

La Habitación del Artista en Arles,
Vincent Van Gogh.

Capítulo 5.

Zona Variable de Confort Térmico,
Modelo Propuesto.

5.0. Introducción.

La percepción del ambiente y el confort térmico no es algo que dependa únicamente de los parámetros ambientales, es decir, de la temperatura del aire, la humedad relativa, velocidad del aire, temperatura radiante. Es un fenómeno que incluye muchos más factores del entorno ya sea interior o exterior y del sujeto que percibe estos parámetros y de su relación física y psicológica con el ambiente. Incluso habría que considerar factores culturales y sociales, tales como costumbres en el atuendo y en los hábitos al usar el espacio, incluso en la alimentación.

El confort térmico está influido también por el estado térmico del sujeto, esto es, que cantidad de calor está produciendo como residuo de la actividad física que esté desarrollando en el momento, o sea la tasa de metabolismo muscular, además del calor producido por la oxidación de los alimentos, metabolismo basal.

Al aumentar la producción interna de calor aumenta la temperatura corporal lo que al estar en un entorno frío hará que esta circunstancia sea más tolerable al compensar las pérdidas de calor debidas al diferencial térmico entre el entorno y el individuo, pero en las mismas circunstancias de mayor producción interna de calor en un entorno cálido la percepción será de calor al existir un gradiente térmico menor lo que disminuye el flujo de calor hacia el ambiente.

Lo anterior y algunos puntos más que se desarrollarán más adelante, deben ser considerados cuando queremos crear o evaluar un ambiente térmicamente confortable.

Muchos de los índices de confort térmico más usados hasta hoy se han basado en estudios hechos en cámaras climáticas en donde se controlan y se miden los parámetros ambientales interiores. Los usuarios tienen unas características muy uniformes, es decir, son jóvenes sanos, de la misma procedencia geográfica, la actividad que realizan durante la estancia en la cámara climática también es

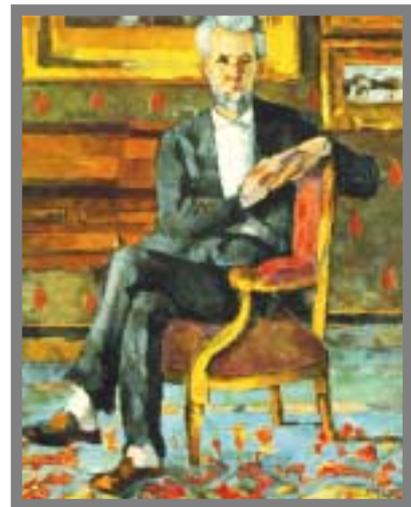


Figura 51.
Sujeto en un Entorno Artificial.

uniforme y controlada, es decir, las condiciones generales no son lo que podríamos considerar reales, en el sentido de que no son las condiciones en las que habitualmente se trabaja, por lo que las consideraciones de estos índices son parciales y su aplicación también se vuelve limitada.

Por todo esto deberíamos replantearnos algunas cuestiones como: ¿qué es el confort?, ¿el confort es algo que podemos determinar de forma general?, ¿es algo constante?, o es algo que se debe definir de manera particular y que cambia con el lugar, el tiempo, pensando en el tiempo, en las escalas horarias, diarias, estacionales, anuales, etc.

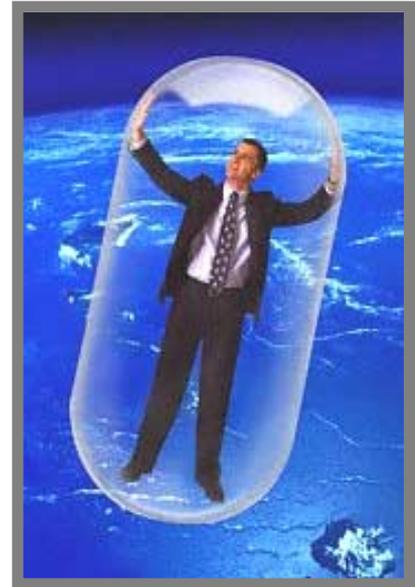


Figura 52. Hombre Aislado del Entorno.

5.1. Parámetros y Factores que Determinan la Zona Variable de Confort Térmico.

En el presente trabajo se tiene como objetivo central el planteamiento de un modelo de la zona de confort térmico que permita indicar o evaluar el confort térmico de un espacio en unas condiciones más cercanas a la realidad, tomando en cuenta un espectro más amplio de variables del entorno y del usuario.

Dicho modelo se denominará "Zona Variable de Confort Térmico", esta zona tendrá la característica principal de no ser una zona fija ni constante; es decir, dependiendo de la situación del entorno físico, de las características del ocupante y de la interacción entre el entorno y el ocupante la zona de confort se desplazará hacia temperaturas más altas o más bajas o se estrechará en uno o en ambos sentidos, modificándose también de forma similar con relación a la humedad relativa.

En este capítulo se definirán cada una de las variables que se incluyen en el modelo de la zona de confort térmico y se planteará el método que se usará para evaluar cada una de ellas y como se integrarán en el modelo.

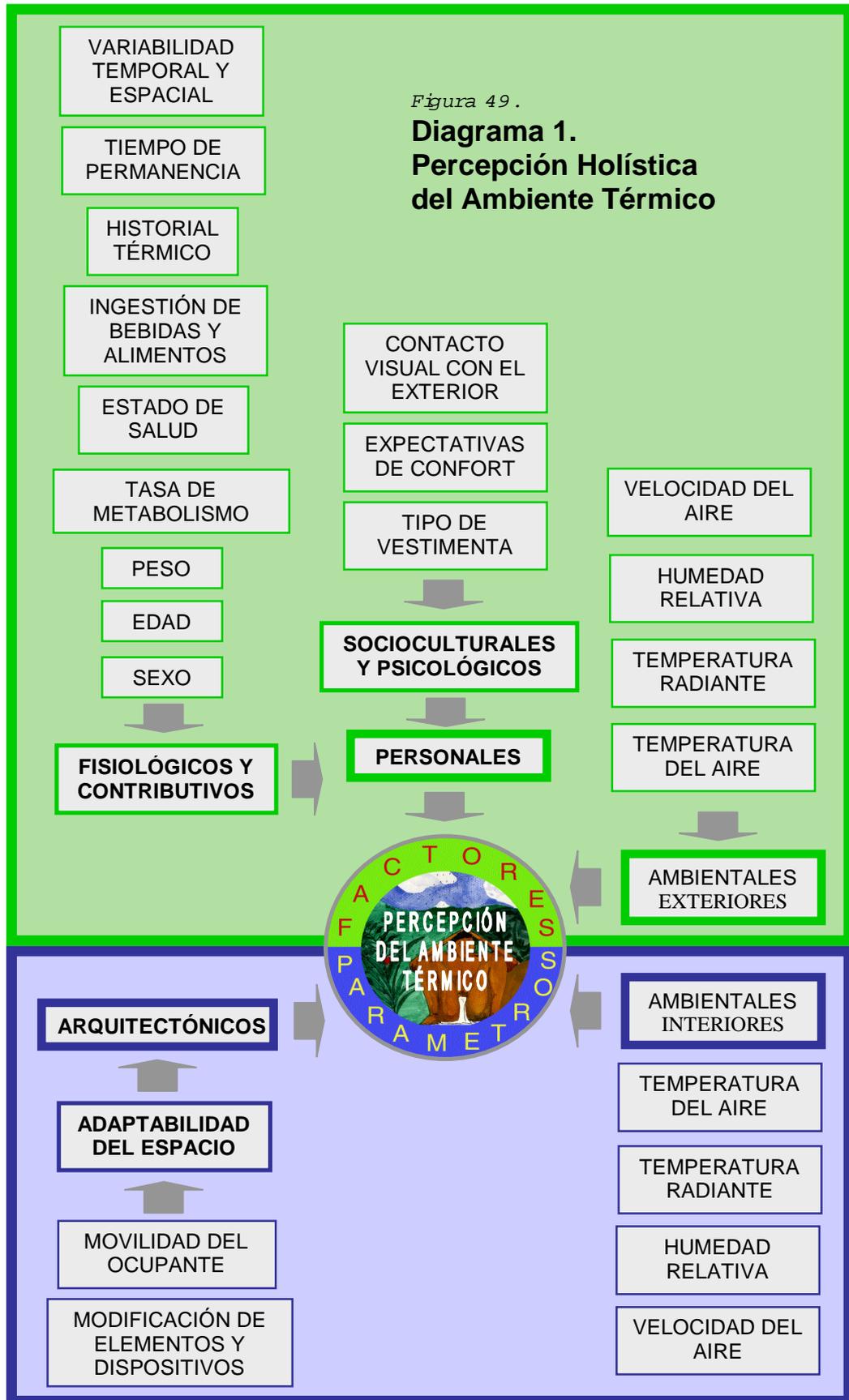
Estas variables se clasificarán en factores y parámetros, (Serra-Coch 1991)[24]. Esta clasificación se hace desde el punto de vista del

diseñador del espacio, los parámetros serán aquellas variables que son decididas por el diseñador y los factores serán las variables que no dependen del diseñador sino que son dadas por las condiciones climáticas del lugar y por las características del usuario.

A continuación se muestra una tabla en la que se presentan cada uno de los parámetros ambientales y factores personales del usuario del espacio que se proponen para ser considerados en el planteamiento del modelo de la zona de confort térmico.

Tabla de Factores y Parámetros que determinan el confort térmico.

F A C T O R E S	Ambientales	Exteriores	Temperatura del Aire
			Temperatura Radiante
			Humedad Relativa
			Velocidad del Aire
	Personales	Fisiológicos y Contributivos	Sexo
			Edad
			Peso
			Tasa de Metabolismo Basal Muscular (Nivel de Actividad)
			Estado de Salud
			Intercambio de Calor por Ingestión de Bebidas y Alimentos
			Historial Térmico Inmediato Mediato
			Tiempo de Permanencia
			Variabilidad Temporal y Espacial de los Estímulos Físicos Ambientales
			Socioculturales y Psicológicos
Expectativas de Confort			
Contacto Visual con el Exterior			
P A R Á M E T R O S	Ambientales	Interiores	Temperatura del Aire
			Temperatura Radiante
			Humedad Relativa
			Velocidad del Aire
	Arquitectónicos	Adaptabilidad del Espacio	Movilidad del Ocupante dentro del Espacio.
			Modificación de Elementos y Dispositivos de Control Ambiental.



La percepción del entorno físico la realiza el ser humano de una manera holística, es decir, de una manera integral, haciendo una evaluación de todos los estímulos percibidos en el momento. Es cierto que aun percibiendo unas condiciones de confort general podemos saber que tenemos frío en los pies o en cualquier punto localizado del cuerpo o calor en un brazo en el que incide la irradiación solar. Por esto tenemos que intentar proponer un modelo que considere y evalúe integralmente todos estos estímulos físicos, las condiciones, necesidades y preferencias del ocupante del espacio.

5.2. Factores Ambientales.

Los factores ambientales exteriores son las variables que definen las características físicas del ambiente exterior de un edificio, es decir el clima local.

5.2.1. Temperatura Exterior del Aire.

El hecho de incluir en el modelo el dato de la temperatura exterior del aire es importante porque será la referencia principal para la variación de la temperatura interior del aire a lo largo del día y de la estaciones.

La temperatura exterior determinará el patrón de oscilación de la temperatura interior por lo que éste será más natural que si no lo tomáramos en cuenta, como sucede con algunos índices de confort cuya curva de temperatura esta más cercana a una recta que a la típica curva de oscilación de temperatura exterior. (Fig. 54)



Figura 53. Ambiente Exterior.

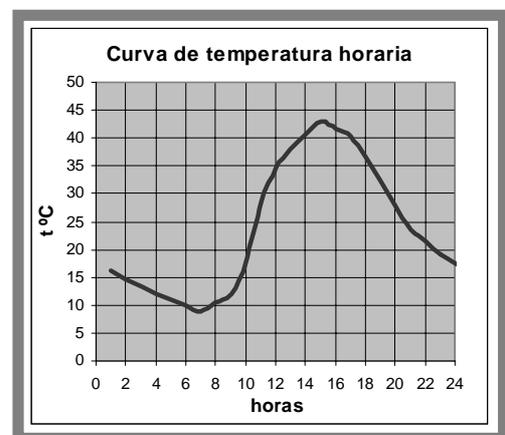


Figura 54. Curva de Temperatura Horaria.

5.3. Factores Personales.

Los factores personales son las características del ocupante del espacio a analizar, éstos definen las particularidades físicas del individuo como edad, sexo, complexión física, tipo de actividad que desarrolla en el espacio, tipo de vestimenta que porta, historial térmico, tiempo que permanecerá en el espacio, expectativas que se tienen sobre el nivel de confort que puede proveer el espacio y la ingestión de bebidas y alimentos calientes o fríos que puedan influir en la obtención un mayor confort térmico.



Figura 55. Sujeto en un Ambiente Interior.

5.3.1. Sexo.

Según varios autores (Nevins, Fanger)[18] las mujeres tienen menor capacidad para la adaptación al ambiente térmico, por un lado tienen una menor capacidad cardiovascular además de que la temperatura de su piel, la capacidad evaporativa y su metabolismo son ligeramente inferiores a los del hombre. Por lo general, se considera que la temperatura preferida por mujeres es de medio grado centígrado superior a la preferida por hombres.

Algunos autores reportan preferencias de temperatura de 1°C más alta por las mujeres, sobre la preferencia de los hombres, pero esta diferencia en la temperatura de preferencia puede deberse a la influencia de la vestimenta que por lo general es más ligera la usada por las mujeres, por lo tanto con una capacidad de aislamiento ligeramente menor a la de la vestimenta usada por los hombres.



Figura 56. Sujetos de Ambos Sexos.

En este trabajo se usará el valor de 0,5 °C más alto para la temperatura preferida por sujetos de sexo femenino, para introducir la variante del sexo en la zona de confort térmico.

5.3.2. Edad.

La edad tiene influencia en el estado térmico de los sujetos ya que conforme avanza la edad se reduce el metabolismo de la persona teniendo como una de sus consecuencias la reducción en la producción de calor lo que se compensa en parte con la reducción en la sudoración, es decir en la capacidad de perder calor por evaporación.

Existen distintos valores dados para esta variable pero en este trabajo se utilizará como referencia el factor usado por Olgay [18], que es de 1°C más de preferencia de la temperatura del ambiente para las personas mayores de 40 años.

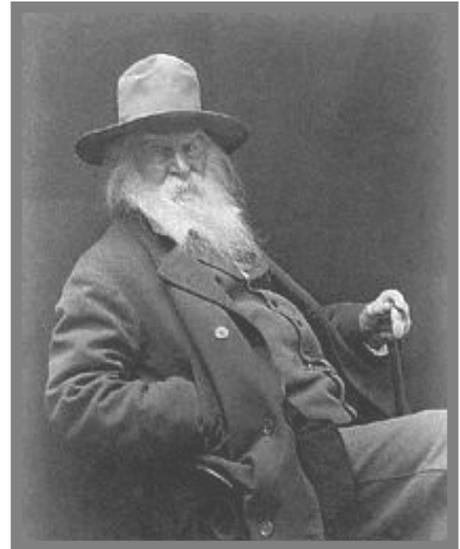


Figura 57. Hombre Viejo.

Se usará este valor extrapolándolo a las edades de 0 a 100 años, de tal manera que, para un individuo de 20 años el valor de la preferencia de temperatura será de 0,5 °C, para un individuo de 60 años será de 1,5 °C, etc.

Para aplicar este valor se usará la siguiente expresión:

$$f_{edad} = edad \times 0,025$$

En donde:

$$f_{edad} = \text{factor de edad}$$

$$0,025 = \text{factor derivado del valor usado por Olgay[18].}$$

5.3.3. Tasa de Metabolismo.

La palabra metabolismo deriva del griego "*metabole*", que significa cambio y se refiere al cambio que realiza el cuerpo con los alimentos en compuestos más simples, que son usados después como fuentes de energía en el proceso de oxidación que sucede en las células.

El metabolismo tiene dos componentes, el metabolismo basal y el muscular, el metabolismo basal son las reacciones químicas realizadas en el organismo para mantener la actividad fisiológica básica que permite mantener las funciones vitales. El metabolismo basal varía esencialmente dependiendo de la edad, el sexo y la complexión física de cada individuo. Con la edad éste va disminuyendo desde los 60w/m^2 de superficie corporal a los 2 años, hasta los 38w/m^2 a los 80 años.



Figura 58. Sujetos en Actividad Física Baia.

Por otra parte, la tasa de metabolismo muscular depende de la actividad que se realiza se decir del trabajo muscular, esta puede ir de los 46 W/m^2 para un individuo en reposo hasta los 550 W/m^2 para actividades de altos requerimiento de trabajo muscular como pueden ser deportes de esfuerzo intenso.

La tasa de metabolismo indica el nivel de actividad del sujeto y es importante que esté considerada dentro del modelo de la zona de confort y en general para entender el ambiente y el confort térmico, ya que ésta influye considerablemente en la percepción del ambiente y el estado térmico del sujeto.

Podemos decir que el estado térmico es la relación entre el calor que produce el individuo, el calor que necesita para mantener una temperatura interna de 37°C y la cantidad de calor que pierde hacia el ambiente o gana del ambiente.

Si un sujeto produce más calor del que necesita y del que pierde hacia el ambiente, tenderá a percibir la sensación de calor y si por el contrario produce menos calor del que necesita su organismo y del que pierde tenderá a percibir la sensación de frío.

Para ejemplificar esto podemos pensar en una situación en la que dos sujetos se encuentran dentro de un mismo espacio, los dos sujetos tienen la misma edad, son del mismo sexo, portan vestimentas iguales, tienen la misma complejión física pero su nivel de actividad es distinto; por ejemplo, en una sala de danza, uno de los sujetos es una bailarina y el otro es una coreógrafa, la temperatura efectiva del local es de 18°C. La primera realiza una fuerte actividad física por lo que su producción de calor por metabolismo muscular es muy alta, 360 W/m² ó 6.2 met y la segunda realiza una actividad física ligera, por consecuencia la producción de calor es menor, 95 W/m² ó 1.6 met.

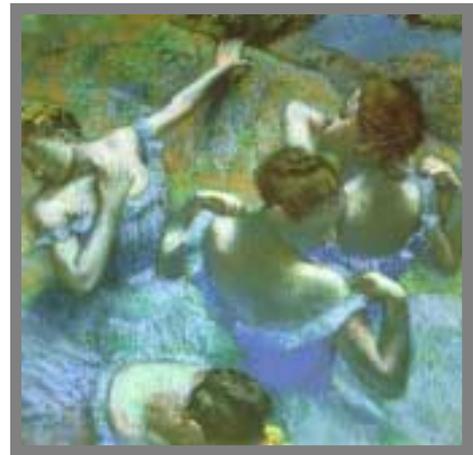


Figura 59. Sujetos en Actividad Física Alta.

En este ejemplo tendríamos que la bailarina percibiría una sensación de acaloramiento debido a la alta producción de calor causada por la actividad que realiza y la coreógrafa percibiría una sensación de frío debido a que el calor que produce por metabolismo muscular es escaso comparado con las pérdidas que tiene hacia el ambiente.

Para medir esta variable se usa la unidad Met que es igual a 58 W/m² de la superficie corporal. La forma como se introducirá el valor de la actividad física o tasa de metabolismo en el modelo de la zona variable de confort térmico, se presentará más adelante después de abordar el parámetro de la vestimenta ya que ambos parámetros tienen una relación muy estrecha.

5.3.4. Vestimenta.

La vestimenta tiene un efecto aislante en ambos sentidos, sirve para aislar de las condiciones ambientales y para evitar las pérdidas de calor del cuerpo, una u otra cosa es útil o no dependiendo de las condiciones ambientales.

En un clima frío es deseado el efecto aislante de la ropa para evitar las pérdidas de calor hacia el ambiente, este efecto se

produce al crearse una cámara de aire entre el cuerpo y el vestido que actúa como aislante debido a la baja conductividad térmica del aire, además de evitar el contacto con el aire en movimiento del ambiente, que produciría pérdidas de calor por convección y conducción hacia éste.

En un clima cálido seco la vestimenta evita la incidencia solar directa en el cuerpo y reduce la tasa de evaporación del sudor hacia el ambiente, por lo que sin esta protección la evaporación del sudor sería muy alta debido a la sequedad del aire.



Figura 60. La Vestimenta como Elemento del Confort Térmico

En un clima cálido húmedo lo óptimo sería un aislamiento mínimo para favorecer las pérdidas por convección por el contacto de la piel con el aire y las pérdidas por evaporación del sudor que serán pocas debido al alto contenido de humedad en el aire.

Como se ve la vestimenta tiene una gran influencia en el confort térmico del sujeto y puede ser determinante en el grado de tolerancia que puede llegar a tenerse en un ambiente adverso. Por lo que se debe considerar como una de las variables de la zona de confort.

El valor clo es la unidad de aislamiento de la ropa, para distintos tipos de vestimenta, una lista de algunos de estos valores se puede ver en el anexo sobre el clo.

5.3.5. Relación entre Tasa de Metabolismo y Vestimenta.

Los factores metabolismo (met) y vestimenta (clo) están íntimamente relacionados por lo que se integrarán en el modelo de la zona de confort con una expresión que englobe ambos. El calor producto del metabolismo del sujeto es disipado por el organismo principalmente a través de la piel, lo que se realiza por los fenómenos de convección, radiación o conducción. Por lo general, en la mayoría de las circunstancias en que se puede encontrar el sujeto

algún porcentaje de su piel está cubierto por la vestimenta, la que modifica este intercambio de calor entre el cuerpo y el ambiente.

La expresión que se usará para introducir en el modelo de la zona de confort los valores del metabolismo y vestimenta será el propuesto por Serralsagué en el trabajo ACT [25], que es la que se especifica a continuación:

$$Tds = t - clo \cdot 0,06 \cdot met - 0,018 \cdot met$$

En donde:

Tds	temperatura deseada (temperatura efectiva) en °C
t	temperatura exterior en °C
clo	aislamiento de la vestimenta en clo
met	nivel de actividad o tasa de metabolismo en W

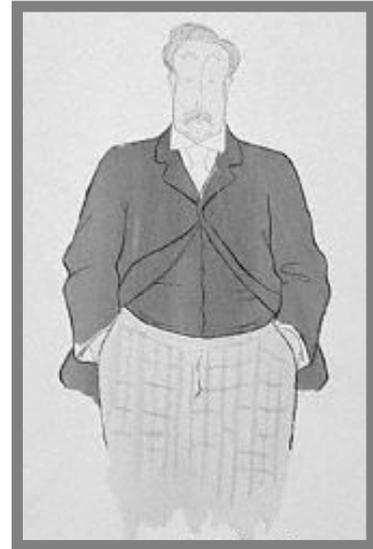


Figura 61. Relación entre Metabolismo y Vestimenta.

5.3.6. Peso, Constitución corporal.

La constitución corporal es otro de los factores que se deben considerar como una variable más en el planteamiento del modelo de la zona de confort debido a que el intercambio de calor del sujeto con el ambiente se da principalmente a través de la piel, es decir de la superficie expuesta del cuerpo que envuelve el volumen de éste. Y la constitución corporal determina la relación entre superficie expuesta y volumen y el volumen es proporcional a la cantidad de calor producida por el metabolismo del individuo.

Por lo que, mientras más corpulenta sea una persona, la relación superficie-volumen será menor, es decir tendrá menor superficie expuesta (superficie de piel) por unidad de volumen y en consecuencia menor capacidad de disipar calor al ambiente, lo contrario de una persona delgada que al tener una mayor superficie expuesta en relación con su volumen la capacidad de disipación que tiene es mayor.

En otras palabras, si dos individuos, uno robusto y otro delgado (Figura 62 y 63), se encuentran en un ambiente cálido, con la misma vestimenta y el mismo nivel de actividad, el robusto tenderá a percibir más sensación de calor por tener relativamente menor superficie expuesta y por lo tanto perder menos calor con relación a la que produce, mientras que el individuo delgado al tener mayor superficie relativa de piel, la capacidad de disipar el calor de su cuerpo será mayor y tenderá a percibir una sensación de menos calor, lo contrario que en un ambiente frío el individuo delgado al tener proporcionalmente con su masa una mayor superficie de piel perderá más calor relativamente y tenderá a tener mayor sensación de frío.



Figura 62.
Sujeto Delgado



Figura 63.
Sujeto Robusto.

Los valores de la tasa de metabolismo (Apéndice 3) usados comúnmente están calculados para un individuo medio con una estatura de 1.70 metros y una masa de 63 kilogramos, pero no siempre el usuario medio tendrá estas características por lo que en este trabajo se propone definir la constitución física del usuario medio del espacio que se estudie para corregir con éstos los valores de la tasa de metabolismo.

Para realizar dicha corrección debemos conocer las relaciones que hay entre la masa y la estatura, es decir la constitución corporal del sujeto y el área de piel de éste. Conociendo el peso o masa y la estatura del individuo, el área de piel, también denominada como "área de Du Bois" la podemos encontrar con la siguiente expresión (Du Bois 1916)(Fig. 64)[3]: $A_d = 0.202M^{0.425}h^{0.725}$

Ecuación Área de Du Bois:

$$A_D = 0,202 M^{0,425} h^{0,725}$$

En donde:
 A_D = Área de Du Bois en m²
 M = Masa en Kg.
 h = Estatura en m.

Ejemplo:
Masa = 75,0 Kg.
Estatura = 1,75 m.
Área de piel = 1,90 m².

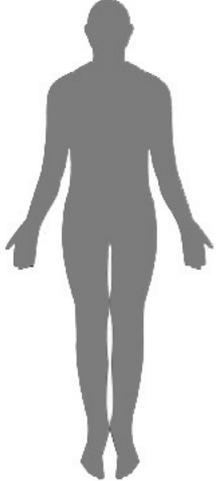


Figura 64. Ejemplo, Cálculo del Área de Du Bois

Y si sabemos que la cantidad de calor producido por el sujeto medio usado para calcular los valores de la tasa de metabolismo, met, que se encuentra sentado y en reposo, es de 58,2 w/m² con una estatura de 1.70 metros y una masa de 63 kilogramos, tendría un área de piel de 1.72 m² y la cantidad de energía que produce por metabolismo es de 100 W.

Es decir: $A_D = 0,202 \times 63^{0,425} 1,70^{0,725}$ Área de piel = 1,72 m²

$$1,72 \text{ m}^2 \times 58,2 \text{ W/m}^2 = 100 \text{ W producción total de energía}$$

Para ilustrar como se corregirá la tasa de metabolismo podemos poner un ejemplo con un usuario tipo que tenga una estatura de 1,75 m y un peso de 75 kilogramos, que con la expresión de Du Bois, tendría una área de 1,90 m², con un nivel de actividad de 58,2 W/m², es decir sentado y en reposo, tendríamos que:

$$1,90 \text{ m}^2 \times 58,2 \text{ W/m}^2 = 110,58 \text{ W producción total de energía}$$

Es decir, nuestro usuario tipo en las mismas circunstancias que "el usuario tipo" usado para calcular los valores de tasa de metabolismo, teniendo una constitución corporal distinta produce una cantidad distinta de energía por metabolismo, en este caso superior ya que su masa es superior.

5.3.7. Contributivo.

Este factor se refiere al intercambio de calor que se puede tener debido a la ingestión de bebidas y alimentos fríos o calientes. La evidencia de esto prácticamente cualquier persona la ha experimentado al estar en condiciones ambientales de calor o frío, todos hemos tomado una bebida fría para refrescarnos o una bebida caliente para calentarnos.

El funcionamiento de este fenómeno es evidente, al ingerir o beber algún alimento éste entra en contacto con nuestro organismo o visto de otra manera, se incorpora a la masa de nuestro cuerpo, al tener una temperatura distinta se lleva a cabo una transferencia de calor entre la masa de nuestro cuerpo y la masa del alimento hasta igualar sus temperaturas, lo que hace que la temperatura de nuestro cuerpo descienda o aumente ligeramente según el caso.

Esto se produce también por el aumento de actividad interna debida a la digestión, este efecto es momentáneo debido a la constante generación de calor en nuestro organismo y al intercambio de calor con el ambiente.

Debido a la complejidad de este factor, no se incluirá por el momento en el modelo propuesto en este trabajo, pero no se ha querido dejar de mencionar por su evidente importancia.

Además de la temperatura de alimentos y bebidas también hay que considerar el efecto de la composición de éstos en el metabolismo del individuo, por ejemplo el contenido de grasas, azúcares e incluso en el caso de las bebidas el contenido de alcohol.



Figura 65.
Mujer Bebiendo.

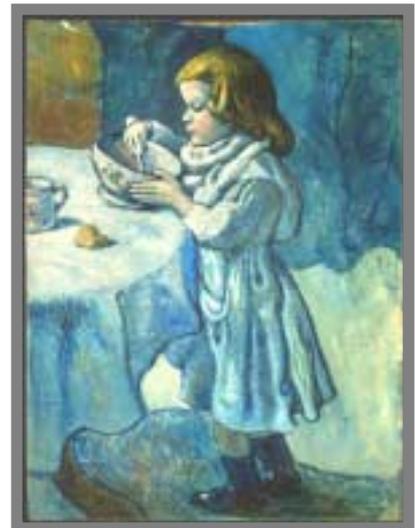


Figura 66.
Niña comiendo.

5.3.8. Historial Térmico.

Ahora pasemos al siguiente parámetro que es el historial térmico por éste se entiende el efecto de la estancia anterior en distintos ambientes térmicos, el cual influye en la percepción del ambiente térmico actual.

Esta influencia es debida a las diversas acciones que realiza el organismo como respuesta para adaptarse al ambiente térmico en que se encuentra, como por ejemplo, la dilatación de los vasos sanguíneos de la piel, en el caso de un ambiente caluroso, con el propósito de incrementar la disipación de calor hacia el medio, y si en estas condiciones fisiológicas cambiamos de entorno a uno con una temperatura más baja y además lo hacemos repentinamente, el organismo no cambiará inmediatamente y continuará en disposición de disipar rápidamente el calor para mantener un intercambio alto de calor con el ambiente, que es lo que necesitaba en un entorno caluroso, pero en este caso, al haber cambiado a un ambiente frío puede resultar contraproducente, porque el flujo de calor aumentará y el sujeto puede perder calor a un ritmo demasiado alto, lo que le producirá una sensación incómoda de frío.



Figura 67. Entorno Exterior Cálido.



Figura 68. Entorno Exterior Frío.

Un ejemplo de esto puede ser la situación que se da en lugares con estación de verano caluroso y en los que es común el uso de aire acondicionado en los lugares públicos. Un sujeto que circula en el exterior con una temperatura del aire alta, temperatura radiante alta y velocidad baja del aire, su organismo ha realizado una serie de adaptaciones como respuesta a estas condiciones ambientales, tales como, aumento de sudoración y dilatación de los vasos sanguíneos de la piel para aumentar el intercambio de calor con el ambiente por medio de la evaporación del sudor y por convección por el contacto de la piel con el aire. En estas condiciones el sujeto entra a un sitio

con acondicionamiento de aire en el que la temperatura del aire puede ser inferior a la exterior en 10 °C, la temperatura radiante tal vez 15° C inferior, su cuerpo está preparado para tener un alto intercambio de calor con el ambiente, que continua después de haber cambiado de ambiente térmico, ya que esta aclimatación no es inmediata, por lo que el sujeto pierde calor a un ritmo demasiado alto con relación a las nuevas condiciones térmicas.

El ejemplo anterior se daría en la escala inmediata, en una escala mediata podemos pensar en los cambios ambientales estacionales, en los que es claro que el organismo se va aclimatando conforme el tiempo cambia, lo que hace que toleremos y prefiramos más el frío o el calor. Por ejemplo, cuando acaba el verano y hay algún día en el que en alguna hora la temperatura es de 20 °C, este ambiente lo percibimos como frío cuando la misma temperatura en un día al final del invierno la percibimos como confortable por estar aclimatados a las temperaturas más bajas del invierno.

Para introducir este factor en el modelo de la zona de confort se usará una escala empírica que asignará un valor a las diferentes circunstancias, que indicará si el sujeto viene de un ambiente más frío o más caluroso que el actual y qué tan distinta era la temperatura. La escala irá del -3 al 3 y se asumirá cierta tolerancia a temperaturas más bajas o más altas según el ambiente del que se venga. El -3 indicara que el sujeto ha estado en un ambiente con una temperatura inferior en 9°C a la del ambiente actual y el 3 indicará que el sujeto ha estado en un ambiente con una temperatura superior en 9°C a la del ambiente actual, pasando por los valores intermedios.

Al ser un valor empírico, el que se ha aplicado a este parámetro, se ha relacionado con una escala con valores descriptivos como es la del PMV, para que sea más fácil de relacionar con las condiciones térmicas del ambiente. La tolerancia que se asumirá para cada uno de los valores de la escala propuesta se indican en la tabla que se presenta a continuación:

Ambiente Térmico Anterior	Escala	Diferencia de Temperaturas Entre Ambientes	Tolerancia por Aclimatación
Frío	-3	9°C	-3°C
Fresco	-2	6°C	-2°C
Ligeramente frío	-1	3°C	-1°C
Neutral	0	0°C	0°C
Ligeramente cálido	1	3°C	1°C
Cálido	2	6°C	2°C
Sofocante	3	9°C	3°C

5.3.9. Tiempo de Permanencia.

El tiempo de permanencia afecta a la percepción del ambiente térmico, en el sentido de que el organismo, expuesto a condiciones de calor o de frío tiene que realizar una labor para obtener un equilibrio térmico, ya sea para disipar más calor o evitar la pérdida de éste. Esto implica un desgaste físico que el cuerpo no puede mantener indefinidamente. Si la cantidad de calor pérdida o ganada es inferior o superior a la que puede producir o disipar el cuerpo, la masa de éste incrementará o disminuirá su temperatura, lo que no se puede mantener indefinidamente. Por lo que, mientras más extremas sean las condiciones más rápido se llegara a este límite, llamado Estrés Térmico.



Figura 69. Permanencia Media en un Espacio.

No sólo las condiciones térmicas extremas causan el estrés térmico, también influye el tiempo de permanencia, por ejemplo, si nos exponemos a un ambiente con una temperatura de 5°C durante 5 minutos, con vestimenta media y con una actividad ligera soportaremos esto sin ningún problema, pero si el tiempo de permanencia fuera una u ocho horas, la mayoría de las personas tendríamos problemas para soportarlo.

Pero también el estrés térmico se puede dar en condiciones teóricamente de confort, que podría ser la situación tan común de los lugares públicos con acondicionamiento artificial del aire, como un centro comercial, con temperatura interior de alrededor de 22° C.

En estas condiciones a un porcentaje de los compradores les puede parecer agradable ese choque térmico y a otro no, pero lo cierto es que después de una permanencia media (tal vez una hora) la mayoría puede comenzar a tener la sensación de frío, a esta temperatura teóricamente confortable, debido a la prolongada pérdida de calor por la diferencia de temperatura entre el aire y la piel, la ropa ligera y la baja actividad.

Pero hay otro tipo de usuario en este tipo de espacios, es el empleado, que permanece como mínimo ocho horas por día, este usuario se enfrenta a un ambiente técnicamente confortable y estable en el que la pérdida de calor se acumula a lo largo de la

jornada lo que vuelve el ambiente incómodo e incluso dañino, provocando resfriados constantes.

A continuación se presenta el cálculo de un ejemplo de algunos índices de confort en el que podremos observar como el tiempo de permanencia afecta la percepción del ambiente térmico.

El cálculo se realizará con distintos tiempos de permanencia, 5 minutos, una hora y ocho horas y para un ambiente frío manteniendo siempre los mismos parámetros ambientales y los factores personales.

Datos para el cálculo del ejemplo.			
Parámetros ambientales		Factores Personales	
Temperatura del aire	5°C	Peso	70 Kg.
Temperatura radiante	15°C	Superficie de piel	1,8 m ²
Humedad relativa	50%	Aislamiento de la vestimenta (clo)	0,6 clo
Velocidad del aire	0,13 m/seg.	Tasa de metabolismo (met)	60 W/m ²

Los siguientes cálculos se realizaron con el programa "Human Heat Balance" coordinado por el Dr. Richard de Dear de la Universidad Macquarie de Sydney [9], el cual esta colocado y puede ser utilizado a través del Internet.

Tiempo de Permanencia: **5 minutos**

Parámetros introducidos

Parámetros Ambientales		Parámetros personales	
Temperatura ambiente (°C)	5.0	Peso del sujeto (Kg)	70.0
Temperatura radiante (° C)	15.0	Superficie del sujeto (m ²)	1.80
Presión barométrica (hPa)	1013	Aislamiento de la vestimenta (clo)	0.6
H ₂ O presión de vapor (hPa)		Tasa de metabolismo (W m ⁻²)	60
Humedad relativa (%)	50	Tasa de trabajo (W m ⁻²)	0
Velocidad del aire (m s ⁻¹)	0.13	Tiempo de exposición (min.)	5

Resultados

Temperatura Efectiva (ET ⁺)	10.53	
Temperatura Efectiva Estándar (SET ⁺)	9.98	
Disconfort (DISC)	-0.14	Confortable
Sensación Térmica (TSENS)	-0.14	Neutral
Predicción de Voto Medio (PMV)	-5.64	Muy Frío
Predicción del Porcentaje de Insatisfacción (PPD)	100.00	
Índice de Estrés Térmico (HSI)	-47.04	

Tiempo de Permanencia: **60 minutos** Parámetros introducidos

Parámetros Ambientales		Parámetros personales	
Temperatura ambiente (° C)	5.0	Peso del sujeto (Kg)	70
Temperatura radiante (° C)	15.0	Superficie del sujeto (m ²)	1.8
Presión barométrica (hPa)	1013	Aislamiento de la vestimenta (clo)	0.6
H ₂ O presión de vapor (hPa)		Tasa de metabolismo (W m ⁻²)	60
Humedad relativa (%)	50	Tasa de trabajo (W m ⁻²)	0
Velocidad del aire (m s ⁻¹)	.13	Tiempo de exposición (min.)	60

Resultados

Temperatura Efectiva (ET ⁺)	10.66	
Temperatura Efectiva Estándar (SET ⁺)	10.21	
Disconfort (DISC)	-1.21	Ligeramente inconfortable
Sensación Térmica (TSENS)	-1.21	Ligeramente Frío
Predicción de Voto Medio (PMV)	-5.64	Muy Frío
Predicción del Porcentaje de Insatisfacción (PPD)	100.00	
Índice de Estrés Térmico (HSI)	-31.72	

Tiempo de Permanencia: **480 minutos** Parámetros introducidos

Parámetros Ambientales		Parámetros personales	
Temperatura ambiente (° C)	5.0	Peso del sujeto (Kg)	70.0
Temperatura radiante (° C)	15.0	Superficie del sujeto (m ²)	1.80
Presión barométrica (hPa)	1013	Aislamiento de la vestimenta (clo)	0.6
H ₂ O presión de vapor (hPa)		Tasa de metabolismo (W m ⁻²)	60
Humedad relativa (%)	50	Tasa de trabajo (W m ⁻²)	0
Velocidad del aire (m s ⁻¹)	0.13	Tiempo de exposición (min.)	480

Resultados

Temperatura Efectiva (ET ⁺)	10.69	
Temperatura Efectiva Estándar (SET ⁺)	10.32	
Disconfort (DISC)	-2.21	Inconfortable
Sensación Térmica (TSENS)	-2.21	Frío
Predicción de Voto Medio (PMV)	-5.64	Muy Frío
Predicción del Porcentaje de Insatisfacción (PPD)	100.00	
Índice de Estrés Térmico (HSI)	8.04	

Como se ve en el cálculo realizado, mientras mayor es el tiempo de permanencia los índices DISC (Índice de Discomfort) y TSENS (Sensación Térmica) [9] califican el ambiente como más inconfortable. Es cierto que estos resultados lo único que confirman es que los modelos matemáticos de estos índices también consideran la tensión fisiológica por pérdida constante de calor uno a través del cálculo de la temperatura de la piel y el otro a través de una ecuación que tiene unas constantes empíricas derivadas de experimentos en cámaras climáticas y estadísticas de encuestas. Lo que finalmente es una referencia real, es decir de la realidad, aunque parcial y limitada, que apoya lo que se plantea en nuestro modelo.

Para integrar este parámetro en el modelo se tomará como periodo de adaptación el rango entre 0 y 8 horas, teniendo la zona de confort una corrección de 2 °C a las ocho horas de permanencia y de 0 °C a las cero horas de permanencia, esto significa que cuanto menor sea el tiempo de permanencia en el sitio más cercana será la temperatura de la zona de confort a la temperatura del exterior para evitar un contraste de temperaturas brusco al entrar y salir de un espacio teniendo una permanencia corta. Esta corrección se calculará con la expresión:

$$Acl = \ln(480 - t) / \ln(21,5)$$

En donde:

<i>Acl</i>	aclimatación por tiempo de permanencia, en grados
<i>t</i>	tiempo de permanencia en minutos
21,5	factor empírico

5.3.10. Expectativas de Confort.

Las expectativas de confort dependen de varias circunstancias. Primero del lugar en que se esté, si es interior o exterior, si estamos en un interior nuestras expectativas serán mucho más altas que si estamos en un exterior por lo que tenderemos a notar más la pérdida o ganancia de calor, la velocidad del aire, la temperatura radiante incluida la del sol, la humedad relativa, etc.

Otra circunstancia que influye en nuestra percepción del ambiente térmico es si nosotros decidimos exponernos a unas condiciones ambientales determinadas. Los ejemplos más claros los tenemos en las actividades de esparcimiento y deportivas, por

ejemplo, tomar el sol en una playa o esquiar en nieve, en estas dos actividades nos exponemos por periodos de tiempo considerables a condiciones que están muy lejos de lo que se considera confort pero las aceptamos o incluso más, las disfrutamos cuando estas mismas no las toleraríamos en un espacio cerrado o impuestas por otras circunstancias ajenas a nosotros.



Figura 70. Espacio Exterior, Situación en la que se Tienen Pocas Expectativas de Confort.

Otra circunstancia parecida se puede dar cuando nuestras prioridades se modifican, como en el caso de situaciones extremas como puede ser una guerra o un desastre natural, nuestra tolerancia a las condiciones ambientales adversas aumenta extraordinariamente, por ser en estos momentos otras nuestras prioridades, como mantenernos con vida nosotros o a los nuestros.

Con la época del año también cambian nuestras expectativas de confort, especialmente en las regiones del planeta donde las condiciones entre unas y otras épocas del año son más acentuadas, 18° C en un interior en invierno pueden ser bastante tolerables mientras que en verano tal vez necesitemos 4 ó 5 grados más para sentirnos confortables. También tenemos el caso contrario que 30° C en verano lo podemos tomar como normal y en invierno nos parecería demasiado caluroso. Esto sucede porque además de la aclimatación de nuestro organismo y del tipo de vestimenta que portamos, tenemos una predisposición psicológica a unas circunstancias dadas lo que hace que las aceptemos y toleremos más.

Igualmente la ubicación geográfica tiene una influencia psicológica, por tener cada zona geográfica un clima determinado, al encontrarnos en una ubicación dada ya esperamos determinadas condiciones ambientales lo que hace incrementar nuestra tolerancia.

Evidentemente no en todas las sociedades se tienen o se pueden tener las mismas expectativas de confort, debido a las diferencias culturales y económicas. Parece que mientras más urbana y más rica sea una sociedad tendrá unas expectativas de confort

más altas y por lo tanto menor tolerancia a las condiciones adversas del ambiente.

A este factor que es claramente psicológico y subjetivo, sobre el cual no se tiene ningún valor exacto pero que igual que algunos otros de los puntos que se considerarán para este trabajo se incluirá en el modelo asignándole por el momento un valor empírico que estará entre 0 y 1. El 0 significara que se tienen muy pocas expectativas sobre el nivel de confort del espacio que se analice y que por lo tanto se tendrá una mayor tolerancia hacia las condiciones del domo-clima, por lo que la zona de confort se ampliará 2 °C tanto en el límite inferior como en el superior. El valor 1 representará en el otro sentido y con la misma escala, altas expectativas sobre el ambiente y una menor tolerancia a las condiciones desfavorables de éste.

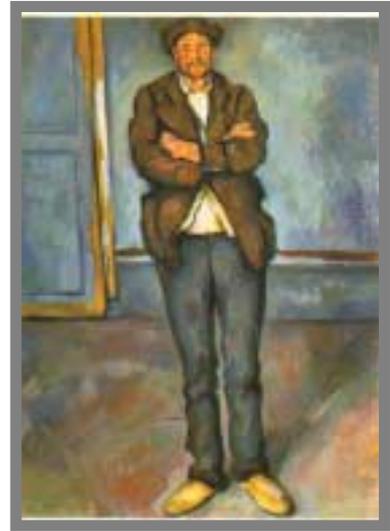


Figura 71. Espacio Interior, Situación en la que se Tienen Mayores Expectativas de Confort.

5.3.11. Contacto Visual con el Exterior.

El contacto visual con el exterior es importante desde el punto de vista del confort ambiental, por el hecho de que al tener la referencia del clima exterior, es decir, de una de las posibles causas de las condiciones del domo-clima en el que se encuentra el usuario, éste puede tener una mayor tolerancia a las condiciones del interior ya sean tendentes a la incomodidad por frío o por calor.



Figura 72. Espacio con Buen contacto Visual con el Exterior.

Por ejemplo, si nos encontramos dentro de un espacio acondicionado mecánicamente y sin contacto visual con el exterior en el que percibimos el ambiente térmico como ligeramente frío es muy probable que lo calificamos como inconfortable y que atribuyamos el frío al mal funcionamiento o mala gestión del sistema, lo que nos hará tener un rechazo mayor hacia esta incomodidad. Si de la misma manera percibimos el ambiente térmico como ligeramente frío y nos encontramos en un sitio en el que tenemos contacto visual con el exterior y vemos que fuera cae nieve, es decir identificamos o relacionamos la causa de esta sensación de frío con el clima exterior, tendremos una mayor tolerancia hacia el ambiente térmico interior ligeramente frío.

Claramente, este parámetro por ser completamente subjetivo y sinestésico es difícilmente mensurable y evaluable pero aparentemente su importancia es suficiente como para ser considerado en la definición de la zona de confort térmico.

El criterio para su evaluación será el mismo que en el del punto anterior, asignando valores empíricos en el caso de espacios sin contacto visual con el exterior el valor será 0 equivalente a 0°C de tolerancia hacia el ambiente térmico y en espacios con contacto visual óptimo el valor será de 2 igual a 2°C más de tolerancia.

5.4. Parámetros Ambientales.

5.4.1. Temperatura Interior del Aire.

La temperatura del aire será el primer parámetro a definir. Para definir los límites de temperatura de la zona de confort propuesta en este trabajo, se analizó y se comparó el comportamiento de tres ecuaciones propuestas por distintos autores, que calculan la temperatura interior " T_i " partiendo de la temperatura exterior " $T_{m,m}$ " o " T_m " (temperatura horaria promedio mensual o temperatura media exterior)

Se eligió este tipo de ecuaciones ya que lo que se busca es tener una zona de confort térmico que varíe principalmente con respecto a la temperatura exterior, esto con varias finalidades, la primera, que el ambiente térmico interior fluctúe de manera similar a la del ambiente exterior pero en una escala menor y dentro de unos límites.

Esta primera finalidad se basa en la hipótesis de que cualquier ambiente, ya sea interior o exterior, en que se desarrolle actividad humana ha de tener una variabilidad temporal, ya que nuestro organismo ha estado "acostumbrado" por millones de años a estos cambios en el ambiente y desde hace decenas o cientos de miles de años no ha tenido cambios evolutivos que justifiquen un ambiente estático como el que plantean muchos de los índices de confort y edificios modernos, que proponen una temperatura fija para todo el día, durante varios meses y en ocasiones con una variación de 3°C entre la temperatura para verano y la temperatura para el invierno, incluso aplicando la temperatura más baja en verano y la más alta en invierno, lo que provoca un mayor contraste térmico y por ende discomfort.

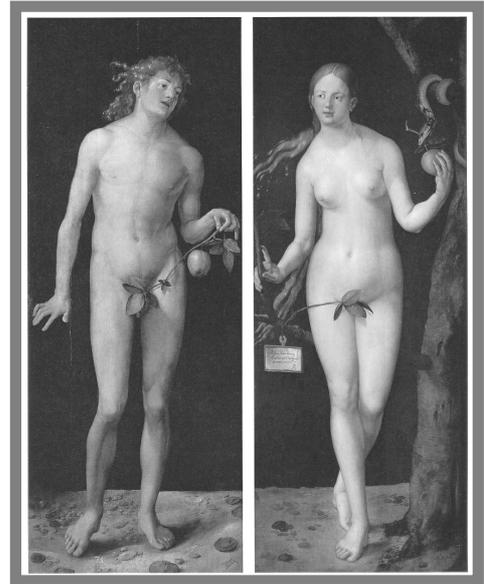


Figura 73. Individuos en Interacción con el ambiente Térmico

Como consecuencia de esto la zona de confort térmico propuesta será menos exigente energéticamente, ya que, al tener una variación la temperatura interior referida a la exterior los gradientes de temperatura entre el exterior y la sugerida en la zona de confort para el interior, tanto en la temporada fría como en la cálida, serán menores, lo que implica un ahorro de energía en acondicionamiento de aire y calefacción, desde la dimensión de los equipos hasta el consumo para el uso y mantenimiento de éstos.

En la gráfica de la figura 71 se muestran las curvas de la temperatura exterior media, mínima y máxima mensual en Barcelona comparada con la curva de temperatura del índice de confort térmico ASHRAE 55 [10], en donde se observan las diferencias de temperatura que deberían de ser igualadas usando el acondicionamiento mecánico si se usara dicho índice como referencia para calcular temperatura de confort de un espacio interior.

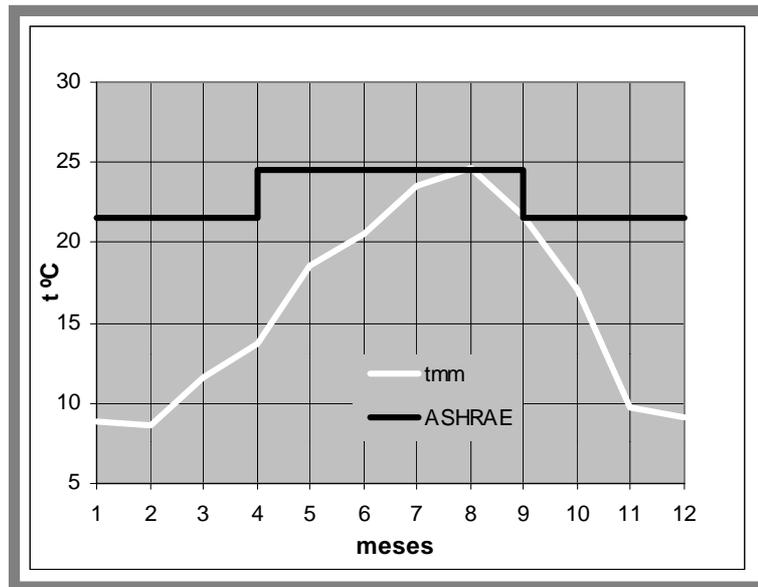


Figura 74. Gráfica de Comparación entre la Temperatura Exterior Media Mensual en Barcelona y Estándar ASHRAE 55.

Como se ve, esta diferencia de temperatura entre la media exterior (tmm) y la calculada con un modelo usado actualmente (Estándar ASHRAE) [10] para que sea obtenida mediante el sistema mecánico de acondicionamiento, es en algunos meses de alrededor de 13 °C, lo que implica un alto consumo de energía y unas condiciones térmicas interiores demasiado estáticas y contrastantes con las del exterior.

Con la zona de confort térmico propuesta no se busca una temperatura neutral, se busca un rango de temperaturas para cada instante en las que el usuario del espacio tenga una sensación de confort ligeramente frío o ligeramente cálido y con variaciones. Se plantea lo anterior basándose en la hipótesis de que un ambiente estático en el que se mantienen fijos los

parámetros del clima interior es menos confortable que un ambiente



Figura 75. Relación entre el Ambiente Interior y el Exterior.

en el que hay ligeras variaciones que no resulten incómodas, sino por el contrario, que al generar un leve contraste entre las condiciones de un momento y el siguiente se experimente una sensación agradable.

Por ejemplo si en verano, en una ubicación con un clima cálido, en lugar de estar en un sitio con aire acondicionado a una temperatura constante, que podría ser 24,5°C durante todo el día, nos encontráramos en un edificio sin acondicionamiento mecánico, con ventilación natural a una temperatura de 28 °C en el que podemos sentir un mínimo movimiento del aire de 0,3 m/s la sensación sería de confort al sentir un poco de frescor debido a la pérdida de calor hacia el aire en movimiento, además de cierta variación si cambia la velocidad y el ángulo de incidencia de la corriente de aire.

Con esto lo que se quiere decir es que, la temperatura de confort no tiene que ser fija ni a lo largo de una jornada ni a lo largo de las estaciones anuales y que puede existir un rango de temperaturas considerablemente amplio en que las condiciones del ambiente sean confortables para un alto porcentaje de los usuarios.

Los modelos adaptativos de Humphreys, Auliciems y Nicol [3] proponen tres ecuaciones distintas que relacionan la temperatura neutral con la temperatura exterior promedio mensual.

Humphreys:

$$T_n = 23,9 + \frac{0,295(T_{mmo} - 22)}{e - \left[\frac{(T_{mmo} - 22)}{24} \right]^2}$$

Auliciems:

$$T_n = 9,22 + 0,48 \cdot T_a + 0,14 \cdot T_{mmo}$$

Nicol:

$$T_n = 23,9 + 0,295(T_m - 22) \cdot e - \left[\frac{(T_m - 22)}{24\sqrt{2}} \right]^2$$

En donde:

T_n = temperatura neutral

T_a =temperatura del aire

T_{mmo} = temperatura media mensual exterior

T_m = temperatura media exterior

Estas ecuaciones tienen distintos comportamientos con la variación de la temperatura hacia valores bajos y altos. En la gráfica de la figura 73 se muestran las curvas de la temperatura exterior e interior contra las curvas de las ecuaciones de Humphreys, Auliciems y Nicol, en donde se observa la desviación de cada ecuación a temperaturas exteriores entre -5 y 45 ° C.

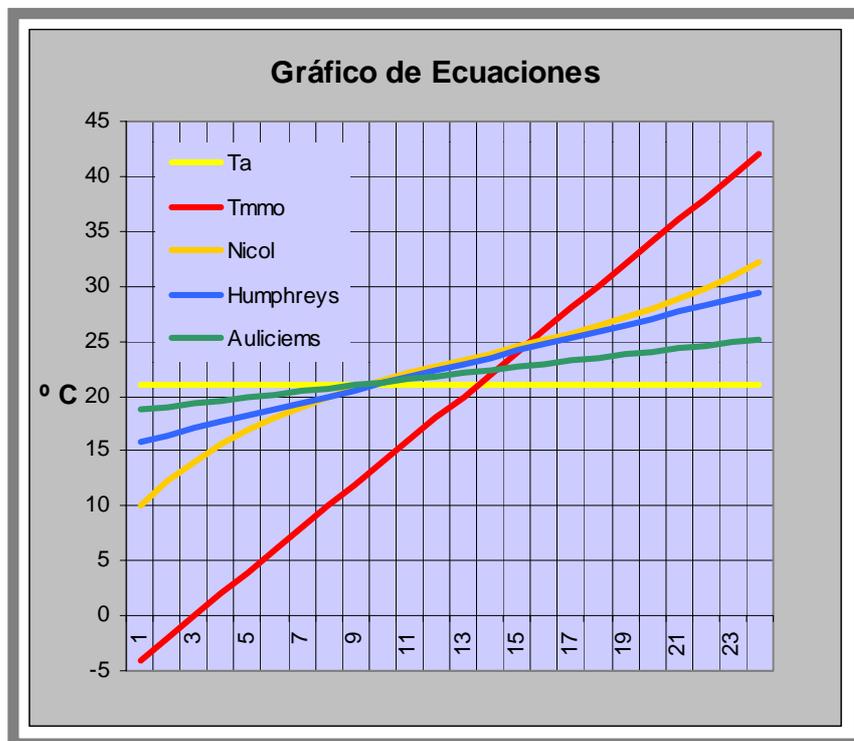


Figura 76. Comparación de las Curvas de las Ecuaciones de Nicol, Humphreys y Auliciems.

De estas ecuaciones hemos elegido la de Nicol (1996) por ser la que tiene un comportamiento más parecido a la temperatura exterior, tanto en temperaturas bajas como altas. Se modificó la ecuación de Nicol para obtener las siguientes dos ecuaciones que determinan el límite superior e inferior de la zona de confort térmico. Con el criterio de obtener unas ecuaciones que dieran unos valores para la temperatura interior que no se desviasen demasiado en

condiciones extremas de la temperatura exterior.

Ecuación para el límite inferior de temperatura:

$$T_{li} = 20,0 + 0,18(T_{mmo} - 22) \cdot e^{-\left(\frac{T_{mmo} - 22}{24\sqrt{2}}\right)^2}$$

Ecuación para el límite superior de temperatura:

$$T_{ls} = 24,0 + 0,2(T_{mmo} - 22) \cdot e^{-\left(\frac{T_{mmo} - 22}{24\sqrt{2}}\right)^2}$$

En donde:

T_{li} = Temperatura del límite inferior de la zona de confort.

T_{ls} = Temperatura del límite superior de la zona de confort.

T_{mmo} = Temperatura mensual media horaria exterior.

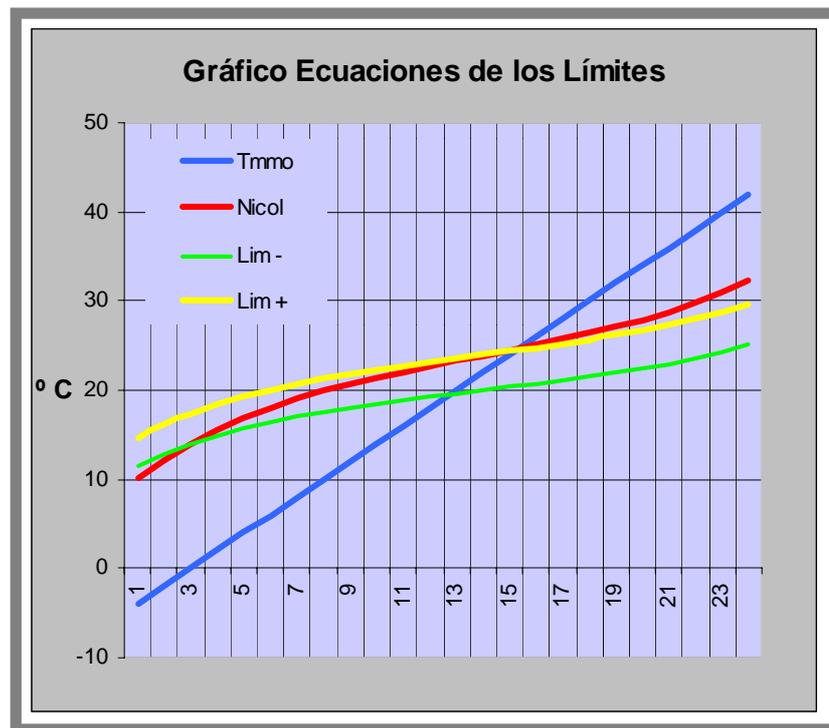


Figura 77. Gráfica de las Ecuaciones que Delimitan la Zona de Confort Térmico.

En la gráfica (Fig. 77) se muestran las curvas de la temperatura exterior (promedio mensual horaria) de la ecuación de Fergus Nicol y de las dos variaciones de esta ecuación que determinan los límites

superior e inferior de temperatura en la zona de confort, estas ecuaciones se graficaron usando como temperatura exterior (T_{mno}) entre -4°C y 42°C , para ilustrar su comportamiento en un gran porcentaje de las temperaturas que se pueden dar en un espacio interior.

5.4.2. Humedad Relativa.

La humedad relativa es otro factor importante debido a que influye en varios fenómenos, uno de ellos es la tasa de evaporación del sudor, que es una de las respuestas fisiológicas del cuerpo humano para disipar el calor, ya que a menor humedad en el ambiente mayor es la tasa de evaporación del sudor y por tanto mayor la pérdida de calor por evaporación del cuerpo.

Otro de los fenómenos que afecta es la capacidad de aislamiento térmico de la vestimenta ya que al introducirse la humedad en los tejidos desplazando un volumen de aire y por tener el agua un calor específico mayor que el del aire incrementa la conductividad térmica global de la vestimenta.

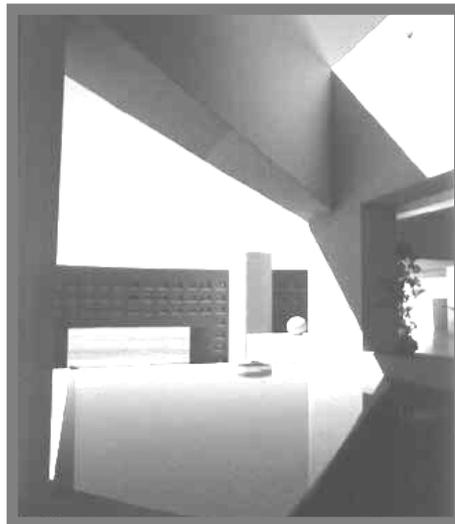


Figura 78. La Humedad Relativa en el Ambiente.

La humedad también influye en la transferencia de calor por convección de la piel hacia el aire ya que a un mayor contenido de agua en el aire el calor específico de la mezcla aumenta por tener un mayor calor específico el agua, lo que hace que el flujo de calor del cuerpo hacia el aire aumente en el caso de que la temperatura del último sea inferior a la de la piel.

En la zona de confort térmico propuesta el rango de la humedad relativa variará según la oscilación de la temperatura, para cada temperatura se ha asignado una humedad relativa óptima que se ha tomado de la gráfica de confort de Fanger, este rango de humedad relativa tendrá un límite mínimo que será 25% y un límite máximo de 75%, este es un rango empírico 5% más amplio que el que recomiendan algunos autores que es de 30% y 70% respectivamente (Ramírez 1995) [20], esto se hace así por creer en base a la propia experiencia que los límites pueden ser más amplios, lo que solo se podrá demostrar con futuros estudios que se realicen con un número representativo de sujetos.

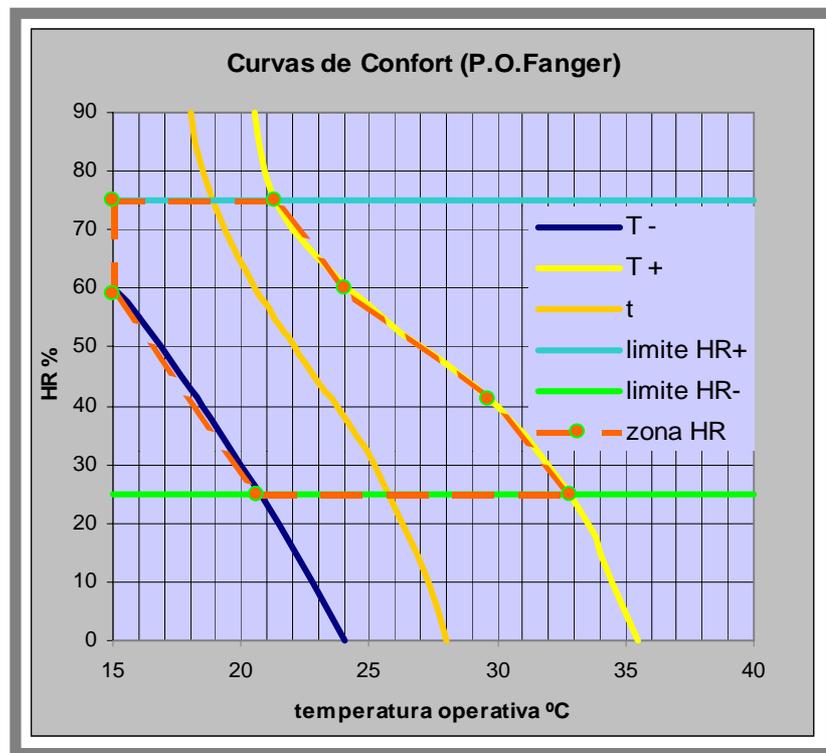


Figura 79. Rangos de Humedad Relativa Basados en las Curvas de Confort de Fanger.

t	HR +	HR -	t	HR +	HR -
10	75	65	23	75	25
11	75	65	24	60	25
12	75	65	25	57	25
13	75	65	26	53	25
14	75	65	27	50	25
15	75	60	28	47	25
16	75	55	29	45	25
17	75	49	30	45	25
18	75	43	31	45	25
19	75	25	32	45	25
20	75	25	33	45	25
21	75	25	34	45	25
22	75	25	35	45	25

Figura 77. Límites de Humedad Relativa de Confort para Temperaturas entre 10 y 45°C.

5.4.3. Temperatura Radiante.

La temperatura radiante puede tener una importancia muy relevante en la definición del ambiente térmico y en la percepción de éste, tanto que, hasta hace muy poco tiempo los sistemas de calefacción eran principalmente radiantes, desde la fogata, pasando por el hogar, los radiadores de combustible y eléctricos hasta los pisos radiantes.



Figura 80. Fuego, Primer fuente de Calor Manipulada por el hombre

La variedad de fuentes radiantes de calor es muy amplia, la más directa y principal, o al menos la que debería ser la principal es el sol, otras fuentes son las paredes y pisos del edificio que serían fuentes indirectas ya que el calor que irradian lo han recibido antes de otra fuente que es por lo general el sol, otras fuentes radiantes de calor son las diseñadas para este fin como estufas, radiadores chimeneas etc., y otras fuentes que indirectamente irradian calor como las lámparas incandescentes y algunos aparatos domésticos.



Figura 81. Sol, Fuente Básica de Calor.

La importancia de este fenómeno es evidente y no siempre es positiva, por ejemplo en invierno un espacio puede tener una temperatura del aire 22 °C que es aparentemente confortable, pero si las paredes de la habitación tienen una temperatura baja debido a que tienen poca exposición al sol o están orientadas de tal manera que pierden calor por alguna razón como por ejemplo la exposición a vientos fríos, será el cuerpo del usuario el que irradie calor hacia éstas provocando la sensación de incomodidad por frío.

También se da el caso contrario cuando en verano después de una elevada insolación de la envolvente de un edificio a lo largo del día, por la tarde al ponerse el sol la temperatura del aire tiende a

bajar y situarse en niveles confortables como podría ser 28°C, pero la envolvente del edificio no baja su temperatura tan rápido como el aire y permanece radiando calor por varias horas más provocando la sensación de calor en el ocupante.



Figura 82. Calor Radiante en un Ambiente Interior.

Entre el usuario del espacio habitable y las superficies de este se lleva a cabo un intercambio de calor por radiación cuya dirección e intensidad del flujo dependerá del gradiente de temperaturas entre el usuario y las superficies del entorno y de cual de estas temperaturas es más elevada. Este intercambio de calor influye en la temperatura efectiva es decir en la temperatura percibida por el ocupante por lo que se tomara en cuenta esta temperatura media radiante del entorno como otro de los puntos que definen la zona de confort.

Para incluir esta variable en el modelo se asumirá que el peso de la temperatura del aire es igual al de la temperatura radiante, es decir 0,5, lo que se hará usando la siguiente expresión:

$$te = x \cdot ta + (1 - x) \cdot tr$$

$$x = 0,5$$

En donde:

<i>te</i>	temperatura efectiva
<i>ta</i>	temperatura del aire
<i>tr</i>	temperatura media radiante

5.4.4. Velocidad del Aire.

EL movimiento del aire es otro de los parámetros ambientales que deben ser tomados en cuenta para definir la zona de confort térmico ya que el intercambio de energía en forma de calor que se lleva a cabo entre la superficie de piel del sujeto y el aire del ambiente es muy importante.

Este fenómeno se lleva a cabo de la siguiente manera, el contacto de la piel o la vestimenta del un sujeto con el aire, por si solo, ya implica un intercambio de calor por conducción, pero si el aire circundante está estático cuando absorbe el calor suficiente para que su temperatura sea muy cercana a la de la piel, la transferencia de calor disminuye considerablemente.

Pero al estar el aire en movimiento, el volumen de éste que tendría que calentarse para que el intercambio de calor disminuya casi a cero tendrá que ser muy grande. Por eso es que el efecto de un ventilador es refrescante aun cuando éste no enfría el aire sino que lo que hace solamente es renovar el aire que envuelve al sujeto. Claro que el efecto también se da en el sentido contrario, es decir, que el flujo de calor sea del aire hacia el sujeto, esto se daría cuando la temperatura del aire fuera más elevada que la de la piel.



Figura 83. Movimiento del Aire en el Ambiente Interior.

Para introducir la variable del movimiento del aire en el modelo de la zona de confort térmico se ha decidido utilizar la siguiente expresión dada en el ASHRAE [2], por cada 0,275 m/s de aumento en la velocidad del aire la temperatura de sensación desciende 1,0 °C, para temperaturas inferiores a los 37 °C.

Esto quiere decir que si un ocupante se encuentra en un sitio con una temperatura del aire de 28 °C y una velocidad del aire de 0,55 m/s, la temperatura de sensación sería de 26,0 °C.

El ejemplo anterior significaría en la zona de confort un desplazamiento de ésta 1°C hacia arriba, debido a que el movimiento del aire de 0,55 m/s aumentaría la tolerancia a la elevación de la temperatura ambiental en 1°C.

5.5. Parámetros Arquitectónicos.

Estos parámetros se refieren a las características del edificio que influyen en la percepción del ambiente térmico por el usuario y que modificándolos se puede llegar a cambiar el microclima que rodea al ocupante, como por ejemplo, los aspectos funcionales y de diseño del edificio y de dispositivos como ventanas, cortinas, persianas, parasoles, ventiladores, salidas de aire acondicionado etc.



Figura 84. Elementos Arquitectónicos como Modificadores del Ambiente Térmico.

5.5.1. Adaptabilidad del Espacio.

Este término se refiere a las posibilidades que tiene el ocupante de variar el microclima del sitio particular en el que se encuentra dentro del edificio mediante la modificación y manipulación de los elementos arquitectónicos y mecánicos que pueden influir en el domo-clima.

La adaptabilidad del espacio es un parámetro muy complejo debido al número tan grande de variantes que puede dar la combinación de las distintas estrategias de adaptación del usuario en el espacio y el número igualmente enorme de microclimas que se pueden generar en el interior de un edificio. Además la influencia psicológica que tiene sobre el ocupante el hecho de poder interactuar con el edificio para obtener el confort ambiental, que al ser algo tan subjetivo es difícil de evaluar y cuantificar.



Figura 85. Dispositivos Arquitectónicos como Modificadores del Ambiente Térmico

Pero no por esto se dejará de considerar este parámetro para definir la zona de confort que se propone en este trabajo. Si pensamos en algunas de las acciones de adaptación a y del espacio, podríamos dar un valor para éste.

Ejemplos de Acciones Adaptativas

Acción	Efectos
Posición del ocupante en el espacio.	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar o buscar un flujo de aire aumenta pérdida de calor por convección. • Colocarse en una área en la que incide la irradiación solar aumenta las ganancias de calor por radiación. • Colocarse cerca o lejos de una fuente de calor como radiadores, convectores, muros expuestos a irradiación solar, etc.
Abrir o cerrar ventanas y/o ventilas.	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar el flujo de aire y el intercambio de calor entre el interior y el exterior reduce o aumenta la temperatura del aire en el interior.
Orientación de ventilación.	<ul style="list-style-type: none"> • Dirigir el flujo de aire para que incida o no sobre el ocupante.
Control de parasoles.	<ul style="list-style-type: none"> • Control del área de incidencia de la irradiación solar.

Este punto se puede dividir básicamente en dos partes. La primera sería la que corresponde a los parámetros físicos del microclima que envuelve al ocupante, por ejemplo si se encuentra cerca de una ventana por la que recibe irradiación solar directa o algún flujo de aire.



Figura 86. Espacio con Posibilidades de Adaptación para el Ocupante por Medio del Control de las Persianas.

La otra parte sería la psicológica que es mucho más compleja de medir por su valor subjetivo, por ejemplo, únicamente el hecho de saber que se puede modificar el ambiente, cerrando una cortina, dirigiendo la salida de aire etc., sin efectuar esta acción, puede hacer que el usuario del espacio tenga una mayor tolerancia a las condiciones menos confortables.

El criterio para su introducción dentro del modelo de la zona de confort térmico será asignando valores empíricos, en el caso de espacios sin posibilidad de adaptación el valor será 0 equivalente a 1°C menos de tolerancia hacia el ambiente térmico y en espacios con esta posibilidad de adaptación el valor será de 1 igual a 1°C más de tolerancia.

La parte física de este punto sí se puede evaluar si contamos con los datos particulares del microclima del sitio preciso en el que se encuentra el ocupante dentro del espacio, ya que en el interior del edificio se generan microclimas. Si contamos con los datos de temperatura del aire, temperatura radiante, humedad relativa y velocidad del aire de la ubicación particular podremos evaluar el microclima del sujeto con las modificaciones que éste haya hecho mediante la manipulación de dispositivos y elementos arquitectónicos.

5.6. Comentario General.

Aquí se ha presentado el modelo propuesto de la zona variable de confort térmico, en éste se integran los parámetros y factores ambientales y personales que se ha considerado que tienen una influencia importante en la configuración del ambiente y el confort térmico.

Las principales características de la zona de confort térmico propuesta en este trabajo son: que tiene una variación temporal basada en la temperatura exterior, lo que supone dos ventajas importantes, la primera, reducir el choque térmico al trasladarse de un espacio interior al exterior o viceversa y la segunda que genera un ahorro energético por tener menos exigencias térmicas que otros modelos usados actualmente.

Otra de las características importantes es que es un modelo flexible que permite configurarse a las características de la ubicación, el espacio arquitectónico y los ocupantes determinados, siempre que se cuente con los datos necesarios para introducir en el modelo.