0.0	0.5	1.9	4.1	10.1	17.7	55.5	5.7	4.5	0.0	2.0	55.5
	v	0.0	0.6	2.1	1.4	3.0	2.3	3.2	3.3				3.3
NOVIEMBRE	f	0.2	0.2	2.3	2.2	6.4	27.0	48.0	9.7	4.0	0.0	2.5	48.0
	v	3.0	0.5	2.4	1.6	2.5	2.7	3.2	3.8				3.8
DICIEMBRE	f	0.2	0.3	1.8	1.4	6.6	36.0	45.9	3.9	3.9	0.0	2.0	45.9
	v	0.5	0.3	1.7	2.5	2.5	2.8	3.3	2.6				3.3
												2.6	5.2
ANUAL	f	0.4	0.6	3.1	4.8	8.0	30.0	42.1	8.1	2.9	0.0	2.6	42.1
	v	2.0	1.1	2.1	2.4	3.1	3.0	3.6	3.5				3.6
	f	%											
	v	m/seg											

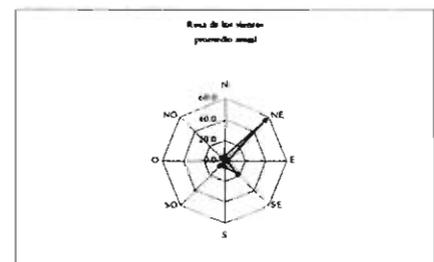
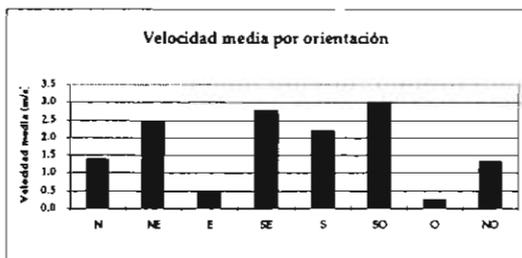
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



Aeropuerto, Ciudad de México		
LATITUD	19°26'	
LONGITUD	99°05'	
ALTITUD	2234	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	6.0	16.0	10.0	26.0	6.0	0.0	0.0	10.0	16.0	0.0	1.7	26.0
	v	1.7	1.3	1.4	1.9	1.6	3.8	0.0	2.2				3.8
FEBRERO	f	18.0	18.0	21.0	21.0	0.0	7.0	0.0	11.0	4.0	0.0	1.0	21.0
	v	1.0	1.1	1.2	1.6	0.0	1.3	0.0	1.8				1.8
MARZO	f	3.0	16.0	3.0	29.0	19.0	23.0	0.0	6.0	1.0	0.0	2.2	29.0
	v	1.3	2.1	0.6	2.4	3.0	3.7	0.0	4.5				4.5
ABRIL	f	10.0	55.0	0.0	13.0	7.0	7.0	0.0	7.0	1.0	0.0	2.5	55.0
	v	2.0	2.5	0.0	2.9	4.4	6.3	0.0	1.5				6.3
MAYO	f	0.0	71.0	0.0	10.0	10.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	71.0
	v	0.0	2.8	0.0	3.9	4.7	5.4	0.0	0.0				5.4
JUNIO	f	3.0	70.0	7.0	17.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	70.0
	v	1.0	2.7	2.8	2.6	0.0	1.5	0.0	0.0				2.8
JULIO	f	3.0	58.0	0.0	32.0	3.0	3.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.8	58.0
	v	0.7	3.3	0.0	3.3	5.6	1.6	0.0	0.0				5.6
AGOSTO	f	3.0	74.0	0.0	10.0	0.0	6.0	0.0	6.0	1.0	0.0	1.8	74.0
	v	2.2	3.2	0.0	2.9	0.0	4.2	0.0	2.0				4.2
SEPTIEMBRE	f	0.0	90.0	0.0	3.0	3.0	0.0	0.0	3.0	1.0	0.0	1.3	90.0
	v	0.0	3.0	0.0	3.5	2.2	0.0	0.0	2.0				3.5
OCTUBRE	f	3.0	77.0	0.0	10.0	0.0	3.0	0.0	6.0	1.0	0.0	1.5	77.0
	v	1.2	2.8	0.0	2.1	0.0	3.9	0.0	2.1				3.9
NOVIEMBRE	f	3.0	3.0	0.0	10.0	0.0	3.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.7	83.0
	v	3.3	2.8	0.0	3.4	0.0	4.3	0.0	0.0				4.3
DICIEMBRE	f	3.0	48.0	0.0	29.0	16.0	0.0	3.0	0.0	1.0	0.0	1.9	48.0
	v	2.1	2.3	0.0	2.8	5.0	0.0	3.0	0.0				5.0
												1.7	6.3
ANUAL	f	4.6	56.3	3.4	17.5	5.3	6.2	0.3	4.1	2.3	0.0	1.7	56.3
	v	1.4	2.5	0.5	2.8	2.2	3.0	0.3	1.3				3.0
	f	%											
	v	m/seg											

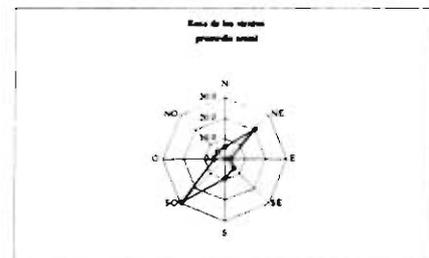
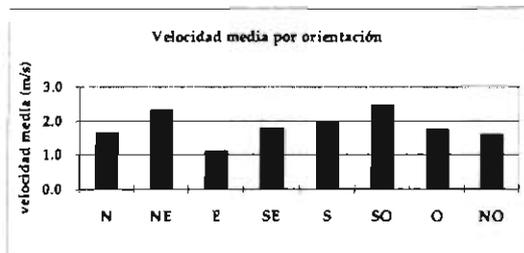
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



Aguascalientes, Aguascalientes		
LATITUD	21°51'	
LONGITUD	102°18'	
ALTITUD	1908	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	8.4	5.0	1.4	2.9	9.8	47.4	5.4	6.4	13.3	0.0	2.0	47.4
	v	2.1	2.4	0.8	1.5	1.8	3.1	2.6	1.8				3.1
FEBRERO	f	5.6	10.0	0.8	3.7	9.2	51.1	7.4	3.5	8.7	0.0	2.3	51.1
	v	2.8	2.1	1.1	2.2	2.8	3.3	2.5	1.5				3.3
MARZO	f	1.9	4.5	0.3	3.9	14.8	54.5	10.9	4.1	5.1	0.0	2.5	54.5
	v	1.0	1.8	0.1	2.9	3.2	4.2	3.8	2.8				4.2
ABRIL	f	1.5	7.1	0.9	4.9	15.7	41.1	8.8	2.2	17.8	0.0	2.3	41.1
	v	1.7	2.8	0.7	2.5	3.0	4.0	2.2	1.4				4.0
MAYO	f	3.6	22.7	0.9	4.6	8.6	26.3	8.6	6.6	18.1	0.0	2.5	26.3
	v	2.4	3.4	1.1	1.5	2.8	3.0	3.0	2.6				3.4
JUNIO	f	4.7	30.5	4.7	8.1	7.2	15.6	3.8	6.9	18.5	0.0	1.7	30.5
	v	1.7	3.0	1.2	1.6	1.0	1.8	1.3	2.1				3.0
JULIO	f	5.4	29.0	5.1	13.1	7.0	11.6	2.8	4.9	21.1	0.0	1.5	29.0
	v	1.1	2.0	1.8	1.6	1.8	1.6	1.0	1.0				2.0
AGOSTO	f	6.5	32.2	4.8	11.0	5.4	11.3	1.9	6.0	20.9	0.0	1.4	32.2
	v	1.2	2.3	1.9	1.5	1.2	1.4	0.7	1.2				2.3
SEPTIEMBRE	f	5.2	40.1	4.6	8.9	4.9	9.7	1.8	5.5	19.3	0.0	1.3	40.1
	v	1.1	2.3	1.3	1.4	1.3	1.3	0.7	1.1				2.3
OCTUBRE	f	10.1	32.4	4.7	4.1	6.0	21.8	1.9	5.5	13.5	0.0	1.4	32.4
	v	1.3	2.0	1.5	1.5	1.2	1.6	1.0	1.1				2.0
NOVIEMBRE	f	7.9	23.5	2.3	7.8	9.6	24.4	4.1	3.8	16.6	0.0	1.6	24.4
	v	1.2	2.3	1.4	1.9	1.7	1.9	1.0	1.2				2.3
DICIEMBRE	f	12.4	8.0	1.5	3.0	13.2	40.2	2.6	4.8	14.3	0.0	1.6	40.2
	v	2.3	1.5	0.6	1.2	2.5	2.4	1.1	1.5				2.5
												1.8	4.2
ANUAL	f	6.1	20.4	2.7	6.3	9.3	29.6	5.0	5.0	15.6	0.0	1.8	29.6
	v	1.7	2.3	1.1	1.8	2.0	2.5	1.7	1.6				2.5
	f	%											
	v	m/seg											

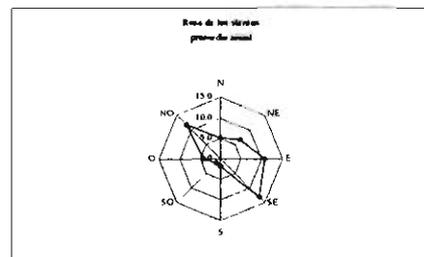
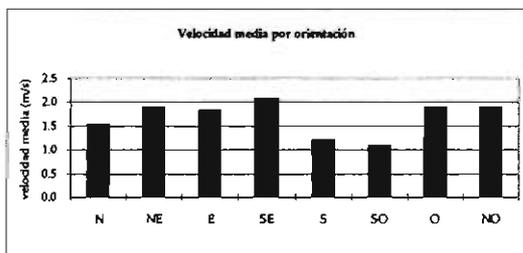
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



Campeche, Campeche		
LATITUD	19°51'	
LONGITUD	90°33'	
ALTITUD	5	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	3.2	9.1	11.0	12.9	1.3	2.3	4.2	9.7	46.3	0.0	1.7	12.9
	v	1.4	2.2	1.8	2.3	1.8	1.3	1.5	1.6				2.3
FEBRERO	f	9.9	7.8	7.9	13.7	3.5	1.8	5.7	12.4	37.3	0.0	1.8	13.7
	v	2.1	1.7	2.0	2.2	1.9	1.4	1.5	1.7				2.2
MARZO	f	7.4	7.1	5.2	17.8	1.2	1.3	7.4	20.7	31.9	0.0	1.8	20.7
	v	2.0	1.9	1.5	2.2	1.4	1.4	2.0	1.8				2.2
ABRIL	f	7.0	2.7	12.0	21.7	3.0	1.7	8.7	15.7	27.5	0.0	1.8	21.7
	v	1.6	1.9	2.0	2.3	1.5	1.1	1.8	2.0				2.3
MAYO	f	4.9	6.2	9.0	9.0	5.3	4.9	8.1	17.8	34.8	0.0	1.6	17.8
	v	1.4	1.3	2.0	2.0	1.3	1.2	1.7	1.7				2.0
JUNIO	f	4.4	4.7	10.4	17.4	4.4	0.7	4.0	13.4	40.6	0.0	1.6	17.4
	v	2.6	2.0	1.6	2.2	1.4	1.1	1.6	1.6				2.2
JULIO	f	1.5	7.4	19.7	18.0	1.3	0.0	0.3	9.7	41.0	0.0	1.3	19.7
	v	1.6	1.9	2.0	2.2	1.1	0.0	0.2	1.7				2.2
AGOSTO	f	1.0	3.5	15.1	14.8	0.0	0.3	2.6	9.7	52.4	0.0	1.3	15.1
	v	3.0	2.2	1.8	2.1	0.0	0.3	1.2	1.6				2.2
SEPTIEMBRE	f	1.4	2.7	10.7	8.6	1.0	1.3	4.0	4.7	64.0	0.0	2.4	10.7
	v	4.9	1.5	2.0	1.9	2.2	1.3	4.0	4.7				4.7
OCTUBRE	f	1.4	7.4	5.5	6.8	0.0	1.6	2.0	11.3	60.5	0.0	1.2	11.3
	v	7.4	1.7	1.3	1.2	0.0	1.4	1.2	1.4				1.7
NOVIEMBRE	f	1.5	11.0	7.7	8.0	0.7	0.4	1.0	8.3	55.5	0.0	2.0	11.0
	v	6.0	2.1	1.9	2.0	0.9	1.5	4.4	1.5				4.4
DICIEMBRE	f	2.0	10.2	14.2	10.5	0.3	0.7	2.2	5.4	50.5	0.0	1.7	14.2
	v	5.2	2.3	2.1	2.3	1.0	1.0	1.7	1.5				2.3
												1.7	4.7
ANUAL	f	1.5	6.7	10.7	13.3	1.8	1.4	4.2	11.6	45.2	0.0	1.7	13.3
	v		1.9	1.8	2.1	1.2	1.1	1.9	1.9				2.1
	f												
	v	%											
		m/seg											

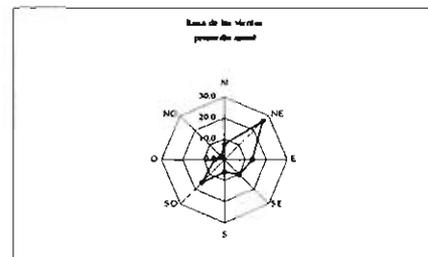
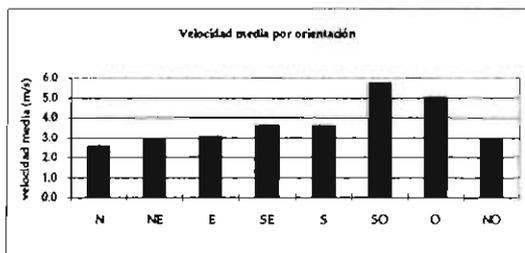
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



Chihuahua, Chihuahua		
LATITUD	28°38'	
LONGITUD	106°05'	
ALTITUD	1423	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	6.3	23.7	11.9	5.6	5.8	15.4	5.0	1.7	24.6	0.0	4.0	23.7
	v	3.6	2.6	1.9	3.4	2.7	6.3	6.3	5.1				
FEBRERO	f	4.9	29.4	11.4	3.4	3.7	21.1	9.7	2.2	14.2	0.0	4.2	29.4
	v	1.8	3.0	2.8	2.9	3.0	7.6	8.2	4.0				
MARZO	f	2.8	22.6	11.8	9.2	4.2	29.4	8.8	1.0	10.2	0.0	4.8	29.4
	v	1.8	2.5	3.4	3.9	3.3	10.0	9.1	4.7				
ABRIL	f	3.0	18.5	11.3	12.4	7.2	32.5	4.8	2.2	8.1	0.0	4.6	32.5
	v	1.9	3.2	3.6	4.6	5.1	7.8	8.4	2.5				
MAYO	f	8.4	18.4	10.9	16.2	9.8	22.7	6.8	1.6	5.2	0.0	3.8	22.7
	v	2.8	3.0	3.3	3.7	3.7	6.5	4.6	2.7				
JUNIO	f	5.9	26.9	20.4	13.6	7.9	6.6	4.9	2.0	11.8	0.0	3.7	26.9
	v	2.3	3.3	3.3	3.6	4.4	4.7	4.7	3.6				
JULIO	f	10.8	31.2	21.3	12.0	6.4	2.1	1.4	1.5	13.3	0.0	2.7	31.2
	v	3.0	2.7	3.1	4.0	2.6	2.0	2.9	1.3				
AGOSTO	f	11.4	31.6	15.3	10.0	5.9	2.1	2.1	2.2	19.4	0.0	3.0	31.6
	v	4.3	3.0	3.2	3.8	3.0	2.3	1.6	2.7				
SEPTIEMBRE	f	9.8	31.9	17.0	11.4	6.7	4.5	1.2	2.3	15.2	0.0	2.7	31.9
	v	1.9	2.7	3.1	3.3	3.6	3.2	1.9	1.9				
OCTUBRE	f	8.5	25.6	8.9	10.1	6.7	12.8	2.1	1.9	23.4	0.0	2.8	25.6
	v	2.4	2.4	2.5	3.5	3.2	4.9	1.6	1.8				
NOVIEMBRE	f	9.4	26.7	10.9	6.0	4.5	15.6	4.6	1.3	21.0	0.0	3.7	26.7
	v	2.5	3.0	2.5	3.4	4.8	5.8	4.4	3.0				
DICIEMBRE	f	6.5	26.4	8.6	7.8	3.3	16.3	5.3	1.6	24.2	0.0	4.0	26.4
	v	2.4	2.8	3.7	2.9	3.5	7.8	6.8	2.2				
												3.7	10.0
ANUAL	f	7.3	26.1	13.3	9.8	6.0	15.1	4.7	1.8	15.9	0.0	3.7	26.1
	v	2.6	2.9	3.0	3.6	3.6	5.7	5.0	3.0				
	f	%											
	v	m/seg											

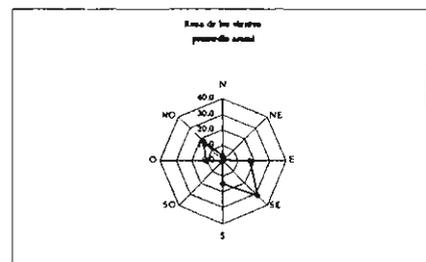
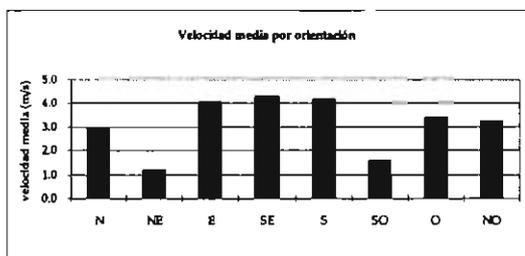
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



Chilpancingo, Guerrero		
LATITUD	17°33'	
LONGITUD	99°30'	
ALTITUD	1360	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	3.7	0.3	12.9	2.8	21.7	0.9	9.8	21.9	26.0	0.0	3.8	21.9
	v	3.6	1.5	4.3	4.8	4.8	3.0	4.3	4.1				
FEBRERO	f	0.7	0.0	20.4	39.3	24.7	0.3	3.6	9.5	1.5	0.0	2.9	39.3
	v	1.0	0.0	3.9	5.2	5.1	1.5	3.0	3.6				
MARZO	f	0.3	0.0	24.8	44.1	20.7	0.3	3.8	5.7	0.3	0.0	3.1	44.1
	v	2.0	0.0	4.2	4.5	5.1	2.5	3.4	2.9				
ABRIL	f	0.6	0.0	23.3	48.3	17.4	0.4	4.7	3.4		0.0	2.8	48.3
	v	2.4	0.0	4.5	4.4	3.8	0.5	3.4	3.0				
MAYO	f	2.0	0.0	20.8	47.8	15.5	0.8	9.9	2.5	0.7	0.0	2.8	47.8
	v	3.2	0.0	3.8	3.6	3.5	2.1	3.4	3.0				
JUNIO	f	2.3	0.0	25.0	37.2	16.0	0.0	5.9	1.4	12.2	0.0	2.6	37.2
	v	2.5	0.0	4.6	3.9	3.9	0.0	3.0	2.5				
JULIO	f	4.5	0.8	15.7	24.4	8.2	0.3	12.2	28.5	5.4	0.0	3.4	28.5
	v	3.1	4.3	3.6	4.3	3.8	1.5	3.1	3.1				
AGOSTO	f	3.1	0.6	16.9	26.4	7.7	0.3	13.0	23.7	8.3	0.0	3.1	26.4
	v	3.6	1.5	3.8	3.6	4.0	2.0	3.0	3.1				
SEPTIEMBRE	f	2.5	0.0	15.0	29.0	11.3	0.3	10.5	26.1	5.3	0.0	2.8	29.0
	v	3.2	0.0	3.6	4.2	4.2	0.5	3.6	3.1				
OCTUBRE	f	3.0	0.6	12.9	24.6	8.1	1.0	17.2	27.6	5.0	0.0	3.4	27.6
	v	3.4	2.0	4.2	4.3	4.0	2.7	3.3	3.2				
NOVIEMBRE	f	7.6	0.6	8.5	20.7	6.8	1.5	18.7	33.8	1.8	0.0	3.6	33.8
	v	3.9	2.5	4.3	4.3	3.8	2.8	3.7	3.2				
DICIEMBRE	f	7.9	0.3	10.1	24.1	13.5	0.0	14.5	27.9	1.7	0.0	3.4	27.9
	v	3.6	2.5	3.9	4.8	4.2	0.0	3.8	4.0				
												3.1	5.2
ANUAL	f	3.2	0.3	17.2	30.7	14.3	0.5	10.3	17.7	5.8	0.0	3.1	30.7
	v	3.0	1.2	4.1	4.3	4.2	1.6	3.4	3.2				
	f		%										
	v		m/seg										

Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.

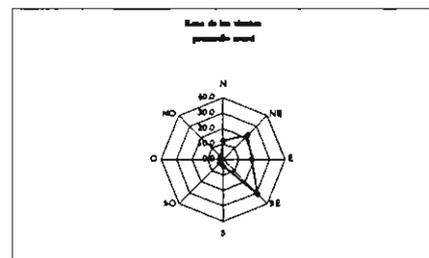
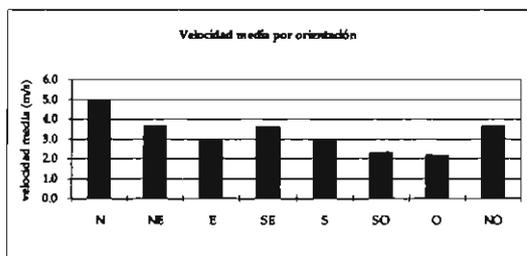


Cozumel, Quintana Roo		
LATITUD	20°31'	
LONGITUD	86°57'	
ALTITUD	3	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	20.4	.9	18.4	21.3	4.2	4.2	1.0	4.6	4.0	0.0	3.9	21.9
	v	8.0	3.4	2.8	3.5	2.6	2.9	4.1	3.8				8.0
FEBRERO	f	13.1	17.8	12.4	32.6	9.2	5.7	2.8	3.2	3.2	0.0	4.8	32.6
	v	7.7	4.3	3.0	4.7	3.0	3.1	5.3	7.2				7.7
MARZO	f	9.4	18.4	10.7	45.5	8.1	2.9	0.7	2.9	1.4	0.0	4.6	45.5
	v	5.6	4.6	3.0	5.5	7.2	2.8	1.8	6.5				7.2
ABRIL	f	4.7	15.0	15.4	54.7	5.7	2.3	0.7	0.4	1.1	0.0	3.4	54.7
	v	4.2	3.9	3.2	4.7	4.6	2.4	2.2	2.0				4.7
MAYO	f	4.5	20.0	24.6	41.6	3.6	2.0	1.3	0.3	2.1	0.0	2.6	41.6
	v	3.2	3.7	3.0	3.5	2.9	1.1	1.0	2.0				3.7
JUNIO	f	4.7	13.3	24.0	41.7	4.7	2.3	2.0	0.7	6.6	0.0	2.5	41.7
	v	2.4	2.8	2.7	3.3	3.7	1.8	1.4	1.5				3.7
JULIO	f	5.5	27.2	30.4	28.4	1.6	0.7	1.0	1.3	3.9	0.0	2.3	30.4
	v	3.0	3.4	2.9	2.8	1.3	2.0	1.4	1.6				3.4
AGOSTO	f	10.0	25.8	18.1	31.0	1.6	2.9	1.3	2.0	7.3	0.0	2.5	31.0
	v	3.3	3.2	3.0	3.2	1.4	2.0	2.0	2.1				3.3
SEPTIEMBRE	f	7.7	16.4	20.4	28.8	3.0	4.4	2.0	2.4		0.0	2.7	28.8
	v	3.5	3.6	2.6	3.2	1.8	2.5	2.3	1.9	14.9			3.6
OCTUBRE	f	21.0	34.2	15.8	11.9	2.3	2.6	2.3	2.0	7.9	0.0	3.1	34.2
	v	4.6	3.3	2.2	2.3	2.7	2.3	3.3	4.1				4.6
NOVIEMBRE	f	27.0	32.6	12.7	12.7	1.4	2.3	0.7	4.7	5.9	0.0	3.3	32.6
	v	6.3	3.8	3.1	2.9	1.3	2.8	0.6	5.6				6.3
DICIEMBRE	f	19.0	26.7	18.0	19.8	3.2	1.3	0.7	3.6	7.7	0.0	3.7	26.7
	v	7.2	3.7	3.1	3.7	3.8	2.3	0.3	5.5				7.2
												3.3	8.0
ANUAL	f	12.3	22.4	18.4	30.8	4.1	2.8	1.4	2.3	5.5	0.0	3.3	30.8
	v	4.9	3.6	2.9	3.6	3.0	2.3	2.1	3.7				4.9

f	%
v	m/seg

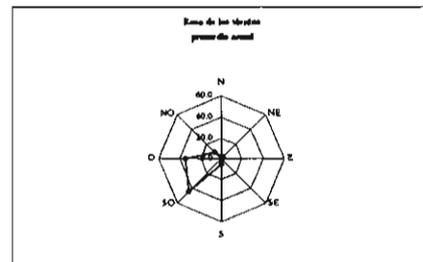
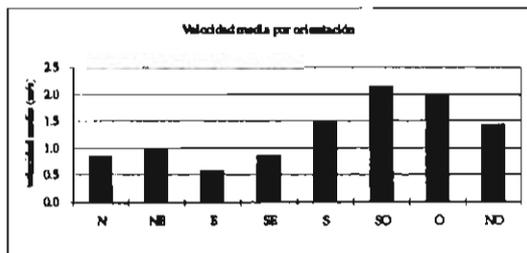
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



Culiacán, Sinaloa		
LATITUD	24°49'	
LONGITUD	107°24'	
ALTITUD	84	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	3.8	5.8	3.1	0.4	3.6	33.5	39.1	8.0	2.7	0.0	1.1	39.1
	v	0.8	1.1	1.1	0.1	1.1	1.7	1.6	1.3				1.7
FEBRERO	f	3.2	0.7	0.4	0.7	2.1	47.1	37.3	7.4	1.1	0.0	1.4	47.1
	v	1.0	1.2	1.0	1.1	1.2	1.9	2.0	1.5				2.0
MARZO	f	0.8	1.1	0.3	0.3	4.3	55.3	32.9	5.5	-0.5	0.0	1.2	55.3
	v	0.5	1.0	0.2	1.0	1.2	2.3	2.3	1.4				2.3
ABRIL	f	0.9	0.7	0.3	0.3	6.2	47.3	41.2	3.2	-0.1	0.0	1.5	47.3
	v	1.3	0.3	1.0	1.0	1.7	2.6	2.6	1.4				2.6
MAYO	f	0.3	0.0	0.0	0.0	4.2	56.3	35.6	3.6	0.0	0.0	1.1	56.3
	v	0.5	0.0	0.0	0.0	1.6	2.7	2.6	1.4				2.7
JUNIO	f	0.0	0.4	0.0	0.0	5.7	68.6	24.9	0.6	-0.2	0.0	1.0	68.6
	v	0.0	0.1	0.0	0.0	1.3	2.8	2.5	1.0				2.8
JULIO	f	1.9	4.0	1.3	0.7	7.9	54.1	24.0	4.8	1.3	0.0	1.4	54.1
	v	1.1	1.3	0.5	0.3	1.9	2.2	2.0	1.5				2.2
AGOSTO	f	5.0	4.9	0.6	1.1	8.7	39.9	25.5	12.0	2.3	0.0	1.4	39.9
	v	1.1	1.1	0.7	1.3	1.6	1.9	1.7	1.6				1.9
SEPTIEMBRE	f	5.6	3.9	0.4	1.3	8.5	24.8	31.6	21.3	2.6	0.0	1.3	31.6
	v	1.2	1.4	0.1	1.3	1.6	1.8	1.7	1.6				1.8
OCTUBRE	f	2.3	3.5	1.6	1.6	3.9	35.4	32.5	15.1	4.1	0.0	1.5	35.4
	v	0.8	1.1	0.9	2.5	1.5	1.8	1.7	1.6				2.5
NOVIEMBRE	f	2.9	3.0	0.7	0.0	6.0	37.2	37.4	11.4	1.4	0.0	1.2	37.4
	v	0.7	2.0	0.2	0.0	1.6	2.1	1.6	1.5				2.1
DICIEMBRE	f	4.2	4.5	3.7	0.8	2.5	26.2	44.9	9.3	3.9	0.0	1.4	44.9
	v	1.1	1.2	1.2	1.8	1.2	2.0	1.7	1.3				2.0
												1.3	2.8
ANUAL	f	2.6	2.7	1.0	0.6	5.3	43.8	33.9	8.5	1.6	0.0	1.3	43.8
	v	0.8	1.0	0.6	0.9	1.5	2.2	2.0	1.4				2.2
	f												
	v	%		m/seg									

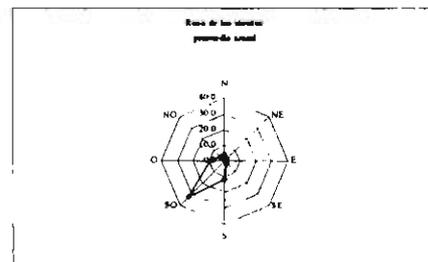
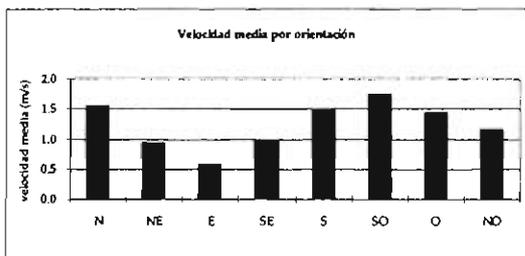
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



Ensenada, Baja California Norte		
LATITUD	31°51'	
LONGITUD	116°38'	
ALTITUD	13	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	7.4	3.3	1.0	6.8	5.8	29.7	3.9	2.9	39.2	0.0	1.5	29.7
	v	1.9	1.2	1.0	2.0	1.1	1.5	1.4	1.7				2.0
FEBRERO	f	4.4	4.0	1.2	5.6	9.1	27.8	7.9	5.8	34.2	0.0	1.6	27.8
	v	1.8	1.1	0.7	2.0	2.1	2.1	1.6	1.7				2.1
MARZO	f	7.2	1.8	0.6	2.1	9.2	40.9	6.5	3.1	28.6	0.0	1.5	40.9
	v	1.8	1.2	0.5	1.6	1.6	1.9	2.0	1.4				2.0
ABRIL	f	6.0	1.7	0.3	3.7	8.3	40.3	9.1	5.2	25.4	0.0	1.5	40.3
	v	2.7	0.7	1.0	1.4	1.6	2.0	1.4	1.4				2.7
MAYO	f	4.6	1.3	0.3	0.6	9.9	36.4	15.4	6.6	24.9	0.0	1.2	36.4
	v	1.0	0.7	0.2	0.9	1.4	2.2	2.0	1.3				2.2
JUNIO	f	3.7	0.7	0.0	1.3	9.3	42.0	9.0	5.7	28.3	0.0	1.1	42.0
	v	1.7	0.2	0.0	0.8	1.7	2.0	1.3	0.8				2.0
JULIO	f	0.3	2.9	0.7	0.5	16.6	33.2	11.9	2.8	31.1	0.0	0.9	33.2
	v	0.1	0.2	0.5	0.5	1.8	1.6	1.4	0.9				1.8
AGOSTO	f	2.1	0.3	1.1	0.6	14.6	37.6	8.7	1.4	33.6	0.0	1.0	37.6
	v	1.2	0.3	0.8	0.6	1.1	2.2	0.9	0.7				2.2
SEPTIEMBRE	f	3.8	0.0	0.3	0.3	21.2	30.8	10.5	1.2	31.9	0.0	0.9	30.8
	v	1.3	0.0	0.5	0.5	1.4	1.6	1.2	0.9				1.6
OCTUBRE	f	1.0	0.9	1.9	0.3	14.5	26.6	14.5	3.6	36.7	0.0	1.0	26.6
	v	1.0	0.6	0.8	0.1	1.5	1.4	1.6	1.1				1.6
NOVIEMBRE	f	4.5	2.5	0.5	1.5	13.9	24.7	10.5	4.2	37.7	0.0	1.4	24.7
	v	2.4	2.9	0.5	0.7	1.3	1.3	1.3	0.8				2.9
DICIEMBRE	f	4.7	5.5	0.6	2.2	7.4	18.9	7.2	3.6	49.9	0.0	1.2	18.9
	v	1.8	2.1	0.5	0.5	1.2	1.1	1.2	1.2				2.1
												1.2	2.9
ANUAL	f	4.1	2.1	0.7	2.1	11.7	32.4	9.6	3.8	33.5	0.0	1.2	32.4
	v	1.6	0.9	0.6	1.0	1.5	1.7	1.4	1.2				1.7
	f	% m/seg											
	v												

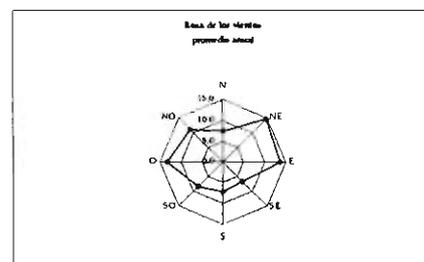
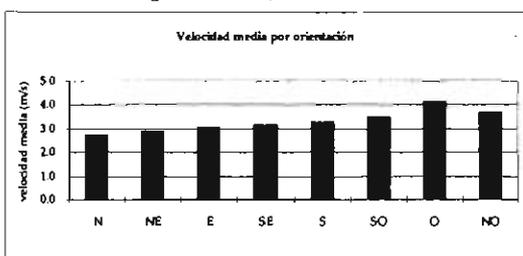
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



Guadalajara, Jalisco		
LATITUD	20°40'	
LONGITUD	103°23'	
ALTITUD	1589	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	6.9	11.0	13.6	7.7	9.4	7.6	15.5	15.8	12.5	0.0	3.7	15.8
	v	2.5	3.1	2.5	3.6	3.7	4.3	5.4	4.2				
FEBRERO	f	6.2	7.6	8.3	7.3	10.4	15.5	21.9	11.7	11.1	0.0	4.1	21.9
	v	2.5	2.4	3.1	3.9	4.5	5.5	5.6	5.3				
MARZO	f	3.7	5.7	4.2	4.8	11.5	19.5	22.5	18.4	9.7	0.0	3.9	22.5
	v	2.4	2.0	2.6	3.0	4.2	6.0	6.3	4.8				
ABRIL	f	5.2	4.3	5.5	6.2	7.7	17.3	23.5	15.3	15.0	0.0	4.5	23.5
	v	3.7	2.8	4.4	3.6	4.4	5.7	5.7	5.8				
MAYO	f	3.8	7.0	5.5	4.6	8.3	12.2	23.1	19.3	16.2	0.0	3.5	23.1
	v	2.9	2.7	2.5	3.4	2.6	3.7	4.6	5.8				
JUNIO	f	9.1	13.4	13.9	8.0	8.6	7.6	14.0	10.0	15.4	0.0	3.3	14.0
	v	2.6	3.8	2.6	2.4	3.5	3.5	3.7	4.1				
JULIO	f	9.9	21.3	21.5	7.3	4.1	2.5	3.3	5.1	25.0	0.0	2.9	21.5
	v	2.8	3.2	3.8	2.7	4.2	2.3	2.0	2.4				
AGOSTO	f	10.8	22.5	22.3	6.2	6.1	0.8	2.2	5.4	23.7	0.0	2.6	22.5
	v	2.6	2.4	3.1	3.5	2.4	1.7	2.6	2.2				
SEPTIEMBRE	f	10.4	26.4	20.2	6.8	6.2	1.2	4.0	5.1	19.7	0.0	2.6	26.4
	v	2.9	3.5	3.2	3.1	1.9	1.5	2.8	2.1				
OCTUBRE	f	8.4	26.4	18.0	6.5	4.8	2.1	3.5	7.5	22.8	0.0	2.5	26.4
	v	2.5	3.3	3.1	3.1	1.8	1.5	2.2	2.1				
NOVIEMBRE	f	7.2	16.9	18.1	6.8	3.4	6.9	10.7	9.7	20.3	0.0	3.1	18.1
	v	2.6	3.1	3.3	2.7	2.9	3.0	4.1	2.8				
DICIEMBRE	f	6.9	12.4	13.4	7.0	5.7	6.6	14.0	9.2	24.8	0.0	3.2	14.0
	v	3.0	2.7	2.8	3.0	3.2	3.4	4.7	2.9				
												3.3	6.3
ANUAL	f	7.4	14.6	13.7	6.6	7.2	8.3	13.2	11.0	18.0	0.0	3.3	14.6
	v	2.8	2.9	3.1	3.2	3.3	3.5	4.1	3.7				
	f	%											
	v	m/seg											

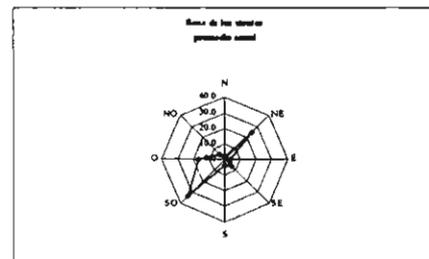
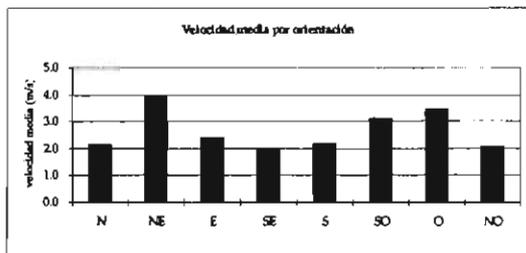
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



Guanajuato, Guanajuato		
LATITUD	21°01'	
LONGITUD	101°15'	
ALTITUD	2050	m s n m

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	0.0	7.2	1.3	7.7	5.4	45.4	26.3	3.7	3.0	0.0	2.5	45.4
	v	0.0	4.4	1.4	2.3	2.7	3.2	3.7	2.2				4.4
FEBRERO	f	0.6	9.2	2.2	7.5	0.6	41.0	32.1	3.5	3.3	0.0	3.4	41.0
	v	0.5	3.7	2.6	2.7	6.0	4.0	4.8	3.1				6.0
MARZO	f	0.0	6.0	0.6	4.7	4.1	43.8	35.7	0.3	4.8	0.0	2.7	43.8
	v	0.0	2.7	4.0	2.0	2.4	4.8	5.5	0.2				5.5
ABRIL	f	1.2	8.4	1.5	7.6	6.6	35.6	24.6	5.0	9.5	0.0	2.7	35.6
	v	1.5	2.7	1.4	1.9	3.7	3.4	4.3	2.4				4.3
MAYO	f	1.8	18.5	0.6	8.0	2.8	33.2	16.9	7.5	10.7	0.0	2.4	33.2
	v	1.5	3.5	2.0	2.6	1.6	2.8	3.1	2.2				3.5
JUNIO	f	3.5	36.5	6.2	7.6	2.1	23.0	5.9	6.1	9.1	0.0	2.8	36.5
	v	3.8	4.2	2.4	2.1	1.6	3.6	2.4	2.5				4.2
JULIO	f	3.3	45.9	7.5	6.0	2.5	14.1	4.1	6.8	9.8	0.0	2.4	45.9
	v	2.5	4.4	2.6	1.9	1.2	2.4	2.4	1.8				4.4
AGOSTO	f	2.2	41.5	6.4	5.2	3.2	24.5	6.0	2.2	8.8	0.0	2.7	41.5
	v	3.7	4.0	3.1	1.9	1.7	2.4	3.4	1.4				4.0
SEPTIEMBRE	f	1.7	47.8	3.7	5.0	2.3	20.6	5.7	4.0	9.2	0.0	2.6	47.8
	v	4.9	4.3	2.2	2.1	1.0	2.3	2.6	1.5				4.9
OCTUBRE	f	1.6	33.4	5.5	5.1	1.9	29.7	11.2	3.0	8.6	0.0	2.7	33.4
	v	2.7	4.4	2.5	2.5	1.8	2.5	2.7	2.3				4.4
NOVIEMBRE	f	1.2	26.0	3.5	3.5	4.5	39.1	12.7	2.5	7.0	0.0	2.6	39.1
	v	2.5	4.7	1.8	1.3	1.3	2.7	3.2	3.3				4.7
DICIEMBRE	f	1.6	11.0	3.3	3.5	5.2	43.2	19.4	5.5	7.3	0.0	2.5	43.2
	v	2.0	4.0	3.0	1.2	1.2	3.2	3.4	1.7				4.0
												2.7	6.0
ANUAL	f	1.6	24.3	3.5	6.0	3.4	32.8	16.7	4.2	7.6	0.0	2.7	32.8
	v	2.1	3.9	2.4	2.0	2.2	3.1	3.5	2.1				3.9
	f	% Calmas											
	v	m/seg											

Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.

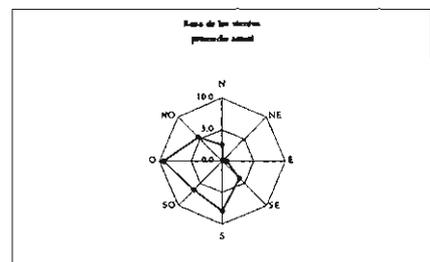
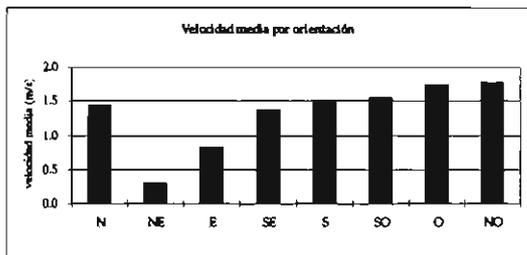


Guaymas, Sonora		
LATITUD	27°55'	
LONGITUD	110°54'	
ALTITUD	44	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.	
ENERO	f	8.8	0.4	1.1	1.2	2.3	1.1	4.3	6.7	74.1	0.0	1.4	8.8	
	v	2.9	0.5	0.7	1.2	1.0	2.1	1.4	1.6				2.9	
FEBRERO	f	5.3	0.4	1.0	0.7	1.8	1.8	9.5	4.6	74.9	0.0	1.1	9.5	
	v	2.1	0.1	0.6	0.5	0.9	1.5	1.4	1.8				2.1	
MARZO	f	3.6	0.0	2.1	1.0	2.6	5.5	12.9	10.3	62.0	0.0	1.3	12.9	
	v	1.7	0.0	1.1	1.4	1.0	1.5	1.8	1.7				1.8	
ABRIL	f	1.7	0.0	0.8	1.7	5.0	7.7	22.5	11.4	49.2	0.0	1.3	22.5	
	v	1.4	0.0	0.6	1.1	1.4	1.5	1.9	2.5				2.5	
MAYO	f	1.6	0.0	0.0	1.0	11.0	6.5	18.7	9.1	52.1	0.0	1.1	18.7	
	v	1.1	0.0	0.0	0.5	1.5	1.7	2.0	2.2				2.2	
JUNIO	f	0.0	0.0	0.4	8.4	16.6	15.7	11.0	3.6	44.3	0.0	1.4	16.6	
	v	0.0	0.0	0.5	2.1	1.8	2.4	2.3	1.9				2.4	
JULIO	f	0.0	0.0	1.0	6.8	16.8	15.5	8.7	1.0	50.2	0.0	1.4	16.8	
	v	0.0	0.0	0.9	2.1	1.9	2.0	1.9	2.3				2.3	
AGOSTO	f	0.0	0.3	1.0	7.7	15.1	10.0	3.6	0.9	61.4	0.0	1.2	15.1	
	v	0.0	1.0	0.7	1.3	2.0	1.6	2.0	1.1				2.0	
SEPTIEMBRE	f	0.4	0.0	1.0	9.3	9.0	6.6	3.4	2.3	68.0	0.0	1.5	9.3	
	v	0.5	0.0	3.9	1.8	1.7	1.7	1.4	1.0				3.9	
OCTUBRE	f	0.6	0.0	0.0	3.8	7.7	5.1	7.7	4.8	70.3	0.0	1.4	7.7	
	v	2.8	0.0	0.0	2.4	1.7	1.2	1.7	1.2				2.8	
NOVIEMBRE	f	2.3	0.0	0.4	1.3	3.4	1.7	7.6	4.3	79.0	0.0	1.2	7.6	
	v	2.3	0.0	0.5	0.8	1.1	1.0	1.7	2.4				2.4	
DICIEMBRE	f	6.5	0.4	0.4	1.6	4.0	0.8	2.0	5.6	78.7	0.0	1.5	6.5	
	v	2.5	2.0	0.5	1.2	2.0	0.4	1.5	1.6				2.5	
												1.3	3.9	
ANUAL	f	2.6	0.1	0.8	3.7	7.9	6.5	9.3	5.4	63.7	0.0	1.3	9.3	
	v	1.4	0.3	0.8	1.4	1.5	1.6	1.8	1.8				1.8	
	f													
	v													

f	%
v	m/seg

Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.

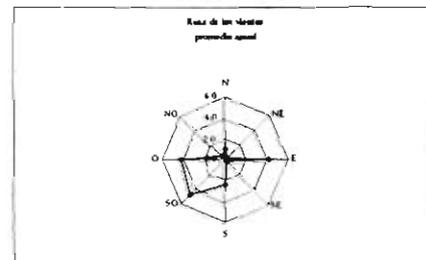
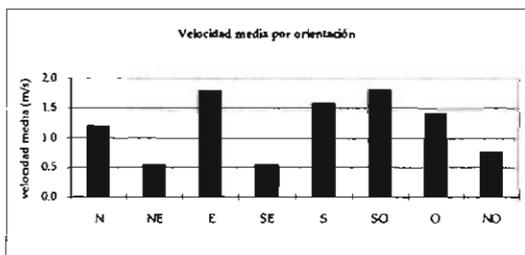


Hermosillo, Sonora		
LATITUD	29°04'	
LONGITUD	110°58'	
ALTITUD	237	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	3.6	0.7	6.1	0.2	0.7	3.9	3.1	0.0	81.7	0.0	1.3	6.1
	v	1.4	1.3	1.6	1.0	1.3	1.6	1.8	0.0				1.8
FEBRERO	f	1.4	0.2	4.3	0.0	1.6	7.1	7.2	1.3	76.9	0.0	1.2	7.2
	v	1.3	1.0	1.5	0.0	1.1	1.8	1.7	1.2				1.8
MARZO	f	0.7	0.3	2.8	0.0	1.7	6.8	11.3	2.0	74.4	0.0	1.3	11.3
	v	0.2	0.1	2.4	0.0	1.4	2.6	1.8	1.8				2.6
ABRIL	f	0.9	0.0	1.6	0.0	3.9	6.2	6.1	0.8	80.5	0.0	1.4	6.2
	v	2.3	0.0	1.8	0.0	1.8	1.8	1.6	1.5				2.3
MAYO	f	0.7	0.0	2.0	0.0	5.7	9.8	4.3	0.0	77.5	0.0	1.0	9.8
	v	1.3	0.0	1.0	0.0	1.9	2.3	1.4	0.0				2.3
JUNIO	f	0.7	0.0	1.7	0.0	3.5	9.5	6.7	0.0	77.9	0.0	1.1	9.5
	v	1.4	0.0	1.5	0.0	2.3	1.8	1.4	0.0				2.3
JULIO	f	0.2	0.1	5.0	0.2	3.5	4.2	2.3	0.3	84.2	0.0	1.5	5.0
	v	1.0	1.0	2.1	3.0	1.7	1.7	1.3	0.1				3.0
AGOSTO	f	0.4	0.0	2.5	1.2	2.2	2.6	1.1	0.1	89.9	0.0	1.2	2.6
	v	0.1	0.0	2.1	1.0	1.9	1.6	1.5	1.0				2.1
SEPTIEMBRE	f	1.2	0.7	6.4	0.4	2.5	1.7	2.5	0.4	84.2	0.0	1.4	6.4
	v	1.8	0.4	2.1	1.5	2.0	1.7	1.2	0.1				2.1
OCTUBRE	f	0.3	0.0	4.7	0.0	1.8	1.6	2.7	0.0	88.9	0.0	0.9	4.7
	v	1.0	0.0	1.8	0.0	1.6	1.7	1.0	0.0				1.8
NOVIEMBRE	f	1.5	0.8	4.9	0.0	0.4	2.2	0.5	0.2	89.5	0.0	1.3	4.9
	v	1.3	1.7	1.7	0.0	1.0	1.5	1.0	2.5				2.5
DICIEMBRE	f	1.0	0.2	7.3	0.4	1.5	1.5	2.8	0.8	84.5	0.0	1.2	7.3
	v	1.3	1.0	2.0	0.1	1.1	1.6	1.3	1.1				2.0
												1.2	3.0
ANUAL	f	1.1	0.3	4.1	0.2	2.4	4.8	4.2	0.5	82.5	0.0	1.2	4.8
	v	1.2	0.5	1.8	0.6	1.6	1.8	1.4	0.8				1.8

f	%
v	m/seg

Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.

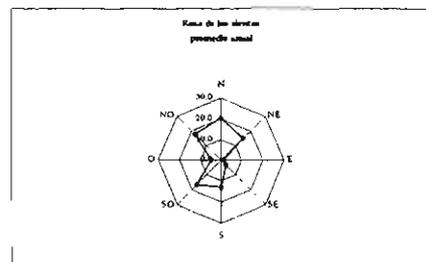
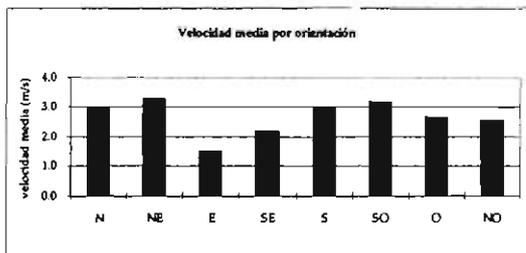


La Paz, Baja California Sur		
LATITUD	24°10'	
LONGITUD	110°25'	
ALTITUD	10	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	20.0	36.6	3.0	3.0	4.9	5.2	3.6	14.6	9.1	0.0	3.1	36.6
	v	3.6	4.6	2.3	2.2	3.5	2.7	3.3	2.7				
FEBRERO	f	32.8	18.9	2.5	3.7	8.9	6.5	6.0	12.2	8.5	0.0	3.1	32.8
	v	4.3	3.9	2.6	2.3	2.9	2.8	3.1	3.0				
MARZO	f	25.4	12.3	1.0	4.6	13.2	9.0	8.5	18.8	7.2	0.0	2.6	25.4
	v	3.1	3.8	0.5	1.2	3.8	2.7	3.0	2.7				
ABRIL	f	24.0	4.3	0.4	2.9	15.0	18.7	4.9	24.3	5.5	0.0	2.9	24.3
	v	3.9	2.5	0.2	2.9	2.9	3.9	3.6	2.9				
MAYO	f	17.7	5.6	0.2	2.2	16.8	26.3	5.6	20.4	5.2	0.0	2.8	26.3
	v	2.6	4.2	1.0	3.0	2.5	3.8	3.1	2.5				
JUNIO	f	8.9	2.5	0.4	1.4	20.5	37.4	3.3	19.4	6.2	0.0	2.0	37.4
	v	2.2	2.0	0.3	0.3	2.5	3.5	2.6	2.4				
JULIO	f	10.8	2.4	0.2	1.8	17.9	28.9	6.7	16.6	14.7	0.0	2.3	28.9
	v	1.7	2.3	3.0	1.4	2.8	3.0	1.8	2.1				
AGOSTO	f	12.2	1.6	0.4	3.9	15.9	25.9	5.8	20.1	14.2	0.0	2.8	25.9
	v	1.8	2.3	4.8	2.2	3.9	3.0	2.2	2.1				
SEPTIEMBRE	f	14.8	3.3	0.7	2.4	18.8	17.6	3.1	28.4	10.9	0.0	2.6	28.4
	v	2.0	2.6	0.4	4.6	3.0	3.0	2.3	2.9				
OCTUBRE	f	22.1	9.2	1.9	6.7	12.2	12.5	5.2	20.7	9.5	0.0	2.7	22.1
	v	2.9	3.2	1.6	1.6	3.4	3.8	2.7	2.2				
NOVIEMBRE	f	29.5	31.8	1.0	3.3	6.1	6.5	3.6	10.8	7.4	0.0	2.6	31.8
	v	3.5	3.9	1.0	2.0	2.6	3.0	2.6	2.5				
DICIEMBRE	f	22.9	48.3	1.6	2.4	4.8	4.7	1.8	4.2	9.3	0.0	2.6	48.3
	v	4.3	4.0	0.4	2.5	2.5	2.9	1.9	2.6				
												2.7	4.8
ANUAL	f	20.1	14.7	1.1	3.2	12.9	16.6	4.8	17.5	9.0	0.0	2.7	20.1
	v	3.0	3.3	1.5	2.2	3.0	3.2	2.7	2.6				
	f												
	v												

f	%
v	m/seg

Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.

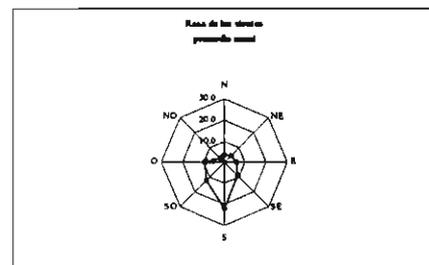
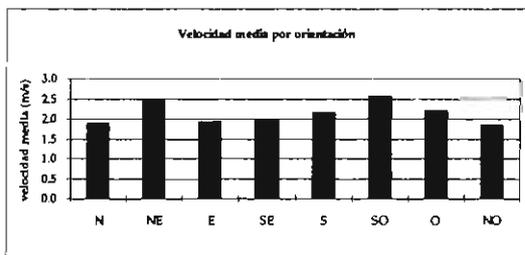


León, Guanajuato		
LATITUD	21°07'	
LONGITUD	101°41'	
ALTITUD	1809	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	1.1	0.7	2.9	7.6	27.5	14.1	12.6	2.9	30.6	0.0	1.9	27.5
	v	1.2	1.5	1.3	1.9	1.8	2.7	2.6	2.0				2.7
FEBRERO	f	0.4	0.2	2.1	5.0	28.7	22.8	17.2	2.6	21.0	0.0	2.6	28.7
	v	2.0	3.0	1.9	1.8	2.6	3.4	2.8	3.0				3.4
MARZO	f	2.7	1.8	2.0	5.2	28.2	22.4	18.9	1.5	17.3	0.0	2.7	28.2
	v	2.1	3.6	1.6	1.7	3.0	3.6	3.4	2.4				3.6
ABRIL	f	2.9	5.2	4.9	5.2	25.1	20.2	13.5	1.8	21.2	0.0	2.3	25.1
	v	1.5	2.0	1.7	2.4	2.6	3.2	3.1	1.7				3.2
MAYO	f	7.2	5.3	6.4	6.9	15.0	16.8	9.0	4.3	29.1	0.0	2.0	16.8
	v	2.0	2.3	1.7	1.9	1.9	2.3	2.2	1.8				2.3
JUNIO	f	3.9	11.8	7.4	13.2	15.6	4.7	2.0	5.5	35.9	0.0	2.4	15.6
	v	2.4	2.5	1.9	2.5	2.2	2.8	2.1	2.4				2.8
JULIO	f	4.1	6.6	12.3	12.5	20.9	4.8	3.4	2.0	33.4	0.0	1.8	20.9
	v	1.6	2.5	2.1	2.1	2.1	1.7	1.2	1.4				2.5
AGOSTO	f	3.6	7.2	9.4	9.2	18.8	7.6	4.8	1.3	38.1	0.0	1.9	18.8
	v	1.7	2.9	2.2	2.1	1.8	2.3	1.2	1.0				2.9
SEPTIEMBRE	f	4.0	8.9	7.7	14.7	18.9	6.2	4.8	3.0	31.8	0.0	1.9	18.9
	v	1.7	2.7	1.8	2.1	2.2	1.9	1.5	1.3				2.7
OCTUBRE	f	4.5	5.5	7.9	11.6	16.3	7.9	6.3	3.3	36.7	0.0	1.9	16.3
	v	1.5	2.7	2.0	1.8	1.7	1.8	1.6	2.0				2.7
NOVIEMBRE	f	4.8	3.2	4.5	8.0	19.5	7.5	8.3	2.0	42.2	0.0	2.3	19.5
	v	2.0	2.8	2.7	2.5	1.9	1.8	2.7	1.9				2.8
DICIEMBRE	f	1.3	0.6	1.6	3.9	26.3	10.3	10.5	1.4	44.1	0.0	2.1	26.3
	v	3.2	1.3	2.3	1.3	1.9	3.3	2.0	1.4				3.3
												2.1	3.6
ANUAL	f	3.4	4.8	5.8	8.6	21.7	12.1	9.3	2.6	31.8	0.0	2.1	21.7
	v	1.9	2.5	1.9	2.0	2.1	2.6	2.2	1.9				2.6

f	%
v	m/seg

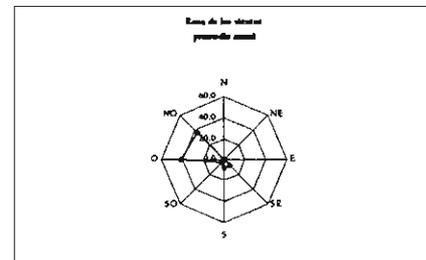
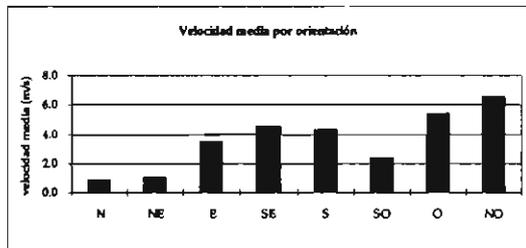
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



Manzanillo, Colima		
LATITUD	19°03'	
LONGITUD	104°17'	
ALTITUD	8	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	0.6	1.0	1.4	7.0	4.7	2.1	46.5	34.1	2.6	0.0	3.8	46.5
	v	5.0	5.8	2.2	2.8	2.1	2.4	5.7	4.7				
FEBRERO	f	0.0	0.0	0.6	6.4	4.9	0.9	48.3	36.8	2.1	0.0	3.6	48.3
	v	0.0	0.0	4.0	3.6	7.0	2.7	6.0	5.3				
MARZO	f	0.0	0.0	0.8	7.0	5.6	1.1	43.8	40.9	0.8	0.0	3.2	43.8
	v	0.0	0.0	1.7	3.3	3.9	2.7	6.2	8.1				
ABRIL	f	0.0	0.0	0.6	6.2	4.5	0.9	46.8	41.5	-0.5	0.0	3.2	46.8
	v	0.0	0.0	2.0	3.1	4.5	3.1	6.0	6.9				
MAYO	f	0.0	0.0	0.3	2.5	2.6	1.0	50.1	43.4	0.1	0.0	3.2	50.1
	v	0.0	0.0	3.5	3.4	1.9	2.6	6.5	7.5				
JUNIO	f	0.0	0.0	1.3	5.1	8.5	4.1	39.8	40.7	0.5	0.0	3.8	40.7
	v	0.0	0.0	3.6	5.7	5.0	3.1	4.6	8.2				
JULIO	f	0.3	0.0	1.9	12.1	14.2	3.9	33.3	31.7	2.6	0.0	3.6	33.3
	v	0.1	0.0	3.3	7.0	6.3	2.1	3.9	6.3				
AGOSTO	f	0.0	0.9	1.4	12.9	13.7	3.7	31.8	34.1	1.5	0.0	3.9	34.1
	v	0.0	1.5	4.9	5.9	4.2	2.4	5.3	6.7				
SEPTIEMBRE	f	0.4	0.4	2.4	13.3	15.1	3.8	34.1	27.5	3.0	0.0	4.0	34.1
	v	1.0	0.5	5.0	5.6	6.1	1.8	5.4	6.5				
OCTUBRE	f	0.6	0.6	1.1	9.6	8.5	4.1	38.5	33.5	3.5	0.0	4.3	38.5
	v	1.3	4.1	3.7	6.8	4.2	2.7	4.9	6.7				
NOVIEMBRE	f	0.3	0.4	0.7	3.8	7.2	4.7	42.4	38.6	1.9	0.0	3.8	42.4
	v	2.5	0.1	5.2	3.8	3.7	1.4	4.9	9.1				
DICIEMBRE	f	0.6	0.3	1.4	6.3	6.3	5.2	39.1	36.1	4.7	0.0	2.6	39.1
	v	1.1	0.1	2.6	3.3	3.2	1.7	5.4	3.1				
												3.6	9.1
ANUAL	f	0.2	0.3	1.2	7.7	8.0	3.0	41.2	36.6	1.9	0.0	3.6	41.2
	v	0.9	1.0	3.5	4.5	4.3	2.4	5.4	6.6				
	f												
	v												
		%											
		m/seg											

Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.

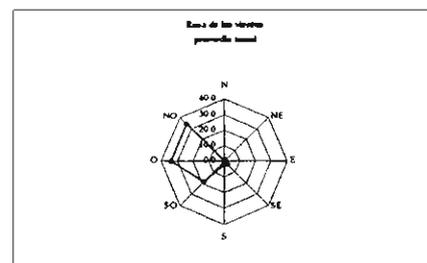
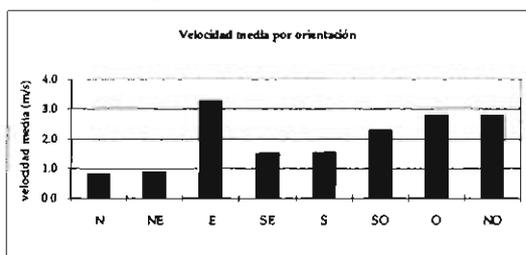


Mazatlán, Sinaloa		
LATITUD	23°12'	
LONGITUD	106°25'	
ALTITUD	3	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	0.4	2.6	0.4	1.1	2.0	9.5	27.8	48.7	7.5	0.0	2.1	48.7
	v	1.5	0.9	2.5	1.4	3.8	1.4	2.1	2.8				3.8
FEBRERO	f	0.7	0.7	0.4	4.0	0.7	9.3	26.4	48.2	9.6	0.0	1.6	48.2
	v	1.3	1.2	0.1	1.2	0.5	2.1	2.9	3.6				3.6
MARZO	f	2.6	0.0	0.3	2.0	1.6	10.4	33.0	43.7	6.4	0.0	1.7	43.7
	v	1.0	0.0	1.5	1.4	1.5	2.0	2.9	3.2				3.2
ABRIL	f	0.6	0.3	1.1	3.1	2.8	13.0	36.9	37.7	4.5	0.0	1.9	37.7
	v	1.0	0.3	1.8	1.4	1.8	2.8	2.8	3.2				3.2
MAYO	f	0.3	0.3	0.3	5.4	2.1	19.8	33.8	32.9	5.1	0.0	1.8	33.8
	v	1.0	0.5	1.0	1.4	2.4	2.8	2.9	2.5				2.9
JUNIO	f	0.0	0.0	0.4	2.0	3.0	23.9	37.6	28.7	4.4	0.0	1.7	37.6
	v	0.0	0.0	1.5	1.5	1.8	3.2	2.8	2.8				3.2
JULIO	f	0.0	0.6	1.0	3.3	2.9	24.8	40.0	23.7	3.7	0.0	1.7	40.0
	v	0.0	1.8	1.1	1.2	1.8	2.4	2.5	2.8				2.8
AGOSTO	f	0.3	1.6	0.3	1.6	3.5	30.8	32.3	21.9	7.7	0.0	1.7	32.3
	v	1.5	1.6	1.0	1.1	1.6	2.5	2.1	2.2				2.5
SEPTIEMBRE	f	0.3	1.0	1.0	4.7	2.0	25.3	33.9	18.7	13.1	0.0	4.1	33.9
	v	0.1	1.4	17.9	2.8	0.5	2.3	5.3	2.5				17.9
OCTUBRE	f	0.7	0.3	2.2	3.3	1.3	22.6	37.1	25.3	7.2	0.0	2.6	37.1
	v	1.3	0.4	8.7	1.7	0.6	2.5	2.7	2.8				8.7
NOVIEMBRE	f	0.4	0.7	0.4	2.4	1.3	17.4	37.6	32.4	7.4	0.0	1.7	37.6
	v	1.0	1.6	1.0	1.8	0.7	2.1	2.6	2.9				2.9
DICIEMBRE	f	0.3	0.7	2.0	0.8	2.3	8.9	29.4	41.7	13.9	0.0	1.4	41.7
	v	0.2	0.8	1.2	1.3	1.3	1.5	2.2	2.5				2.5
												2.0	17.9
ANUAL	f	0.6	0.7	0.8	2.8	2.1	18.0	33.8	33.6	7.5	0.0	2.0	33.8
	v	0.8	0.9	3.3	1.5	1.5	2.3	2.8	2.8				3.3

f	%
v	m/seg

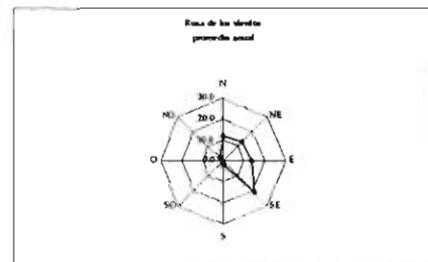
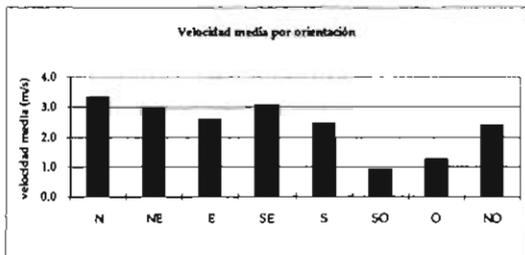
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



Mérida, Yucatán		
LATITUD	20°59'	
LONGITUD	89°39'	
ALTITUD	9	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.	
ENERO	f	13.3	16.8	14.8	14.6	2.9	0.0	1.0	3.9	32.7	0.0	2.2	16.8	
	v	3.6	2.6	2.5	2.7	2.5	0.0	1.2	2.6					
FEBRERO	f	14.1	10.6	11.8	22.2	4.3	0.4	0.4	5.6	30.6	0.0	2.7	22.2	
	v	3.8	3.7	2.7	3.2	4.1	1.0	0.3	3.0					
MARZO	f	14.5	10.6	11.9	26.5	5.2	0.6	1.3	2.6	26.8	0.0	2.8	26.5	
	v	4.3	2.9	2.4	3.9	4.7	0.9	1.7	1.3					
ABRIL	f	6.0	9.0	8.0	44.0	2.0	1.3	0.7	1.4	27.6	0.0	3.1	44.0	
	v	4.8	3.4	2.7	3.7	4.8	2.0	1.3	1.9					
MAYO	f	11.0	13.2	11.7	30.1	0.7	0.7	0.9	0.7	31.0	0.0	2.6	30.1	
	v	3.0	4.5	3.5	3.5	0.8	0.5	2.2	2.8					
JUNIO	f	6.4	12.0	17.7	33.0	1.0	0.7	1.0	0.7	27.5	0.0	2.6	33.0	
	v	3.3	2.9	2.7	3.4	1.2	0.8	3.5	2.6					
JULIO	f	4.2	10.9	26.1	20.3	1.9	0.3	0.0	0.7	35.6	0.0	2.1	26.1	
	v	1.8	3.3	3.0	2.8	1.4	0.5	0.0	4.0					
AGOSTO	f	3.9	6.4	19.4	19.0	0.3	0.3	1.0	0.3	49.4	0.0	1.9	19.4	
	v	2.9	1.5	2.5	2.8	3.0	0.2	0.6	1.5					
SEPTIEMBRE	f	6.7	7.3	12.7	14.0	1.4	1.3	0.7	0.7	55.2	0.0	2.0	14.0	
	v	2.8	1.7	2.4	3.0	2.2	1.4	0.8	1.3					
OCTUBRE	f	18.8	19.6	8.3	6.8	1.3	1.0	1.3	2.9	40.0	0.0	2.3	19.6	
	v	3.1	2.7	2.0	2.1	2.4	1.7	1.4	3.3					
NOVIEMBRE	f	24.7	18.7	8.4	9.7	0.4	0.0	2.0	4.0	32.1	0.0	2.1	24.7	
	v	3.5	3.8	2.4	2.4	0.4	0.0	1.5	3.1					
DICIEMBRE	f	16.4	14.5	14.9	13.9	1.2	0.7	0.4	1.8	36.2	0.0	2.3	16.4	
	v	3.2	2.9	2.4	3.5	2.0	2.1	0.7	1.4					
												2.4	4.8	
ANUAL	f	11.7	12.5	13.8	21.2	1.9	0.6	0.9	2.1	35.4	0.0	2.4	21.2	
	v	3.3	3.0	2.6	3.1	2.5	0.9	1.3	2.4					
	f												%	
	v												m/seg	

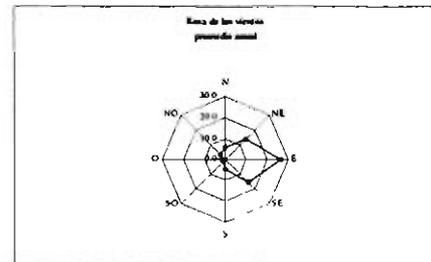
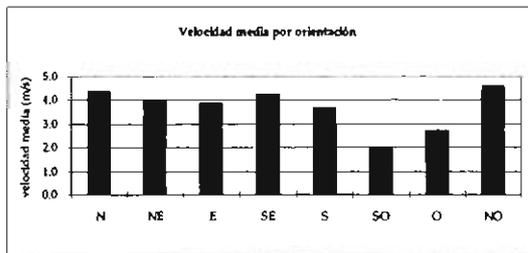
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



Monterrey, Nuevo León		
LATITUD	25°40'	
LONGITUD	100°18'	
ALTITUD	538	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	8.4	15.1	17.0	7.0	1.6	0.3	1.4	3.2	46.0	0.0	3.0	17.0
	v	6.8	3.3	2.5	2.8	1.4	0.1	2.4	5.0			6.8	
FEBRERO	f	11.2	11.6	23.3	7.9	8.0	1.8	3.8	4.0	28.4	0.0	3.7	23.3
	v	5.7	4.3	3.3	3.5	2.0	0.8	5.1	5.2			5.7	
MARZO	f	4.9	15.0	20.4	15.5	7.6	2.8	3.9	8.6	21.3	0.0	5.5	20.4
	v	6.1	4.5	4.8	3.8	8.6	5.8	5.9	4.4			8.6	
ABRIL	f	9.0	12.4	22.7	12.5	7.2	2.0	2.7	13.2	18.3	0.0	4.2	22.7
	v	5.9	5.5	3.4	4.0	4.4	4.1	1.0	5.1			5.9	
MAYO	f	7.5	16.0	27.8	17.3	5.4	1.9	3.2	4.8	16.1	0.0	4.0	27.8
	v	4.6	3.7	4.9	4.5	2.5	3.2	3.0	5.9			5.9	
JUNIO	f	6.4	18.6	44.0	17.5	1.4	0.0	0.4	0.7	11.0	0.0	3.8	44.0
	v	3.7	3.8	5.5	6.0	5.4	0.0	3.5	2.8			6.0	
JULIO	f	1.4	16.1	37.6	24.6	4.7	0.0	1.1	1.2	13.3	0.0	3.9	37.6
	v	2.6	5.3	5.0	6.0	5.5	0.0	2.8	4.0			6.0	
AGOSTO	f	2.8	13.5	37.3	24.1	5.7	0.9	0.3	1.2	14.2	0.0	3.9	37.3
	v	4.9	3.5	5.1	5.7	5.0	3.7	0.5	2.7			5.7	
SEPTIEMBRE	f	2.9	12.0	28.5	20.6	6.0	1.0	0.6	1.2	27.2	0.0	3.2	28.5
	v	3.6	3.2	3.5	4.9	2.2	0.9	3.0	4.4			4.9	
OCTUBRE	f	1.9	11.1	21.9	21.0	4.8	1.2	1.1	0.6	36.4	0.0	2.9	21.9
	v	2.0	4.0	3.2	3.5	3.0	1.2	3.4	2.5			4.0	
NOVIEMBRE	f	5.1	9.5	21.3	10.0	3.8	0.7	1.0	1.5	47.1	0.0	2.7	21.3
	v	3.2	3.6	2.6	2.8	1.7	0.6	2.4	4.5			4.5	
DICIEMBRE	f	6.7	13.3	14.1	7.3	0.8	0.6	0.0	1.2	56.0	0.0	3.5	14.1
	v	3.3	3.9	2.7	3.2	2.2	3.5	0.0	8.9			8.9	
												3.7	8.9
ANUAL	f	5.7	13.7	26.3	15.4	4.8	1.1	1.6	3.5	27.9	0.0	3.7	26.3
	v	4.4	4.1	3.9	4.2	3.7	2.0	2.8	4.6			4.6	
	f	%											
	v	m/seg											

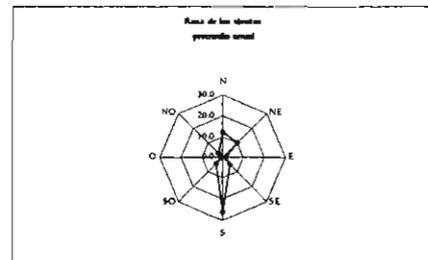
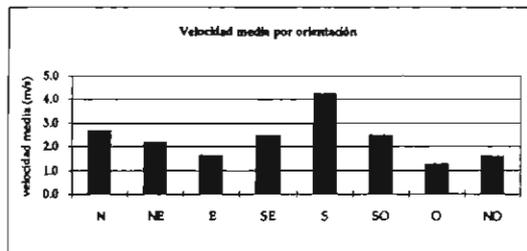
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



Morelia, Michoacán		
LATITUD	19°42'	
LONGITUD	101°11'	
ALTITUD	1941	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	6.5	5.8	1.6	5.1	39.8	4.5	0.0	1.9	34.8	0.0	2.2	39.8
	v	2.6	2.4	2.1	2.0	4.0	2.6	0.0	1.7				
FEBRERO	f	6.4	5.3	1.1	6.4	42.7	9.1	0.7	3.2	25.1	0.0	2.5	42.7
	v	2.5	1.9	1.7	2.1	4.9	4.2	0.8	2.0				
MARZO	f	6.4	5.1	1.3	6.4	43.4	4.8	1.6	1.9	29.1	0.0	2.7	43.4
	v	2.6	2.6	1.3	4.2	4.9	2.6	1.3	1.8				
ABRIL	f	7.0	5.7	2.7	2.7	28.8	4.0	1.7	4.3	43.1	0.0	2.5	28.8
	v	2.8	2.5	1.5	1.9	4.9	3.0	2.0	1.7				
MAYO	f	9.3	6.1	2.6	3.2	25.2	5.1	0.3	2.3	45.9	0.0	2.3	25.2
	v	2.5	2.0	1.7	1.4	4.3	2.4	3.0	1.0				
JUNIO	f	11.7	9.3	1.0	4.3	23.3	4.0	1.0	2.0	43.4	0.0	1.9	23.3
	v	2.2	1.7	0.5	1.8	4.0	2.5	1.7	1.0				
JULIO	f	13.7	15.4	1.1	6.4	13.5	4.9	0.9	3.8	40.3	0.0	1.8	15.4
	v	2.0	1.8	1.3	2.4	2.4	1.5	0.6	2.0				
AGOSTO	f	14.4	12.7	1.4	7.0	21.6	2.1	0.6	2.4	37.8	0.0	2.0	21.6
	v	2.9	2.2	1.3	2.3	3.3	1.5	0.5	1.7				
SEPTIEMBRE	f	19.5	17.7	1.7	5.1	17.6	2.3	1.0	1.1	34.0	0.0	2.4	19.5
	v	3.0	2.5	3.4	1.6	3.7	2.2	1.0	2.0				
OCTUBRE	f	22.5	19.2	3.4	4.1	12.6	3.4	0.9	2.5	31.4	0.0	2.5	22.5
	v	2.7	2.9	1.4	4.5	3.1	2.2	1.7	1.6				
NOVIEMBRE	f	18.9	14.9	1.2	2.1	17.7	3.1	0.6	5.9	35.6	0.0	2.7	18.9
	v	3.4	2.2	1.7	2.4	6.6	2.6	1.0	1.3				
DICIEMBRE	f	7.9	5.4	1.4	7.3	25.8	3.9	1.1	1.4	45.8	0.0	2.4	25.8
	v	2.9	1.5	1.7	3.2	4.6	2.5	1.4	1.4				
												2.3	6.6
ANUAL	f	12.0	10.2	1.7	5.0	26.0	4.3	0.9	2.7	37.2	0.0	2.3	26.0
	v	2.7	2.2	1.6	2.5	4.2	2.5	1.3	1.6				
	f												
	v	%											
		m/seg											

Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.

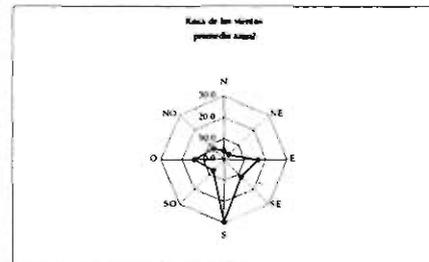
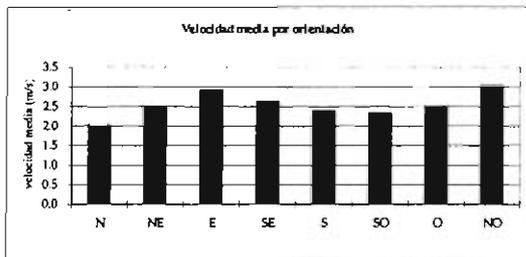


Oaxaca, Oaxaca		
LATITUD	17°04'	
LONGITUD	96°43'	
ALTITUD	1550	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	3.2	2.4	16.7	12.5	29.2	8.1	13.5	6.6	7.8	0.0	2.6	29.2
	v	1.7	3.1	3.4	2.6	2.4	2.1	2.5	3.1				3.4
FEBRERO	f	1.5	2.2	16.6	13.8	37.3	9.3	10.5	3.7	5.1	0.0	2.4	37.3
	v	1.2	1.8	2.8	2.8	2.3	2.7	2.7	3.2				3.2
MARZO	f	1.6	2.0	13.2	15.4	44.8	7.8	8.5	1.7	5.0	0.0	2.7	44.8
	v	1.2	2.9	2.5	3.1	2.8	2.8	2.7	3.4				3.4
ABRIL	f	2.5	2.2	14.5	11.6	44.6	8.4	11.2	0.8	4.2	0.0	2.6	44.6
	v	2.4	2.1	3.4	3.0	2.6	2.8	3.0	1.3				3.4
MAYO	f	2.2	3.2	17.4	13.5	31.8	10.0	10.7	4.1	7.1	0.0	2.4	31.8
	v	1.5	2.1	2.5	2.7	2.4	2.9	2.7	2.7				2.9
JUNIO	f	3.3	3.3	18.3	11.5	27.7	5.6	14.7	5.1	10.5	0.0	2.6	27.7
	v	1.8	1.8	2.7	3.0	2.5	2.4	2.1	4.5				4.5
JULIO	f	5.6	7.8	19.3	7.9	19.2	3.7	17.8	10.2	8.5	0.0	2.3	19.3
	v	1.9	2.7	2.5	2.5	2.1	2.0	2.1	2.3				2.7
AGOSTO	f	6.5	5.6	24.7	8.5	20.8	2.7	17.1	5.2	8.9	0.0	2.3	24.7
	v	2.2	3.0	2.7	2.1	2.3	1.5	2.3	2.4				3.0
SEPTIEMBRE	f	7.6	2.9	13.3	13.4	27.2	6.7	10.1	10.1	8.7	0.0	2.7	27.2
	v	3.0	2.4	3.2	2.5	2.4	2.4	2.5	3.1				3.2
OCTUBRE	f	7.3	2.6	11.6	9.8	19.9	7.0	21.4	14.7	5.7	0.0	2.8	21.4
	v	3.2	1.7	3.1	3.0	2.5	2.5	2.7	4.0				4.0
NOVIEMBRE	f	5.2	2.9	17.3	9.8	22.0	6.8	15.6	13.7	6.7	0.0	2.7	22.0
	v	2.2	3.1	3.2	2.2	2.1	2.5	2.2	4.0				4.0
DICIEMBRE	f	3.2	3.9	14.7	10.4	29.4	7.1	16.0	7.9	7.4	0.0	2.4	29.4
	v	2.1	3.2	2.9	2.1	2.3	1.6	2.4	2.3				3.2
												2.5	4.5
ANUAL	f	4.1	3.4	16.5	11.5	29.5	6.9	13.9	7.0	7.1	0.0	2.5	29.5
	v	2.0	2.5	2.9	2.6	2.4	2.4	2.5	3.0				3.0
	f												
	v												

f	%
v	m/seg

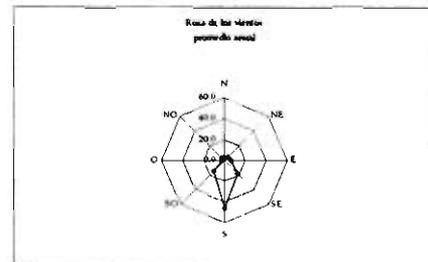
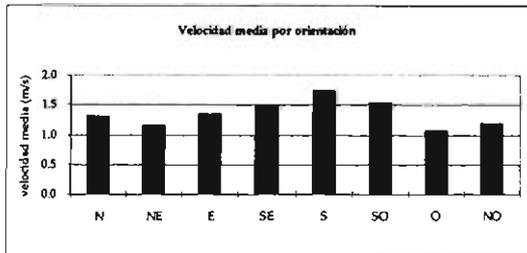
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



Puebla, Puebla		
LATITUD	19°02'	
LONGITUD	98°12'	
ALTITUD	2162	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	0.4	0.7	3.1	16.3	56.1	17.6	1.8	2.4	1.6	0.0	1.3	56.1
	v	1.0	0.9	1.0	1.6	1.9	1.8	1.1	1.0			1.9	1.9
FEBRERO	f	1.0	3.0	4.0	10.8	55.4	17.9	3.8	1.5	2.6	0.0	1.5	55.4
	v	2.4	0.5	1.1	1.7	2.3	2.0	1.1	0.9			2.4	2.4
MARZO	f	0.6	2.3	4.2	21.8	48.7	16.3	1.3	1.1	3.7	0.0	1.3	48.7
	v	0.7	0.7	1.2	1.8	2.0	1.9	1.0	0.8			2.0	2.0
ABRIL	f	2.2	4.5	5.1	11.7	46.5	18.1	2.5	4.0	5.4	0.0	1.4	46.5
	v	1.5	0.9	0.9	1.3	2.0	1.5	1.5	1.2			2.0	2.0
MAYO	f	3.2	5.6	7.8	11.0	40.7	22.0	4.0	2.9	2.8	0.0	1.3	40.7
	v	1.2	1.1	1.5	1.1	1.6	1.8	1.0	1.1			1.8	1.8
JUNIO	f	2.9	5.4	6.8	15.3	45.5	10.5	2.4	3.2	8.0	0.0	1.4	45.5
	v	0.9	1.6	1.5	1.7	1.7	1.4	1.2	1.2			1.7	1.7
JULIO	f	2.1	5.0	10.0	19.0	37.6	11.3	2.7	2.3	10.0	0.0	1.3	37.6
	v	1.1	1.5	1.7	1.5	1.4	1.1	0.9	1.0			1.7	1.7
AGOSTO	f	2.9	4.2	8.7	22.3	35.9	15.5	1.3	2.3	6.9	0.0	1.3	35.9
	v	1.0	2.0	1.3	1.3	1.3	1.4	0.7	1.2			2.0	2.0
SEPTIEMBRE	f	3.0	2.7	6.3	15.8	48.1	12.4	2.9	3.0	5.8	0.0	1.6	48.1
	v	1.1	1.8	1.6	1.9	1.7	1.7	1.2	1.6			1.9	1.9
OCTUBRE	f	6.2	3.7	4.8	17.6	43.9	8.3	3.2	6.7	5.6	0.0	1.2	43.9
	v	1.8	0.9	1.2	1.2	1.5	1.2	0.9	1.1			1.8	1.8
NOVIEMBRE	f	1.4	6.8	7.0	21.2	44.6	8.1	2.0	7.2	1.7	0.0	1.7	44.6
	v	2.0	1.2	1.7	1.6	1.8	1.4	1.2	2.6			2.6	2.6
DICIEMBRE	f	0.4	3.0	5.7	24.3	50.5	7.0	3.6	1.2	4.3	0.0	1.2	50.5
	v	1.0	0.9	1.5	1.2	1.7	1.2	1.1	0.7			1.7	1.7
												1.4	2.6
ANUAL	f	2.2	3.9	6.1	17.3	46.1	13.8	2.6	3.2	4.9	0.0	1.4	46.1
	v	1.3	1.2	1.4	1.5	1.7	1.5	1.1	1.2			1.7	1.7
	f	%											
	v	m/seg											

Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.

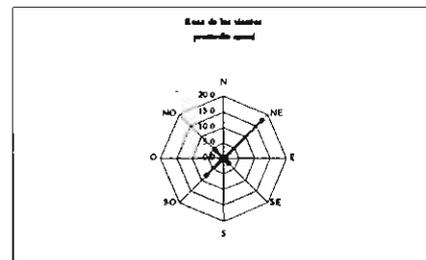
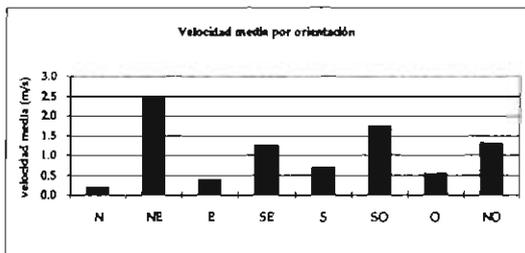


Querétaro, Querétaro		
LATITUD	20°36'	
LONGITUD	100°23'	
ALTTUD	1842	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	0.7	15.4	0.0	1.3	0.3	8.6	1.2	8.1	64.4	0.0	1.1	15.4
	v	0.4	2.4	0.0	0.4	0.3	2.1	1.8	1.0				
FEBRERO	f	0.4	18.9	0.0	3.6	0.6	17.0	0.0	11.1	48.4	0.0	1.4	18.9
	v	0.1	2.4	0.0	1.1	1.1	2.8	0.0	3.4				
MARZO	f	0.0	9.9	0.3	2.8	0.9	25.4	1.7	7.4	51.6	0.0	1.8	25.4
	v	0.0	2.8	1.0	3.1	1.2	2.8	1.2	2.5				
ABRIL	f	0.3	7.6	0.3	0.3	0.9	16.1	2.8	6.2	65.5	0.0	1.6	16.1
	v	0.4	2.7	0.1	1.5	1.8	2.8	1.3	2.1				
MAYO	f	0.0	8.1	0.3	1.6	0.0	6.8	0.3	2.3	80.6	0.0	1.0	8.1
	v	0.0	2.4	0.4	1.8	0.0	1.9	1.0	0.6				
JUNIO	f	0.3	15.9	1.0	2.0	0.7	2.8	0.0	0.6	76.7	0.0	1.0	15.9
	v	0.2	2.1	0.7	0.5	0.2	2.5	0.0	1.6				
JULIO	f	1.0	20.1	1.0	8.4	0.3	0.3	0.0	1.6	67.3	0.0	0.7	20.1
	v	0.1	2.1	0.6	0.5	1.0	0.4	0.0	1.0				
AGOSTO	f	0.0	16.2	0.0	5.6	0.0	0.7	0.0	0.0	77.5	0.0	0.5	16.2
	v	0.0	2.0	0.0	1.9	0.0	0.1	0.0	0.0				
SEPTIEMBRE	f	0.0	33.3	0.8	0.7	0.0	2.7	0.0	0.3	62.2	0.0	0.5	33.3
	v	0.0	2.6	0.1	0.2	0.0	0.6	0.0	0.1				
OCTUBRE	f	0.0	26.6	0.8	1.4	0.3	2.0	0.0	0.7	68.2	0.0	1.1	26.6
	v	0.0	2.3	1.4	2.4	1.0	1.5	0.0	0.2				
NOVIEMBRE	f	0.3	24.4	0.3	0.3	0.3	4.8	0.0	2.5	67.1	0.0	0.9	24.4
	v	1.0	2.5	0.3	0.5	0.0	1.1	0.0	1.9				
DICIEMBRE	f	0.0	13.6	0.0	0.5	1.4	6.1	0.6	3.8	74.0	0.0	1.4	13.6
	v	0.0	3.1	0.0	1.3	1.7	2.3	1.2	1.4				
												1.1	3.4
ANUAL	f	0.3	17.5	0.4	2.4	0.5	7.8	0.6	3.7	67.0	0.0	1.1	17.5
	v	0.2	2.5	0.4	1.3	0.7	1.7	0.5	1.3				
	f												
	v												

f	%
v	m/seg

Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.

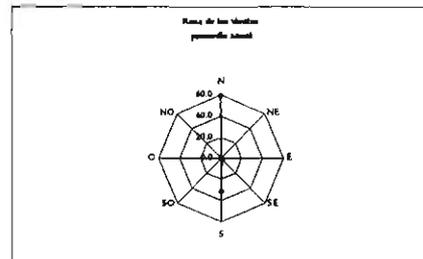
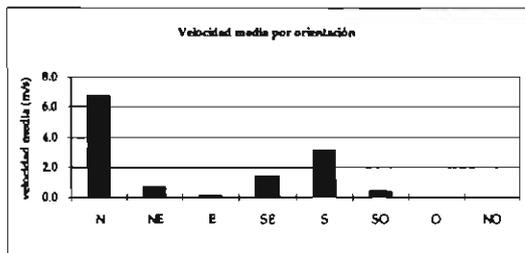


Salina Cruz, Oaxaca		
LATITUD	16°10'	
LONGITUD	95°12'	
ALTITUD	6	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	74.2	0.3	0.0	0.0	18.0	0.0	0.0	0.0	7.5	0.0	1.5	74.2
	v	7.8	1.0	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0				7.8
FEBRERO	f	58.1	0.4	0.0	0.4	37.5	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	1.5	58.1
	v	7.7	0.4	0.0	0.3	3.5	0.0	0.0	0.0				7.7
MARZO	f	48.6	0.0	0.0	1.1	48.5	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	1.5	48.6
	v	8.0	0.0	0.0	0.6	3.6	0.0	0.0	0.0				8.0
ABRIL	f	34.2	0.0	0.0	1.1	63.6	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	1.4	63.6
	v	7.4	0.0	0.0	0.2	3.6	0.0	0.0	0.0				7.4
MAYO	f	42.6	0.3	0.0	2.4	50.9	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	1.7	50.9
	v	6.9	0.4	0.0	2.7	3.4	0.0	0.0	0.0				6.9
JUNIO	f	36.9	1.0	0.4	2.8	42.0	1.0	0.0	0.0	15.9	0.0	2.0	42.0
	v	5.3	2.5	0.6	3.3	3.3	1.2	0.0	0.0				5.3
JULIO	f	72.3	0.3	0.3	1.9	10.1	0.0	0.0	0.0	15.1	0.0	1.4	72.3
	v	5.5	0.4	0.3	3.0	2.2	0.0	0.0	0.0				5.5
AGOSTO	f	62.1	0.9	0.3	2.6	24.4	0.6	0.0	0.0	9.1	0.0	1.7	62.1
	v	5.6	2.0	0.4	1.6	2.7	1.4	0.0	0.0				5.6
SEPTIEMBRE	f	60.6	0.0	0.0	2.5	25.1	2.0	0.0	0.0	9.8	0.0	1.5	60.6
	v	5.5	0.0	0.0	1.7	3.1	1.8	0.0	0.0				5.5
OCTUBRE	f	77.3	0.3	0.0	1.3	14.7	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0	1.6	77.3
	v	6.7	1.3	0.0	2.0	3.1	0.0	0.0	0.0				6.7
NOVIEMBRE	f	75.2	0.0	0.0	1.3	17.5	0.4	0.0	0.0	5.6	0.0	1.5	75.2
	v	6.8	0.0	0.0	1.8	3.1	0.6	0.0	0.0				6.8
DICIEMBRE	f	71.9	0.0	0.0	0.0	21.9	0.0	0.0	0.0	6.2	0.0	1.4	71.9
	v	7.8	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0				7.8
												1.6	8.0
ANUAL	f	59.5	0.3	0.1	1.5	31.2	0.3	0.0	0.0	7.2	0.0	1.6	59.5
	v	6.8	0.7	0.1	1.4	3.2	0.4	0.0	0.0				6.8

f	%
v	m/seg

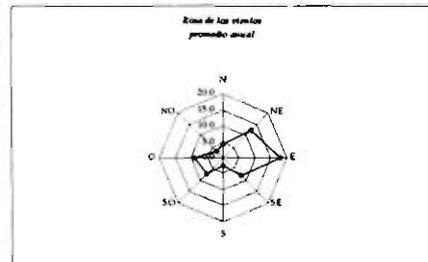
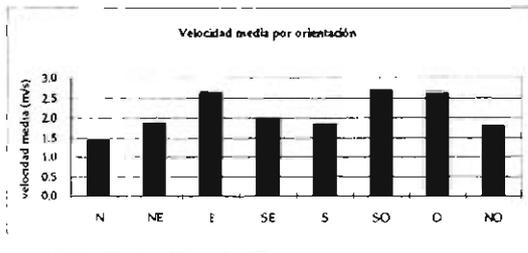
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



San Luis Potosí, San Luis Potosí		
LATITUD	22°09'	
LONGITUD	100°59'	
ALTITUD	1877	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	4.3	6.9	11.3	4.6	2.0	14.5	16.0	4.1	36.3	0.0	2.4	16.0
	v	1.1	1.0	1.9	2.2	1.5	4.8	4.8	2.0				4.8
FEBRERO	f	4.7	6.8	5.4	5.4	2.4	17.8	21.4	3.2	32.9	0.0	3.1	21.4
	v	1.8	2.2	2.5	2.1	3.2	5.7	5.2	2.4				5.7
MARZO	f	2.8	7.1	6.3	8.8	2.3	20.4	23.7	6.5	22.1	0.0	2.9	23.7
	v	1.7	1.7	2.3	2.0	2.3	5.1	5.3	2.9				5.3
ABRIL	f	3.0	11.9	12.1	4.8	3.2	9.9	18.1	2.9	34.1	0.0	2.7	18.1
	v	1.6	2.1	3.3	2.4	3.0	4.3	3.3	1.7				4.3
MAYO	f	8.5	17.2	10.2	6.7	3.3	4.3	6.1	3.2	40.5	0.0	2.4	17.2
	v	1.8	2.2	3.0	1.9	1.5	3.5	3.6	2.0				3.6
JUNIO	f	3.9	16.7	31.4	5.6	2.2	0.0	2.9	0.5	36.8	0.0	2.0	31.4
	v	1.3	2.6	3.3	3.0	1.7	0.0	1.8	2.0				3.3
JULIO	f	1.7	18.4	27.8	9.8	1.7	0.0	0.4	0.4	39.8	0.0	1.7	27.8
	v	1.7	2.4	3.0	2.5	1.8	0.0	1.0	1.5				3.0
AGOSTO	f	1.4	9.7	32.6	10.9	3.3	0.6	0.0	0.6	40.9	0.0	1.6	32.6
	v	1.5	2.4	3.2	2.0	1.4	1.5	0.0	1.0				3.2
SEPTIEMBRE	f	3.8	10.9	28.2	16.1	4.6	1.7	0.0	0.6	34.1	0.0	1.5	28.2
	v	1.5	1.8	2.8	1.9	1.3	0.7	0.0	2.0				2.8
OCTUBRE	f	8.1	20.4	18.8	6.5	0.4	0.4	0.8	2.3	42.3	0.0	1.3	20.4
	v	1.2	1.2	2.4	1.3	1.5	0.5	1.0	1.2				2.4
NOVIEMBRE	f	4.8	11.8	17.6	9.8	3.4	7.2	6.7	3.4	35.3	0.0	1.9	17.6
	v	1.2	1.5	2.2	1.4	1.4	3.3	2.3	1.6				3.3
DICIEMBRE	f	3.8	9.3	12.5	5.8	3.0	8.5	11.5	5.9	39.7	0.0	1.8	12.5
	v	0.8	1.3	1.8	1.2	1.6	2.9	3.2	1.2				3.2
												2.1	5.7
ANUAL	f	4.2	12.3	17.9	7.9	2.7	7.1	9.0	2.8	36.2	0.0	2.1	17.9
	v	1.4	1.9	2.6	2.0	1.9	2.7	2.6	1.8				2.7
	f												
	v	%		m/seg									

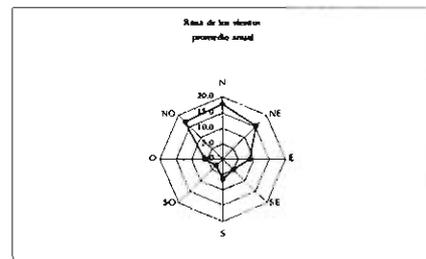
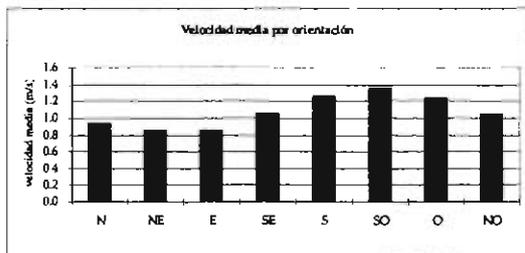
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



Tacubaya, Ciudad de México		
LATITUD	19°24'	
LONGITUD	99°12'	
ALTITUD	2308	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.	
ENERO	f	11.2	13.0	13.1	4.2	7.3	2.9	5.1	12.1	31.1	0.0	1.1	13.1	
	v	0.7	0.7	0.7	0.9	1.5	1.8	1.7	1.1					
FEBRERO	f	10.0	13.8	14.6	6.4	8.9	6.5	11.3	8.4	20.1	0.0	1.4	14.6	
	v	0.9	0.9	0.9	1.1	2.1	2.4	1.9	1.3					
MARZO	f	9.1	12.8	13.1	8.9	10.2	9.8	13.4	11.6	11.1	0.0	1.4	13.4	
	v	0.6	0.9	1.1	1.6	1.6	1.8	1.9	1.4					
ABRIL	f	13.5	17.2	11.7	5.1	10.3	3.9	7.7	16.0	14.6	0.0	1.2	17.2	
	v	1.0	0.9	0.9	1.1	1.2	1.3	1.5	1.3					
MAYO	f	24.4	21.6	7.3	4.2	3.9	3.3	5.7	13.1	16.5	0.0	1.1	24.4	
	v	1.2	1.1	1.0	0.8	1.2	1.2	1.1	1.1					
JUNIO	f	23.1	19.8	6.5	3.1	8.5	1.8	3.8	12.2	21.2	0.0	1.1	23.1	
	v	1.1	1.0	0.8	1.2	1.1	1.0	1.3	1.0					
JULIO	f	18.9	10.0	4.5	3.6	6.4	0.5	2.7	26.4	27.0	0.0	1.0	26.4	
	v	1.0	0.8	0.9	1.3	1.4	0.5	0.9	0.9					
AGOSTO	f	23.0	15.4	5.3	3.3	4.8	0.9	3.7	23.4	20.2	0.0	0.9	23.4	
	v	0.9	0.8	1.1	1.0	0.9	0.7	1.0	0.9					
SEPTIEMBRE	f	26.4	11.2	5.8	2.6	2.9	1.3	4.9	22.6	22.3	0.0	0.8	26.4	
	v	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.9	0.8	0.7					
OCTUBRE	f	21.0	16.5	4.7	3.1	1.7	0.9	2.5	25.2	24.4	0.0	0.8	25.2	
	v	1.0	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.7	1.0					
NOVIEMBRE	f	22.3	15.6	6.1	3.9	4.2	1.4	3.8	20.4	22.3	0.0	1.0	22.3	
	v	0.9	0.7	0.7	1.1	1.0	1.5	1.0	0.9					
DICIEMBRE	f	8.0	13.5	11.3	8.1	7.5	1.9	3.9	12.5	33.3	0.0	1.2	13.5	
	v	1.2	0.8	0.7	0.9	1.8	2.3	1.0	0.9					
												1.1	2.4	
ANUAL	f	17.6	15.0	8.7	4.7	6.4	2.9	5.7	17.0	22.0	0.0	1.1	17.6	
	v	0.9	0.9	0.9	1.1	1.3	1.4	1.2	1.0					
	f												%	
	v												m/seg	

Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.

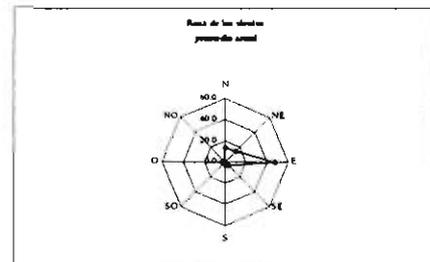
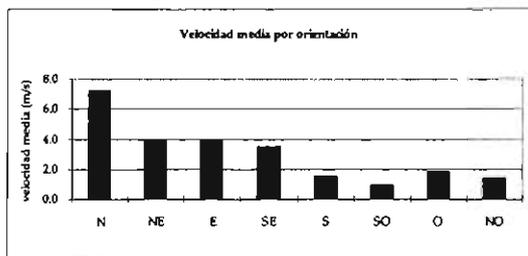


Tampico, Tamaulipas		
LATITUD	22°13'	
LONGITUD	97°51'	
ALTITUD	12	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	22.9	11.3	21.1	4.2	4.5	0.7	6.2	1.0	28.1	0.0	3.2	22.9
	v	8.4	3.4	3.9	3.7	1.9	1.0	2.2	1.1				8.4
FEBRERO	f	23.5	16.1	32.5	6.8	1.4	0.4	2.2	1.5	15.6	0.0	3.9	32.5
	v	10.2	4.1	4.6	5.8	2.7	0.3	2.3	1.3				10.2
MARZO	f	21.3	16.9	48.1	3.5	0.7	0.3	1.3	0.3	7.6	0.0	3.9	48.1
	v	10.7	5.1	5.4	4.0	2.0	1.0	1.8	1.5				10.7
ABRIL	f	6.7	14.4	68.8	3.7	0.4	0.4	1.1	0.0	4.5	0.0	4.0	68.8
	v	10.2	5.4	5.0	5.2	0.6	4.0	1.5	0.0				10.2
MAYO	f	4.0	15.1	75.5	2.2	0.0	0.0	1.0	1.0	1.2	0.0	3.6	75.5
	v	7.2	5.1	4.6	7.4	0.0	0.0	2.2	2.4				7.4
JUNIO	f	2.0	16.1	74.9	2.0	0.4	0.0	0.7	0.4	3.5	0.0	2.1	74.9
	v	4.7	3.7	4.1	1.9	0.5	0.0	1.3	0.4				4.7
JULIO	f	10.7	10.6	71.2	5.5	0.3	0.7	1.6	0.3	-0.9	0.0	2.2	71.2
	v	4.5	3.1	3.9	2.2	0.1	1.4	1.9	0.5				4.5
AGOSTO	f	2.9	9.4	63.3	7.1	1.0	0.0	0.3	0.6	15.4	0.0	2.0	63.3
	v	2.8	3.2	3.7	1.9	1.9	0.0	1.5	1.1				3.7
SEPTIEMBRE	f	11.7	18.0	41.6	3.4	1.3	0.7	2.7	0.7	19.9	0.0	3.0	41.6
	v	5.8	4.6	3.7	2.3	3.3	1.1	2.2	0.7				5.8
OCTUBRE	f	14.8	19.3	30.2	4.0	5.8	0.3	5.4	5.3	14.9	0.0	2.9	30.2
	v	7.0	3.7	3.4	3.0	1.6	0.5	2.1	1.7				7.0
NOVIEMBRE	f	17.8	13.7	25.0	9.6	4.9	2.2	7.6	3.9	15.3	0.0	3.1	25.0
	v	8.1	3.6	3.3	2.3	1.8	0.9	1.8	2.9				8.1
DICIEMBRE	f	21.9	10.4	22.0	8.1	5.5	1.3	4.9	3.3	22.6	0.0	3.1	22.0
	v	7.5	3.8	3.1	2.5	2.2	1.2	1.4	3.3				7.5
												3.1	10.7
ANUAL	f	13.4	14.3	47.9	5.0	2.2	0.6	2.9	1.5	12.3	0.0	3.1	47.9
	v	7.3	4.1	4.1	3.5	1.6	1.0	1.9	1.4				7.3

f	%
v	m/seg

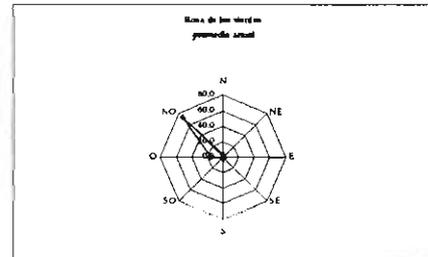
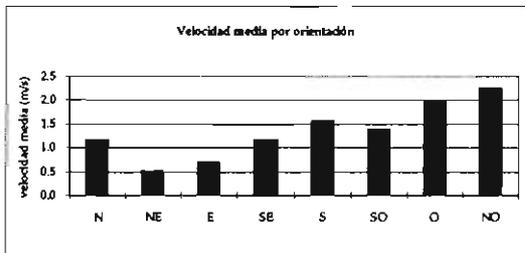
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



Tepic, Nayarit		
LATITUD	21°31'	
LONGITUD	104°54'	
ALTITUD	915	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	3.2	2.3	1.0	3.2	2.6	3.9	12.9	70.3	0.6	0.0	1.6	70.3
	v	0.8	1.1	1.4	2.1	2.0	1.5	1.7	2.0				2.1
FEBRERO	f	3.6	0.7	0.4	1.1	1.8	1.1	14.5	77.0	-0.2	0.0	1.3	77.0
	v	1.6	0.3	0.5	1.0	1.0	1.3	2.3	2.2				2.3
MARZO	f	4.3	0.0	0.4	1.0	1.3	0.7	13.9	76.7	1.7	0.0	1.1	76.7
	v	0.9	0.0	0.5	1.0	0.7	0.8	2.2	2.4				2.4
ABRIL	f	4.1	0.0	0.0	1.1	1.1	1.1	13.2	79.6	-0.2	0.0	1.1	79.6
	v	1.0	0.0	0.0	0.7	0.7	1.2	2.3	2.5				2.5
MAYO	f	1.3	0.0	0.0	0.7	0.6	1.3	17.0	79.1	0.0	0.0	1.1	79.1
	v	1.2	0.0	0.0	0.5	1.2	0.8	2.4	2.6				2.6
JUNIO	f	1.0	0.4	0.4	1.0	1.0	1.4	17.6	77.0	0.2	0.0	1.6	77.0
	v	1.4	0.1	0.5	1.0	4.4	1.5	1.7	2.5				4.4
JULIO	f	2.6	0.7	1.0	3.3	3.6	2.9	18.3	67.7	-0.1	0.0	1.5	67.7
	v	1.4	1.0	1.2	1.5	1.0	1.7	2.1	2.3				2.3
AGOSTO	f	4.5	0.3	1.0	3.9	2.6	2.9	14.8	69.7	0.3	0.0	1.6	69.7
	v	1.5	0.2	1.1	1.1	2.3	1.6	2.4	2.3				2.4
SEPTIEMBRE	f	3.4	1.0	1.0	4.4	2.7	3.0	16.0	68.3	0.2	0.0	1.4	68.3
	v	1.4	0.4	1.2	0.7	1.3	1.9	1.8	2.4				2.4
OCTUBRE	f	2.9	1.3	0.7	4.8	1.3	3.6	17.4	67.7	0.3	0.0	1.4	67.7
	v	0.6	1.2	1.5	1.4	0.8	1.6	1.8	2.2				2.2
NOVIEMBRE	f	4.7	2.0	0.0	3.0	2.7	3.4	11.4	72.8	0.0	0.0	1.4	72.8
	v	1.2	0.9	0.0	1.4	1.8	1.6	1.8	2.1				2.1
DICIEMBRE	f	4.5	1.9	0.6	3.6	1.0	3.6	19.4	64.5	0.9	0.0	1.3	64.5
	v	1.0	0.9	0.6	1.6	1.8	1.2	1.8	1.8				1.8
												1.4	4.4
ANUAL	f	3.3	0.9	0.5	2.6	1.9	2.4	15.5	72.5	0.3	0.0	1.4	72.5
	v	1.2	0.5	0.7	1.2	1.6	1.4	2.0	2.3				2.3
	f	%											
	v	m/seg											

Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.

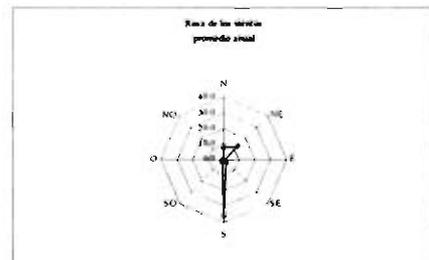
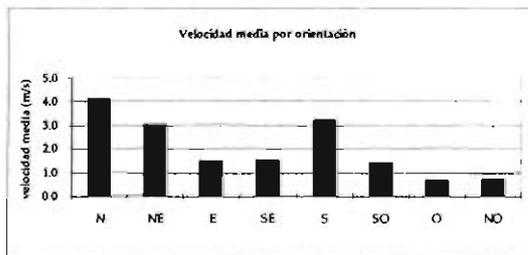


Tlaxcala, Tlaxcala		
LATITUD	19°19'	
LONGITUD	98°14'	
ALTTUD	2252	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	3.8	5.8	0.0	2.3	68.0	3.3	0.3	0.2	16.3	0.0	1.7	68.0
	v	2.3	3.5	0.0	1.3	3.4	1.6	0.2	1.0				3.5
FEBRERO	f	7.0	3.2	0.2	0.6	80.5	1.6	0.0	0.0	6.9	0.0	2.0	80.5
	v	3.8	2.9	1.0	1.2	5.1	2.0	0.0	0.0				5.1
MARZO	f	3.3	3.7	0.2	0.5	75.5	0.3	0.0	0.2	16.3	0.0	2.1	75.5
	v	3.6	2.1	3.0	1.7	5.2	0.3	0.0	1.0				5.2
ABRIL	f	7.1	8.2	0.7	1.6	45.3	0.9	0.4	0.4	35.4	0.0	2.3	45.3
	v	3.0	2.8	2.2	1.4	4.4	1.2	1.0	2.3				4.4
MAYO	f	9.3	2.9	0.2	2.6	16.2	0.2	0.5	0.2	67.9	0.0	3.6	16.2
	v	14.2	3.2	2.0	1.7	2.6	2.5	1.7	1.0				14.2
JUNIO	f	9.9	16.0	1.5	4.2	17.6	1.4	1.8	0.4	47.2	0.0	2.0	17.6
	v	2.9	3.1	1.4	1.8	2.6	1.3	1.7	1.5				3.1
JULIO	f	6.2	23.1	1.3	2.9	7.8	1.0	0.9	0.0	56.8	0.0	1.7	23.1
	v	2.1	3.1	2.3	1.7	2.3	1.1	0.8	0.0				3.1
AGOSTO	f	4.4	19.9	2.2	2.0	8.6	1.4	0.0	0.0	61.5	0.0	1.8	19.9
	v	3.4	3.1	1.9	2.1	2.7	1.5	0.0	0.0				3.4
SEPTIEMBRE	f	9.0	28.0	0.7	1.4	13.7	0.9	0.6	0.2	45.5	0.0	2.0	28.0
	v	2.6	2.9	2.9	1.4	2.9	1.4	1.2	0.5				2.9
OCTUBRE	f	11.4	19.7	1.1	1.5	15.0	1.1	0.7	0.0	49.5	0.0	1.6	19.7
	v	3.4	2.8	1.2	1.6	2.2	1.4	0.3	0.0				3.4
NOVIEMBRE	f	15.1	12.1	0.0	2.1	29.0	3.5	0.2	0.2	37.8	0.0	1.8	29.0
	v	4.3	3.6	0.0	1.1	2.5	1.3	1.0	0.5				4.3
DICIEMBRE	f	7.4	8.1	0.0	3.3	52.5	2.7	0.3	0.6	25.1	0.0	1.8	52.5
	v	4.2	3.3	0.0	1.3	3.1	1.5	0.2	1.0				4.2
												2.0	14.2
ANUAL	f	7.8	12.6	0.7	2.1	35.8	1.5	0.5	0.2	38.9	0.0	2.0	35.8
	v	4.2	3.0	1.5	1.5	3.3	1.4	0.7	0.7				4.2

f	%
v	m/seg

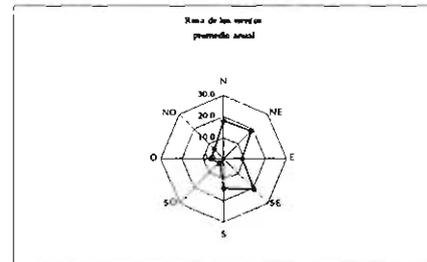
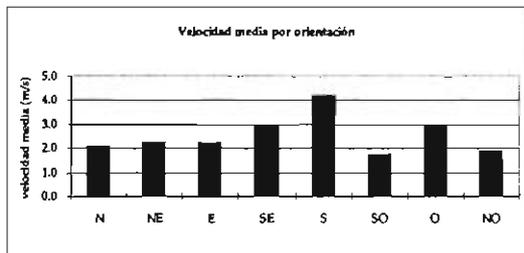
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



Toluca, Estado de México		
LATITUD	19°18'	
LONGITUD	99°40'	
ALTITUD	2680	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	15.2	10.6	10.1	18.1	20.3	4.0	9.1	8.3	8.3	0.0	2.9	20.3
	v	1.9	2.2	1.9	3.0	4.6	2.6	4.4					4.6
FEBRERO	f	4.2	8.0	7.3	21.4	14.9	5.4	16.5	15.4	15.4	0.0	3.4	21.4
	v	2.8	1.8	1.7	3.8	5.7	4.2	4.8					5.7
MARZO	f	17.2	8.8	4.4	22.0	15.5	7.2	16.7	2.3	2.3	0.0	3.0	22.0
	v	2.2	1.7	1.5	3.7	5.1	2.4	4.5					5.1
ABRIL	f	24.6	13.1	5.1	24.4	11.0	4.6	9.8	1.2	1.2	0.0	3.0	24.6
	v	2.6	2.8	2.4	3.0	3.5	2.6	4.7					4.7
MAYO	f	33.4	18.6	7.7	8.0	9.1	2.4	4.4	2.9	2.9	0.0	2.5	33.4
	v	2.3	2.4	3.1	1.9	3.4	1.3	3.0					3.4
JUNIO	f	23.4	23.7	9.4	21.4	14.6	0.8	0.8	1.9	1.9	0.0	2.3	23.7
	v	2.1	2.4	2.5	3.2	4.2	1.4	1.0					4.2
JULIO	f	13.8	21.7	10.9	29.4	21.0	0.0	1.5	1.4	1.4	0.0	2.0	29.4
	v	2.0	2.6	2.1	2.9	3.7	0.0	1.7					3.7
AGOSTO	f	12.3	24.9	14.7	29.9	13.0	0.3	0.6	3.5	3.5	0.0	2.0	29.9
	v	1.8	1.9	2.7	2.8	3.6	0.5	1.9					3.6
SEPTIEMBRE	f	11.6	29.5	11.8	20.8	14.7	1.3	2.5	5.3	5.3	0.0	2.4	29.5
	v	1.8	2.7	2.7	2.7	4.2	1.2	2.2					4.2
OCTUBRE	f	25.0	28.0	7.9	15.2	10.0	1.6	1.6	5.5	5.5	0.0	2.3	28.0
	v	1.9	2.6	2.2	2.8	3.8	2.2	1.6					3.8
NOVIEMBRE	f	20.7	25.5	8.7	14.2	12.0	1.0	2.8	4.3	4.3	0.0	2.3	25.5
	v	1.8	2.7	2.0	3.4	3.7	0.5	2.5					3.7
DICIEMBRE	f	14.4	13.4	8.3	23.7	11.7	2.5	7.2	9.1	9.1	0.0	2.5	23.7
	v	1.9	1.4	1.8	2.8	4.6	2.1	3.6					4.6
												2.5	5.7
ANUAL	f	18.0	18.8	8.9	20.7	14.0	2.6	6.1	5.1	5.1	0.0	2.5	20.7
	v	2.1	2.3	2.2	3.0	4.2	1.8	3.0					4.2
	f	%											
	v	m/seg											

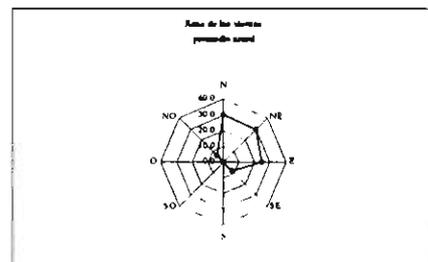
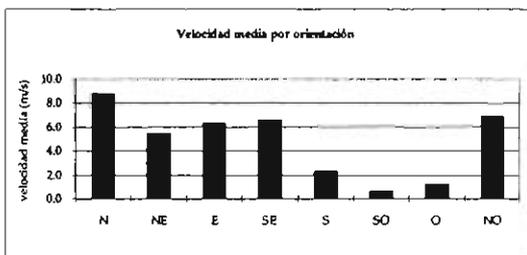
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



Veracruz, Veracruz		
LATITUD	19°12'	
LONGITUD	96°08'	
ALTITUD	16	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	39.7	16.8	17.7	11.3	0.6	0.3	0.0	12.3	1.3	0.0	5.2	39.7
	v	10.8	5.4	6.4	6.6	3.0	1.5	0.0	8.0				10.8
FEBRERO	f	31.2	22.5	26.4	12.5	0.0	0.0	0.4	7.1	-0.1	0.0	5.1	31.2
	v	11.0	5.3	6.7	7.5	0.0	0.0	3.0	7.3				11.0
MARZO	f	32.0	25.8	26.8	9.0	0.7	0.3	0.3	4.2	0.9	0.0	5.5	32.0
	v	10.4	6.0	7.4	8.2	4.2	0.2	1.5	6.1				10.4
ABRIL	f	20.4	34.4	35.7	7.7	0.0	0.0	0.0	2.0	-0.2	0.0	4.6	35.7
	v	11.3	6.2	7.4	6.6	0.0	0.0	0.0	5.6				11.3
MAYO	f	18.7	45.3	29.4	3.9	0.0	0.0	0.3	2.0	0.4	0.0	4.1	45.3
	v	7.3	6.3	7.3	4.7	0.0	0.0	1.0	6.2				7.3
JUNIO	f	17.5	46.0	25.5	4.7	1.0	0.0	0.4	3.7	1.2	0.0	4.8	46.0
	v	6.1	6.1	7.0	8.5	4.8	0.0	0.6	4.9				8.5
JULIO	f	21.3	41.0	25.8	4.9	0.0	0.0	0.3	5.8	0.9	0.0	3.7	41.0
	v	5.4	4.9	5.2	5.4	0.0	0.0	4.0	4.4				5.4
AGOSTO	f	23.8	36.1	28.3	4.9	0.3	0.6	0.7	4.2	1.1	0.0	3.6	36.1
	v	5.1	4.7	5.1	4.4	0.1	1.8	2.2	5.6				5.6
SEPTIEMBRE	f	37.7	28.0	17.0	6.7	0.7	0.7	0.0	8.4	0.8	0.0	4.7	37.7
	v	7.4	4.8	4.6	5.9	4.5	2.3	0.0	8.1				8.1
OCTUBRE	f	43.6	18.7	17.4	7.4	0.3	0.3	0.3	11.6	0.4	0.0	4.8	43.6
	v	10.3	5.5	5.7	6.3	0.4	0.1	0.4	9.6				10.3
NOVIEMBRE	f	37.8	20.1	21.1	12.1	0.7	0.0	0.0	8.4	-0.2	0.0	5.3	37.8
	v	10.1	5.3	6.7	6.6	4.2	0.0	0.0	9.8				10.1
DICIEMBRE	f	36.8	17.1	20.0	14.5	1.0	0.3	0.3	8.1	1.9	0.0	5.9	36.8
	v	10.3	5.0	6.2	7.8	7.0	1.5	1.5	7.6				10.3
												4.8	11.3
ANUAL	f	30.0	29.3	24.3	8.3	0.4	0.2	0.3	6.5	0.7	0.0	4.8	30.0
	v	8.8	5.5	6.3	6.5	2.4	0.6	1.2	6.9				8.8
	f	%											
	v	m/seg											

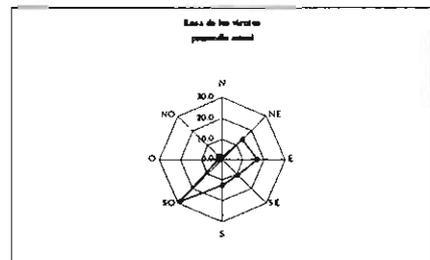
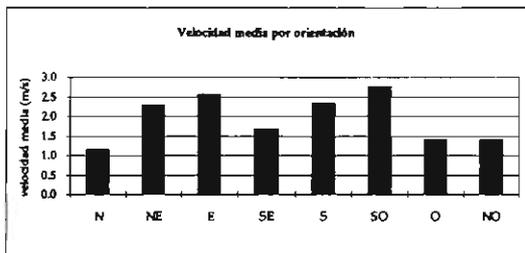
Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



Zacatecas, Zacatecas		
LATITUD	22°47'	
LONGITUD	102°34'	
ALTITUD	2612	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variables	prom.	máx.
ENERO	f	0.8	3.2	3.5	7.6	12.1	46.1	2.7	4.1	19.9	0.0	2.5	46.1
	v	2.5	2.3	3.1	2.4	3.1	2.5	2.6	1.7				3.1
FEBRERO	f	1.1	4.1	6.1	10.1	17.8	46.4	1.3	0.0	13.1	0.0	2.1	46.4
	v	0.8	1.8	2.2	2.6	3.9	3.9	1.6	0.0				3.9
MARZO	f	1.5	1.1	5.4	0.8	30.0	45.8	1.0	1.8	12.6	0.0	2.5	45.8
	v	2.2	1.1	2.4	2.0	3.4	5.1	0.8	2.8				5.1
ABRIL	f	0.0	2.7	2.0	0.3	21.8	55.1	3.8	4.2	10.1	0.0	1.7	55.1
	v	0.0	1.3	1.5	0.1	2.3	4.2	2.8	1.5				4.2
MAYO	f	1.8	15.7	7.6	2.4	13.6	34.1	3.7	4.2	16.9	0.0	2.0	34.1
	v	1.3	2.0	1.9	1.0	2.7	3.4	1.7	1.9				3.4
JUNIO	f	2.7	19.4	21.0	12.3	4.0	19.4	0.9	2.8	17.5	0.0	2.1	21.0
	v	0.9	2.9	3.5	2.3	1.9	1.8	1.0	2.3				3.5
JULIO	f	1.1	18.9	37.1	17.8	3.1	6.5	1.6	2.3	11.6	0.0	1.7	37.1
	v	1.3	2.4	2.7	1.4	1.8	1.0	1.0	1.8				2.7
AGOSTO	f	0.7	25.1	34.7	19.2	1.6	3.9	0.3	2.7	11.8	0.0	1.8	34.7
	v	1.2	3.4	3.5	2.2	0.7	1.9	0.1	1.5				3.5
SEPTIEMBRE	f	2.5	22.2	36.0	24.8	1.9	3.2	0.3	0.9	8.2	0.0	1.6	36.0
	v	2.0	2.4	2.8	1.6	1.3	1.5	0.1	1.0				2.8
OCTUBRE	f	1.0	26.2	19.7	15.2	5.2	22.9	0.3	1.3	8.2	0.0	1.5	26.2
	v	0.6	2.7	3.0	1.2	1.6	1.5	0.4	0.6				3.0
NOVIEMBRE	f	1.3	13.2	12.5	10.8	18.3	27.2	2.5	4.3	9.9	0.0	2.2	27.2
	v	0.8	3.1	2.2	2.1	3.1	2.8	1.6	1.9				3.1
DICIEMBRE	f	0.3	11.5	13.9	3.3	19.1	36.4	3.1	0.0	12.4	0.0	1.8	36.4
	v	0.4	2.1	2.1	1.0	2.3	3.6	3.1	0.0				3.6
												2.0	5.1
ANUAL	f	1.2	13.6	16.6	10.4	12.4	28.9	1.8	2.4	12.7	0.0	2.0	28.9
	v	1.2	2.3	2.6	1.7	2.3	2.8	1.4	1.4				2.8
	f	%											
	v	m/seg											

Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976.



ANEXO 2

REQUERIMIENTOS DE VENTILACIÓN SEGÚN DIFERENTES AUTORES

Requerimientos mínimos de ventilación⁶⁸

B. Evans

Espacio y Actividad	Rangos de ventilación				Cambios de Aire por hora	
	litros /s		m ³ /hora			
	Bueno	Regular	Bueno	Regular		
Dispersión de olores (por persona)						
Densidad de ocupación:						
5 m ² / persona	8.0	5.0	29.0	18.0	1.2	2.0
10 m ² / persona	5.0	3.0	18.0	11.0	0.4	0.7
15 m ² / persona	3.0	1.5	11.0	5.5	0.1	0.3
Dispersión de humo de tabaco (por persona)						
WC* 4.5 m ³	6.0		22.0		3.0	
WC* 12.0 m ³	12.0		44.0		1.5	
Cocina (10 m²) para prevenir condensación						
Cocción con gas (sin superficies absorbentes)	108.0		390.0		13.0	
Cocción con electricidad (sin superficies absorbentes)	75.0		270.0		9.0	
Cocción con gas (con superficies absorbentes)	46.0		166.0		5.5	
Cocción con electricidad (con superficies absorbentes)	22.0		72.0		2.7	
Control de olores del proceso de cocción	33.0		120.0		4.0	
Mínimo para todo el edificio**						
Mínimo					1.0	
Para evitar olores y sofocación					2.0	
para evitar condensación, pero con el riesgo de incrementar las pérdidas de calor					4.0	

68 B.H. Evans, *op. cit.*

* Ventilación artificial intermitente.

** Depende del área del edificio y densidad de ocupación; mayores proporciones pueden requerirse en edificios pequeños densamente ocupados.

Volumen de aire de renovación por persona⁶⁹

E. Puppo

Tipo de local	Temperatura media	Volumen de aire por persona (m ³ /hora)	V/T
<i>Viviendas</i>			
Dormitorios	15	30	2
Salas de estar	18	35-40	2
Cocinas	14	42-45	3
Baños	20	40	2
<i>Hospitales</i>			
Consultorios	16	48-50	3
Salas de operación	25	75-100	3
Salas de parto	25	75-100	3
Contagiosos adultos	18	54-80	3
Contagiosos niños	18	36-50	2
<i>Oficinas</i>			
Individuales	18	36	2
Colectivas (con humo de tabaco)	16 - 18	40	2.5
<i>Escuelas y Colegios</i>			
Aulas	16	24-30	1.5
Dormitorios	14	42	3
Comedores	15	30	2
Teatros	16 - 18	18-20	1
Iglesias	10 - 12	12-15	1
<i>Locales Industriales</i>			
Trabajo mediano sin exhalación de contaminantes	16 - 18	25	2

(esta medida es muy variable en relación al tipo de industria)

⁶⁹ Ernesto y Giorgio Puppo, *Acondicionamiento natural y arquitectura*, Barcelona, Marcombo Boixareu Editores, 1979.

Reglamento de Construcciones del D.F.⁷⁰

Tipo de Local	Cambios de Aire por hora
Vestíbulos	1
Locales de trabajo y reunión en general	6
Baños domésticos	6
Cocinas domésticas	10
Baños públicos	10
Cafeterías y restaurantes	10
Estacionamientos	10
Cocinas comerciales	20
Centros nocturnos y bares	25
Salones de fiesta	25

El área de las aberturas de ventilación no será menor al 5% del área del local

70 Luis Arnal, *op. cit.* (artículo 90).

REQUERIMIENTOS DE VENTILACIÓN POR OCUPANTES ASHRAE Fundamentals 1977

Espacio	personas estimadas / 92.9 m ² de área de piso	Ventilación requerida de aire por ocupante humano				observaciones
		Mínimo		Recomendado		
		l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	
RESIDENCIAL						
Vivienda unifamiliar						
• Áreas habitables generales, recámaras, etc.	5	2.5	9	3.5-5.0	12.6-18	
• Cocina y baños		10	36	15-25	54-90	uso intermitente
Multifamiliares y casas móviles						
• Áreas habitables generales, recámaras, etc.	7	2.5	9	3.5-5.0	12.6-18	
• Cocina y baños		10	36	15-25	54-90	uso intermitente
• Cocheras		7.5	27	10-15	36-54	por m ² de superficie
COMERCIAL						
Requerimientos generales- Ventas y mercancías						
• Salas de espera o de descanso públicas	100	7.5	27	10-12.5	36-45	
• Áreas de mercancías y ventas						
• Piso de ventas (PB)	30	3.5	12.6	5-7.5	18-27	
• Piso de ventas (pisos superiores)	20	3.5	12.6	5-7.5	18-27	
• Áreas de almacenamiento (sirviendo a áreas de ventas)	5	2.5	9	3.5-5	12.6-18	
• Vestidores	-	3.5	12.6	5-7.5	18-27	
• Centros comerciales	40	3.5	12.6	5-7.5	18-27	
• Áreas de embarco y recepción	10	7.5	27	7.5-10	27-36	
• Almacenes	5	3.5	12.6	5-7.5	18-27	
• Elevadores	-	3.5	12.6	5-7.5	18-27	
• Cuartos de procesamiento de carnes	10	2.5	9	2.5	9	

Espacio	personas estimadas / 92.9 m ² de área de piso	Ventilación requerida de aire por ocupante humano				observaciones
		Mínimo		Recomendado		
		l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	
• Laboratorios farmacéuticos	10	10	36	12.5-15	45-54	
• Tiendas de mascotas	-	5	18	7.5-10	27-36	por m ² de superficie
• Florerías	10	2.5	9	3.5	12.6	máxima concentración permitida de dióxido de sulfuro = 30 mmg/m ³
• Invernaderos	1	2.5	9	3.5-5	12.6-18	máxima concentración permitida de dióxido de sulfuro = 30 mmg/m ³ ventilación óptima para el crecimiento de las plantas es mayor
• Bóveda bancaria	-	2.5	9	2.5	9	
• Comedores	70	5	18	7.5-10	27-36	
• Cocinas	20	15	54	17.5	63	extracción y controles necesarios
• Cafeterías, comida rápida, áreas de espera	100	15	54	17.5	63	
• Bares (predominantemente de pie)	150	15	54	20-25	72-90	
• Salones de coctel	100	15	54	17.5-20	63-72	
Hoteles, moteles y centros turísticos						
• Habitaciones	5	3.5	12.6	5-7.5	18-27	
• Salas de estar (Suites)	20	5	18	7.5-10	27-36	
• Baños (de habitaciones)	-	10	36	15-25	54-90	uso intermitente
• Pasillos	5	2.5	9	3.5-5	12.6-18	
• Vestíbulo y recepción (Lobby)	30	3.5	12.6	5-7.5	18-27	
• Salas de conferencias (pequeña)	70	10	36	12.5-15	45-54	
• Salas de asamblea y actos (grandes)	140	7.5	27	10-12.5	36-45	
• Casas de campo (como casa habitación)						
Tintorerías y lavanderías						
• Comercial	10	10	36	12.5-15	45-54	extracción y controles necesarios
• Áreas de guardado y entrega	30	3.5	12.6	5-7.5	18-27	
• Operados con monedas	20	7.5	27	7.5-10	27-36	extracción y controles necesarios

Espacio	personas estimadas / 92.9 m ² de área de piso	Ventilación requerida de aire por ocupante humano				observaciones
		Mínimo		Recomendado		
		l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	
Peluquerías, salones de belleza y centros de salud						
• Salones de belleza	50	12.5	45	15-17.5	54-63	
• Salones de ejercicio	20	12.5	45	15-17.5	54-63	
• Baño sauna y vapor	-	2.5	9	2.5	9	
• Peluquerías	20	3.5	12.6	5-7.5	18-27	
Estudios fotográficos						
• Cuartos de tomas fotográficas y escenarios	10	2.5	9	3.5-5	12.6-18	los requisitos térmicos determinan los requerimientos
• Cuartos oscuros	10	5	18	7.5-10	27-36	
• Reparadoras de calzado (taller y área comercial)	10	5	18	7.5-10	27-36	
Estacionamientos, talleres y servicio automotriz						
• Estacionamientos techados	-	7.5	27	10-15	36-54	por m ² de superficie
• Talleres mecánicos	-	7.5	27	10-15	36-54	por m ² de superficie
• Oficinas de las estaciones de servicios	20	3.5	12.6	5-7.5	18-27	
Teatros						
• Taquillas	-	2.5	9	3.5-5	12.6-18	
• Vestíbulo y Lobby	150	10	36	12.5-15	45-54	
• Auditorio (prohibido fumar)	150	2.5	9	2.5-5	9-18	
• Auditorio (permitido fumar)	150	5	18	5-10	18-36	
• Escenario (proscenio)	70	5	18	6-7.5	21.6-27	los requisitos térmicos y efectos escenográficos determinan los requerimientos
• Talleres	20	5	18	6-7.5	21.6-27	
• Salones de baile (públicos)	100	7.5	27	10-12.5	36-45	
• Boliches (área de asientos)	70	7.5	27	10-12.5	36-45	

Espacio	personas estimadas / 92.9 m ² de área de piso	Ventilación requerida de aire por ocupante humano				observaciones
		Mínimo		Recomendado		
		l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	
Gimnasios y arenas						
• Área de juegos	70	10	36	12.5-15	45-54	
• Área de vestidores y lockers	20	15	24	20-25	72-90	por locker
• Área de espectadores	15	10	36	12.5-15	45-54	
• Vestibulos y lobby	150	5	18	7.5-10	27-36	
• Salas de entretenimiento y billares	25	10	36	12.5-15	45-54	
• Tenis, squash y handball	-	10	36	12.5-15	45-54	
• Albercas	25	7.5	27	10-12.5	36-45	
• Pistas de patinaje (hielo o ruedas)	70	5	18	7.5-10	27-36	
Transportación						
• Salas de espera	50	7.5	27	10-12.5	36-45	
• Taquillas, salas de equipaje, pasillos y accesos	50	7.5	27	10-12.5	36-45	
• Torres de control	50	12.5	45	15-17.5	54-63	
• Hangares	?	5	18	7.5-10	27-36	con extracción especial
• Plataformas	150	5	18	7.5-10	27-36	
• Vestibulos y explanadas	150	5	18	7.5-10	27-36	
• Talleres de reparación	-	5	18	7.5-10	27-36	
Oficinas						
• Área general de oficinas	10	7.5	27	7.5-12.5	27-45	
• Salas de juntas	60	12.5	45	15-20	54-72	
• Cuartos de arte	20	3.5	12.6	5-7.5	18-27	
• Consultorios médicos	-	5	18	7.5-10	27-36	
• Salas de espera	30	5	18	7.5-10	27-36	
• Cuartos de litografía	20	3.5	13.6	5-7.5	18-27	extracción y controles necesarios
• Cuartos de impresión	20	3.5	12.6	5-7.5	18-27	extracción y controles necesarios
• Salas de cómputo	20	2.5	9	3.5-5	12.6-18	

Espacio	personas estimadas / 92.9 m ² de área de piso	Ventilación requerida de aire por ocupante humano				observaciones
		Mínimo		Recomendado		
		l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	
Comunicaciones						
• Radio y TV (cabinas de transmisión o estudios)	20	15	54	17.5-20	63-72	los requisitos térmicos determinan los requerimientos
• Escenarios de TV	20	15	54	17.5-20	63-72	por locker
• Salas de prensa	100	7.5	27	10-12.5	36-45	
• Salas de redacción	30	3.5	12.6	5-7.5	18-27	
• Taller de grabación	30	3.5	12.6	5-7.5	18-27	
• Conmutador o telefonistas (manual)	50	3.5	12.6	5-7.5	18-27	
• Equipo de conmutador (automático)	-	3.5	12.6	5-7.5	18-27	
• Salas de teletipo y facsímil	-	2.5	9	3.5-5	12.6-18	
INDUSTRIAL						
Los requerimientos de ventilación industrial generalmente son fijados por las normas de seguridad de cada ramo, las cuales generalmente exceden los límites de requerimientos por ocupante. De acuerdo a los estándares de ASHRAE los requerimientos por ocupante es en general de 12.5 l/s por ocupante, excepto en la industria minera o de metales donde el requerimiento recomendado es de 20 l/s por ocupante).						
INSTITUCIONAL						
• Escuelas	50	5	18	5-7.5	18-27	
• Salones de clase	70	5	18	5-7.5	18-27	
• Salas de usos múltiples						
• Laboratorios	30	5	18	5-7.5	18-27	extracción y controles de contaminantes necesarios
• Taller de oficios y entrenamiento vocacional	30	5	18	5-7.5	18-27	extracción y controles de contaminantes necesarios
• Salas de música y ensayos	70	5	18	7.5-10	27-36	
• Auditorios	150	2.5	9	2.5-3.8	9-13.7	
• Gimnasios	70	10	36	12.5-15	45-54	
• Bibliotecas	20	3.5	12.6	5-6	18-21.6	
• Salones comunes	70	5	18	5-7.5	18-27	
• Oficinas	10	3.5	12.6	5-7.5	18-27	
• Baños y cuartos de aseo	100	7.5	27	10-12.5	36-45	
• Vestidores y lockers	20	15	54	20-25	72-90	por locker
• Cafeterías o comedores	100	5	18	7.5-10	27-36	
• Pasillos	50	7.5	27	10-12.5	36-45	
• Cuartos de utilería	3	2.5	9	3.5-5	12.6-18	
• Dormitorios	20	3.5	12.6	5-7.5	18-27	

Espacio	personas estimadas / 92.9 m ² de área de piso	Ventilación requerida de aire por ocupante humano				observaciones
		Mínimo		Recomendado		
		l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	
Hospitales, enfermerías y centros de rehabilitación						
• Vestíbulos	50	10	36	12.5-15	45-54	
• Habitación sencilla o doble	15	5	18	7.5-10	27-36	
• Salas	20	5	18	7.5-10	27-36	
• Centros de servicio de comida	20	17.5	63	17.5	63	
	-	10	36	-	-	requisitos especiales y normas determinan requerimientos
• Quirófanos y salas de expulsión	100	5	18	7.5-10	27-36	
• Anfiteatros	20	7.5	27	10-12.5	36-45	
• Áreas de terapia física	10	15	54	20-25	72-90	
• Cuartos de autopsias	-	2.5	9	3.5-5	12.6-18	extracción y controles de contaminantes necesarios
• Áreas de incineradores	-	7.5	27	-	-	requisitos especiales y normas determinan requerimientos
• Salas de recuperación • (Para tiendas, restaurantes, cocinas, etc., ver Hoteles)						
Institutos o Centros de Investigación						
• Laboratorios	50	7.5	27	10-12.5	36-45	extracción y controles de contaminantes necesarios
• Talleres de máquinas	50	7.5	27	10-12.5	36-45	
• Cuarto oscuro, salas de espectroscopios	50	5	18	7.5-10	27-36	
• Salas de animales	20	20	72	22.5-25	81-90	requisitos especiales y normas determinan requerimientos
Museos						
• Salas de exhibición	70	3.5	12.6	5-7.5	18-27	
• Talleres	10	5	18	7.5-10	27-36	
• Almacenes	5	2.5	9	3.5-5	12.6-18	
Hospital veterinario						
• Perreras, establos, salas de operación	20	12.5	45	15-17.5	54-63	requisitos especiales y normas determinan requerimientos
• Recepción	30	5	18	7.5-10	27-63	

Espacio	personas estimadas / 92.9 m ² de área de piso	Ventilación requerida de aire por ocupante humano				observaciones
		Mínimo		Recomendado		
		l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	
ORGANIZACIONAL						
Templos, Iglesias (ver teatros, escuelas y oficinas)						
• Salas legislativas						
• Cámara legislativa	70	10	36	12.5-15	45-54	
• Comisiones parlamentarias y salas de juntas	70	10	36	12.5-15	45-54	
• Vestíbulos y pasillos	50	10	36	12.5-15	45-54	
• Oficinas	10	5	18	7.5-10	27-36	
• Salones de prensa	20	10	36	12.5-15	45-54	
• Cabinas de prensa, radio y TV	20	10	36	12.5-15	45-54	
• Salas de descanso públicas	20	7.5	27	10-12.5	36-45	
• Salas de descanso privadas	-	10	36	15-25	54-90	

Requerimientos de ventilación en hospitales

Área	Relación de movimiento del aire con áreas adyacentes	Cambios mínimos de aire exterior por hora	Cambios mínimos totales de aire por hora	Todo el aire extraído directamente hacia el exterior	Humedad Relativa	Temperatura de Diseño
CIRUGÍA Y CUIDADO INTENSIVO						
• Quirófanos y cuartos de cirugía	externa	3	15		30-60	20-23
• Cuarto de entrega	externa	3	15		30-60	20-23
• Cuarto de recuperación		2	6		30-60	21-24
• Cuidado intensivo		2	6		30-60	21-24
• Cuidado intensivo neonatal		2	6		30-60	22-26
• Cuarto de tratamientos		-	6			24
• Cuarto de traumatología	externa	3	15		30-60	21-24
• Almacenamiento de gas para anestesia	interna	-	8	Sí	-	-
• Endoscopia	interna	2	6		30-60	20-23
• Broncoscopia	interna	2	12	Sí	30-60	20-23
• Salas de espera en Emergencia	interna	2	12	Sí		21-24
• Sala de espera en Radiología	interna	2	12			21-24
CLÍNICA						
• Cuarto de encamados		2	6			21-24
• Baño en cuarto de encamados	interna		10	Sí		
• Cuarto de recién nacidos		2	6		30-60	22-26
• Cuarto de aislados para enfermedades infecciosas	interna	2	12	Sí		24 21-24
• Cuarto de labor		2	6			21-24
• Cuarto de posparto		2	6			
• Pasillo de pacientes			2			

Área	Relación de movimiento del aire con áreas adyacentes	Cambios mínimos de aire exterior por hora	Cambios mínimos totales de aire por hora	Todo el aire extraído directamente hacia el exterior	Humedad Relativa	Temperatura de Diseño
AUXILIARES						
Radiología						
• Rayos X (cirugía cuidado intensivo y cateterización)			15		30-60	21-24 24
• Rayos X (Diagnóstico y tratamiento)		3	6			
• Cuarto oscuro			10			
Laboratorios						
• General			6			24
• Bioquímica	externa		6			24
• Citología	interna		6	Sí		24
• Histología	interna		6	Sí		24
• Microbiología	interna		6	Sí		24
• Medicina Nuclear	interna		6	Sí		24
• Patología	interna		6	Sí		24
• Serología	externa		6			24
• Esterilización	interna		10			
Cuarto de autopsias	interna		12	Sí		
Farmacia	externa		4			
DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTOS						
• Cuarto de exploración o auscultación			6			24
• Cuarto de medicación	externa		4			
• Cuarto de tratamientos			6			24
• Terapia física e hidroterapia	interna		6			24
ESTERILIZACIÓN Y SUMINISTRO (CEYE)						
(Central de Equipos y Esterilización)						
• Cuarto de esterilización	interna		10	Sí		24
• Cuarto de esterilización de equipos	interna		10	Sí		

Área	Relación de movimiento del aire con áreas adyacentes	Cambios mínimos de aire exterior por hora	Cambios mínimos totales de aire por hora	Todo el aire extraído directamente hacia el exterior	Humedad Relativa	Temperatura de Diseño
• Central médica y suministro quirúrgico						
• Cuarto sucio o de descontaminación (sépticos)	interna		6	Sí		20-23
• Cuarto limpio o descontaminado	interna		4			24
• Almacén estéril	externa		4		(máx 70)	
SERVICIOS						
• Centro de preparación de comida	externa		10			
• Guardado de dieta diaria	interna		2			
• Lavandería general			10	Sí		
• Ropa sucia	interna		10	Sí		
• Ropa limpia	externa		2			
• Baños	interna		10			

<http://clients.eecomunications.com/aia/>

ANEXO 3

CENTRAL DE BOMBEROS

Municipio de Tlalnepantla, Estado de México.

El edificio de la Central de Bomberos del Municipio de Tlalnepantla, fue proyectado con criterios de arquitectura bioclimática y de uso eficiente de la energía. Los aspectos fundamentales fueron los siguientes: Control del asoleamiento y sistemas pasivos de climatización, eficiencia en consumos energéticos, eficiencia en el abastecimiento y consumo de agua, torre eólica para el secado de mangueras y evidentemente las consideraciones de funcionamiento en caso de emergencia.

El predio se localiza en la esquina de la avenida Hidalgo y Zumpango en el Municipio de Tlalnepantla, ubicado en la latitud: 19° 32'; longitud: 99° 13; altitud: 2250 msnm. El clima es C(w''0)(w)b(i')g. La temperatura media anual es de 15 °C, la temperatura media más elevada se presenta en mayo con 17.3 mientras que la mínima se presenta en enero con 11.4 °C. La precipitación total anual es de 643 mm; los vientos dominantes provienen del norte y noroeste con una velocidad media de 1 m/s. el terreno cuenta con una superficie de 1102 m² y su eje más largo se orienta prácticamente sobre el eje norte sur.

La estructura básica en la concepción del centro operativo de protección civil se agrupo en los siguientes rubros: Áreas operativas: (Comunicaciones y control, Área de vehículos, Helipuerto, Área de paramédicos, Dormitorios para 30 personas, Laboratorio de análisis químicos, sistemas de emergencia y reservas de agua de 100 mil litros); Áreas Complementarias: (Oficinas, servicios, capacitación, acondicionamiento físico, almacenes); Áreas de circulación rápidas.

La solución arquitectónica se compone de dos cuerpos interrelacionados por el núcleo de circulaciones verticales. Las circulaciones operativas fueron el elemento rector del funcionamiento del proyecto ya que no puede existir ningún obstáculo en los recorridos de los bomberos hacia su vehículo asignado. Otro elemento importante fue la ubicación del área de vehículos, la cual debe estar vinculada directamente a tres sistemas: vialidades urbanas, sistema de recarga rápida de agua y sistema de mantenimiento.

Debido a las características propias del predio, el área de dormitorios se ubica con orientación oeste; hacia el norte se ubicaron el área de control, gimnasio, aula, laboratorio y cocina; mientras que al sur se orientan el comedor, la enfermería y la oficina de la comandancia. En la parte más elevada del edificio se ubica el helipuerto.

La fachada principal tiene una orientación poniente, por lo cual fue necesario proponer dispositivos de control solar integrados por: remetimiento de ventanas, parte-luces verticales, dispositivo horizontal y malla de protección solar con un coeficiente del 80 por ciento de eficiencia. Las ventanas cuentan con aberturas controlables para proporcionar una adecuada ventilación cruzada.

Se diseñó una torre eólica para el secado de mangueras. Con una altura de 13 metros. La abertura inferior es de 1.9 m y la superior de 0.75. Cuenta con una ventana y cubierta acristalada y un calentador solar de aire en la parte más alta para forzar la circulación del viento por efecto stack.

Ficha técnica

Edificio:

CENTRAL DE BOMBEROS
Municipio de Tlalnepantla, Estado de México.

Superficie construida:

Superficie total: 2,330 m²

Proyecto Arquitectónico:

M. en Arq. Víctor Armando Fuentes Freixanet
Dr. Arq. Manuel Rodríguez Viqueira

Proyecto Estructural:

Dr. Ing. Oscar M. González Cuevas
Ing. Luis C. Chávez Jiménez

Instalaciones Eléctricas:

Ing. Neagu Bratu Serban

Instalaciones Hidro-Sanitarias y de Gas:

Ing. Darío Eduardo Guaycochea Guglielmi
Ing. Luis Rocha Chiu

Gestión U.A.M.

Rectoría General:

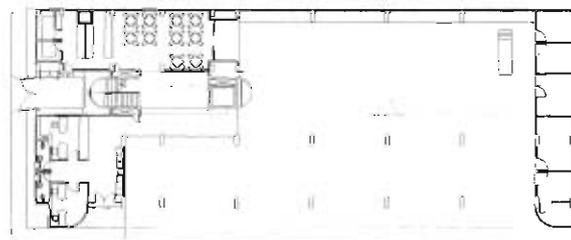
Dr. Julio Rubio O.

Rectoría de la Unidad Azcapotzalco:

Mtro. Edmundo Jacobo M.

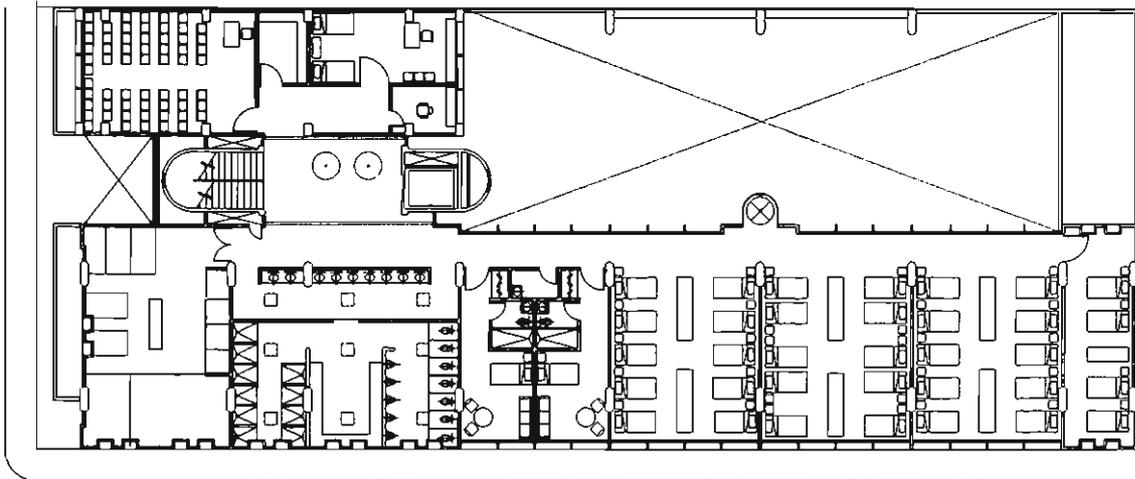
Coordinador de la Comisión de Apoyo y Desarrollo Académico (CADA):

Dr. Rubén Dorantes Rodríguez

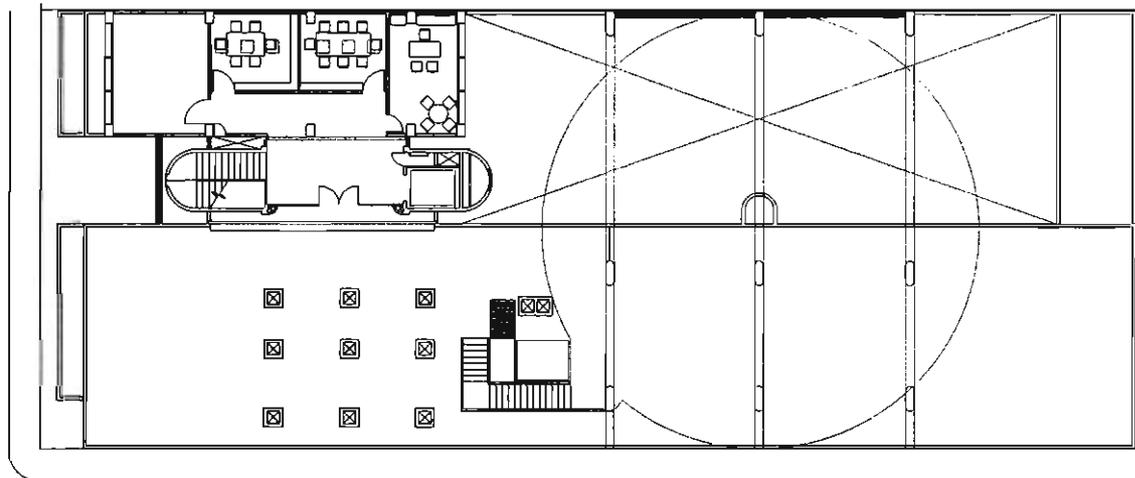


PLANTA BAJA

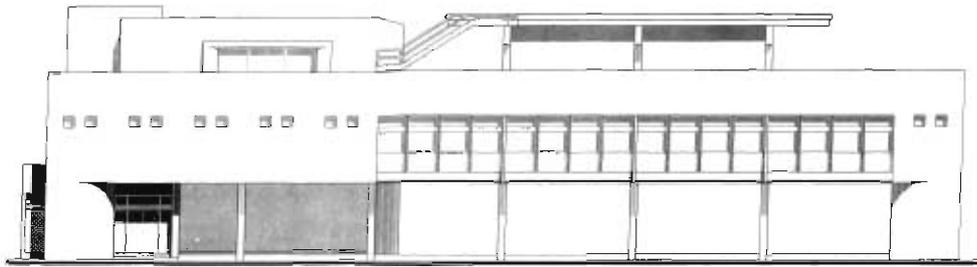




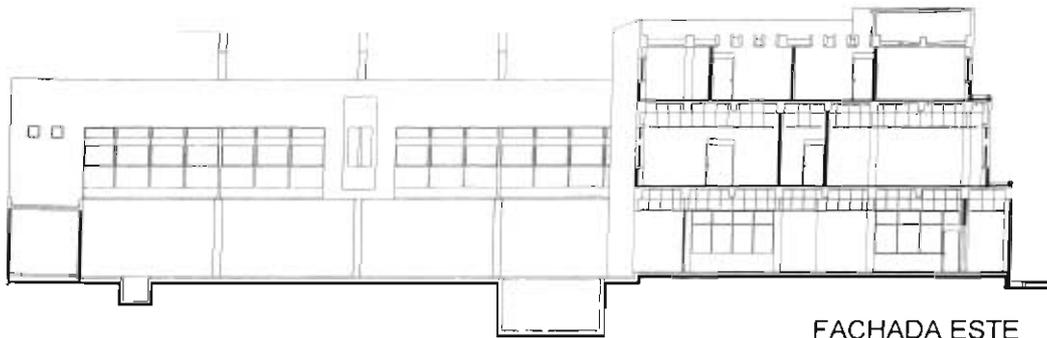
Planta alta



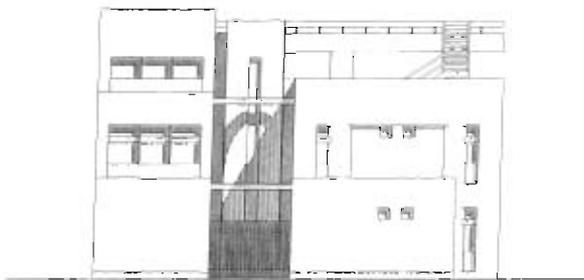
Segundo nivel - Azotea



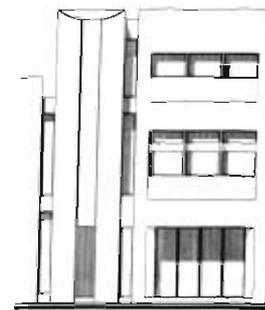
FACHADA PRINCIPAL - OESTE



FACHADA ESTE



FACHADA NORTE



FACHADA SUR

Cálculos

Ventilación Cruzada

Ejemplo A: Calcular la tasa de ventilación natural que se espera en los dormitorios del edificio, considerando una velocidad de viento de 1 m/s

Datos generales:

Habitación:

Largo: 8.30 m

Ancho: 7.05 m

Altura: 3.00 m

Área: 58.5 m²

Volumen: 175.5 m³

Área de Ventanas:

Área: 13.84 m²

Área de Ventilación (simétrica)

Área: 2.30m²

Método de Szokolay:

Presión dinámica del viento en barlovento:

$$p_w = 0.612 v^2$$

$$p_w = 0.612 (1^2) = 0.612 \text{ Pa}$$

Diferencia de Presión (Δp): 1.012 Pa

Coefficiente de presión barlovento $C_p = 1$

Coefficiente de presión en sotavento $C_p \sim -0.4$

Presión en sotavento $\sim -0.25 \text{ Pa}$

Por lo tanto la presión sobre la ventana es: $p = p_w - C_p$

Tasa de ventilación: $Q = 0.827 A (\Delta p)^{0.5}$

$$Q = 0.827 \times 2.3 \times (0.857)^{0.5}$$

$$Q = 1.76 \text{ m}^3/\text{s}$$

La velocidad del viento por la ventana será: $v = Q/A$

$$v = 1.76 / 2.30$$

$$v = 0.77 \text{ m/s}$$

Método Británico:

$$Q = C_d A v (\Delta C_p)^{0.5}$$

$$Q = 0.65 \times 2.30 \times 1 (1.4)^{0.5}$$

$$Q = 1.77 \text{ m}^3/\text{s}$$

Método de Olgyay:

$$Q = C_v A v$$

$$Q = 0.6 \times 2.30 \times 1$$

$$Q = 1.38 \text{ m}^3/\text{s}$$

Considerando un flujo de ventilación de $1.76 \text{ m}^3/\text{s}$:

El número de cambios de aire por hora es: $N = 3600 Q / \text{volumen}$

$$N = (3600 \times 1.76) / 175.5$$

$$N = 36 \text{ cambios de aire por hora}$$

Ejemplo B. Calcular los flujos de ventilación esperados en la torre de secado de mangueras, debido al efecto Stack partiendo de la temperatura media anual de 15°C .

Datos generales de la torre:

Longitud: 3.00 m

Ancho: 1.5 m

Altura: 13.05

Área: 2.36 m^2

Volumen: 30.75 m^3

Altura efectiva de ventilación 11.85 m

Abertura efectiva de entrada. 1.89 m^2

Abertura efectiva de salida: 0.75 m^2

Suponiendo una diferencia de temperatura de 1°C : ($T_e = 15^\circ \text{C}$; $T_s = 16^\circ \text{C}$)

Densidad del aire: $\rho = 1.293 \times 273.15 / T_k$

Temperatura de entrada = $15 + 273.15 = 288.15 \text{ K}$

Temperatura de salida = $16 + 273.15 = 289.15 \text{ K}$

Densidad del aire de entrada: $\rho_e = 1.293 \times 273.15 / 288.15 = 1.22569 \text{ Kg/m}^3$

Densidad del aire de salida: $\rho_s = 1.293 \times 273.15 / 289.15 = 1.22145 \text{ Kg/m}^3$

Diferencia de presiones: $\Delta p = h g (\rho_e - \rho_s)$

$$\Delta p = 11.85 \times 9.81 \times (1.22569 - 1.22145) = 0.004238946$$

$$\Delta p = 0.49277 \text{ Kg/m}^3$$

Flujo de viento: $Q = 0.827 \times A (\Delta p)^{0.5}$

$$Q = 0.827 \times 0.75 (0.49277)^{0.5}$$

$$Q = 0.4354 \text{ m}^3/\text{s}$$

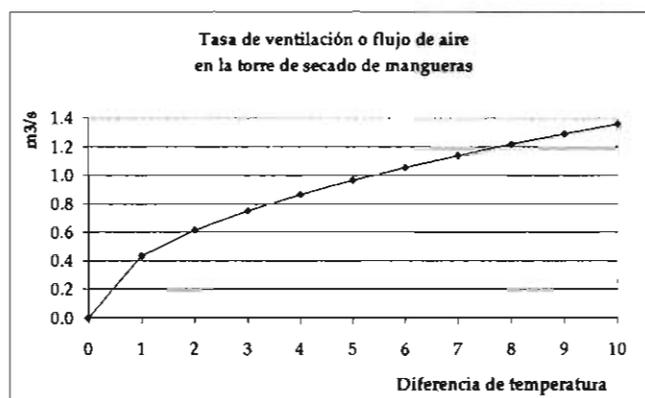
Velocidad del flujo: $V = Q/A$

$$V = 0.4354 / 0.75$$

$$V = 0.5805 \text{ m/s}$$

Tasa de ventilación en función de la diferencia de temperatura

Δt °C	Δp (Pa)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Renovación de aire (cambios/hora)
1	0.49	0.44	0.58	50.97
2	0.98	0.61	0.82	71.96
3	1.47	0.75	1.00	87.99
4	1.95	0.87	1.16	101.42
5	2.43	0.97	1.29	113.20
6	2.91	1.06	1.41	123.79
7	3.38	1.14	1.52	133.49
8	3.85	1.22	1.62	142.46
9	4.32	1.29	1.72	150.85
10	4.78	1.36	1.81	158.74



GLOSARIO

AIRE SECO

Mezcla de diversos gases, en ausencia de polvo y de vapor de agua, cuya proporción se mantiene constante hasta una altura aproximada de 20 km. Los principales componentes son el nitrógeno y el oxígeno con una proporción del 78 y el 21 %, respectivamente, en el 1% restante se incluyen gases como: ozono, vapor de agua, anhídrido carbonico y algunos gases nobles (argón, radón, etc.).(1)

AIRE HÚMEDO

Se denomina al aire que contiene vapor de agua.(1)

AIRE SATURADO

Es el aire que contiene la cantidad máxima de vapor de agua posible para una temperatura y una presión dadas (100% de humedad relativa).(1)

AIREACIÓN

Proceso en virtud del cual ocurre la renovación del aire.(5)

Ventilación (natural) por simple exposición al aire.(4)

ALTA PRESIÓN

Distribución del campo de presión atmosférica en donde el centro presenta una presión mayor que la que existe a su alrededor y a la misma altura; también denominada como Anticiclón. En un mapa sinóptico, se observa como un sistema de isobaras cerradas, de forma aproximadamente circular u oval, con circulación en sentido de las manecillas del reloj. Este fenómeno provoca subsidencia en la zona donde se posa, por lo que favorece tiempo estable.(1)

ALTURA

Es la distancia vertical entre dos puntos situados en diferentes posiciones.(1)

ANEMOGRAFÍA

Parte de la meteorología que trata de los vientos.(4)

ANEMÓGRAFO

Anemómetro Registrador. (4)

Instrumento que mide y registra la velocidad del viento.

ANEMOMETRÍA

Estudio de la velocidad del viento.(4)

ANEMÓMETRO

Instrumento para medir la velocidad del viento. (4)

ANEMOSCOPIO

Instrumento que sirve para indicar la dirección del viento; consta de una veleta cuyo eje transmite su movimiento a una aguja que gira sobre un disco graduado, en el cual figuran todos los rumbos. (4)

ANEMOCINEMÓGRAFO

Instrumento que sirve para registrar la velocidad del viento.

ANTICICLÓN

Circulación de aire alrededor de un área central de altas presiones, asociado normalmente con tiempo estable; la presión va elevándose paulatinamente según se forma el anticiclón y desciende cuando éste decae. (1)

ATMÓSFERA (Esfera del aire)

Esfera terrestre consistente en una masa gaseosa que envuelve a la Tierra, con espesor variable de varios cientos de kilómetros. Gracias a ella es posible la vida, ya que, además de proveer el oxígeno necesario para todas las especies, actúa como regulador térmico, equilibrando los flujos de energía solar y terrestre.

BARLOVENTO

Parte de donde viene el viento. (4)

Cara frontal de un edificio que recibe la incidencia del viento (presión positiva).

BRISA DE MAR

Viento local persistente que fluye en el día, en las proximidades de las costas, desde el mar hacia la tierra, con velocidades máximas de 20 km/h. La causa básica de este flujo de viento es la diferencia del calentamiento entre la superficie del mar y de la tierra, por efecto de la radiación solar. (1)

BRISA DE TIERRA

(Terral) Viento débil que fluye durante la noche desde la tierra hacia el mar, se presenta en las zonas costeras como resultado del enfriamiento nocturno por radiación terrestre, que actúa más rápidamente sobre el suelo que sobre el mar. (1)

CALMA

Es el registro de vientos menores a 0.6 m/s o la ausencia de todo movimiento perceptible del aire. (1)

CALOR LATENTE

Cantidad de energía calorífica necesaria para cambiar el estado físico de una sustancia sin variar su temperatura. (2)

CALOR SENSIBLE

Cantidad de energía calorífica que absorbe una sustancia o cuerpo al elevar su temperatura sin cambiar su estado físico. (2).

CICLÓN

Circulación de aire alrededor de un área central de bajas presiones habitualmente asociada con tiempo inestable. En las latitudes tropicales puede referirse a una tormenta de grandes dimensiones que no alcanza, sin embargo, la condición de huracán.

CICLÓN EXTRATROPICAL

Es un ciclón que se forma a latitudes mayores a 30 , se compone por dos a más masas de aire, por lo tanto se asocia a uno o más frentes. (1)

CICLÓN TROPICAL

Es un ciclón, que no presenta frentes; se desarrolla sobre aguas tropicales y tiene una circulación, en superficie, organizada y definida en el sentido contrario a las manecillas del reloj. Un ciclón se clasifica, según la intensidad de sus vientos, en: perturbación tropical, vientos en superficie ligeros; depresión tropical vientos máximos en superficie de 61 km/h; tormenta tropical vientos máximos dentro del rango de 62 a 87 km/h; huracán vientos máximos en superficie mayores a 116 km/h. Los huracanes a su vez se dividen en 5 categorías según la velocidad de sus vientos, como se observa en la tabla siguiente (1):

Clasificación de Huracanes	
Categoría	<i>Velocidad de los vientos</i>
Cat. 1	118 a 153 km/h
Cat. 2	154 a 177 km/h
Cat. 3	178 a 209 km/h
Cat. 4	210 a 249 km/h
Cat. 5	250 km/h

CIRCULACIÓN ANTICICLÓNICA

Circulación atmosférica sistemática asociada a un sistema de alta presión. En el hemisferio Norte su sentido de rotación es igual al de la manecillas del reloj y al contrario en el caso de hemisferio Sur. (1)

CIRCULACIÓN CICLÓNICA

Circulación atmosférica asociada con un sistema de "circulación general". Conjunto de configuración de las corrientes de la atmósfera sobre todo el globo terrestre. Con frecuencia el término se aplica a la configuración de la corriente media en un intervalo de tiempo dado. (1)

CORRIENTE EN CHORRO

Mal llamada "Corriente de Chorro", es una corriente rápida de vientos del oeste en altura; da la vuelta al planeta en ambos hemisferios. Tiene una velocidad mínima de 120 km/h, posee una forma tubular, achatada y es casi horizontal, se presenta en la atmósfera superior, con una longitud de varios miles de kilómetros, algunos cientos de anchura y un espesor del orden de tres km. (1)

EFECTO DE CORIOLIS

Efecto debido al movimiento rotacional de la tierra, que se manifiesta en todo cuerpo en movimiento, de tal forma que lo desvía de su trayectoria recta. En el hemisferio norte la desviación ocurre hacia la derecha de la dirección del cuerpo y mientras que en el hemisferio sur la desviación es hacia la izquierda. (1)

ESCALA DE VIENTOS BEAUFORT

Sistema de estimación de la fuerza de los vientos, fue ideada por el navegante inglés Beaufort basándose en los efectos de la fuerza del viento sobre la superficie terrestre y sobre el mar. Existe la siguiente relación entre la velocidad de los vientos dada en nudos (V) y el número en la escala de Beaufort (B) elevado a la potencia de 3/2 y multiplicado por 1.87. (1)

$$V = 1.87 (B)^{3/2}$$

Expresada en metros por segundo (m/s):

$$V = 0.962 (B)^{1.44}$$

Escala de 0 a 12 que sirve para expresar la fuerza del viento (4).

ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA

Condición de la atmósfera que se opone al desarrollo de nubes de los géneros cúmulos y cumulonimbos. Se caracteriza por estados del cielo despejados o con presencia de nubes estratiformes. (1)

FRENTE

Zona de interacción entre dos masas de aire con características diferentes de temperatura y/o humedad. (1)

FRENTE CALIENTE (o cálido)

Se produce cuando una masa de aire caliente avanza hacia latitudes mayores y su borde delantero asciende sobre el aire más frío. Si hay humedad suficiente se obser-

van todos los géneros de nubes estratiformes las cuáles podrían provocar precipitaciones de tipo continuo. (1)

FRENTE ESTACIONARIO

Es aquel frente que no presenta ningún desplazamiento. (1)

FRENTE FRÍO

Se produce cuando una masa de aire frío avanza hacia latitudes menores y su borde delantero se introduce como una cuña entre el suelo y el aire caliente. Al paso de este sistema, se pueden observar nubes de desarrollo vertical, las cuales podrían provocar chubascos o nevadas si la temperatura es muy baja. Durante su desplazamiento la masa de aire que viene desplazando el aire más cálido provoca descensos rápidos en las temperaturas de la región por donde pasa. (1)

GLOBO PILOTO

Se le llama así a un globo que se utiliza con el fin de calcular los vientos en altura, el procedimiento consiste en llenar con helio o hidrógeno el globo y dejarlo libre, después se sigue la trayectoria del globo con un teodolito, registrándose periódicamente su posición (azimut y elevación). (1)

GRADIENTE DE PRESIÓN

Matemáticamente, vector perpendicular a la isobara o a la superficie isobárica y dirigido hacia valores bajos de presión. Diferencia de presión entre dos puntos. (1)

GRADIENTE DE TEMPERATURA

La razón del cambio de la temperatura por unidad de distancia, muy comúnmente referido con respecto a la altura. Se tienen dos gradientes, el adiabático de $10.0^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (en aire seco) y el pseudoadiabático (aire húmedo) es $6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$. (1)

HUMEDAD

Es el contenido de vapor de agua del aire; puede ser expresado como humedad absoluta, específica, relativa o razón de mezcla. (1)

HUMEDAD ABSOLUTA

En un sistema de aire húmedo, es la cantidad del vapor de agua (masa) contenida por una unidad de volumen de aire; se expresa en gramos de vapor de agua por metros cúbicos de aire húmedo. (3)

HUMEDAD ESPECÍFICA

En un sistema de aire húmedo, es la cantidad del vapor de agua (masa) contenida por una unidad de masa de aire; se expresa en gramos de vapor de agua por kilogramo de aire húmedo. (4)

HUMEDAD RELATIVA

Es la relación expresada en porcentaje, entre el contenido de vapor de agua y el valor que tendría si el aire estuviera totalmente saturado a la misma temperatura y presión.

HURACÁN

Nombre genérico que se le da a un ciclón tropical cuando este ocurren en las siguientes regiones geográficas: Atlántico Norte, Mar Caribe, Golfo de México, Pacífico Sur y Océano Índico (1); con velocidades superiores a 118 km/h (4)

ISOBARA

Es una línea trazada sobre un mapa sinóptico con la que se unen puntos donde la presión atmosférica tiene el mismo valor. (1)

MASA DE AIRE

Volumen extenso de la atmósfera cuyas propiedades físicas, en particular la temperatura y la humedad en un plano horizontal muestran sólo diferencias pequeñas y graduales. Una masa puede cubrir una región de varios millones de kilómetros cuadrados y poseer varios kilómetros de espesor. (1)

MASA DE AIRE ESTABLE

Masa de aire en la que prevalece la estabilidad estática, condición que depende de los gradientes verticales de temperatura. (1)

MASA DE AIRE INESTABLE

Masa de aire que presenta inestabilidad en las capas inferiores; se producen nubes convectivas y precipitaciones cuando el contenido de humedad es elevado. (1)

MILIBAR

Es la unidad de presión que expresa directamente la fuerza ejercida por la atmósfera, igual a 1000 Din/cm² o 100 pascales. (1)

NORMALES CLIMATOLÓGICAS

Valores medios de los elementos meteorológicos (temperatura, humedad, precipitación, evaporación, etc.) calculados con los datos recabados durante un periodo largo y relativamente uniformes, generalmente de 30 años.

OBSERVATORIO METEOROLÓGICO

Lugar donde se evalúan las condiciones actuales del tiempo, cuenta con el instrumental adecuado para tomar las lecturas de los parámetros necesarios; constituido por una o más personas que realizan las observaciones sensoriales y que toman las lecturas de los diversos instrumentos. (1)

OMM Organización Meteorológica Mundial

Organismo intergubernamental especializado de la Organización de las Naciones Unidas, constituido el 23 de marzo de 1950, se encarga de coordinar, estandarizar y mejorar las actividades meteorológicas a nivel mundial. (1)

OLA DE CALOR (Onda de Calor)

Calentamiento importante del aire o invasión de aire muy caliente, sobre una zona extensa; suele durar de unos días a una semana. (1)

ONDA TROPICAL (Onda del Este)

Perturbación de escala sinóptica en la corriente de los vientos alisios y viaja con ellos hacia el oeste a una velocidad media de 15 km/h. Produce fuerte convección sobre la zona que atraviesa. (1)

PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Es la presión que ejerce la atmósfera en un punto específico como consecuencia de la acción de la fuerza de gravedad sobre la columna de aire que se encuentra encima de este punto. (1)

PROCESOS DE CONVECCIÓN

Movimiento ascendente del aire provocado principalmente por el efecto de calentamiento que ocasiona la radiación solar en la superficie terrestre. (1)

Circulación del aire en sentido vertical debido al calentamiento y cambios de densidad.

RACHA o RÁFAGA

Es un aumento brusco del viento con respecto a su velocidad media tomada en un cierto intervalo de tiempo. Su duración es menor de 20 segundos y una variación de cuando menos 15 km/h, va seguida de un descenso en el viento. (1)

brusca y breve aceleración del viento. (4)

RED METEOROLÓGICA

Conjunto de sistemas de observación de las variables meteorológicas. (1)

ROSA DE LOS VIENTOS o ROSA NÁUTICA

Compás que lleva impresos los 32 vientos o rumbos (4).

Gráfica en la que se indican las frecuencias de dirección del viento de una localidad.

RUMBO

Cualquiera de las 32 direcciones de la rosa de los vientos. (4)

Ángulo formado entre el norte y una dirección definida (por el viento).

SATURACIÓN

Condición del aire que se presenta cuando la cantidad de vapor de agua que contiene es el máximo posible para la temperatura existente. (1)

SOTAVENTO

Parte o zona hacia donde va el viento, opuesta a barlovento (4). Cara posterior a la incidencia del viento. (presión negativa)

TEMPERATURA AMBIENTE

Es la temperatura del aire registrada en el instante de la lectura. (1)

TEMPERATURA MÁXIMA

Es la mayor temperatura registrada en un día, y que se presenta normalmente entre las 14:00 y las 16:00 horas. (1)

TEMPERATURA MÍNIMA

Es la menor temperatura registrada en un día, y se puede observar normalmente entre las 06:00 y las 08:00 horas. (1)

TEMPERATURA RADIANTE MEDIA (de globo)

Es la temperatura registrada por un termómetro de globo, es decir un termómetro con el bulbo cubierto por una esfera de cobre de 150 mm de diámetro y pintada de negro mate, la medida que se obtiene será igual a la temperatura del aire más las ganancias o pérdidas por energía radiante. (6)

TEMPORADA DE CICLONES TROPICALES

Época del año en la que se desarrollan ciclones tropicales con una frecuencia relativamente grande. En el Atlántico, en el Caribe y en el Golfo de México el período comprende desde el 1º de junio hasta el 30 de noviembre y en el Pacífico del 15 de mayo al 30 de noviembre. (1)

TORMENTA CONVECTIVA

Tormenta provocada por fenómenos de convección. (1)

TURBULENCIA

Es un cambio brusco de la velocidad y dirección de los vientos, provocada por obstrucciones naturales o artificiales al paso de aire o por excesivo calentamiento de la superficie terrestre y que da lugar a la formación de nubes de tipo cumuliformes. (1). Carácter de un fluido cuyos hilillos, en vez de discurrir paralelamente a la dirección del flujo (flujo laminar) se curvan, ondulan y forman remolinos (flujo turbulento). (4)

VELETA

Pieza metálica, muchas veces en forma de flecha, provista de un timón y articulada en el eje vertical, que orientada al viento indica la dirección de éste. (4)

VELOCIDAD DEL VIENTO

Razón del movimiento del viento en unidad de distancia por unidad de tiempo. (1)

VIENTO

Aire en movimiento relativo a la superficie de la tierra, casi exclusivamente usado para denotar la componente horizontal. (1)

VIENTOS ALISIOS

Sistema de vientos relativamente constantes en dirección y velocidad que soplan en ambos hemisferios, desde los 30° de latitud hacia el ecuador con dirección noreste en el hemisferio norte y sureste en el hemisferio sur. (1)

VIENTO ANABÁTICO

Es el viento húmedo y cálido que se eleva por una ladera y que a su paso se condensa provocando la formación de nubes de tipo lenticular en la cima. (1)

VIENTO CATABÁTICO

Es el aire fresco y seco que desciende a sotavento de la montaña, después de haberse condensado toda la humedad de lado de barlovento. (1)

VIENTO GEOSTRÓFICO

Es el viento resultante del equilibrio entre la aceleración de coriolis y la fuerza del gradiente horizontal de presión. Sopla paralelamente a las isobaras o isohipsas. (1)

VISCOSIDAD

Propiedad de los fluidos en los cuales el roce de unas moléculas con otras, opone una resistencia al movimiento uniforme de su masa. Cada fluido tiene un coeficiente de viscosidad que depende del grado en que se ejercen dichas fuerzas en su seno. (4)

ZONA DE CONFORT

Confort es el estado psico-fisiológico bajo el cual la mayoría de los usuarios de un espacio manifiestan satisfacción con el medio ambiente que les rodea. (2)

Por lo tanto la zona de confort corresponde al rango o amplitud de las condiciones ambientales bajo las cuales los usuarios expresan dicho estado de satisfacción.

ZONA INTERTROPICAL DE CONVERGENCIA (ZIC)

Intertropical Convergence Zone (ITCZ) por su nombre en inglés, es la zona donde convergen los vientos alisios de ambos hemisferios. También es conocida como Ecuador Meteorológico.(1)

(1) SMN. *Glosario de Términos*. Servicio Meteorológico Nacional-Comisión Nacional del Agua- México. <http://smn.cna.gob.mx/>

(2) Chávez, J. Roberto y Fuentes, Víctor. *Viento y Arquitectura*. Editorial Trillas. México. D.F. 1995.

(3) Lacomba, Ruth, et al. *Manual de Arquitectura Solar*. Editorial Trillas México, D.F. 1991.

(4) *Larousse Diccionario Ilustrado de las Ciencias*. Editorial Larousse. México, D.F. 1987.

(5) Gutierrez, Jesús, et al. *Glosario de recursos Naturales*. Editorial Limusa. México. D.F. 1983.

(6) Szokolay, Steven. *Environmental Science Handbook*, The Construction Press, Lancaster, England, 1980.

BIBLIOGRAFÍA SOBRE VENTILACIÓN NATURAL

- Allard, Francis (ed.) *et al.*, *Natural ventilation in buildings*, Londres, A Design Handbook, James & James, 1998.
- ASHRAE Handbook, *Fundamentals*, Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1977.
- ASHRAE Handbook, *Fundamentals*, Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1993.
- ASHRAE Handbook, *Fundamentals*, Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001.
- Boutet, Terry S., *Controlling air movement*, Nueva York, McGraw-Hill Book Company, 1987.
- Canadian Building Digest, <http://www.nrc.ca/irc/cbd/cbd028e.html>
- Comisión Nacional del Agua-Servicio Meteorológico Nacional, <http://www.cna.gob.mx/SMN.html>
- Croome, Derek y Roberts, Brian, *Airconditioning and ventilation of buildings*, Oxford, Pergamon Press, 1981.
- Evans, B.H., *Research Report 59*, Texas, Texas Engineering Station, College Station, 1957.
- García, J.R. y Fuentes F., Víctor, *Viento y arquitectura*, México, Trillas, 1995.
- Lawson, Tom, *Building aerodynamics*, Londres, Imperial Collage Press, 2001.
- Linsley, Ray, *Hydrology for engineers*, Nueva York, McGraw-Hill, 1982.
- Natural ventilation in non-domestic buildings*. Application manual AM10:1997, Londres, CIBSE, 1997.
- Olgyay, Víctor, *Design with climate*, Nueva Jersey, Princeton University Press, 1963.
- Park, Jack. *The wind power book*. Cheshire Books, California, 1981.
- Puppo, Ernesto y Giorgio, *Acondicionamiento natural y arquitectura*, Barcelona, Marcombo Boixareu Editores, 1979.
- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*, Sista, México, 1994.

Santamouris, M. y Asimakopoulous, D., *Passive cooling of buildings*, Londres, James & James, 1996.

Szokolay, Steven y Docherty, Michael, *Climate analysis*, Australia, PLEA & The University of Queensland, 1999.

ÍNDICE

Prólogo	9
1. Introducción	13
1.1 Conceptos Generales	13
1.1.1 Dirección del viento	13
1.2. Frecuencias de direcciones	14
1.3. Velocidad	19
1.4. Turbulencia y ráfagas	32
2. Estimación de la velocidad del viento	33
2.1. Perfiles de velocidad	33
2.2. Corrección por el efecto de la rugosidad	34
2.3. Corrección por la altura	35
3. El viento alrededor de los edificios	43
3.1. Determinación de las zonas de turbulencia	43
4. Ventilación natural en el interior de los espacios	49
4.1. Renovación del aire	50
4.2. Ventilación con fines de climatización	56
4.2.1. Ventilación debida a la presión de viento (ventilación cruzada)	56
4.2.2. Ventilación debida a diferencias térmicas (Efecto Stack)	73
4.2.3. Efectos simultáneos	78
4.3. Requerimientos de ventilación en función de la energía calorífica	80
4.3.1. Calor sensible	80
4.3.2. Calor latente	81
4.4. Requerimientos de ventilación en función del confort	83
4.4.1. Efecto del viento en climas cálido húmedos	83
4.4.2. Clima Frío	86
4.5. Viento y precipitación	89
Anexos	
1. Datos de viento para algunas ciudades de la República Mexicana	93
2. Requerimientos de ventilación según diferentes autores	127
3. Central de bomberos	141
Glosario	149
Bibliografía sobre ventilación natural	159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Distribución de frecuencias de dirección del viento (ejemplo 1)	16
Tabla 2.	Lecturas horarias de direcciones del viento. Diciembre 1981. Ciudad de México	17
Tabla 3.	Código de colores para direcciones del viento	19
Tabla 4.	Lecturas horarias de direcciones con código de colores	20
Tabla 5.	Distribución de frecuencias de velocidades de viento (ejemplo 2)	21
Tabla 6.	Lecturas horarias de velocidades de viento. Diciembre 1981. Ciudad de México	22
Tabla 7.	Escala de Fuerza de Viento de Beaufort	24
Tabla 8.	Datos de velocidad Beaufort. Enero 1985. Ciudad de México	27
Tabla 9.	Estimación de la velocidad del viento a partir de la escala Beaufort (ejemplo 3)	29
Tabla 10.	Escala de rangos de intensidad del viento DGSMN	30
Tabla 11.	Velocidades del viento en espacios interiores y sus efectos en los usuarios	30
Tabla 12.	Perfiles de velocidad del viento	34
Tabla 13.	Constantes de rugosidad del terreno para diferentes capas límite	38
Tabla 14.	Longitud de velocidad (Z_0) para distintas coberturas vegetales	39
Tabla 15.	Contaminantes del aire en los espacios interiores	50
Tabla 16.	Requerimientos mínimos de ventilación en función de los olores	52
Tabla 17.	Cantidades de aire fresco recomendadas en Gran Bretaña y Estados Unidos	52
Tabla 18.	Efectos objetivos y subjetivos en el hombre ante la exposición de CO_2	53
Tabla 19.	Tasa de producción de CO_2	54
Tabla 20.	Coeficientes de presión (C_p) Reglamento de Construcciones del D.F.	58
Tabla 21.	Coeficientes de presión (C_p) para techos curvos. Reglamento de Construcciones del D. F.	58
Tabla 22.	Coeficientes de presión media (C_p) en función del ángulo de incidencia del viento	58
Tabla 23.	Factor de relación de ventanas según Olgyay	62
Tabla 24.	Ventilación cruzada. Velocidad promedio del viento en interiores para aberturas en muros opuestos con viento perpendicular a la ventana	67
Tabla 25.	Ventilación cruzada. Velocidad promedio del viento en interiores para aberturas en muros opuestos con viento oblicuo a la ventana	72
Tabla 26.	Ventilación cruzada. Velocidad promedio del viento en interiores para aberturas en muros adyacentes con viento perpendicular a la ventana	72
Tabla 27.	Ventilación cruzada. Velocidad promedio del viento en interiores para aberturas en muros adyacentes con viento oblicuo a la ventana	72
Tabla 28.	Índice de Viento Frío	72
Tabla 29.	Precipitación	88
Tabla 30.	Ángulos de lluvia	90
		91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Código para definir la dirección del viento (DGSMN)	13
Figura 2. Rosa de los vientos. Ciudad de México Diciembre, 1981	14
Figura 3. Rosa de los vientos. Ciudad de México. Promedio anual	15
Figura 4. Gráficas de velocidades del viento (ejemplo 2)	21
Figura 5. Perfiles de velocidad del viento en distintos tipos de terrenos	33
Figura 6. Patrones del flujo del viento superficial en un edificio	44
Figura 7. Zonas de turbulencia y recirculación originadas por el choque de viento en un edificio	46
Figura 8. Zonas de turbulencia y recirculación (ejemplo 5)	47
Figura 9. Zonas de turbulencia y recirculación originadas por el choque del viento en un edificio angosto	47
Figura 10. Comparación de coeficientes de presión (C_p), estimada y medida por Davenport y Hui	66
Figura 11. Comparación de coeficientes de presión (C_p), estimada y medidas por Colmes	61
Figura 12. Diferencias de presión del viento en función de la altura	63
Figura 13. Gráfica de factores de relación de ventanas	68
Figura 14. Nivel de Presión Neutra	75
Figura 15. Límite de efectividad de la Ventilación Natural (1.5 m/s) Para diversas temperaturas neutras	86
Figura 16. Velocidad terminal de las gotas de lluvia	96

Ventilación natural. Cálculos básicos para arquitectura se terminó de imprimir en el mes de febrero de 2004, en los talleres de AGES, en la Ciudad de México. Se utilizaron los tipos Palatino y Carleton. Los interiores están impresos en papel kromos ahuesado de 90 g. y la portada en Multiart de 250 g. Se tiraron 1,000 ejemplares. El cuidado de la edición estuvo a cargo de Silvia Guzmán Bofill y los autores.

UAM
NA2541
F8.47

2894483
Fuentes Freixanet, Víctor
Ventilación natural : cál

ISBN 970-31-0205-0



El objetivo del texto que aquí se presenta es apoyar la formación de los alumnos de la carrera de arquitectura y del posgrado en diseño en el área de arquitectura bioclimática, en lo que se refiere al manejo de la ventilación como estrategia de diseño. El trabajo está estructurado en cuatro apartados: el primero se centra en describir las principales características del viento, que se deben considerar en los estudios de ventilación, el segundo aborda el problema de la estimación de la velocidad del viento a partir de los diversos parámetros que afectan su comportamiento y el tercero trata sobre el comportamiento del viento alrededor de los edificios y las turbulencias provocadas por éstos. Por último, el cuarto se dedica al cálculo de la ventilación natural en interiores. Todos ellos acompañados de ejemplos para su mejor comprensión. Se incluyen tres anexos: uno con los datos de viento de las principales ciudades de la República Mexicana, otro con tablas de requerimientos de ventilación según varios autores y por último ejemplo de aplicación, además de un glosario de términos.

