

◀ EL CONFORT TÉRMICO ▶  
EN EL PROYECTO ARQUITECTÓNICO  
APLICACIÓN DE LA CARTA PSICROMÉTRICA



Andrés Lobo-Guerrero Campagnoli  
• 1940-2014 •

## Su legado siempre perdurará entre nosotros

*“Fundador, directivo y decano Piloto, quién plasmó su vigor humanista en trazos ilustrativos en el aula para el engrandecimiento del alumno, la Arquitectura y el país”.*

*José María Cifuentes Páez*  
**Presidente**

*Patricia Piedrahíta Castillo*  
**Rectora**

*Rodrigo Lobo-Guerrero Sarmiento*  
**Director de Publicaciones y Comunicación Gráfica**

*Diego Ramírez Bernal*  
**Coordinador General de Publicaciones**

*Catalina Osorio Mojica*  
**Coordinadora de Publicaciones Prog. Arquitectura**

*Patricia Farfán Sopó*  
**Decana Administrativa Programa de Arquitectura**

*Édgar José Camacho Camacho*  
**Decano Facultad de Arquitectura y Artes**

*María Camila Coronado*  
**Autoría**

*Karen Figueredo Rincón*  
*Daniela Sánchez Hernández*  
**Diseño y Diagramación**

Ambientalmente ©

Cartilla del Laboratorio de Ambientes Sostenibles  
de la facultad de Arquitectura y Artes

ISSN 2422-4286

Año 2 - No 3 - 2016

Publicación Semestral de la Universidad Piloto de Colombia



La obra literaria publicada expresa exclusivamente la opinión de sus respectivos autores, de manera que no representan el pensamiento de la Universidad Piloto de Colombia. Cada uno de los autores, suscribió con la Universidad una autorización o contrato de cesión de derechos y una carta de originalidad sobre su aporte, por tanto, los autores asumen la responsabilidad sobre el contenido de esta publicación.



**Laboratorio de  
Ambientes Sostenibles**  
Arquitectura

# CONTENIDO

---

Introducción	4
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
<b>Cap 1/ EL CLIMA Y LA ARQUITECTURA</b>	<b>6</b>
El clima	8
El estado del tiempo	9
El clima y la escala	10
Factores y elementos del clima	11
Elementos del clima	12
Factores del clima	13
¿Dónde buscar la información climática en Colombia?	21
<b>Cap 2/ EL CONFORT TÉRMICO</b>	<b>22</b>
¿Qué es el confort térmico?	23
El confort térmico y el cuerpo	24
Principales parámetros del confort térmico	28
Índices y estándares de confort térmico	41
<b>Cap 3/ LA CARTA PSICROMÉTRICA</b>	<b>43</b>
¿Qué muestra la carta?	44
¿Cómo usar el formato de la carta psicrométrica del Lab Ams?	58
Conclusiones generales	76
Lista de figuras	77
Lista de tablas	79
Bibliografía	80

## INTRODUCCIÓN

---

El confort térmico al interior de los edificios depende de diferentes factores y elementos climáticos que varían según la localización del lugar. La carta psicrométrica se constituye en una de las herramientas más útiles para realizar diseños bioclimáticos, puesto que relaciona algunas variables claves para alcanzar el confort térmico de manera sencilla y directa. Por medio de la comprensión del funcionamiento y de la influencia de cada factor dentro de la carta, el arquitecto puede tomar decisiones de diseño adecuadas basado en información real.

La presente cartilla se divide en tres secciones. En las dos primeras, la cartilla presenta un marco conceptual que ayuda a la comprensión de las variables relacionadas en la carta psicrométrica. La primera introduce al lector a varios conceptos útiles sobre el clima que inciden en la arquitectura, y la segunda se centra en el tema del confort térmico en los edificios.

En la tercera sección, la cartilla se concentra en la lectura de la carta y su elaboración, utilizando el formato del Laboratorio de Ambientes Sostenibles de la Universidad Piloto de Colombia. En esta sección, se ejemplifica la aplicación de la carta como instrumento para alcanzar metas específicas de diseño según el clima de un lugar dado.

## OBJETIVO GENERAL

---

Transmitir claramente la forma de utilización de la carta psicrométrica, y su elaboración de acuerdo con el formato del Laboratorio de Ambientes Sostenibles de la Universidad Piloto de Colombia, para su utilización como herramienta de diseño bioclimático.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

---

- Familiarizar al lector con los conceptos básicos de clima.
- Introducir el concepto de confort térmico y su relevancia para el diseño.
- Presentar la carta psicrométrica y demostrar su utilización a partir de un ejemplo local.

# EL CLIMA Y LA ARQUITECTURA

---

Cap.1

*El clima es uno de los grandes determinantes del diseño arquitectónico. El análisis del lugar en términos de clima ayuda a definir la orientación, cerramientos, ventilación, entre otras variables que sirven como determinantes de diseño desde el esquema básico. En etapas de diseño posteriores, el clima aplicado al diseño ayuda a generar ahorros energéticos y confort al interior de la edificación.*

## EL CLIMA

---

La palabra clima se deriva del verbo griego Klínien (inclinarse) que alude a la inclinación del eje de la tierra (véase Hausladen, Saldanha, y Liedl, 2012). De ahí se puede inferir que el clima de un lugar depende, en buena parte, de su localización geográfica, aunque ésta no es la única variable a tener en cuenta.

Por definición, el clima es el conjunto de condiciones atmosféricas recogidas estadísticamente dentro de un periodo de tiempo suficiente, normalmente no menor a 30 años, definido para un lugar, zona o región determinada (véase IDEAM, s. f.). De esta manera, el clima se puede entender como una condición constante de las condiciones atmosféricas de un lugar.

## EL ESTADO DEL TIEMPO

---

A diferencia del clima, el estado del tiempo se refiere solamente a las condiciones atmosféricas existentes en un momento específico, es decir que, a diferencia del clima, el estado del tiempo es variable. Cuando se habla del estado del tiempo se puede hacer referencia a las condiciones atmosféricas de ayer, hoy o mañana. De esta manera, un clima cálido puede tener días en que el estado del tiempo sea fresco, pero donde, en promedio, el clima siga siendo cálido.

## EL CLIMA Y LA ESCALA

---

El clima puede entenderse a través de escalas de tiempo y espacio. Cuando se realizan lecturas para entender el clima de grandes regiones a través de largos periodos de tiempo se maneja el concepto de macroclima. El macroclima puede definir grandes zonas climáticas y estar influenciado por variables globales, como los grandes cuerpos de agua y la distribución de la radiación solar en la tierra (véase Hausladen et al., 2012).

De la misma manera, cuando se habla de una escala de medición intermedia se habla de mesoclima. Un mesoclima, contenido dentro de un macroclima, está influenciado por variables más inmediatas, como por ejemplo, la presencia de cadenas montañosas, valles y ríos. Los mesoclimas se pueden entender a nivel regional.

Así mismo, si se realiza un análisis a pequeña escala y por un periodo de tiempo más corto, se habla de microclima. Se entiende que los microclimas se encuentran contenidos dentro de los mesoclimas.

Los microclimas pueden estar influenciados por variables puntuales, las cuales son mucho más inmediatas al proyecto arquitectónico. Por ejemplo, el efecto de la isla de calor en zonas urbanas está influenciado por el exceso de pavimento, el bloqueo a la ventilación y la polución, entre otros factores.

Igualmente, con el diseño arquitectónico se pueden crear microclimas con la utilización de algunos elementos. Por ejemplo, al crear un espacio arborizado, se van a producir espacios más frescos bajo la sombra de los árboles.

# FACTORES Y ELEMENTOS DEL CLIMA

---

El clima de un lugar se conforma a partir de una serie de elementos y factores. Los elementos que conforman el clima son de carácter atmosférico y pueden ser medidos mediante diferentes instrumentos para describir su comportamiento (véase Hausladen et al., 2012). Los elementos del clima más relevantes para el diseño bioclimático son:

- Temperatura
- Grados-día
- Humedad relativa
- Humedad absoluta
- Precipitación
- Corrientes de viento globales
- Radiación solar
- Brillo solar

Los factores del clima son procesos o situaciones que pueden alterar las condiciones del clima, y que son dependientes de las condiciones propias de un lugar (véase Hausladen et al., 2012). Entre estos factores se encuentran:

- La altitud
- La latitud
- La topografía
- Las fuentes hídricas
- El régimen local de vientos

## ELEMENTOS DEL CLIMA

---

### **Temperatura (°C o °F)**

La temperatura del aire depende de la radiación solar que recibe la tierra en un punto específico y de los regímenes de viento del lugar. Para efectos de describir el clima, la temperatura se puede medir en las escalas de grados Centígrados o en grados Fahrenheit.

La temperatura de un lugar puede variar considerablemente en un tiempo determinado. A este fenómeno se le conoce como amplitud térmica u oscilación térmica. Se puede definir la amplitud térmica como la diferencia entre la temperatura máxima y mínima de un lugar, en un periodo de tiempo determinado.

Por ejemplo, la amplitud térmica diaria en el desierto puede llegar a ser muy elevada. Durante el día, la arena recibe grandes cantidades de radiación solar elevando la temperatura. Sin embargo, durante la noche la radiación se pierde, puesto que no hay vapor de agua ni vegetación para absorberla y retenerla. Esto causa que la temperatura baje considerablemente, generando una amplitud térmica que puede llegar hasta a los 30°C.

### **Grados-día y grados-hora**

Los grados día tienen que ver con los requerimientos de calefacción o refrigeración en grados que tiene un espacio durante cierto periodo de tiempo, para alcanzar la “zona de confort”. Este tiempo se puede medir en intervalos anuales, mensuales o incluso horarios (véase Fuentes, 2011).

Los grados día que se calculen para determinado clima dependen de la temperatura de confort base que se quiera alcanzar. Por ejemplo, si la temperatura de confort se encuentra entre 18°C y 26°C, los grados día de calefacción tendrán que ver con la cantidad de horas en que la temperatura se encuentra por debajo de 18°C, y los grados día de refrigeración tendrán que ver con la cantidad de horas en que la temperatura se encuentre por encima de 26°C.

#### **Humedad absoluta (HA)**

La humedad absoluta es la relación entre una cantidad de vapor de agua presente en una cantidad de aire. Se mide en gramos de humedad / Kilogramos de aire (g/Kg). La humedad de aire en el exterior depende la zona climática del lugar (véase Hausladen et al., 2012).

#### **Humedad relativa (HR)**

La humedad relativa es una razón entre la humedad absoluta del ambiente y la saturación de humedad a una temperatura dada. En otras palabras, es el porcentaje (%) de humedad presente en un volumen de aire con respecto al punto de saturación de humedad a una temperatura dada. La saturación de humedad depende de

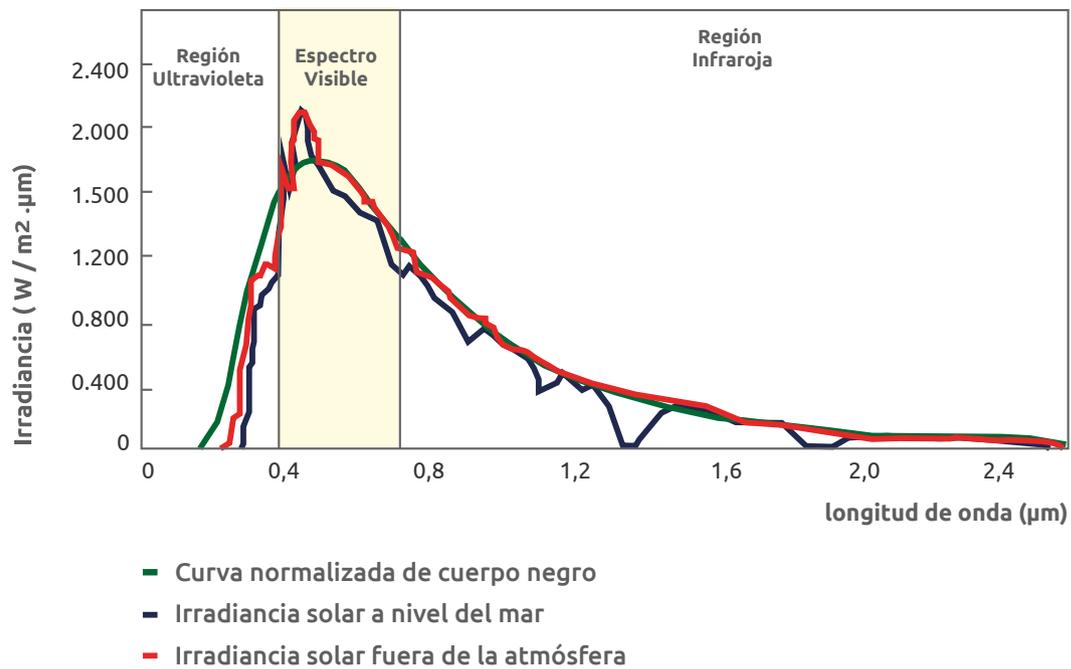
la temperatura del ambiente, y por lo tanto, puede variar durante el curso de un día.

#### **Radiación solar**

La radiación solar se define como “la energía emitida por el sol que se propaga en todas las direcciones en el espacio a través de ondas electromagnéticas y partículas” (IDEAM y UPME, 2005, p. 129). Usualmente, la radiación solar se mide en KWh/m<sup>2</sup>, siendo la cantidad de energía que llega sobre una superficie de un área determinada, medida en un tiempo determinado, que por lo general es de un día.

La energía que llega a la tierra posee diferentes longitudes de onda, los que se pueden clasificar en tres sectores: región ultravioleta, espectro visible y región infrarroja (*Figura 1*). Cada región posee una fracción de la energía incidente sobre la atmósfera y un efecto sobre las superficies que alcanza (*Figura 1*).

Cuando la radiación del sol llega a la tierra, un 30% es reflejado al espacio exterior, el 70% restante llega a calentar la superficie de la tierra, la atmósfera y los océanos, o se absorbe en la evaporación de agua (véase IDEAM y UPME, 2005).



**Figura 1.** Espectro de radiación solar.  
Elaboración propia (basado en IDEAM y UPME, 2005).

Cuando la radiación del sol atraviesa la atmósfera, ésta se puede clasificar en dos tipos, dependiendo de la trayectoria que haya llevado para llegar a la superficie de la tierra. Se conoce como radiación directa toda la radiación que llega a la superficie sin cambios de dirección. Éste es el tipo de radiación que sucede, por ejemplo, en un día completamente despejado.

La radiación difusa, por el contrario, es toda aquella radiación que ha sido difundida en todas direcciones por las partículas que ha encontrado en su paso hasta la superficie de la tierra. Por esta razón, los lugares con mayor nubosidad tienen más radiación difusa. Igualmente, los lugares que se encuentran a mayor altura sobre el nivel del mar tienen menos capas difusoras en la atmósfera; por ello, tienen una menor cantidad de radiación difusa, que los lugares que se encuentran ubicados sobre el nivel del mar. La suma de la radiación difusa y directa se conoce como radiación global (*Figura 2*).

### **Brillo solar**

El brillo solar tiene que ver con la cantidad de horas de sol por día donde un lugar recibe exposición solar directa sobre la superficie. La suma de los valores diarios registrados

durante los días de un mes, da lugar a la cantidad de brillo solar mensual. La sumatoria de los correspondientes valores mensuales produce la cantidad total anual de horas con brillo solar (véase MINAE, IMN y Departamento, 2013).

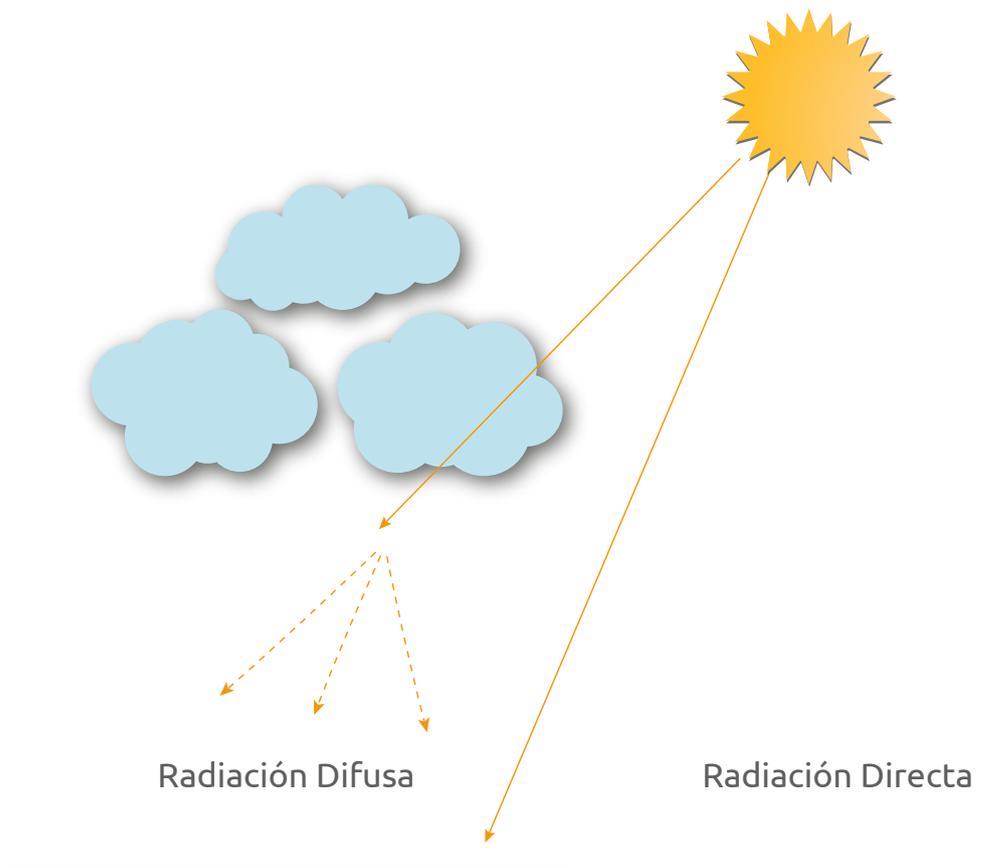
### **Corrientes globales de viento**

Los vientos globales son aquellos que se evidencian a gran escala, que mantienen cierta regularidad y determinan el clima de grandes regiones, como por ejemplo, los vientos alisios.

### **Precipitación**

La precipitación se define como la caída de partículas de agua líquida o sólida desde las nubes, que atraviesan la atmósfera y llegan al suelo (véase IDEAM y UPME, s. f.). La cantidad de precipitación se entiende como volumen de esta agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado.

Como unidades de superficie y tiempo se utilizan el metro cuadrado ( $m^2$ ) y el litro (L) respectivamente. La unidad que se utiliza para medir la precipitación son los milímetros de precipitación (mm). Así, un milímetro de precipitación equivale a 1L de agua por  $m^2$  de superficie:  $1mm = 1L/m^2$



**Figura 2.** Clasificación de la radiación solar según como llega a la superficie de la tierra. La suma de las dos se conoce como radiación global. Vectores: [www.vecteezy.com](http://www.vecteezy.com)

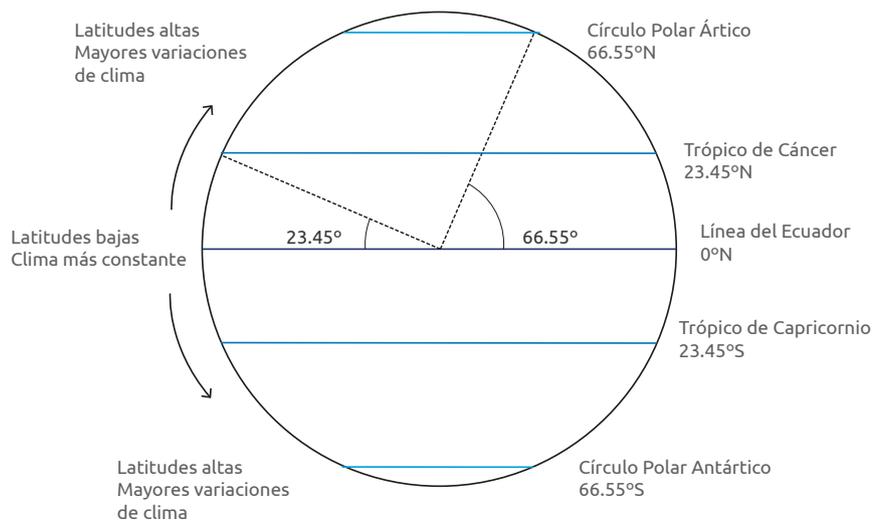
## FACTORES DEL CLIMA

### La altitud y la latitud

Estos dos factores están directamente relacionados con la localización y situación geográfica de un lugar. La latitud se refiere al ángulo de cualquier punto de la tierra con respecto a la línea del ecuador. Las latitudes bajas, cercanas al ecuador, tienden a tener climas más estables durante el año con temporadas secas y temporadas de lluvias.

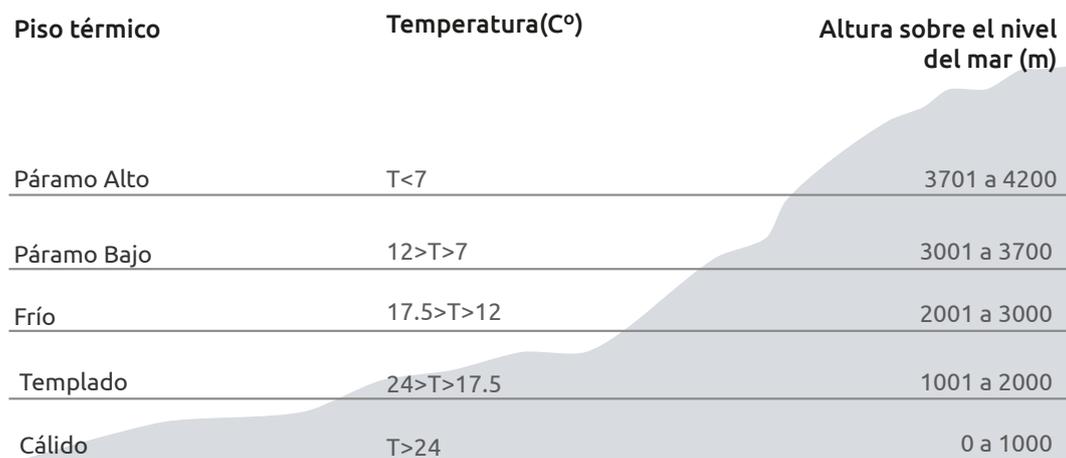
A medida que la latitud aumenta, es decir, que se aleja del ecuador, las variaciones climáticas son mayores y se presentan las estaciones. Esto influye en las variaciones de horas de sol que se reciben, la cantidad de radiación solar, variaciones en la temperatura, etc.

La altitud de se refiere a la altura sobre el nivel del mar a la que un lugar se encuentra localizado. En general, entre más alto se encuentra un lugar, menor es su temperatura.



**Figura 3.** Latitud y variaciones de clima.  
Elaboración propia.

En las regiones cercanas al ecuador, la relación de altura sobre el nivel del mar genera los pisos térmicos. La Figura 4 muestra la relación entre altitud y temperatura de cada piso térmico, según la clasificación de Caldas, que es la más conocida y utilizada en Colombia.



**Figura 4.** Clasificación de Caldas - Pisos térmicos.  
Elaboración propia.

Además de la clasificación de la clasificación de Caldas, existe la clasificación de Lang. Ésta utiliza la temperatura media anual en °C (Factor T), junto con la precipitación anual en mm (Factor P) para establecer seis clases de clima de la siguiente manera (véase IDEAM y Alcaldía, s. f.):

FACTOR DE LANG P/T	CLASE DE CLIMA	SÍMBOLO
0 a 20.	Desértico	D
20.1 a 40.0	Árido	A
40.1 a 60.0	Semiárido	sa
60.1 a 100.0	Semihúmedo	sh
100.1 a 160.0	Húmedo	H
Mayor que 160.0	Superhúmedo	SH

*Tabla 1. Clasificación climática de Lang.*

En 1962, Schaufelberguer unió las clasificaciones climáticas de Lang y Caldas, con lo cual obtuvo 25 clasificaciones climáticas que tienen en cuenta los tres parámetros: altura sobre el nivel del mar, temperatura y precipitación

CLASE DE CLIMA	SÍMBOLO
Cálido superhúmedo	CSH
Cálido húmedo	CH
Cálido semihúmedo	CsH
Cálido semiárido	Csa
Cálido árido	CA
Cálido desértico	CD
Templado superhúmedo	TSH
Templado húmedo	TH
Templado semihúmedo	Tsh
Templado semiárido	Tsa
Templado árido	TA
Templado desértico	TD
Frío superhúmedo	FSH
Frío húmedo	FH
Frío semihúmedo	FSH
Frío semiárido	FSA
Frío árido	FA
Frío desértico	FD
Páramo bajosuperhúmedo	PBSH
Páramo bajo húmedo	PBH
Páramo bajosemihúmedo	PBSH
Páramo bajo semiárido	PBSA
Páramo alto superhúmedo	PASH
Páramo alto húmedo	PAH
Nieves perpetuas	NP

**Tabla 2.** Clasificación climática Caldas-Lang.

### La topografía, las fuentes hídricas y el régimen local de vientos

La influencia local de estos factores puede crear microclimas específicos en un sitio. Por ejemplo, las montañas pueden actuar como barreras climáticas y generar acumulaciones de nubes que hacen que estas áreas tengan mayor pluviosidad.

El régimen de vientos locales puede verse afectado por la topografía de un lugar. La presencia de montañas, masa de agua, planicies o ciudades puede cambiar las temperaturas del aire generando corrientes dependientes del lugar. Esta información se puede ampliar en la Cartilla Ambientalmente 2 que trata el tema de los vientos.

Igualmente, la presencia de grandes masas de agua puede regular el clima costero, haciéndolo más estable que el clima al interior del continente, y elevar los niveles de humedad (véase Hausladen et al., 2012).

## ¿DÓNDE BUSCAR LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA EN COLOMBIA?

---

Los principales recursos para encontrar información sobre clima en Colombia se encuentran en las autoridades ambientales de los diferentes niveles. Dentro de estas, la más importante es el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) que posee información a nivel nacional, y de las principales ciudades del país. A la página del IDEAM se puede acceder mediante el siguiente link: <http://www.ideam.gov.co/>.

Para acceder a información regional, se puede consultar en las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) de la zona, o en el caso de Bogotá, se puede recurrir a la Secretaría de Ambiente (SDA) por medio del siguiente link: <http://www.ambientebogota.gov.co/>

Dentro de las páginas web de estas instituciones existe información útil que puede ser de ayuda en el momento de analizar el clima de un lugar, o se puede acudir a sus oficinas para solicitar la información requerida.

# EL CONFORT TÉRMICO

---

Cap.2

## ¿QUÉ ES EL CONFORT TÉRMICO?

---

El confort tiene que ver con la sensación de bienestar del cuerpo. Es una condición subjetiva y se relaciona con los cinco sentidos, en especial con el tacto, la vista, el oído y el olfato. El confort térmico tiene que ver con la sensación de frío o calor que pueden tener las personas al interior de una edificación. En el momento de realizar un diseño, se busca que en el espacio interior las condiciones se mantengan agradables para el habitante, a pesar de las variaciones del clima al exterior.

## EL CONFORT TÉRMICO Y EL CUERPO

---

El cuerpo humano se encuentra intercambiando calor con el ambiente constantemente. Según las leyes de la física, los puntos de mayor calor tienden a transferir su energía calórica hacia los puntos de menor calor, hasta que ambos cuerpos alcanzan la misma temperatura.

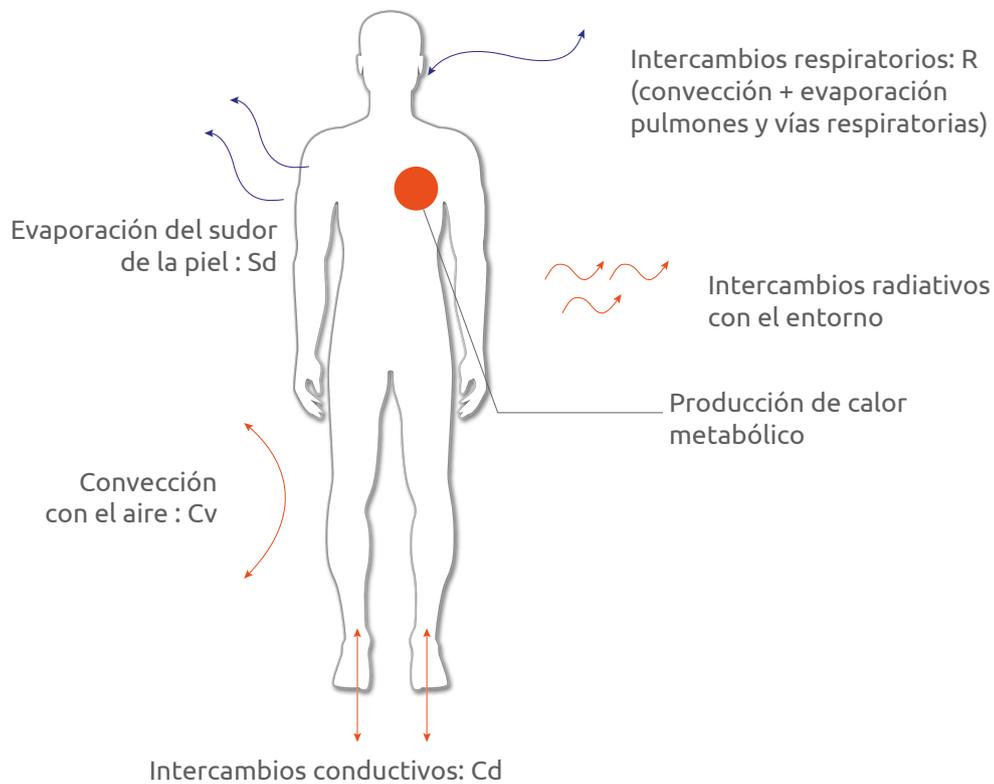
La energía intercambiada con el entorno puede estar en forma de calor sensible o calor latente. El calor sensible es la energía que se intercambia en un sistema termodinámico solamente por un cambio en la temperatura del aire. Es decir, es el calor que se puede medir directamente con un termómetro. El calor latente es la cantidad de energía intercambiada que está “escondida”, es decir, que no se puede observar como un cambio en la temperatura, sino que se evidencia como un aumento en la humedad del aire.

El confort térmico tiene que ver directamente con este intercambio de calor, porque las variaciones en temperatura y humedad afectan las percepciones del espacio, e influyen en el que una persona se sienta a gusto o no en un lugar.

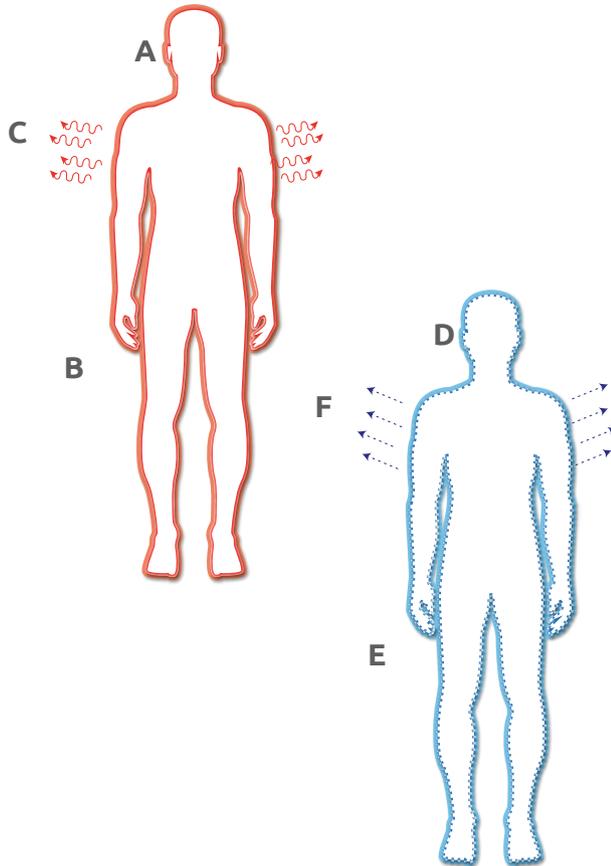
## FORMAS DE INTERCAMBIO DE CALOR CON EL ENTORNO

El cuerpo humano puede intercambiar calor con el entorno mediante cuatro mecanismos:

- 01 Convección:** es el intercambio de calor sensible entre un fluido y una superficie. Por ejemplo, en un espacio estamos intercambiando calor sensible constantemente con el aire que nos rodea. Este intercambio tiene que ver con la diferencia de temperaturas entre la piel y el aire, y con la velocidad del viento. A mayor diferencia de temperaturas y mayor velocidad de viento, el intercambio de calor será más significativo.
- 02 Conducción:** es el intercambio de calor sensible por contacto directo. Un ejemplo de esto es cuando se toca un muro de concreto y se siente más frío que el ambiente. Usualmente, el calor intercambiado por conducción en una edificación es poco. Esto se debe a que al tocar algún elemento del edificio, por lo general, existen capas aislantes como la ropa o los zapatos, que no permiten que se realice el intercambio directo.
- 03 Radiación:** es el intercambio de calor sensible que se genera por medio de la radiación electromagnética de los cuerpos. Así, dos cuerpos no necesitan estar en contacto directo para intercambiar calor por medio de radiación.
- 04 Evaporación:** es el intercambio de calor latente a partir del cambio de estado del agua. Cuando sudamos y las gotas de sudor se evaporan, experimentamos una sensación de fresco por efecto de la pérdida de humedad en el cuerpo (*Figura 5*).



**Figura 5.** Intercambios de calor con el entorno. María Camila Coronado. (basado en Rosales, 2006).  
Vectores: [www.vecteezy.com](http://www.vecteezy.com)



**Figura 6.** Pérdidas de calor sensible y latente en el cuerpo. (basado en *Visualizing Thermal Comfort*, Arizona State University y Rosales, 2006). Vectores: [www.vecteezy.com](http://www.vecteezy.com)

### BALANCE TÉRMICO DEL CUERPO

El cuerpo humano debe mantener su temperatura interna de  $37^{\circ}\text{C}$  para poder funcionar adecuadamente. Por esta razón, debe adaptarse a las condiciones del entorno ganando o perdiendo calor, según sea necesario, al utilizar los mecanismos enunciados en el punto anterior.

El cuerpo pierde calor sensible hacia el medio a través de:

- La respiración seca hacia el aire más frío a través de los pulmones (*Figura 6A*).
- La convección hacia el aire más frío, el cual se calienta y tiende a subir (*Figura 6B*).
- La radiación de temperatura hacia superficies más frías (*Figura 6C*).

El cuerpo pierde calor latente a través de:

- La respiración húmeda, es decir cuando respiramos con un vaho de vapor (*Figura 6D*).
- La difusión del agua en la piel (*Figura 6E*).
- La evaporación del sudor (*Figura 6F*).

Es importante tener en cuenta que el equilibrio térmico del cuerpo no garantiza el confort. Los mecanismos que utiliza el cuerpo para auto-regularse pueden resultar en una sensación desagradable a la persona, dependiendo de la situación en que se encuentre. Un ejemplo de esto es el exceso de sudor en un clima muy húmedo.

# PRINCIPALES PARÁMETROS DEL CONFORT TÉRMICO

---

La percepción individual del entorno depende de ciertos parámetros que modifican la sensación de confort o discomfort que se tenga en un espacio. Éstos pueden ser físicos, circunstanciales, fisiológicos y psicológicos, y sociológicos.

## PARÁMETROS FÍSICOS DEL CONFORT TÉRMICO

Los parámetros físicos tienen que ver con el ambiente en el que se encuentre la persona. Dentro de éstos, se encuentra la temperatura del aire, el entorno radiante, la humedad relativa y la velocidad del viento. Estos parámetros pueden ser medidos y cuantificados.

### **Temperatura de bulbo seco (TBS)**

Es la temperatura a la que nos referimos normalmente para definir el estado térmico en un espacio. Sin embargo, técnicamente se define como la temperatura del aire que se puede medir con un termómetro exterior convencional.

### **Humedad del aire**

El aire está conformado por diversos gases entre los cuales se encuentran el oxígeno, el dióxido de carbono, y el nitrógeno. Además, contiene el vapor de agua que proviene principalmente de la evaporación de cuerpos de agua, y la evotranspiración del suelo y la vegetación (véase Rosales, 2006).

La humedad del aire se puede expresar de varias maneras. La humedad absoluta (HA) es la cantidad absoluta de vapor de agua en el aire (g vapor /Kg aire). La humedad relativa (HR) es el porcentaje de vapor de agua presente en un volumen de aire con respecto a la saturación a una temperatura dada.

El instrumento que se utiliza para medir la humedad del aire es el psicrómetro. Este contiene un termómetro de bulbo seco y uno de bulbo húmedo. El termómetro de bulbo húmedo registra una temperatura menor, ya que al evaporarse el agua del bulbo, se produce un enfriamiento. Con una saturación de 100% de humedad, el agua no se evaporará, y las temperaturas de ambos termómetros serán iguales (véase Rosales, 2006). Hoy en día, también se puede medir la temperatura y la humedad en los espacios fácilmente mediante termohigrómetros digitales, que registran tanto temperatura como humedad del ambiente.

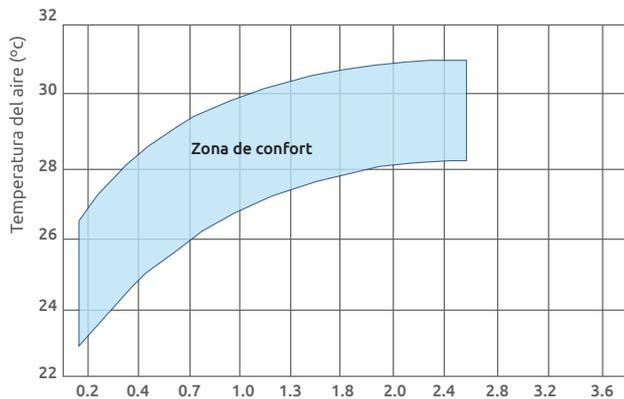
### **Entorno radiante - Temperatura radiante media (TRM)**

Como se explicó más arriba, dos cuerpos pueden intercambiar calor a partir de la radiación, puesto que emiten o absorben radiación electromagnética, la que al ponerse en contacto con la piel se convierte en calor.

El entorno radiante se puede evaluar en la práctica a través de la temperatura radiante media (TRM). Ésta, en términos simplificados, se entiende como “el promedio de las temperaturas de las superficies del entorno real, en la medida en que dichas temperaturas sean uniformes y tengan emisividades\* cercanas a la unidad” (véase Rosales, 2006).

La TRM se puede calcular utilizando un termómetro normal, cuyo bulbo está colocado dentro de una esfera metálica de unos 10 cm de diámetro, y pintada de color negro mate. Esta temperatura se conoce como temperatura de bulbo negro (TBN) (véase Rosales, 2006).

**\*Emisividad:** radiación emitida por un cuerpo con respecto a un cuerpo negro teórico de Planck, que tiene emisividad =1 (véase Kvisgaard, 1997).



**Figura 12.** Relación entre velocidad del aire y temperatura y confort.  
(basado en Rosales, 2006).

## Velocidad del aire

La velocidad promedio del aire a la que el cuerpo está expuesto modifica la sensación térmica de dos maneras: modificando la cantidad de calor intercambiado con el ambiente por convección (a mayor velocidad, más intercambio de calor), y aumentando la eficacia de la evapotranspiración del sudor (véase Rosales, 2006).

Es importante notar que la velocidad del aire no mejora la sensación de confort en climas muy húmedos, puesto que al estar cargado de humedad, el aire no puede mejorar la evaporación del sudor de la piel. Igualmente, si la velocidad del aire es menor a 0.3 m/s no va a haber sensación de movimiento de aire. Por el contrario, cuando una corriente de aire se encuentre entre los 1 a 2 m/s, puede generar una sensación de incomodidad, dependiendo el uso del espacio que se esté trabajando. Así mismo, cualquier ráfaga de aire que supere los 2 m/s deja de tener influencia en el confort, pues ya deja de subsanar cualquier aumento en la temperatura del aire (véase Rosales, 2006). La velocidad del aire se puede medir con un anemómetro, el cual puede ser de aspas o de hilo caliente.

Algunos modelos de confort con respecto a la velocidad del aire han sido elaborados, como por ejemplo el de Santamouris et al. (Citado en Rosales, 2006) presentado en la (Figura 12).



*Figura 13. Grado de aislamiento de la ropa en CLO.  
Vectores: www.vecteezy.com*

### PARÁMETROS CIRCUNSTANCIALES DEL CONFORT TÉRMICO:

Estos son parámetros que son de carácter personal, afectan la forma de percibir el confort térmico, y pueden ser modificados por cada persona de acuerdo a sus preferencias.

#### a) La vestimenta

La cantidad y el tipo de vestimenta afectan el confort térmico de los habitantes de un espacio. Esto se debe principalmente al efecto aislante de la ropa y cómo ésta puede mejorar la sensación de confort en un espacio de baja temperatura. Sin embargo, vale la pena apuntar que la ropa normalmente no se encuentra distribuida de manera uniforme en el cuerpo; por lo anterior, en ocasiones es posible sentir la sensación de disconfort localizado en una parte específica del cuerpo.

El grado de aislamiento de la ropa se clasifica en unidades llamadas CLO para su estudio. Así, CLO=1 es equivalente al atuendo de un trabajador de oficina en condiciones normales, y CLO=0 es el equivalente a una persona desnuda. Igualmente, 1 CLO se puede expresar mediante unidades del sistema internacional de la siguiente manera:

$$1 \text{ CLO} = 0.155 \text{ m}^2\text{C/W}$$

La siguiente tabla muestra el valor de aislamiento térmico de prendas sueltas. Éstas se pueden sumar para poder calcular el aislamiento térmico de un atuendo completo:

		CLO	m <sup>2</sup> °C/W
<b>Ropa interior inferior</b>	Medias	0,02	0,003
	Panty	0,03	0,005
	Bragas y calzoncillos	0,04	0,006
	Calzoncillo 1/2 pierna de lana	0,06	0,009
	Calzoncillo pierna entera	0,1	0,016
<b>Ropa interior superior</b>	Sujetador	0,01	0,002
	Camiseta sin mangas	0,06	0,009
	Camiseta manga corta	0,09	0,014
	Camiseta manga larga	0,12	0,019
	Camiseta térmica nylon	0,14	0,022
<b>Camisas</b>	Top de tubo	0,06	0,009
	Camisa manga corta	0,09	0,029
	Blusa ligera, manga larga	0,15	0,023
	Camisa ligera, manga larga	0,2	0,031
	Camisa normal, manga larga	0,25	0,039
	Camisa franela, manga larga	0,3	0,047
	Blusa larga de cuello de cisne	0,34	0,053
<b>Pantalones</b>	Pantalones cortos	0,11	0,017
	Pantalones cortos de excursión	0,06	0,009
	Pantalones ligeros	0,2	0,031
	Pantalones normales	0,25	0,039
	Pantalones de franela	0,28	0,043
	Pantalones de chándal	0,28	0,043

		CLO	m <sup>2</sup> °C/W
<b>Mono</b>	De diario, con cinturón	0,49	0,076
	De trabajo	0,5	0,078
<b>De alto aislamiento</b>	Multicomponente, relleno	1,03	0,16
	Con peluche	1,13	0,175
<b>Suéter</b>	Chaleco	0,12	0,019
	Suéter fino	0,2	0,031
	Suéter fino cuello de cisne	0,26	0,04
	Suéter normal	0,28	0,043
	Suéter grueso	0,35	0,054
	Suéter grueso cuello de cisne	0,37	0,057
<b>Chaqueta</b>	De vestido	0,13	0,02
	Chaqueta ligera de verano	0,25	0,039
	chaqueta	0,35	0,054
	Anorak	0,3	0,047
<b>Abrigos</b>	Abrigo	0,6	0,093
	Gabardina	0,55	0,085
	Parka	0,7	0,109
	Sobreabrigo multicomponente	0,52	0,081
<b>Calzado</b>	Calcetines	0,02	0,003
	Calcetines gruesos tobillos	0,05	0,008
	Calcetines gruesos largos	0,1	0,016
	Zapatilla, rellena de peluche	0,03	0,005
	Zapato suela fina	0,02	0,003
	Zapato suela gruesa	0,04	0,006
	Botas	0,1	0,016
	Guantes	0,05	0,008

		CLO	m <sup>2</sup> °C/W
<b>Falda, vestido</b>	Falda ligera, 15 cm sobre rodilla	0,1	0,016
	Falda ligera, 15 cm bajo rodilla	0,18	0,028
	Falda gruesa hasta la rodilla	0,25	0,039
	Vestido ligero sin mangas	0,25	0,039
	Vestido de invierno manga larga	0,4	0,062
<b>Ropa de cama</b>	Camisón largo de manga larga	0,3	0,047
	Camisón corto de tirantes	0,15	0,023
	Camisón de hospital	0,31	0,048
	Pijama de mangas y pantalones largos	0,5	0,078
	Body de dormir con pies	0,72	0,112
	Pantalón corto	0,1	0,016
<b>Batas</b>	Bata larga acolchada de manga larga	0,53	0,082
	Bata corta acolchada de manga larga	0,41	0,064
<b>Asientos</b>	Madera o metal	0	0
	Tapizada, acolchada, con cojín	0,1	0,016
	Sillón	0,2	0,032

**Tabla 3.** Aislamiento térmico de la ropa.

### b) El ritmo metabólico (MET)

El cuerpo humano está generando calor constantemente, quemando la energía de los alimentos que se ingieren. Este calor se genera durante el ciclo diario del cuerpo, y se incrementa en la medida en que aumenta actividad muscular y se queman más calorías, como sucede cuando hacemos ejercicio. La razón de cambio a la que el cuerpo genera este calor se conoce como ritmo metabólico, y este calor metabólico se mide en unidades llamadas MET.

El MET toma como referencia la cantidad de calor metabólico que genera una persona sentada con un área de piel igual a  $1\text{m}^2$ . Entonces, una persona sentada genera un calor metabólico de 1 MET (véase Rosales, 2006). El MET se puede expresar en el sistema internacional como:

$$1 \text{ MET} = 58.2 \text{ Watts/m}^2$$

La siguiente tabla muestra una relación de varias actividades con respecto a la cantidad de calor en METS que generan:

ACTIVIDAD	METS	W/m <sup>2</sup>
Dormir	0,9	52,2
Ver televisión	1	58
Reír	1	58
Leer sentado	1,8	104,4
Tocar el acordeón	1,8	104,4
Planchar	1,8	104,4
Ordenar la habitación	2	116
Lavar ropa	2	116
Manejar un auto	2	116
Ir de compras	2,3	133,4
Trabajo de escritorio	2,3	133,4

ACTIVIDAD	METS	W/m <sup>2</sup>
Tocar el piano	2,3	133,4
Caminar lento en terreno plano	2,5	145
Yoga (hatha)	2,5	145
Tocar el violín	2,5	145
Bicicleta (baja resistencia)	3	174
Pilates	3	174
Tocar la guitarra	3	174
Jugar con niños (leve)	3	174
Regar las plantas	3	174
Aspirar la sala	3,3	191,4
Croquet	3,3	191,4
Yoga (Surya Namaskar)	3,3	191,4
Cocinar	3,5	203
Caminar a paso apurado	4	232
Subir gradas (paso lento)	4	232
Baseball	4	232
Caminata a 3,5 km/h	4,3	249,4
Golf	4,3	249,4
Voleibol	4,5	261
Plantar arboles	4,5	261
Organizar muebles	4,5	261
Cricket	4,8	278,4
Danza (jazz, ballet)	5	290
Caminata a 4,5 km/h	5,3	307,4
Bicicleta (resistencia moderada)	5,5	319
Montar a caballo	5,5	319
Patinar (leve)	5,5	319

ACTIVIDAD	METS	W/m <sup>2</sup>
Jugar al tenis (doble)	6	348
Esgrima	6	348
Cortar el pasto	6	348
Cortar leña	6,3	365,4
Basquetbol	6,5	377
Jugar al futbol	7	406
Trotar	7	406
Esquiar (leve)	7	406
Caminata a 5 km/h	7,4	429,2
Boxing	7,8	452,4
Jugar al tenis (simples)	8	464
Subir gradas (paso rápido)	8	464
Polo	8	464
Rugby (competitivo)	8,3	481,4
Patinar (paso rápido)	8,5	493
Saltar cuerda	10	580
Correr (6 Km/H)	10	580
Polo acuático	10	580
Raquetball	10	580
Artes marciales moderadas	10,3	597,4
Esquiar (paso rápido)	12	696
Jai alai	12	696
Correr (7.5Km/H)	13	754
Natación (estilo mariposa)	13,8	800,4
Bicicleta (alta resistencia)	14	812
Natación (paso vigoroso)	15,6	904,8
Correr (10 Km/H)	16	928

*Tabla 4. Tasa de calor metabólico en función de la actividad.*

### c) El tiempo de estancia

El tiempo de estancia puede influir en la sensación de confort térmico, porque el cuerpo requiere de 15 a 30 minutos para completar su labor de autorregulación. Este hecho cobra especial importancia en el momento de diseñar espacios donde los individuos van a permanecer cortos periodos de tiempo, pues las condiciones de confort pueden ser un poco más flexibles (véase Rosales, 2006).



YOGA: 2.5 METS



TRABAJO DE ESCRITORIO: 2.3 METS



DANZA: 5 METS

*Figura 14. Tasa de calor metabólico de diferentes actividades.  
Fuente: [www.vecteezy.com](http://www.vecteezy.com)*

### PARÁMETROS FISIOLÓGICOS DEL CONFORT

Estos parámetros tienen que ver con las características mismas de las personas. Factores como la edad, el sexo y el estado de salud de la persona pueden llegar a modificar su percepción del entorno térmico, y por ende su sensación de confort.

Por ejemplo, las personas de edad avanzada tienen un metabolismo más lento, por lo cual, producen menos calor metabólico y son propensas a sentir frío. De igual forma, los cambios hormonales o del metabolismo, que se dan en personas que sufren de alguna condición, pueden afectar la percepción del entorno térmico.

### PARÁMETROS PSICOLÓGICOS Y SOCIOLÓGICOS DEL CONFORT

Los parámetros psicológicos están muy ligados a la forma de vida y las expectativas psicológicas que se tienen de determinado ambiente (véase Rosales, 2006). Así, por ejemplo, las personas que viven en climas tropicales, pueden tener una apreciación del confort térmico similar entre ellos; pero al comparar su idea de confort con quienes viven en latitudes altas o que están acostumbrados a vivir en ambientes climatizados, las apreciaciones sobre las condiciones de confort pueden variar considerablemente.

Por esto, se dice que en estos parámetros lo que sucede es una “adaptación de los mecanismos sensoriales y termorreguladores del cuerpo en días o semanas, como respuesta a ciertas condiciones térmicas” de un entorno geográfico dado (véase Rosales, 2006, p. 12).

# ÍNDICES Y ESTÁNDARES DE CONFORT TÉRMICO

---

El confort ha sido definido y estudiado científicamente para tratar de definir unos parámetros cuantificables donde los ocupantes de un espacio se puedan sentir a gusto. Esto es lo que se conoce como “zona de confort”. Para definir la “zona de confort” se utilizan unos índices que se conocen como índices de confort térmico. Estos índices determinan los requerimientos térmicos de un espacio y se basan en medidas estadísticas generadas a partir de encuestas.

La “zona de confort” ha sido agregada dentro de estándares de confort, para guiar a los diseñadores en cuanto a las condiciones óptimas que se deben generar al interior de un espacio. El estándar más común lo da la *American Society for Heating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), con su estándar ASHRAE-55 del 2004. Este estándar retoma diferentes índices de confort que han sido desarrollados, y define una “zona de confort” para el verano y una para el invierno. Los índices de confort que han sido tomados en cuenta para la elaboración del estándar son el Predicted Mean Vote (PMV) y la temperatura efectiva estándar (TES). Otros índices como los modelos de adaptación se utilizan para edificaciones acondicionadas por medios pasivos.

### TEMPERATURA OPERATIVA (TO)

Antes de hablar de los índices de confort, es importante comprender primero el concepto de temperatura operativa. “La temperatura operativa se define como la temperatura de bulbo seco de un recinto uniforme y sin corrientes de aire, en el cual la persona intercambia el mismo calor por convección y radiación que el recinto real” (véase Rosales, 2006, p. 12).

Se pueden definir valores de TO óptimos basados en la sensación térmica de las personas consignada en experimentos realizados para este fin, siempre y cuando se controlen las demás variables de confort (véase Rosales, 2006).

### TEMPERATURA EFECTIVA ESTÁNDAR (TES)

La TES se define como:

“La temperatura de bulbo seco de un recinto uniforme, sin corrientes de aire y con HR=50% en la cual las personas usando ropa ligera (0.6 CLO) y realizando una actividad sedentaria (1 MET), tendrían luego de una hora, el mismo intercambio de calor por radiación, evaporación y convección que en el ambiente real considerado, y por ende la misma sensación térmica”. (Rosales, 2006, p.14)

### PREDICTED MEAN VOTE (PMV)

#### Y PREDICTED PERCENT OF DISSATISFIED (PPD)

El PMV es un índice de confort que utiliza una ecuación compleja donde se introduce la humedad relativa, la temperatura del aire, la resistencia térmica de la ropa

y el metabolismo, para predecir la sensación térmica de las personas en un espacio. El PPD se creó como complemento, para determinar el porcentaje de personas insatisfechas en función del PMV (véase Rosales, 2006).

Es importante agregar que este índice no toma en cuenta la velocidad del aire en la evaporación del sudor, y por eso no se aconseja su uso en lugares cálidos secos, donde el enfriamiento por evaporación del sudor es importante (véase Rosales, 2006).

### MODELOS DE ADAPTACIÓN

A diferencia de los anteriores, los modelos de adaptación no son modelos estáticos dependientes únicamente de procesos físicos y fisiológicos. Los modelos de adaptación toman en cuenta factores demográficos, de contexto y cognitivos; además, el hecho de que los ocupantes de un espacio pueden emprender acciones para adaptarse al comportamiento térmico del edificio (véase Rosales, 2006). Por ejemplo, quitarse la chaqueta o tomar una taza de chocolate caliente puede aumentar o disminuir la sensación térmica para llegar a la sensación de confort.

Los modelos de adaptación tienen indicadores más flexibles y se han propuesto sobre todo para edificios pasivos, o aquellos que no poseen ningún sistema mecánico de calefacción o refrigeración. Por esta razón, estos índices siempre generan una “zona de confort” dependiente del clima del lugar. Dentro de estos índices está el de Humphreys, y el índice de temperatura neutral.

# LA CARTA PSICOMÉTRICA

---

Cap.3

## ¿QUÉ MUESTRA LA CARTA?

---

La carta psicrométrica es una representación gráfica de la relación entre la temperatura del aire y la humedad del ambiente. Así, en la carta se pueden mostrar las condiciones climáticas de un lugar y leer gráficamente las diferencias entre las zonas climáticas alrededor del mundo.

Sin embargo, su utilidad para para arquitectos y diseñadores va mucho más allá. En la carta, además, se pueden mostrar gráficamente las condiciones de confort ("zona de confort"), haciendo posible la identificación de las estrategias de diseño indicadas para alcanzar el bienestar de los habitantes al interior de un espacio. A continuación, se muestran los diferentes elementos que se leen en la carta y cómo interpretarlos:

- a) Temperatura de bulbo seco
- b) Humedad absoluta
- c) Humedad relativa
- d) Línea de saturación y punto de rocío
- e) Zona de confort térmico
- f) Valores por hora, día, mes
- g) Lectura de las diferentes clasificaciones de clima en la carta
- h) Procesos psicrométricos y estrategias de diseño

### a) Temperatura de bulbo seco

La carta muestra la temperatura de bulbo seco, en el eje x, en grados centígrados (°C). En la Figura 15, las líneas de temperatura se muestran con color rojo y aumentan hacia la derecha. El aumento o disminución de la temperatura de bulbo seco se puede interpretar como un aumento o disminución en el calor sensible del sistema, ya que no tiene en cuenta la humedad del ambiente.

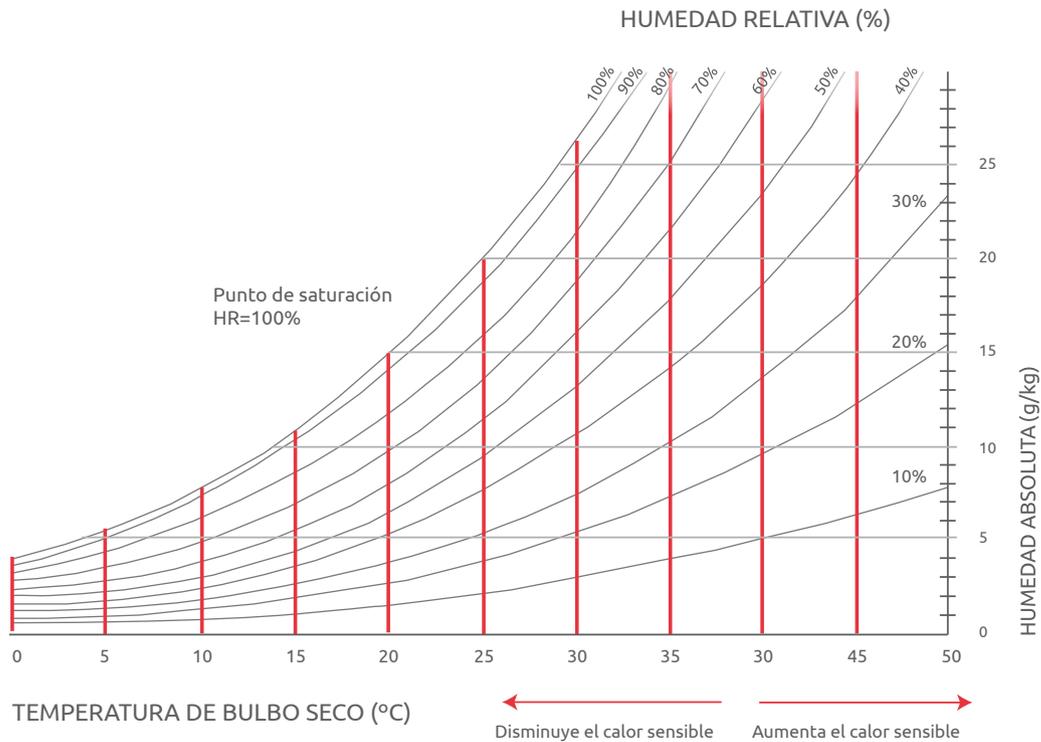


Figura 15. Líneas de temperatura.

### b) Humedad absoluta

La carta muestra la humedad absoluta, sobre el eje y, en g/Kg. En la Figura 16, las líneas de humedad absoluta se muestran con color verde, y aumentan hacia arriba. El aumento o disminución de la humedad se puede interpretar como un aumento o disminución del calor latente del sistema.

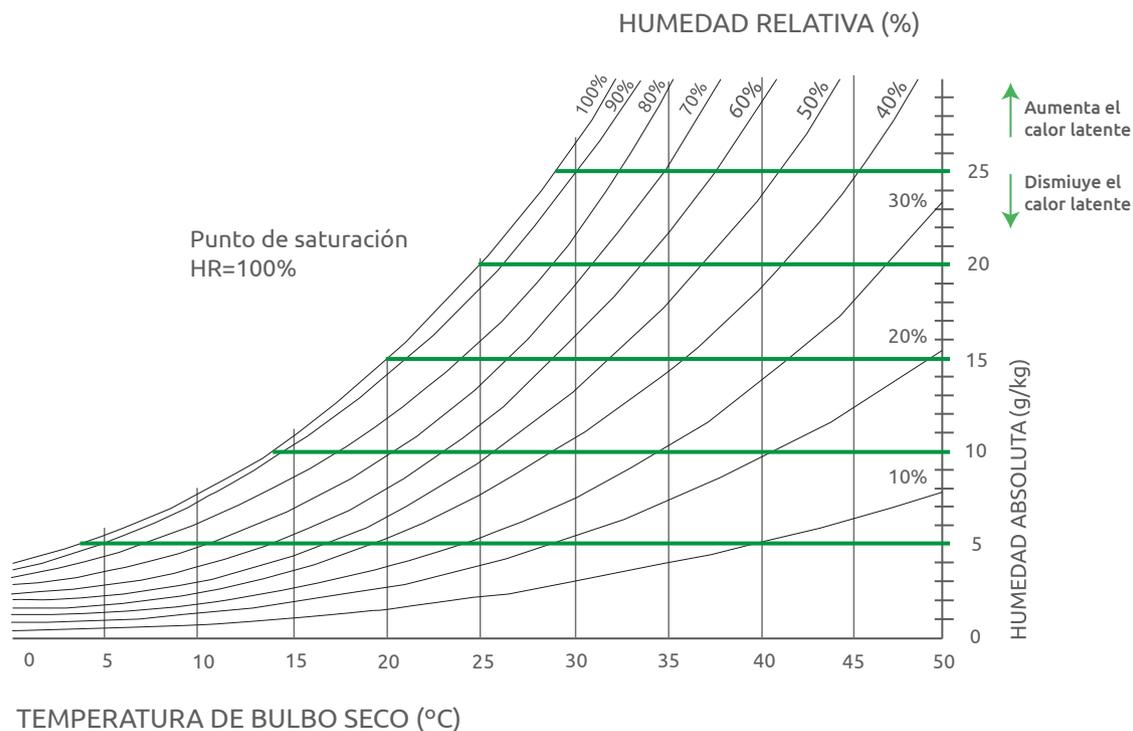


Figura 16. Líneas de humedad.

### c) Humedad relativa

La carta muestra la humedad relativa como porcentajes en líneas curvas ascendentes. La humedad depende en gran medida de la temperatura. Si el aire está caliente, sus partículas se expanden permitiendo que albergue una mayor cantidad de humedad, la cual puede llegar a constituir hasta el 5% de su volumen (véase Rosales, 2006). Por el mismo fenómeno, si el aire es frío, tiene menor capacidad de retener humedad. Así, pues, a mayor temperatura las líneas de humedad relativa están más separadas, y a menor temperatura, se encuentran más cerca.

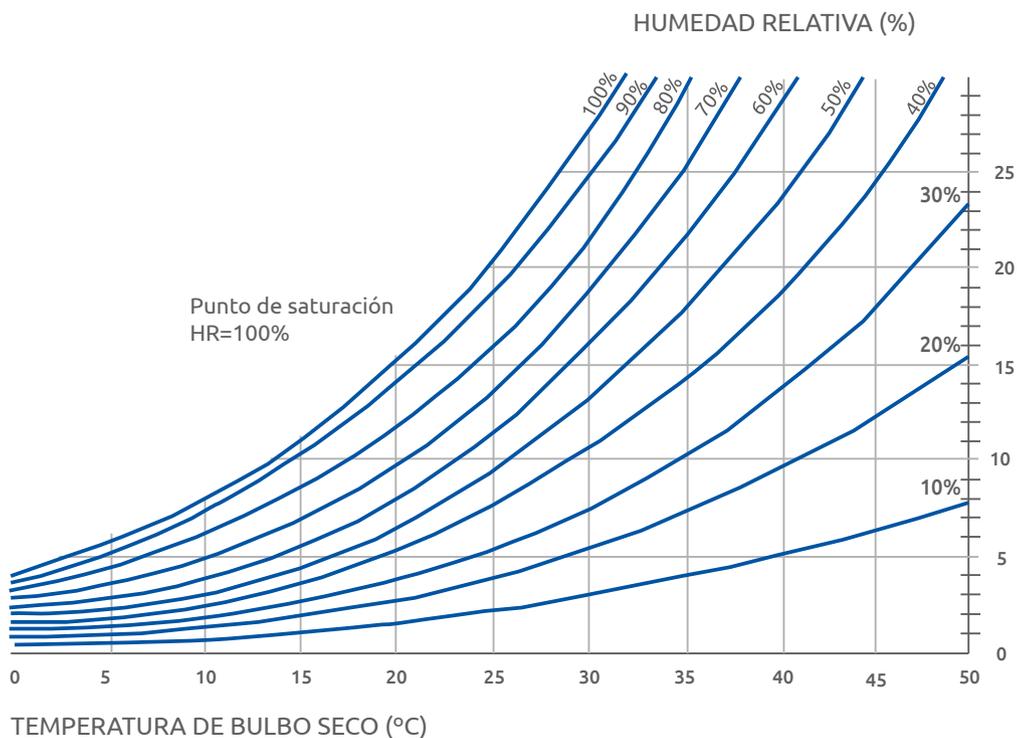


Figura 17. Líneas de humedad relativa.

#### d) Línea de saturación y punto de rocío

Si se toma un volumen de aire y se le comienza a aumentar gradualmente su humedad sin variar la temperatura, llegará un momento en que el aire no tenga capacidad para retener más humedad, por lo que alcanzará su punto de saturación (humedad relativa de 100%) y comenzarán a aparecer gotas de agua. Esta línea se conoce como línea de saturación de humedad, donde la humedad relativa = 100% (Figura 18).

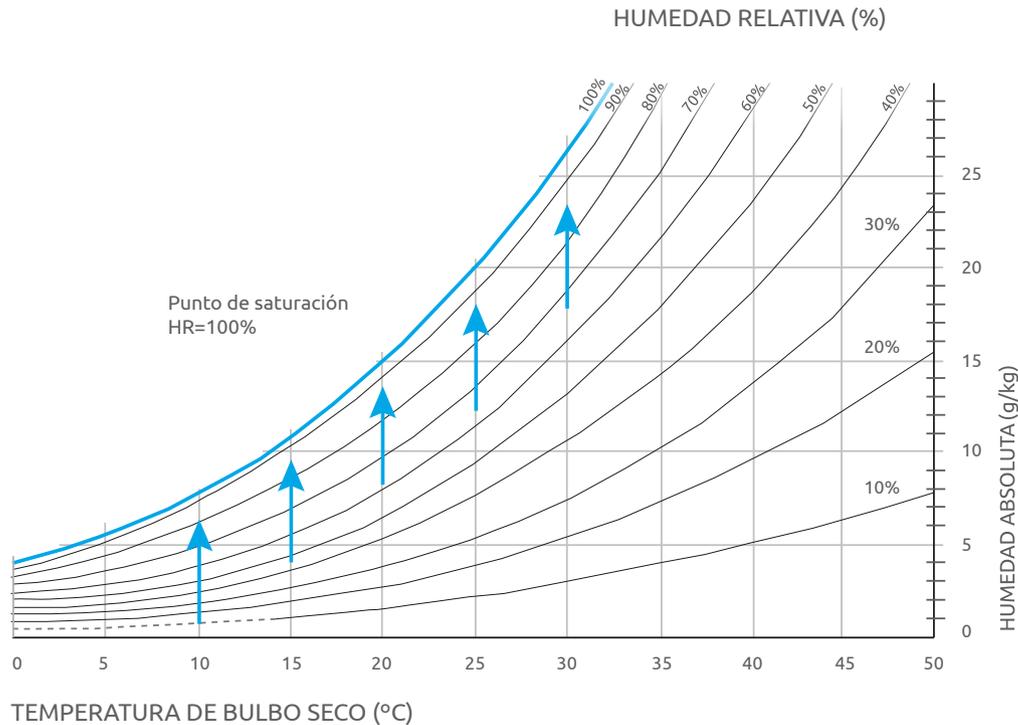


Figura 18. Línea de saturación de húmedas (100%).

Igualmente, si a un volumen de aire se le disminuye gradualmente la temperatura, manteniendo el mismo nivel de humedad, se disminuirá la capacidad del aire de retener humedad. Así, se llega a lo que se conoce como punto de rocío, el cual se encuentra sobre la línea de saturación, lo que hace que se evidencien gotas de agua en el ambiente (Figura 19).

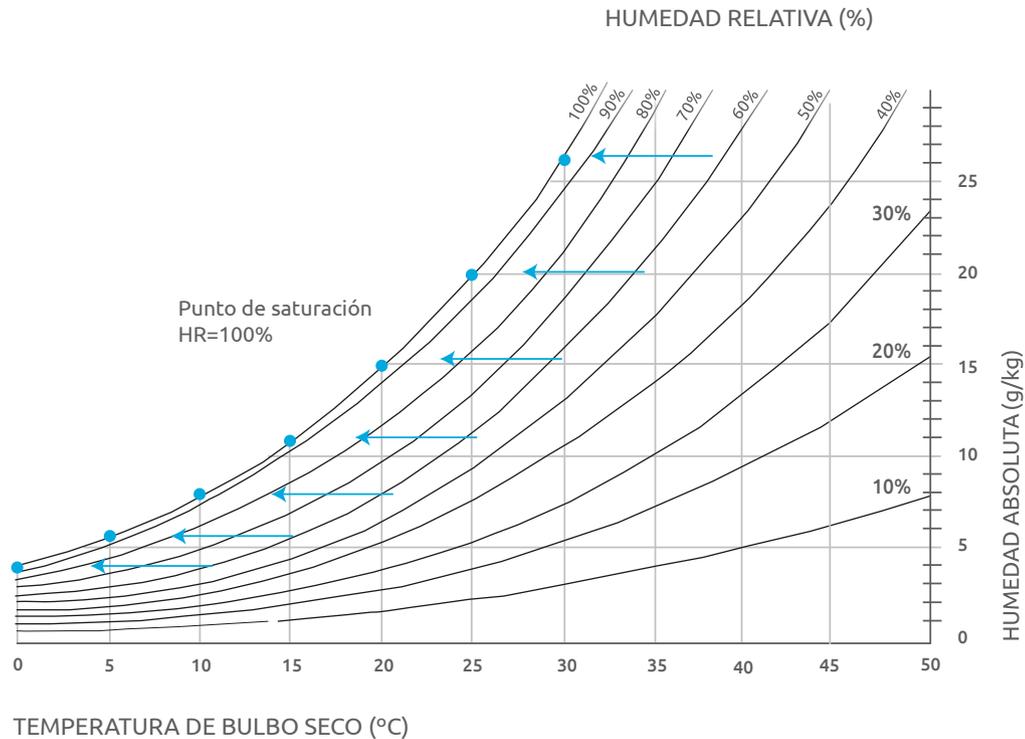


Figura 19. Punto de rocío.

### e) Zona de confort térmico

Dentro de la carta, se puede representar la “zona de confort” térmico dependiendo del índice de confort seleccionado. Cada índice toma en cuenta, entre otras variables, el nivel de vestimenta y el ritmo metabólico de quienes vayan a ocupar el espacio. Por esta razón, en el estándar ASHRAE-55 del 2004 se toman en cuenta dos “zonas de confort”: una para el invierno, donde los usuarios tienen un nivel de vestimenta alto, y uno para el verano, donde los usuarios tienen un nivel de vestimenta bajo (Figura 20).

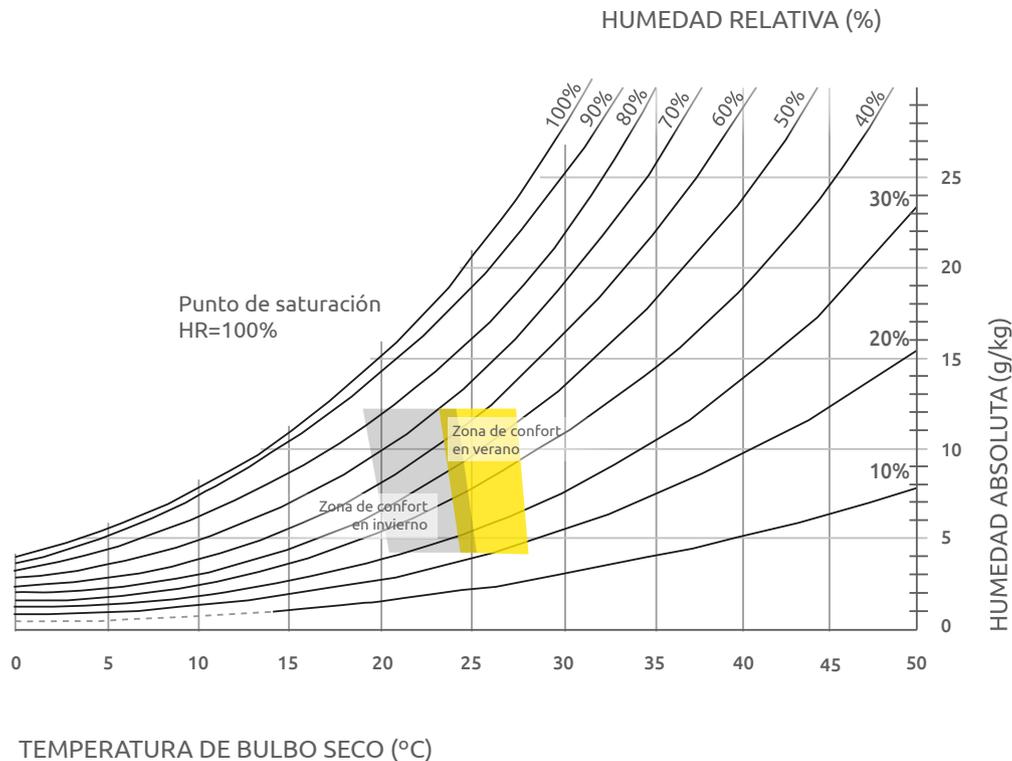


Figura 20. “Zonas de confort” ASHRAE-55 2004.

El formato utilizado por el Laboratorio de Ambientes Sostenibles presenta una sola “zona de confort”, que es pertinente para la zona ecuatorial en la que se encuentra localizada Colombia, y donde no se presentan las estaciones (Figura 21).

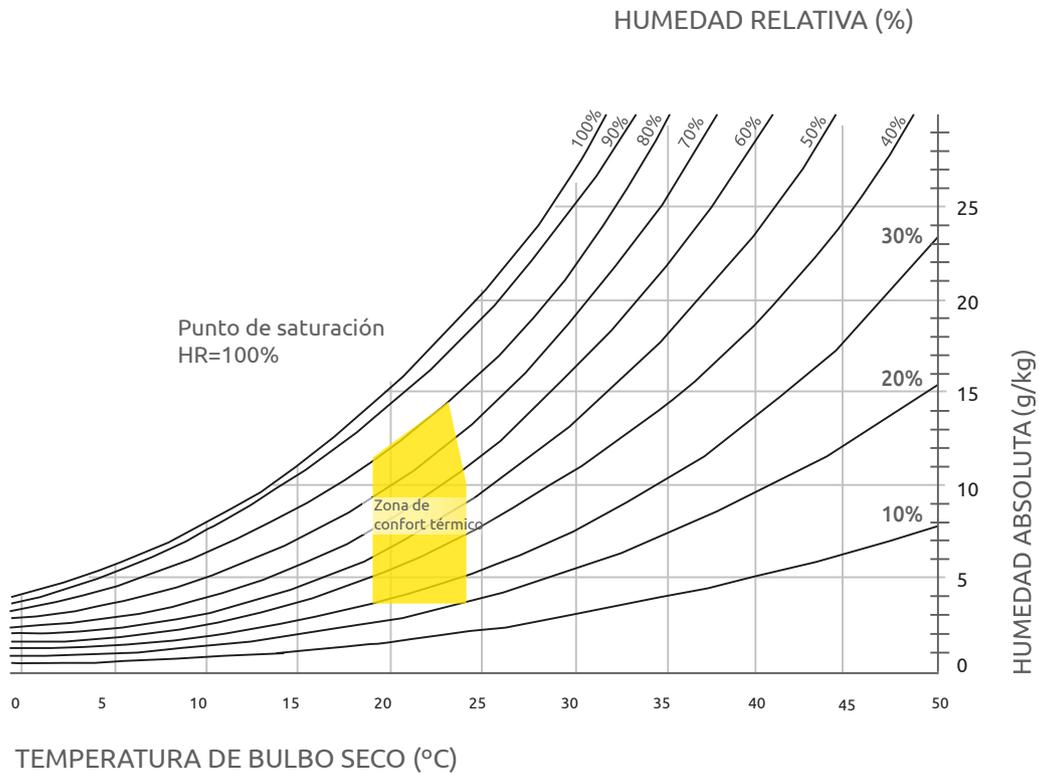
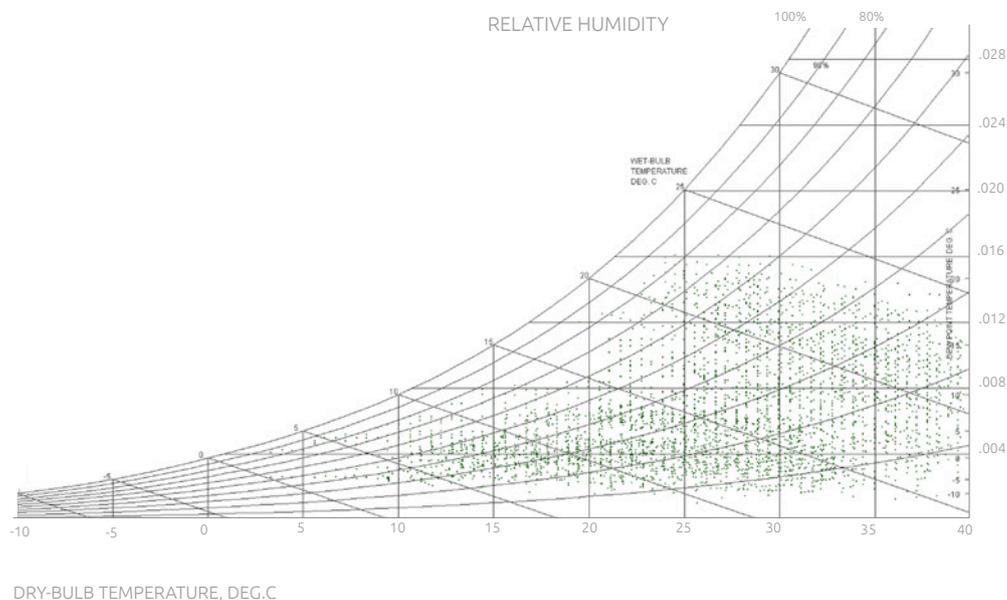


Figura 21. “Zona de confort” del formato del Laboratorio de Ambientes Sostenibles.

### f) Valores por hora, día, mes

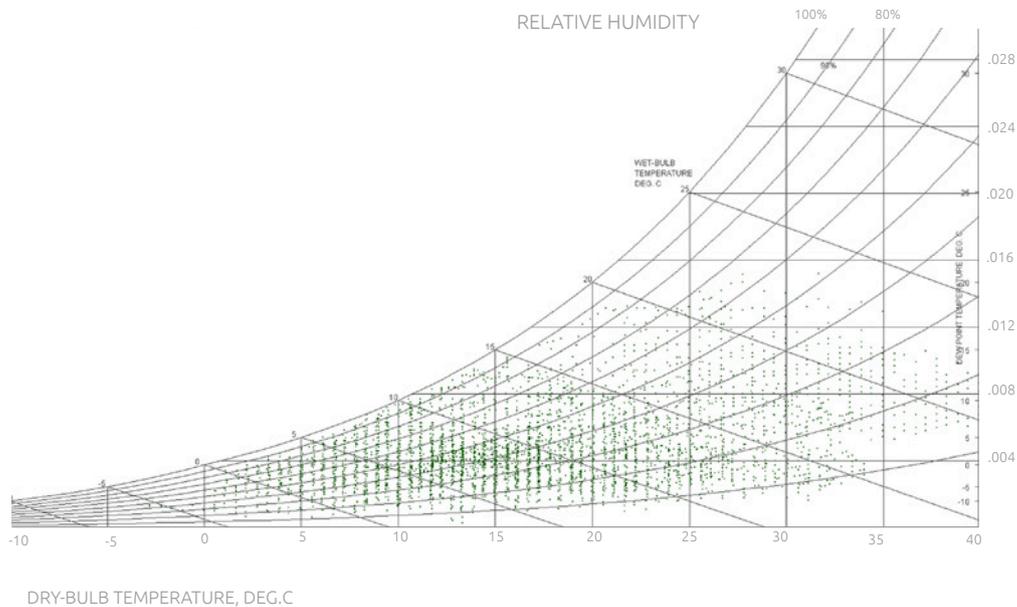
Los datos del clima de un lugar determinado se pueden representar en la carta psicrométrica, si se conocen los valores de temperatura y humedad. Estos datos se pueden introducir por meses, días u horas, dependiendo del análisis que se pretenda realizar y de la información disponible.

Utilizando software especializados como Climate Consultant, con archivos .epw o .met (donde estén disponibles), se pueden graficar fácilmente los valores por día, mes u hora de un lugar específico y realizar análisis muy detallados.



**Figura 22.** Valores por hora de clima de marzo a septiembre en Phoenix, Arizona.  
Elaborada con Climate Consultant.

Por ejemplo, si se toman sólo los valores de un periodo determinado, se pueden diferenciar fácilmente las variaciones entre humedad y temperatura durante las épocas de invierno y verano en latitudes altas. En las Figuras 22 y 23, se observan los valores por hora en Phoenix, Arizona, en los semestres diferenciados por los equinoccios, y apreciar las diferencias marcadas en el clima. En los meses en los que ocurre el verano (marzo a septiembre), el clima es mucho muy cálido y seco; y en los meses que contienen el invierno (septiembre a marzo), el clima es frío y un poco más húmedo.



**Figura 23.** Valores por hora de clima de septiembre a marzo en Phoenix, Arizona. Elaborada con Climate Consultant.

### g) Lectura de las diferentes clasificaciones de clima en la carta

Al realizar el ejercicio de colocar los valores promedio anuales del clima de un lugar, la carta permite identificar las características de la región climática en el que se está trabajando, dependiendo de la zona de la carta donde se ubiquen los datos.

Hausladen, et al. (2012) realizaron el ejercicio de comparar diferentes zonas climáticas, teniendo en cuenta los valores anuales promedio de diferentes ciudades.

En la gráfica resultante, se pueden evidenciar las diferentes características de cada clima (Figura 24). Por ejemplo, el clima de Dubái puede llegar a temperaturas muy altas (> a 45°C) y 100% de humedad relativa, convirtiéndose en un clima cálido húmedo. De igual forma, el clima de Moscú, se define como clima frío, pues apenas sobrepasa los 25 °C y puede llegar hasta a -20°C, siendo húmedo durante todo el año. (Figura 24)

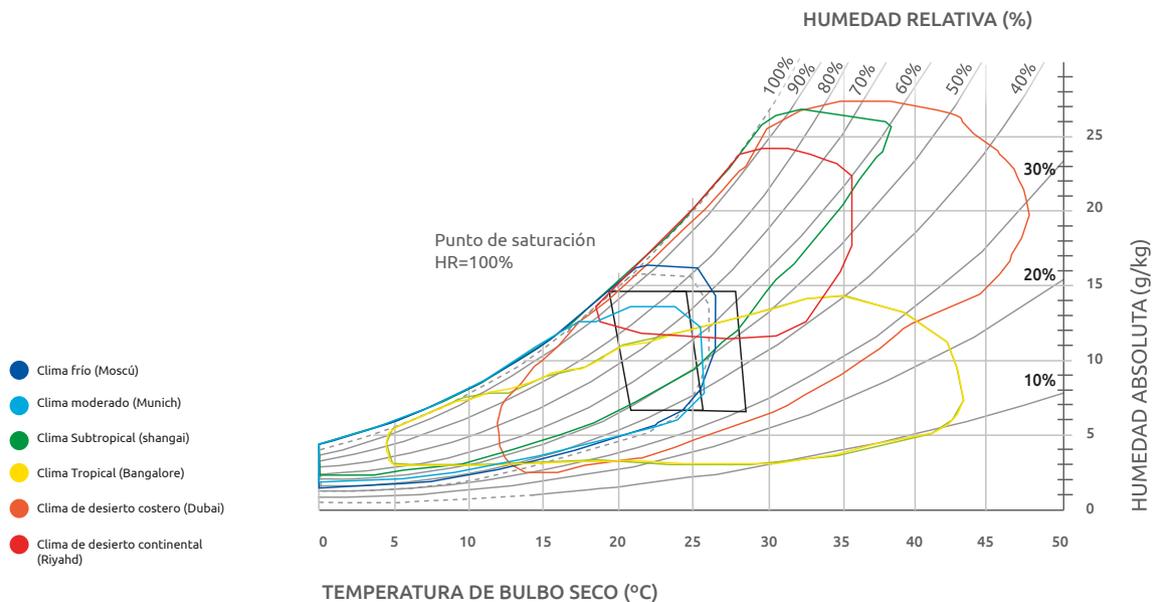


Figura 24. Comparación del clima de ciudades localizadas en diferentes zonas climáticas. Elaboración propia (basado en Hausladen et al., 2012).

### h) Procesos psicrométricos y estrategias de diseño

Cuando los datos de clima se encuentran fuera de la “zona de confort”, se debe realizar un diseño arquitectónico capaz de responder a las condiciones existentes, y lograr el bienestar al interior de los espacios. Una manera sencilla de entender los procesos psicrométricos para tomar decisiones de diseño se muestra en la (Figura 25).

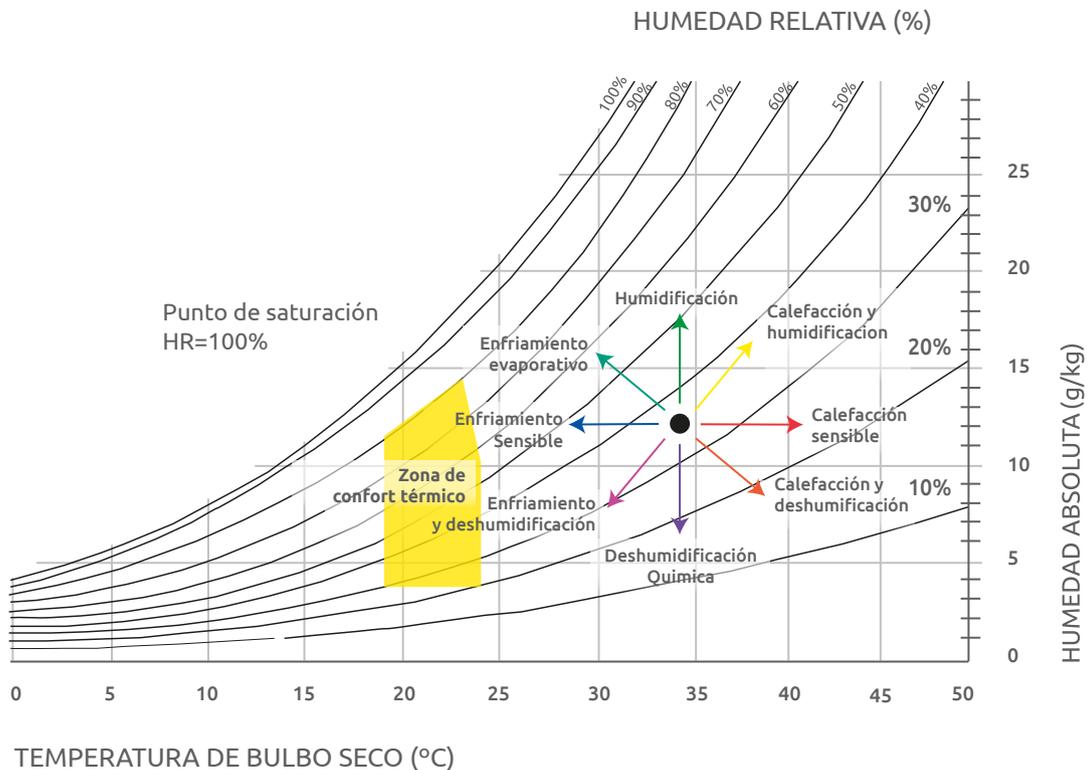


Figura 25. Procesos psicrométricos.

Dependiendo de la posición del dato que se esté mirando, se puede utilizar una estrategia específica para lograr el confort (Figura 26), la cual responde a uno de los procesos psicrométricos mostrados en la Figura 25. Esto para lograr llevar las condiciones existentes a las óptimas que indica el estándar en la “zona de confort”.

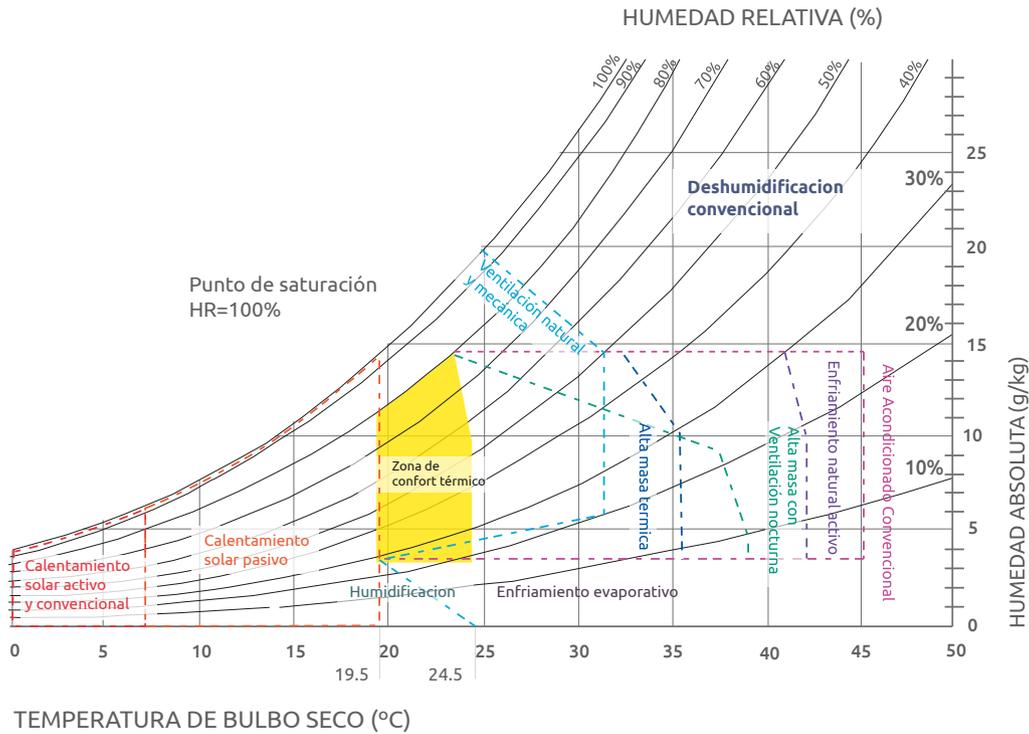


Figura 26. Estrategias de diseño.  
Elaboración propia con Climate Consultant.

## ¿CÓMO USAR EL FORMATO DE LA CARTA PSICROMÉTRICA DEL LAB AMS?

---

El Laboratorio de Ambientes Sostenibles de la Universidad Piloto de Colombia cuenta con un formato, para generar automáticamente la carta psicrométrica y otras gráficas útiles, y así entender el clima de un lugar de estudio determinado. Este formato fue creado por Karen Allaker de Bélgica y modificado por Hans Rosenlund de la Lund University en Suecia. Para demostrar su uso se tomará el clima de Bogotá como ejemplo.

### CREACIÓN DE LA CARTA PSICROMÉTRICA Y GRÁFICOS DE ANÁLISIS CLIMÁTICO DE BOGOTÁ

Primero, hace falta recopilar toda la información necesaria sobre el clima de Bogotá, para introducir los datos requeridos. En este caso, los datos de tomarán de varias fuentes: del IDEAM, en particular de la estación del Aeropuerto El Dorado en la página <http://bart.ideam.gov.co/>; del documento Estudio de la caracterización climática de Bogotá y Cuenca Alta del río Tunjuelo, elaborado por el IDEAM y la Alcaldía de Bogotá (s.f.); y, del documento Estudio del recurso solar en la ciudad de Bogotá para el diseño de sistemas fotovoltaicos interconectados residenciales de W. A. Vallejo, J. Hernández y E. Sáenz (2010).

### Pestaña 1 - Entrada de datos:

El formato del Laboratorio de Ambientes está organizado en cinco pestañas. La primera pestaña lleva el nombre “Entrada de datos” y es allí donde se deben introducir todos los datos de clima que hayan sido recopilados. En la primera sección, se deben colocar los datos generales del lugar (*Tabla 5*).

LUGAR: BOGOTA					
Latitud:	4,6	°	Longitud:	-74	°
Altitud:	2600	m	Hora meridiano:	-5	°

*Tabla 5. Datos de lugar. Elaboración propia.*

En la segunda sección, se deben introducir los datos concernientes al análisis solar. En este punto se ingresan los datos de luz solar y radiación.

Para el análisis de luz solar, se deben llenar los datos en la fila marcada como “real”, y se debe tener en cuenta que los valores que se insertan en la tabla son valores en horas/día y no horas/mes. Si se encuentran los datos en horas/mes, se debe realizar la conversión dividiendo el dato en 30 días.

Para el análisis de radiación, hay que tener en cuenta que los datos se ingresan en MJ/m<sup>2</sup>-día. Si se encuentran los datos en Kwh/m<sup>2</sup>-día, debe realizarse la siguiente conversión de unidades:

$$1\text{KWh} = 3,6 \text{ MJ}$$

Para los datos encontrados de radiación solar en Bogotá, en la estación del Aeropuerto El Dorado, es necesario realizar la conversión. En la *Tabla 6*) se presentan los datos en Kwh/m<sup>2</sup>-día y su conversión a MJ/m<sup>2</sup>-día para introducirlos en el formato del Laboratorio de Ambientes Sostenibles.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
HSS (Kwh/m <sup>2</sup> - día)	4,95	4,84	4,6	4,15	3,8	3,93	4,11	4,43	4,28	4,32	4,24	4,75
HSS (MJ/m <sup>2</sup> - día)	17,82	17,42	16,56	14,94	13,68	14,15	14,80	15,95	15,41	15,55	15,26	17,10
<b>(HSS= Horas de sol estándar)</b>												

**Tabla 6.** Cambio de unidades a de Kwh/m<sup>2</sup> a MJ.  
Elaboración propia.

En el caso de Bogotá, los datos de radiación encontrados son los siguientes:

ANÁLISIS SOLAR												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
Luz solar	horas/día											
real	5,94	5,31	4,41	3,50	3,46	3,90	4,29	4,39	4,08	3,81	4,24	5,08
max.	11,48	11,68	11,95	12,24	12,47	12,58	12,52	12,32	12,05	11,76	11,53	11,42
	52%	45%	37%	29%	28%	31%	34%	36%	34%	32%	37%	44%
Radiación	MJ/m <sup>2</sup> día											
	17,82	17,42	16,56	14,94	13,68	14,15	14,80	15,95	15,41	15,55	15,26	17,10

**Tabla 7.** Análisis solar. Elaboración propia.

En la tercera sección, se llenan los datos de temperatura (*Tabla 8*). Es importante notar que solamente se deben llenar las casillas de las filas: “Extrema máxima”, “Media extrema”, “Media mínima” y “Extrema mínima”, ya que las demás casillas se completan automáticamente con estos datos. Todos los datos de temperatura deben llenarse en grados centígrados (°C).

ANÁLISIS DE TEMPERATURAS °C												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
<b>Extrema máxima</b>	24,9	24,8	24,9	23,2	23,5	23,1	22,4	23,6	23,3	23,6	24	23,8
<b>Diff.</b>	12,2	11,7	11,2	9,2	9,6	9,6	9,4	10,7	10,3	10,2	10,4	10,9
<b>Media máxima</b>	19,9	19,9	19,9	19,5	19,2	18,7	18,3	18,6	19	19,2	19,3	19,5
<b>Media</b>	12,7	13,15	13,75	14	13,95	13,5	13	12,95	13,05	13,4	13,6	12,9
<b>Media mínima</b>	5,5	6,4	7,6	8,5	8,7	8,3	7,7	7,3	7,1	7,6	7,9	6,3
<b>Extrema mínima</b>	-3	-6,4	-3,2	0	0,7	1	0,4	-1,5	-0,2	0,5	-3	-6
<b>Diff.</b>	-15,7	-19,55	-16,95	-14	-13,25	-12,5	-12,6	-14,45	-13,25	-12,9	-16,6	-18,9

**Tabla 8.** Análisis de temperaturas.

En el análisis de precipitaciones, se deben colocar los milímetros de lluvia mensual del lugar (mm). Nuevamente, el formato tiene filas designadas para la precipitación máxima y mínima. En caso de no encontrar estos datos de precipitación, se pueden llenar únicamente los valores de la precipitación media (*Tabla 9*).

ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES mm/MES												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
<b>Media</b>	29,4	41,1	65,3	103	92,2	53,8	41,9	45,9	70	107	91,3	52,8

*Tabla 9. Análisis de precipitaciones. Elaboración propia.*

En el análisis de humedad se deben colocar los valores de humedad relativa desagregados por mes (*Tabla 10*). Igual que sucede con la precipitación, si únicamente se encuentran los valores medios de humedad relativa, se pueden colocar los mismos valores en las casillas de máximas y mínimas para que la tabla calcule automáticamente el valor medio con el valor encontrado.

ANÁLISIS DE HUMEDAD %												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
<b>Media máxima</b>	79	80	81	82	82	79	78	78	79	82	83	81
<b>Media</b>	79	80	81	82	82	79	78	78	79	82	83	81
<b>Media mínima</b>	79	80	81	82	82	79	78	78	79	82	83	81

*Tabla 10. Análisis de humedad.*

En la sección final, se llenan los datos del análisis de viento (*Tabla 11*). En este punto, es importante conocer tanto la velocidad, como la dirección predominante del viento para realizar un análisis adecuado. Para esto, es posible consultar rosas de viento mensuales del lugar de estudio, en las que se puedan leer estos datos. De no encontrarse esta información, puede consultarse también una rosa de vientos anual, que da una aproximación general al comportamiento de los vientos en el lugar.

ANÁLISIS DEL VIENTO	DIRECCIÓN Y VELOCIDAD: M/S											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
<b>Predominante</b>	W	NE	NE	NE	NE	NE	E	E	NE	NE	W	NE
<b>Velocidad</b>	2,2	2,3	2,3	2,1	2,3	2,6	2,7	2,6	2,4	2,1	2,1	2,1
<b>Secundario</b>	NE	E	W	E	E	E	NE	NE	E	E	NE	N

*Tabla 11. Análisis de viento.*

## Pestaña 2 - Clima

Una vez completados los datos de la primera pestaña, es posible comenzar a realizar un análisis del clima estudiado. Para esto se puede mirar la segunda pestaña denominada “Clima”. En ésta, aparecen una serie de diagramas que muestran de forma gráfica el comportamiento de los factores y elementos de clima ingresados en la primera parte. En el ejemplo, las gráficas que se generan a partir de los datos ingresados permiten hacer un análisis del clima de Bogotá.

En cuanto al análisis solar, se puede evidenciar cómo la radiación solar permanece más o menos constante durante todo el año, teniendo sus picos más altos en enero y agosto (Figura 28). Una situación similar ocurre con la luz solar, que se mantiene más o menos constante durante el año y tiene sus picos más altos en los periodos de julio-agosto, y diciembre-enero (Figura 27).

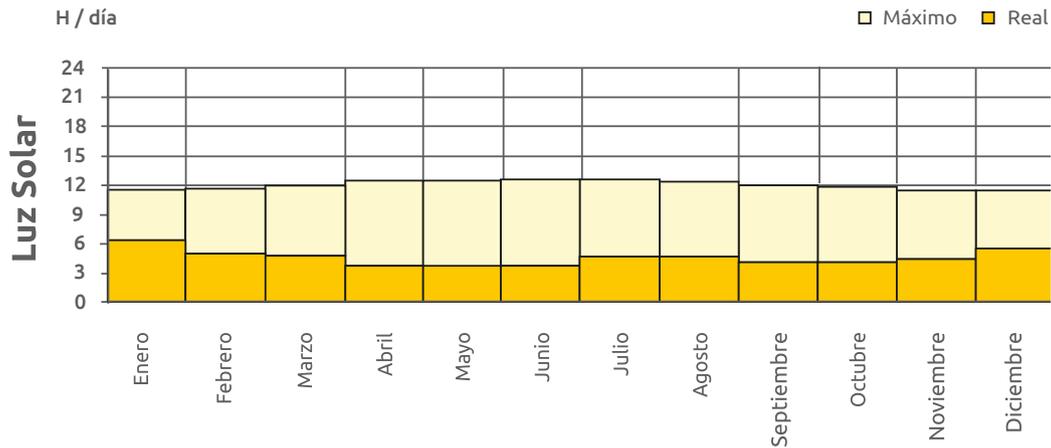


Figura 27. Gráfica de luz solar en Bogotá.

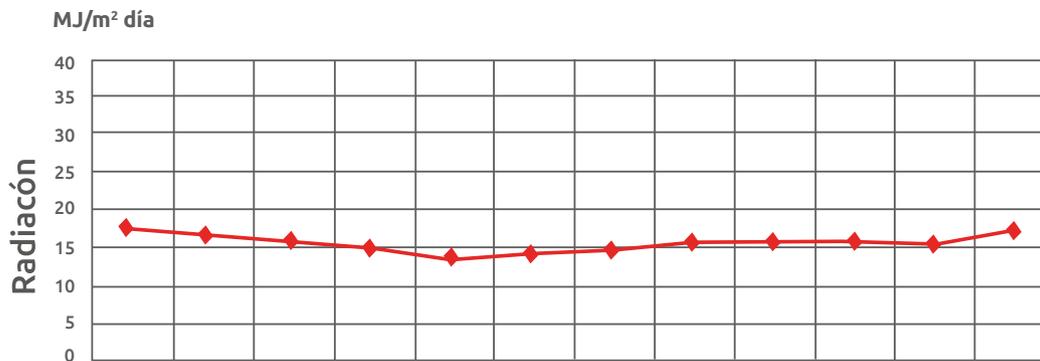


Figura 28. Gráfica de radiación en Bogotá.

Este análisis permite concluir que la oferta solar de Bogotá es más o menos constante durante todo el año para iluminación, calefacción (pasiva o activa) y generación de energía, para alcanzar el confort térmico al interior de un edificio. El diseño debe complementarse con el estudio de la carta estereográfica del lugar, para definir la orientación, implantación y diseño apropiado de los volúmenes, para el aprovechamiento de este recurso.

El análisis de temperaturas muestra una temperatura más o menos constante durante todo el año. Esto se debe a que Bogotá está ubicada en una latitud baja, cercana al Ecuador, y por lo tanto, no tiene estaciones. En general, la temperatura media se mantiene entre 12°C y 13°C sin importar la época del año a la que se haga referencia. Esto ubica a Bogotá dentro del piso térmico frío según la clasificación de Caldas (Figura 29).

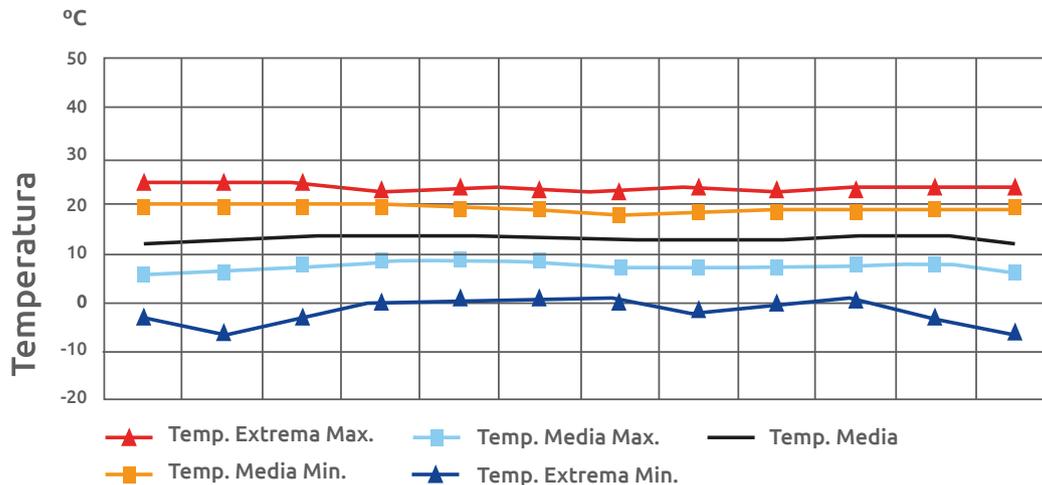


Figura 29. Gráfica de temperaturas en Bogotá.

En cuanto a la humedad relativa y la precipitación, se puede decir que Bogotá posee un clima muy húmedo. Esto debido a que, durante todos los meses, la humedad relativa media está alrededor del 80% y posee un régimen de precipitaciones que tiene dos picos en los meses de abril y octubre, lo que genera dos temporadas de lluvia bien diferenciadas, una en cada semestre del año.

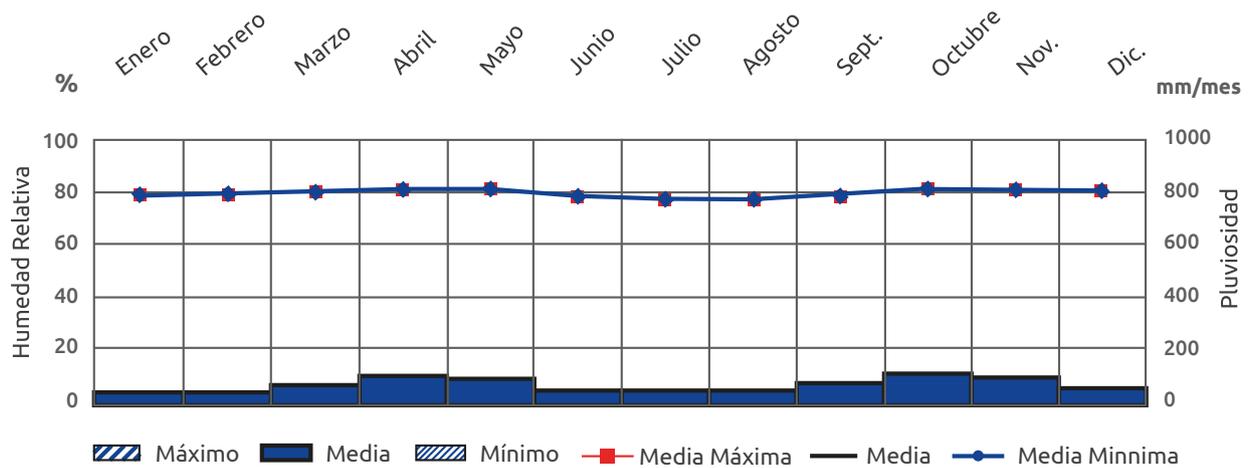


Figura 30. Gráfica de humedad relativa y pluviosidad en Bogotá.

### Pestaña 3 – Diagrama psicrométrico de Givoni:

Una vez realizado este primer análisis para comprender el comportamiento general de los elementos del clima del lugar, se puede proceder a la pestaña de nombre “Givoni”, donde se encuentra la carta psicrométrica. En esta pestaña, hay una tabla en la parte superior, en la que se llena automáticamente la información de temperatura, humedad y presión atmosférica por mes, según los datos ingresados en la primera pestaña (Tabla 12).

## Diagrama Psicrométrico (Givoni)

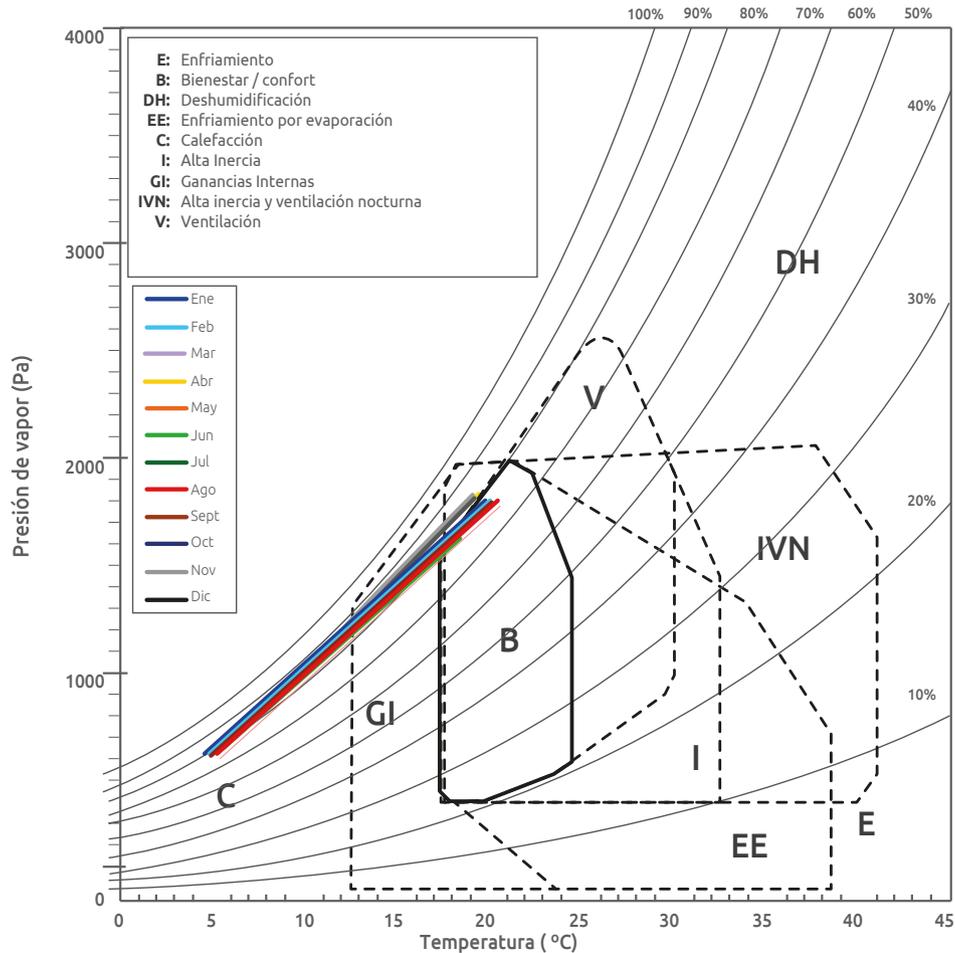
UBICACIÓN	BOGOTÁ
LONGITUD (°)	74
LATITUD(°)	4
ALTITUD (m)	2600

### Datos climáticos

Media mensual...	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Temp. Max.(°C)	19,9	19,9	19,9	19,5	19,2	18,7	18,3	18,6	19	19,2	19,3	19,5
HR Mín. (%)	79	80	81	82	82	79	78	78	79	82	83	81
Presión (Pa)	1834	1857	1880	1857	1823	1702	1639	1670	1734	1823	1856	1834
Temp. Mín. (°C)	5,5	6,4	7,6	8,5	8,7	8,3	7,7	7,3	7,1	7,6	7,9	6,3
HR Máx. (%)	79	80	81	82	82	79	78	78	79	82	83	81
Presión (Pa)	713	768	845	909	922	864	819	797	796	855	884	773

Tabla 12. Datos climáticos utilizados para producir la carta psicrométrica de Bogotá.

En la parte inferior, está la carta psicrométrica con los datos graficados sobre ésta. Allí, se distingue cada uno de los meses de estudio por color, y se puede identificar la “zona de confort o bienestar” (B), y las diferentes estrategias de diseño que se pueden utilizar para llevar todos los puntos que están fuera de la “zona de confort”, dentro de ésta (Figura 31).



**Figura 31.** Carta psicrométrica para Bogotá.  
Elaboración propia (basado en el formato del Laboratorio de Ambientes Sostenibles).

En el ejemplo, para Bogotá las dos estrategias dentro de las cuales se encuentran los datos de clima ingresados para Bogotá son ganancias de calor interno (GI) y calefacción (C), para los valores de menor temperatura.

El siguiente paso es identificar las posibles operaciones de diseño que se pueden utilizar, para lograr las ganancias de calor necesarias y elevar la temperatura hasta la “zona de confort”.

Las ganancias internas dependen del uso del espacio. Por lo tanto, es necesario tener en cuenta cuál va a ser la ocupación del espacio a diseñar, y qué tipo de equipos se van a colocar en su interior. Por ejemplo, en una sala de computadores de alto uso, las ganancias internas generadas por el calor irradiado por los equipos y los usuarios, pueden llegar a ser muy altas. Estas ganancias internas se pueden tener en cuenta para llegar a la “zona de confort” deseada, sin el uso de sistemas de calefacción auxiliares.

La estrategia de calefacción también se puede suplir mediante operaciones de diseño, o utilizando sistemas de calefacción pasivos o activos.

Dentro de los sistemas pasivos, en Bogotá es común encontrar ganancias de calor directas mediante ventanales bien orientados. Otras técnicas que se podrían utilizar, pero que no son tan comunes en esta misma ciudad, son los muros acumuladores, los muros trombe o los invernaderos, como sistemas pasivos. En Bogotá, no es común encontrar sistemas activos de calefacción del ambiente interior, puesto que las necesidades de calefacción se pueden suplir en su gran mayoría con sistemas pasivos.

Otro ítem a tener en cuenta es que las variaciones de temperatura introducidas para generar la gráfica no distinguen la variación diaria (día-noche) de la temperatura. Intuitivamente, se puede asegurar que las temperaturas mínimas mostradas en la gráfica, corresponden a las temperaturas de la noche. Así, es posible entender por qué las estrategias de calefacción utilizadas en Bogotá son sencillas. Se toma en cuenta que durante las horas de mas frío, es decir, las horas donde sería necesario utilizar sistemas de calefacción, la población se encuentra durmiendo y el confort se logra mediante la vestimenta o arrojándose para dormir.

### **Pestañas 4 y 5 – Datos y Resultados Mahoney:**

Una vez revisada la carta psicrométrica, y propuestas algunas estrategias de diseño iniciales, se puede pasar a la pestaña catalogada como “Resultados Mahoney”. En esta pestaña, se encuentra una tabla donde se proponen una serie de operaciones de diseño más específicas, que pueden ser útiles para alcanzar la “zona de confort”.

La tabla de Mahoney utiliza los datos de temperatura, humedad, pluviosidad y ventilación ingresados en la primera pestaña para producir sus resultados. Si se quiere conocer la forma de clasificación utilizada para la selección de estas operaciones, se puede consultar la pestaña “Datos Mahoney”, la cual no se debe modificar (*Tabla 13*).

En el ejemplo para Bogotá, la tabla arroja diferentes operaciones de diseño por componente, que pueden ser útiles para alcanzar el confort en los espacios interiores (*Tabla 14*). Es de anotar, que todas estas estrategias se deben evaluar a la luz de las especificidades de cada proyecto en cuanto a uso, condiciones interiores deseadas, buenas prácticas locales, materiales disponibles, etc.

En cuanto al emplazamiento, la tabla indica que se debe tratar de orientar los volúmenes norte-sur, alineados con el eje este-oeste.

Lo anterior permite que los espacios interiores reciban luz y radiación solar indirecta durante todo el día. Esto tiene que ver con el clima de Bogotá, puesto que al ser un clima frío, es deseable tener ganancias pasivas durante la mayor cantidad de horas al día.

Para la distribución espacial, se recomienda el diseño compacto, lo que también se relaciona con la reducción de pérdidas de calor interno en clima frío y con la reducción de la necesidad de calefacción en mayores volúmenes.

Sobre el movimiento de aire, se recomiendan recintos alineados en dos crujías que permitan la provisión temporal de aire en movimiento. Esto tiene relación con la renovación del aire interior, para mejorar la calidad de aire de los espacios, sin generar corrientes de aire incómodas.

Ubicación	BOGOTÁ															
Longitud	74°															
Latitud	4°															
	2600 m															
Altitud																
<b>Temperatura de Aire °C</b>	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Alta	TMA		
Media Máxima Mensual	19,9	19,9	19,9	19,5	19,2	18,7	18,3	18,6	19	19,2	19,3	19,5	19,9	12,7		
Media Mínima Mensual	5,5	6,4	7,6	8,5	8,7	8,3	7,7	7,3	7,1	7,6	7,9	6,3	5,5	14,4		
Rango Medio Mensual	14,4	13,5	12,3	11	10,5	10,4	10,6	11,3	11,9	11,6	11,4	13,2	Baja	RMA		
<b>Humedad Relativa%</b>	Ene	Feb	May	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		<30%		
Mensual Máx. AM	79	80	81	82	82	79	78	78	79	82	83	81	1	30-50%		
Media Mensual Mín. PM	79	80	81	82	82	79	78	78	79	82	83	81	2	50-70%		
Media	79	80	81	82	82	79	78	78	79	82	83	81	3	>70%		
Grupo según Humedad	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
<b>Lluvia y Viento</b>	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total			
Pluviometría mm	29,4	41,1	65,3	103	92,2	53,8	41,9	45,9	70	107	91,3	52,8	794			
Viento Predominante	W	NE	NE	NE	NE	NE	E	E	NE	NE	W	NE		N,NE,E,SE		
Viento Secundario	NE	E	W	E	E	E	NE	NE	E	E	NE	N		S,SW,W,NW		

<b>Diagnóstico °C</b>	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TMA				
Media Máxima mensual	19,9	19,9	19,9	19,5	19,2	18,7	18,3	18,6	19	19,2	19,3	19,5	12,7				
Confort Diurno Alto	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24					
Confort Diurno Bajo	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18					
Estrés Térmico Diurno	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O					
Media Mínima Mensual	5,5	6,4	7,6	8,5	8,7	8,3	7,7	7,3	7,1	7,6	7,9	6,3		H-Cálido (Hot)			
Confort Nocturno Alto	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18		C-Frío (Cold)			
Confort Nocturno Bajo	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		O-Bienestar/Confort			
Estrés Térmico Nocturno	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C					
	TMA >20°C				TMA 15-20°C				TMA 15°C				Para TMA=12,7				
<b>Límites Confortables</b>	Día		Noche		Día		Noche		Día		Noche		Día		Noche		
<b>Grupo según Humedad</b>	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto		A	B	B	A
1	26	34	17	25	23	32	14	23	21	30	12	21		21	30	12	21
2	25	31	17	24	22	30	14	22	20	27	12	20		20	27	12	20
3	23	29	17	23	21	28	14	21	19	26	12	19		19	26	12	19
4	22	27	17	21	20	25	14	20	18	24	12	18		18	24	12	18
<b>Siglas</b>	Indicador	Estrés Térmico		Puviometría		Grupo Humedad		Rango Mensual Promedio									
		Día	Noche														
Movimiento de Aire esencial	H1	H					4										
		H					2-3			>10°C							
Movimiento de Aire deseable	H2	O					4										
Protección necesaria de Lluvia	H3					>200 mm											

Capacidad Térmica necesaria	A1						1-3			>10°C							
Dormir al exterior	A2		H				1-2										
		H	O				1-2			>10°C							
Protección del Frío	A3	O															
Indicadores	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total				
H1																	
H2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0				
H3													12				
A1													0				
A2													0				
A3													0				

Tabla 13. Vista de la pestaña "Datos Mahoney" en el ejemplo.

En cuanto a aberturas y fenestración (ventanería), se recomiendan ventanas grandes que ocupen entre un 40% y un 80% de los muros. Esto tiene sentido, porque los grandes ventanales permiten las ganancias de calor pasivo y la buena iluminación de los espacios interiores. Igualmente, como en Bogotá la amplitud térmica no es muy alta, las pérdidas de calor durante la noche por estos ventanales no afectan demasiado el confort interior.

Se recomienda que estas aberturas estén localizadas arriba y en muros internos, para favorecer las ganancias de calor y el flujo de aire al interior. También, se propone excluir la luz solar directa, dado que durante el día las temperaturas se encuentran dentro de la “zona de confort”.

En cuanto a los muros, se recomiendan muros livianos con intervalos de retardo cortos. Esto quiere decir que los materiales a utilizar deben permitir que la radiación solar absorbida en forma de calor por los muros sea transferida al interior de los espacios en corto tiempo, ya que la temperatura exterior durante el día se acerca a la temperatura de confort; en la noche, se pueden utilizar otras estrategias para alcanzar el confort térmico.

Finalmente, en referencia a la techumbre o cubierta de los volúmenes, se recomienda una techumbre ligera y aislada. El aislamiento de la cubierta tiene que ver con la conservación de la temperatura interior, y con evitar el sobrecalentamiento de los espacios por exceso de ganancias por radiación solar. Todas estas recomendaciones constituyen parámetros de diseño a tener en cuenta desde el esquema básico, hasta el desarrollo detallado del proyecto.

Indicadores totales de hoja de datos de:						BOGOTÁ	
H1	H2	H3	A1	A2	A3		
<b>Emplazamiento</b>							
			0-10			<b>X</b>	Orientación norte y sur (alineada a eje este-oeste)
			11-12		5-12		Planificación compacta de patio interior
					0-14		
<b>Distribución Espacial</b>							
11-12							Espacios abiertos para penetración de brisas
2-10							Como arriba, pero con protección de viento frío y caliente
0-1						<b>X</b>	Diseño compacto de recintos
<b>Movimiento de aire</b>							
3-12							Recintos alineados en un solo lado , provisión permanente de aire en movimiento
1-2			0-5			<b>X</b>	Recintos alineados en dos lados , provisión temporal de movimiento en aire
			6-12				Sin requerimientos de movimiento de aire
0	2-12						
	0-1						
<b>Aberturas-Freneraciones</b>							
			0-1		0	<b>X</b>	Aberturas grandes. 40-80%
			11-12		0-1		Aberturas muy pequeñas, 10-20%
Cualquier otra condición							Aberturas medianas, 20-40%
<b>Muros</b>							
			0-12			<b>X</b>	Muros livianos, con intervalos de retardo cortos
			3-12				Muros internos y externos macisos
<b>Techumbre</b>							
			0-5			<b>X</b>	Ligera, Techumbre aislada
			6-12				Macisa, Techumbre, con intervalo de retardo de 8 hrs
<b>Dormir en el exterior</b>							
				2-12			Espacios para dormir en el exterior
<b>Protección Lluvia</b>							
		3-12					Protección necesaria a lluvia fuerte
<b>Tamaño de Aberturas</b>							
			0-1		0	<b>X</b>	Aberturas grandes, 40-80%
						1-12	
			2-5				

			6-10				Aberturas pequeñas, 15-25%
			11-12		0-3		Aberturas muy pequeñas, 10-20%
					4-12		Aberturas medianas, 25-40%
<b>Posición de Aberturas</b>							
3-12							En muros norte y sur, a la altura del cuerpo en la dirección del viento
1-12			0-15				
			6-12			X	Como arriba, también abertura en muros internos
0	2-12						
<b>Protección de Aberturas</b>							
					0-12	X	Luz directas solar excluída
		2-12					Proporcionar protección de la lluvia
<b>Muros y Pisos</b>							
			0-12			X	Livianos baja capacidad térmica
			3-12				Macisos, con intervalo de retardo de 8 horas
<b>Techumbre</b>							
10-12			0-2				Liviana superficie reflectante, perforada
			3-12			X	Liviana, bien aislada
0-9			0-5				
			6-12				Macisa, con intervalo de retardo de 8 horas
<b>Características externas</b>							
				1-12			Espacios para dormir en el exterior
		1-12					Adecuada evacuación de aguas lluvias

*Tabla 14. Datos Mahoney para Bogotá.*

## CONCLUSIONES GENERALES

---

El estudio del confort térmico es una herramienta básica para el diseño adecuado de los espacios. Por medio del entendimiento del clima, sus factores, elementos y las relaciones entre los mismos, el arquitecto puede tomar decisiones de diseño que beneficien el proyecto, y generen una sensación de bienestar en los usuarios.

La carta psicrométrica constituye un instrumento sencillo, que permite generar una lectura rápida de las condiciones de un lugar. Su utilidad reside en que proporciona una información clara para definir estrategias de diseño adecuadas, y que se adapten correctamente al clima, teniendo en cuenta las condiciones de temperatura y humedad existentes.

Otras herramientas como los resultados dados por las tablas de Mahoney, o las gráficas explicativas de radiación solar, precipitación, humedad, temperatura, la carta estereográfica, y la rosa de los vientos, sirven como complemento a la lectura de la carta psicrométrica. Deben consultarse para comprender integralmente las condiciones del lugar, y así generar criterios de diseño más acertados dentro del proyecto de arquitectura.

Los formatos del laboratorio de ambientes sostenibles para la construcción de la carta psicrométrica, proporcionan una herramienta pedagógica que ayuda al estudiante de arquitectura a comprender las relaciones entre clima y arquitectura; además también, le brindan recomendaciones de diseño validas de acuerdo al lugar de emplazamiento del proyecto.

# LISTA DE FIGURAS

---

- Figura 1.** Espectro de radiación solar. Elaboración propia (basado en IDEAM y UPME, 2005).
- Figura 2.** Clasificación de la radiación solar según como llega a la superficie de la tierra. La suma de las dos se conoce como radiación global.
- Figura 3.** Latitud y variaciones de clima.
- Figura 4.** Clasificación de Caldas - Pisos térmicos.
- Figura 5.** Intercambios de calor con el entorno. Elaboración propia (basado en Rosales 2006).
- Figura 6.** Pérdidas de calor sensible y latente en el cuerpo. Elaboración propia (basado en Visualizing Thermal Comfort, Arizona 9 State University y Rosales 2006).
- Figura 7.** Termómetro exterior.
- Figura 8.** Psicrómetro con dos termómetros: uno de bulbo seco, y uno de bulbo húmedo.
- Figura 9.** Termo-higrómetro digital.
- Figura 10.** Termómetro para medir temperaturas de bulbo negro.
- Figura 11.** Anemómetro de aspas.
- Figura 12.** Relación entre velocidad del aire y Temperatura y confort. (basado en Rosales, 2006).
- Figura 13.** Grado de aislamiento de la ropa en CLO.
- Figura 14.** Tasa de calor metabólico de diferentes actividades.
- Figura 15.** Líneas de temperatura.
- Figura 16.** Líneas de humedad. Elaboración propia.
- Figura 17.** Líneas de humedad relativa.
- Figura 18.** Línea de saturación de húmedas (100%).
- Figura 19.** Punto de rocío. Elaboración propia.

- Figura 20.** “Zonas de confort” ASHRAE-55 2004.
- Figura 21.** “Zona de confort” del formato del Laboratorio de Ambientes Sostenibles.
- Figura 22.** Valores por hora de clima de marzo a septiembre en Phoenix, Arizona. Elaboración propia con Climate Consultant.
- Figura 23.** Valores por hora de clima de septiembre a marzo en Phoenix, Arizona. Elaboración propia con Climate Consultant.
- Figura 24.** Comparación del clima de ciudades localizadas en diferentes zonas climáticas. (basado en Hausladen et al., 2012).
- Figura 25.** Procesos psicrométricos.
- Figura 26.** Estrategias de diseño. Elaboración propia con Climate Consultant.
- Figura 27.** Gráfica de luz solar en Bogotá.
- Figura 28.** Gráfica de radiación en Bogotá.
- Figura 29.** Gráfica de temperaturas en Bogotá.
- Figura 30.** Gráfica de humedad relativa y pluviosidad en Bogotá.
- Figura 31.** Carta psicrométrica para Bogotá. (basado en el formato del Laboratorio de Ambientes Sostenibles).

## LISTA DE TABLAS

---

- Tabla 1.** Clasificación climática de Lang.
- Tabla 2.** Clasificación climática Caldas-Lang.
- Tabla 3.** Aislamiento térmico de la ropa.
- Tabla 4.** Tasa de calor metabólico en función de la actividad.
- Tabla 5.** Datos de lugar.
- Tabla 6.** Cambio de unidades a de Kwh/m<sup>2</sup> a MJ.  
Elaboración propia.
- Tabla 7.** Análisis solar.
- Tabla 8.** Análisis de temperaturas.
- Tabla 9.** Análisis de precipitaciones.
- Tabla 10.** Análisis de humedad. Elaboración propia.
- Tabla 11.** Análisis de viento. Elaboración propia.
- Tabla 12.** Datos climáticos utilizados para producir la carta psicrométrica de Bogotá.
- Tabla 13.** Vista de la pestaña “Datos Mahoney” en el ejemplo.
- Tabla 14.** Datos Mahoney para Bogotá.

## BIBLIOGRAFÍA

---

**Energy Design Tools.** (2015) Climate Consultant 5.5. Recuperado de <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>

**Fuentes, V. (2011).** Grados-Día en Arquitectura. En A. Figueroa (Comp.) Estudios de Arquitectura Bioclimática Anuario 2011, Vol. X. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

**Hausladen, G., Saldanha, M. y Liedl, P.** (2012). Building to Suit the Climate: A Handbook. Basel: Birkhäuser.

**Hernández, J., Sáenz, E. and y Vallejo, W.** (2010). Estudio del recurso solar en la ciudad de Bogotá para el diseño de sistemas fotovoltaicos interconectados residenciales. Revista Colombiana de Física Vol. 42, N°. 2, 161–65.

**IDEAM y Alcaldía de Bogotá.** (s.f.). Estudio de la caracterización climática de Bogotá y la cuenca alta del río Tunjuelo. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/020702/CARACTERIZACIONCLIMATICOCORRECCIONFOPAECDDpublicacionMA.pdf>

**IDEAM y UPME.** (2005). Atlas de Radiación Solar de Colombia. Recuperado de [http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas\\_Radiacion\\_Solar/1-Atlas\\_Radiacion\\_Solar.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/1-Atlas_Radiacion_Solar.pdf)

**IDEAM.** (2005). Atlas Climatológico Nacional (Vol. 1 y 2). Bogotá, Imprenta Nacional de Colombia.

**IDEAM.** (2 de octubre de 2015). Meteorología Aeronáutica. Climatología de los principales aeropuertos. Recuperado de <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/climatol.htm>

**Kvisgaard, B.** (2000). La comodidad térmica. Manuel Martín (Trad.). Recuperado de <http://editorial.cda.ulpgc.es/ftp/icaro/Anexos/2-%20CALOR/1-Comodidad/C.6.1%20La%20Comodidad%20Termica-INNOVA.pdf>

\_\_\_\_\_. (2000). Aislamiento térmico de la ropa [Tabla]. Recuperado de <http://editorial.cda.ulpgc.es/ftp/icaro/Anexos/2-%20CALOR/1-Comodidad/C.6.1%20La%20Comodidad%20Termica-INNOVA.pdf>

**MINAE, IMN, y Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas.** (2013). Series de Brillo Solar en Costa Rica. Recuperado de: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Series+de+Brillo+Solar+en+Costa+Rica>

**PCE-Instruments.** (2015). Termómetro para medir temperaturas de bulbo negro [Figura]. Recuperado de <https://www.pce-instruments.com>

**PCWI** (2015). Psicrómetro con dos termómetros: uno de bulbo seco, y uno de bulbo húmedo [Figura]. Recuperado de <http://www.pcwi.com.au/>

**Rosales, L.** (Abril, 2006). Confort Térmico. Recuperado de <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZG-VmYXVsdGRvbWFpbm98Z3g6MTNlOTI1MmM5M2UzMTliNg>

\_\_\_\_\_. (Abril, 2006). Tasa de calor metabólico en función de la actividad [Tabla]. Recuperado de <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZG-VmYXVsdGRvbWFpbm98Z3g6MTNlOTI1MmM5M2UzMTliNg>

**Sin Autor.** (1 de julio, 2015). Tasa de calor metabólico en función de la actividad [Tabla]. Recuperado de <http://www.geneticsolutions.cl/tabla-de-mets/>

**Sperdirect.** (2015). Anemómetro de aspas [Figura]. Recuperado de <http://www.sperdirect.com/>

**Valencia, S.** (s.f.). Clasificación climática de Lang [Tabla]. Recuperado de [http://www-cpsv.upc.es/tesines/presentaciosig\\_svalencia.pdf](http://www-cpsv.upc.es/tesines/presentaciosig_svalencia.pdf)

\_\_\_\_\_. (s.f.). Clasificación climática Caldas-Lang [Tabla]. Recuperado de [http://www-cpsv.upc.es/tesines/presentaciosig\\_svalencia.pdf](http://www-cpsv.upc.es/tesines/presentaciosig_svalencia.pdf)

**Vallejo, W. A., Hernández, J., Sáenz, E.** (2010). Estudio del Recurso Solar en la Ciudad de Bogotá para el Diseño de Sistemas Fotovoltaicos Interconectados Residenciales. Revista Colombiana de Física, Vol. 42, N°2, 161-165.

**Weather Station Products.** (2015). Termómetro exterior [Figura]. Recuperado de <http://www.weather-station-products.co.uk>

\_\_\_\_\_. (2015). Termo-higrómetro digital [Figura]. Recuperado de <http://assets.tb.weather-station-products.co.uk/>



[www.unipiloto.edu.co](http://www.unipiloto.edu.co)