

## CONDICIONES AMBIENTALES

Dado que la climatización de edificios propugna por proveer unas condiciones térmicas interiores distintas a las de sus alrededores, es visible que el número y el tamaño de los equipos y los consumos a considerar depende de la diferencia interior-exterior. Por lo tanto, es de vital importancia conocer y manejar con toda certeza y confiabilidad la información detallada sobre las condiciones climáticas ambientales. Esta clase de información es provista por las estaciones meteorológicas. Los datos más relevantes al propósito de climatizar edificaciones son temperatura, humedad relativa, vientos y registros solares.

Dejando clara la necesidad de acertar en los inventarios del clima predominante, aparecen inquietudes sobre la forma de proyectarlos hacia el futuro. El tratamiento de algunos factores (i.e., la temperatura) involucra actualmente una sustancial polémica por cuenta del cambio climático que se experimenta. ¿Qué validez tienen promedios simples levantados sobre secuencias extremadamente largas, si en los últimos años hay claras tendencias que muestran que los valores relevantes para los próximos años serán distintos? Al respecto nuestra posición no contraviene la postura de que si se dispone de una vasta información debemos utilizarla sin rodeos; pero nos parece importante plantear que los resultados de los análisis retrospectivos deberán proyectarse hacia el período en el que van a ser utilizados. Otra situación es aquella en la cual no se tiene tal disponibilidad de datos, o en la que las tendencias dinámicas de calentamiento o de microclimas que aplican localmente requieren de manejos especiales (i.e., una isla de calor).

**Microclima.** Un microclima es un conjunto local de condiciones atmosféricas que difieren de las vecinas, a veces en pequeña cuantía y a veces en forma más sustancial. La dimensión del microclima puede ir desde un área mínima (como un patio o un jardín) hasta espacios de varios kilómetros cuadrados. Dado que los fenómenos climáticos varían según secuencias con

ordenamientos tanto espaciales como temporales, su tratamiento tiene que ser estadístico, esto es, que los parámetros deben ser descritos mediante valores representativos. Una región donde ocurren y persisten en el tiempo valores distintos al entorno es un microclima.

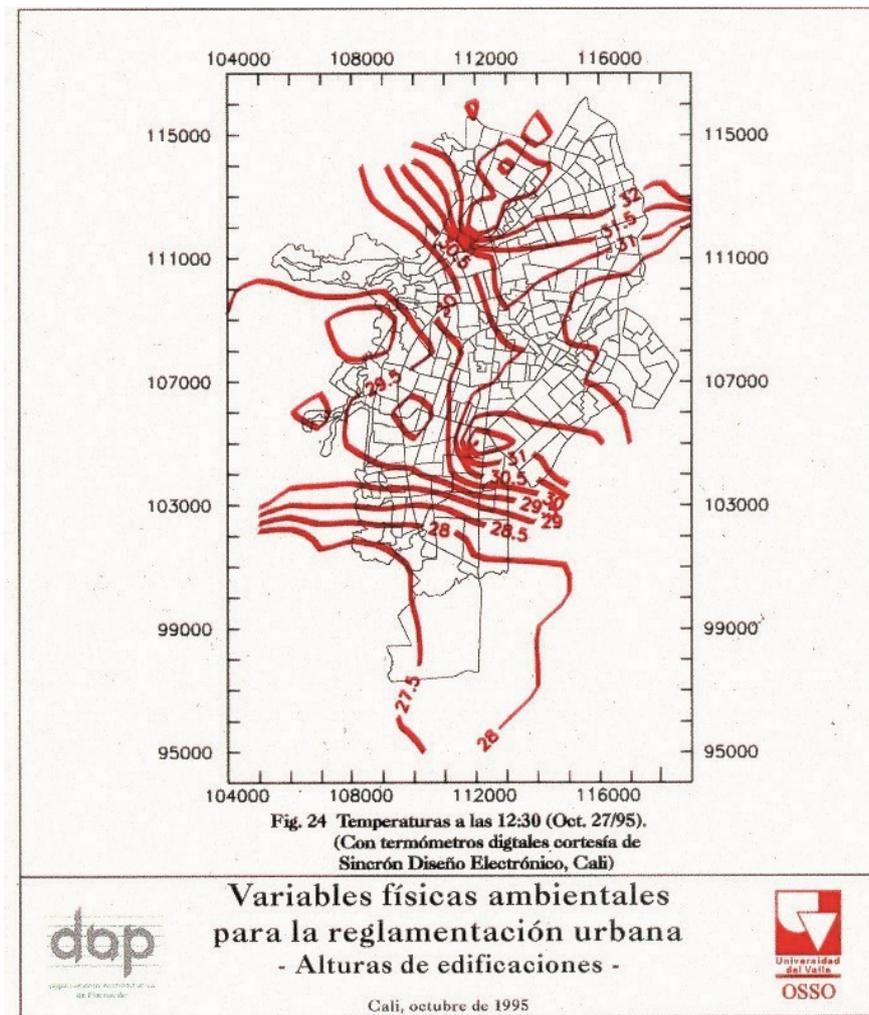
Los microclimas pueden encontrarse en muchas situaciones; por ejemplo, el espacio alrededor de una caída de agua, donde se experimenta una sensación de frescura muy distinta de los alrededores, es un microclima. Otro caso de microclima, de muy particular interés, es el de la “isla de calor”, que en las ciudades es causada por la concentración de estructuras en ladrillo, piedra o concreto expuestas a incidencia solar; al calentarse hasta temperaturas superiores a las de sus vecindades conforman una isla de calor urbana. Este tipo de microclima se ilustra en la Figura 3.1. Santamouris (2001) [49] compiló datos de diferentes islas de calor encontrando diferencias sobre el vecindario del orden entre 2.5°C y 14°C en Europa, entre 2°C y 10°C en América, entre 1°C y 10°C en Asia, y entre 1°C y 6.5°C en África. También encontró, en Atenas, en verano, en edificios urbanos, que las cargas térmicas duplicaron y los consumos eléctricos triplicaron sus valores, y que lo único benéfico fue un 30% de reducción de la calefacción durante el invierno.

**El Cambio Climático.** A pesar de algunas voces en contrario, probablemente con intereses económicos, los más recientes reportes del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) demuestran que el cambio climático global es innegable [50]. Esto es observable por los cambios de las temperaturas globales del aire y de los océanos, las extensas fusiones de nieve y hielo, y el aumento universal del nivel oceánico.

## LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Una estación meteorológica es el lugar donde se realizan mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos (de la atmósfera) utilizando instrumentos adecuados para establecer sus comportamientos [51], [52].

Para ampliación y detalle sobre el tema se recomienda consultar la ref. [53] “Manual de Procedimientos para las Estaciones Meteorológicas” compilado por Enrique Castro Fonseca, 2008. Este documento es accesible en <http://www.ots.ac.cr/meteoro/files/manual.pdf>; contiene información acerca de conceptos de meteorología básica, a la vez que trata de explicar los procedimientos que deben de llevarse a cabo para el establecimiento de una estación de muestreo, con base en los estándares de la Organización Mundial de Meteorología (OMM).



*Figura 3.1. Isotermas Ciudad de Cali 12:30 p.m.*

El área de validez de datos reportados por una estación, es decir su representatividad, indica cuánta área podrían representar los datos recolectados. La OMM clasifica las escalas de representatividad de los fenómenos meteorológicos de la siguiente manera:

- pequeña escala: menos de 100Km
- meso escala: de 100 a 1000Km
- gran escala: de 1000 a 5000Km
- escala planetaria: más de 5000Km

En una estación meteorológica corriente se encuentran los siguientes instrumentos:

- Termómetro: mide la temperatura del aire ambiente.
- Termómetros de subsuelo (geotermómetro): para medir la temperatura a 5, 10, 20, 50 y 100 cm de profundidad.
- Termógrafo: registra automáticamente la temperatura.
- Barómetro: mide la presión atmosférica .

- Pluviómetro: mide la cantidad de agua caída sobre el suelo por metro cuadrado .
- Psicrómetro o higrómetro: mide la humedad relativa del aire y el punto de rocío.
- Piranómetro: mide la radiación solar global (directa + difusa).
- Heliógrafo: mide las horas de luz solar.
- Anemómetro: mide la velocidad del viento.
- Veleta: instrumento que indica la dirección del viento.



*Figura 3.2. Panorama de una estación meteorológica convencional [54].*

Los instrumentos de medición empleados en las estaciones meteorológicas se albergan en una estructura de medidas estandarizadas conocida como abrigo meteorológico, también llamada casilla o garita. Dicha estructura protege de las inclemencias del tiempo los instrumentos de medición (ver Figura 3.2).

Emplazamiento y exposición. De acuerdo con [53], para elección del emplazamiento (lugar donde se sitúa la estación) y para cumplir los requisitos sobre la exposición de los instrumentos (Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos, OMM, sexta edición, 1996), se aplican las siguientes consideraciones: “1) los instrumentos exteriores deben instalarse en un terreno llano, aproximadamente de 10 por 7 metros (el recinto), cubierto de hierba baja, o de 15 una superficie representativa de la localidad, rodeada de una cerca para impedir el acceso a personas no autorizadas; en el recinto se reserva una parcela de 2 por 2 metros para mediciones referidas al estado del suelo. 2) No debe haber laderas inclinadas en las proximidades, y el emplazamiento no debe encontrarse en una hondonada. Si no se cumplen estas condiciones las observaciones pueden presentar peculiaridades de significación puramente local. 3) El emplazamiento debe estar suficientemente alejado de árboles, edificios, muros u otros

obstáculos. La distancia entre cualquiera de esos obstáculos (incluidas las vallas) y el pluviómetro no debe ser inferior al doble de la altura del objeto por encima del borde del aparato y preferentemente debe de cuadruplicar la altura. 4) El registrador de luz solar, el pluviómetro y el anemómetro deben encontrarse en emplazamientos con exposiciones que satisfagan sus requisitos, y en el mismo lugar que los otros instrumentos. 5) Debe señalarse que un recinto puede ser no el mejor lugar para estimar la velocidad y la dirección del viento, y conviene otro punto de observación más expuesto al viento. 6) Emplazamientos muy abiertos sin ningún tipo de obstáculos cercanos, satisfactorios para la mayoría de los instrumentos, son inapropiados para los pluviómetros. En estos lugares la captación del agua es reducida, salvo con vientos débiles, y se necesita algún grado de protección.”

Clasificación de las estaciones. Las estaciones meteorológicas se clasifican de distintas maneras, atendiendo a su tamaño o a su dedicación. En relación con su magnitud [52]:

- Estación climatológica principal: provista para realizar observaciones del tiempo atmosférico actual: visibilidad, precipitaciones, temperatura del aire, humedad, viento, radiación solar, evaporación y otros fenómenos especiales. Normalmente realiza unas tres mediciones diarias.
- Estación climatológica ordinaria: provista obligatoriamente de psicrómetro, pluviómetro, pluviógrafo, y termómetro, para medir las precipitaciones y la temperatura de manera instantánea.
- Estación sinóptica principal: realiza observaciones de los principales elementos meteorológicos en horas convenidas internacionalmente. Los datos se toman horariamente y corresponden a nubosidad, dirección y velocidad de los vientos, presión atmosférica, temperatura del aire, tipo y altura de las nubes, visibilidad, fenómenos especiales, características de humedad, precipitaciones, temperaturas extremas, capa significativas de las nubes, recorrido del viento y secuencia de los fenómenos atmosféricos. Esta información se codifica y se intercambia a través de diversos centros mundiales con el fin de alimentar los modelos globales y locales de pronóstico y para el servicio de la aviación.

De acuerdo con su función o dedicación, según [51]:

- Observatorio sinóptico de superficie
- Observatorio meteorológico aeronáutico
- Estación termopluviométrica
- Estación pluviométrica
- Estación meteorológica automática
- Estación evaporimétrica

**Temperatura ambiente:** Típicamente el aire exterior cambia a diario su temperatura en forma sinusoidal, registrándose la mayor pasado el mediodía y la mínima en la madrugada. En lugares calientes, como Cali, interesan las horas del mediodía, pues es cuando se presenta la mayor incomfortabilidad, en el intervalo entre las 11:00 y las 16:00 h. Para la selección de la temperatura de diseño, una buena forma es graficar las temperaturas promedio de los últimos años en el intervalo caliente, y después seleccionar el máximo de estos promedios. Téngase en cuenta que usar más de cinco años es despreciar el cambio climático. Este enfoque implica que la mitad de los días, en los alrededores de esas horas, habrá una temperatura ambiente mayor y, por ende, algún riesgo de desconfort. Una segunda alternativa —usar la temperatura máxima absoluta— implicaría manejar un diseño muy conservativo y, por tanto, costosísimo económica y ecológicamente. La mejor opción para disminuir los intervalos de desconfort a un costo razonable, en nuestro concepto, es utilizar el valor medio entre los dos anteriores. En otras palabras, es encontrar la temperatura media entre la temperatura máxima absoluta y la promedio del momento más caliente. La bondad de esta selección se ilustra en la Figura 3.3, pues la temperatura de diseño seleccionada según esta recomendación cubre muy apropiadamente el período más crítico. Según un ejercicio realizado para Cali, la temperatura ambiente por encima de la de diseño ocurre solo en 30 días, lo cual es un acierto de la racionalidad en la aplicación de la bioclimática.

**Humedad relativa:** La HR tiene comportamiento inverso a la temperatura, siendo mayor en la madrugada y mínima rondando el mediodía. Análogo a la temperatura, no deben usarse el promedio ni los mínimos valores de HR. Nuestra sugerencia es graficar las HR mínimas absolutas, las promedio, y las medias entre ambas; el menor valor de estas últimas corresponde a la HR de diseño. Al igual que en la temperatura ambiente, se obtiene una muy satisfactoria cantidad de días con condiciones de diseño apropiadas. En la Figura 3.4, que presenta datos para la ciudad de Cali, se muestra que la HR de diseño 42%, cubre el intervalo más importante del día en forma conveniente.

**Vientos:** son corrientes de aire ambiente que se producen naturalmente en virtud de los movimientos del planeta y de la radiación solar. De acuerdo con la dimensión del recorrido tenemos tres tipos de vientos: los vientos **planetarios**, los vientos **regionales**, y los **locales**, aunque hay algunos tipos, como los monzones, que son más difíciles de determinar y que ocupan variantes dentro de esta simple clasificación. Atendiendo a su velocidad, los vientos se clasifican con la numeración Beaufort, que se explica en la Tabla 3.1.

**Dirección del viento:** Se llama dirección del viento el punto del horizonte de donde viene o sopla una corriente de aire.

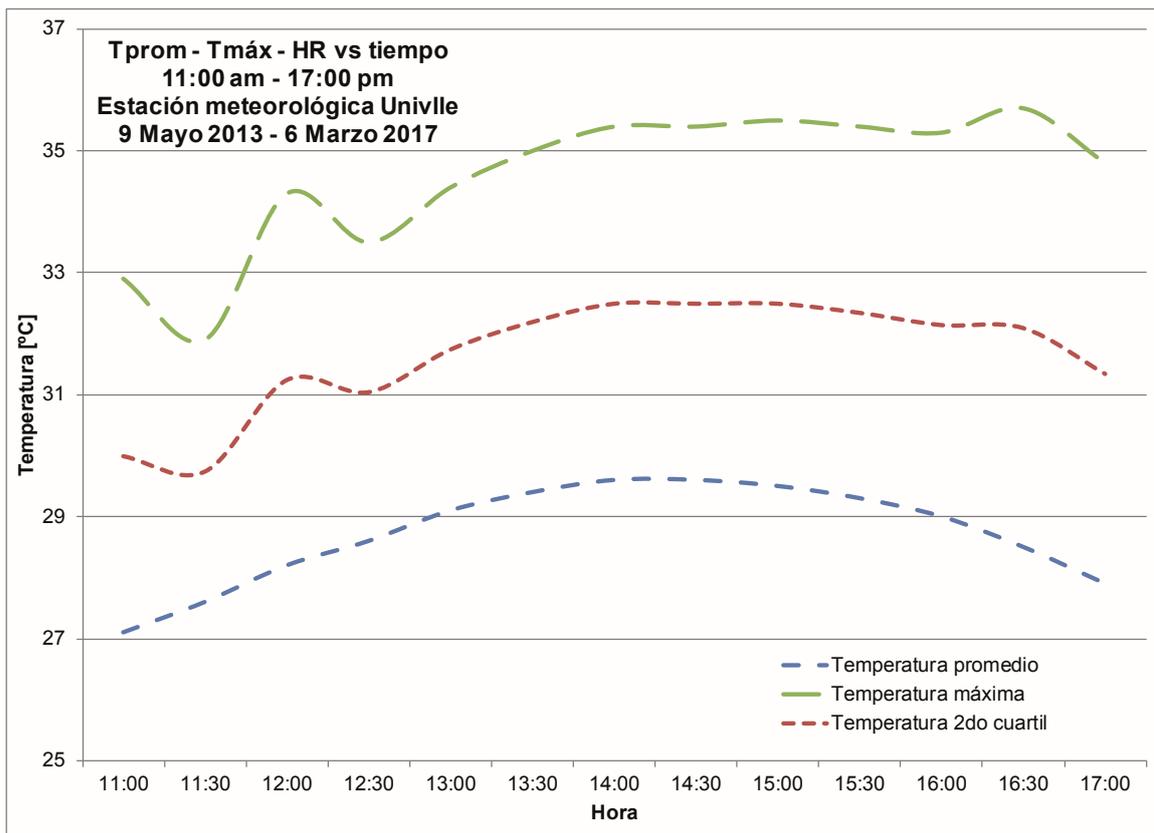


Figura 3.3. Temperaturas en horas más calientes para Cali.

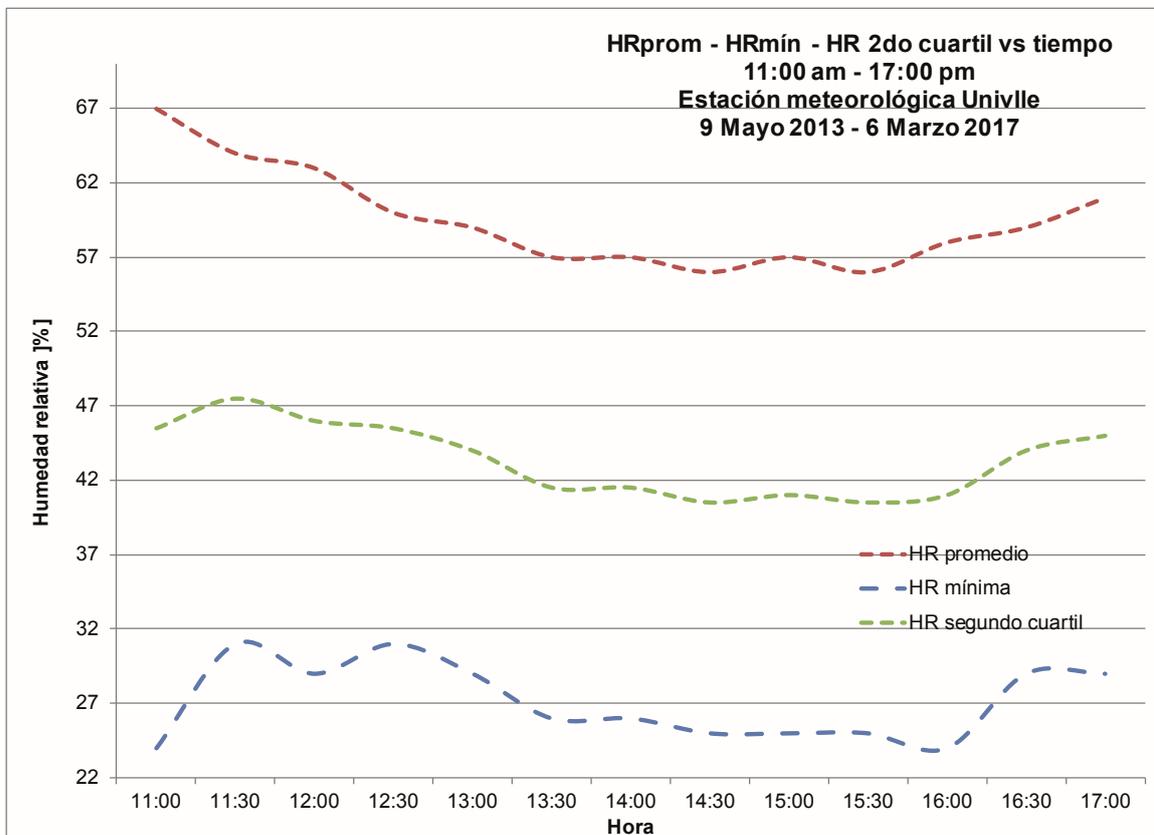


Figura 3.4. Humedad relativa en horas más calientes en Cali.

**Velocidad del viento:** En las estaciones la medición de la velocidad del viento se establece mediante el anemómetro. Para garantizar valores representativos, este instrumento debe ubicarse cumpliendo un protocolo estricto universal. De [53]: "...3.6.7. Condiciones de emplazamiento del anemómetro: a) Condiciones específicas por instrumento: la altura estándar de los anemómetros utilizados sobre un terreno llano y abierto es de 10 metros. b) Condiciones de los alrededores del sitio: se denomina terreno abierto a una zona donde la distancia entre el anemómetro y cualquier obstáculo es al menos 10 veces superior a la altura del obstáculo; es muy importante tratar de encontrar un emplazamiento óptimo para que el viento sea representativo para el lugar. Cuando no se puede encontrar una exposición estándar el anemómetro puede instalarse a una altura tal que sus mediciones se vean afectadas lo menos posibles por los obstáculos locales y describan lo que pudiese ser el viento si no hubiese obstáculos a 10 m., pero en general no se ha determinado una regla que funcione para estos casos [...]". En general, se conoce que la topografía influye sustancialmente: [51] recuerda que la velocidad es baja cerca del suelo y que aumenta rápidamente con la altura. Cuanto más accidentada sea la superficie del terreno, más frenará esta al viento; por ello sopla con menos velocidad en las depresiones terrestres y más sobre las colinas. El viento sopla con más fuerza sobre el mar que en la tierra.

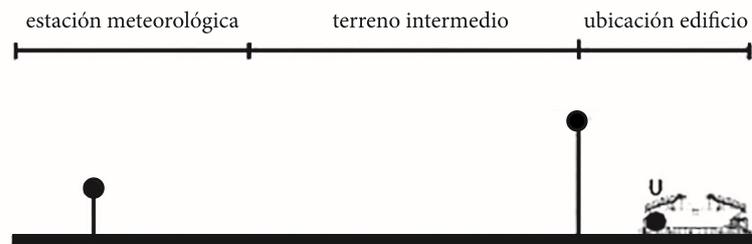
*Tabla 3.1. Clasificación de los vientos según su velocidad.*

*Texto derivado de Windows to the Universe® (<http://windows2universe.org>) © 2010, National Earth Science Teachers Association.*

No. Beaufort	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12-17
<b>Velocidad [km/h]</b>	< 1	1-5	6- 11	12-19	20-28	29-38	39-49	50-61	62-74	75-88	89-102	103-117	>117
<b>Descripción</b>	Calma	Brisa suave	Brisa moderada		Brisa fresca		Ventarrón			Ventarrón constante	Tormenta	huracán	

La información original, el dato estadístico meteorológico, requiere ser transformado para aplicarlo al punto de interés en la edificación. Sostiene [55] que la información aerodinámica generalmente consiste en dos partes: la contribución relativa al terreno y la contribución relativa al diseño. La primera representa el cambio en las estadísticas del viento desde la ubicación de la meteorología hasta el punto de referencia en las cercanías del edificio (según Figura 3.5, es la transformación de la velocidad reportada por la estación  $U_{est}$  a la velocidad del punto de referencia  $U_{ref}$ ). La contribución relativa al diseño representa el cambio en la velocidad debido al diseño urbano del entorno inmediatamente próximo al edificio; i.e. la configuración del mismo edificio (cambio  $U_{ref}$  a velocidad local  $U$ ). Diferentes

procedimientos de transformación permiten determinar la contribución relativa al terreno, aunque a menudo se emplea un modelo simplificado de la capa límite atmosférica como el perfil de velocidad media logarítmica. La contribución relativa al diseño (i.e., las condiciones de flujo del viento alrededor del edificio y en su interior) puede ser obtenida por modelamiento en un túnel de viento o por CFD.



*Figura 3.5. Esquema de la velocidad del viento en la estación meteorológica ( $U_{est}$ ), el punto de referencia ( $U_{ref}$ ), y en el sitio de interés ( $U$ ). Traducido de [55].*

### LECTURA DE LA ROSA DE LOS VIENTOS

La Rosa de los Vientos es un gráfico que informa la dirección, la velocidad y la frecuencia diaria de los vientos monitoreados en la estación meteorológica, como se muestra en la Figura 3.6. La dirección viene mostrada en el gráfico circular central, donde se denuncian los puntos cardinales; no debe olvidarse que aquí “dirección” significa procedencia. Típicamente la velocidad se indica por medio del color y el grosor de la barra, y la tabla de la esquina inferior derecha trae las equivalencias. En la esquina inferior izquierda se asientan tiempos de cada dirección (en porcentaje) y el período en calma.

La Rosa de los Vientos de la gráfica no ilustra cómo son los vientos a las horas críticas objeto del diseño. No es posible saber, por ejemplo, cómo sopla entre las 11:00 y las 16:00 h. El procedimiento alternativo que se propone aquí prefiere un arreglo como el mostrado abajo, en la Figura 3.7. En este ejercicio se selecciona el intervalo de 12:30 a 18:00 h; se promedia la frecuencia con que sopló el viento en cada dirección por los últimos cuatro años, para cuatro velocidades representativas, y esos son los valores relevantes para fundamentar los cálculos de ventilación natural. Por ejemplo, el 9.5% del tiempo, entre las 12:30 y 18:00h, el viento sopla en dirección N, con velocidad entre 0.4 y 1.3 m/s. El diseñador podría afinar más las rosa a conveniencia propia, restringiendo las horas. Nótese, como se explicó, que el cambio climático afecta este comportamiento, así que los datos antes de cinco años deben trabajarse con suma precaución, máxime si estamos diseñando para el futuro.

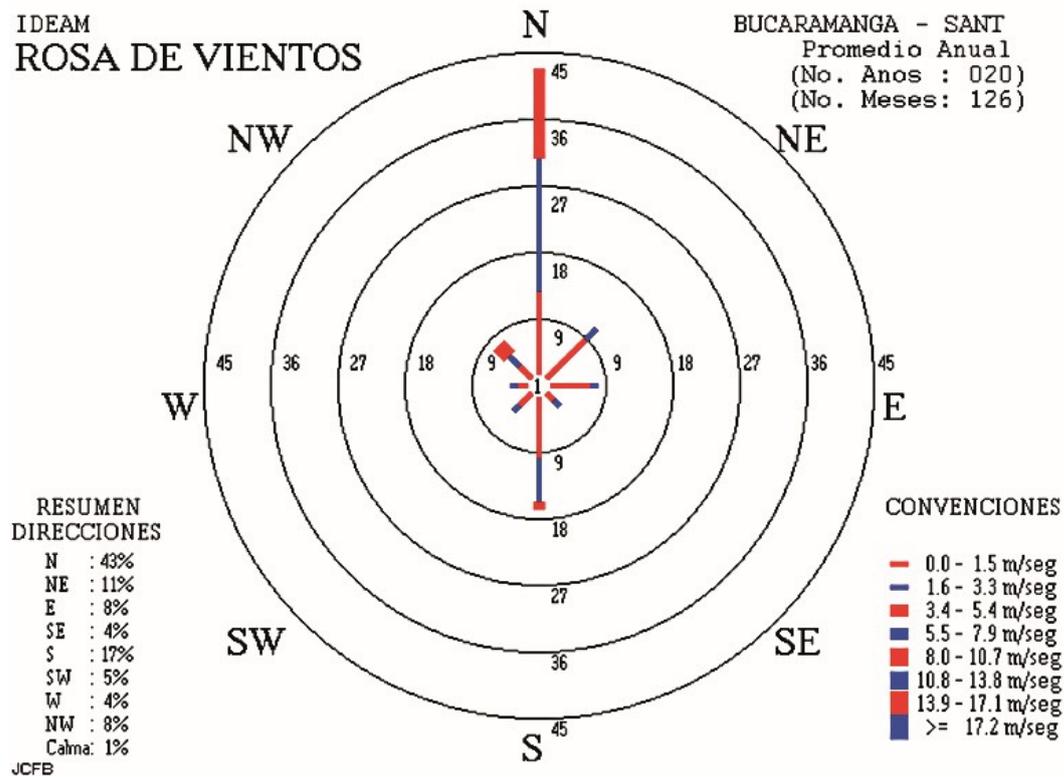


Figura 3.6. Rosa de los Vientos de Bucaramanga. Fuente: Ideam [56]

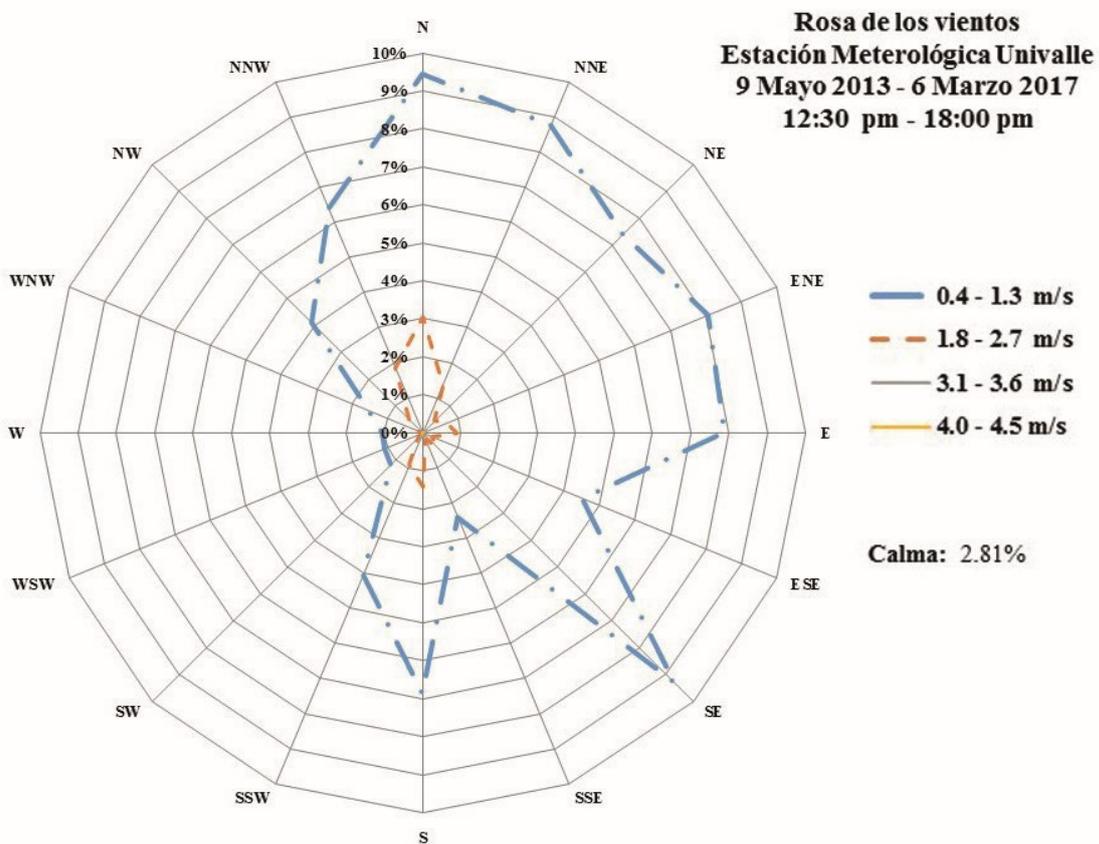


Figura 3.7. Rosa de los vientos para Cali con distribución horaria.

## LA INSTRUMENTACIÓN

En razón de la disminución de precios de la instrumentación general, y de la buena calidad frecuentemente alcanzada por los fabricantes, el panorama de hacer mediciones de campo en ingeniería es cada vez más corriente. En la tarea de acondicionar espacios el beneficio de poder verificar en campo la existencia o la predominancia de un microclima es de un valor inestimable, y esta posibilidad está ahora al alcance de los profesionales. Para ilustrar a los lectores con las ofertas de instrumentación en este campo, resumimos y traducimos, del *review* de Kumar [57] en instrumentación en polución de aire, la parte correspondiente al área de meteorología.

### **Instrumentación para Meteorología [57].**

Los instrumentos meteorológicos se clasifican como primarios, cuando son usados para medir temperatura y dirección del viento, y secundarios, cuando se ocupan de la radiación solar, la visibilidad, la humedad y la presión atmosférica. Algunas de las compañías manufactureras más importantes son Young Environmental Systems (E-mail: info@yestek.com), Belfort Instruments (www.belfort-inst.com) y Sci-Tec Instruments Inc. (www.scitec.com). La Tabla 3.2 muestra una lista de otras compañías alternativas.

*Tabla 3.2. Lista de Compañías de instrumentos meteorológicos*

	Nombre Compañía	Contacto para información
1	Barnant Company, IL	<a href="http://www.barnant.com/">http://www.barnant.com/</a>
2	Hoskin Scientific, Burlington, ON	Hoskin@direct.ca
3	Nortech Fibronic Inc., Canada	<a href="http://www.nortech.qc.ca/">http://www.nortech.qc.ca/</a>
4	Spectrex, Redwood City, CA	<a href="http://www.spectrex.com/">http://www.spectrex.com/</a>
5	Wind Systems, CA	<a href="http://www.deif.com/marwind.htm">www.deif.com/marwind.htm</a>
6	Omega Engineering Inc., CT	<a href="http://www.omega.com/">http://www.omega.com/</a>
7	R.M. Young Co., MI	<a href="http://www.youngusa.com/">http://www.youngusa.com/</a>

### **Spectrex Wind Sensor**

El modelo SP120 Wind Sensor, manufacturado por Spectrex, tiene un amplio rango para medición de velocidad y dirección del viento. Excelente desempeño y durabilidad caracterizan este monitor estándar para vientos,

que cuenta con un transductor óptico absoluto para mediciones angulares de la veleta. Tanto la salida de la señal de velocidad como la de dirección son producidas en formato serial, el cual es ideal para interface con sistemas modernos de adquisición de datos.

### **Ultrasonic Wind Sensor**

Diseñado para medir velocidad horizontal y dirección de viento, el modelo 425 Ultrasonic Wind Sensor, fabricado por Hoskin Scientific, usa un arreglo de solo tres transductores. El 425 no tiene partes móviles, luego es muy resistente a la corrosión y la contaminación. Está hecho para servir en trabajos pesados en localidades remotas, y solo requiere 10 mA para funcionar. Una versión calefaccionada con corriente alterna con control termostático está disponible para sitios donde el congelamiento es un problema.

### **Temperature Sensor**

Ambas mediciones, de temperatura absoluta y diferencial, son parte esencial de todos los sistemas meteorológicos de monitor y difusión. Los sensores de temperatura Belfort Sensors - Series 818/840/896 son construidos sobre la base de un termistor dual y una red resistiva alojados en una funda de acero inoxidable. Los elementos del termistor aportan la base para obtener mediciones de temperatura muy exactas, y están disponibles en muchas aplicaciones. El circuito da una salida de resistencia lineal sobre un rango completo de  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $+50^{\circ}\text{C}$ . Este circuito provee un cambio de resistencia lineal con respecto a la temperatura.

### **HandyFlex by Nortech**

Este aparato ofrece una versatilidad impresionante. Operado con baterías para máxima libertad del usuario, este instrumento de un solo canal le permite al usuario moverse libremente de un área a otra para medir temperaturas en varios puntos sensibles interesantes. Este equipo multipropósito también viene con interface RS-232 integrada y una opción de salida análoga, dos características muy convenientes que pueden usarse para interfaz remota. El HandyFlex funciona con baterías recargables de Ni-Cad con respaldo de baterías alcalinas, proveyendo potencia para por lo menos en diez horas de uso continuo.

**Met Stations**

Una estación meteorológica básica (MET) provee sensores que miden cinco variables básicas del ambiente, a saber: temperatura del aire, velocidad del viento, dirección del viento, humedad relativa y presión barométrica. En adición, otros tipos de sensores pueden ser parte de una estación MET tales como el de precipitación, irradiación solar (onda larga), irradiación solar (onda corta) y ráfagas máximas. Estaciones MET localizadas en boyas o en la costa también pueden suministrar mediciones de superficie marina tales como temperatura del agua, período del oleaje y altura de las olas. Una de las muchas compañías que trabaja con estaciones MET es REINAS Instrumentation ([www.ipmml.cse.ucsc.edu/reinas/instrument-tour/](http://www.ipmml.cse.ucsc.edu/reinas/instrument-tour/)).

