



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Bogotá

PRINCIPIOS DE SOSTENIBILIDAD

MÓDULO 4

Confort



MAESTRÍA EN
INNOVACIÓN EN LA
CONSTRUCCIÓN

• M I N N O C •



Módulo 4. Confort

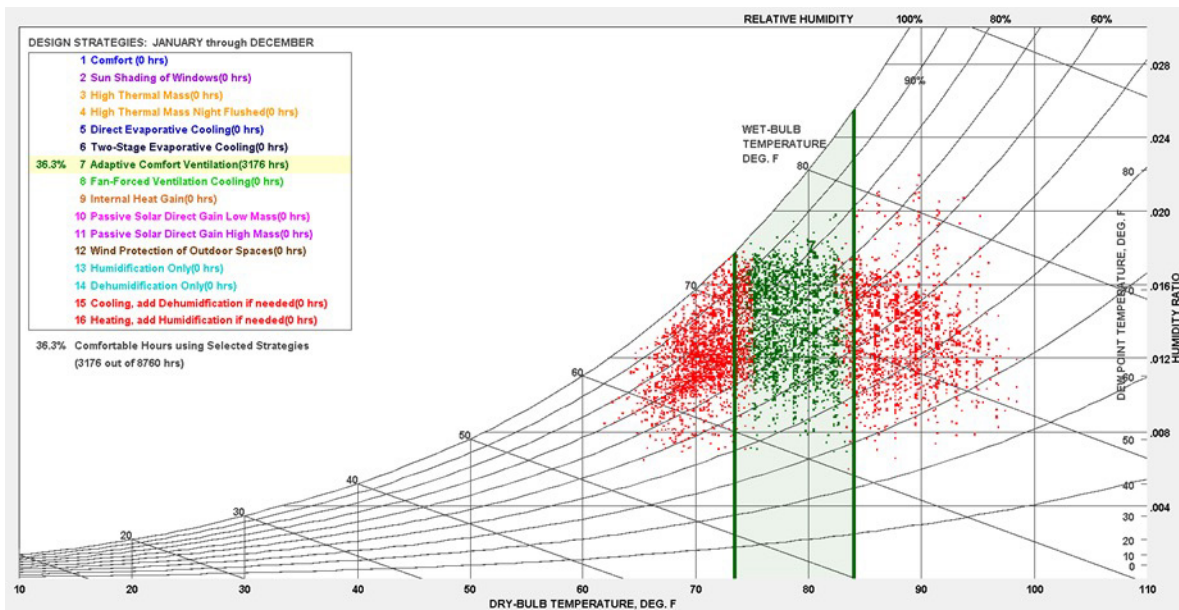
Unidad 10: Parámetros de confort térmico, lumínico y acústico

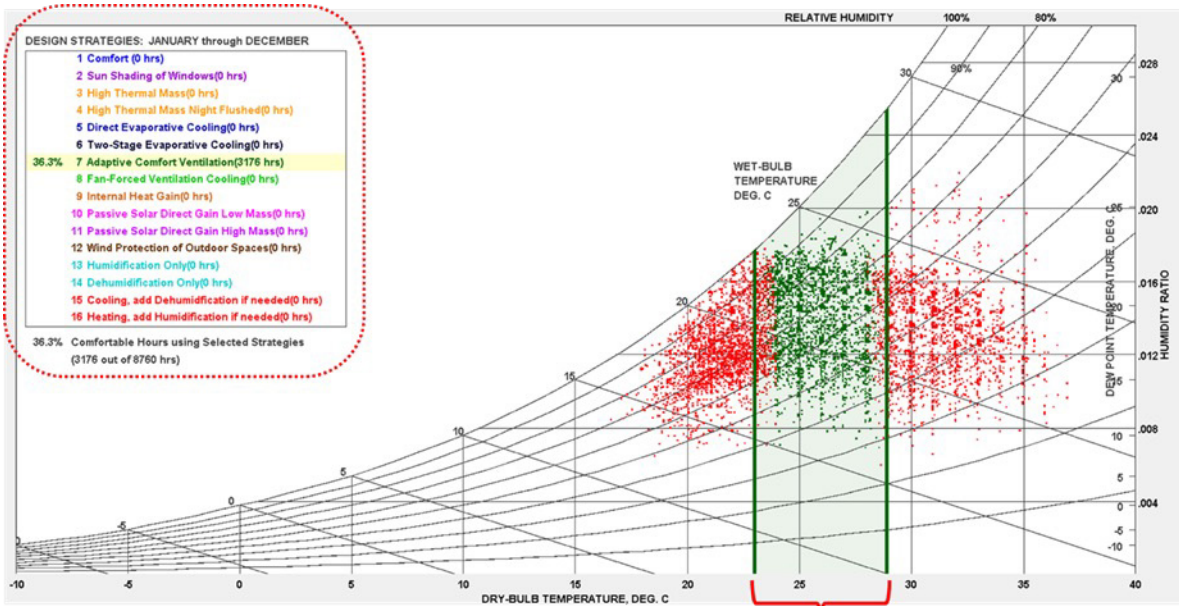
Cartas psicrométricas

Una de las herramientas más implementadas en fases iniciales de diseño en el ámbito del confort térmico son las cartas psicrométricas. Estas son diagramas gráficos que representan las propiedades termodinámicas del aire húmedo (Tartarini, 2020). Se utilizan para definir zonas de confort y expresar la relación entre la zona de confort y las temperaturas medias del clima. Esto, a su vez, facilita la definición de estrategias de diseño pasivo apropiadas. Por ejemplo, el método gráfico del Estándar ASHRAE 55 emplea un diagrama psicrométrico para delimitar dos zonas de confort, una para invierno y otra para verano, basadas en la temperatura operativa y la humedad ambiental, indicando los rangos en los que la mayoría de las personas se sentirían confortables (Ordóñez, 2021).

Figura 9.

Carta psicrométrica generada para la ciudad de Neiva en el software Climate Consultant. Indicando sus elementos más importantes para facilitar su comprensión. Nota. Imagen creada con el software "Climate Consultant". Intervención propia.





Zona de confort
 (Adaptativo)

DESIGN STRATEGIES: JANUARY through DECEMBER

- 1 Comfort (0 hrs)
- 2 Sun Shading of Windows(0 hrs)
- 3 High Thermal Mass(0 hrs)
- 4 High Thermal Mass Night Flushed(0 hrs)
- 5 Direct Evaporative Cooling(0 hrs)
- 6 Two-Stage Evaporative Cooling(0 hrs)
- 36.3% 7 Adaptive Comfort Ventilation(3176 hrs)
- 8 Fan-Forced Ventilation Cooling(0 hrs)
- 9 Internal Heat Gain(0 hrs)
- 10 Passive Solar Direct Gain Low Mass(0 hrs)
- 11 Passive Solar Direct Gain High Mass(0 hrs)
- 12 Wind Protection of Outdoor Spaces(0 hrs)
- 13 Humidification Only(0 hrs)
- 14 Dehumidification Only(0 hrs)
- 15 Cooling, add Dehumidification if needed(0 hrs)
- 16 Heating, add Humidification if needed(0 hrs)

36.3% Comfortable Hours using Selected Strategies
 (3176 out of 8760 hrs)

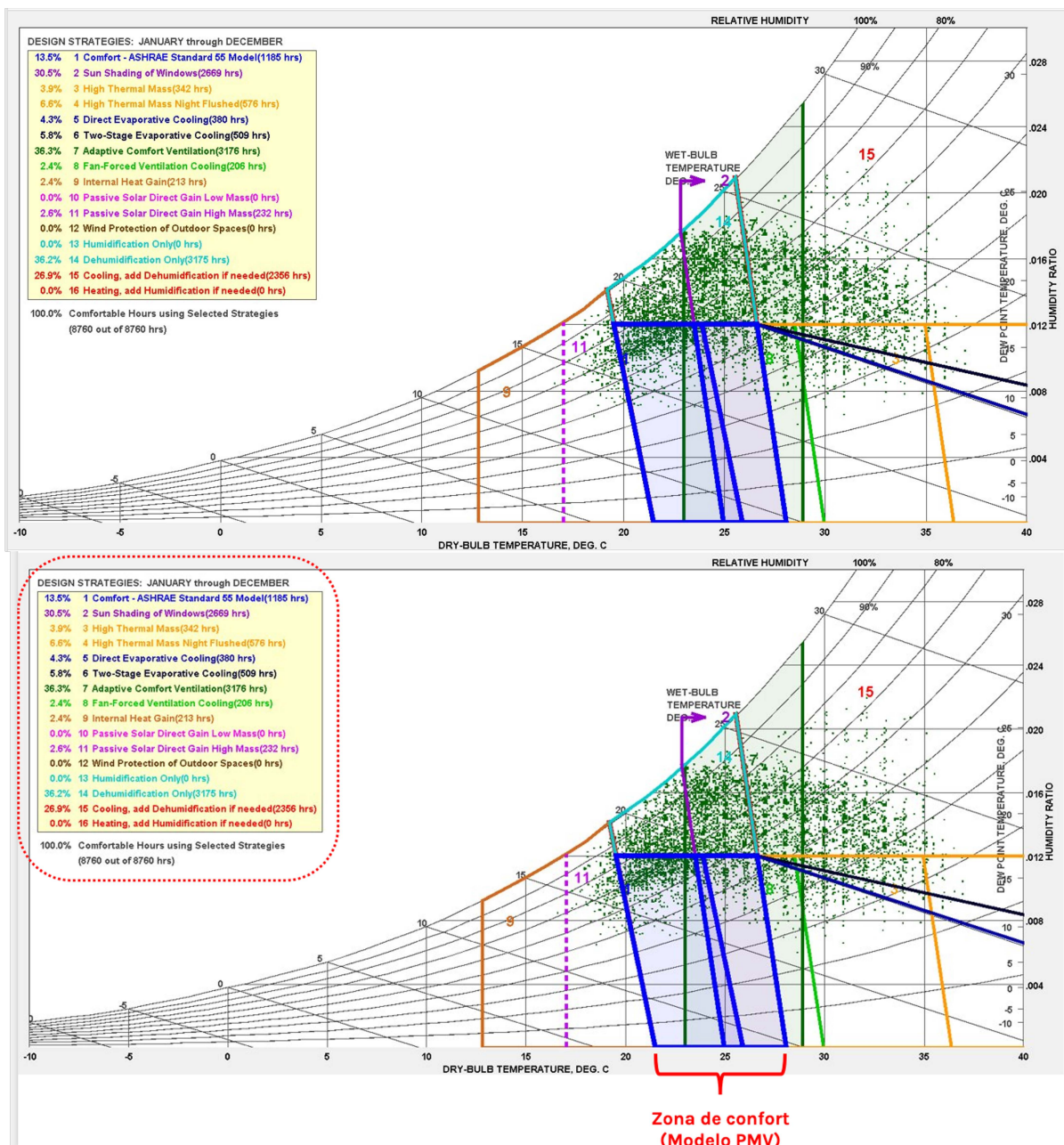
Indica que, bajo las condiciones climáticas sin hacer ninguna intervención, se puede alcanzar un 36,3% del tiempo en confort simplemente ventilando. Esto bajo el estándar de confort adaptativo.

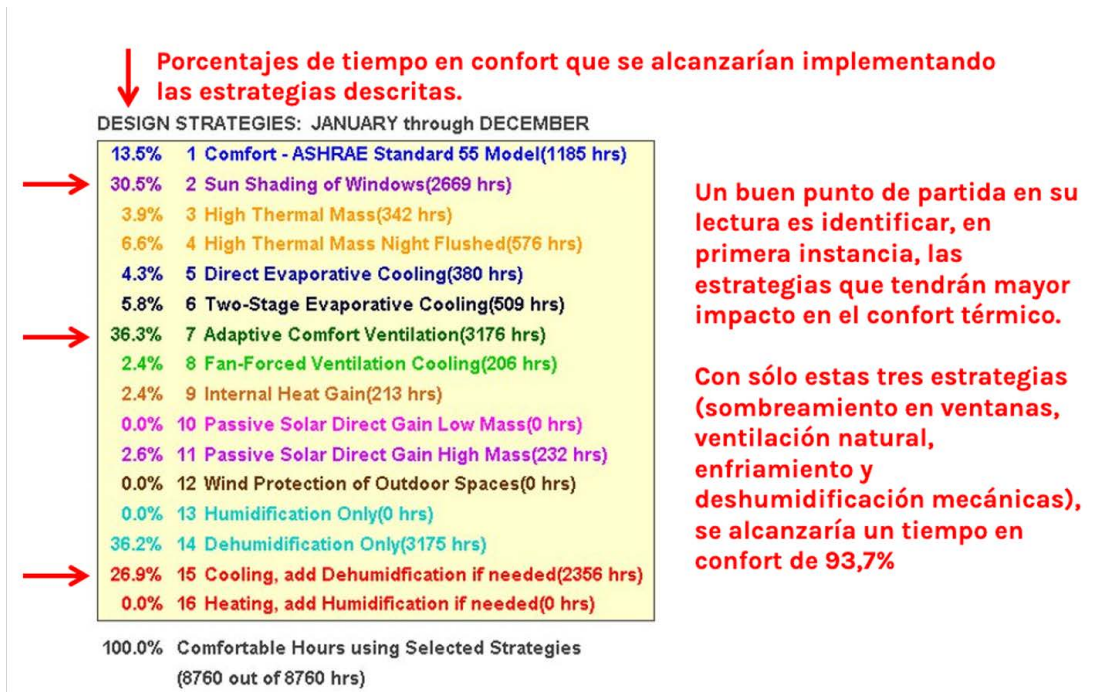
Nota. Imagen creada con el software "Climate Consultant". Intervención propia.

Asimismo, otra herramienta gráfica similar es el *diagrama bioclimático de Givoni*, ampliamente conocido. Este es una herramienta útil para identificar estrategias de diseño pasivo que se adapten al clima local. Este diagrama permite analizar parámetros climáticos como la temperatura y la humedad para comprender cómo aprovechar o mitigar las condiciones ambientales, por ejemplo, mediante ganancias internas o ventilación, y así mantener el confort dentro de los espacios (Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), 2012).

Figura 10.

Carta psicrométrica generada para la ciudad de Neiva, con el software Climate Consultant. Su implementación se **basa en el trabajo de Baruch Givoni y Murray Milne**, el cual a su vez tiene raíces en los planteamientos de Victor Olgyay. Se indican sus elementos más importantes para facilitar su comprensión.





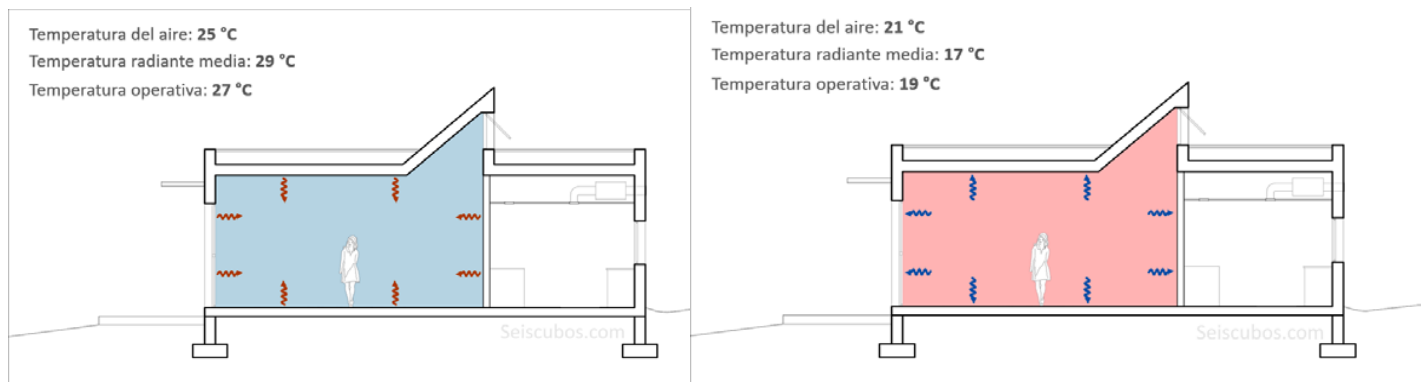
Nota. Imagen producida con el software "Climate Consultant". Intervención propia.

Unidades de medida e Indicadores para su evaluación

Para evaluar el confort térmico, se utilizan diversas unidades e indicadores, a continuación, se enuncian y describen:

Figura 11.

Ejemplos de temperaturas operativas en verano (izquierda) e invierno (derecha).

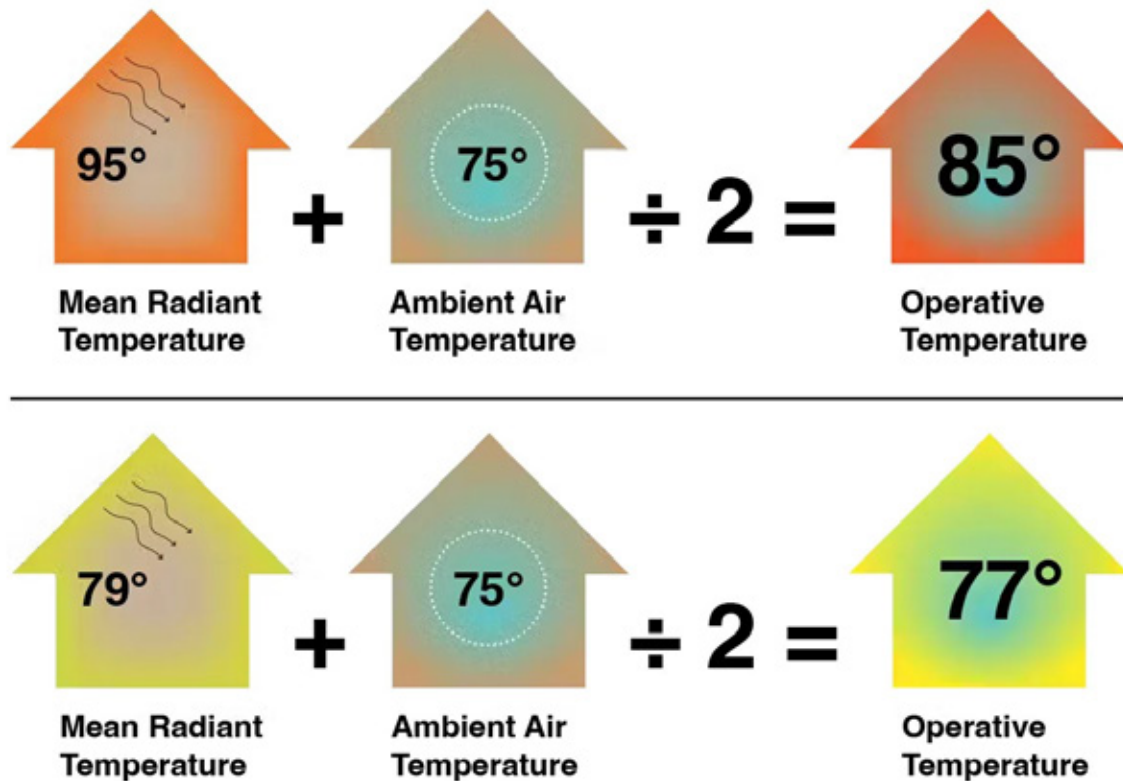


La Figura 11 muestra dos ejemplos hipotéticos, uno en verano (izquierda) y otro en invierno (derecha). En el primer caso, el sistema de refrigeración mantiene la temperatura del aire en 25 °C, pero la elevada temperatura de algunas superficies produce una temperatura radiante media de 29 °C. La temperatura operativa (la que sentirán las personas) es de 27 °C. En el segundo caso se invierte la situación. El sistema de calefacción mantiene la temperatura del aire en 21 °C, pero la temperatura radiante media es de 17 °C. Como resultado, la temperatura operativa será cercana a los 19 °C.

Nota. Imagen tomada de Ordóñez, 2021. (Disponible aquí).

Figura 12.

Gráfico que ejemplifica cómo impacta la temperatura radiante sobre el confort térmico (el cual es definido por la temperatura operativa).



Nota. Imagen tomada de Scientific American ([disponible aquí](#)).

- **Temperatura del aire (Ta):** temperatura del aire que rodea al ocupante. Se mide en grados Celsius (°C) (Dirección de Arquitectura Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile, 2015). Es la sensación que percibes en la piel cuando esta entra en contacto con el frío o el calor; se percibe en el aire, ya sea al entrar a una habitación o al salir a la calle.
- **Temperatura radiante (Tr):** la temperatura radiante media (MRT) se refiere a la temperatura media de las superficies del recinto que rodean al ocupante. Cuando se habla de la temperatura interior de un recinto, se debe considerar la temperatura del aire y la temperatura radiante de los muros (Agencia Chilena de Eficiencia Energética [ACH EE], 2012). Por ejemplo, es cuando sientes calor al estar cerca de una ventana a la que está llegando radiación solar, aunque el aire a tu alrededor esté fresco.

- **Temperatura Operativa (To):** en edificios pasivos o acondicionados naturalmente, la temperatura operativa interior puede calcularse de manera simplificada como el promedio de la temperatura del aire y la temperatura radiante media. Este criterio es válido sobre todo si la velocidad relativa del aire es baja (< 0.2 m/s) o si la diferencia entre la temperatura seca del aire y la temperatura radiante media es reducida ($< 4^{\circ}\text{C}$) (Ordóñez García, 2021) Es la temperatura de diseño o consigna para sistemas activos y pasivos (Dirección de Arquitectura Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile, 2015), es decir, es la temperatura que se considera para definir el confort térmico en un espacio. Por ejemplo, según el estándar ASHRAE 55, en una ciudad de clima templado como Medellín, donde la temperatura promedio es de $23,3^{\circ}\text{C}$, el rango de confort térmico se establece entre $22,5^{\circ}\text{C}$ y $27,5^{\circ}\text{C}$ de temperatura operativa en interiores.
- **Humedad Relativa (HR):** se refiere a la relación entre la cantidad de vapor de agua contenida en el aire a una determinada temperatura y la máxima cantidad de vapor de agua que puede contener el aire a esa misma temperatura, expresándose en porcentaje (%) (Dirección de Arquitectura Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile, 2015). ASHRAE 55 no establece un límite inferior de humedad, pero advierte que valores muy bajos pueden causar molestias como resequedad en la piel, irritación de las mucosas y ojos secos. En condiciones de baja temperatura, la humedad relativa podría llegar al 80 %, aunque se recomienda mantenerla por debajo del 65 %, según ASHRAE 62.1, para evitar riesgos de crecimiento microbiano.
- **Velocidad del aire:** se mide en metros por segundo (m/s). En espacios interiores, velocidades entre 0,1 y 0,3 m/s se consideran adecuadas para mantener el confort térmico bajo condiciones normales (ISO 7730:2005). En climas cálidos, velocidades de hasta 1,0 m/s pueden ser toleradas si los usuarios tienen capacidad de control, como ventanas operables o ventiladores personales (ASHRAE, 2023).
- **Tasa metabólica:** se refiere a la transformación de energía por actividades metabólicas del cuerpo. Su unidad de medida es el MET, donde 1 MET expresa a la energía generada por una persona en reposo, equivalente a $58,2\text{ W/m}^2$. (Agencia Chilena de Eficiencia Energética [AChEE], 2012).
- **Nivel de aislamiento de la vestimenta:** la ropa tiene un efecto de aislación térmica que reduce las pérdidas o ganancias de calor. Este efecto se cuantifica a través de la unidad de medida CLO , donde 1 CLO es equivalente a $0,155\text{ m}^2\text{C/W}$. La escala está definida de manera que una persona desnuda tiene un valor de clo de 0,0 y una persona con terno tiene un valor de 1,0. (Agencia Chilena de Eficiencia Energética [AChEE], 2012).

- **Zona de confort:** corresponde al rango de temperaturas que, en combinación con los otros factores mencionados, permite a la mayoría de las personas sentirse confortables. Este rango se enmarca en lo que se conoce como "zona de confort" (Agencia Chilena de Eficiencia Energética [AChEE], 2012). Se podrían destacar dos métodos para su definición, de acuerdo con las condiciones del espacio a evaluar. Si cuenta con estrategias activas o si opera bajo un régimen pasivo. Se podrían destacar dos métodos para su definición, de acuerdo con las condiciones del espacio a evaluar. Si cuenta con estrategias activas o si opera bajo un régimen pasivo.
- **Modelo de confort de Fanger (modelo matemático):** el modelo de confort de Fanger es un modelo matemático desarrollado en la década de 1960 que busca predecir cómo perciben las personas el confort térmico en un espacio. Fue elaborado a partir de experimentos en cámaras climatizadas, donde voluntarios indicaban su nivel de confort en distintas condiciones ambientales. A partir de estos datos, se construyó una fórmula que relaciona variables físicas del ambiente (como temperatura del aire, humedad, velocidad del aire y temperatura radiante) con factores fisiológicos (como la actividad metabólica y el tipo de ropa). Este modelo, considerado uno de los más conocidos y aplicados en normativas como ASHRAE 55, entrega dos indicadores clave: el Voto Medio Previsto (PMV), que estima la sensación térmica promedio de un grupo de personas, y el Porcentaje de Personas en Disconfort (PPD), que estima cuántas personas no se sentirán térmicamente cómodas en esas condiciones (Ordóñez, 2021).



Saber más

En el siguiente enlace podrás conocer más sobre este modelo, su método de cálculo y cómo se originó ([disponible aquí](#)).

- **PMV (Voto Medio Previsto) y PPD (Porcentaje de Personas Insatisfechas):** son indicadores clave, basados en un modelo de predicción de la sensación térmica. El PMV es un índice que estima el promedio del voto térmico que daría un grupo de personas en un espacio determinado, en una escala que va de -3 (frío extremo) a +3 (calor extremo). Este índice se calcula a partir de seis variables: temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire, humedad relativa, tasa metabólica y nivel de aislamiento de la ropa. A partir del PMV se deriva el PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), que estima el porcentaje de personas que probablemente estarán insatisfechas térmicamente en ese ambiente, incluso cuando el promedio PMV se encuentra dentro del rango de confort aceptable (Tartarini, 2020).



Saber más

En el siguiente enlace podrás conocer más información sobre el **PMV Model** ([disponible aquí](#)).

- **Modelo de confort adaptativo (modelo estático):** para edificios pasivos o acondicionados naturalmente, ASHRAE 55 incluye un método de confort adaptativo. Este modelo se basa en la ecuación de confort adaptativo desarrollada por Dear. Considera que los rangos de temperaturas interiores aceptables están relacionados con las temperaturas medias exteriores, lo que permite la adaptación de los ocupantes al clima local. Las temperaturas operativas límite para este método se definen añadiendo $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$ o $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ a la temperatura de confort, para porcentajes de aceptabilidad del 80 % y 90 %, respectivamente. Es importante tener en cuenta que este método solo aplica para niveles de actividad entre 1,0 y 1,3 MET, y para ocupantes con vestimenta cuyo nivel de aislamiento está entre 0,5 y 1,0 clo. Asimismo, sólo se puede aplicar en casos en los que la temperatura media mensual del aire exterior es inferior a 10°C o superior a $33,5^{\circ}\text{C}$ (Ordóñez, 2021).



Saber más

- Para más información, accede al video en el siguiente enlace: Adaptive method ASHRAE 55 - CBE thermal comfort tool (d: 2:23 mins) ([disponible aquí](#)).
- Igualmente, en el siguiente enlace podrás conocer más sobre este modelo, su método de cálculo y cómo se originó ([disponible aquí](#)).

- **Frecuencia de Temperatura Operativa (Ft) y Frecuencia de Humedad Relativa (Fhr):** representan el porcentaje de tiempo en que la temperatura o humedad de un recinto se mantiene dentro de la zona de confort definida por un límite inferior y superior (Dirección de Arquitectura Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile, 2015). Por ejemplo, de acuerdo con el sistema de certificación CASA Colombia, un espacio cuya temperatura se encuentre al menos el 80 % del tiempo o más, se considera un espacio confortable térmicamente.