

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA



Título:

**“MODELO HOLÍSTICO PARA ANALIZAR EL CONFORT TÉRMICO DEL SER HUMANO
DENTRO DE LOS EDIFICIOS”**

TESIS
Que para obtener el grado de
DOCTOR EN ARQUITECTURA

Presenta:

MTRO. EN ARQ. JUAN RAYMUNDO MAYORGA CERVANTES

MÉXICO 2005



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

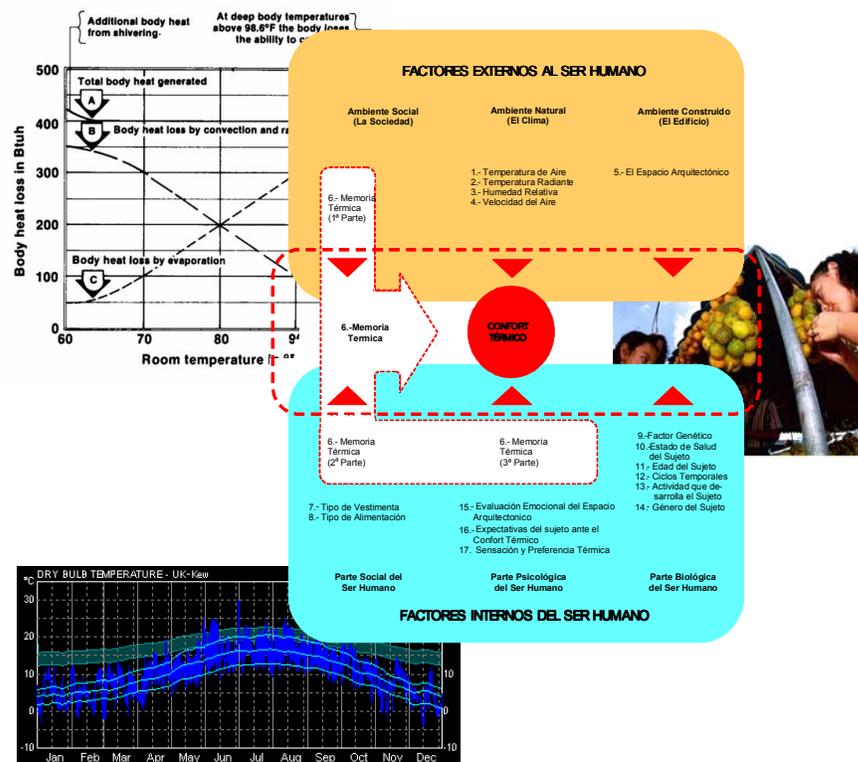


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ARQUITECTURA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA



“MODELO HOLÍSTICO PARA ANALIZAR EL CONFORT TÉRMICO DEL SER HUMANO DENTRO DE LOS EDIFICIOS”

MTRO. EN ARQ. JUAN RAYMUNDO MAYORGA CERVANTES

MÉXICO 2005



C I E P



**Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado
de la Facultad de Arquitectura
U N A M**

Comité Tutorial:

Tutor:
Cotutor:
Cotutor:

Dr. José Diego Morales Ramírez
Dr. David Morillón Gálvez
M. en Arq. Francisco Reyna Gómez

Director de tesis:

Dr. José Diego Morales Ramírez

Sinodales:

M. en Arq. Francisco Reyna Gómez
Dr. David Morillón Gálvez
Dr. Juan José Ambríz García
Dr. Gabriel Merigo Basurto
Dr. Hernando Romero Paredes Rubio
Dr. Fernando Martín Juez

Dedicatorias:

A mi **Dios**

A mi esposa:

Cecilia del Carmen Ramos Caro

A mis hijas e hijo:

Cynthia Paulina, Laura Cecilia, Ana Cristina y Alan Raymundo

A mis padres:

Mario Mayorga Víquez y Refugio Cervantes Montoya

A toda mi familia, amigos, compañeros de trabajo, a todos gracias.

Agradecimientos:

A mi Director de tesis: **Dr. José Diego Morales Ramírez**, Profesor Investigador de Tiempo Completo del Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado de la Facultad de Arquitectura (CIEPFA), de la UNAM, miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del CONACYT, quien además de compartirme sus valiosos conocimientos, me ha honrado con su amistad a través de estos años.

Al **M. en Arq. Francisco Reyna Gómez**: Profesor Investigador de Tiempo Completo, Coordinador del Área de Tecnología de la Maestría en Arquitectura en el CIEPFA de la UNAM, a quien le agradezco no solo su participación en el trabajo actual, si no también, aquellas primeras semillas de inquietud por el Posgrado, cuando fue mi profesor en la Maestría en Arquitectura hace veinte años.

Al **Dr. David Morillón Gálvez**: Profesor Investigador del Instituto de Ingeniería, así como del CIEPFA de la UNAM, Coordinador del Programa Universitario de Energía de la UNAM; Presidente de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES); por sus importantes y valiosos comentarios para enriquecer este trabajo, gracias por sus enseñanzas. Así mismo un reconocimiento por su entrega en las diferentes actividades y cargos que ha llevado a cabo y que actualmente desempeña a favor del uso racional de la energía y la promoción de las energías alternativas y renovables.

Al **Dr. Juan José Ambríz García**, Profesor Investigador, Jefe del Área de Ingeniería en Recursos Energéticos de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa y Ex Presidente de la ANES; por su apoyo invaluable, siempre atento y gentil para llevar a cabo la parte experimental de este trabajo, en las instalaciones del Laboratorio de Ambiente Controlado (LAC) de dicha Unidad y con quien a través de este tiempo, he desarrollado una buena amistad y un buen equipo para trabajos presentes y futuros.

Al **Dr. Hernando Romero Paredes Rubio**, Profesor Investigador, Coordinador de la Licenciatura de Ingeniería en Energía de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, por su destacada participación en la docencia, la investigación y su participación en asociaciones como la ANES, la ATPAE entre otras formando parte y encabezando sus Comités Directivos, gracias por su apoyo a este trabajo y por su amistad.

Al **Dr. Gabriel Merigo Basurto**, Profesor Investigador del CIEPFA, un amplio reconocimiento a su excelente labor docente, de investigación y administrativa en el Posgrado de la Facultad de Arquitectura de la UNAM.

Al **Dr. Fernando Martín Juez**: Profesor Investigador del CIEPFA de la UNAM, Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del CONACYT, a quien le reconozco sus aportaciones para la promoción de las energías alternativas en el campo del diseño edilicio.

Al **Mtro. Javier González Rosas**, Matemático por la Facultad de Ciencias y Maestro en Estadística Aplicada por el Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (IIMAS) de la UNAM, quien es Subdirector del Área de Coordinación Estatal del Consejo Nacional de Población (CONAPO), por su invaluable apoyo y asesoría en el análisis estadístico multivariado, reconociendo su amplia experiencia en el tratamiento y análisis de la información en instituciones como la citada y otras, así como su destacada participación como docente en diversos Programas de Posgrado Nacionales.

Por último y no por ello menos importante, un amplio reconocimiento a las nobles y prestigiadas instituciones de educación pública de nuestro país, -donde debemos señalar se realiza la más importante investigación científica-, ya que gracias al apoyo de ellas hoy se culmina este trabajo.

En primer lugar a la Facultad de Arquitectura de la **Universidad Nacional Autónoma de México**, donde he realizado mis estudios de Posgrado: de Maestría y Doctorado.

Al **Instituto Politécnico Nacional**, institución donde curse la licenciatura y donde hoy día formo parte de su planta docente, como Profesor Investigador de Tiempo Completo en el Nivel Superior y de Posgrado, en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Tecamachalco.

Así mismo a la **Universidad Autónoma Metropolitana**, ya que a través de su Unidad Iztapalapa tuve acceso al Laboratorio de Ambiente Controlado y con ello pude concretar la parte experimental de esta investigación.

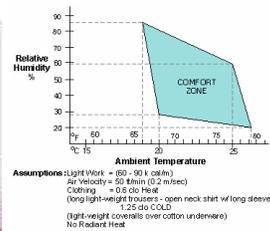
Tlalnepantla, Estado de México; a los dos días del mes de Junio del dos mil cinco.

Juan Raymundo Mayorga Cervantes
Maestro en Arquitectura

| Índice | Pág. |
|--|------|
| Introducción | 10 |
| La problemática del confort térmico en el ser humano, Problemática del confort térmico, Planteamiento del problema investigado, Justificación de la investigación sobre los modelos de confort térmico del ser humano, Objetivo de la investigación. | |
| Resumen | 14 |
| Summary | 14 |
| Capítulo 1.- Estado del arte de los modelos sobre el confort térmico en el ser humano. | 17 |
| Capítulo 2.- Marco teórico conceptual sobre los modelos del confort térmico del ser humano | 24 |
| 2.1.-Conceptos generales | 24 |
| El medio, el ser humano y el confort térmico; la holística, los sistemas y los modelos en Arquitectura. | |
| 2.2.-Bases teóricas generales | 26 |
| La habitabilidad y su relación con el confort térmico, La física ambiental y La física de materiales, La regulación y el control en biología. | |
| 2.3.-Bases teóricas particulares | 37 |
| Descripción taxonómica de los modelos, Análisis y comentarios a los modelos, El enfoque adaptativo en los modelos de confort térmico en el ser humano. | |
| 2.4.-Posición teórica con que se abordó el trabajo de investigación | 48 |
| Capítulo 3.- El modelo conceptual del confort térmico del ser humano y su hipótesis, un enfoque holístico | 51 |
| 3.1.-Hipótesis de investigación y especificación de variables para el estudio del confort térmico del ser humano | 51 |
| 3.2.-Modelo conceptual del fenómeno del confort térmico del ser humano derivado de la hipótesis de investigación | 54 |
| Enfoque sistémico y holístico, Representación gráfica, Definiciones del agrupamiento conceptual de las variables que forman el modelo holístico del confort térmico del ser humano. | |
| Capítulo 4.-Investigación ex post facto sobre el confort térmico del ser humano | 78 |
| Diseño utilizado para la investigación ex post facto; Muestra, sujetos y universo, Características de los espacios arquitectónicos donde se llevaron a cabo las pruebas, Instrumentos de medición aplicados, Procedimiento de la Investigación. | |
| Capítulo 5.-Investigación experimental sobre el confort térmico del ser humano | 96 |
| Diseño utilizado para la investigación ex post facto; Muestra, sujetos y universo, Instrumentos de medición aplicados, Características del laboratorio donde se llevaron a | |

cabo las pruebas experimentales, Procedimiento de la Investigación.

| | |
|---|-----|
| Capítulo 6.-Modelos matemáticos para el confort térmico del ser humano desde un enfoque holístico | 110 |
| 6.1.-La regresión lineal múltiple como técnica estadística de análisis multivariado | 110 |
| 6.2.- Modelos matemáticos para una Arquimetría Básica en el área del confort térmico del ser humano | 113 |
| El modelo utilizado, Estimación de parámetros, Pruebas de significancia del modelo, Validación del modelo. | |
| 6.3.-Ejemplos de aplicaciones para el Modelo 1. | 125 |
| 6.4.-Comentarios a los modelos matemáticos obtenidos | 130 |
| 6.5.-Análisis comparativo entre los modelos propuestos en este trabajo y otras investigaciones | 131 |
| Conclusiones y recomendaciones | |
| Cumplimiento de objetivos y aportación de evidencias para probar la hipótesis planteada, investigaciones futuras sobre el confort térmico del ser humano. | 143 |
| Apéndice A: Laboratorios para la investigación en el área del confort térmico y tópicos afines | 153 |
| En México, En Latinoamérica, En Europa y otros. | |
| Apéndice B: Instituciones en México, dedicadas al estudio del confort térmico y tópicos afines. | 156 |
| Apéndice C: Relación de cuadros, figuras y fotografías. | 158 |
| Apéndice D: Anexos. | 166 |
| Anexo 1.- Equipo portátil utilizado en las observaciones de la investigación tipo ex post facto y experimental. | 166 |
| Anexo 2.- Registro de velocidades del aire dentro de la cámara fría y de confort del Laboratorio de Ambiente Controlado. | 169 |
| Bibliografía y mediografía | 171 |
| Bibliografía temática, Bibliografía de metodología de la investigación y complementaria, Mediografía. | |



Introducción



“El pensamiento científico no se distingue tanto por proporcionar las respuestas correctas, como por formular las *preguntas correctas*”.

Introducción

El confort térmico del ser humano, es un componente fundamental de la *habitabilidad de los espacios arquitectónicos*, motivo principal de estudio de la Arquitectura, entendida esta como disciplina o campo de conocimiento.

Dicho fenómeno del confort térmico se presenta entre otras formas en el ser humano, a través de la sensación térmica (opinión cognoscitiva) y de la preferencia térmica (opinión afectiva) que el sujeto manifiesta, para con los demás o para sí mismo, cuando habita los espacios arquitectónicos. Las opiniones citadas no solo dependen de los aspectos personales de los individuos, tales como los biológicos, los psicológicos y los sociales; si no que se ven influenciados también por el contexto donde se desenvuelve éstos, es decir, su ambiente natural, su ambiente construido y su ambiente social.

El objetivo principal que se planteó y se alcanzó en el presente estudio, fue comprobar que el confort térmico del ser humano es un fenómeno de carácter holístico, para lo cuál se estableció un método de investigación orientado a la obtención de evidencias que permitieran corroborar dicho planteamiento, partiendo de la siguiente hipótesis de investigación o de trabajo:

“Si el fenómeno del confort térmico del ser humano tiene un carácter holístico, entonces un modelo de análisis con dicho enfoque permitirá definirlo cualitativa y cuantitativamente”.

El método de investigación comprendió dos estudios, el primero de tipo ex post facto en aulas de edificios escolares y el segundo de tipo experimental, con pruebas realizadas en la cámara térmica de un laboratorio de ambiente controlado, en ambos casos la muestra para cada estudio fue de tipo dirigida y se constituyó con sujetos voluntarios de población mexicana joven, con 503 sujetos para el primer caso y 137 sujetos en el estudio experimental, siendo homogéneos dichos sujetos en grado de instrucción escolar, estado de salud y pertenencia a un grupo de edad.

El estudio ex post facto se consideró de tipo correlacional/ explicativo, la hipótesis fue causal multivariada debido a que contaba con varias variables independientes y dos dependientes; y el diseño de investigación fue transeccional correlacional.

Para el caso del estudio experimental éste fue de tipo explicativo, la hipótesis al igual que en el caso anterior fue de tipo causal multivariada; y el diseño de investigación fue un diseño específico.

Una vez obtenida la información a partir de los instrumentos de investigación diseñados de acuerdo al tipo de estudio y de investigación respectiva, se procedió a darle un tratamiento a partir de la técnica matemática-estadística de regresión lineal múltiple

producto de lo cuál se obtuvieron cuatro modelos matemáticos que predicen y de analizan el confort térmico del ser humano. Dos modelos fueron resultado del estudio ex post facto y otros dos del estudio experimental.

Dichos modelos se validaron internamente a partir de la teoría de la regresión lineal múltiple y se validó exteriormente el buen funcionamiento de éstos, al realizar ejercicios de predicción y análisis, corroborando que los resultados obtenidos coincidían con teoría del confort térmico existente al respecto.

Finalmente podemos concluir que esta investigación aporta evidencias para corroborar el carácter holístico del concepto de confort térmico del ser humano en general y de la sensación y la preferencia térmica en particular, al formar parte de dicho concepto global estos dos tipos de opiniones (sensación y preferencia térmica).

Problemática del confort térmico

La problemática relativa al *confort térmico* de los seres humanos dentro de los edificios es diversa y para tener un primer acercamiento a ella, se propone hacerlo a partir de dos categorías que son: los problemas de orden conceptual y los problemas de orden técnico.



Fotografías No. 1 y 2.- Imágenes del Laboratorio de Heliodesiño del Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, donde se llevan a cabo investigaciones de tipo básico y aplicado en el tema de la Física Ambiental aplicada al Diseño Arquitectónico.

Los primeros se refieren a los problemas de investigación básica y los segundos a los de investigación aplicada o de desarrollo tecnológico, quedando inscrito nuestro trabajo en el primer grupo, es decir como un problema de investigación básica.

Dentro de los problemas de investigación básica destacan, entre otros, el desconocimiento por parte de los arquitectos o proyectistas en general de cómo actúan los elementos climáticos dentro de los edificios, es decir, podemos afirmar que, en general, los profesionales de la Arquitectura carecen de conocimientos de física ambiental aplicada al diseño arquitectónico.

Así mismo, como se verá más adelante, gran parte de las investigaciones publicadas, donde se aborda el fenómeno del confort térmico del ser humano, lo hacen desde una visión reduccionista, lo que se traduce primero, en no considerar variables que dentro del proceso del diseño arquitectónico permitirían tomar mejores decisiones al respecto.

Por otra parte, los intervalos establecidos para las zonas de confort térmico del ser humano a partir de dichos estudios, no representan correctamente al fenómeno citado, trayendo como consecuencias, decisiones incorrectas dentro del proceso de diseño de los edificios.

Por último, cabe señalar, que la mayor parte de los proyectistas, constructores e investigadores del campo de la Arquitectura tienen la idea de que el ser humano es un ente pasivo que reacciona a estímulos térmicos y que solo se concreta a manifestar su comodidad o incomodidad, cuando en realidad es un ente activo que participa en la construcción de su concepto de confort térmico.

Planteamiento del problema investigado:

A partir de lo descrito anteriormente, el planteamiento de la pregunta de investigación quedó de la siguiente manera:

¿Será posible que con un modelo de análisis de tipo holístico, pueda representarse al fenómeno del confort térmico del ser humano y así mismo definir dicho fenómeno cualitativa y cuantitativamente?



Fotografía No. 3.- Comprender mejor el concepto de confort térmico permite mejorar los métodos de diseño arquitectónico con enfoque bioclimático y con ello mejorar la habitabilidad de los edificios, (Casa de Tacubaya, México, DF, Luis Barragán, 1947)

Justificación de la investigación sobre los modelos de confort térmico del ser humano

En el presente trabajo se propone un modelo de análisis de tipo holístico, que aporta elementos que permiten una mejor comprensión del fenómeno del confort térmico del ser humano cuando se encuentra dentro de los edificios y donde se toman como marco teórico de referencia las diversas investigaciones existentes al respecto, que corresponden a investigadores extranjeros, ya que a nivel nacional los trabajos desde este enfoque son inexistentes, por lo que el presente estudio puede considerarse pionero dentro del enfoque holístico.

A través del citado modelo se pudo corroborar cuáles variables son significativas, así como el grado de importancia de éstas dentro de la definición del fenómeno estudiado.

La importancia de desarrollar este trabajo es que se obtuvo un modelo de análisis, clasificado como *investigación básica*, basado en estudios con población mexicana; así se aportaron otros conocimientos, que pueden ser punto de partida de futuras investigaciones, tal es el caso, de los estudios que

pueden desarrollarse para establecer estándares para zonas de confort térmico en nuestro país. Un primer paso en este sentido lo es, la zona de confort térmico identificada para nuestros casos de estudio, ya que dichos resultados permiten establecer conclusiones comparativas entre la opinión de un grupo de población mexicana, frente a otras establecidas para poblaciones de otras latitudes del mundo, principalmente de países anglosajones, lo que permite corroborar las diferencias entre las diversas propuestas existentes sobre las zonas de confort térmico.

El impacto de este trabajo dentro de los procesos de diseño es que se podrán mejorar las metodologías del diseño arquitectónico, a partir de contar con mejores explicaciones sobre el fenómeno del confort térmico, lo cuál es de suma importancia si tomamos en cuenta el gran parque edilicio con que cuenta nuestro país, baste señalar como ejemplo el rubro de viviendas, donde se cuenta con un parque habitacional de más de veintitrés millones de ellas¹.

Además, en nuestras ciudades, existen otros géneros de edificios de igual o mayor trascendencia social que los del tipo habitacional, ya sea por los recursos económicos ó los recursos energéticos que en ellos se invierten para su funcionamiento y de entre los cuáles podemos mencionar a los edificios dedicados a la atención a la salud o a los edificios de tipo escolar, en todos sus niveles y tipos de enseñanza.

Objetivo de la investigación

A continuación se enuncia el objetivo principal que animó la ejecución del presente trabajo:

Objetivo principal:

- Comprobar a través de un modelo de análisis, que el fenómeno del confort térmico del ser humano, tiene un carácter holístico y que además se puede definir cualitativa y cuantitativamente.

¹ Tan solo en Marzo del año 2000, la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), el Consejo Nacional de Población (CONAPO) y el Centro Impulsor de La Vivienda, señalaban que contábamos con un parque habitacional de 22'827,258 de unidades en todo el país.



Ningún hombre de temperamento científico afirma que lo que ahora es creído en ciencia sea *exactamente verdad*, afirma que es una etapa hacia el camino de la verdad.

Bertrand Rusell

“MODELO HOLÍSTICO PARA ANALIZAR EL CONFORT TÉRMICO DEL SER HUMANO DENTRO DE LOS EDIFICIOS”

Resumen

El confort térmico del ser humano, es un fenómeno que se presenta, entre otras formas, a través de la sensación térmica (opinión cognoscitiva) y la preferencia térmica (opinión afectiva) que el sujeto tiene por los espacios arquitectónicos que habita y donde éstas no solo dependen de los aspectos personales del individuo, como son los biológicos, los psicológicos y los sociales; si no que se ven influenciados también por el contexto donde se desenvuelve éstos, es decir, su ambiente natural, su ambiente construido y su ambiente social.

Así, el objetivo principal que se planteó en el presente trabajo fue comprobar si el confort térmico del ser humano es un fenómeno de carácter holístico, para lo cuál se estableció un método de investigación orientado a la obtención de evidencias que permitieran corroborar dicho planteamiento.

El método de investigación comprendió dos estudios, el primero de tipo ex post facto en aulas de edificios escolares y el segundo de tipo experimental, con pruebas realizadas en la cámara térmica de un laboratorio de ambiente controlado. La muestra se constituyó con sujetos voluntarios de población mexicana, que fueron homogéneos en grado de instrucción escolar, estado de salud y pertenencia a un grupo de edad, de entre los más importantes, obteniéndose como resultados modelos matemáticos que predicen y analizan el confort térmico.

Finalmente podemos concluir que esta investigación aporta evidencias para corroborar el carácter holístico del confort térmico del ser humano.

“HOLISTIC MODEL TO ANALYZE THE THERMAL COMFORT OF THE HUMAN BEING INSIDE BUILDINGS”

Summary

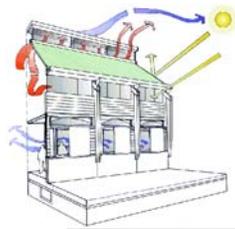
The human being thermal comfort is a phenomenon that is presented, among other forms, through the thermal sensation (cognitive opinion) and the thermal preference (affective opinion) that the subject has when he is in the architectural spaces that he inhabits. These opinions not only depend on the individual's personal aspects, like the biological, psychological and social ones, but also they are influenced by the context where

they are developed, that is to say, their natural, artificial and social environments.

Therefore, the main objective of this project was to demonstrate that the thermal comfort is a holistic character phenomenon. A research method focused on the process of getting evidences that allowed us to corroborate this statement was used.

This research method included two studies. The first one, a kind of ex post-facto study, took place in the classrooms of different schools. And the second one, a kind of experimental study and using tests, was carried out in the thermal room of a controlled environmental laboratory. The sample was made of a group of Mexican volunteer subjects. They had the same level of education, the same health conditions and they belonged to the same age group. The products of this research were mathematics models we can use to make predictions and analysis of the thermal comfort.

Finally, we concluded that this research gave us the evidences to corroborate the holistic character of the thermal comfort.



Capítulo 1

Estado del arte de los modelos del
confort térmico en el ser humano

“No se como el mundo me verá algún día, pero yo solo me siento como un niño que juega en la playa del mar y que jugando, encuentra de vez en cuando *un guijarro más liso o una concha más bonita de lo normal*, mientras que el océano de la verdad yace desconocido ante mis ojos”.

Isaac Newton

Capítulo 1.- Estado del arte de los modelos del confort térmico en el ser humano

Desde el inicio de la civilización humana, el hombre se ha dado a la tarea de buscar un refugio para su sobrevivencia, protegiéndose de los animales salvajes, de otras tribus o clanes de seres humanos, así como de las inclemencias del clima, tales como el *frío*, el *calor*, la lluvia y el viento, entre otros.

Con el paso del tiempo, el hombre fue evolucionando y de la misma forma fueron cambiando los espacios que habitaba, los cuáles dejaron de ser simples cuevas naturales pasando a ser espacios construidos donde sus habitantes podían desarrollar sus actividades cotidianas bajo mejores condiciones de comodidad.

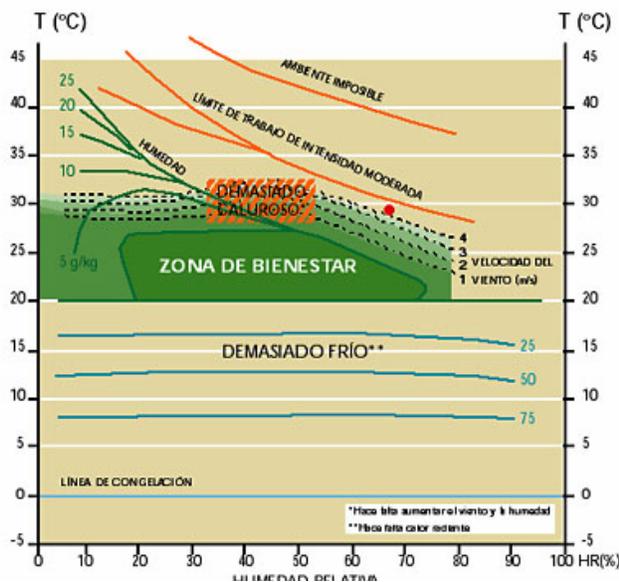


Fig. No. 1.-Uno de los primeros modelos que se utilizaron a partir de la segunda mitad del siglo XX, para determinar la zona de bienestar o de confort térmico, fue el que estableció Víctor Olgyay (1963) en su trabajo “Desing with Climate”.

En el desarrollo de la civilización humana, se puede observar la transformación de los espacios habitables del ser humano, así como las teorías que han tratado de explicar dichos procesos de cambio en la construcción edilicia.

En México durante el siglo XX, José Villagrán García (1964)¹, en su tratado de carácter axiológico: “Teoría de la Arquitectura”, expone, entre otros valores el de la utilidad, abordando también el concepto de la “habitabilidad en los espacios arquitectónicos”.

El antecedente más antiguo, dentro de la cultura arquitectónica occidental, es el tratado teórico del arquitecto romano: Marco Lucio Vitruvio Polión (aprox. s. I) llamado: “Los Diez Libros de Arquitectura”², trabajo donde se indicaba que la Arquitectura para ser considerada como tal, debía contar con tres valores fundamentales que eran: la *solidez*, la *utilidad* y la *belleza*, -firmitas, utilitas y venustas-.

¹VILLAGRÁN GARCÍA José, “Teoría de la Arquitectura”, México, 1988, p. 81

²VITRUVIO POLIÓN Marco Lucio, “Los Diez Libros de Arquitectura”, traducción directa del latín BLÁNQUEZ Agustín, Barcelona, España, 1970.

En el Libro Sexto de dicha obra literaria, se abordan aspectos específicos de cómo lograr el confort ambiental de los edificios en general y del confort térmico en particular.

Cabe destacar que en las propuestas teóricas de los autores antes citados, un componente común, es el valor de *lo útil* y como parte de éste, tenemos al confort ambiental que se manifiesta como un factor de la utilidad de los edificios, el que a su vez conforma el concepto de *habitabilidad de los espacios arquitectónicos*.

El concepto general de confort ambiental está formado por factores particulares como son el *confort térmico*, el confort acústico, el confort lumínico y el confort visual, entre otros.

La meta final que se estableció para este trabajo fue la construcción de un modelo que permitiría identificar y mostrar la importancia cualitativa y cuantitativa de las principales variables que participan en el fenómeno del confort térmico del ser humano cuando éste se encuentra dentro de los edificios.

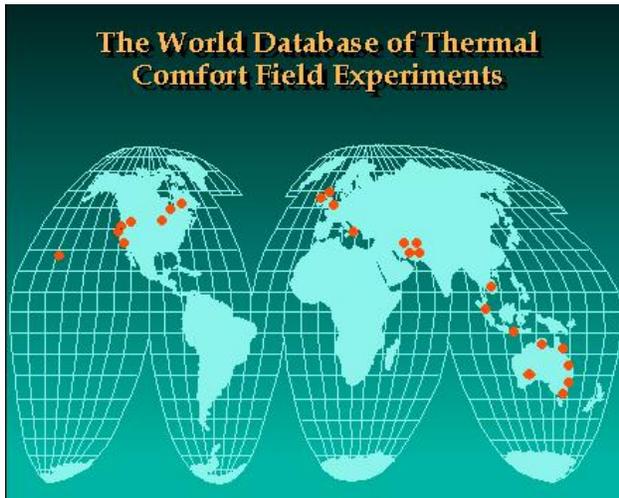


Fig. No. 2.- Uno de los trabajos más recientes sobre el estudio del confort térmico, fue el que desarrolló Richard de Dear et al (1997) en Australia y que se llama “Developing and Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, ASHRAE RP-884”.

Al respecto, debe mencionarse que el *objeto de estudio* para este trabajo, fue *el ser humano*, ligado a las unidades de análisis que fueron los edificios -objetos culturales-, de los cuales se *apropian* sus habitantes y se van transformando conjuntamente hombre y espacios arquitectónicos, al ritmo temporal del cambio cotidiano de las sociedades que los habitan.

Siendo la *habitabilidad*, la principal cualidad de las obras arquitectónicas y que se manifiesta como una *variable en el tiempo y el espacio*, traslada dicha propiedad a cada uno de los factores que la componen, entre ellos el confort térmico.

De esta manera es posible que el hombre se apropie del espacio arquitectónico y pueda satisfacer sus necesidades, unas de carácter objetivo y otras de tipo subjetivo.

Modelos sobre el confort térmico en el ser humano

Como ya se mencionó anteriormente, fue Vitruvio Polión (aprox. s. I D. C.), quien estableció en el “Libro Sexto” de su tratado “Los Diez Libros de Arquitectura”³, recomendaciones para lograr el confort térmico en los edificios, a partir de los climas particulares de las diferentes regiones donde se construirían éstos; así que, desde esa

³ VITRUVIO POLIÓN Marco Lucio Op. cit, p. 137.

época y hasta el siglo XIX, las “recomendaciones bioclimáticas” para el diseño de los edificios se basaban principalmente en el pragmatismo de la práctica profesional de los arquitectos.

En un sentido estricto en relación con el tema del confort térmico, es Lavoisier (s. XVIII D. C.),⁴ quien vislumbró que la incomodidad térmica del ser humano dentro de los espacios arquitectónicos cerrados, no se debía como hasta entonces se creía, a la composición química del aire que se estaba “usando”, si no que era resultado principalmente, del calentamiento de dicho aire, es decir, que se debía a un proceso físico y no a uno químico, como lo era la acumulación de CO₂, por el uso del aire en los procesos de respiración de los sujetos que habitaban dichos espacios.

En el siglo XIX, en Europa y particularmente en Inglaterra, fue donde se desarrollaron los primeros estudios sobre el confort o bienestar térmico⁵, los cuáles se llevaron a cabo para tratar de resolver problemas que se les presentaban, por el tipo de industrias y actividades que sostenían económicamente a dichas sociedades.



Fotografía No. 4.- Los modelos más importantes para analizar el confort térmico del ser humano se han desarrollado a partir de estudios experimentales, principalmente en países Europeos, de Australia y de USA.

Dichos problemas se presentaban en los lugares de trabajo, como las minas y las instalaciones de la industria textil, sitios donde reiteradamente existían accidentes y en general se presentaba una problemática de salud, entre otros, debido al calor y a la humedad que se registraba en dichos centros de trabajo.

Es así, que Sir Leonard Hill (1914), fue quien llevó a cabo un experimento, que consistió en encerrar a un grupo de personas, en una habitación y registrar el incremento del malestar biotérmico de dichos ocupantes⁶. Con ese trabajo se corroboró lo planteado anteriormente por Lavoisier, referente a que la incomodidad térmica se debía principalmente a procesos de tipo físico.

Los primeros estudios desarrollados por diferentes grupos de investigadores, se ubicaban en dos orientaciones, la primera enfatizaba el aspecto subjetivo del confort térmico y con ellos se trataba de predecir como se sentirían determinadas personas, mientras que la segunda orientación o tendencia, abordaba la objetividad de los hechos fisiológicos del cuerpo humano y a partir de dichos trabajos se trataba de predecir aquello, que fisiológicamente le sucedería al ser humano, al margen de sus contenidos de

⁴ TUDELA Fernando, “Ecodiseño”, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, D. F., México, 1982, p. 30

⁵ Ibid.

⁶ Ibid, p. 29.

conciencia⁷.

Por tanto, fue necesario en una primera etapa investigar documentalmente sobre el estado del arte referente a los modelos que tratan de definir y/o explicar el fenómeno del confort térmico.

A continuación se presenta un resumen que contiene los trabajos de investigación que se han considerado trascendentes en el desarrollo del conocimiento sobre el fenómeno del confort térmico del hombre cuando se encuentra dentro de los edificios.

Así mismo se incluyen aquellos estudios que abordan a la variable temperatura del aire, que sin lugar a dudas, se intuyó es la variable más importante del fenómeno citado; ya que a partir de ella se establecen los rangos inferior y superior de las zonas de confort térmico.

Cuadro 1. Modelos que explican parcial o totalmente al fenómeno del confort térmico.

| No. | Estudio | Autor(es) | Año (s) |
|-----|---|---|---------|
| 1 | “Experimentum Cruxis” ⁸ | Sir Leonard Hill | 1914 |
| 2 | “The Effective Temperature Index” ⁹ , (Índice de Temperatura Efectiva, TE) | F. C. Houghten y C.P. Yaglou, en los Laboratorios de Investigación de la American Society of Heating and Ventilating Engenieers (ASHVE) lo que hoy día es la ASHRAE, en Pittsburg, EE.UU. | 1923 |
| 3 | “Temperatura Efectiva Corregida” (TEC) | C.P. Yaglou y Millar | 1925 |
| 4 | “Índice de Calor Equivalente” (antecedente de los modelos adaptativos) | Beford | 1936 |
| 5 | “Ecuación de Balance Energético Humano” | Gagge | 1936 |
| 6 | Estudio sobre el factor de arropamiento | Gagge, Burton y Gazatt | 1941 |
| 7 | “Temperatura Resultante” | Missenard | 1948 |
| 8 | “Temperatura Operativa” | Winslow, C. E. A., Herrington, L.P. | 1949 |
| 9 | “Escala de Valor Equivalente” | Bedford T. | 1950 |
| 10 | “Índice de Esfuerzo frente al Calor” (IEC), también llamado Índice de Tensión Calórico (ITC), “Heat Stress Index” ¹⁰ | Belding y Hatch | 1955 |
| 11 | “Índice de Tensión Térmica” (ITT) ¹¹ | Baruch Givoni | 1963 |
| 12 | Cartas bioclimáticas | Víctor Olgyay | 1963 |
| 13 | Índice de estrés | Lee y Henschel | 1966 |

⁷ Ibid, p. 40.

⁸ Ibid, p. 29.

⁹ GAGGE A. P., NISHI Y., GONZALEZ R. R., “Standard Effective Temperature, A Single Temperature Index of Temperature Sensation and Thermal Discomfort”, Londres, Inglaterra, 1972.

¹⁰ RAMÓN Fernando, “Ropa, Sudor y Arquitecturas”, España 1980

¹¹ GIVONI Baruch, “Man, Climate and Architecture”, Londres, Inglaterra, 1976.

| No. | Estudio | Autor(es) | Año (s) |
|-----|---|--|-------------------------------------|
| 14 | Estudios respecto a la edad | Nevins et al. (1966); Rohles y Johnson (1972); P. O. Fanger y Langkilde (1975), Langkilde (1979), Collins y Hoinville (1980), P. O. Fanger (1982), en Dinamarca y EE.UU. | 1966, 1972, 1975, 1979, 1980 y 1982 |
| 15 | “Género del habitante” | Rohles and Nevins (1971), Rohles (1973), P.O. Fanger (1982). | 1971, 1973 y 1982 |
| 16 | “Índice de sudoración” (S) | Givoni, Berner-Nir. | 1967 |
| 17 | Ecuación del Voto Promedio PMV-PPD | P.O. Fanger. | 1970 |
| 18 | Factores secundarios ¹² | Rohles y Nevis. | 1971 |
| 19 | Tablas de Mahoney ¹³ | Carl Mahoney. | 1973 |
| 20 | “Variaciones de día a día” | P. O. Fanger. | 1973 |
| 21 | Ritmos temporales y circadianos | P. O. Fanger et al. | 1973 |
| 22 | Temperatura Efectiva (T. E.) | Koenigsberger y Otros, en trópicos. | 1974 |
| 23 | Ecuación para conocer la Neutralidad Térmica (Modelo adaptativo) | Humphreys M. A. | 1975 |
| 24 | Carta Bioclimática Psicométrica | Baruch Givoni. | 1976 |
| 25 | Nueva Temperatura Efectiva (ET) | American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers Inc., ASHRAE. | 1977 |
| 26 | Zona de Confort Térmico ajustada por medio de la temperatura media anual del lugar de que se trate. | P. Wakely. | 1979 |
| 27 | Índice Humidex | Masterton J. M. y Richardson F. A., AES Enviroment Canadá. | 1979 |
| 28 | Temperatura Efectiva Estándar (SET) | McIntyre D. A. | 1980 |
| 29 | Ecuación para conocer la Neutralidad Térmica | Auliciems Andris. | 1981 |
| 30 | Ecuación de la comodidad térmica | P.O. Fanger | 1982 |
| 31 | Estudios sobre aclimatación | P. Ole Fanger, realiza experimentos en EE.UU., Dinamarca y países tropicales. | 1982 |
| 32 | ASHRAE Standard 55-1992, “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy” | American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers Inc., ASHRAE. | 1992 |
| 33 | “ISO 7730, Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort” | International Organization for Standardization, ISO | 1994 |
| 34 | ISO 10551: 1995, “Ergonomic of the Thermal Environment, Assessment of the Influence of the Thermal Environment Using Subjective Judgement Scales” | International Organization for Standardization, ISO. | 1995 |
| 35 | Ecuación para conocer la Neutralidad Térmica | Nicol F. y Roaf. | 1996 |

¹² ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS 1997, Atlanta, EE.UU., Chapter 8, p. 8.12

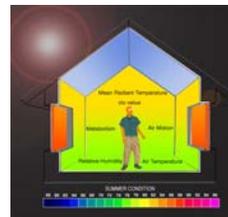
¹³ KOENIGSBERGER et al, “Viviendas y Edificios en Zonas Cálidas y Tropicales”, Madrid, España, 1977.

| No. | Estudio | Autor(es) | Año (s) |
|-----|---|---|---------|
| 36 | “Parámetros que intervienen y se interrelacionan para definir la zona de Confort Higrotérmico, dentro de un Ambiente Arquitectónico, diseñado para la práctica de actividades deportivas” ¹⁴ | Néstor A. Mesa Arizabalo, UNAM, México. | 1997 |
| 37 | Developing and Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, ASHRAE RP-884 | Richard de Dear et al, Australia. | 1997 |
| 368 | Triángulos de Confort ¹⁵ | John Martin Evans, Argentina. | 2000 |
| 39 | Zona Variable de Confort Térmico | Francisco Javier Chávez del Valle, U. Politécnica de Cataluña, España. | 2002 |
| 40 | ASHRAE Standard 55-2004, “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy” | American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers Inc., ASHRAE. | 2004 |

En el cuadro anterior se incluyen diversos modelos desarrollados en el periodo de 1914 a 2002, debido a que es durante el siglo XX, cuando comienzan a desarrollarse los trabajos de investigación científica más importantes en el campo del confort térmico del ser humano, generándose a partir de ellos nuevos conocimientos científicos, de tipo básico y aplicado.

¹⁴ MESA ARIZABALO Néstor Alejandro, “Parámetros que intervienen y se interrelacionan para definir la zona de Confort Higrotérmico, dentro de un Ambiente Arquitectónico, diseñado para la práctica de actividades deportivas”, D.F., México, 1997.

¹⁵ EVANS John Martín, “Técnicas Bioclimáticas de Diseño: Las Tablas de Confort y los Triángulos de Confort”, Memorias de COTEDI 2000, Maracaibo, Venezuela, 2000.



Capítulo 2

Marco teórico conceptual sobre los
modelos del confort térmico del ser humano

“La inteligencia aclara la relación entre medios y fines, pero el mero pensamiento no puede proporcionarnos un sentido de los fines últimos y fundamentales”.

Albert Einstein

Capítulo 2.- Marco teórico conceptual sobre los modelos del confort térmico del ser humano

2.1-Conceptos generales

El marco teórico-conceptual del presente estudio se desarrolló en dos partes, la primera de ellas se refiere a los conceptos generales sobre los que se basa el trabajo y que permiten establecer definiciones operativas de la temática abordada, así como el enfoque general del mismo; la segunda parte se refiere a las bases teóricas generales y particulares, sobre las que se fundamentaron las ideas y el modelo holístico de análisis propuesto.

Los conceptos generales se subdividieron en tópicos principales (el ambiente, el ser humano y el confort térmico) y tópicos secundarios (la holística, los sistemas y los modelos en Arquitectura), que se constituyeron como marco referencial del estudio y que son los siguientes:



Fotografía No. 5.-El clima es una variable importante a considerar dentro de la construcción del concepto de confort térmico.

2.1.1.-El ambiente, el ser humano y el confort térmico.

Los tópicos principales son aquellos elementos alrededor de los cuáles, se desarrolló toda la investigación y que a partir de ellos se construyó la hipótesis de estudio y que a continuación se describen:

El ambiente: Es la realidad concreta que nos rodea en un momento histórico determinado y que a su vez se subdivide en las siguientes partes: *ambiente natural,*

*ambiente social y ambiente construido*¹.

El ser humano: Para este trabajo se define al Ser Humano como una entidad formada por tres componentes que son: *La parte biológica, la parte psicológica y la parte social*².

¹ La definición del concepto ambiente, compuesto de tres partes ó subsistemas se tomó de la portada de las Memorias del 2º Seminario Internacional sobre Formación Ambiental, Valores y Corrupción”, Septiembre 1997, UNAM, México.

² VILLAGRÁN GARCÍA José, Op. cit, p. 203.

El confort térmico: Respecto a este concepto se parte de la definición dada en la norma ISO 7730 que dice que es: “*Aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico*”³; y la de ASHRAE 55-1992, donde se indica que el confort térmico en un espacio determinado se alcanza cuando el 80% de las personas que se encuentran ahí expresan satisfacción⁴.

Cabe señalar que una definición operativa del término confort térmico, deberá contener necesariamente, entre otros elementos constitutivos, al ambiente natural particularmente al clima, las características del ambiente construido, es decir el edificio; así como el ambiente social; por otra parte también tiene como elementos, a las características físicas y fisiológicas del cuerpo humano, así como los factores subjetivos del ser humano como son los factores psicológicos, sociales y culturales.

2.1.2.- La holística, los sistemas y los modelos en Arquitectura

A continuación se presentan los tópicos secundarios, a partir de los cuáles giró la concepción de la presente investigación y sirvió para estructurar el enfoque general del trabajo desarrollado, siendo estos los siguientes:

La holística: Se entiende a ésta como una forma de comprensión de la realidad en función de *totalidades en procesos integrados*⁵, al plantear el enfoque holístico, se dio como supuesto el uso dentro de la investigación de la triada: heurística, crítica y holística.

En la actualidad para tratar de explicar cualquier fenómeno que tenga como referencia al hombre, requiere de una visión integral y total es decir holística.

Los sistemas: La visión sistémica se basa en tratar de explicar los fenómenos a partir de subdividir la realidad en partes, para facilitar su estudio.

Implica una síntesis valorativa final que permita el análisis del significado del sistema en su totalidad, incluida la sinergia de los elementos que conforman el fenómeno, así como la recursividad de los subsistemas derivados del fenómeno de estudio y sistemas más amplios a los cuales pueda pertenecer dicho fenómeno, en el caso del confort térmico un sistema superior al cuál pertenece es el de *la habitabilidad* y los subsistemas derivados de él, son los de tipo externo al ser humano como son el ambiente natural, el construido y el social por una parte, así como los de tipo interno ó personales del ser humano, es decir la parte biológica, la parte psicológica y la parte social.

Para abordar este tema de investigación se consideró que el enfoque sistémico era el adecuado para abordar la visión holística.

³ ISO 7730, “Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort”, International Organization for Standardization, 1994.

⁴ ANSI/ASHRAE Standard 55-1992, “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”, American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers Inc., Atlanta, USA, 1992.

⁵ GALLEGOS NAVA Ramón, “Educación Holista”, Primera edición, Editorial Pax, D. F., México, 1999, p. 17

Los modelos de análisis en Arquitectura

Se entiende al modelo como una muestra particular de la explicación general, es decir es teoría, que representa y muestra las condiciones ideales en las que se produce un fenómeno⁶.

En el campo del diseño para la Ingeniería y la Arquitectura se han planteado diversos tipos de modelos que explican el fenómeno del confort térmico, tales como los citados en la parte del estado del arte del presente trabajo, que van desde los diagramas o cartas bioclimáticas, hasta los modelos matemáticos en forma de ecuaciones.



Fotografía No. 6.-La Ciudad de México representa un parque edilicio de grandes dimensiones y donde lograr la habitabilidad de sus espacios arquitectónicos resulta de gran importancia, ahí, el confort térmico es una de las variables importantes, por el ahorro energético que representaría hacerlo por medio de sistemas pasivos, aunque debe aclararse que en climas extremos, dicho ahorro es todavía mayor.

Según Yurén Camarena (1978) en el campo científico, los modelos pueden ser formales o materiales, de acuerdo con su nivel de abstracción; y de acuerdo con el nivel del proceso de investigación en que se encuentre pueden ser: básicos, operativos ó teóricos.

En nuestro trabajo se desarrollaron modelos formales de tipo gráfico alternándolos con otros de tipo escrito, para visualizar y explicar el problema en un proceso continuo de deconstrucción y construcción, para que por último y como resultado del método científico se obtuvieran modelos formales de tipo matemático.

En todos los casos, con estos modelos se trató de representar una estructura idealizada o teoría que se supone es análoga a la de un sistema real y donde se exhiben las relaciones entre las variables del fenómeno que se intenta explicar, afirmándose con él, que estas relaciones

formales son semejantes a las existentes en la realidad.

2.2.-Bases teóricas generales

Los principios teóricos de carácter general sobre los que se apoyó el presente trabajo son los siguientes:

- La habitabilidad y su relación con el confort térmico
- La física ambiental y la física de materiales
- La regulación y el control en biología

⁶ YURÉN CAMARENA María Teresa “Leyes, Teorías y Modelos”, D.F., México, 1975, pp. 57-75

2.2.1.-La habitabilidad y su relación con el confort térmico

En primer lugar conviene decir que el *concepto de confort térmico tiene dos componentes, una de carácter objetivo y otra de tipo subjetivo*, lo cuál no significa, que dicho fenómeno no pueda medirse, por el contrario es necesario conocerlo mejor cualitativa y cuantitativamente, para que entonces a partir de dicho conocimiento se pueda comprender mejor.

Es importante señalar, que los umbrales que delimitan la zona de confort térmico son variables para cada grupo humano, tomando en cuenta el espacio donde se encuentre, el tiempo histórico de que se trate y por último la forma de habitar el espacio; así para ejemplificar mejor lo antes dicho, basta citar los siguientes ejemplos:

Para un habitante de Alaska, la temperatura de 10° C es una temperatura “alta” y “sentirá calor”, sin embargo, para un caribeño, digamos un Santiaguero de Cuba, la misma temperatura de 10° C es “baja” y “sentirá frío”, al respecto podemos observar que cada grupo humano tiene diferentes capacidades para soportar los diversos umbrales de temperatura que delimitan la zona de confort térmico para condiciones climatológicas diferentes.

Otro ejemplo es, que en dos espacios arquitectónicos de un mismo edificio y debido principalmente a la orientación solar del mismo, podamos tener diferentes niveles de temperatura en partes diferentes del mismo edificio y sin embargo registrar en ambos casos comodidad térmica. Por ejemplo un edificio que se encuentre ubicado en la Ciudad de México y en uno de sus locales se registre una temperatura de 14° C y en otro de 24° C, es posible que sus habitantes se encuentren en comodidad térmica, aún con dichas diferencias, si por ejemplo en el primer caso (14° C), los usuarios llevan a cabo una actividad metabólica muscular intensa y en el segundo caso (24° C), su actividad metabólica muscular sea de reposo, esta sola variable: metabolismo muscular, permite compensar en ambos casos la temperatura del entorno construido.

El tercer ejemplo se refiere, a que en un mismo local de un edificio en la Ciudad de México, con una temperatura del aire de 22° C, debería representar comodidad térmica, sin embargo, si en dicho local existen fenómenos de asimetría por radiación, diferencias verticales de ventilación u otros, que superen los estándares que hay al respecto, entonces, no importa la temperatura del aire registrada para dicho local, seguramente las personas que habiten el espacio con dichas diferencias sentirán un ambiente térmico diferente, estando en varios casos fuera del confort térmico deseado.

En los ejemplos anteriores queda claro que la variable temperatura del aire, no es la única que participa en la construcción del concepto de confort térmico si no que interactúan al mismo tiempo otras variables más.

Las diferencias de cada grupo social, tienen su origen no solo en factores objetivos como son los climáticos, del comportamiento biológico de su cuerpo, género, edad, peso, estatura, entre otros, si no también en otros de tipo subjetivo, tales como el estado emocional del sujeto, las relaciones simbólicas entre conceptos de comodidad, frío, calor y

espacios físicos habitables, etc.

Así, el fenómeno del confort térmico, impacta a un concepto mayor que lo contiene, siendo este la habitabilidad, entonces, el fenómeno del confort térmico, se ve modificado también por las variables que definen al fenómeno de la habitabilidad de un espacio arquitectónico.

A este respecto podemos decir que una de las razones de carácter ontológico más importante de los edificios, es el de ser elementos que procuren una *mejor calidad de vida de los habitantes* de ellos, ya que aún hoy, a principios del siglo XXI, en la mayor parte de los asentamientos humanos urbanos y rurales de nuestro país, encontramos graves problemas que se traducen en una baja calidad de vida de sus moradores.

Si partimos de la definición de calidad de vida dada en la Conferencia Regional sobre la Pobreza en América Latina y el Caribe, del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (Quito, Ecuador, 1990)⁷, donde se señala que los aspectos básicos para alcanzar una calidad de vida del ser humano deben ser: “... una alimentación con los requerimientos que permitan mantener la salud y la reproducción biológica y que para lograrlo es indispensable contar con servicios de salud, *vivienda digna*, socialización y educación básica, lo que solo podrá alcanzarse si se incluyen entre otros la capacitación para el trabajo, la recreación y la cultura”; entonces las condiciones de los espacios habitables son fundamentales para alcanzar junto con otros aspectos la calidad de vida citada.

Rolando Collado V. (1997)⁸, de México, indica que los factores que influyen en el concepto de calidad de vida son: los económicos (ingresos, empleo), el *tipo de vivienda*, la nutrición, la educación, los *ambientales*, los sociales, la contaminación atmosférica del lugar donde viven, el acceso a los servicios de salud, los individuales (genéticos, *metabólicos*, biológicos), los estilos de vida (recreación, alcoholismo, tabaquismo y uso de otras drogas; sexo inseguro, inactividad física) y los laborales (condiciones y ambiente de trabajo).

En las dos definiciones anteriores referentes a la calidad de vida, se alude al tipo de vivienda, al bienestar, a las características individuales, quedando clara la importancia del concepto de vivienda digna, la cuál debe ser una *vivienda habitable*, por tanto es fundamental establecer una definición operativa del concepto de habitabilidad.

A este respecto debemos señalar, que aunque el concepto de habitabilidad hoy día sigue construyéndose, podemos enumerar cuando menos, algunos de los elementos que forman parte de ella y que según el Dr. Serafín Mercado Doménech (1995)⁹ son entre otros: las condiciones físicas y climáticas del medio natural, la adaptación, la identificación y el arraigo, la cultura, la decoración y el uso de los espacios.

⁷ MAYORGA CERVANTES J. Raymundo “Las Mujeres Mexicanas y su Papel en el Mejoramiento de la Vivienda Rural”, CYTED-HABYTED, San Luis Potosí, S. L. P., México, Noviembre de 2000, pp. 193-197.

⁸ COLLADO VIDES Rolando “Calidad de Vida de los Trabajadores”, D.F. México, 1999.

⁹ MERCADO DOMÉNECH Serafín J. et al, “Habitabilidad de la Vivienda Urbana”, D.F. México, 1995 pp. 18-22

Entonces la habitabilidad de un espacio arquitectónico esta dada por los elementos de carácter físico-geográficos, climatológicos (el medio natural), las características físicas del espacio arquitectónico (el edificio) y los propios del ser humano, es decir de tipo biológico, psicológico y social, incluido dentro de este último, las de tipo cultural.

En resumen, el confort térmico es parte constitutiva de un concepto global más amplio: *La habitabilidad de los espacios arquitectónicos* y como elemento de dicho concepto, toma las categorías que la conforman y que según este trabajo son: el medio natural, el medio construido, el medio social y por parte del hombre su parte biológica, su parte psicológica y su parte social.

2.2.2.-La física ambiental y la física de materiales

La física ambiental

A este respecto tenemos como punto de partida lo referente a las Leyes de la Termodinámica, que son:

1ª Ley de la termodinámica: *“La energía no puede crearse ni destruirse si no solo convertirse de una forma a otra¹⁰”*.

La 2ª Ley de la termodinámica:

Según Granet Irving (1988)¹¹, es una expresión derivada del hecho empírico de que todas las formas de energía no necesariamente son equivalentes en su capacidad para realizar un trabajo útil y para tratar de expresar la segunda ley citada, partimos de los siguientes enunciados:

Enunciado de Clausius: “Es imposible construir un dispositivo que opere en un solo ciclo y cuyo único efecto sea el de transferir calor de un cuerpo frío a otro más caliente (el calor no puede, por si solo, pasar de una temperatura baja a otra más alta).”

Enunciado de Kelvin-Plank: “Es imposible construir un dispositivo que opere en un ciclo y no genere ningún otro efecto, que la producción de trabajo y el intercambio de calor con un solo sumidero.”

Una de tantas consecuencias de esta 2ª Ley de la termodinámica es la conclusión de que todos los procesos naturales son irreversibles, ya que se ha demostrado que la presencia de la fricción hace que un proceso sea irreversible.

Cabe señalar que entendemos por proceso reversible, aquel que se lleva a cabo de tal manera que el sistema y todos sus alrededores pueden regresarse a sus estados iniciales efectuando el proceso inverso.

¹⁰ GRANET Irving, “Termodinámica”, México, 1988, p. 81

¹¹ Ibid p. 151

Russek M. y Cabanac M. (1990)¹², ejemplifican el caso de un sistema reversible con un satélite dando vueltas alrededor de la Tierra en una órbita elíptica, donde la energía cinética está siendo transformada en energía potencial cuando se está alejando de la tierra y de manera inversa cuando se está acercando siendo ésta una transformación conservativa.

Un ejemplo de sistemas no reversibles puesto por estos autores, es el caso de un cuerpo cayendo a la Tierra donde la energía potencial es primero transformada en energía cinética, luego ésta es transformada en calor, sin embargo, no es posible transformar el calor producido en suficiente energía cinética para llevar al cuerpo a su altura inicial.

Esta es según los autores citados la base de la 2ª Ley de la Termodinámica que expresa que el calor no puede ser completamente transformado en otras formas de energía, porque solo puede fluir entre regiones a diferentes temperaturas. Si la temperatura de un sistema cerrado es homogénea el calor contenido en el no puede usarse para producir trabajo, a esta energía inútil se le llama entropía, en contraparte la energía que puede ser transformada en otros tipos y además puede usarse para producir trabajo se conoce como energía libre, cuando tenemos un sistema termodinámicamente aislado que se mueve hacia el equilibrio, su energía libre se está transformando en entropía dentro del sistema.

Otros puntos importantes a tomarse en cuenta dentro de la física ambiental lo son, las formas en que el cuerpo del ser humano intercambia calor con su ambiente natural y construido; y que a saber son: conducción, radiación, convección, evapotranspiración y metabolismo.

La forma de transmisión de calor por conducción entre el hombre y el espacio arquitectónico, se da a través del contacto de las plantas de los pies con el piso del espacio arquitectónico o cuando nos sentamos sobre algún mobiliario o eventualmente al tocar superficies con diferente temperatura a la de nuestro cuerpo.

La transmisión de calor por radiación se da principalmente por la radiación solar directa a nuestro cuerpo a través de ventanas o espacios abiertos al exterior o por radiaciones de otros cuerpos, como son equipos eléctricos o mecánicos que irradian calor o frío, o nuestra cercanía a elementos arquitectónicos que están siendo radiados por el sol o por corrientes de aire frío, por ejemplo, muros, techumbres, etc.

Otra forma de transmisión de calor entre el hombre y su ambiente, es por convección, que consiste básicamente en que el aire con determinada temperatura más baja o más alta que la del cuerpo humano, deposita o retira calor o frío de la superficie de nuestra piel o de nuestra vestimenta mediante el fenómeno de rozamiento.

Una forma de intercambio de calor entre el cuerpo humano y su medio natural y construido es por medio de la pérdida de calor de nuestro cuerpo a través de los procesos de evapo-transpiración (respiración) y por la sudoración de nuestro organismo.

¹² RUSSEK Mauricio y CABANAC Michael, “Regulación y Control en Biología”, México, 1990, pp. 33-34

La última forma en que intercambia calor nuestro cuerpo con su ambiente físico es a partir del llamado metabolismo, que son aquellos procesos que se generan en el interior de nuestro cuerpo, al realizar sus actividades funcionales, generándose calor debido primero al llamado metabolismo basal, el cuál se da por el funcionamiento de nuestras funciones automáticas, como son los procesos de respiración, de digestión, de latido del corazón, etc.

Una segunda forma de producción de calor interno en nuestro cuerpo y que luego intercambia con su medio físico es el llamado metabolismo muscular, que se refiere al calor generado por las actividades desarrolladas por los músculos de nuestro cuerpo, a diferencia del basal, este tipo de metabolismo es de tipo volitivo, es decir conciente.

La física de materiales

La energía es la capacidad de realizar un determinado trabajo, en la Física se define al trabajo como el producto de la fuerza aplicada a un cuerpo por la distancia a que lo hace desplazar, podemos entender como conceptos equivalentes al trabajo y la energía si se infiere que cualquier movimiento solo es posible cuando se dispone de energía transformada adecuadamente para llevar a cabo esa función. Todos los cuerpos tienen energía.

La energía tiene diferentes manifestaciones: la eléctrica, hidráulica, eólica, solar, atómica, química, térmica, etc., en nuestro caso es de interés el estudio del concepto de la energía térmica.

Cabe mencionar que las expresiones matemáticas que se presentan en esta parte corresponden a la aplicación específica a los materiales de uso en los espacios arquitectónicos y en su relación con su usuario: el ser humano.

Energía térmica: Todo cuerpo tiene una cantidad de energía térmica en su interior y es lo que conocemos como calor y que físicamente se manifiesta por el movimiento que tienen sus moléculas, átomos y partículas. La energía térmica se puede transferir por convección, conducción y radiación.

El fenómeno de transmisión del calor no se da con otros tipos de energía como la hidráulica, la eólica, etc. Para el calor no hay barreras y por tanto cualquier materia significa una resistencia de efectividad variable, pero nunca impide totalmente su transmisión.

Energía térmica por radiación: Todos los cuerpos emiten su energía térmica interna en forma de ondas electromagnéticas. El balance final será que el cuerpo frío recibirá energía emitida del cuerpo con mayor temperatura¹³.

¹³ Notas del Dr. Juan José Ambríz García en revisión a éste trabajo, UAM-Iztapalapa, México, D.F., Septiembre de 2005.

La energía térmica radiante se constituye por ondas electromagnéticas que se desplazan a 300000 km /seg (velocidad de la luz), es de tipo corpuscular y está formada de pequeños fotones, cuya masa es inversamente proporcional a la longitud de su onda¹⁴, *la luz y la óptica en general siguen las leyes de las radiaciones pues está contenida en ella, entonces al llegar a un cuerpo dichas ondas son absorbidas, reflejadas o transmitidas.*

En todo sitio tienen lugar complejos fenómenos de transmisión de calor, ya que cada cuerpo es a la vez receptor y emisor de energía, para nuestro caso hay dos fuentes principales de emisión de energía térmica radiante que son: el sol o cuerpo de alta temperatura cuyas ondas son cortas y todos los cuerpos que nos rodean que son cuerpos de baja temperatura y que por lo general tienen temperaturas menores de 100° C que emiten ondas largas.

Es importante mencionar que el aire es diatérmico, es decir es transparente a la energía radiante, ya que su capacidad de absorber y emitir este tipo de energía es insignificante.

Propiedades de los materiales como cuerpos receptores de calor:

Cuando la energía térmica radiante incide sobre un cuerpo, ésta puede ser absorbida, reflejada o transmitida, cuando hablamos de transmitida se dice que atraviesa al cuerpo por transparencia, como ocurre con el aire o el vidrio.

Si llamamos E_i a la energía total incidente, E_a , E_r , E_t , son la energía absorbida, energía reflejada y energía transmitida, respectivamente, entonces tenemos:

$$E_a + E_r + E_t = E_i$$

Y donde para obtener los coeficientes de absorción (a), de reflexión (r) y de transmisión (t) podemos dividir la ecuación anterior entre E_i y entonces tendremos:

$$a + r + t = 1 \quad (\text{para cuerpos transparentes})$$

y en los cuerpos opacos por ser $t = 0$ tenemos:

$$a + r = 1 \quad (\text{para cuerpos opacos})$$

Los materiales tienen un comportamiento selectivo respecto a la energía total incidente, esto quiere decir que la cantidad de energía que absorben, reflejan o transmiten es diferente para cada longitud de onda.

En general, podemos decir que los *coeficientes de absorción* para los materiales opacos son bajos para los colores claros y dichos coeficientes son altos para los colores

¹⁴ RIVERO Roberto, “Arquitectura y Clima”, D.F., México, 1988, pp. 10-11

oscuros, cuando la fuente de energía es el sol.

Y cuando la fuente es de baja temperatura (<100° C), entonces las superficies metálicas son poco absorbentes y las no metálicas tienen un alto coeficiente de absorción.

Dentro de la física de materiales resulta también importante conocer la forma en que los materiales intercambian calor con su ambiente y al respecto tenemos:

Transmisión del calor por radiación¹⁵

Los cuerpos de nuestro ambiente siempre están emitiendo energía térmica radiante, por lo tanto siempre están perdiendo o ganando simultáneamente dicho tipo de energía, el balance de este fenómeno es complejo y depende de sus áreas, de sus posiciones, de las distancias, de las emisividades y de las temperaturas, la comprensión de estos fenómenos de emisión y recepción de energía térmica radiante es suficiente para tener un criterio aplicable al uso racional de los materiales de construcción en el diseño y construcción de las edificaciones, sin embargo conviene aclarar que en relación con esta forma de transferencia de energía térmica, que la cantidad de calor transmitido por radiación es proporcional a las dimensiones relativas de los cuerpos entre sí y la diferencia de temperaturas.

Partiendo de que tenemos el cuerpo A y el cuerpo B, cuyas temperaturas son $t_A > t_B$, que intercambian calor con todos los cuerpos que les rodean, si solo se considera la transferencia entre A y B, entonces tenemos:

$$q_r = h_r (t_A - t_B) \text{ ó } q_r = 5.7 E ((T_A/100)^4 - (T_B/100)^4)$$

Donde:

q_r = cantidad de calor que se transmite por radiación, en la unidad de tiempo y por unidad de área, lo cual significa que, en el balance energético que tiene lugar por radiación, el cuerpo A pierde y el B gana esa cantidad de energía, unidades: w/m^2 .

h_r = coeficiente que toma en cuenta las dimensiones relativas de los cuerpos entre sí y sus emisividades.

Si $h_r = 5.7E (T/100)^4$; unidades: $w/m^2 \text{ °C}$

Donde:

E = Es un coeficiente llamado poder emisivo o emisividad del cuerpo, depende de las formas, posiciones y emisividades de las superficies.

T = Es la temperatura en grados kelvin o temperatura absoluta o temperatura del cuerpo en ° C mas 273.

¹⁵ Ibid, p. 29

Transmisión del calor por convección

En este caso los dos cuerpos deben estar en contacto molecular de forma que el inicio del proceso se dé por conducción y donde uno de los cuerpos deberá ser un fluido.

Existen dos formas de transmisión por convección: la natural y la forzada, en la primera el movimiento del aire se genera por la diferencia de temperaturas entre sus partes y en el segundo caso el aire tiene una velocidad propia.

Tanto para la convección natural como para la forzada se deduce una ecuación que nos permite calcular la cantidad de calor transmitido. Si $t_A > t_B$, tenemos:

$$q_c = h_c (t_A - t_B)$$

Donde:

q_c = Es la cantidad de calor transmitido por convección del cuerpo A al B, en la unidad de tiempo y por unidad de área, unidades: w/m^2 .

h_c = Es un coeficiente que depende fundamentalmente de la posición del plano y de la velocidad del aire, $w / (m^2 \text{ } ^\circ C)$

t_A = Temperatura del cuerpo A, unidades: $^\circ C$

t_B = Temperatura del cuerpo B, unidades: $^\circ C$

Transmisión del calor por conducción

Esta forma de transmisión se da por contacto molecular entre dos sólidos que tengan diferentes temperaturas ó solo de un sólido; puede darse de dos formas, la primera: es la llamada de *régimen estacionario* y que a su vez puede ser una transmisión de superficie a superficie, en donde las temperaturas superficiales son diferentes, el flujo de calor es estacionario y es perpendicular a las superficies, en este caso los materiales se consideran homogéneos.

Otra forma de transmisión dentro del régimen estacionario es de medio a medio, que en el espacio arquitectónico es lo más común, debido a que lo que se conoce son las temperaturas de los medios, es decir la temperatura del aire dentro del local y la del aire que está fuera.

Por otro lado tenemos, la transmisión por conducción llamada de *régimen variable*, que como condición esencial considera que el flujo de calor es variable en el tiempo.

En particular dentro de este régimen variable se encuentra uno que nos interesa; y es el llamado *régimen periódico*, es decir aquel que se repite, por periodos de 24 horas y su variación corresponde al tipo sinusoidal.

Una propiedad térmica de los materiales muy importante dentro de la transmisión por conducción es el retraso térmico, el cuál se refiere, al principio de que cualquier variación térmica que se produce en la superficie interior o exterior de un elemento o cuerpo no se

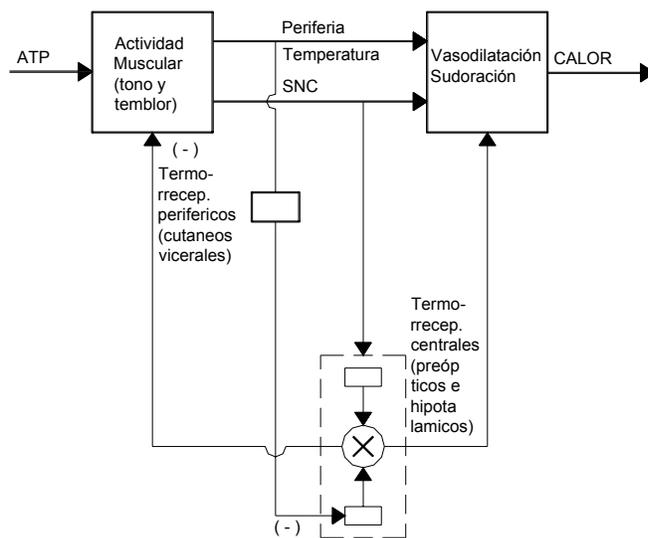
percibe de manera instantánea en la otra cara o superficie¹⁶.

Dicho retraso, depende de los parámetros de los materiales que intervienen en el proceso de transmisión por conducción en *régimen variable*, los cuáles son: la conductividad térmica (k), el calor específico (c), la densidad (d) y el espesor (L).

De esta manera, todo material tiene por tanto la capacidad de amortiguación, que se refiere a la propiedad que poseen los elementos constructivos (cerramientos), para disminuir la amplitud de las variaciones térmicas.

Otra variable a señalar en los materiales constructivos es la resistencia térmica (r), la cuál esta dada por el cociente de la conductividad térmica (k) del material, entre su espesor (L), para cada material que conforma el sistema constructivo es decir:

$$r = k / L.$$



ATP = Flujo de energía química
SNC = Sistema nervioso central

Fig. No. 3.-Representación simplificada de la regulación de la temperatura mediante el análogo hidráulico (esquema tomado de Russek Mauricio, “Regulación y Control en Biología”, p.100).

Por último debe señalarse, el fenómeno de la condensación interna y su importancia en el comportamiento de los materiales utilizados en la construcción de los edificios, ya que cuando este fenómeno se presenta, el primer problema es la degradación de los materiales por la humedad que se concentra en ellos, así como la formación de hongos dañinos para la salud.

Otro problema relacionado a la condensación es que baja la resistencia térmica de los materiales y por tanto un material expuesto a la condensación permite el paso del calor aún cuando sea un material aislante.

2.2.3.-La regulación y el control en biología

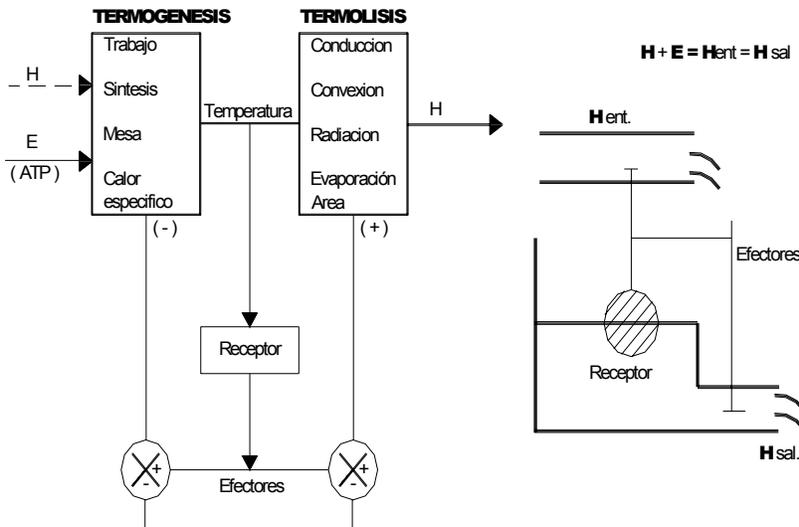
El cuerpo humano generalmente funciona con una temperatura interna corporal promedio de 37°C y para mantener dicha temperatura corporal deben estar en equilibrio el calor producido por la actividad metabólica y el perdido por los mecanismos corporales, así como de las condiciones ambientales del sitio¹⁷.

¹⁶ RUSSEK Mauricio y CABANAC Michael, Op. cit., p. 47.

¹⁷ U. S. NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE, NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH (2005) “Temperatura corporal normal”, (9 de Febrero de 2005), www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/001982.htm, p. 1

Debemos resaltar que las sensaciones y preferencias térmicas del ser humano siempre estarán comprendidas dentro de los límites térmicos establecidos en nuestro cuerpo, más allá de los cuáles muere, siendo el límite superior los 42°C y el límite inferior 30°C, ya que fuera de estos límites comienza a presentarse pérdida de la conciencia¹⁸.

Sin embargo debe aclararse que el cuerpo humano es un organismo homeotérmico, e independientemente de las variaciones que el ambiente natural presente, éste tratará siempre de modificar su temperatura corporal, por medio del principio de *homeostasis*, que



consiste en que siempre tenderá a buscar una temperatura corporal de equilibrio, que si es axilar será de 36.5°C, si es bucal 37°C y si es rectal será de 37.5°C¹⁹.

Existe una analogía entre los sistemas tecnológicos y los sistemas vivientes y se puede explicar a través de la llamada *teoría del control*, un ejemplo de dicha analogía es la que se da entre una simple regulación tecnológica: la calefacción central y una función fisiológica: la regulación de la temperatura²⁰.

ATP = Flujo de energía química
H y E = Entrada de calor externo
H = Salida de calor externo

Fig. No. 4.- Representación esquemática de la regulación de la temperatura en animales grandes, como lo es el hombre (esquema tomado de Russek Mauricio, capítulo “Sistemas Regulatorios de la Fisiología Animal”, del Libro Regulación y Control en Biología p.104)

Es decir son los mismos principios entre una regulación biológica y una

tecnológica y los elementos abordados en ambos casos son: sistema, receptor, señal, efectores y variables controladas.

Todo sistema termodinámico aislado, contiene una cantidad fija de energía y materia, sin entrar en discusiones de si la energía es una forma de la materia o viceversa, en ausencia de reacciones nucleares y para fenómenos que suceden a velocidades no relativísticas, es decir menores a la velocidad de la luz, consideraremos a la materia y a la energía como entidades separadas y no intercambiables.

Como ya se mencionó anteriormente la energía tiene muy diversas manifestaciones como son: la energía térmica, la energía química, la energía cinética, energía potencial y

¹⁸ Ibid, p. 1

¹⁹ Ibid, p. 2

²⁰ RUSSEK Mauricio y CABANAC Michael, Op. cit., p. 14

otras, cabe mencionar que son punto de partida los principios de energía libre y entropía ajustándose a la 1ª y 2ª leyes de la termodinámica.

Aparte de los flujos de energía entre el sistema y el medio ambiente hay un flujo de información dentro del sistema, así la variable es regulada por el control de la entrada y/ o salida de energía.

En los sistemas fisiológicos las formas de entrada y/ o salida pertenecen a dos redes generales de comunicaciones: nerviosa y humoral, algunas son puramente nerviosas, otras solo humorales y algunas son mixtas.

Todo organismo vivo presenta dentro de sí un flujo de energía, los diferentes sistemas homeostáticos de los seres vivos pueden ser modelados por medio de un tanque de agua con regulación como se puede ver en la figura 3²¹.

Y en la figura 4²², podemos observar la representación esquemática de la regulación de la temperatura en los animales grandes incluyendo el hombre y así se puede explicar que “...Debido a su superficie... estos animales son más propensos a sobrecalentarse por acumulación del calor producido por el metabolismo basal y la actividad muscular...no regulan la temperatura de la piel...no presentan termogénesis sin temblor (en el estado adulto). Su enfriamiento es por sudoración, la cuál se moviliza en forma paralela a la vasodilatación, no habiendo zona neutra...”.

2.3.-Bases teóricas particulares

En esta parte se presentan modelos particulares sobre el confort térmico, con el propósito de que una vez realizado el análisis respectivo, se eligieron aquellos principios teóricos que permitieron tomar una decisión de cómo debía ser el nuevo modelo propuesto en esta investigación.

2.3.1.-Descripción taxonómica de modelos existentes que tratan sobre el confort térmico en el ser humano

De los estudios e investigaciones citados en la introducción de este trabajo, se eligieron algunos de ellos que, por su trascendencia, en su aplicación y uso, resultan indispensables como referentes teóricos para el estudio de la comodidad térmica. Para lo cuál se agruparon de la siguiente manera:

- Cartas y diagramas de confort térmico
- Índices para el confort térmico
- Ecuaciones del confort térmico

A continuación se desarrolla un cuadro que contiene la descripción de diversos

²¹ Ibid, p. 100

²² Ibid, p. 104

modelos formales, que abordan de una u otra manera el fenómeno del confort térmico, en dicho cuadro, se señala en primer término el nombre del modelo, seguido por una columna donde se indica autor y fecha de desarrollo del trabajo; a continuación se establece el tipo de modelo de que se trata y por último se incluye una columna donde se enlistan las principales variables que se toman en cuenta en cada uno de los modelos mencionados y que sirven para contribuir en la determinación del diagrama, índice ó ecuación respectiva.

Cuadro 2. Clasificación de modelos formales que abordan diversos aspectos sobre el fenómeno del confort térmico del ser humano.

| Nombre del modelo | Autor (es) | Modelo formal | Variables consideradas dentro del modelo |
|--|------------------------------------|---------------|--|
| Cartas y diagramas de confort térmico | | | |
| Carta Bioclimática | Víctor Olgyay (1963) | Gráfico | Temperatura del aire, temperatura de bulbo seco, humedad relativa, análisis fisiológico acerca del rendimiento de trabajo del ser humano. |
| Carta Bioclimática, Psicométrica | Baruch Givoni (1976) | Gráfico | Temperatura del aire, humedad relativa, masa térmica de la edificación, tipo de ventilación, el enfriamiento evaporativo, el calor radiante, la humidificación, la des-humidificación, el calentamiento pasivo, el aire acondicionado convencional. |
| Triángulos de Confort de Evans | John Martin Evans (2000) | Gráfico | Establece 24 diferentes rangos de confort térmico y considera variables como: 3 grupos diferentes de temperatura media anual, si es de día ó de noche, y considera además 4 zonas climáticas determinadas por su cantidad de humedad relativa. |
| Índices de confort térmico | | | |
| Nomograma del Índice de Temperatura Efectiva Corregida (TEC) | C.P. Yaglou y Miller (1925). | Gráfico | Temperatura de bulbo seco, humedad relativa, movimiento del aire, radiación, tipo de vestimenta de trabajo, actividad sedentaria desarrollada por el ser humano. |
| Nomograma del Índice de Tensión Calórico (ITC) ó Heat Stress Index | H. S. Belding y T. F. Hatch (1955) | Gráfico | Capacidad máxima de evaporación del aire (E_{max}), dada por su temperatura, su humedad relativa y su velocidad. |
| Índice de Tensión Térmica | Baruch Givoni (1963) | Matemático | S = Cantidad de sudoración requerida en g /h ó su equivalente en watts, M = Metabolismo en watts; W = Energía metabólica transformada en trabajo mecánico, en watts; C = Intercambio de calor por convección en watts; R = Intercambio de calor por radiación en watts y es = Eficiencia de enfriamiento de la sudoración sin dimensiones. |
| Índice de estrés (RSI) | Lee Henschel (1966) | Matemático | Temperatura del aire en grados centígrados, tensión del vapor en mmHg, para valores de RSI entre 0.18 a 0.25 se inicia la incomodidad, mientras que arriba de 0.3 todos experimentan estrés por calor. |
| Tablas de Mahoney | Carl Mahoney (1973) | Gráfico | Toma como referencia la temperatura media anual, pero considera fundamental la variable de oscilación térmica, con lo cuál se reubica el rango de confort térmico |
| *Variabilidad de la Zona de Confort | P. Wakely (1979) | Matemático | La zona de confort térmico determinada por la TEC, temperatura media anual como parámetro climático que representa a los efectos de aclimatación del ser humano. |

| Nombre del modelo | Autor (es) | Modelo formal | Variables consideradas dentro del modelo |
|--|---|---------------|---|
| Índice Humidex | Masterton J. M. y Richardson F. A. | Matemático | Temperatura de bulbo seco y humedad, dicha humedad se calcula a partir de la presión de vapor y esta se calcula a partir de la ecuación Clausius-Clapeyron, que relaciona la temperatura con la presión. |
| Ecuaciones para el confort térmico | | | |
| Ecuación para obtener las sensaciones térmicas | P.O. Fanger (1970) | Matemático | A partir de regresiones lineales se obtiene el voto promedio de la población estudiada para diferentes grupos de sujetos, donde se consideran como variables la temperatura ambiente, la humedad relativa, la ropa que usaban los sujetos, la producción interna de calor del cuerpo, el área del cuerpo y el peso y altura del sujeto. |
| Ecuación del Voto Promedio PMV-PPD | P.O. Fanger (1970) | Matemático | Acumulación térmica en el cuerpo humano conocido por medio de un balance térmico vinculado a la sudoración, vasoconstricción, vasodilatación y al voto de confort térmico. |
| Ecuación para conocer la Neutralidad Térmica | Humphreys M. A. (1975) | Matemático | Temperatura neutra la cuál está dada por la temperatura media anual y coeficientes obtenidos a partir de información de campo tratada estadísticamente, de individuos en edificios con acondicionamiento natural y artificial. |
| Ecuación para conocer la Neutralidad Térmica | Auliciems Andris (1993) | Matemático | Temperatura media mensual y un factor que incluye otras variables de orden climático. |
| Ecuación para conocer la Neutralidad Térmica | Nicol F. y Roaf (1996) | Matemático | Determina la temperatura neutra a partir de la temperatura media anual y coeficientes obtenidos por métodos estadísticos de regresión lineal, sin embargo en este caso dichas regresiones lineales las transforman en exponenciales. |
| Developing and Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, ASHRAE RP-884 | Richard de Dear, Gail Brager, Donna Cooper (1997) | Matemático | Incluye parámetros climáticos, así mismo mide respuestas adaptantes del sujeto que habita los espacios, como son: ropa, ventana, ventiladores (ajustes de comportamiento), aclimatación (ajustes fisiológicos) y expectativas (ajustes psicológicos). |
| Zona Variable de Confort Térmico | F. J. Chávez del Valle (2002) | Matemático | Retoma el modelo de Nicol y le hace un ajuste a la expresión matemática al agregar varios factores del fenómeno térmico |

* Nombre asignado así en este trabajo, al método que Wakely utilizó para indicar que la Zona de Confort Térmico era variable.

2.3.2.-Análisis y comentarios a los modelos sobre el confort térmico en el ser humano

A continuación se presentan algunos comentarios a cada uno de los modelos señalados, con la finalidad de comentar sus ventajas y desventajas como instrumentos metodológicos.

Carta bioclimática de los hermanos Olgay

Establece las condiciones de bienestar térmico del ser humano en una zona a partir de la relación entre la temperatura del aire (temperatura de bulbo seco, TBS) dada en

grados centígrados y la humedad relativa (HR), dada en porcentaje, dichas variables forman un diagrama en forma de plano cartesiano, en el eje de las “x” la humedad relativa y en el de las “y” la TBS.

Además de las variables anteriores se relacionan otras variables como características de distintos ambientes que se generan por diversas combinaciones de temperatura y humedad y así tenemos ambientes sofocantes, húmedos, secos, etc. En dicha carta se proponen estrategias que deben satisfacerse para alcanzar las condiciones de confort térmico.

Dentro de otras variables que se hacen concurrir para analizar las condiciones de confort térmico son: la velocidad del viento, los gramos de agua por kg de aire seco, radiación solar por hora, temperaturas medias radiantes de superficies cercanas, temperatura límite para propiciar el ocultamiento de los rayos solares, límites de tolerancia para ciertas actividades metabólicas del ser humano, proponiendo resistencias necesarias proporcionadas por el aislante térmico de ropa (clo).

Este diagrama ayuda a analizar mejor los requerimientos para alcanzar el confort térmico en climas en los cuáles la diferencia de la temperatura durante el día y la noche, así como en el interior y el exterior, no es muy grande, es decir, funciona con mejores resultados para climas cálido-húmedos.

La principal aportación fue que permitió relacionar los ambientes exteriores con los requerimientos de confort térmico y a partir de ellos establecer las recomendaciones necesarias para lograr condiciones interiores térmicamente confortables.

Entre los aspectos más criticables de dicho trabajo están:²³:

1. El enfoque del trabajo que se basa en un análisis fisiológico acerca del rendimiento del trabajo y no sobre el bienestar térmico.
2. Carecer en la herramienta misma de la posibilidad de establecer los límites de la zona de confort térmico para otros tipos de climas.
3. Considera a la humedad relativa como criterio y no a la humedad absoluta.
4. Utilizar la ventilación, el humedecimiento y la protección solar como dispositivos de corrección sin considerar soluciones en forma de conceptos que beneficien al diseño arquitectónico, tales como la inercia térmica, el amortiguamiento y retraso térmico de temperaturas en interiores, entre otros.

Carta bioclimática psicométrica de Baruch Givoni

Es un diagrama que establece una zona de confort térmico a partir de la temperatura del aire (TBS) y su humedad, concretamente la tensión de vapor del agua medida en mm de Hg, se traza sobre un diagrama psicométrico.

²³ HERNÁNDEZ TOLEDO Mario (1991) “Bienestar Térmico Humano”, que forma parte del libro: “Manual de Arquitectura Solar”, México, 1991, pp. 24-26.

Entre otros objetivos este método pretende lograr ahorros energéticos durante la época cálida o fría del año que dependerán de las condiciones del clima exterior, de la inercia térmica propia del edificio y de la forma y dimensión de vanos y de la protección para evitar pérdidas nocturnas.

Para lograr lo anterior propone una serie de estrategias para el control ambiental. Estas estrategias son: la masa térmica de la edificación, el tipo de ventilación, el enfriamiento evaporativo, el calor radiante, la humidificación, la deshumidificación, el calentamiento pasivo, el aire acondicionado convencional, entre otras.

Así, a través de un manejo adecuado de estas estrategias dentro del proceso de diseño arquitectónico, es posible lograr el confort térmico del ser humano, en el interior de la edificación en cuestión²⁴.

Este diagrama bioclimático es una herramienta diseñada para obtener soluciones a nivel cualitativo y es muy importante para la concepción inicial de las obras arquitectónicas que procuren el confort térmico del ser humano.

Triángulos de confort de John Martin Evans

Establece diferentes intervalos de confort térmico y considera variables para *cuatro grupos diferentes de temperatura media anual*, de acuerdo con la actividad a desarrollar y la ubicación dentro del espacio, consiste en la formación de triángulos que delimitan las zonas cómodas, a partir de conocer las oscilaciones térmicas del lugar y de las temperaturas medias.

Incluye un conjunto de estrategias bioclimáticas para dichas zonas de confort y las áreas que queden fuera de ellas tienen indicadas estrategias para solucionar ese problema, de entre las cuáles tenemos a la ventilación cruzada, la ventilación selectiva, la inercia térmica, las ganancias internas y las ganancias solares.

Temperatura efectiva corregida (TEC)

Uno de los primeros índices desarrollados para alcanzar el confort térmico dentro de los espacios fue el llamado temperatura efectiva (TE), en cuyo índice solo se consideraba la temperatura seca y la húmeda, a partir de éste se hacen consideraciones adicionales, donde se incluyen factores tales como el movimiento del aire y la radiación, surgiendo entonces otro índice llamado la temperatura efectiva corregida (TEC), la cuál constituyó durante varias décadas el índice más confiable que se utilizaba para determinar los intervalos de confort térmico con una ventaja adicional para su uso, ya que se presenta en forma de un nomograma.

Este nomograma se utiliza para calcular la temperatura efectiva corregida para personas que visten ropa ligera de trabajo y que realizan actividades sedentarias.²⁵

²⁴Ibid, pp. 26-30.

²⁵ GONZÁLEZ Eduardo et al, “Proyecto, Clima y Arquitectura”, Volumen 1, Instituto de Investigaciones de Arquitectura y Sistemas Ambientales, Facultad de Arquitectura, Universidad de Zulia, Maracaibo y Ediciones G. Gili,

Índice de tensión térmica (Baruch Givoni)

Su autor lo llama índice de tensión térmica” (ITT)²⁶, fue desarrollado en Israel y surge como producto del análisis evaluativo de diversos índices térmicos hasta entonces planteados, B. Givoni lo define como un modelo biofísico que trata de describir los mecanismos de intercambio de calor entre el cuerpo y su entorno y a partir de él, se pueda calcular la tensión térmica total del cuerpo.

Este índice se mide a partir de la cantidad de sudor que una persona segrega, por unidad de tiempo, tomando en cuenta las condiciones ambientales del entorno y las condiciones metabólicas de su propio cuerpo.

Tablas de Mahoney

Son una serie de tablas que definen estrategias generales de diseño arquitectónico en relación a los parámetros climáticos siguientes: temperatura, humedad, precipitación y oscilación térmica.

Plantean 4 diferentes grupos de acuerdo con la humedad relativa, combinados con tres grupos de temperatura media anual, así como con diferentes intervalos de oscilación térmica, además debe considerarse si su uso es diurno o nocturno.

Variabilidad de la zona de confort²⁷ (P. Wakely)

Este trabajo relaciona la zona de confort térmico obtenida de los nomogramas de la temperatura TEC, con la temperatura media anual del lugar de estudio, es decir en este trabajo se relaciona la zona de confort térmico con un parámetro climático que es representativo del proceso de aclimatación que sufren los sujetos que habitan esos climas y que por tanto al introducirlo como una variable más, provee de la propiedad de variabilidad que tiene la zona de confort térmico del ser humano, dependiendo la ubicación geográfica del sitio de estudio.

Índice Humidex (Masterton J. M. y Richardson F. A.)

Esta es una propuesta que está pensada para la época calurosa de verano por el Servicio Meteorológico de Canadá. El objetivo es ofrecer un parámetro que ofrezca un significado sencillo y donde se relaciona la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa, es de gran utilidad en espacios interiores cuando no hay fuentes de radiación que impacten dicho local de estudio y donde el movimiento del aire no es significativo.

Este índice es el equivalente de la temperatura que el ser humano percibe de acuerdo a la temperatura y la humedad relativa reales del aire, esto, si partimos de que la

S.A. de C. V., DF, México, 1986, pp. 57-59.

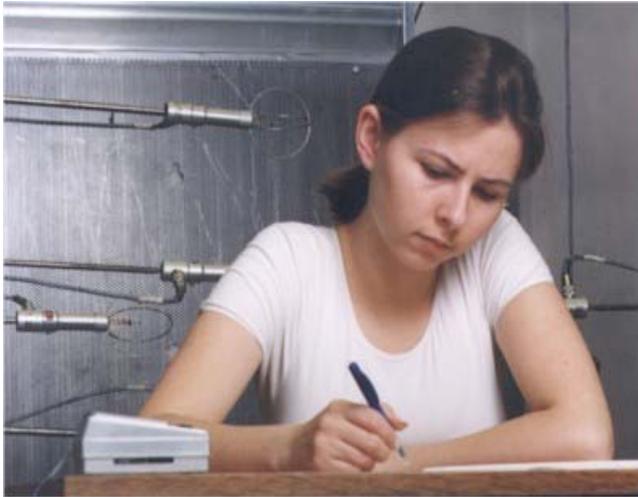
²⁶ Ibid, pp. 66-67.

²⁷ Nombre asignado en este trabajo, para referirnos a que Wakely consideraba la variabilidad en los intervalos de las zonas de confort térmico de acuerdo a diferentes circunstancias físico ambientales

sensación de calor que se percibe cuando tenemos una misma temperatura depende de la humedad del aire.

Las ecuaciones del confort térmico

Respecto a las ecuaciones donde se propone la predicción del confort térmico, tenemos entre las más importantes las siguientes:



Fotografía No 7.-Imagen de pruebas experimentales sobre confort térmico reportadas por ASHRAE, en donde queda manifiesta la importancia de registrar variables del medio físico, factores personales como vestimenta, edad, sexo y actividad entre muchos otros.

- Ecuaciones para predecir la sensación térmica de hombres, mujeres y hombres-mujeres combinados.
- Ecuación del voto promedio PMV (predicted mean vote), PPD (predicted percentage of dissatisfied) de P. O. Fanger.
- Ecuaciones de los modelos adaptativos para conocer la neutralidad térmica.

Ecuaciones para predecir la sensación térmica de hombres, mujeres y hombres-mujeres combinados

En este caso se plantean varias ecuaciones de tipo empírico, en donde se establecen tres diferentes periodos de

exposición, en cuanto al género se hacen pruebas a hombres, mujeres y hombres y mujeres combinados, la expresión matemática se obtiene a través regresiones lineales simples y como ejemplo tenemos la siguiente:

$$\text{Para hombres con una exposición de una hora: } Y = 0.122t + 1.61p - 9.584$$

Donde:

Y = Sensación térmica (+3 hot, +2 warm, +1 slightly warm, 0 neutral, -1 slightly cool, -2 cool, -3 cold)

t = temperatura de bulbo seco (°F o ° C)

p = presión de vapor (psi)

Ecuación del voto promedio PMV (Predicted Mean Vote)-PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) de P. Ole Fanger

P. O. Fanger (1970), plantea la ecuación del PMV para explicar el confort térmico, dicha expresión es una ecuación empírica que representa un modelo estacionario y que sirve para predecir el voto medio en una escala de valores ordinales de tipo “cognoscitivo”, la ecuación representa como ya se dijo un balance térmico en estado estacionario, se deriva del principio físico de la transferencia de calor, combinada con una adaptación

empírica que corresponde a la sensación térmica.

El PMV establece una relación de tensión térmica derivado de la transferencia de calor en estado estacionario entre el cuerpo humano y su ambiente circundante, el PPD es el porcentaje de personas que están insatisfechas en cada valor de PMV, es decir el PMV se mueve del cero hasta +3 ó -3 y ahí en cada valor que se asuma para PMV, le corresponderá un valor de PPD.

La ecuación PMV basada en un modelo como el señalado solo es aplicable a seres humanos que están expuestos a un largo periodo de condiciones que deben mantenerse constantes entre ellas la tasa metabólica y por tanto se convierte en su principal limitación.

Ecuaciones de los modelos adaptativos para conocer la neutralidad térmica

Los modelos adaptativos, para determinar la zona de confort térmico han tenido en la actualidad gran aceptación y dentro de ellos podemos señalar a los siguientes:

- Ecuación para conocer la neutralidad térmica, Humphreys M. A. (1975).
- Ecuación para conocer la neutralidad térmica, Auliciems A. (1981 a, 1981 b, 1983, 1986, 1989, 1993), Auliciems A. y S. Szokolay (1997).
- Ecuación para conocer la neutralidad térmica, Nicol F. y Roaf (1996).
- Developing and adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, ASHRAE RP-884, Richard de Dear, Gail Brager, Donna Cooper (1997).
- Zona Variable de Confort Térmico, Francisco J. Chávez del Valle (2002).

Ecuación para conocer la neutralidad térmica, Humphreys Michael A. (1975)

Es una ecuación empírica que Humphreys establece a partir del análisis de datos levantados en campo y donde encuentra una correlación estadística entre la neutralidad térmica (T_n) y las temperaturas en las que un mínimo estrés fue reportado en niveles medios de temperatura del aire o temperatura de globo, ahí se encontró que T_n varía unos 13° C (entre 17° C y 30° C) y concluye que:

$$T_n = 2.56 + 0.83 T_i$$

Donde: T_i = Temperatura interior

Más adelante en 1976, sustituye la temperatura interior por la temperatura media exterior y propone la siguiente expresión: $T_n = 11.9 + 0.534 T_m$

Ecuación para conocer la neutralidad térmica, Auliciems A. (1981 a, 1981 b, 1983, 1986, 1989, 1993), Auliciems A. y S. Szokolay (1997).

A partir de los trabajos de Humphreys, Auliciems plantea en 1993 un valor para T_n , a partir de una base de datos que incluye información levantada en edificios con aire acondicionado mecánicamente y con acondicionamiento natural y que es válida para el intervalo de 18° C a 28° C, planteando la siguiente expresión:

$$T_n = 17.6 + 0.31 T_m$$

Donde: T_m = Temperatura media exterior (temperatura media mensual)

Otro modelo adaptativo planteado por Auliciems A. para diferentes climas y que es desarrollado en Australia permite establecer la siguiente ecuación:

$$T_n = 9.22 + 0.48 T_a + 0.14 T_{mmo}$$

Donde: T_a = Temperatura interior del aire
 T_{mmo} = Temperatura mensual, media, horaria exterior.

Ecuación para conocer la neutralidad térmica, Nicol Fergus y Roaf (1996)

A partir de trabajos de campo desarrollados en Pakistán, Nicol F. y Roaf desarrollan en 1996, la siguiente ecuación:

$$T_n = 17.0 + 0.38 T_m$$

Posteriormente, transforma la ecuación obtenida por regresión lineal a otra expresión de tipo exponencial, solo que en este caso, se observa una pérdida en la capacidad de predicción del modelo para los casos en que los edificios son acondicionados térmicamente con equipos mecánicos y donde dicho modelo es el siguiente²⁸:

$$T_n = 23.9 + 0.295 (T_m - 22) \exp(- (T_m - 22) / (242)^2)$$

Developing and adaptive model of thermal comfort and preference, ASHRAE RP-884, Richard de Dear, Gail Brager, and Donna Cooper (1997)

Este modelo al igual que otros de tipo adaptativo establece como hipótesis principal que existen otros factores más allá del contexto y que forman el “historial térmico” de los sujetos que habitan los edificios, el cuál modifica las expectativas, sensaciones y preferencias térmicas de dichos individuos, debido a esto, entre muchos otros estudios se conformó el proyecto ASHRAE RP-884.

Dicho proyecto montó una red de experimentos en todo el mundo a partir de una base de datos de calidad controlada, en donde participaron cerca de veinte proyectos de varios países, excepto Latinoamérica; y donde se obtuvieron cerca de 21000 observaciones monitoreándose un total 160 edificios y a partir de ello se hizo un análisis estadístico del confort térmico en relación a la sensación, la aceptación y las preferencias térmicas en función de la temperatura interior y de la temperatura exterior o al aire libre.

Se demostró que el modelo estático PMV, solo es parcialmente adaptativo, respecto a lo limitado de los ajustes del comportamiento que pueden hacer los sujetos, así mismo se observó que los habitantes de edificios ventilados naturalmente toleraban

²⁸ CHÁVEZ DEL VALLE Francisco Javier, “Zona Variable de Confort Térmico”, Universidad Politécnica de Cataluña, España, Mayo-2002, p. 45.

perceptivamente un mayor intervalo de temperaturas, explicado esto por la combinación de ajustes del comportamiento del sujeto y la adaptación psicológica de los mismos, estos resultados se convierten así en la base para que en su momento se establezca la temperatura interior como variable para la zona de confort.

Zona variable de confort térmico, Francisco J. Chávez del Valle (2002)

Este trabajo plantea la hipótesis de que dentro de un espacio arquitectónico debe haber variaciones temporales y espaciales similares, pero en diferente escala al ambiente exterior, con la finalidad de que no se genere estrés térmico por el cambio repentino entre las condiciones estáticas del interior y las del exterior, por lo que se plantea que es necesario contar con un modelo de confort térmico que incluya las condiciones térmicas del ambiente exterior, así como aquellos fenómenos, características del edificio y de los usuarios que estén relacionados con el ambiente térmico.

El objetivo principal de este estudio es comprobar la variabilidad de la zona de confort térmico dentro de los edificios y donde se tiene como referencia la oscilación térmica exterior del aire, que es el principal indicador del clima exterior, además de las características fisiológicas, físicas y psicológicas del usuario, así como las del edificio.

2.3.3.-El enfoque adaptativo en los modelos de confort térmico en el ser humano

Para abordar el estudio del confort térmico hoy día se presentan dos corrientes o escuelas de pensamiento, que son la de tipo “estático” y la de tipo “adaptativo”, la principal diferencia entre las dos corrientes de pensamiento señaladas es que los modelos estáticos conciben al ser humano como un receptor pasivo de los estímulos térmicos, es decir, que se transfieren exclusivamente por los intercambios físicos de calor sobre la superficie del cuerpo, así mismo que la temperatura corporal se mantiene debido a reacciones fisiológicas del cuerpo humano; dentro de la corriente estática se presupone que las sensaciones térmicas son directamente proporcionales a las reacciones fisiológicas del cuerpo humano y estas son medidas por la temperatura media de la piel y la humedad producto de la sudoración (Benzinger 1979).

Por otra parte dentro de la corriente del pensamiento adaptativo, piensan que es un enfoque muy simple el de causa y efecto, y que éste es insuficiente para describir la percepción térmica del ser humano en la realidad de los espacios arquitectónicos, por lo que establecen las siguientes ideas:

El pensamiento adaptativo y su hipótesis

Contrario a los modelos estáticos o parcialmente adaptativos -estos últimos consideran a la vestimenta como otro factor-, está la corriente de pensamiento adaptativo, el cuál considera que hay factores que van más allá de lo físico y fisiológico, estos factores según McIntry 1982, Baker 1993, Baker y Staneven 1994, Oseland 1994 y Griffiths et al 1988 son:

- Demografía (género, edad, estado económico).
- Contexto (diseño de los edificios, función de los edificios, estación del año, clima, semántica, condiciones sociales).
- Cognición (actitud, preferencias y expectativas)

En los estudios desarrollados en cámaras térmicas estos factores han resultado irrelevantes todas las veces que se han llevado a cabo según P. O. Fanger (1970), sin embargo, en la corriente del pensamiento adaptativo, los seguidores de ésta no descartan estos factores sobre todo en los “edificios reales”, es decir en la percepción que se da en los edificios comunes y corrientes que se habitan cotidianamente, conviene definir operativamente lo que se entiende por el término adaptación, a este respecto la definición es: *“adaptación es la disminución gradual de la respuesta de un organismo vivo, en este caso el ser humano, a estímulos ambientales repetidos”*.

En estudios como ASHRAE RP-884 (de Dear et al, 1997), en el concepto de adaptación se integran tanto los mecanismos fisiológicos del cuerpo humano, como los procesos conductuales y psicológicos que viven y que les sirven para ajustarse al clima interior de los edificios que se habitan cotidianamente. En diversos estudios como los de Prosser (1958), Folk (1974,1981); Goldsmith (1974), Clark y Edholm (1985); se establecen tres categorías de adaptación que son:

1.-Ajuste conductual: Que incluye las modificaciones concientes e inconscientes que realiza el ser humano para modificar los flujos de calor que determinan el equilibrio térmico de su cuerpo, a su vez este ajuste conductual se subdivide en tres subcategorías que son:

- Ajuste personal: Cuando el sujeto ajusta su vestimenta, la actividad que realiza, el tipo de alimentación y cambiarse de lugar dentro del espacio arquitectónico.
- Ajuste tecnológico: Modificando las características ambientales del espacio mediante controles como abrir o cerrar ventanas, puertas, operando controles de ventiladores ó equipos mecánicos de aire acondicionado enfriamiento ó calefacción.
- Ajuste cultural: Modificaciones en la programación de siestas y códigos de vestuario entre otros (por ejemplo el uso de corbata).

2.-Ajuste fisiológico: Incluye las modificaciones a las reacciones fisiológicas del ser humano como respuesta a la exposición a estímulos ambientales térmicos, lo que lleva a una disminución gradual del esfuerzo que dicha exposición produce, este tipo de adaptación se puede subdividir en dos subcategorías que son:

- Adaptación genética: Modificaciones que se convierten en parte de la herencia genética de un individuo o grupo de gente, que se desarrolla en escalas de tiempo que es mayor al periodo de vida de un individuo, ejemplo de ello puede ser la talla de un grupo social y el color de piel, entre otros.
- Aclimatación: Modificaciones en el sistema de termorregulación fisiológica en periodos de días o semanas y que se dan como reacción a la exposición de un tensor térmico ambiental.

3.-*Ajuste psicológico*: Es una modificación alterada de los datos sensoriales en el cuerpo humano, provocados por un estímulo térmico y donde esta alteración está dada por las experiencias y expectativas del individuo con respecto al ambiente térmico interior.

En este tipo de ajuste se parte de “niveles específicos de confort térmico”, de los habitantes de los edificios respectivos y que varían a través del tiempo y el espacio. La variación de las expectativas del ambiente térmico interior se debe a la noción de hábito en la psicofísica, donde la exposición repetida o la aparición constante de un tensor ambiental llevan a una disminución de la “intensidad sentida-recordada” según Glaser (1966) y Frisancho (1981).

La premisa más importante de los modelos de tipo adaptativo, es que consideran al ser humano como un receptor activo, es decir que interactúa en la relación ser humano-ambiente térmico a través de procesos de retroalimentación.

La hipótesis adaptativa se basa en que la satisfacción personal dentro de un ambiente térmico interior, se obtiene a través de un ajuste entre las condiciones térmicas ambientales que prevalecen en un instante de tiempo y espacio; y las expectativas personales de cómo debería ser el ambiente térmico interior, siendo dichas expectativas producto de la integración de experiencias térmicas presentes y pasadas, además de las prácticas culturales, entre ellas las técnicas (Auliciems 1981, 1989; de Dear 1993, Nicol F.1993).²⁹

2.4.-Posición teórica con que se abordó el trabajo de investigación

Al plantear la necesidad de abordar el estudio del fenómeno del confort térmico desde un enfoque holístico y una vez descrito el pensamiento adaptativo, queda claro que este trabajo se circunscribe dentro de la corriente del pensamiento adaptativo.

Dicha coincidencia no es en términos rigurosamente formales, si no que se refiere a la coincidencia del enfoque holístico planteado en este trabajo y el enfoque de la corriente adaptativa; en ambos casos se coincide con la idea de que el ser humano no es un ente pasivo, si no activo, que interactúa con su contexto y por tanto se establecen coincidencias en las variables que se abordan en la corriente de pensamiento adaptativo y las planteadas en el modelo holístico de este trabajo.

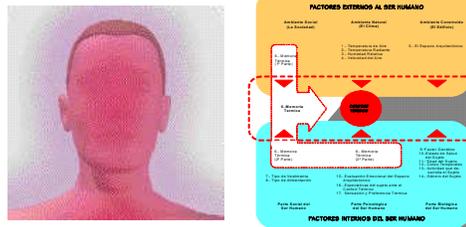
Podemos concluir entonces que el modelo holístico de análisis que se desarrolló en este trabajo se circunscribe dentro de los modelos de enfoque adaptativo, incluyéndose en él las tres categorías de adaptación antes mencionadas, que son: el *Ajuste conductual*, el *Ajuste fisiológico* y el *Ajuste psicológico*, las cuáles están representadas en las dos grandes categorías de factores externos e internos del ser humano, subdividiéndose los primeros que son de tipo contextual, en ambiente natural, ambiente construido y ambiente social; y los segundos, que son las dimensiones biológica, psicológica y social, que se

²⁹ DE DEAR Richard J., et al, “ASHRAE RP-884, Final Report”, Macquarie University, Sydney, Australian, Center for Environmental Design Research, University of California, Berkeley, USA, 1997, pp. 3-6

considera tiene todo ser humano como factores personales.

Una de las grandes diferencias conceptualmente hablando, entre nuestro modelo y los modelos adaptativos, es que en los modelos adaptativos, se habla de los ajustes personales del ser humano, mientras que en nuestro trabajo, se define lo que es externo (del ambiente) e interno al ser humano (personales).

Por supuesto que se acepta, que la construcción final del concepto de confort térmico la hace el ser humano y se refleja dentro de él, pero debido al enfoque sistémico con que se plantea nuestra propuesta, permite tener una mejor comprensión y estudio del fenómeno lo provocado directamente por él y lo recibido como estímulo por parte del ambiente que le rodea.



Capítulo 3

El modelo conceptual del confort térmico
del ser humano y su hipótesis,
un enfoque holístico

“Las teorías nos abandonan, *los hechos nos defienden*”

Santiago Ramón y Cajal

Capítulo 3.- El modelo conceptual del confort térmico del ser humano y su hipótesis, un enfoque holístico

Una vez que se tuvo claro primero el problema de investigación a estudiar y el objetivo a alcanzarse al llevar a cabo la presente investigación y después de haber revisado el estado del arte de los modelos referentes al confort térmico del ser humano, el siguiente paso fue establecer una hipótesis de investigación ó de trabajo, la que nos permitió seguir avanzando en la realización de este proyecto.



Así teniendo clara la hipótesis de trabajo, e identificadas sus variables, se pudo tener un acercamiento al problema, y que permitió describir al fenómeno del confort térmico como un sistema desde un enfoque holístico, lo que a la postre permitió construir una definición teórico-intuitiva de dicho fenómeno.

Entonces teniendo definidas hipótesis y variables, fue posible proceder a un proceso más detallado de planificación del proyecto de investigación como se señala en la figura No.5¹.

Fig. No. 5.-Esquema general del proceso de investigación científica, del cuál se derivaron los estudios Ex Post Facto y Experimental de este trabajo, Figura tomada de “Análisis Cuantitativo”⁴²

Y es a partir de esta parte del trabajo que se pudieron empezar a diseñar los diferentes instrumentos y técnicas que permitieron recoger los datos empíricos correspondientes, para después

procesarlos y finalmente obtener como resultado una teoría ampliada, acerca del confort térmico del ser humano cuando se encuentra dentro de los edificios.

A continuación se presenta la descripción de la hipótesis de investigación, incluyendo las variables que se define que hipotéticamente intervienen dentro del fenómeno que se estudió.

3.1.-Hipótesis de investigación y especificación de las variables para el estudio del confort térmico del ser humano.

Es importante aclarar que en el protocolo inicial de esta investigación se planteó como diseño de investigación la correspondiente al tipo ex post facto ó no experimental,

¹ “Análisis Cuantitativo”, 9-Junio-2000, (versión en español), <http://usuarios.iponet.es/casinada/artelog>.

debido a que en ese momento era lo que podía desarrollarse de acuerdo a los recursos materiales con los que se contaba y por tanto la hipótesis de investigación que se había planteado era del tipo correlacional.

Sin embargo, cuando se decidió agregar al trabajo una nueva parte de tipo experimental, entonces el tipo de hipótesis cambió a una de tipo causal multivariada, quedando de la siguiente forma:

Hipótesis de investigación o hipótesis de trabajo:

“Si el fenómeno del confort térmico del ser humano tiene un carácter holístico, entonces un modelo de análisis con dicho enfoque permitirá definirlo cualitativa y cuantitativamente”.

Tipo de hipótesis:

Se determinó que la hipótesis es del tipo: **causal multivariada**, donde X_1, X_2, \dots, X_n , son las variables independientes y donde Y , es la variable dependiente.

Identificación de variables:



Fotografía No 8.-Aplicación de la primera prueba ex post facto a un grupo de estudiantes del primer semestre de la carrera de Ingeniero Arquitecto en la ESIA-Tecamachalco del IPN, en Diciembre de 2002.

- Se consideró al **fenómeno del confort térmico del ser humano con carácter holístico** como la **variable dependiente (Y)**.
- Y al **modelo de análisis de tipo holístico** como la **variable independiente (X)**

Sin embargo, para operacionalizar dichas variables fue necesario hacer las siguientes consideraciones:

Para la variable dependiente (**Y**), se concluyó, que el fenómeno del confort térmico se manifiesta en el ser humano a partir de su opinión de sensación térmica y su opinión de preferencia térmica.

Es decir la variable dependiente (**Y**) se subdividió en:

- Y_1 = Opinión de sensación térmica (que es de tipo cognoscitivo)
- Y_2 = Opinión de preferencia térmica, (que es de tipo afectivo)

Respecto a la variable independiente (**X**), es decir el **modelo de análisis de tipo holístico**, se concluyó que la manera de definirlo operativamente, solo podía ser a través de los siguientes factores:

- Factores personales internos del ser humano de tipo biológico = X_1
- Factores personales internos del ser humano de tipo psicológico = X_2
- Factores personales internos del ser humano de tipo social = X_3
- Factores externos al ser humano: su ambiente natural (el clima) = X_4
- Factores externos al ser humano: su ambiente construido (el edificio) = X_5
- Factores externos al ser humano: su ambiente social (la sociedad) = X_6

Así, a partir de las dos variables dependientes y los seis grupos de variables independientes, la esquematización de las hipótesis quedó como sigue:

- Si $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ entonces Y_1 (opinión de sensación térmica-cognoscitiva-)
- Si $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ entonces Y_2 (opinión de preferencia térmica- afectiva-)

A su vez X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 y X_6 representan, cada una de ellas a diferentes grupos de variables, las cuáles interactúan entre ellas de manera simultánea en un momento histórico determinado; y es a partir de ellas que el ser humano construye sus opiniones de sensación y de preferencia térmica dentro de un espacio arquitectónico determinado.

Por último cabe señalar que durante el estudio de las variables dependientes, algunas variables independientes, adquirieron el carácter de constantes al tener los mismos valores para las diversas observaciones y pruebas experimentales, sin embargo es claro, que teniendo el estudio otras condiciones, de espacio, tiempo o grupos humanos, estas constantes pueden convertirse en variables y a su vez algunas variables pueden pasar a ocupar el rol de constantes.

“El hecho es que hay que escuchar con respeto a cualquiera sin por ello eximirnos de pronunciar juicios de valor...Pero aquel episodio me ha enseñado que *si se quiere investigar no hay que despreciar ninguna fuente* y esto por principio, es lo que yo llamo humildad científica”.

Umberto Eco

3.2.-Modelo conceptual del fenómeno del confort térmico del ser humano derivado de la hipótesis de investigación

3.2.1.-Enfoque sistémico y holístico

Para abordar el problema de cómo analizar el confort térmico del ser humano dentro de los edificios, fue necesario establecer como punto de partida un modelo formal, básico y de tipo cualitativo, que nos permitiera identificar los elementos que en forma individual o agrupada definieran al fenómeno del confort térmico, lo que se logró partiendo de un enfoque sistémico.

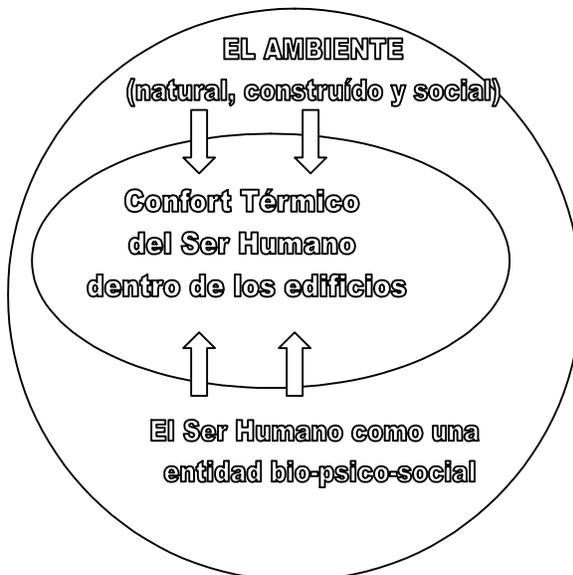


Fig. No. 6.- Modelo formal No.1, donde se muestran los dos grandes grupos de factores externos (el ambiente) e internos (las partes bio-psico-social del hombre) y como resultado de la interacción de estos dos, el concepto de confort térmico.

La construcción inicial de dicho modelo, fue de tipo teórico e intuitivo, basándonos en la experiencia cognoscitiva sobre la temática desde un enfoque holístico, con este modelo se logró el objetivo de tener dentro del proceso de investigación un primer momento de expansión.

Para lograr lo anterior también fue necesaria la revisión de los diversos trabajos teóricos existentes, sobre modelos que abordan el confort térmico, de esta manera se concluyó que el modelo debía contener dos categorías, compuesta cada una de ellas como sigue:

- Categoría de factores **externos** al ser humano dentro del fenómeno del confort térmico.
- Categoría de factores **internos** o **personales** del ser humano dentro del fenómeno del confort térmico.

Respecto a *los factores externos al ser humano* que pueden formar parte del fenómeno del *confort térmico*, se agruparon en tres subsistemas que son: Ambiente natural, ambiente construido y ambiente social.

Cuadro 3. Categoría de factores externos al ser humano que determinan el confort térmico cuando se encuentra dentro de los edificios.

| Subsistema A.-AMBIENTE NATURAL (El clima) | Subsistema B.-AMBIENTE CONSTRUIDO (El edificio) | Subsistema C.-AMBIENTE SOCIAL (La sociedad) |
|---|---|---|
| 1.-Temperatura del aire | 1.-Dimensiones del espacio arquitectónico | 1.-Tradiciones y costumbres del sujeto que determinen que ambiente térmico esperan encontrar en el espacio arquitectónico |
| 2.-Radiación solar | 2.-Orientación respecto al sol de las aberturas y los elementos transparentes u opacos del local de estudio | 2.-Grupo étnico del sujeto |
| 3.-Humedad del aire (humedad relativa, precipitación pluvial), debida entre otros a la cercanía a masas de agua, vegetación, etc. | 3.-Tipo de materiales de construcción (en muros, cubiertas y ventanas), que pueden ser opacos o transparentes a los rayos del sol | 3.-Participación activa en grupos deportivos, sociales, políticos, etc. |
| 4.-Viento (velocidad, dirección), debido a la topografía, orografía, entre otros | 4.-Formas interiores del espacio arquitectónico | 4.-Grupo social y económico del sujeto |
| 5.-Presión atmosférica, debido a la altitud principalmente | 5.-Tipo de aberturas, forma y sistema de funcionamiento de las ventanas | |
| 6.-Meteoros, estos se generan por condiciones geográficas particulares | 6.-El color | |
| 7.-Calidad del aire | 7.-Diferencias de confort térmico dentro del espacio arquitectónico | |

Como *factores internos o personales del ser humano*, que forman parte del concepto del confort térmico se propusieron tres subsistemas a partir del concepto Villagraniano del “hombre-integral” (bio-psico-social) y que son: La parte biológica, la parte psicológica y la parte social y para efectos de este trabajo cada subsistema quedó definido por los siguientes elementos:

Cuadro 4. Categoría de factores internos o personales del ser humano que determinan el confort térmico cuando se encuentra dentro de los edificios.

| Subsistema D LA PARTE BIOLÓGICA del ser humano | Subsistema E LA PARTE PSICOLÓGICA del ser humano | Subsistema F LA PARTE SOCIAL del ser humano |
|---|---|---|
| 1.-Género del sujeto | 1.-Placer | 1.-Tipo de vestimenta |
| 2.-Metabolismo basal | 2.-Activación | 2.-Hábitos alimenticios |
| 3.-Metabolismo muscular | 3.- Control | 3.-Tipo de bebidas |
| 4.-Estado de salud del sujeto (Adaptación y descompensación física) | 4.- Significatividad espacial | 4.-Grado de aclimatación incluye: Lugar de nacimiento, características del espacio, tiempo de la vivencia |
| 5.- Color de piel del sujeto | 5.-Sensación y preferencia térmica del sujeto | |

| | | |
|---|--|--|
| 6.- Peso del sujeto | 6.-Estado de ánimo del sujeto | |
| 7.- Ciclos temporales (vigilia-sueño, tiempo de ingestión de alimentos y otros) | 7.-Psicofísica: Ruidos, contacto visual con el exterior, olores, tacto | |
| 8.-Estatura del sujeto | | |
| 9.- Edad del sujeto | | |

En el cuadro 4, se introducen como variables de los factores internos, a la sensación y a la preferencia térmica de los sujetos, definiéndose, la primera como una opinión de tipo cognoscitiva y la segunda como una opinión de tipo afectiva, que los sujetos emiten como resultado de las condiciones ambientales y personales en las que se desenvuelven en ese momento los individuos de referencia, dentro de los espacios arquitectónicos.

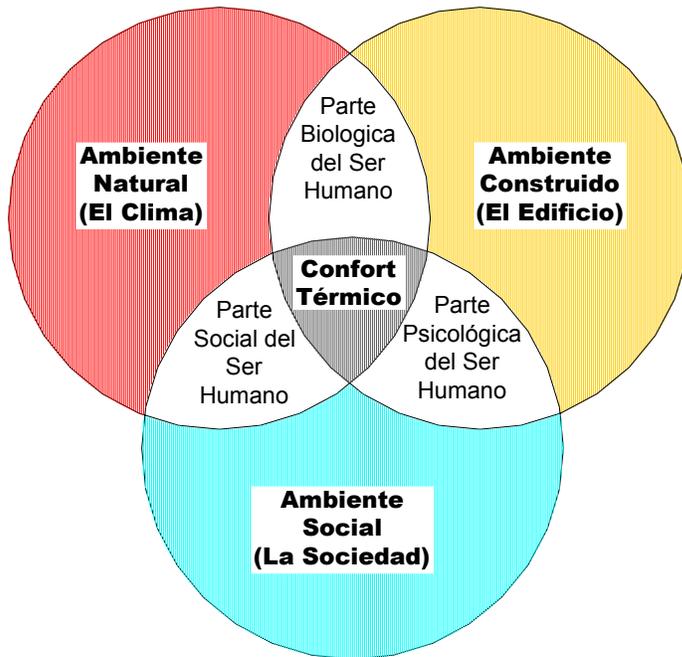


Fig. No.7.- Modelo formal No. 2, donde se representa gráficamente la propuesta de dos categorías (factores internos y factores externos) subdivididas en tres grupos cada una de ellas, donde además se observa el fenómeno del confort térmico como resultado central de la interacción de todos los factores indicados.

Así, las variables mencionadas se constituyeron en las variables dependientes de este trabajo, también es importante señalar que es a partir de tales opiniones, que se establecen las zonas de confort ó bienestar térmico.

En este primer momento de expansión se plantearon los subsistemas llamados *factores internos* y *factores externos* del ser humano, quedando plasmados en los cuadros 3 y 4, con la finalidad de ofrecer una descripción escrita y ordenada del problema.

Durante el desarrollo de la presente investigación, se fueron construyendo diferentes modelos formales, particulares y generales, es decir fue un proceso de carácter dialéctico, con momentos cíclicos: primero de expansión luego de síntesis y así sucesivamente, hasta llegar a la propuesta final del trabajo.

Así, a la etapa de expansión de los cuadros 3 y 4 les corresponden la propuesta del modelo formal no. 2, donde podemos observar como los tres grandes subsistemas: el ambiente natural (el clima), el ambiente construido (el edificio) y el ambiente social (la sociedad), son los que interactuando simultáneamente definen nuestra realidad y dentro de ellos, esta inserto el ser humano, el cuál, se puede definir como un ente constituido por

tres elementos que son la parte biológica, la parte psicológica y la parte social; los cuáles se manifiestan a los estímulos de los ambientes correspondientes, finalmente en el centro del esquema y como producto de la interacción de los diferentes ambientes (es decir la realidad) y con las partes del ser humano bio-psico-social, se producen diferentes fenómenos complejos como son la habitabilidad del espacio arquitectónico y como parte constitutivo de este concepto, se localiza ahí también el fenómeno del confort térmico que es el tema que ocupa a este trabajo de investigación.



Fotografía No.9.- Edificio No.2 de Aulas de la ESIA-Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional, foto tomada desde la dirección Nor-poniente, ubicado en Lomas de Tecamachalco, Naucalpan, Estado de México, México.

Resultó entonces necesario, plantear una propuesta teórico-conceptual de cómo las diferentes variables se interrelacionan y definen al fenómeno estudiado, lo que se hace a través del cuadro 5, convirtiéndose esta propuesta en un modelo hipotético que nos permitió ordenar y construir todos los instrumentos de investigación tales como cuestionarios, guías de observación, cédulas de registro, cédulas para levantamientos entre otros.

Así mismo este modelo permitió, junto con la información de experimentos desarrollados por otros autores, construir el procedimiento de investigación de nuestros trabajos, el de tipo ex post facto primero y posteriormente el de experimentación.

Como se indicó anteriormente, en el proceso de reciclamiento de la información que se iba adquiriendo dentro de la investigación del fenómeno, fue necesario pasar, de la descripción general escrita del cuadro 5 a la propuesta de un modelo gráfico final, lo cuál se logró con el esquema general del fenómeno, contenido en la figura 8.

En el cuadro 5, el modelo ahí planteado, parte de dos grandes grupos de categorías que son por una parte los factores externos y por otra el de los factores internos del ser humano, a su vez estos dos grandes grupos, se subdividen cada uno de ellos en tres subsistemas, para el primer caso, los subsistemas son el ambiente natural (el clima), el ambiente construido (el edificio) y el medio social (la sociedad), para el segundo grupo, los subsistemas son la parte social del ser humano, su parte biológica y su parte psicológica, es en este último subsistema, donde se incluyen a las variables que durante los estudios funcionan como variables dependientes y que son la sensación y la preferencia térmicas.

Cuadro 5. Modelo holístico formal que representa al fenómeno del confort térmico del ser humano cuando se encuentra dentro de los edificios y que representa una propuesta de este trabajo, respecto de las variables que conforman el fenómeno citado.

| Categoría | Subsistema | VARIABLES QUE INTEGRAN LOS SUBSISTEMAS | AGRUPAMIENTO CONCEPTUAL DE VARIABLES |
|---|---|---|--|
| Factores externos al ser humano | Ambiente natural (El clima) | Temperatura del aire | 1. Temperatura del aire |
| | | Radiación solar | 2. Temperatura radiante |
| | | Humedad del aire | 3. Humedad relativa |
| | | Viento | 4. Velocidad del aire |
| | | Presión atmosférica (es inversamente proporcional a la temperatura del aire, es decir que repercute en esa variable). | 1. Temperatura del aire |
| | | Meteoros (dependiendo el tipo de meteoro, este repercutirá en una ó varias de las variables indicadas) | 1. Temperatura del aire 2. Temperatura radiante 3. Humedad relativa 4. Velocidad del aire |
| Factores externos al ser humano | Ambiente construido (El edificio) | Calidad del aire | Solo tiene importancia si no hay intercambio de aire en el local |
| | Ambiente social (La sociedad) | -Dimensiones del espacio arquitectónico -Orientaciones del local de estudio respecto al sol -Tipo de materiales de construcción -Formas interiores del espacio arquitectónico -Aberturas: Su forma, ubicación y tipo de funcionamiento -El Color en el espacio arquitectónico -Diferencias de confort térmico dentro del espacio arquitectónico | 5. El espacio arquitectónico |
| | | -Tradiciones y costumbres del sujeto -Grupo étnico del sujeto -Grupo social y económico del sujeto -Participación en grupos deportivos, sociales, políticos, etc. | 6. Memoria térmica (1ª parte) |
| Factores internos ó personales del ser humano | Parte social del ser humano | Tipo de vestimenta | 7. Tipo de vestimenta |
| | | -Hábitos de alimentación -Tipo de bebidas ingeridas | 8. Tipo de alimentación |
| | | Grado de aclimatación, que incluye: -Lugar de nacimiento -Características del espacio donde se vive. -Tiempo de permanencia diaria en ese espacio. -Tiempo en años de esa vivencia espacial. | 6. Memoria térmica (2ª parte) |
| | | Color de piel del sujeto | 9. Factor genético |
| | Parte biológica del ser humano | -Estado de salud -Adaptación física (temperatura corporal, presión arterial, pulso) -Descompensación física (temperatura corporal, presión arterial, pulso) | 10. Estado de salud del sujeto |
| | | Edad del sujeto | 11. Edad del sujeto |
| | | -Tiempo previo de ingestión de alimentos -Tiempo de vigilia del sujeto (despierto) -Tiempo de permanencia del sujeto dentro del local -Tiempo previo de realización de actividad corporal | 12. Ciclos temporales |
| | | -Metabolismo basal -Metabolismo muscular -Peso del sujeto -Estatura del sujeto | 13. Actividad que desarrolla el sujeto |
| | | -Sexo | 14. Género del sujeto |
| | | Parte psicológica del ser humano | -Placer -Activación -Control -Psicofísica: Contacto visual con el exterior, ruidos, olores, tacto |
| | La significatividad espacial | | 6. Memoria térmica (3ª parte) |
| | -Estado de ánimo del sujeto -Más la variable de memoria térmica (1ª, 2ª y 3ª partes) | | 16. Expectativas del sujeto ante el confort térmico |
| | Variables dependientes, medidas como opinión cognoscitiva (sensación-percepción) y opinión afectiva (preferencia) | | 17. Sensación y preferencia térmica del sujeto |

En el esquema anterior podemos observar en primer lugar, que el fenómeno del confort térmico se subdivide en dos grandes categorías, estos a su vez en subsistemas, los cuáles están constituidos por sus variables respectivas, sin embargo es necesario ya que se deconstruyó el fenómeno volver a construirlo en diecisiete variables agrupadas, con la intención de que a partir de éstas se siga teniendo claro y se comprenda mejor como se manifiesta el fenómeno estudiado.

En segundo lugar podemos ver como algunas de estas variables agrupadas están conformadas de variables individuales pertenecientes a diferentes subsistemas y así de con un origen diverso interactúan para definir componentes intermedias dentro del fenómeno general, caso concreto son las variables: *memoria térmica* y *expectativas del sujeto ante el confort térmico*, lo que podemos observar en el siguiente cuadro:

Cuadro 6. Composición de las variables agrupadas: memoria térmica y expectativas del sujeto ante el confort térmico, que se constituyen así como componentes ó elementos intermedios del paradigma holístico que representa al fenómeno del confort térmico del ser humano cuando se encuentra dentro de los edificios.

| Categoría | Subsistema | Variables que integran los subsistemas | Agrupamiento conceptual de variables |
|---|--------------------------------------|--|--|
| Factores externos al ser humano | 1.-Ambiente natural (El clima) | | |
| | 2.-Ambiente construido (El edificio) | | |
| | 3.-Ambiente social (La sociedad) | -Tradiciones y costumbres del sujeto -Grupo étnico del sujeto -Grupo social y económico del sujeto -Participación en grupos deportivos, sociales, políticos, etc. | 6.Memoria térmica (1ª parte) |
| Factores internos ó personales del ser humano | 4.-Parte social del ser humano | Grado de aclimatación, que incluye: -Lugar de nacimiento -Características del espacio donde se vive. -Tiempo de permanencia diaria en ese espacio. -Tiempo en años de esa vivencia espacial. | 6.Memoria térmica (2ª parte) |
| | 5.-Parte biológica del ser humano | | |
| | 6.-Parte psicológica del ser humano | La significatividad espacial | 6.Memoria térmica (3ª parte) |
| | | -Estado de animo (del momento) -Más la variable de memoria térmica (1ª, 2ª y 3ª partes) | 16.Expectativas del sujeto ante el confort térmico |

En relación al cuadro anterior podemos ver como la variable agrupada: *expectativas del sujeto ante el confort térmico*, esta compuesta de dos partes, la primera que es la historia térmica del sujeto, que representa la etapa temporal pasada y a la cuál llamamos en este trabajo: *memoria térmica*; la segunda parte es la variable individual *estado de ánimo del sujeto*, que al conjuntarse con la *memoria térmica* que se hace manifiesta en el tiempo presente, nos da como resultado, *las expectativas del sujeto ante el confort térmico*.

A su vez la *memoria térmica* está compuesta de tres partes, y donde cada una de éstas se manifiesta en tres subsistemas diferentes como son: el ambiente social y la parte social y psicológica del ser humano; de esta forma se puede observar la complejidad del fenómeno que se estudia, así como la recursividad de las variables agrupadas vistas como subsistemas. A continuación se representa de manera formal el modelo holístico del confort térmico del ser humano:

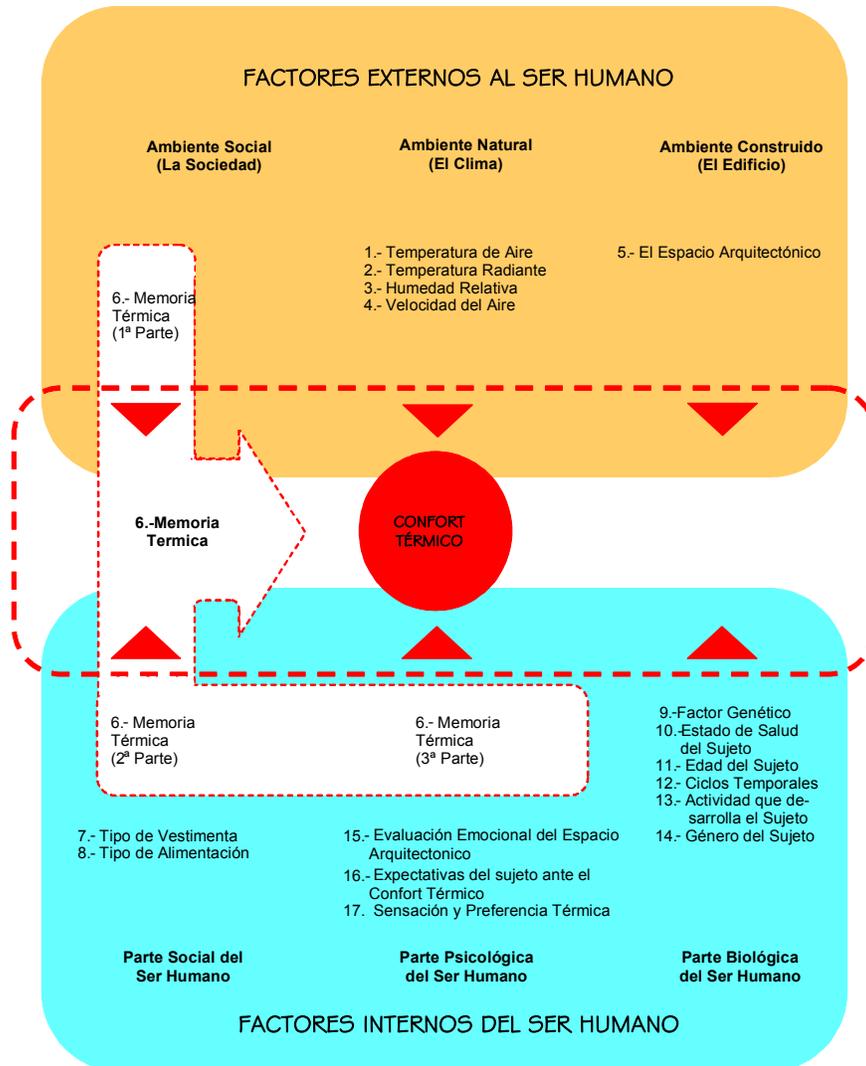


Fig. No. 8.- Esquema general que representa al fenómeno del confort térmico, las variables que lo componen y la interrelación entre ellas.

3.2.2.-Definiciones del agrupamiento conceptual de las variables que forman el modelo holístico del confort térmico del ser humano

A continuación se hace una descripción breve de cada una de las variables agrupadas de manera teórico-intuitiva y que se consideraron partes constitutivas del

concepto de confort térmico.

Finalmente, una vez que se levantó la información en los estudios ex post facto y experimental se pudo verificar si estas variables definen a las variables dependientes: sensación térmica y preferencia térmica.

Temperatura del aire

El aire tiene la característica de ser diatermo, es decir, es transparente a los rayos solares se calienta de forma indirecta, a partir de que los rayos del sol chocan con el suelo estos se absorben y se convierten en calor, es así que a partir de éste y por el fenómeno de la convección que se calienta el aire.

Cuadro 7. Estudios donde se señalan intervalos de temperaturas para diferentes zonas de confort.

| Principales autores | Límites de la temperatura del aire de la zona de confort térmico | Observaciones |
|---|---|--|
| Baruch Givoni | 21°C a 26°C | Bienestar óptimo límite máximo permisible |
| Víctor Olgyay | 23.9°C a 29.5°C | Trópicos |
| ASHRAE | 20.55°C a 24.44°C (Invierno) 23.33°C a 27.22°C (Verano) | Bienestar óptimo |
| Yaglou-Drinker | 18.8°C a 23.8°C | EE.UU. Verano (T. E.) |
| Masterton J. M y Richardson F. A. | 20°C a 29°C | Canadá, para época calurosa del verano |
| Koenigsberger y Otros | 22°C a 27°C | Trópicos (T. E.) |
| C. E. Brooks | 23.3°C a 29.4°C | Trópicos |
| Auliciems A. (1981 a, 1981 b, 1983, 1986, 1989, 1993), Auliciems A. y S. Szokolay (1997). | <p>Establece la siguiente expresión:</p> $T_n = 17.6 + 0.31T_m$ <p>Ejemplos: Ciudad de México</p> <p>Mes más frío (Diciembre): $T_n = 17.6 + 0.31 (13.5^\circ \text{C}) = 21.8^\circ \text{C}$ Mes más cálido (Abril): $T_n = 17.6 + 0.31 (20^\circ \text{C}) = 23.8^\circ \text{C}$</p> <p>Intervalo para el mes más frío: de 18.3° C a 25.3° C Intervalo para el mes más cálido: de 20.3° C a 27.3° C</p> <p>Ciudad de Acapulco, México:</p> <p>Mes más frío (Enero): $T_n = 17.6 + 0.31 (26.5^\circ \text{C}) = 25.82^\circ \text{C}$ Mes más cálido (Agosto): $T_n = 17.6 + 0.31 (29.0^\circ \text{C}) = 26.59^\circ \text{C}$</p> <p>Intervalo para el mes más frío: de 22.32° C a 29.32° C Intervalo para el mes más cálido: de 23.09° C a 30.09° C</p> | <p>Trópicos</p> <p>Donde el intervalo de la zona de confort térmico se encuentra +/-3.5° C de T_n, para un 80% de aceptación de los usuarios de un espacio arquitectónico (para un 90% de aceptación el intervalo es de +/-2.5° C).</p> |

| Principales autores | Límites de la temperatura del aire de la zona de confort térmico | Observaciones | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|--|-------------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-----------|-----|----------|
| P. Wakely (1979) | <table border="0"> <tr> <td>Oscilación media anual de la temperatura del aire en °C</td> <td>Amplitud de la zona de confort en °C TEC</td> </tr> <tr> <td>Menos de 13</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>13-15</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>16-18</td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td>19-23</td> <td>4.0</td> </tr> <tr> <td>24-27</td> <td>4.5</td> </tr> <tr> <td>28-32</td> <td>5.0</td> </tr> <tr> <td>33-37</td> <td>5.5</td> </tr> <tr> <td>38-44</td> <td>6.0</td> </tr> <tr> <td>45-51</td> <td>6.5</td> </tr> <tr> <td>Más de 51</td> <td>7.0</td> </tr> </table> | Oscilación media anual de la temperatura del aire en °C | Amplitud de la zona de confort en °C TEC | Menos de 13 | 2.5 | 13-15 | 3.0 | 16-18 | 3.5 | 19-23 | 4.0 | 24-27 | 4.5 | 28-32 | 5.0 | 33-37 | 5.5 | 38-44 | 6.0 | 45-51 | 6.5 | Más de 51 | 7.0 | Trópicos |
| Oscilación media anual de la temperatura del aire en °C | Amplitud de la zona de confort en °C TEC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Menos de 13 | 2.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13-15 | 3.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16-18 | 3.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19-23 | 4.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24-27 | 4.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28-32 | 5.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 33-37 | 5.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 38-44 | 6.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 45-51 | 6.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Más de 51 | 7.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carl Mahoney | <p>Establece 24 diferentes intervalos de confort térmico y va en su límite inferior desde 12°C hasta 18°C y en su límite superior desde 26°C hasta 33°C</p> <p>Para la Ciudad de México: Con una T_{ma} = 16.8°C, y una Humedad Relativa entre 50% y 70% Pertenece al grupo de humedad 3 y al grupo de temperatura media anual B (entre 15°C y 20°C), y entonces le corresponde un intervalo de confort térmico de día, que va de 21°C a 27°C, siendo la temperatura neutra de 24°C</p> <p>Para la Ciudad de Acapulco México: Con una T_{ma} = 27.8°C, y una Humedad Relativa Media del 74% al 78%. Pertenece al grupo de humedad 4 y al grupo de temperatura media anual A (mayor de 20°C), y entonces le corresponde un intervalo de confort térmico de día que va de 22°C a 27°C siendo la temperatura neutra de 24.5°C</p> | Es para varios tipos de climas, no especifica uno en particular. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| John Martin Evans (2000) | <p>Establece que puede ser desde 18°C a 28°C para temperaturas medias, con una oscilación térmica de hasta 8°C y una actividad de tipo sedentaria.</p> <p>Para la Ciudad de México: El mes más cálido: Abril, con una temperatura media 20° C, oscilación térmica 17° C. El mes más frío: Diciembre, temperatura media 13.5° C, oscilación térmica 17° C.</p> <p>Para la Ciudad de Acapulco México: El mes más cálido: Agosto, temperatura media 29°C, oscilación térmica 8.1°C. El mes más frío: Enero, temperatura media 26.5°C, oscilación térmica 8.6°C.</p> <p>En ambos casos para Ciudad de México y Acapulco para actividades sedentarias quedan fuera de la zona de confort, según John Martin Evans.</p> | Es para varios tipos de climas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

A continuación se presenta un cuadro donde se resumen las diferentes zonas de confort térmico de acuerdo a diversos autores.

Cuadro 8. Resumen de diferentes zonas de confort térmico donde se indican amplitud de la zona y temperatura neutra.

| Autor | Límite inferior y superior (rango) de la zona de confort térmico | Amplitud de la zona de confort térmico | Temperatura neutra |
|---|---|--|--|
| Baruch Givoni | 21° C a 26° C | 5°C | 23.5°C |
| Víctor Olgyay | 23.9° C a 29.5° C | 5.6°C | 26.7°C |
| ASHRAE | 20.55° C a 24.44° C (Invierno) 23.33° C a 27.22° C (Verano) | 3.89°C 3.89°C | 22.5°C 25.3°C |
| Koenigsberger y Otros | 22° C a 27° C | 5°C | 24.5°C |
| C. E. Brooks | 23.3° C a 29.4° C | 6.1°C | 26.35°C |
| Masterton J. M y Richardson F. A. | 20°C a 29°C | 9°C | 24.5°C |
| Auliciems A. (1981 a, 1981 b, 1983, 1986, 1989, 1993), Auliciems A. y S. Szokolay (1997). | Para la Ciudad de México: Mes más frío: de 18.3° C a 25.3° C Mes más cálido: de 20.3° C a 27.3° C Para la Ciudad de Acapulco, México: Mes más frío: de 22.32°C a 29.32°C Mes más cálido: de 23.09°C a 30.09°C Para un rango de aceptación del 80% de los usuarios de los espacios | 7°C 7°C 7°C 7°C | 21.8° C 23.8° C 25.82°C 26.59°C |
| P. Wakely (1979) | Para la Ciudad de México: 19.48°C a 22.98°C Para la Ciudad de Acapulco, México: 22.90°C a 25.40°C | 3.5°C 2.5°C | 21.23°C 24.15°C |
| Carl Mahoney | Para la Ciudad de México: 21°C a 27°C Para la Ciudad de Acapulco, México: 22°C a 27°C | 6° C 5° C | 24° C 24.5° C |
| John Martin Evans (2000) | Para la Ciudad de México: 18°C a 28°C (para actividades sedentarias) Para la Ciudad de Acapulco México: 18°C a 28° C (para actividades sedentarias) En ambos casos el intervalo de la zona de confort térmico aquí indicado solo es válido si la oscilación térmica es de 0°C a 8°C | 10°C | 23°C |

Temperatura radiante

La temperatura radiante o temperatura media radiante es una variable importante en

la conformación del fenómeno del confort térmico, sobre todo cuando en un espacio arquitectónico determinado, se acumula radiación solar (o por otro motivo) importante, generando diferencias de percepción térmica en los usuarios, a pesar de que exista una temperatura del aire general para el local y que incluso pudiese estar dentro de lo que se considera temperatura neutra o de confort térmico.

Por ejemplo 23°C en la Ciudad de México es una temperatura que debería promover espacios arquitectónicos confortables, sin embargo, si estamos cerca de una ventana, de un domo, o de cualquier otro elemento en donde ocurra penetración directa del sol, los rayos de éste calentarán las superficies donde se impactan y en esta zona o zonas del local referido, la sensación de calor es más alta, aunque en apariencia debía ser también confortable, ya que la temperatura del aire de 23 ° C es por definición una temperatura neutra.

Sucede lo mismo si estamos cerca de un muro o ventana donde hay pérdida de calor por el impacto del aire frío sobre dicha superficie, en ese caso sentiremos frío aunque la temperatura del aire este dentro de una aparente zona de confort, se presenta sobre todo en espacios de edificios arquitectónicos en uso normal radiados directamente por el sol o que tengan pérdidas de calor por efectos de vientos fríos.

La temperatura media radiante sirve para evaluar la temperatura efectiva y puede hacerse a partir de la siguiente expresión:

$$te = ta + tr / 2 = 0.5 (ta + tr)$$

Donde: te = temperatura efectiva
ta = temperatura del aire
tr = temperatura media radiante

Humedad relativa

Se define como la relación porcentual, entre la presión de vapor existente en una porción de aire y la que se presentaría en caso de que esa porción se encontrara saturada a la misma temperatura², hay diversas formas en que se incrementa o se disminuye la cantidad de humedad en el aire y que entre otras son:

- La precipitación pluvial
- La presencia de vegetación
- Superficies de agua (fuentes, espejos de agua, cercanía al mar, etc.)
- El viento

Cuadro 9. Límites de humedad relativa que determinan una zona de confort térmico en relación con la temperatura del aire.

| Autores | Límites de temperatura | Límites de humedad | Observaciones |
|---------------|------------------------|--------------------|----------------------|
| Puppo | 16°C (Punto óptimo) | 30-60% | Para Europa (España) |
| Víctor Olgyay | 23.9°C a 29.5°C | 20-75% | Trópicos |

² Tabla tomada de GONZÁLEZ Eduardo et al, Op. cit., p. 68 y modificada para este trabajo.

| | | | |
|-----------------------|--|---|-------------------------------|
| Roberto Rivero | Alrededor de 24°C | 30-60% | Para Sudamérica |
| Yaglou-Drinker | 18.8°C a 23.8°C | 30-70% | EE.UU. Verano (T. E.) |
| Koenigsberger y Otros | 22°C a 27°C | 30-70% | Trópicos (T. E.) |
| C. E. Brooks | 23.3°C a 29.4°C | 30-70% | Trópicos |
| Carl Mahoney | Establece 24 diferentes intervalos de confort térmico y va desde 12°C a 18°C hasta 26°C a 33°C | Establece 4 Grupos: HR menor a 30% HR entre 30% y 50% HR entre 50% y 70% HR mayor a 70% | Prácticamente para todo clima |

Velocidad del aire

La velocidad del aire es una característica del viento (aire en movimiento), que se genera debido a la diferencia de presiones en la entrada y salida de un espacio arquitectónico determinado, es una variable que sirve para conformar el concepto de confort o malestar térmico.

A continuación se presenta una tabla donde se describen los efectos de la velocidad del viento, que es la dimensión más importante de este factor físico:

Cuadro 10. Velocidades del viento en espacios interiores y su efecto en los usuarios.^{3*}

| Velocidad m/s | Efecto mecánico | Efecto en el usuario | Efecto de enfriamiento (°C) | | | | |
|------------------|---|--|-----------------------------|------|------|---------------------|-------|
| | | | piel seca 15°C | 20°C | 25°C | piel Húmeda 30°C | 35°C* |
| 0.10 | Mínimo a nivel doméstico | Se puede sentir sofocación | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0.25 | El humo del cigarro indica el movimiento | Hay movimiento imperceptible excepto a bajas temperaturas del aire | 2 | 1.3 | 0.8 | 0.5 | 0.7 |
| 0.50 | Flamear de una vela | Se siente fresco a temperaturas confortables, pero incómodo a bajas temperaturas | 4 | 2.7 | 1.7 | 1.0 | 1.2 |
| 1.00 | Los papeles sueltos pueden moverse, lo que equivale a la velocidad al caminar | Agradable generalmente cuando el clima es confortable o caliente, pero causa una sensación de movimiento patente. Es el nivel máximo aceptable de confort nocturno | 6.7 | 4.5 | 2.8 | 1.7 | 2.2 |
| 1.50 | Demasiado rápido para trabajos de oficina. Se vuelan los papeles | Incómodo a temperaturas confortables. Límite máximo de confort para actividades en el interior | 8.5 | 5.7 | 3.5 | 2.0 | 3.3 |
| 2.00 | Equivale a la velocidad al caminar rápido | Aceptable sólo en condiciones muy cálidas y húmedas, cuando ningún otro alivio ambiental está disponible | 10.0 | 6.7 | 4.0 | 2.3 | 4.2 |

³ B. H. EVANS, “Reserch Report 59”, Texas Engineering Station, College Station, Texas, EE.UU., 1957, cit. por GARCÍA Chávez J. R. y FUENTES Freixanat V., “Viento y Arquitectura”, D.F, México, 1995 p. 170.

* TBS (aire ambiente)

**El efecto en el usuario se refiere a situaciones cotidianas domésticas, en edificios industriales y de otro tipo, las velocidades del viento pueden ser deseables y confortables

Presión atmosférica

Se define como el peso del aire por unidad de superficie, expresada en unidades de presión llamadas milibares. Así mismo la temperatura y la altitud son inversamente proporcionales a la presión atmosférica, a una mayor temperatura del aire y/ o mayor altitud, menos presión atmosférica.

La presión atmosférica es una variable que nos indica de manera indirecta la temperatura del aire y/ o altitud de un sitio, influye en el confort térmico ya que a mayores valores de presión atmosférica les corresponden valores mayores de temperaturas, es decir, a mayores alturas menores temperaturas.

Esto sucede en México y como ejemplo sus poblaciones costeras, sin embargo, si la latitud cambia esta relación ya no se cumple un ejemplo de ello es Europa, y así en el Mar Mediterráneo aún con presiones atmosféricas altas tiene bajas temperaturas, en ese caso predomina la latitud para determinar su temperatura. En otros casos influyen también las condiciones del microclima para que no se cumpla la relación descrita en el primer caso.

Así mismo el funcionamiento del sistema circulatorio del ser humano, incluido su corazón requiere un mayor esfuerzo cuando se encuentra en un sitio localizado a una mayor altitud por la menor presión atmosférica y densidad del aire, lo que implica menos oxígeno para realizar las actividades metabólicas y por lo tanto dichos habitantes ven restringidas el tipo de actividades a realizar, en casos extremos, como en la Ciudad de La Paz, en Bolivia, sus habitantes han desarrollado hábitos alimenticios que compensan el funcionamiento de su cuerpo para dichas altitudes, particularmente en dicha población acostumbra mascar la hoja de coca, o ingerir bebidas de té ó de coca.

Meteoros

Son aquellos eventos meteorológicos que se presentan con periodicidad y tienen una duración más o menos regular, anual o estacionalmente, ejemplos de ellos son la niebla, las granizadas, las tormentas eléctricas, los tornados, las heladas, etc.

Es importante el conocimiento de que se manifestarán dichos eventos en nuestro lugar de estudio, ya que estos momentos físicos extremos, deben contemplarse dentro del proceso del diseño arquitectónico de los edificios.

Calidad del aire

En este caso nos interesa la calidad del aire y por ende como la contaminación del aire puede tener repercusiones en la preferencia térmica del sujeto usuario de un espacio arquitectónico determinado.

Es decir, nos interesa la contaminación del aire por el uso de éste en procesos cotidianos de los seres humanos, tales como la respiración, en particular cuando los sistemas de ventilación resultan ser insuficientes y cuando pueden también generarse problemas de concentraciones en el aire de cargas térmicas.

Durante el proceso de respiración cada persona consume 25 litros de oxígeno por hora, cabe señalar que un metro cúbico de aire son 1000 litros y de estos 210 son de oxígeno. Por otra parte debemos mencionar que una persona expelle 15 litros bióxido de carbono (CO_2) por hora y cuando desarrolla actividades intensas llega a producir hasta 30 litros de CO_2 por hora, así que en sitios donde la concentración de personas es muy grande y no existe un adecuado cambio de aire, la contaminación podría ser una causa de incomodidad térmica sin embargo deben darse la combinación de varios factores como son la concentración de CO_2 , la pérdida de oxígeno por consumo humano, la altas temperaturas del aire y el vapor de agua contenido en el aire⁴.

Sin embargo, como ya se ha señalado reiteradamente el proceso de contaminación del aire solo llega a presentarse en espacios donde no hay intercambio de aire por un sistema de ventilación adecuado, siendo más importantes los procesos físicos de transformación de las condiciones del aire lo que provoca la incomodidad térmica, que los procesos químicos de transformación en la calidad del aire.

El espacio arquitectónico

Esta variable agrupada se compone de las siguientes variables individuales:

Dimensiones del local de estudio: Esta variable es fundamental ya que las dimensiones del local representan entre otras la suficiencia, insuficiencia o demasía de volumen de aire de ventilación.

Orientaciones del local de estudio respecto al sol: Debido a que el sol es el elemento que más energía aporta a los edificios, es muy importante el conocimiento de cómo penetran los rayos solares al interior de los locales o como estos elementos serán radiados y servirán para transmitir el calor al interior de los locales.

Tipo de materiales de construcción: Es importante conocer las características termo-físicas de los materiales utilizados para la construcción del espacio arquitectónico de estudio, ya que hay materiales aislantes y otros que permiten el paso del calor con diferentes tiempos de retardo térmico por lo que es necesario conocer entre otros el coeficiente global de transmisión (U), la resistencia total del elemento constructivo (R_a), la reflectancia y el coeficiente de conductividad (k).

Formas interiores del espacio arquitectónico: Estas influyen en la percepción psicológica, lo cuál contribuye a la evaluación emocional del espacio arquitectónico, por ejemplo se perciben de diferente manera los planos rectos, que los planos curvos o los planos intersectados.

⁴ PUPPO Ernesto y PUPPO Valeria, “Un Espacio para Vivir”, Barcelona, España, 1980., pp. 66-67

Aberturas: su forma, ubicación y tipo de funcionamiento: La forma y tamaño de las aberturas, principalmente de las ventanas, su ubicación, así como el tipo y mecanismos de funcionamiento de las áreas de ventilación, deben tomarse en cuenta, ya que la eficiencia y el control que se tiene sobre la ventilación natural es diferente si la ventilación es a base de tabletas, hojas tipo bandera, de resbalón, corredizas, etc.

El tamaño de las aberturas es importante, debido a que este factor permite presuponer la cantidad o volumen de aire. Por último, otro punto a considerar es su ubicación; esta variable permite en cierto modo variar la velocidad de aire dentro del local ya que no es lo mismo que sea cruzada, entrada en una cara frontal y salida lateral o entrada y salida por la misma fachada; así mismo no se comporta igual la ventilación si esta es cenital o sobre los muros, en su parte baja, media ó superior.

El color: Califica emocionalmente a los espacios arquitectónicos y provoca ambientes cálidos o ambientes fríos.

Los colores según Kandinsky (1923), tienen una correspondencia en los colores primarios (amarillo, rojo y azul) de cálido a frío, de claro a oscuro y de activo a pasivo⁵.

En este caso existe una relación física real entre los colores claros que reflejan más las radiaciones solares y los colores oscuros que absorben el calor y por tanto son más cálidos, a este respecto cabe señalar que existe en la Física el concepto de “cuerpo negro”, que es el absorbedor perfecto.

Diferencias de confort térmico dentro del espacio arquitectónico: En muchas ocasiones dentro de un mismo espacio arquitectónico es posible que existan diferencias en como los sujetos perciben el ambiente térmico de dicho espacio y generalmente se puede deber a las siguientes causas⁶:

1. Enfriamiento o calentamiento del cuerpo humano por convección, lo cuál puede ser ocasionado por turbulencias de aire.
2. Enfriamiento o calentamiento por la radiación en diversas zonas del cuerpo humano, generalmente conocido como problemas de asimetría de radiación y que puede deberse a que el sujeto de referencia puede encontrarse cerca de una ventana o de un muro caliente o frío, cercano a equipos radiadores de calor, etc.
3. Que el sujeto tenga los pies fríos y la cabeza caliente al mismo tiempo, lo que puede suceder debido a una diferencia vertical de la temperatura del aire.
4. O bien que los pies del sujeto estén calientes o fríos debido a una temperatura del piso marcadamente diferente a la temperatura del aire.

Memoria térmica del sujeto

Esta variable agrupada que constituye un concepto intermedio que aporta a la definición del fenómeno de estudio general, se refiere al registro histórico de diversas

⁵ Lupton E. y Miller A., “El ABC de la Bauhaus y la Teoría del Diseño”, Barcelona, España, 1994, pp. 22-23

⁶ KVISGAARD Bjorn (1997) “Thermal Comfort”, p. 14.

experiencias pasadas, hecho por el sujeto y que sirve de base también para determinar su preferencia térmica de un momento específico.

Componen a esta variable agrupada tres partes, una primera que se origina en el medio social y que traslada al sujeto un acervo preferencial térmicamente hablando y una segunda y tercera partes, que son manifestaciones directas del sujeto y que incluyen algunos elementos de su parte social y su parte psicológica, a continuación se hace una breve descripción de los mismos:

Primera parte de la memoria térmica:

Tradiciones y costumbres: Este elemento tiene que ver con las actividades que como grupos humanos establecen estos para socializar al interior de ellos mismos.

Un ejemplo de ello pueden ser las características que tendrá el local, referentes al tipo de acondicionamiento térmico, marcándose una diferencia entre lo artificial y lo natural, ya que no es lo mismo un pórtico ventilado naturalmente que en muchas ocasiones tiene contacto con el exterior de los edificios (su ubicación generalmente es en el acceso al edificio) que se da en los climas cálidos o las mismas actividades de socialización que se dan en espacios cerrados, privados, donde utilizan el aire acondicionado.

Grupo étnico al que pertenece el sujeto: Sin adoptar una posición discriminatoria y racista, se plantea, de que no solo por el hecho de pertenecer a una etnia implica concebir el concepto del confort térmico de una forma u otra.

Lo que sí debe señalarse, es que el formar parte de un tipo de etnia, está asociado de manera importante a los procesos de aclimatación que el sujeto de referencia adquiere por el hecho de vivir en cierta localidad y bajo ciertas circunstancias.

Grupo social y económico al que pertenece el sujeto: Este rubro se refiere a que las experiencias o vivencias espaciales y por ende la construcción del concepto de confort térmico son diferentes para grupos sociales-económicos diversos.

Así, podemos señalar, que hay una diferencia de preferencia térmica para los grupos sociales que habitan en asentamientos irregulares de las llamadas “ciudades perdidas” y los que tienen otras capacidades económicas y que habitan otros tipos de colonias, tales como en el caso del DF y su área metropolitana pueden ser la Col. Hipódromo Condesa, Polanco, Bosques de las Lomas y otras, esto al final se traduce, en las diferentes *expectativas de confort térmico* que desarrolla cada sujeto de acuerdo con sus diferentes vivencias espaciales en los edificios que habita.

Algunos indicadores necesarios para conocer las características de los grupos sociales y económicos tenemos por ejemplo el número de miembros que constituyen la familia, cuántos de ellos trabajan, los ingresos económicos por familia, su grado de instrucción y el tipo de población donde vive el sujeto (urbana, semi-rural o rural) entre otros.

Participación en grupos deportivos, sociales, políticos, etc.: Esta variable debe considerarse, ya que debido al tipo de actividades que desarrollan y donde las llevan a cabo representan diferentes experiencias espaciales, que se reflejan en sus procesos de aclimatación, de tal forma que no solo es importante tener en cuenta si los espacios son cerrados o abiertos, lo que por si mismo representa una determinada experiencia de aclimatación, si no que también deben conocerse las características de las actividades que se llevan a cabo en dichos espacios, así como también los tiempos necesarios para su correcto desarrollo, de tal forma que puedan considerarse parte de la memoria térmica del sujeto referencia.

Segunda parte de la memoria térmica:

Aclimatación: En esta variable agrupada resultan fundamentales entre otros: el lugar de nacimiento del sujeto, el cuál corresponde a un clima específico, así como la antigüedad de residencia en dicho sitio y todos aquellos donde haya vivido el sujeto.

Otros aspectos a considerar dentro de esta variable son el lugar de nacimiento del sujeto, las características climáticas del lugar donde más tiempo ha vivido (estado, ciudad, municipio o delegación), así como las características físicas de la casa que ha habitado el sujeto, sus materiales de construcción, el tiempo de permanencia diaria del sujeto en dicho espacio habitable, etc.

Tercera parte de la memoria térmica:

La significatividad espacial: Se refiere a las cargas simbólicas que los individuos depositan en su espacio habitable, así como los sentimientos de arraigo, identificación y posesión en relación al confort térmico sensible del usuario dentro del local de estudio, es necesario conocer estas características, porque a su vez éstas, aportan a la variable *expectativas de confort térmico*.

Además de los señalados, deben tomarse en cuenta otros aspectos tales como la relación semántica y de cognición a través de grafos, que existe entre los conceptos calor, frío y confort térmico, con otros conceptos tales como tipos de edificios, locales arquitectónicos concretos o parte de ellos, incluso con elementos exteriores al edificio y del medio natural.

El tipo de vestimenta

La vestimenta es también una variable y factor de aislamiento, de esta forma tenemos que la unidad de aislamiento por el tipo de ropa es el llamado Clo, que equivale al aislamiento provocado para un hombre adulto por el uso de un traje y ropa interior de algodón es decir $5.5 \text{ kcal} / \text{h}^\circ \text{C}$.

El tipo de vestimenta es el primer filtro que nuestro cuerpo tiene en relación a su ambiente térmico, el segundo filtro lo constituyen los diferentes edificios que habita el sujeto.

Tipo de alimentación

Esta variable agrupada se da por dos variables individuales que son:

Hábitos alimenticios: El tipo de alimentos provoca un funcionamiento específico en el metabolismo del cuerpo humano, de ahí que el régimen alimenticio estará aportando una cantidad de calorías que permitan equilibrar la falta de calor o provoque una necesidad de disipación del calor.

Tipos de bebidas ingeridas: Al igual que los alimentos el tipo de bebidas que se ingieren significan un aporte de calorías o la posibilidad de producir una mayor o menor disipación del calor.

Factor genético

Este factor esta determinado básicamente por la siguiente variable:

Color de piel del sujeto: Esta es una variable de tipo indirecta, ya que el color de la piel del sujeto hace que éste prefiera espacios sombreados o descubiertos, debido a la capacidad que por su tipo de piel tiene para soportar el calor; así una persona morena o de piel oscura soportará estancias mas prolongadas en espacios descubiertos y una persona de piel blanca preferirá estar mayor tiempo en espacios cubiertos, sin penetración solar directa, como medida para protegerse de las quemaduras en su piel, lo cuál sucedería si tiene exposiciones prolongadas a las radiaciones solares.

Estado de salud del sujeto

Estado de salud: Esta variable determina que una persona tenga diferente preferencia térmica de acuerdo a si está sana, o enferma, ya que si una persona padece alguna enfermedad, entonces su metabolismo estará ocupado en tratar de equilibrar su estado de salud y por tanto su organismo, no producirá la cantidad de calor necesaria para un adecuado funcionamiento de su cuerpo, por lo que requerirá de ambientes con temperaturas más cálidas que los que prefiere una persona sana, esta variable es fundamental si se trata de edificios dedicados a la salud.

Otra parte que conforma la variable estado de salud, es la referente a los procesos físicos de adaptación y en particular el caso opuesto: la descompensación física, que es una manifestación de pérdida de salud, en el momento de habitar un espacio con determinadas características térmicas, a continuación una breve descripción de ellas:

Adaptación física: Es un proceso de tipo físico que se genera por el funcionamiento homeotermo del cuerpo humano que trata de adaptarse de forma muy rápida, cuando éste pasa de unas condiciones térmicas del medio ambiente a otras.

Se diferencia del proceso de aclimatación, en que este último es un proceso físico de largo plazo y la adaptación física es casi instantánea, sin embargo, si el cambio es muy

drástico, es decir, si se pasa de unas condiciones térmicas iniciales a otras muy altas o muy bajas puede presentarse entonces el proceso de descompensación física.

Descompensación física: Es la manifestación opuesta al proceso de adaptación, se refiere al proceso de tipo físico que tiene un individuo al sufrir cambios bruscos y pasar de un ambiente térmico a otro de condiciones diferentes.

Debido a este proceso, el cuerpo humano cambia su percepción en cuanto al ambiente térmico haciéndolo más crítico, en el mejor de los casos, pero en otros, puede llegar a causar una crisis momentánea o generar algún tipo de enfermedad debido a la hipotermia o la hipertermia, según sea el caso.

Para registrar ambos procesos, tanto la adaptación física momentánea como la descompensación física corporal se deben llevar los registros de *temperatura corporal, presión arterial y pulso*.

Edad del sujeto

Esta variable también modifica la preferencia térmica del sujeto, ya que un anciano por ejemplo, prefiere ambientes térmicos más cálidos, debido al bajo metabolismo muscular que genera, a diferencia de un niño, que por su gran actividad corporal genera un alto metabolismo muscular y entonces tienen una preferencia por ambientes térmicos más fríos, comparados con los de los ancianos.

La edad como variable adquiere singular importancia, cuando se requiere diseñar edificios con usuarios que tienen grupos de edades específicas, por ejemplo, si se trata de un jardín de niños, una escuela primaria, etc. que son proyectos para niños, o por el contrario proyectos para usuarios seniles, como son los asilos de ancianos, la casa hogar para la tercera edad, u otros espacios recreativos de día para personas mayores entre otros.

Ciclos temporales

El concepto de confort térmico que tiene el usuario de un espacio, no es el mismo durante todo un ciclo temporal, por ejemplo, durante una jornada de trabajo, en un local determinado, al inicio de la misma tiene una determinada preferencia térmica, sin embargo, al terminar la misma no necesariamente sigue teniendo la misma preferencia por el ambiente térmico.

Existen diferentes ciclos temporales para diferentes funciones fisiológicas de nuestro cuerpo, dentro de las más importantes tenemos:

Tiempo previo de ingestión de alimentos: La preferencia térmica varía en relación al tiempo anterior de ingestión de alimentos, ya que dentro de nuestro cuerpo se generan procesos metabólicos, que son diferentes de acuerdo con el tiempo de ingestión.

Tiempo de vigilia del sujeto (ciclo sueño-vigilia): La preferencia térmica del sujeto

varía en relación al tiempo que lleve despierto, es decir no es lo mismo alguien que durmió normalmente de 6 a 8 horas de descanso a alguien que no ha dormido, además la temperatura de nuestro cuerpo no es la misma durante el ciclo de las 24 horas de un día y de acuerdo con ello también habrá una variación en la preferencia térmica del sujeto.

Tiempo de permanencia del sujeto dentro del local: Es importante tener en cuenta el tiempo de permanencia del sujeto dentro de un local determinado ya que a partir de ello genera una preferencia térmica particular, debido al desgaste que el cuerpo sufre al estar expuesto a un determinado ambiente térmico, en cuanto más extremas sean las condiciones, se alcanzará más rápido dicho desgaste, a esto se le conoce como estrés térmico.

Tiempo previo de realización de actividad corporal: Este ciclo es importante conocerlo, ya que el cuerpo humano después de efectuar algún tipo de actividad corporal, lo guarda como memoria y hace que varíe la preferencia térmica durante su estancia en un local determinado.

Actividad que desarrolla el sujeto

Esta variable agrupada, conceptualmente se determina a partir de las siguientes variables individuales:

Metabolismo basal: El cuerpo aún en estado de reposo total produce calor por el solo funcionamiento de los órganos internos de nuestro cuerpo es decir debido a los sistemas automáticos.

Metabolismo muscular: Este tiene un carácter volutivo y se refiere al calor producido por el movimiento muscular de nuestro cuerpo, de acuerdo con el tipo de actividades que realicemos y presenta los siguientes valores⁷, ver tabla de niveles metabólicos en Mets, en el Apéndice C, Anexo 1.

Peso del sujeto: Es una característica de la constitución física del sujeto, donde se mide su masa corporal, su unidad son los kilogramos y a partir de esta se calculan varios factores como son el índice de masa corporal y el área de Du Bois, esto para ver como se manifiestan tanto esta variable como la estatura en los procesos de ganancias y pérdidas de calor por las actividades corporales que desarrolle el sujeto.

Estatura del sujeto: Es otra de las variables básicas de la parte biológica del sujeto y nos determina la longitud del cuerpo humano, medida en metros, al igual que el peso sirve de base para calcular otros índices que son necesarios conocer para calcular por ejemplo la cantidad de mets que un sujeto disipa por el tipo de actividad corporal que realiza.

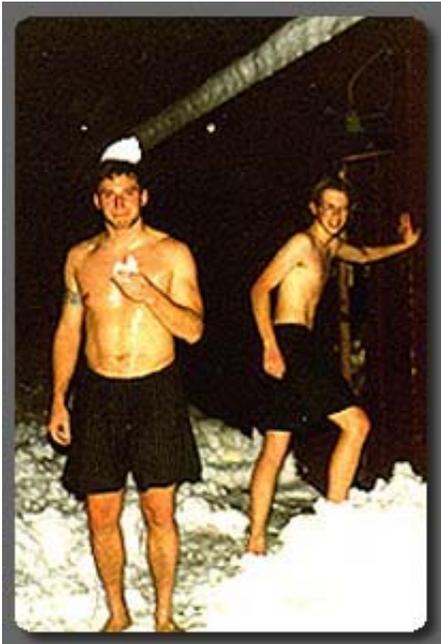
Es importante dar información específica acerca de dos índices que como ya se dijo

⁷ FUENTES Freixanet Víctor, “Arquitectura y Energía, Control Térmico en Edificaciones”, Manual de Arquitectura Solar, México, 1991, p. 224.

se calculan a partir del peso y la estatura del sujeto que son:

Índice de masa corporal (IMC): Este se determina principalmente por el peso del sujeto, y determina los niveles de obesidad del sujeto, es decir permite conocer la cantidad de grasa corporal que contiene el cuerpo de un sujeto.

La grasa es un aislante de calor y el frío, por tanto una persona obesa, con grasa corporal en su cuerpo, está en disposición de soportar mejor las bajas temperaturas, pues se aísla mejor del frío, sin embargo para las altas temperaturas el comportamiento es inverso.



Fotografía No.10.- En la imagen podemos observar una particular sensación y preferencia térmica del ser humano a los ambientes muy fríos.

Cantidad de superficie de piel y tamaño del cuerpo: Determinado por la estatura y la masa del sujeto, es importante ya que la cantidad de piel con que cuenta una persona, representa a su vez la mayor o menor capacidad de disipación del calor que un individuo puede tener mediante la sudoración, por tanto una persona con mayor cantidad de superficie de piel está mejor capacitada para soportar temperaturas más altas que la temperatura neutra.

Para calcular la cantidad de superficie de piel del cuerpo del sujeto se utiliza la ecuación del “Área de Du Bois” que es la siguiente: $A_D = 0.202 M^{0.425} H^{0.725}$

En donde: A_D = Área de Du Bois en m^2
M = Masa en Kg.
H = Estatura en m.

Género del sujeto

El género del sujeto representa variación en la preferencia térmica, debido a que el metabolismo del cuerpo del hombre y de la mujer es diferente y su funcionamiento interno hace que tengan una preferencia térmica también diferente, P. O. Fanger en estudios experimentales realizados y publicados en 1970 en “Thermal Comfort”, indica que la diferencia en la preferencia térmica entre los hombres y mujeres es de aproximadamente un grado centígrado.

Evaluación emocional del espacio arquitectónico

Esta variable agrupada se compone de cuatro variables individuales que son el placer, la activación, el control y la psicofísica, al respecto de cada una de ellas se puede señalar lo siguiente:

Placer: Es el nivel de agrado o desagrado que el usuario siente en relación con el confort térmico, que siente dentro del local de estudio.

Activación: Son los niveles de tensión emocional que el usuario siente en relación con el confort térmico, dentro del local de estudio.

Control: Es el grado de apropiación, manejo y vigilancia que tienen los sujetos en relación con el confort térmico, dentro del local de estudio.

Psicofísica: Se refiere a aquellas manifestaciones psicológicas generadas por el contacto con la realidad a través de nuestros sentidos, por ejemplo tenemos: el contacto visual con el exterior del local, los ruidos, los olores, el tacto, entre otros.

Expectativas de confort térmico

Esta es una variable agrupada que determina lo que el sujeto espera de determinadas condiciones térmicas en el local que habita, cabe señalar que no todas las personas tienen la misma expectativa de confort térmico en el momento de estar dentro de un mismo local; esta diferencia se traduce en una exigencia diferente en cuanto a si debe estar más frío o más caliente el espacio donde se encuentren los sujetos.



Fotografía No.11.- En esta imagen podemos observar un Restaurante en la Ciudad de Villa Hermosa, Tabasco, México, el cual está dividido por un gran cristal transparente y donde los comensales eligen en que parte del Restaurante quieren estar para comer, en esta parte se encuentran equipos de aire acondicionado –minisplits-.

Como ya se ha dicho reiteradamente, es en la corriente adaptativa para el estudio del confort térmico del ser humano, donde más se ha profundizado en el estudio de esta variable.

En nuestro trabajo decimos que la variable expectativas, comprende una variable que nosotros llamamos *memoria térmica*, la cuál está compuesta de tres partes, que representa temporalmente hablando *la experiencia previa*, a la toma de opinión, pero que además se complementa con otra parte que es *la expectativa del momento*, la cuál está dada primordialmente por la variable estado de ánimo del sujeto, es importante comentar que esta propuesta, se plantea como una hipótesis que bien podría desarrollarse en trabajos futuros de investigación y que el planteamiento aquí hecho, es básicamente por la necesidad de establecer cuáles son las variables que deberían formar parte del modelo holístico y que pueda definir al fenómeno del confort térmico del ser humano.

Estado de animo del sujeto: Es la condición mental con la que el sujeto lleva a cabo alguna actividad, de acuerdo con dicha condición el sujeto estará más ó menos dispuesto a “sentirse” bien o mal realizando dicha actividad.

Sensación y preferencia térmica del sujeto

Son opiniones que tiene un sujeto de un ambiente térmico dentro un espacio arquitectónico, para el primer caso, es decir la sensación, su evaluación es a partir de cómo lo considera desde un punto de vista cognoscitivo térmicamente hablando y que va desde una categoría de muy frío, hasta muy cálido, pasando por un punto neutro, para este trabajo se utilizó la escala de siete puntos establecida por P. O. Fanger en 1970, en relación a sus trabajos experimentales desarrollados sobre el confort térmico.

Cabe señalar que la opinión de sensación térmica es una opinión de percepción térmica ya que en primera instancia el cuerpo registra los estímulos del medio físico, ese primer contacto es la sensación, posteriormente esa información se procesa y se manda al cerebro, desde donde se interpreta y se emite como una percepción, así el sujeto al opinar emite una percepción térmica, por esta razón esta variable dependiente se incluye en la parte psicológica del ser humano.



Fotografía No.12.- En esta imagen del mismo Restaurante de la foto anterior, podemos observar como hay comensales que prefieren comer en la zona que no cuenta con equipos mecánicos de aire acondicionado y donde solamente cuentan con ventilador que da movimiento al aire pero que no lo enfría, esto debido a que según frases populares dicen: “cuando se toma cerveza, hay que sudarla”.

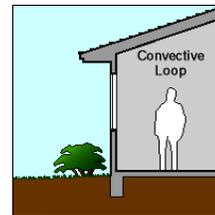
corrientes que en los últimos tiempos han estudiado el fenómeno del confort térmico, ya que la corriente estática encabezada por P. O. Fanger establece que el confort térmico se encuentra en la neutralidad de la temperatura, mientras que en los trabajos de los modelos adaptativos se ha incluido otra escala adicional a la de la sensación térmica para medir la preferencia térmica y donde no siempre la preferencia térmica coincide con la neutralidad mencionada.

La parte referente a la preferencia térmica, está determinada también por la manifestación u opinión de cómo le parece dicho ambiente térmico al ser humano desde un enfoque afectivo, en este trabajo, se utilizó una escala de evaluación de cinco puntos, que va desde una categoría de muy bueno hasta muy malo, pasando por el punto central de “regular (*ni bien, ni mal*), pero aceptable”, esta segunda escala de evaluación para la preferencia térmica fue una propuesta propia de este trabajo de investigación.

Al respecto cabe señalar, lo dicho por Steven Szokolay (2005)⁸: “El equilibrio es una precondition del confort, pero confort es más que equilibrio térmico”.

La afirmación anterior ha sido el centro de discusión de las dos grandes

⁸ Curso presencial, impartido por Steven Szokolay en mayo de 2005, dentro del 4º Congreso Internacional de COTEDI 2005, en la Ciudad de México



Capítulo 4

Investigación ex post facto sobre
el confort térmico del ser humano

“Para llegar a establecer una ley científica existen tres etapas principales: la primera consiste en observar los hechos significativos; la segunda, en sentar hipótesis que si son verdaderas expliquen aquellos hechos; la tercera, en deducir de estas hipótesis consecuencias que puedan ser puestas a prueba por la observación”.

Bertrand Russell

Capítulo 4.-Investigación ex post facto sobre el confort térmico del ser humano

4.1.-Diseño utilizado para la investigación ex post facto

Tipo de estudio

En el protocolo inicial del proyecto de investigación se visualizaba como posibilidad real de diseño de la investigación el de tipo ex post facto, por lo que atendiendo a esta situación según Hernández Sampieri R. (2000) el tipo de estudio correspondiente era el de tipo correlacional¹, aunque si cabe mencionar que estudios de este tipo y además con el



Fotografía No.13.- Aula teórica del Edificio No.2 de la ESIA-Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional, ubicado en Lomas de Tecamachalco, Naucalpan, Estado de México, México.

enfoque holístico no se habían, ni se han desarrollado a la fecha en México, con población Mexicana y en aulas y en un laboratorio de universidades de nuestro país.

Sin embargo debe señalarse, que existe un trabajo donde se aborda el enfoque holístico para estudiar la variabilidad de la zona de confort térmico, este es el de Francisco J. Chávez del Valle (Mayo de 2002) intitulado “Zona variable de confort térmico”, desarrollado en Barcelona, España, en forma casi paralela a este trabajo (mi trabajo se registra en mayo de 2001 y se inicia en junio del mismo año).

En general, en el campo del Confort Térmico, la corriente del *pensamiento adaptativo* plantea un enfoque integral, a diferencia del planteado en la corriente del *pensamiento estático*, ejemplo de los trabajos estáticos es “Thermal comfort”, desarrollado por P. O. Fanger en 1970 y como representativo de la corriente adaptativa, tenemos el trabajo: “Developing and Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, ASHRAE RP-884”, de Richard de Dear, et al (1997).

En el presente trabajo de investigación se buscó medir o evaluar las variables de la

¹ HERNÁNDEZ Sampieri Roberto et al, “Metodología de la Investigación”, Editorial Mc Graw-Hill, Julio 2000, México, DF; pp. 58-59

sensación y la preferencia térmica del ser humano y contribuir así a una mejor comprensión del fenómeno del confort térmico, lo cuál se logró al explicar como se relacionan cuantitativamente, las principales variables independientes con las variables dependientes llamadas sensación y *preferencia térmica* del ser humano, por tanto se concluyó, que el estudio que debía llevarse a cabo era el de tipo correlacional y explicativo.

Diseño de la investigación

Una vez que se eligió el tipo de estudio, se determinó que para el tipo de investigación el diseño adecuado, debido a los recursos materiales y humanos con que se contaba era el *Diseño transeccional o transversal correlacional*, en la siguiente tabla podemos observar la relación que existe entre el tipo de estudio, hipótesis y diseño de investigación²:

11. Resumen del tipo de estudio y diseño de la investigación ex post facto.

| Tipo de estudio | Tipo de hipótesis | Tipo de investigación | Diseño de investigación |
|----------------------------|--|-----------------------|-----------------------------|
| Correlacional/ Explicativo | Causal multivariada(varias variables independientes y dependientes) | Ex post-facto | Transeccional correlacional |

4.2.-Muestra, sujetos y universo



Fotografía No.14.- Aula teórica del Edificio No.2 de la ESIA-Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional, foto tomada desde la parte posterior del aula en dirección Nor-poniente.

La muestra

Las unidades de análisis son: los *grupos de seres humanos y los edificios que habitan éstos*, la delimitación de la población o universo a estudiar, estuvo dada por los siguientes *parámetros muestrales*:

1. Por una *zona climática* más que por una delimitación geográfico-política.
2. Por el género ó tipo de edificio, que para nuestro caso fueron los *edificios escolares*, por su fácil acceso a ellos por parte del doctorante cuya profesión es de docente investigador.
3. Por el nivel educativo de los sujetos voluntarios de estudio, que comprenden el Nivel Medio Superior y el Nivel Superior.

² Ibid, p. 198

4. El estado de salud de la población participante que era bueno, es decir, estaban sanos.

El tipo de muestra

Se eligió una muestra dirigida (*no probabilística*), y el tipo específico utilizado fue la muestra de sujetos voluntarios, cuya elección fue resultado de la invitación que hicieron los encuestadores a estudiantes de instituciones de enseñanza de nivel superior y nivel medio superior, para participar de manera voluntaria en los trabajos de investigación aquí planteados.



Fotografía No.15.-Una parte de las pruebas ex post facto se llevaron a cabo en edificios escolares, de la ESIA Unidad Tecamachalco del IPN, aquí podemos observar la fachada Nor-poniente del Edificio No.1 de Aulas.

La razón por la cuál se utilizó este tipo de muestra se debió a que, para la realización de los trabajos, se requería de una inversión de tiempo por parte de las personas a estudiarse, que en promedio era de una hora de duración por prueba, lo cuál implicaba dificultades para convencer a participar a sujetos de población abierta.

Además para llevar a cabo las observaciones respectivas, era necesario contar con un espacio arquitectónico disponible para dicho propósito; debido a todo lo anterior se concluyó que lo mejor era partir de los recursos humanos y materiales a los cuáles se tenía acceso y convocatoria.

En el presente trabajo, se observaron diferentes grupos humanos de jóvenes estudiantes mexicanos, hombres y mujeres, que se cotidianamente desarrollaban sus actividades de aprendizaje en instituciones de educación pública y cuyos inmuebles se encontraban ubicados geográficamente en los sitios y bioclimas³ que a continuación se citan:

- Naucalpan de Juárez, Estado de México (Bioclima: Semi-Frío Húmedo)
- Ciudad de México, DF. (Bioclima Semi-Frío)
- Acapulco, Gro. (Bioclima Cálido Húmedo)
- Coyuca de Benítez, Gro. (Bioclima Cálido Húmedo)

³ En este trabajo utilizamos la clasificación climática de “Bioclimas”, establecida por el “Grupo de Diseño Urbano” y el Grupo de Arquitectura Bioclimática de la UAM-Azcapotzalco en la obra literaria “Criterios de Adecuación Bioclimática en la Arquitectura 7300”, publicada por el IMSS en 1990.

En esta clasificación hecha para su uso en el diseño arquitectónico, utiliza dos parámetros climáticos para agrupar a los diferentes bioclimas: temperatura del aire y humedad (utilizando el dato de precipitación pluvial). Lo que se decidió así, debido a que en la mayoría de las estaciones meteorológicas del país hay escasez de otros datos y estos por lo regular si se registran, además de ser datos importantes que definen un clima.

4.3.-Instrumentos de medición aplicados

Definición operacional de las variables

A continuación se muestra el cuadro 12, donde se estableció la definición operacional de las variables propuestas para el modelo conceptual que define al fenómeno del confort térmico, a partir del registro de las actividades y operaciones de investigación, equipos de medición, etc., con la finalidad de que se construyeran posteriormente los instrumentos de investigación más adecuados para llevar a cabo este estudio.

Cuadro 12. Definición operacional de las variables para la construcción de los diferentes instrumentos de Investigación.

| Variables que integran los subsistemas | Agrupamiento conceptual de variables | Definición operacional de las variables |
|--|--|--|
| Temperatura del aire | 1.Temperatura del aire | Termómetro, registros escritos |
| Radiación solar | 2.Temperatura radiante | Termopares y cálculos numéricos |
| Humedad del aire | 3.Humedad relativa | Higrómetro, registros escritos |
| Viento | 4.Velocidad del aire | Anemómetro y registros meteorológicos escritos |
| Presión atmosférica (es inversamente proporcional a la temperatura del aire, es decir que repercute en esa variable). | 1.Temperatura del aire | Termómetro, registros escritos |
| Meteoros (dependiendo el tipo de meteoro, éste repercutirá en una o varias de las variables indicadas) | 1.Temperatura del aire, 2.Temperatura radiante, 3.Humedad relativa, 4.Velocidad del aire | Igual a las celdas anteriores |
| Calidad del aire | Solo tiene importancia si no hay intercambio de aire en el local | No se registra |
| -Dimensiones del espacio arquitectónico -Orientaciones solares del edificio -Tipo de materiales de construcción -Formas interiores del espacio arquitectónico -Tipo de aberturas en el espacio arquitectónico, su funcionamiento, su forma y su ubicación -El Color en el espacio arquitectónico -Diferencias de confort térmico dentro del espacio arquitectónico | 5.El espacio arquitectónico | Levantamiento arquitectónico, (guía de observación) fotografías y cuestionario |
| -Tradiciones y costumbres del sujeto -Grupo étnico del sujeto -Grupo social y económico del sujeto -Participación en grupos religiosos, deportivos, sociales, políticos, etc. | 6.Memoria térmica (1ª parte) | Cuestionario |
| Tipo de vestimenta | 7.Tipo de vestimenta | Cuestionario |
| -Hábitos de alimentación -Tipo de bebidas | 8.Tipo de alimentación | Cuestionario |
| Grado de aclimatación, que incluye: -Lugar de nacimiento -Características del espacio donde se vive. -Tiempo de permanencia diaria en ese espacio. -Años de de residencia en esa vivencia espacial. | 6.Memoria térmica (2ª parte) | Cuestionario |
| Color de piel del sujeto | 9.Factor genético | Cuestionario |

| Variabes que integran los subsistemas | Agrupamiento conceptual de variables | Definición operacional de las variables |
|---|--|--|
| -Estado de salud -Descompensación física-adaptación física -Temperatura corporal -Presión arterial -Pulso | 10.Estado de salud del sujeto | Cuestionario, termómetro, baumanómetro |
| Edad del sujeto | 11.Edad del sujeto | Cuestionario |
| Ciclos temporales | 12.Ciclos temporales | Cuestionario |
| -Metabolismo basal -Metabolismo muscular -Peso del sujeto -Estatura del sujeto | 13.Actividad que desarrolla el sujeto | Cuestionario y cálculos numéricos |
| -Género del sujeto | 14.Género del sujeto | Cuestionario |
| -Placer -Activación -Control -Psicofísica: Contacto visual con el exterior, ruidos, olores, tacto | 15.Evaluación emocional del espacio arquitectónico | Cuestionario |
| La significatividad espacial | 6.Memoria térmica (3ª parte): | Cuestionario y dibujos |
| -Estado de animo (del momento) -Más la variable de memoria térmica (1ª, 2ª y 3ª partes) | 16.Expectativas de confort térmico | Cuestionario |
| Son las variables dependientes de las otras variables (independientes), medidas como opinión cognoscitiva y opinión afectiva. | 17.Preferencia térmica | Cuestionario |

Estándares, indicadores y resultados de investigaciones aplicados al diseño de los estudios de observación y de las pruebas experimentales

A continuación se presenta un cuadro de información que contiene los estándares, indicadores y resultados sobresalientes de otros trabajos, que servirán también como base para el diseño de los instrumentos de investigación respectivos.

13. Estándares e indicadores de las variables, a partir de las cuáles se diseñaron los estudios de observación y de las pruebas experimentales sobre el confort térmico del ser humano.

| Variabes | Estándares, indicadores y resultados de investigaciones aplicados |
|--------------------------------|---|
| 1.-Temperatura del aire | <p>Para el caso del estudio ex post facto, el registro de la temperatura del aire se hizo con lecturas en grados centígrados de los termómetros instalados en las aulas estudiadas y que fueron desde los 14°C hasta los 30°C, cabe señalar que faltaron observaciones para las siguientes temperaturas: 16°C, 19°C, 26°C y 28°C, si se registraron las temperaturas que coincidieron con las temperaturas neutras calculadas con la ecuación de Auliciems Andris. (1993) de 21.8°C para el mes más frío y de 23.8°C para el mes más cálido y que las mediciones dentro de las aulas fueron de 22°C y 24°C.</p> <p>Para el caso de las pruebas experimentales los intervalos de temperatura registrados fueron desde los 16°C hasta los 44°C y donde se planteó siempre hacer registros de las temperaturas que coincidieran con las temperaturas neutras calculadas a partir de la ecuación de Auliciems Andris. (1993) que en términos de grados centígrados enteros fue de 22°C y 24°C.</p> <p>En ambos casos (ex post facto y experimental) se trató de que las mediciones de</p> |

| Variables | Estándares, indicadores y resultados de investigaciones aplicados |
|------------------------|---|
| | <p>temperatura del aire fueran en intervalos mayores a lo que el mismo Auliciems establece para su zona de confort térmico es decir 3.5°C arriba y debajo de la temperatura neutra.</p> <p>Cabe mencionar que en ambos tipos de estudios se cumplió con la norma ISO 7730, que indica que no debe haber una diferencia vertical de temperatura del aire mayor de 3°C, entre la cabeza y los pies de una persona sentada realizando una actividad sedentaria</p> |
| Temperatura radiante | <p>Para el estudio ex post facto no se consideró significativo, ya que solo en dos pruebas de dicho estudio se registró una diferencia de 1° C entre lugares cercanos a las ventanas y los espacios limitados por los muros de block vidriado.</p> <p>Respecto a los salones donde se desarrollaron las observaciones respectivas ninguno de ellos estaba siendo radiado de manera directa por el sol y todos ellos se encontraban en planta baja y en pisos intermedios, por lo que la radiación por el sol en caso de presentarse (y no fue así) sería solo por la única fachada, que da al exterior. Se hicieron registros cercanos a las ventanas y solo en un caso, por infiltración de aire no directa sobre las personas, la temperatura tuvo una variación de 0.5° C.</p> <p>Para el caso de las pruebas experimentales en la cámara fría y de confort térmico del Laboratorio de Ambiente Controlado, dicha cámara no se encuentra expuesta de ninguna forma a radiación directa por el sol, ya que se encuentra en una ubicación que le permite estar rodeado por otros locales, además de que se encuentra en la planta baja de un edificio de cuatro niveles.</p> <p>La norma ISO 7730, establece que para mantener condiciones de confort térmico para una actividad sedentaria se permite una asimetría radiante por techos calientes menores a 5° C y por ventanas frías menor de 10° C; en ambos estudios se cumplió con dicha norma.</p> |
| 2.-Humedad relativa | <p>Los registros de esta variable fueron para el caso del estudio ex post facto de 32% a 70% para las observaciones realizadas en las aulas de clase y para el caso de las pruebas experimentales estas fueron del 30% al 80%, cabe mencionar al respecto que el 91% de las tomas de opinión se hicieron con una humedad relativa que fue del 30% al 70%, si se tomara hasta el 75% las cantidad de tomas de opinión para el caso experimental fue del 94.1%.</p> <p>Al respecto el estándar ISO 7730, establece que la humedad relativa confortable se encuentra entre el 30% al 70%, cabe mencionar sin embargo que, P. O. Fanger plantea que el rango confortable de humedad relativa puede ser desde el 25% hasta el 75%.</p> |
| 3.-Velocidad del aire | <p>En el caso del estudio ex post facto, se llevaron a cabo las observaciones respectivas con las ventanas y la puerta de acceso al aula cerradas, se hicieron registros cercanos a las ventanas y solo por infiltración de aire no directa sobre las personas, la temperatura tuvo una variación de 0.5° C en una de las pruebas realizadas.</p> <p>En el caso de las pruebas experimentales hechas dentro del Laboratorio de Ambiente Controlado, la velocidad del aire inyectado a la cámara fría, es muy baja, se anexan registros de velocidad de viento vertical, siendo en todos los casos menores a 1 m/s (ver Anexo 2).</p> <p>Por tanto en ambos casos no se consideró significativa ésta variable y fue considerada una constante o variable descriptiva.</p> |
| 4.-Presión atmosférica | <p>Esta se consideró como constante o variable descriptiva, solo en el caso del estudio ex post facto, varió la presión atmosférica de los sitios observados en la Ciudad de México y los realizados en la costa de Guerrero, para el caso del estudio experimental, fue el mismo valor para todos los grupos experimentales, es decir, el correspondiente a la Ciudad de México.</p> <p>Esta variable descriptiva no se incluyó en las bases de datos respectivas, ya que la temperatura y la altitud son inversamente proporcionales a la presión atmosférica, a mayor temperatura del aire y/ o mayor altitud, menos presión atmosférica, o viceversa.</p> <p>La presión atmosférica es una variable que indica la condición de temperatura del aire y/ o altitud de un sitio e influye de esta manera en el confort térmico del ser humano, por tanto se consideró suficiente contar con el registro de la temperatura del aire.</p> |

| Variables | Estándares, indicadores y resultados de investigaciones aplicados |
|--|--|
| <p>5.-El espacio arquitectónico</p> | <p>Las variaciones dimensionales en los espacios arquitectónicos de las aulas donde se hicieron las pruebas para el estudio ex post facto no se consideraron significativas, esto puede observarse en el cuadro no. 14, de tal manera que se consideró como constante o variable descriptiva tanto para el caso del estudio ex post facto, como para las pruebas experimentales dentro del Laboratorio de Ambiente Controlado, en este último caso todas las pruebas se llevaron a cabo en el mismo espacio arquitectónico.</p> |
| <p>6.-Memoria Térmica (1ª Parte, 2ª Parte y 3ª Parte)</p> | <p>Esta es una súper-variable compuesta de tres variables agrupadas ó tres partes, tal como se indica a continuación: 1ª parte: la educación, la clase socio-económica, 2ª parte: grado de aclimatación (incluye: el clima real donde vive actualmente el sujeto, materiales de construcción de su casa, horas de permanencia en casa, el tipo de población, años de residencia en el lugar donde más tiempo ha vivido el sujeto) y 3ª parte: la significatividad espacial.</p> <p>Al respecto se utilizaron diferentes escalas e indicadores como a continuación se indica:</p> <p>Para la 1ª parte se consideraron los aspectos sociales, culturales y económicos y se tomaron en cuenta los estudios de R. Díaz-Guerrero (1986)⁴, quedando como sigue:</p> <ul style="list-style-type: none"> -variable educación: se utilizó una escala de cuatro puntos de tipo ordinal que incluye educación básica, técnico o bachiller, superior y posgrado. -variable clase socio-económica: se utilizó una escala de cinco puntos de tipo ordinal que va de: baja, media baja, media, media alta y alta; para construir esta escala fue fundamental el registro de ingresos familiares. <p>Para la 2ª parte se hicieron las siguientes consideraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> -variable clima: se refiere al clima real del lugar donde vive actualmente el sujeto, se utilizó la clasificación de bioclimas donde para su construcción se toman dos parámetros: temperatura y precipitación pluvial, para determinar el bioclima real de donde vivieron, se registró, colonia, municipio y estado, para hacer la identificación respectiva. -variable casa: se refiere al tipo de materiales de construcción de la casa donde vivió el sujeto: se registraron los materiales construcción utilizados en pisos, muros y techos, elaborándose una escala de tres puntos para cada elemento siendo baja, mediana y buena calidad, posteriormente se sumaban los tres elementos arquitectónicos registrados, siendo los valores posibles: el más bajo 3 y el más alto 9, el registro del tipo de materiales fue a partir de registrar el nombre del material de construcción y su interpretación se hizo en el proceso de codificación. -variable horas de permanencia del sujeto en casa: Se utilizó una escala ordinal producto de un agrupamiento en cuatro grupos, de 0:01 a 2:00 hr., de 2:01 a 5:00 hr., de 5:01 a 10:00 hr. Y más de 10:00 hr. -variable tipo de población: se registraron tres tipos de poblaciones diferentes, que podían ser rural, semi-rural y urbana. -variable años de residencia donde vive actualmente el sujeto, se utilizó una escala de cinco puntos que van de 0 a 1 año, 1 año 1 mes a 3 años, 3 años 1 mes a 5 años, 5 años 1 mes a 10 años y más de 10 años. <p>Para la 3ª parte se midió la significatividad espacial, donde se estableció la relación de los conceptos frío, calor y comodidad con los conceptos casa (o algún local de la casa), escuela (o algún otro tipo de edificio), con algunos espacios exteriores, (terrazas, patios, azoteas, jardines etc.), algún tipo de elementos arquitectónicos (muros, techos, pisos, ventanas, etc.) y otros, cualquier otro elemento u objeto.</p> |

⁴ DÍAZ-GUERRERO Rogelio, “El ecosistema sociocultural y la calidad de vida”, Editorial Trillas S.A. de C. V., Primera edición, Febrero de 1986, México DF, p. 16.

| Variables | Estándares, indicadores y resultados de investigaciones aplicados |
|--------------------------------|--|
| 7.-El tipo de vestimenta | <p>La unidad que se utilizó para medir el grado de aislamiento de la vestimenta sobre el cuerpo humano fue el Clo, donde $1 \text{ Clo} = 0.155 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/ \text{w}$.</p> <p>Esta escala de Clo tiene como rangos de 0 Clo para una persona desnuda, de 0.5 Clo vestimenta ligera, de 1 Clo para una persona vestida con un “traje”, como se entiende en México: ropa interior de algodón, camisa pantalón, saco y corbata; y de 1.5 Clo una persona abrigada.</p> <p>Dentro de nuestro estudio ex post facto y experimental se dividieron los valores de clo’s registrados en cinco grupos, que iban desde 0.37 a 0.97, debe señalarse que en el primer caso esta variable funciona como independiente, pero en el caso experimental ésta aparece más bien como variable descriptiva ó constante, ya que los valores registrados están muy concentrados en cierta zona del rango mencionado.</p> |
| 8.-Tipo de alimentación | <p>P. O. Fanger estableció que había una preferencia térmica que varía en $\pm 0.3^\circ\text{C}$ para una variación de $\pm 2 \text{ kcal. /m}^2 \text{ h}$, para una actividad sedentaria, una baja velocidad del aire y un valor de 0.5 clo de vestimenta.</p> <p>Se midió la cantidad de calorías ingeridas agrupándose en la siguiente forma: 0 cal, 1 a 300 cal, 301 a 600 cal, 601 a 900 cal, 901 a 1200 cal y 1201 a 1500 cal. Era importante conocer la cantidad de calorías ingeridas por alimentos, ya que la preferencia térmica se ve directamente afectada por la cantidad de alimentos, así como el tiempo previo de alimentación.</p> |
| 9.-Factor Genético | <p>Se observó el color de piel del sujeto, y se consideró una variable de tipo indirecto, para su manejo se propuso una escala ordinal de cinco puntos, donde se reflejara la resistencia que el sujeto tiene a la radiación solar y que lo lleva a una preferencia de sitios con determinadas características para protección de su piel, los valores de la escala fueron: blanca, morena clara, morena, morena oscura y negra.</p> |
| 10.-Estado de salud del sujeto | <p>Para determinarla se registraron las siguientes variables independientes:</p> <p>-Temperatura corporal: No hay un único nivel de temperatura corporal que pueda considerarse normal, sin embargo puede considerarse de 36.5°C axilar, si es bucal 37°C y si es rectal será de 37.5°C, Guyton A.C. (1994)⁵, establece que la temperatura bucal va de 36.6°C a 37°C y la rectal 0.6°C por arriba de esta, en el caso de nuestros estudios ex post facto y experimental la temperatura corporal medida fue tomada con un termómetro infrarrojo de oído, debe también considerarse que la temperatura del interior del organismo varía durante el transcurso del día.</p> <p>-Presión arterial: Basados en Guyton Arthur C. (1975)⁶ la presión arterial se presenta en ciclos, llamándosele sístole al punto más alto y diástole al valor más bajo, la presión arterial normal para una persona adulta es 120 (sístole)-80 (diástole), cabe señalar que el valor normal de la presión arterial varía también con la edad, siendo más bajo para los más jóvenes y más alto para los ancianos, en el caso de nuestros estudios se capturó el diástole y se agruparon en los siguientes valores: menores de 50, de 50 a 54, de 55 a 59.....de 100 a 104, de 105 a 109 y de más de 110.</p> <p>-Frecuencia cardiaca: El número de latidos del corazón por minuto es de 72^7, para una persona adulta y de igual manera que en el caso anterior en los niños y en los jóvenes el número de latidos es mayor y en los ancianos es menor a 72.</p> |
| 11.-Edad del sujeto | <p>Según V. Olgay, la diferencia en la preferencia térmica de un recién nacido y una persona de 40 años, es de 1°C, por lo tanto si $1^\circ \text{C}/ 40 \text{ años} = 0.025^\circ \text{C/año}$, entonces tenemos que para los grupos de personas de 10 años la preferencia térmica es mayor a los recién nacidos en 0.25°C, para los de 20 años de 0.5°C, para los de 30 años de 0.75°C, para 40 años de 1°C y para 80 años de 2°C, de tal manera que el factor de edad = (edad del sujeto)(0.025°C).</p> |

⁵ GUYTON Arthur C. “Fisiología y Fisiopatología”, Quinta edición, DF, México, 1994, pp. 556-557.

⁶ GUYTON Arthur C., “Fisiología Humana”, Cuarta edición, DF, México, 1975, pp. 122-133.

⁷ Idem, “Fisiología y Fisiopatología”, p. 91.

| Variables | Estándares, indicadores y resultados de investigaciones aplicados |
|---|--|
| 12.-Ciclos temporales | <p>En este caso se consideraron las siguientes variables:</p> <p>-Tiempo previo de ingestión de alimentos: Para esta variable se partió de la consideración de A. C. Guyton (2001)⁸, donde dice que después de una comida el gasto metabólico se incrementa y se conserva elevado de las 2 a las 10 horas siguientes, por tanto era importante registrar el tiempo previo de alimentación.</p> <p>-Tiempo de vigilia del sujeto (ciclo sueño-vigilia): Este ciclo también se registró a pesar de que P. O. Fanger reporta una pequeña diferencia en la preferencia térmica que va del 0.3° C al 0.5° C de acuerdo a si se tomaba la opinión recién después de haber dormido, es decir por la mañana o por la tarde después de trabajar.</p> <p>-Tiempo de permanencia del sujeto dentro del local: Esta variable se consideró debido a que el cuerpo con el paso del tiempo manifiesta un desgaste al estar expuesto a determinadas condiciones térmicas en el lugar, se conoce como estrés térmico y se puede calcular de diversas formas, por ejemplo el programa de cómputo “Human Heat Balance” del Dr. Richard de Dear, http://www.atmos.es.mq.edu.au/rdedear/pmv/, para nuestro caso se consideró directamente el tiempo en minutos como variable.</p> <p>-Tiempo previo de realización de actividad corporal: Fue necesario el registro de esta variable ya que cuando se evalúa el nivel metabólico de un sujeto, según Bjorn Kvisgaard (1997)⁹, es importante tener en cuenta como mínimo lo hecho la última hora, debido a que nuestro cuerpo tiene la capacidad de recordar el nivel de actividad desarrollada durante la última hora aproximadamente.</p> |
| 13.-Actividad que desarrolla el sujeto | <p>Bajo condiciones de tranquilidad libera energía (gasto metabólico) a razón de 60 a 70 calorías por hora.</p> <p>El metabolismo basal para un niño de 2 años es de 60 w / m² de superficie corporal y para una persona de 80 años disminuye a 38 w /m² de superficie corporal.</p> <p>El metabolismo muscular depende del tipo de actividad y puede ir de 46 w /m² para una persona que está en reposo y de hasta 550 w /m² para actividades de gran requerimiento de esfuerzo muscular. Esta variable se puede medir en met, donde 1 met = 58 w/m².</p> <p>Existen índices que sirven para hacer una corrección en la tasa de metabolismo de superficie corporal, como el Área de Du bois.</p> |
| 14.-Género del sujeto | <p>Según Nevis y Fanger la mujer tiene una preferencia de temperatura de 0.5° C superior a la preferida por los hombres</p> |
| 15.-Evaluación Emocional del Espacio Arquitectónico | <p>Las variables que conforman esta variable agrupada fueron placer, activación y control, se registraron individualmente a partir de escalas de dos puntos tomadas del trabajo de Mercado Doménech S. et al (1995)¹⁰, posteriormente se conformó una sola variable que se llamó emoción; como las escalas de dos puntos eran de un valor positivo y negativo si este era positivo se asignó un valor de 3 y si era negativo 0, de tal forma que los valores de la variable emoción podían ser 9, 6, 3 y 0.</p> |
| 16.-Expectativas de Confort Térmico | <p>Para este caso ya se tenían registradas e incluidas las variables correspondientes a memoria térmica (1ª, 2ª y 3ª partes), por lo que solo se registró adicionalmente la variable estado de ánimo, que se refería al que en ese momento tenía el sujeto estudiado, para levantar esta información se aplicó una escala de 5 puntos, que iba desde muy mal hasta muy bien.</p> |
| 17.-Preferencia Térmica del Sujeto | <p>Tanto para el estudio ex post facto, como para el experimental se utilizaron dos escalas, una de tipo cognoscitivo de siete puntos y otra de tipo afectivo de cinco puntos.</p> |

A partir de los estándares, indicadores y resultados de investigaciones sobresalientes, así como de las definiciones operativas de las variables señaladas en el modelo

⁸ GUYTON Arthur C. y HALL John E., “Tratado de Fisiología Médica”, Décima edición, D.F., México, 2001, 1280 p.

⁹ KVISGAARD Bjorn, Op. cit., p.7.

¹⁰ Mercado Doménech S. et al (1995), Op. cit., p. 106.

conceptual, se procedió a diseñar los instrumentos de Investigación, específicos que permitieran obtener la información para analizar posteriormente las variables pertenecientes al fenómeno de estudio, como a continuación se indica:

1. Cuestionarios aplicados a los sujetos de estudio:



Fotografía No.16.- Aula No. 502, del Instituto Tecnológico de Acapulco, uno de los espacios donde se impartió la carrera de Arquitectura y donde se llevaron a cabo las pruebas ex post facto respectivas, se encuentra ubicada en el Municipio de Acapulco, Gro. en un bioclima cálido-húmedo.

Con estos instrumentos se levantó, tanto la información general del sujeto considerada histórica (en los cuestionarios 1EPF, ex post facto), como aquella otra de carácter inmediato, es decir, que sucedía antes de iniciar la observación, tal como el registro de la temperatura corporal del sujeto, su presión arterial, el tipo de vestimenta que traía puesta, sus ciclos temporales, alimentación previa, etc., así como el registro de su sensación térmica (cognoscitiva) y su preferencia térmica (afectiva).



Fotografía No.17.- Aula del CETIS No.117 donde se llevaron a cabo pruebas ex post facto sobre el confort térmico, el cuál se encuentra ubicado en Coyoaca de Benítez Gro., México, con un bioclima cálido húmedo.

2. Cédulas de registro de las variables ambientales más importantes del sitio donde se realizó la entrevista mediante equipo portátil, tal como: termómetros-higrómetros, termómetro infrarrojo de oído y medidor digital de presión sanguínea, ver apéndice D, anexo 1.

3. Cédulas para levantamiento físico de los espacios arquitectónicos, donde se incluyeron dimensiones, ubicación dentro del edificio, tipos de materiales de construcción, colores, etc., mediante una guía de observación resuelta por los encuestadores.

4. Cédulas para recopilación documental de información, humana, ambiental, y del espacio arquitectónico que no pudo levantarse “in situ”.

5. Cédulas para registro fotográfico de los espacios observados y los usuarios de los mismos, para complementar la

información de los levantamientos arquitectónicos.

Control y validez interna de la investigación

Esto se logró por una parte al tener más de dos grupos de observación, con lo cuál se tuvieron varios grupos de comparación, así como la equivalencia entre los grupos de acuerdo con los parámetros muestrales anteriormente citados (ver cuadro 15).

4.4.-Características de los espacios arquitectónicos donde se llevaron a cabo las pruebas

Los espacios arquitectónicos donde se llevaron a cabo las observaciones del estudio ex post facto fueron los siguientes:

1. Las primeras observaciones se llevaron a cabo en las aulas teóricas de los edificios 1 y 2 de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (ESIA) Unidad Tecamachalco, del Instituto Politécnico Nacional, (IPN) que se encuentra ubicada en Fuente de Leones No.28, en la Colonia Lomas de Tecamachalco, Municipio Naucalpan de Juárez, en el Estado de México, en el Área Metropolitana de la Ciudad de México, México, que cuenta con un Bioclima Semi-Frío Húmedo.



Fotografía No 18.-Pasillo de acceso a las aulas y cubículos de profesores del área de Licenciatura, Edificio No. 2 de la ESIA-Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional y donde se aplicaron parte de las pruebas ex post facto a grupos de estudiantes de dicha institución de Diciembre de 2002 a Junio de 2003.

2. El segundo sitio fueron las Aulas y Laboratorios de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAM-Iztapalapa), ubicada en Av. San Rafael Atlixco No.186, Col. Vicentina, en la Delegación Iztapalapa, Distrito Federal, México, con un Bioclima Semi-Frío.

3. El tercer grupo de observaciones se llevó a cabo en las Aulas Teóricas del Instituto Tecnológico de Acapulco, (ITA) ubicado en Calzada Instituto Tecnológico s/n, Col. El Coloso, Acapulco, Gro., México, que tiene un Bioclima Cálido Húmedo.

4. Por último el cuarto grupo de observaciones se registraron en el Salón-Videoteca del Centro de Estudios

Tecnológicos Industriales y de Servicios (CETIS) No.117, ubicado en Prolongación Cuahutémoc s/n, Col. CETIS, en Coyuca de Benítez Gro., México con un Bioclima Cálido Húmedo.

En las instituciones antes citadas, se recopiló información de los sujetos en los espacios arquitectónicos como se indica en el siguiente cuadro:

Cuadro 14. Características promedio de las aulas teóricas donde se llevaron a cabo los estudios de tipo ex post facto, relativos a la sensación y la preferencia térmica del ser humano.

| Características del espacio arquitectónico | ESIA-Tecamachalco IPN | UAM-Iztapalapa | Instituto Tecnológico de Acapulco | CETIS No.117 |
|---|---|---|---|---|
| Tipo de espacio | Aula teórica típica | Aula teórica | Aula teórica típica | Salón videoteca |
| Promedio de alumnos por grupo | 30 alumnos, 1.92 m ² /alumno | 9 alumnos, 2.11 m ² /alumno | 47 alumnos, 1.28 m ² /alumno | 35 alumnos, 2 m ² /alumno |
| 1.-Dimensiones | 8.00 x 7.20 x 2.67 m | 7.21 x 3.82 x 2.64 m | 7.50 x 8.00 x 2.80 m | 9.00 x 8.00 x 3.00 m |
| 2.-Orientaciones solares de los espacios arquitectónicos estudiados | Dos muros colindan con otras aulas, uno con un pasillo interior y otro a fachada exterior noroeste, no contaba en ese momento con radiación solar directa. | Dos muros colindan con otras aulas, uno con un pasillo interior y otro a fachada exterior noreste, no contaba en ese momento con radiación solar directa. | Dos muros colindan con otras aulas, un muro a fachada exterior noroeste y otro muro al exterior pero bajo un pasillo a cubierto como circulación, no contaba en ese momento con radiación solar directa. | Dos muros colindan con otras aulas, un muro a fachada exterior noroeste y otro muro al exterior pero bajo un pasillo a cubierto como circulación, no contaba en ese momento con radiación solar directa. |
| 3.-Tipo de materiales de construcción, acabados. | -Piso de terrazo -Muros de block hueco vidriado -Plafond aplanado a cielo directo, pulido fino | -Piso de terrazo -Muros de block hueco con acabado cerámico -Plafond aplanado a cielo directo, pulido fino | -Piso de terrazo - Muros de block hueco con acabado cerámico -Plafond aplanado a cielo directo, pulido fino | -Piso de cemento pulido fino - Muros de block hueco con acabado cerámico -Plafond aplanado a cielo directo, pulido fino. |
| 4.-Formas interiores | Rectas, en planta casi cuadrada |
| 5.-Tipo de aberturas, su funcionamiento, forma y ubicación | Ventanas corridas en fachada exterior de 7.20 x 1.60 m, en fachada exterior con tableros móviles a base de tabletas de vidrio de 8 cm. de 0.90 x 0.60 m, ubicadas a una altura de 1.50 m, sobre el nivel de piso terminado. Ventilación por una sola fachada, en ese momento con ventanas cerradas. | Ventanas corridas en fachada exterior de 3.82 x 1.57 m, en fachada exterior con tableros móviles a base de tabletas de vidrio de 8 cm. de 1.00 x 0.64 m, ubicadas a una altura de 2.00 m, sobre el nivel de piso terminado. Ventilación por una sola fachada, en ese momento con ventanas cerradas. | Ventanas corridas en fachada exterior de 7.50 x 1.80 m, en fachada exterior con tableros móviles a base de tabletas de vidrio de 8 cm. de 0.90 x 0.60 m, ubicadas a una altura de 1.50 m, sobre el nivel de piso terminado. Ventilación por una sola fachada, en ese momento con ventanas abiertas. | Ventanas corridas en fachada exterior de 9.00 x 2.00 m, en fachada exterior con tableros móviles a base de tabletas de vidrio de 8 cm. de 0.90 x 0.60 m, ubicadas a una altura de 1.50 m, sobre el nivel de piso terminado. Ventilación por una sola fachada, en ese momento con ventanas abiertas. |
| 6.-El color | Claro (beige) | Claro (arena) | Claro (blanco ostión) | Claro (blanco ostión) |
| 7.-Diferencias de confort térmico dentro del espacio arquitectónico | Ninguna | Ninguna | Un poco mejor ventiladas las áreas cercanas a ventanas, sin llegar a ser apreciables las diferencias. | Un poco mejor ventiladas las áreas cercanas a ventanas, sin llegar a ser apreciables las diferencias. |

4.5.-Procedimiento de la investigación ex post facto

En nuestro estudio ex post facto, se levantó información del fenómeno del confort térmico en cuatro instituciones de enseñanza pública, ubicadas en cuatro ciudades con bioclimas que corresponden a tres tipos diferentes.

Se aplicaron cuestionarios diseñados para el estudio tipo ex post facto, a los cuáles se les llamó cuestionarios EPF (ex post facto), con el contenido que se señaló en apartado referente a instrumentos de investigación aplicados.

Dichos cuestionarios se aplicaron a diecinueve grupos diferentes, de las cuatro instituciones indicadas, en un periodo de tiempo que va del 12 de diciembre del 2002 al 25 de septiembre del 2003, y que de manera detallada podemos observar en el siguiente cuadro de resumen:

Cuadro 15. Resumen de los estudios ex post facto desarrollados de Diciembre de 2002 a Septiembre de 2003.

| No. | Etiqueta electrónica del archivo | Nivel de estudios, institución y grupo | Fecha y hora | Humedad relativa | Temperatura del aire | Edificio, nivel y salón | No. de sujetos |
|-----|----------------------------------|--|----------------------------|------------------|----------------------|------------------------------------|----------------|
| 1 | 1EPF ESIA-GPO 104 12-12-02 | N. S. ** ESIA/IPN, Grupo 104 | 12-12-02 8:49 8:58 | 49% 48% | 15° C 15° C | Edif. 1, Nivel 2, Salón 104 | 37 (39)* |
| 2 | 3EPF ESIA-GPO 104 12-12-02 | N. S. ESIA/IPN, Grupo 104 | 12-12-02 9:08 9:12 | 47% 46% | 17° C 18° C | Edif. 1, Nivel 3, Salón 201 | 26 (39)* |
| 3 | 2EPF ESIA GPO 204 28-01-03 | N. S. ESIA/IPN, Grupo 204 | 28-01-03 8:57 9:17 | 57% 54% | 14° C 15° C | Edif. 2, Nivel PB, Salón 002 | 31 (39)* |
| 4 | 3EPF ESIA GPO 204 28-01-03 | N. S. ESIA/IPN, Grupo 204 | 28-01-03 9:30 9:32 | 51% 51% | 17° C 17° C | Edif. 1, Nivel 4, Salón 313 | 31 (39)* |
| 5 | 2EPF ESIA GPO 204 25-04-03 | N. S. ESIA/IPN, Grupo 204 | 25-04-03 10:20 11:20 | 36% 32% | 23° C 25° C | Edif. 1, Nivel 2, Salón 113 | 34 (39)* |
| 6 | 3EPF ESIA GPO 204 25-04-03 | N. S. ESIA/IPN, Grupo 204 | 25-04-03 11:27 11:30 | 32% 32% | 25° C 25° C | Edif. 1, Nivel 2, Salón 107 | 31 (39)* |
| 7 | 1EPF ESIA-GPO 10-08 26-05-03 | N. S. ESIA/IPN, Grupo 10-08 | 26-05-03 10:20 11:11 | 41% 43% | 23° C 24° C | Edif. 2, Nivel 2, Salón 208 | 28 |
| 8 | 3EPF ESIA-GPO 10-08 26-05-03 | N. S. ESIA/IPN, Grupo 10-08 | 26-05-03 11:18 11:21 | 40% 41% | 24° C 24° C | Edif. 2, Nivel 2, Salón 201 | 29 (31)* |
| 9 | 1EPF ESIA-GPO 10-08 28-05-03 | N. S. ESIA/IPN, Grupo 10-08 | 28-05-03 10:40 11:20 | 42% 44% | 22° C 22° C | Edif. 2, Nivel 2, Salón 208 | 7 |
| 10 | 1EPF ESIA-GPO 104-25-09-03 | N. S. ESIA/IPN, Grupo 104 | 25-09-03 8:45 10:00 | 60% 65% | 21° C 21° C | Edif. 2, Nivel PB, Salón 001 | 38 |
| 11 | 3EPF ESIA-GPO 104-25-09-03 | N. S. ESIA/IPN, Grupo 104 | 25-09-03 10:02 10:05 | 60% 61% | 22° C 22° C | Edif. 1, Nivel 2, Salón 101 | 37 |
| 12 | 1EPF UAMI | N. S. UAM- | 17-02-03 | | | Edif. E, | 12 |

| No. | Etiqueta electrónica del archivo | Nivel de estudios, institución y grupo | Fecha y hora | Humedad relativa | Temperatura del aire | Edificio, nivel y salón | No. de sujetos |
|-----|----------------------------------|---|----------------------------|------------------|----------------------|------------------------------------|----------------|
| | 17-02-03 | Iztapalapa Gpo. Ing. Energética | 11:20 11:58 | 50% 52% | 20° C 21° C | Nivel 3, Salón 304 A | |
| 13 | 3EPF UAMI 17-02-03 | N. S. UAM-Iztapalapa Gpo. Ing. Energética | 17-02-03 12:10 12:30 | 48% 48% | 27° C 24° C | Edif. T, Nivel 3, Salón 365 | 11 (12)* |
| 14 | 1EPF UAMI 19-02-03 | N. S. UAM-Iztapalapa Gpo. Ing. Energética | 19-02-03 13:20 13:50 | 44% 46% | 24° C 23° C | Edif. T, Nivel 2, Salón 235 | 6 |
| 15 | 3EPF UAMI 19-02-03 | N. S. UAM-Iztapalapa Gpo. Ing. Energética | 19-02-03 13:58 14:03 | 43% 43% | 24° C 24° C | Edif. T, Nivel 3, Salón 260 | 6 |
| 16 | 1EPF UAMI 24-02-03 | N. S. UAM-Iztapalapa Gpo. CESI | 24-02-03 16:10 16:45 | 32% 32% | 22° C 22° C | Edif. D, Nivel 1, Salón D103 | 10 |
| 17 | 1EPF ITA-GPO A 06-06-03 | N. S. ITA, Grupos A y B | 06-06-03 17:20 18:15 | 70% 65% | 30° C 29° C | Edif. 500, Nivel PB, Salón 502 | 53 |
| 18 | 3EPF ITA-GPO A 06-06-03 | N. S. ITA, Grupos A y B | 06-06-03 19:19 19:49 | 51% 51% | 27° C 27° C | Edif. 500, Nivel PB, Salón 502 | 41 |
| 19 | 1EPF CETIS 06-06-03 | N. M. S. *** CETIS No. 117 Grupos Varios | 06-06-03 10:25 11:15 | 66% 68% | 29° C 29° C | Edif. 1, Nivel 2, Salón: Videoteca | 35 |

*Las cantidades que se encuentran dentro del paréntesis corresponden al total de sujetos que participaron en la observación, sin embargo su información recabada estaba incompleta, no pudiéndose completar, por lo que la cantidad de sujetos que se tomaron para efectos estadísticos, fue la que se encuentra sin paréntesis.

**N. S. = Nivel superior

***N. M. S. = Nivel medio superior

Total de sujetos participantes: 503

Descripción del estudio:

La forma en que se llevó a cabo el levantamiento de información fue la siguiente:

1.-En una reunión inicial se informó a los posibles sujetos de estudio que se estaba desarrollando una investigación sobre confort térmico del ser humano, comentándoseles la importancia de estos estudios para la generación de ciencia básica que permitiría posteriormente mejorar los procesos de diseño arquitectónico al incluir información generada a partir de población Mexicana, se solicitó al finalizar la reunión el registro de aquellos que deseaban participar, se les indicó que su participación implicaría una inversión de tiempo de aproximadamente una hora.

2.-Antes de iniciar la prueba se llevó a cabo el registro fotográfico de los espacios arquitectónicos donde se llevarían a cabo las observaciones.

3.-Antes de que se iniciara el llenado de cuestionarios y registros de variables ambientales y corporales, se llevaron a cabo los levantamientos de las aulas respectivas, en algunos casos se llevó a cabo antes de la prueba y en otros al final.



Fotografía No.19.- Otra imagen de la aplicación de las pruebas ex post facto en las aulas de la ESIA-Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional, la cuál se encuentra ubicada en una pequeña cañada que corresponde a un bioclima semi-frío húmedo.

4.-A los sujetos que aceptaron participar se les citó para acudir a la prueba indicándoseles fecha, hora y salón de la cita, dicha invitación se llevó a cabo con 7 días de anticipación.

5.-La única información previa que habían recibido los sujetos estudiados respecto al contenido de la observación fue de que se les tomaría la opinión a cerca de su sensación y preferencia térmica y que para ello contestarían un cuestionario.

6.-Nunca se explicó a los sujetos de estudio, cuál era el objetivo específico del estudio a desarrollarse, ni a que quería llegarse con esta investigación, con la finalidad de no influir en las respuestas de los sujetos participantes.

7.-Todos los cuestionarios aplicados para el estudio definitivo, ya habían pasado por pruebas piloto, ante otros sujetos, con la finalidad de corroborar la claridad de las preguntas e información solicitada.

8.-En el día, hora y sitio indicado se inició la aplicación del cuestionario con la lectura de sus instrucciones, dicha lectura la llevó a cabo el responsable del estudio de observación frente a todo el grupo, con el propósito de despejar cualquier duda que pudiese surgir en el momento por parte de los sujetos encuestados.

9.-Para que el sujeto expresara su opinión de sensación térmica se utilizó la escala de tipo cognoscitivo establecida por P. O. Fanger, tal como se indica en el cuadro siguiente:

Cuadro 16. Diferentes traducciones de la escala de sensación térmica de P. O. Fanger y que forma parte de la Norma ISO 10551:1995.

| Escala PMV (Predicted Mean Vote) de P. O. Fanger (1970) | Escala PMV traducida por Ernesto Jáuregui Ostos (1994) | Escala PMV traducida para esta investigación (J. R. Mayorga Cervantes, 2001) |
|---|--|--|
| 1 cold | 1 frío | 1 muy frío |
| 2 cool | 2 fresco | 2 frío |
| 3 slightly cool | 3 ligeramente fresco | 3 ligeramente frío |
| 4 neutral | 4 neutro | 4 neutro (ni frío ni caliente) |
| 5 slightly warm | 5 ligeramente caliente | 5 ligeramente cálido |
| 6 warm | 6 caliente | 6 cálido |
| 7 hot | 7 bochornoso | 7 muy cálido |

Al respecto de la escala antes señalada debemos mencionar, que al aplicarse las pruebas piloto de los cuestionarios a los sujetos voluntarios, manifestaron confusión semántica en el significado térmico entre los vocablos frío y fresco, es decir cuál de los dos significaba más frialdad, así mismo hubo incompreensión térmica, o cuando menos no resultaba clara la palabra bochornoso.

Por tal razón, se optó por modificar los vocablos de la escala PMV traducida por el Dr. Jáuregui Ostos, con la intención de que la interpretación de los vocablos citados fueran plenamente entendidos por los sujetos encuestados y que por tanto reflejasen mejor la valoración del ambiente térmico de los espacios estudiados.



Fotografía No. 20.- Imagen donde se observa el levantamiento de datos de temperatura corporal, presión sanguínea y ritmo cardiaco en alumnos de la ESIA-Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional, para elaborar la base de datos de las pruebas ex post facto.

De tal forma que la escala térmica propuesta y utilizada en este trabajo, quedó tal como se indica en el cuadro 17. Debe aclararse que los cambios solo son en la traducción de los conceptos, manteniéndose como una escala de siete puntos, con el valor que se asignó a cada uno de ellos, tal como lo propone P. O. Fanger en su trabajo desarrollado en 1970 y que ha sido utilizada en los estudios sobre confort térmico más importantes e incluida en estándares internacionales como los de ASHRAE e ISO.

10.-Además de la escala anterior se utilizó otra escala de cinco puntos para registrar la opinión de preferencia térmica (enfoque afectivo), cabe mencionar que en la norma ISO 10551: 1995, también contiene una escala afectiva solo que en ese caso es una escala de dos puntos, otros estudios como el RP-884 utilizan para medir esta variable una escala de tres puntos, en nuestro estudio se utilizó una escala de cinco puntos para medir la preferencia térmica (escala afectiva) y que a continuación se incluye:

Cuadro 17. Escala afectiva para valorar la preferencia térmica dentro de este estudio.

| Escala de cinco puntos para emitir la opinión de preferencia térmica (enfoque afectivo) y que sirvió para contestar a la pregunta ¿cómo se siente dentro de este ambiente térmico? |
|---|
| 1 Muy mal |
| 2 Mal |
| 3 Regular (Ni bien ni mal) pero aceptable |
| 4 Bien |
| 5 Muy bien |

11.-Por cada sujeto encuestado se registraron dos tomas de opinión, una para registrar su sensación térmica (enfoque cognoscitivo) y otra para su preferencia térmica (enfoque afectivo), dicho par de preguntas se hicieron al inicio y al final del cuestionario, se registró fecha y hora. El llenado de los cuestionarios con la información solicitada duró en promedio una hora.



Fotografía No.21.- Imagen de los pasillos interiores, de las aulas donde se realizaron parte de las pruebas ex post facto, tomada en la dirección Este-oeste en el Edificio No.1 de Aulas de la ESIA-Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional.

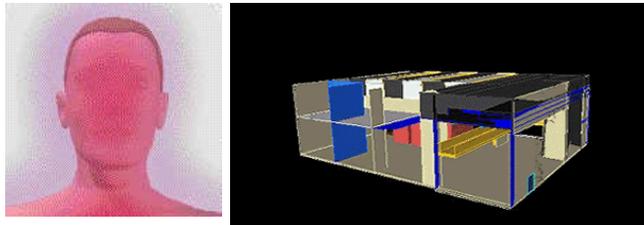
12.-Se registraron los datos de temperatura y humedad del ambiente en cuatro termo higrómetros distribuidos en todo el espacio arquitectónico de estudio (para ver características del equipo ver anexo 1). Dicho registro se realizó al inicio y fin de la aplicación de los cuestionarios, se registró fecha y hora.

13.-Mientras los sujetos se dieron a la tarea de ir contestando el cuestionario personal, un ayudante de investigador, junto con el director del proyecto registraron los datos de temperatura corporal, presión arterial y frecuencia cardiaca de cada uno de los sujetos de estudio (para ver características del equipo utilizado, ver anexo 1).

14.-Durante el desarrollo del llenado de los cuestionarios se llevó a cabo el registro fotográfico del local donde se llevaron a cabo las observaciones, así mismo de fuera del local y de los edificios.

15.-Se registró fecha, hora de inicio y de terminación del evento, para considerar el tiempo de permanencia dentro del espacio arquitectónico donde se hizo la observación.

16.-Se agradeció la participación de los sujetos en el estudio llevado a cabo y se resaltó la importancia que pueden tener estos estudios de investigación en el campo del diseño arquitectónico bioclimático, una vez finalizados, se recogieron los cuestionarios de cada uno de los sujetos participantes, así como las cédulas de registro de los demás datos levantados por los ayudantes de investigación.



Capítulo 5

Investigación experimental del confort térmico del ser humano

“Las observaciones y los experimentos repetidos funcionan en la ciencia como pruebas de nuestras conjeturas o hipótesis, es decir, como intentos de refutación”.

Karl R. Popper

Capítulo 5.-Investigación experimental del confort térmico del ser humano

5.1.- Diseño utilizado para la investigación experimental

Cabe señalar que para esta investigación doctoral se había planteado exclusivamente un estudio ex post facto, debido a que eran los recursos materiales con los que se contaba para este trabajo en el momento de su inicio, sin embargo durante el desarrollo de la investigación, al término del tercer semestre de la misma, se informó públicamente, durante la Primera Reunión Nacional de Arquitectura Bioclimática llevada a cabo en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, que se había terminado la construcción del Laboratorio de Ambiente Controlado (LAC) el cuál contaba con una cámara térmica para probar equipo de refrigeración y otra para experimentación con seres humanos y que se encontraba ubicado en la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la UAM-Iztapalapa.



Fotografía No.22.- Imagen que muestra el acceso sobre un pasillo interior, a la cámara fría y de confort, del Laboratorio de Ambiente Controlado, el cuál se encuentra ubicado en la planta baja del edificio “Carlos Graef” de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.

A partir de lo anterior se estableció contacto con el Dr. Juan José Ambríz García profesor e investigador de dicha Universidad y a partir de ese momento se estableció la posibilidad de llevar a cabo una parte experimental de este trabajo doctoral, procediéndose a diseñar de mi parte el experimento respectivo para desarrollarse en el LAC. Las pruebas en dicho laboratorio se llevaron a cabo en Mayo de 2003 y se terminaron en Noviembre del mismo año, contándose durante ese tiempo con la asistencia técnica y asesoría de los Doctores Juan José Ambríz García y Hernando Romero Paredes Rubio, ambos profesores investigadores del Área de Energía de la citada Universidad.

Tipo de estudio

Como en esta investigación se buscó medir a las variables independientes que definen la sensación y la preferencia térmica del ser humano, para contribuir a una mejor comprensión del fenómeno del confort térmico, se concluyó que el estudio a llevarse a cabo era de tipo explicativo.

Diseño de la investigación

Se determinó que el diseño específico de investigación era el experimental, lo que tenía como finalidad captar la opinión de los sujetos voluntarios que participaron en las pruebas experimentales dentro del Laboratorio de Ambiente Controlado (LAC), a partir de un voto utilizando las dos escalas antes mencionadas.

En el siguiente cuadro podemos observar el resumen que incluye desde el tipo de estudio hasta el diseño específico de la investigación:

Cuadro 18. Resumen del tipo de estudio y diseño de la investigación experimental.

| Tipo de estudio | Tipo de hipótesis | Tipo de investigación | Diseño de investigación |
|-----------------|--|-----------------------|-------------------------|
| Explicativo | Causal multivariada(varias variables independientes y dependientes) | Experimental | Diseño específico |

5.2.-Muestra, sujetos y universo

La Muestra



Fotografía No.23.- Imagen que muestra el interior de la cámara fría y de confort, donde se observa el “minisplit”, el acceso a la cámara y el humidificador. Dicha cámara es parte del Laboratorio de Ambiente Controlado de la UAM-Iztapalapa.

El tipo de muestra elegido fue la *muestra dirigida (no probabilística)* y dentro de éste, el tipo específico utilizado fue la muestra de sujetos voluntarios.

Las razones de elegir este tipo de muestra fueron las siguientes:

1.-Que la prueba experimental requería de los sujetos voluntarios una inversión de tiempo que iba de dos horas a dos horas y media.

2.-Que el sujeto voluntario debía asistir a las instalaciones del Laboratorio de Ambiente Controlado, que se encuentra ubicado en la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad

Iztapalapa, en el Oriente de la Ciudad de México.

3.-Lo anterior exigió que fueran personas que tuvieran cierto interés, en este caso de formación profesional al colaborar en estas pruebas, además de participar en la generación de nuevos conocimientos sobre el confort térmico para una futura aplicación en los procesos del diseño arquitectónico bioclimático.

4.-Lo anterior hizo que la población ideal para participar en dichas pruebas experimentales fueran los estudiantes de la carrera de Arquitectura o Ingeniería; en este sentido la promoción para la conformación de la muestra se llevó a cabo en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional, donde se imparte la carrera de Ingeniero Arquitecto, el Instituto Tecnológico de Acapulco donde se imparte la carrera de Arquitecto, la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa donde se imparte la carrera de Ingeniero en Energía y por último en el Centro de Estudios Tecnológicos Industriales y de Servicios No.117, donde se imparte la carrera de técnico en diversas áreas.

5.3.-Instrumentos de investigación aplicados

Selección de los Instrumentos de Medición:

Al igual que para el estudio ex post facto como se indica en el cuadro 13, se definieron operacionalmente las variables, así mismo y a partir de los estándares, indicadores y resultados de investigaciones (ver cuadro 14), se identificaron y se diseñaron los instrumentos de Investigación a utilizarse dentro de las pruebas experimentales.



Fotografía No.24.- Cuarto de Control del Laboratorio de Ambiente Controlado de la UAM-Iztapalapa.

Para la parte experimental se usaron algunos instrumentos de investigación utilizados en el estudio ex post facto y otros más como los siguientes:

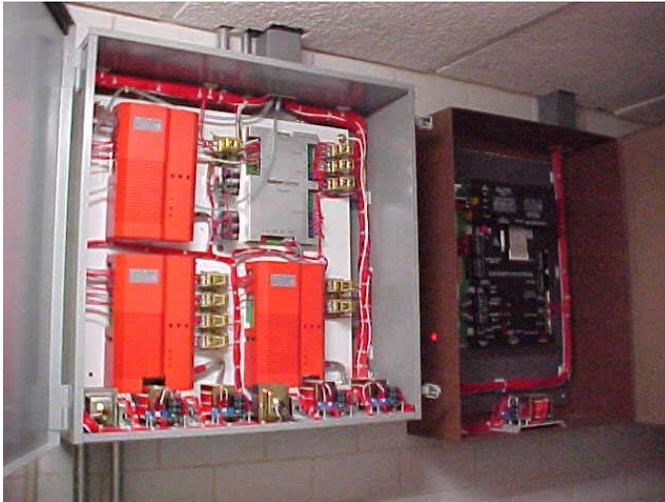
1. Cuestionarios aplicados a los sujetos de estudio, a partir de los cuáles se levantó, tanto la información general del sujeto considerada histórica, como aquella otra de carácter inmediato, es decir, que sucedía antes de iniciar las pruebas experimentales con los sujetos de estudio.
2. Cédulas de registro de las variables temperatura del aire y humedad relativa dentro de la cámara fría y de confort, mediante el equipo instalado en el mismo.
3. Cédulas para registro fotográfico de las pruebas experimentales realizadas, así como de los espacios arquitectónicos y del equipo del Laboratorio de Ambiente Controlado.

A continuación se describe de manera más detallada lo relativo a los cuestionarios que se aplicaron:

1.- Cuestionario 1E (experimental), similar al 1EPF, del estudio ex post facto, donde se recopiló información del sujeto, considerada histórica, por el tiempo que debía invertirse

para su llenado, se aplicó en otra fecha diferente al de la prueba experimental dentro de la cámara térmica.

2.- Cuestionario 2E (experimental), aplicado a los sujetos antes de entrar a la cámara fría y de confort, el cuál tenía la finalidad de recopilar la información del sujeto, previa a su



Fotografía No.25.- En esta imagen se observan las tarjetas de monitoreo, control y adquisición de datos, que se encuentran ubicados en el cuarto de control del Laboratorio de Ambiente Controlado, de la UAM-Iztapalapa.

entrada a la cámara y donde se registró información tal como: la vestimenta portada, la alimentación previa, el tiempo previo de alimentación, las actividades previas desarrolladas y el tiempo previo de desarrollo de éstas, mediciones de temperatura corporal, presión arterial y frecuencia cardiaca de los sujetos, entre otros.

3.- Cuestionario 3E (experimental), el cuál se aplicó a los sujetos durante su estancia dentro de la cámara fría y de confort y donde se registraron las opiniones cognoscitiva y afectiva de los sujetos respecto a los cambios de temperatura y humedad relativa que formaban el ambiente térmico de la cámara citada; también se registraron dentro del cuestionario 3E, las variables

de evaluación emocional del espacio arquitectónico es decir: placer, activación y control.

El tipo de cuestionarios utilizados fueron diseñados particularmente para este estudio y con ellos se recogieron los datos humanos, los niveles de medición de las variables investigadas fueron:

- Nivel de medición nominal.-Donde las categorías no tienen orden o jerarquía.
- Nivel de medición por intervalos.-Establece intervalos iguales de medición, el cero es arbitrario.
- Nivel de medición de razón.-Hay intervalos iguales de medición, pero a diferencia del de intervalos aquí el cero es real (absoluto), quiere decir que hay un punto en la escala en que la propiedad o categoría no existe.

Control y Validez Interna de la Investigación

Esto se logró, al tener por una parte, más de dos grupos de observación, con lo cuál se tuvieron varios grupos de comparación, también se mantuvo equivalencia dentro del experimento, es decir las condiciones en las que se desarrollaron las diferentes pruebas, los grupos de las pruebas experimentales en promedio estuvieron constituidas de 12 sujetos, (ver cuadros 19 y 20).

5.4.- Características del laboratorio donde se llevaron a cabo las pruebas experimentales

El lugar donde se llevaron a cabo las pruebas experimentales de sensación y preferencia térmica fue en la cámara fría y de confort del Laboratorio de Ambiente Controlado (LAC), que se encuentra ubicado en la planta baja del Edificio T, cubículo 029 del edificio de Ciencias Básicas e Ingeniería en las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa.

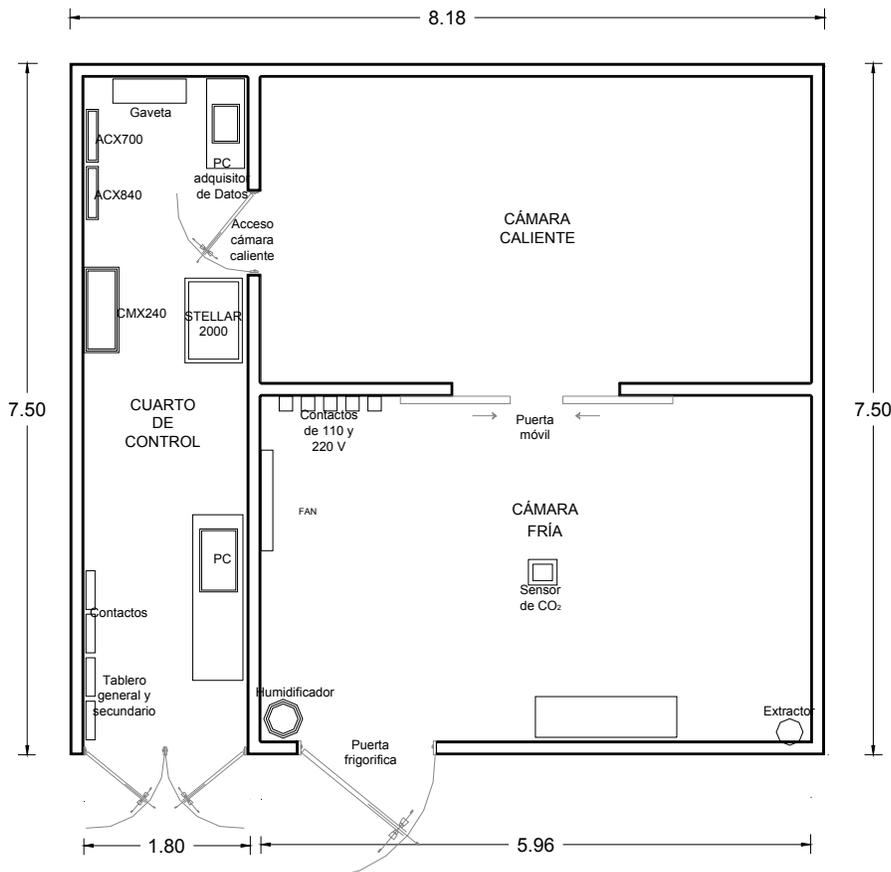


Figura 9.- Esquema General del Laboratorio de Ambiente Controlado, perteneciente al Área de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, en México, DF.

Debe señalarse que el LAC colinda en tres de sus lados con otros locales, su acceso es por un pasillo interior y en la parte superior se encuentran otros locales, es decir, dicho laboratorio se encuentra aislado totalmente del exterior.

Las dimensiones físicas del espacio que ocupa el laboratorio son: 7.50 m. de ancho por 8.18 m. de largo y 3.12 m. de altura, es una

cámara de tipo calorimétrico, la cual tiene una envolvente hermética y un colchón de aire de aproximadamente 5 cm. entre la estructura existente y dicha cámara, esta forma de construcción permite climatizar en forma estable el interior de la cámara y disponer de suficiente espacio dentro de las cámaras (ver Fig. 9).

En la cámara calorimétrica se cuenta con un espacio climatizado con una carga térmica artificial, en la que se coloca la descarga del equipo de prueba de aire acondicionado, es posible monitorear la temperatura de bulbo seco y húmedo, así como la humedad relativa para las condiciones a las que se está trabajando.

Las paredes y techos emplean una placa multypanel de 4 pulgadas de espesor, el piso está aislado con aislakor de 4 pulgadas de espesor, con un firme de concreto de 8 cm y un acabado final, esta doble capa da un mayor aislamiento térmico hacia las condiciones

externas.

La superficie total del LAC es de 61.35 m² y ha sido dividida en dos áreas de experimentación y un cuarto de control. Las dos áreas experimentales se han denominado “cámara caliente y ambiental” para prueba de refrigeradores y “cámara fría y de confort” para pruebas con seres humanos.

Cámara fría y de confort

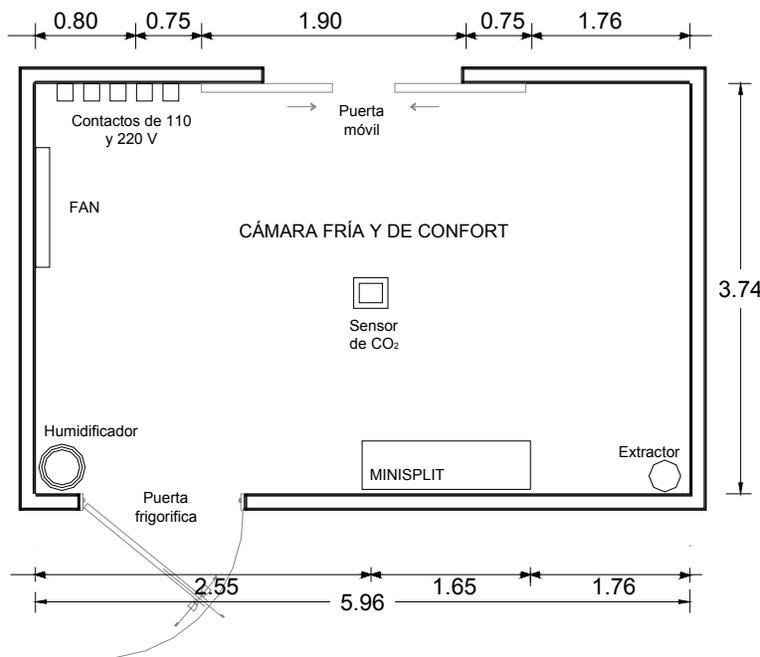


Figura 10. Cámara fría y de confort, donde se llevaron a cabo las pruebas de sensación y preferencia térmica a los sujetos de estudio, cuyas sesiones se realizaron en diferentes días y en las cuáles participaron de 10 a 15 sujetos en promedio, en cada sesión.

entre el cuarto de control y la cámara fría (ver Fig. 10).

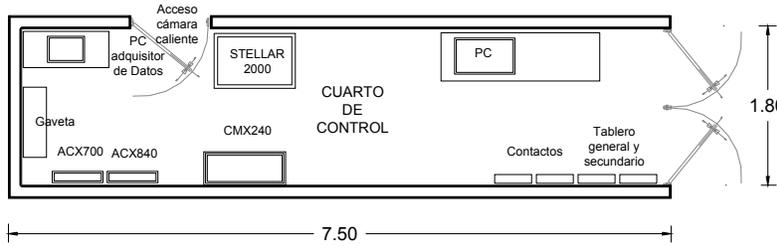
El acabado final que presenta la cámara fría y de confort en la superficie interior es de multypanel, tipo lámina galvanizada con un recubrimiento de pintura color beige, el piso es del tipo antiderrapante de euzcola; en la parte superior se tiene colocado un falso plafond con acabado de perlita volcánica sostenido con una estructura de aluminio y en el espacio entre el plafond y el techo están colocados de manera no visible los conductos del cableado y los sensores de instrumentación, en relación a las líneas de alimentación eléctrica al interior de esta cámara, estas van al nivel del piso en un zoclo del muro norte.

Cuarto de control

Se encuentra ubicado en la parte poniente del LAC a todo lo largo; sus dimensiones son de 1.80 m. de ancho por 7.49 m. de largo, lo que representa un área de 13.50 m² y tiene una altura de entrepiso de 3.12 m.

Sus dimensiones son de 3.74 m. de ancho por 5.96 m. de largo, con una superficie total de 22.30 m², con una altura de entrepiso de 2.44 m. del nivel de piso terminado al lecho bajo de la losa y 2.25 m al lecho bajo del falso plafond.

Las temperaturas que se alcanzan en esta Cámara van desde 14°C hasta 50°C y el nivel de humedad relativa se puede fijar de 10 a 90%. La puerta de acceso es de tipo frigorífica, completamente hermética y resistente a las bajas temperaturas, tiene una ventana hermética, de triple vidrio para bajas temperaturas, y sirve para mantener contacto visual



Este espacio se utiliza para la colocación de los equipos de monitoreo, control y medición, así como el equipo de climatización de la cámara fría y de confort.

Figura 11. Cuarto de control desde el cuál se dieron las instrucciones para que los sujetos de estudio externaran su opinión a través del cuestionario que previamente se les entregó y que fueron llenando dentro de la cámara fría y de confort.

Está diseñado para que trabajen dos personas en dicho cuarto durante las pruebas, con acceso visual a ambas cámaras, por medio de

ventanillas a la altura del rostro de los monitores. El equipo de monitoreo, adquisición y control consta de dos computadoras, una consola de control y el equipo de almacenamiento de datos (ver Fig. 11).

5.5.-Procedimiento de la investigación experimental

El estudio experimental con los sujetos voluntarios de la población muestra, estuvo constituido de diferentes pruebas tal como se indica en el cuadro siguiente:

Cuadro 19. Grupos de sujetos que participaron en las pruebas experimentales en el Laboratorio de Ambiente Controlado en la UAM Iztapalapa desarrolladas de Mayo a Noviembre de 2003.

| No. del experimento | Opiniones por cada sujeto en el experimento | Nombre del archivo electrónico, SPSS cuestionario | Nombre del archivo electrónico, (excel) registro laboratorio | Hora de inicio de la sesión | No. de sujetos |
|---------------------|---|---|--|-----------------------------|----------------|
| 1 | 8 | 3E ESIA GPO 104 07-11-03 | DATOS-07-11-03-A | 9:55 | 12 |
| 2 | 8 | 3E ESIA GPO 104 14-11-03 10 hrs. | DATOS-14-11-03-A | 10:00 | 12 |
| 3 | 7 | 3E ESIA GPO 104 14-11-03 12 hrs. | DATOS-14-11-03-A | 12:04 | 15 |
| 4 | 21 | 3E ESIA GPO 104 24-10-03 | DATOS-24-10-03-A | 17:53 | 12 |
| 5 | 21 | 3E ESIA GPO 104 28-10-03 | DATOS-28-10-03-A | 17:36 | 15 |
| 6 | 21 | 3E ESIA GPO 104 31-10-03 10 hrs. | DATOS-31-10-03-A | 10:38 | 12 |
| 7 | 21 | 3E ESIA GPO 104 31-10-03 13 hrs. | DATOS-31-10-03-A | 13:00 | 12 |
| 8 | 21 | 3E-UAM Iztapalapa 19-06-03 | HR-19-06-03-A | 11:53 | 12 |
| 9 | 18 | 3E ESIA GPO 204 21-05-03 | HR-21-05-03-A | 17:05 | 14 |
| 10 | 18 | 3E-UAM Iztapalapa 24-06-03 | HR-24-06-03-A | 11:39 | 10 |
| 11 | 15 | 3E ESIA GPO 204 20-05-03 | HR-20-05-03-A | 17:37 | 11 |

Total de sujetos participantes: 137

En el cuadro 20 se presentan a detalle los registros de las condiciones de temperatura del aire y humedad relativa; así como el horario en que se llevó a cabo cada registro de opinión, en cada una de las sesiones de las pruebas experimentales realizadas.

La manera de relacionar el cuadro 19 y el 20 es a partir del número de la sesión de la prueba experimental, dicho número corresponde al orden cronológico en que se llevaron a cabo las sesiones.

Cuadro 20. Descripción de temperatura del aire, humedad relativa y hora en que se llevó a cabo cada una de las lecturas y registros de opinión, en los once experimentos o pruebas experimentales respectivas.

| No. del experimento | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Lectura No.1 | | | | | | | | | | | |
| Hora | 9:55 | 10:00 | 12:04 | 17:53 | 17:36 | 10:38 | 13:00 | 11:53 | 17:05 | 11:39 | 17:37 |
| Humedad relativa | 48.2 | 50.2 | 42.4 | 49.7 | 49.4 | 40.0 | 37.3 | 75.1 | 75.7 | 84.2 | 78.2 |
| Temperatura | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 24 | 24 | 22 | 17 | 24 | 16 |
| Lectura No.2 | | | | | | | | | | | |
| Hora | 9:59 | 10:07 | 12:09 | 17:56 | 17:38 | 10:44 | 13:01 | 11:55 | 17:07 | 11:45 | 17:41 |
| Humedad relativa | 50.9 | 47.0 | 42.1 | 50.1 | 50.2 | 40.8 | 37.7 | 73.9 | 70.8 | 73.9 | 77.1 |
| Temperatura | 22 | 22 | 22 | 24 | 24 | 25 | 25 | 23 | 20 | 23 | 18 |
| Lectura No.3 | | | | | | | | | | | |
| Hora | 10:03 | 10:10 | 12:11 | 18:01 | 17:39 | 10:50 | 13:02 | 11:56 | 17:09 | 12:00 | 17:47 |
| Humedad relativa | 57.8 | 53.0 | 41.2 | 50.1 | 50.3 | 40.8 | 37.7 | 74.3 | 66.9 | 68.4 | 68.5 |
| Temperatura | 21 | 21 | 21 | 25 | 25 | 26 | 26 | 24 | 23 | 22 | 21 |
| Lectura No.4 | | | | | | | | | | | |
| Hora | 10:12 | 10:12 | 12:13 | 18:09 | 17:41 | 10:52 | 13:04 | 12:00 | 17:11 | 12:38 | 17:52 |
| Humedad relativa | 58.1 | 51.0 | 41.2 | 48.9 | 50.3 | 40.5 | 38.1 | 77.3 | 62.9 | 62.5 | 56.6 |
| Temperatura | 20 | 20 | 20 | 26 | 26 | 27 | 27 | 25 | 26 | 21 | 24 |
| Lectura No.5 | | | | | | | | | | | |
| Hora | 10:14 | 10:14 | 12:15 | 18:11 | 17:45 | 10:54 | 13:07 | 12:15 | 17:14 | 12:46 | 17:56 |
| Humedad relativa | 51.6 | 51.0 | 41.3 | 48.1 | 50.2 | 40.4 | 38.8 | 78.0 | 57.8 | 66.3 | 51.6 |
| Temperatura | 19 | 19 | 19 | 27 | 27 | 28 | 28 | 26 | 29 | 25 | 27 |
| Lectura No.6 | | | | | | | | | | | |
| Hora | 10:16 | 10:49 | 12:18 | 18:14 | 17:48 | 10:55 | 13:08 | 12:17 | 17:20 | 12:52 | 18:01 |
| Humedad relativa | 51.5 | 54.9 | 42.3 | 47.0 | 49.5 | 40.0 | 38.9 | 77.4 | 50.3 | 62.1 | 47.6 |
| Temperatura | 18 | 18 | 18 | 28 | 28 | 29 | 29 | 27 | 32 | 26 | 30 |
| Lectura No.7 | | | | | | | | | | | |
| Hora | 10:18 | 10:52 | 12:23 | 18:17 | 17:54 | 11:00 | 13:09 | 12:19 | 17:28 | 12:54 | 18:07 |

| No. del experimento | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Humedad relativa | 49.5 | 55.8 | 54.4 | 45.4 | 47.7 | 39.2 | 38.9 | 77.1 | 46.7 | 61.7 | 42.8 |
| Temperatura | 17 | 17 | 17 | 29 | 29 | 30 | 30 | 28 | 35 | 28 | 33 |
| Lectura No.8 | | | | | | | | | | | |
| Hora | 10:29 | 11:07 | | 18:18 | 17:55 | 11:02 | 13:14 | 12:21 | 17:39 | 12:55 | 18:13 |
| Humedad relativa | 41.8 | 64.2 | | 44.7 | 47.1 | 34.2 | 38.8 | 77.2 | 41.6 | 61.2 | 38.8 |
| Temperatura | 16 | 16 | | 30 | 30 | 31 | 31 | 29 | 38 | 29 | 36 |
| Lectura No.9 | | | | | | | | | | | |
| Hora | | | | 18:21 | 17:56 | 11:06 | 13:19 | 12:22 | 17:47 | 12:57 | 18:22 |
| Humedad relativa | | | | 43.1 | 46.7 | 38.1 | 38.1 | 76.6 | 40.8 | 59.4 | 35.3 |
| Temperatura | | | | 31 | 31 | 32 | 32 | 30 | 40 | 30 | 39 |
| Lectura No.10 | | | | | | | | | | | |
| Hora | | | | 18:22 | 17:58 | 11:07 | 13:20 | 12:24 | 17:51 | 13:02 | 18:25 |
| Humedad relativa | | | | 42.3 | 45.6 | 37.9 | 37.7 | 75.0 | 43.4 | 54.9 | 34.5 |
| Temperatura | | | | 32 | 32 | 33 | 33 | 31 | 37 | 31 | 37 |
| Lectura No.11 | | | | | | | | | | | |
| Hora | | | | 18:23 | 18:02 | 11:12 | 13:25 | 12:26 | 17:54 | 13:03 | 18:27 |
| Humedad relativa | | | | 41.6 | 43.1 | 36.5 | 36.9 | 72.7 | 45.1 | 54.9 | 33.9 |
| Temperatura | | | | 33 | 33 | 34 | 34 | 32 | 34 | 32 | 34 |
| Lectura No.12 | | | | | | | | | | | |
| Hora | | | | 18:24 | 18:03 | 11:17 | 13:30 | 12:30 | 17:58 | 13:05 | 18:30 |
| Humedad relativa | | | | 41.2 | 42.4 | 35.7 | 35.7 | 69.0 | 47.2 | 52.6 | 33.0 |
| Temperatura | | | | 34 | 34 | 35 | 35 | 33 | 31 | 33 | 31 |
| Lectura No.13 | | | | | | | | | | | |
| Hora | | | | 18:25 | 18:07 | 11:21 | 13:34 | 12:34 | 18:04 | 13:07 | 18:34 |
| Humedad relativa | | | | 40.7 | 41.2 | 34.6 | 34.9 | 65.4 | 49.8 | 51.9 | 34.9 |
| Temperatura | | | | 35 | 35 | 36 | 36 | 34 | 28 | 34 | 28 |
| Lectura No.14 | | | | | | | | | | | |
| Hora | | | | 18:28 | 18:08 | 11:25 | 13:38 | 12:37 | 18:16 | 13:10 | 18:42 |
| Humedad relativa | | | | 39.6 | 40.8 | 34.2 | 34.1 | 62.5 | 52.9 | 48.3 | 37.8 |
| Temperatura | | | | 36 | 36 | 37 | 37 | 35 | 25 | 35 | 25 |
| Lectura No.15 | | | | | | | | | | | |
| Hora | | | | 18:29 | 18:09 | 11:26 | 13:43 | 12:41 | 18:37 | 13:13 | 18:57 |
| Humedad relativa | | | | 39.0 | 40.4 | 33.8 | 33.3 | 58.5 | 51.8 | 44.1 | 40.0 |
| Temperatura | | | | 37 | 37 | 38 | 38 | 36 | 22 | 36 | 22 |
| Lectura No.16 | | | | | | | | | | | |
| Hora | | | | 18:30 | 18:10 | 11:30 | 13:48 | 12:42 | 18:54 | 13:14 | |

| No. del experimento | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----------------------|---|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| Humedad relativa | | | | 38.5 | 40.1 | 33.0 | 33.0 | 56.6 | 46.3 | 41.7 | |
| Temperatura | | | | 38 | 38 | 39 | 39 | 37 | 19 | 37 | |
| Lectura No.17 | | | | | | | | | | | |
| Hora | | | | 18:33 | 18:11 | 11:35 | 13:52 | 12:44 | 18:59 | 13:15 | |
| Humedad relativa | | | | 37.3 | 40.1 | 31.9 | 32.8 | 54.8 | 47.4 | 41.2 | |
| Temperatura | | | | 39 | 39 | 40 | 40 | 38 | 18 | 38 | |
| Lectura No.18 | | | | | | | | | | | |
| Hora | | | | 18:34 | 18:12 | 11:37 | 13:57 | 12:45 | 19:04 | 13:18 | |
| Humedad relativa | | | | 36.8 | 39.9 | 31.8 | 32.6 | 54.6 | 51.2 | 41.3 | |
| Temperatura | | | | 40 | 40 | 41 | 41 | 39 | 17 | 39 | |
| Lectura No.19 | | | | | | | | | | | |
| Hora | | | | 18:36 | 18:14 | 11:41 | 14:02 | 12:46 | | | |
| Humedad relativa | | | | 36.4 | 39.2 | 31.0 | 32.6 | 54.0 | | | |
| Temperatura | | | | 41 | 41 | 42 | 42 | 40 | | | |
| Lectura No.20 | | | | | | | | | | | |
| Hora | | | | 18:37 | 18:16 | 11:42 | 14:05 | 12:47 | | | |
| Humedad relativa | | | | 35.6 | 38.7 | 31.0 | 32.6 | 53.4 | | | |
| Temperatura | | | | 42 | 42 | 43 | 43 | 41 | | | |
| Lectura No.21 | | | | | | | | | | | |
| Hora | | | | 18:38 | 18:17 | 11:43 | 14:08 | 12:49 | | | |
| Humedad relativa | | | | 35.3 | 38.1 | 30.6 | 32.6 | 52.4 | | | |
| Temperatura | | | | 43 | 43 | 44 | 44 | 42 | | | |

Descripción del experimento:

1.-Como ya se mencionó anteriormente la aplicación del cuestionario 1E, se hizo en una sesión diferente al de la prueba en la cámara fría y de confort, durante la prueba, dentro de la cámara solo se aplicaron los cuestionarios 2E y 3E y cuyo contenido de cada uno de ellos ya se describió en el apartado: “selección de instrumentos de medición” (p. 98).

2.- La variable climatológica que se controló grado a grado centígrado, fue la temperatura del aire, no así la humedad relativa, la cuál fue variando tal como quedó registrado en el cuadro 20.

3.-Respecto a la calidad del aire, se cumplió con la recomendación de ASHRAE, es decir, los registros de esa variable fueron menores a 1000 ppm de bióxido de carbono en el aire, por lo que se consideró a ésta, como una variable descriptiva o constante dentro del estudio.

4.-Por las condiciones de funcionamiento, del equipo instalado en el Laboratorio de Ambiente Controlado, en el periodo en que se llevaron a cabo las pruebas experimentales, la temperatura del aire más baja que se pudo manipular fue 16°C y la humedad relativa del aire no se pudo mantener constante durante todas las pruebas en los diferentes grados de



Fotografía No.26.- Otra imagen interior de la cámara fría y de confort donde se pueden observar a los estudiantes participando en una de las pruebas experimentales, al fondo podemos ver la ventanilla que comunica visualmente el cuarto de control y esta cámara.

temperatura, por tanto, solo se cuidó que en general dicha humedad se encontrara dentro del rango de 30% al 80% aproximadamente.

5.-La variación de la temperatura del aire del local, fue de 1°C en cada cambio, registrándose opiniones de los sujetos en cada variación. De los sensores instalados en la cámara térmica, se eligió el no.8 como sensor piloto para ir ordenando los cambios de temperatura.

6.-Para solicitar la emisión de la opinión de los sujetos estudiados, se les indicaba a través de una persona que funcionaba como monitor y que se encontraba dentro de la cámara, al cuál otro miembro del equipo de investigación que se encontraba en el cuarto de control, mostraba una tarjeta de color rojo como señal, a través de la ventanilla de vidrio que comunica visualmente a la cámara fría y de confort con el cuarto de control.



Fotografía No.27.- Área de trabajo del cuarto de control donde se monitorean y se controlan a través de la computadora, las condiciones ambientales tanto de la cámara fría y de confort, como de la cámara caliente.

Dicho monitor sirvió también para coordinar la comunicación entre los sujetos participantes y la dirección del proyecto de investigación, ya que había la indicación de que si alguien sentía un mínimo malestar por cualquier razón, al estar dentro de la cámara, debía de solicitarse su salida de la misma, situación que sucedió en dos casos, en pruebas distintas con un sujeto en cada una de ellas; al respecto dicho monitor coordinó la salida de ellos, aclarándose que en ninguno de los dos casos hubo

consecuencias de ningún tipo, simplemente se encontraban fuera de confort y prefirieron salir, después de lo cuál en 10 minutos se encontraban en perfecto estado de salud, para evitar sesgar la información de las pruebas de donde se retiraron los sujetos, no se computaron los registros de estas personas que abandonaron la cámara, pues además

estaban incompletas dichas opiniones.

Los sujetos de estudio, nunca supieron a que temperatura del aire entraron a la cámara, ni que temperatura del aire se registraba en el interior de la cámara, durante la duración de la prueba, esto se hizo así, para evitar que los sujetos en estudio no tuvieran influencia externa en su voto.



Fotografía No.28.- Imagen donde se observa el falso plafond de la cámara fría y de confort, del lado izquierdo se encuentra el sensor de CO₂ y del lado derecho el sensor de temperatura, el cuál puede ubicarse a diferentes niveles sobre el nivel del piso de la cámara.

7.-Se diseñaron todas las pruebas para que una de las temperaturas dentro de la cámara, donde se emitía la opinión de los sujetos, correspondiera a la de la temperatura neutra calculada según Auliciems A. y S. Szokolay (1997), para la Ciudad de México.

La ecuación de Auliciems A. para calcular la neutralidad de la temperatura del aire fue: $T_n = 17.6 + 0.31T_m$,

Donde:

T_n = Temperatura neutra
 T_m = Temperatura Media Mensual

Se tomó el mes más frío y el mes más cálido, de la Ciudad de México y obtuvimos lo siguiente:

Para Abril, el mes más cálido, con una temperatura media mensual de 20° C:

$$T_n = 17.6 + 0.31 (20^\circ \text{ C}) = \mathbf{23.8^\circ \text{ C}}$$

Para Diciembre, el mes más frío, con una temperatura media mensual de 13.5° C:

$$T_n = 17.6 + 0.31 (13.5^\circ \text{ C}) = \mathbf{21.8^\circ \text{ C}}$$

Por otra parte los intervalos de confort térmico recomendados por John Martín Evans (2000) para actividades sedentarias van de 18° C a 28° C, siendo su punto



Fotografía No.29.- Imagen interior de la cámara fría y de confort donde se observa la aplicación de pruebas experimentales a un grupo de alumnos de la ESIA-Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional, para conformar la base de datos del estudio experimental.

neutro: 23° C.

Los votos emitidos en las pruebas experimentales, se registraron en temperaturas que fueron desde los 16° C hasta los 44° C, e incluían por supuesto las zonas de confort

térmico citadas anteriormente, lo que permitió comparar los resultados de los experimentos de este trabajo con los intervalos de la zonas de confort establecidas por esos dos autores.

8.-El tamaño de la muestra de sujetos voluntarios estuvo determinado por la capacidad de la cámara fría y de confort del LAC, ésta, varió de 10 a 15 sujetos por sesión, como se indica en el cuadro 19.



Fotografía No.30.- Imagen que muestra el cerebro o tarjeta principal de control, el cuál se encuentra ubicado en el cuarto de control del Laboratorio de Ambiente Controlado.

9.-Para expresar la opinión de sensación y preferencia térmica de los sujetos voluntarios se utilizaron dos escalas una de tipo cognoscitivo (PMV) y otra de tipo afectivo tal como se indica en los cuadros 16 y 17, que se encuentran en el capítulo 4 de este trabajo.

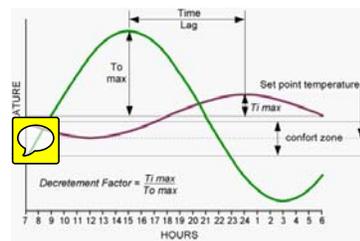
10.- El número de tomas de opinión por prueba, fue desde 7 el mínimo, hasta 21 el máximo, esta diferencia se debió a las condiciones de funcionamiento del equipo, que no permitió en las pruebas con menor número de votos, bajar la temperatura, a un ritmo adecuado de tiempo y para no alargar demasiado la duración de las pruebas se decidió que la prueba tuviera un menor número de cambios de temperatura y por tanto

también de emisión de opiniones de sensación y de preferencia térmicas.

11.-El número total de pruebas experimentales o sesiones, permitió alcanzar el número de sujetos que en general corresponde al de otros trabajos sobre confort térmico, en los cuáles va de los 100 a los 150 sujetos.

12.- Se trató de que como mínimo, el cambio de temperatura entre grado y grado fuera en lapsos de tiempo de tres minutos en promedio, sin embargo esto no fue constante ya que en ocasiones fue mayor o menor el tiempo entre grado y grado de temperatura. Esto sin embargo, no representó ningún problema ya que el cuerpo humano diferencia una nueva temperatura del aire de manera instantánea, debido a su funcionamiento homeotermo, las ocasiones en que se alargó el tiempo en cada cambio de temperatura se debió al funcionamiento del equipo del laboratorio y cuando fue menor a los tres minutos fue para compensar un poco el retardo en otros registros. Siempre se dió el tiempo adecuado para emitir el voto respectivo.

13.-La duración promedio de las sesiones de pruebas experimentales dentro de la cámara térmica fue de una hora, siendo la máxima de 1 hora 59 minutos, en ninguno de los casos se rebasó la duración de 2 horas.



Capítulo 6

Modelos matemáticos sobre el
confort térmico del ser humano
desde un enfoque holístico

“Las tareas de investigar son: tomar conocimiento de problemas que otros pueden haber pasado por alto; insertarlos en un cuerpo de conocimientos e intentar resolverlos, con el máximo rigor...Según esto, el investigador es un problematizador *par excellence*, no un traficante en misterios”.

Mario Bunge

Capítulo 6.-Modelos matemáticos sobre el confort térmico del ser humano desde un enfoque holístico

En el presente capítulo se presentan los modelos matemáticos que se obtuvieron como resultado tanto del estudio *ex post facto*, como del experimental, teniéndose que elegir el método de análisis estadístico más adecuado para el objetivo que se perseguía y la información que se había registrado, escogiéndose el que a continuación se describe:

6.1.-La regresión lineal múltiple como técnica estadística de análisis multivariado

Una vez que se llevó a cabo el levantamiento de información de las variables planteadas en el sintagma respectivo, se procedió a la captura de dicha información en dos bases de datos, una para cada tipo de estudio, utilizándose el software estadístico SPSS 10.0 for Windows, el cuál permite trabajar análisis estadístico multivariado, tratamiento necesario para analizar nuestra información.

Dentro del análisis multivariado existen diferentes métodos de análisis como son la regresión logística, el método de cúmulos, el método de los factores y la regresión lineal múltiple, entre otros.

Se compararon las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos señalados con las características de la información que se tenía y sobre todo con el objetivo principal que se pretendía a partir del tratamiento de la información citada, es decir definir las variables que determinan la sensación y preferencias térmicas de manera cualitativa y cuantitativa.

Se concluyó entonces que el método de análisis estadístico más adecuado era el de regresión lineal múltiple tal como lo señala Méndez-Ramírez (1981), ya que este método permite abordar problemas de investigación referentes a la explicación y predicción, el hecho de escoger un análisis de tipo multivariado se debió a que el fenómeno tiene un gran número de variables, tal como se señala en la hipótesis, entonces este método nos permitiría también explicar el carácter holístico del fenómeno de estudio. El procedimiento específico de regresión lineal múltiple utilizado fue el llamado “paso a paso”.

Con el uso de la regresión lineal múltiple se logró la predicción de la variable criterio, a partir de la combinación lineal de un conjunto de variables independientes que se convirtieron en un predictor óptimo de la variable dependiente, a la que dentro de este tipo de análisis se le llama también variable criterio. La regresión lineal múltiple es un medio

objetivo para evaluar el poder predictivo de un conjunto de variables independientes.

Debido a consideraciones técnicas para la aplicación del análisis a partir de la regresión lineal múltiple, a todas las variables independientes registradas, capturadas y codificadas en las bases de datos que en principio tenían su forma de medición como nominales debieron cambiarse a una medición de tipo ordinal, para poder incluirse en la regresión, por lo que fue necesario subdividir las, aumentando entonces el número de variables, que se incluyeron para la ejecución de la regresión, quedando finalmente las que se muestran en el cuadro 21; debe aclararse, que siempre se cuidó que las variables incluidas en el análisis de regresión, pertenecieran a todos los subsistemas que definen conceptualmente al fenómeno estudiado con un carácter holístico.

Cuadro 21. Variables independientes incluidas en el análisis de regresión lineal en relación al modelo holístico conceptual, que representa al fenómeno del confort térmico, tanto para el estudio ex post facto, como para el estudio experimental.

| Subsistema del fenómeno | Variables que integran los subsistemas | Agrupamiento conceptual de variables | Variables incluidas en el análisis de regresión |
|--|--|---------------------------------------|---|
| Ambiente natural (El Clima) | Temperatura del aire | 1.-Temperatura del aire | temperat |
| | Radiación solar | Temperatura radiante | Considerada constante |
| | Humedad del aire | 2.-Humedad relativa | humedad2 |
| | Viento | 3.-Velocidad del aire | Considerada constante |
| | Presión atmosférica | 4.-Presión atmosférica | Considerada constante |
| | Meteoros (dependiendo el tipo de meteoro, este repercutirá en una ó varias de las variables indicadas) | No se registraron meteoros especiales | Considerada constante |
| | Calidad del aire | No se consideró. | Considerada constante |
| Ambiente construido (El Edificio) | -Dimensiones del local de estudio -Orientaciones solares del local de estudio -Tipo de materiales de construcción -Formas interiores del local de estudio -Tipo de aberturas, de funcionamiento, forma y ubicación -El color aplicado en muros, plafond y pisos -Diferencias de confort térmico dentro del espacio arquitectónico en estudio | 5.El espacio arquitectónico | Considerada constante |
| Ambiente social (La Sociedad) | -Grupo étnico a que pertenece el sujeto -Grupo social y económico a que pertenece el sujeto -Participación en grupos, deportivos, sociales, políticos, etc. | 6.Memoria térmica (1ª parte) | educaci2 claseco2 |
| Parte social del ser humano | Tipo de vestimenta del sujeto | 7.Tipo de vestimenta | vestime2 |
| | -Hábitos de alimentación del sujeto -Tipo de bebidas que ingiere el sujeto | 8.Tipo de alimentación | aliment2 tiemalim |
| | Grado de aclimatación, que incluye: -Lugar de nacimiento del sujeto -Características materiales del espacio donde vive el sujeto -Tiempo en horas, de permanencia diaria del sujeto en ese espacio -Tiempo en años, de esa vivencia espacial por parte del sujeto | 6.Memoria térmica (2ª parte) | viveactu pob rural pobse mir poburban hrsecasa casa clima |

| Subsistema del fenómeno | Variables que integran los subsistemas | Agrupamiento conceptual de variables | Variables incluidas en el análisis de regresión |
|---|--|--|--|
| Parte biológica del ser humano | Color de piel del sujeto | 9.Factor genético | colpiel |
| | -Estado de salud -Descompensación física-adaptación física -Temperatura corporal -Presión arterial -Pulso (número de latidos del corazón por minuto) | 10.Estado de salud del sujeto | tempcor presart pulso |
| | Edad del sujeto | 11.Edad del sujeto | edad2 |
| | Ciclos temporales | 12.Ciclos temporales | hrdespie hrest2 hrestudi |
| | -Metabolismo basal -Metabolismo muscular -Índice de masa corporal (IMC) e Índice de superficie corporal (sirve para corregir la tasa de metabolismo) | 13.Actividad que desarrolla el sujeto | peso2 estatur2 mets112 |
| | -Género del sujeto | 14.Género del sujeto | sexo2 |
| Parte psicológica del ser humano | -Placer -Activación -Control -Psicofísica: Contacto visual con el exterior, ruidos, olores, tacto | 15.Evaluación emocional del espacio arquitectónico | emocion |
| | La Significatividad espacial | 6.Memoria térmica (3ª parte) | sig1casa sig1escu sig1exte sig1earq sig1otro sig2casa sig2escu sig2exte sig2earq sig2otro sig3casa sig3escu sig3exte sig3vent sig3otro |
| | -Estado de ánimo que sucede en el momento -Más la variable de Memoria térmica (1ª, 2ª y 3ª partes) | 16.Expectativas de confort térmico | estanim2 |
| | Son las variables dependientes de las otras variables (independientes), medidas como opinión cognoscitiva y opinión afectiva. | 17.Sensación térmica y Preferencia térmica | opinion4 csiente2 |

Como se observa en el cuadro 21, se incluyeron cuarenta y cuatro variables independientes para el análisis de cada una de las dos variables dependientes que tenemos, así, cuando se analiza la variable dependiente opinion4, se considera como variable independiente dentro del análisis, a la otra variable dependiente llamada csiente2 y viceversa.

Lo anterior debido a que en la concepción térmica del ser humano, la cuál está definida por la sensación térmica (dimensión cognoscitiva) y la preferencia térmica (dimensión afectiva), al tratar de analizar como dependiente una de las dos variables, la

otra esta actuando simultáneamente, no habiendo forma de aislarla; es decir, el fenómeno tiene un comportamiento holístico, el cuál está definido por la aparición simultánea de sus variables.

6.2.-Modelos matemáticos para una Arquimetría Básica en el área del confort térmico del ser humano

En el campo de conocimiento de la Arquitectura y durante el desarrollo del mismo, se han venido implementando diversos modelos que permiten realizar una mejor práctica profesional del diseño arquitectónico tomando en cuenta a su ambiente natural, desarrollándose trabajos científicos que adquirieron una mayor importancia y auge a partir de los años 50 en el siglo XX.

En el caso concreto del estudio del confort térmico, tiene un gran avance a partir de los 70 en el siglo XX, con los trabajos de P. O. Fanger y a mitad de esa década con los trabajos de tipo adaptativo de Humphreys Michael A., razón por la cuál han surgido una cantidad importante de modelos producto de dichas investigaciones.

A partir de los resultados de este trabajo y tomando en cuenta los estudios señalados con anterioridad, se puede constituir lo que bien podríamos llamar una Arquimetría Básica en el área del confort térmico del ser humano.

Respecto a los modelos desarrollados en este trabajo, a continuación se presenta la validación interna de los mismos, a partir de la técnica estadística utilizada para su construcción.

6.2.1.-El modelo utilizado

Debido a que el objetivo central del estudio es describir la asociación entre la variable dependiente Y y las variables independientes $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$, se utilizó un modelo de regresión múltiple, ya que según Méndez-Ramírez (1981)¹ esta es una de las aplicaciones de estos modelos.

El modelo matemático está dado por la siguiente relación funcional: $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i$ (1)

Donde: $i = 1, 2, 3, \dots, n$

El modelo indica que la respuesta de la variable dependiente en la i -ésima persona (y_i), se recupera casi por completo, al multiplicar ciertas constantes ($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$) por los valores de las variables independientes (x_1, x_2, \dots, x_k) también de la i -ésima persona, más

¹ “Modelos Estadísticos Lineales: Interpretación y Aplicaciones”, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México, 1981.

un error de tipo aleatorio ε_i .

El modelo se complementa estableciendo los siguientes supuestos en el error ε_i :

- *Homocedasticidad.* Es el nombre que se le da al supuesto de que las varianzas de los errores ε_i son iguales para todas las personas.
- *Independencia de errores.* Se supone que los errores son independientes estocásticamente, lo que implica que la ocurrencia de un error específico no altera las probabilidades de ocurrencia de los otros errores, y
- *Normalidad.* Se supone que la distribución de probabilidad de los errores ε_i es normal con media cero y varianza σ^2 .

El modelo se utilizó para analizar diferentes situaciones, la primera de ellas fue en la parte experimental del trabajo de investigación, que constó de 137 sujetos estudiados, divididos en once grupos, cada grupo estuvo formado por doce personas en promedio y de los cuáles se obtuvieron 2187 votos de opinión, es decir cada sujeto emitió un promedio de 16 votos en su estancia dentro del Laboratorio de Ambiente Controlado.

Para este grupo de sujetos y esa base de datos voto-información de cada sujeto, se obtuvieron dos modelos, el primero para explicar la variable dependiente sensación térmica del sujeto, opinión cognoscitiva (**opinión4**), y en segundo lugar la variable dependiente preferencia térmica del sujeto (**csiente2**), opinión afectiva.

La segunda situación analizada por este modelo fue para el estudio ex post facto, el cuál incluyó a 503 sujetos estudiados, divididos en 19 grupos y de los cuáles se obtuvieron 1004 votos-información, con el fin de explicar las mismas variables dependientes que en el estudio experimental.

La diferencia entre ambos estudios fue que en el primer caso se realizó en condiciones experimentales y en el segundo caso fue un estudio de observación “in situ”, es decir un estudio ex post facto.

En los cuadros 22, 23, 24 y 25 se presentan las variables independientes que resultaron ser las que determinaron cada uno de los modelos obtenidos, después de ejecutarse la regresión múltiple, a partir de las cuarenta y cuatro variables iniciales.

Cuadro 22. Variables independientes que explican la variable dependiente opinión4, (opinión de sensación térmica del sujeto, enfoque cognoscitivo), a partir de los datos del estudio experimental.

| Variable | Descripción de la variable |
|----------|---|
| X1 | Temperatura del aire en °C |
| X2 | Opinión de preferencia térmica del sujeto, enfoque afectivo |
| X3 | Tiempo transcurrido desde la 1ª toma de opinión del sujeto a la correspondiente de referencia |
| X4 | Humedad relativa del aire en % |

| | |
|-----|--|
| X5 | Tiempo previo al estudio en el que el sujeto ingiere su alimentación |
| X6 | Nivel educativo familiar del sujeto |
| X7 | Relación simbólica entre comodidad y espacios exteriores, manifestada por el sujeto |
| X8 | Relación simbólica entre frío y elementos arquitectónicos, manifestada por el sujeto |
| X9 | Relación simbólica entre frío y casa, manifestada por el sujeto |
| X10 | Horario en que se llevó a cabo el experimento, en minutos u horas |
| X11 | Temperatura corporal del sujeto en ° C |
| X12 | Relación simbólica entre frío y espacios exteriores, manifestada por el sujeto |
| X13 | Evaluación emocional del sujeto, dentro del espacio donde se desarrolló el estudio |
| X14 | Estatura del sujeto en metros |
| X15 | Tipo de población (rural) |
| X16 | Tasa metabólica del sujeto, previa al desarrollo del estudio en met |
| X17 | Alimentación del sujeto previa al estudio |
| X18 | Color de piel del sujeto |
| X19 | Relación simbólica entre calor y casa, manifestada por el sujeto |
| X20 | Sexo o género del sujeto |
| X21 | Relación simbólica entre frío y otros elementos e instalaciones, manifestada por el sujeto |
| X22 | Relación simbólica entre calor y espacios exteriores, manifestada por el sujeto |
| X23 | Calidad de construcción de la casa donde vive el sujeto |

Cuadro 23. Variables independientes que explican la variable dependiente csiente2 (opinión de preferencia térmica del sujeto, enfoque afectivo), a partir de los datos del estudio experimental.

| Variable | Descripción de la variable |
|----------|---|
| X1 | Opinión de sensación térmica del sujeto, enfoque cognoscitivo |
| X2 | Temperatura del aire en °C |
| X3 | Evaluación emocional del sujeto, dentro del espacio donde se desarrolló el estudio |
| X4 | Tiempo transcurrido desde la 1ª toma de opinión del sujeto a la correspondiente de referencia |
| X5 | Peso del sujeto en kilogramos |
| X6 | Sexo o género del sujeto |
| X7 | Clima real del lugar donde más tiempo ha vivido el sujeto |
| X8 | Relación simbólica entre calor y otros elementos e instalaciones, manifestada por el sujeto |
| X9 | Humedad relativa del aire en % |
| X10 | Edad del sujeto en años |
| X11 | Horario en que se llevó a cabo el experimento, en minutos ú horas |
| X12 | Relación simbólica entre calor y elementos arquitectónicos, manifestada por el sujeto |
| X13 | Presión arterial baja (sístole) del sujeto |
| X14 | Relación simbólica entre frío y espacios exteriores, manifestada por el sujeto |
| X15 | Estado de ánimo del sujeto |
| X16 | Calidad de construcción de la casa donde vive el sujeto |
| X17 | Relación simbólica entre calor y escuela ú otros edificios, manifestada por el sujeto |
| X18 | Tipo de población (urbana) |
| X19 | Relación simbólica entre frío y elementos arquitectónicos, manifestada por el sujeto |
| X20 | Color de piel del sujeto |
| X21 | Tiempo previo al estudio en el que el sujeto ingiere su alimentación |
| X22 | Nivel educativo familiar del sujeto |

| | |
|-----|---|
| X23 | Clase económica familiar del sujeto |
| X24 | Horas de permanencia del sujeto dentro de su casa |
| X25 | Relación simbólica entre comodidad y ventana, manifestada por el sujeto |
| X26 | Relación simbólica entre calor y casa, manifestada por el sujeto |
| X27 | Relación simbólica entre frío y casa, manifestada por el sujeto |

Cuadro 24. Variables independientes que explican la variable dependiente opinión4, (opinión de sensación térmica del sujeto, enfoque cognoscitivo), a partir de los datos del estudio ex post facto.

| Variable | Descripción de la variable |
|----------|---|
| X1 | Temperatura del aire en °C |
| X2 | Tiempo de vigilia (despierto) del sujeto antes de entrar al experimento, medido en minutos |
| X3 | Relación simbólica entre frío y espacios exteriores, manifestada por el sujeto |
| X4 | Relación simbólica entre comodidad y casa, manifestada por el sujeto |
| X5 | Estado de ánimo del sujeto |
| X6 | Tiempo transcurrido desde la 1ª toma de opinión del sujeto a la correspondiente de referencia |
| X7 | Temperatura corporal del sujeto en ° C |
| X8 | Relación simbólica entre comodidad y escuela ú otros edificios, manifestada por el sujeto |
| X9 | Humedad relativa del aire en % |
| X10 | Relación simbólica entre comodidad y ventana, manifestada por el sujeto |
| X11 | Años de residencia del sujeto, en el lugar donde vive actualmente |
| X12 | Clo de ropa utilizada por el sujeto durante el estudio |

Cuadro 25. Variables independientes que explican la variable dependiente csiente2, (opinión de preferencia térmica del sujeto, enfoque afectivo), a partir de los datos del estudio ex post facto.

| Variable | Descripción de la variable |
|----------|--|
| X1 | Evaluación emocional del sujeto, dentro del espacio donde se desarrolló el estudio |
| X2 | Temperatura del aire en °C |
| X3 | Peso del sujeto en kilogramos |
| X4 | Relación simbólica entre comodidad y ventana, manifestada por el sujeto |
| X5 | Alimentación del sujeto previa al estudio |
| X6 | Humedad relativa del aire en % |
| X7 | Tasa metabólica del sujeto, previa al desarrollo del estudio en met |
| X8 | Presión arterial baja (sístole) del sujeto |
| X9 | Edad del sujeto en años |
| X10 | Horas de permanencia del sujeto dentro de su casa |
| X11 | Relación simbólica entre calor y espacios exteriores, manifestada por el sujeto |

Tomando como criterio el orden descendente del ajuste de R^2 para cada modelo matemático obtenido, se denotaron dichos modelos de la manera siguiente:

- **Modelo 1** para la variable dependiente opinión4, opinión de sensación térmica del sujeto, enfoque cognoscitivo, **a partir de los datos experimentales** y para las veintitrés variables independientes del cuadro 22.
- **Modelo 2** para la variable dependiente csiente2, opinión de preferencia térmica del sujeto, enfoque afectivo, **a partir de los datos experimentales** y para las veintisiete variables independientes del cuadro 23.
- **Modelo 3** para la variable dependiente opinión4, opinión de sensación térmica del sujeto, enfoque cognoscitivo, **a partir de los datos de la investigación ex post facto** y las doce variables independientes del cuadro 24.
- **Modelo 4** para la variable dependiente csiente2, opinión de preferencia térmica del sujeto, enfoque afectivo, **a partir de los datos de la investigación ex post facto** y las once variables independientes del cuadro 25.

A continuación se presenta un cuadro que contiene las expresiones matemáticas que representan a los modelos propuestos en este trabajo:

Cuadro 26. Expresiones matemáticas de los modelos desarrollados en este estudio.

$$\text{Modelo 1: } y_i = \beta_o + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_{23} x_{i23} + \varepsilon_i \quad \text{donde } i = 1, 2, 3, \dots, 2187$$

$$\text{Modelo 2: } y_i = \beta_o + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_{27} x_{i27} + \varepsilon_i \quad \text{donde } i = 1, 2, 3, \dots, 2187$$

$$\text{Modelo 3: } y_i = \beta_o + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_{12} x_{i12} + \varepsilon_i \quad \text{donde } i = 1, 2, 3, \dots, 1004$$

$$\text{Modelo 4: } y_i = \beta_o + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_{11} x_{i11} + \varepsilon_i \quad \text{donde } i = 1, 2, 3, \dots, 1004$$

6.2.2.-Estimación de parámetros

Para calcular los mejores estimadores de los parámetros $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$ de la expresión (1), es necesario expresar la relación funcional en forma matricial, es decir:

$$Y = \beta X + \varepsilon \quad (2)$$

Donde:

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & x_{nk} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}, \quad y \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

Los estimadores de los parámetros $(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k)$ se calcularon por el método de mínimos cuadrados, según Draper y Smith (1966) y Montgomery y Peck (1982), estos son los mejores estimadores que se pueden obtener² ya que minimizan la suma de los errores, es decir que hacen mínimo el valor de $\sum_{i=1}^n \varepsilon_i$.

De acuerdo con este criterio los estimadores del vector β están dados por:

$$\hat{\beta} = (X' X)^{-1} X' Y$$

Donde: $(X' X)^{-1}$ Es la matriz inversa de $(X' X)$

X' Es la matriz transpuesta de (3)

En los siguientes cuadros se presentan los estimadores obtenidos para los modelos que se ajustaron a los datos.

Cuadro 27. Coeficientes del Modelo 1 que explican la variable dependiente opinión4, opinión de sensación térmica del sujeto, enfoque cognoscitivo, a partir de los datos del estudio experimental.

| Variable | Coefficientes no estandarizados | Coefficientes estandarizados |
|-----------|---------------------------------|------------------------------|
| Constante | 2.406 | |
| X1 | 0.173 | 0.873 |
| X2 | -0.179 | -0.131 |
| X3 | -0.150 | -0.098 |
| X4 | 0.066 | 0.109 |
| X5 | -0.008 | -0.026 |
| X6 | -0.084 | -0.038 |
| X7 | 0.275 | 0.052 |
| X8 | -0.302 | -0.031 |
| X9 | 0.213 | 0.039 |
| X10 | 0.042 | 0.049 |
| X11 | -0.060 | -0.047 |
| X12 | -0.366 | -0.053 |

² Otro método para estimar los coeficientes es el de Máxima Verosimilitud, sin embargo, Graybill (1961) demuestra que son los mismos que los que se obtienen por el método de mínimos cuadrados.

| | | |
|-----|--------|--------|
| X13 | 0.041 | 0.049 |
| X14 | -0.967 | -0.057 |
| X15 | 0.114 | 0.023 |
| X16 | -0.096 | -0.044 |
| X17 | 0.036 | 0.031 |
| X18 | 0.098 | 0.041 |
| X19 | -0.124 | -0.034 |
| X20 | -0.109 | -0.034 |
| X21 | 0.116 | 0.030 |
| X22 | -0.125 | -0.023 |
| X23 | -0.045 | -0.022 |

Cuadro 28. Coeficientes del Modelo 2 que explican la variable dependiente csiente2, opinión de preferencia térmica del sujeto, enfoque afectivo, a partir de los datos del estudio experimental.

| Variable | Coeficientes no estandarizados | Coeficientes estandarizados |
|-----------|--------------------------------|-----------------------------|
| Constante | 2.815 | |
| X1 | -0.222 | -0.304 |
| X2 | -0.065 | -0.448 |
| X3 | 0.082 | 0.135 |
| X4 | -0.245 | -0.219 |
| X5 | 0.022 | 0.216 |
| X6 | -0.473 | -0.202 |
| X7 | 0.158 | 0.090 |
| X8 | -0.453 | -0.159 |
| X9 | -0.102 | -0.233 |
| X10 | 0.180 | 0.222 |
| X11 | 0.096 | 0.151 |
| X12 | -1.260 | -0.153 |
| X13 | 0.038 | 0.080 |
| X14 | -0.763 | -0.151 |
| X15 | 0.159 | 0.086 |
| X16 | 0.157 | 0.103 |
| X17 | -0.349 | -0.160 |
| X18 | -0.192 | -0.075 |
| X19 | -0.410 | -0.058 |
| X20 | 0.092 | 0.053 |
| X21 | 0.013 | 0.058 |
| X22 | 0.142 | 0.088 |
| X23 | -0.105 | -0.065 |
| X24 | -0.206 | -0.062 |
| X25 | -0.345 | -0.051 |
| X26 | -0.233 | -0.089 |
| X27 | 0.182 | 0.045 |

Cuadro 29. Coeficientes del Modelo 3 que explican la variable dependiente opinión4, opinión de sensación térmica del sujeto, enfoque cognoscitivo, a partir de los datos del estudio ex post facto.

| Variable | Coeficientes no estandarizados | Coeficientes estandarizados |
|-----------|--------------------------------|-----------------------------|
| Constante | 0.222 | |
| X1 | 0.150 | 0.598 |
| X2 | -0.001 | -0.134 |
| X3 | -0.563 | -0.123 |
| X4 | 0.402 | 0.168 |
| X5 | 0.127 | 0.074 |
| X6 | -0.079 | -0.071 |
| X7 | -0.120 | -0.076 |
| X8 | 0.320 | 0.122 |
| X9 | 0.054 | 0.097 |
| X10 | 0.423 | 0.062 |
| X11 | -0.044 | -0.066 |
| X12 | 0.065 | 0.067 |

Cuadro 30. Coeficientes del Modelo 4 que explican la variable dependiente csiente2, opinión de preferencia térmica del sujeto, enfoque afectivo, a partir de los datos del estudio ex post facto.

| Variable | Coeficientes no estandarizados | Coeficientes estandarizados |
|-----------|--------------------------------|-----------------------------|
| Constante | 0.338 | |
| X1 | 0.129 | 0.302 |
| X2 | 0.049 | 0.286 |
| X3 | 0.007 | 0.099 |
| X4 | 0.571 | 0.124 |
| X5 | 0.087 | 0.117 |
| X6 | -0.063 | -0.167 |
| X7 | 0.078 | 0.111 |
| X8 | -0.036 | -0.101 |
| X9 | 0.059 | 0.091 |
| X10 | 0.128 | 0.096 |
| X11 | -0.164 | -0.072 |

6.2.3.-Pruebas de significancia del modelo

En problemas de regresión lineal múltiple ciertas pruebas de hipótesis acerca de los parámetros del modelo son útiles para medir qué tan adecuado es el modelo. La prueba de la significancia de la regresión sirve para determinar si en realidad existe una relación entre la variable respuesta Y , y cualquier variable independiente X_i (Montgomery y Peck, 1982).

La prueba se basa en la siguiente hipótesis: $H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \dots \beta_k = 0$ (6)

Contra: $H_1 = \beta_j \neq 0$ Al menos para una j

Rechazar la hipótesis H_0 implica que al menos una de las variables independientes contribuye significativamente en el modelo, el procedimiento para probar H_0 se basa en la siguiente estadística:

$$F_0 = \frac{SS_R / k}{SS_E / (n - k - 1)}$$

La cual tiene una distribución de probabilidad F de Snedecor con k grados de libertad en el numerador y (n-k-1) grados de libertad en el denominador; k es el número de variables independientes en el modelo y n es el número de observaciones en el estudio.

H_0 Se rechaza si $F_0 > F_{\alpha, k, n-k-1}$

El procedimiento usualmente se resume en una tabla de análisis de varianza, los resultados para cada modelo se presentan en los cuadros 31, 32, 33 y 34, a continuación se presentan diferentes tablas donde se muestran los análisis de varianza que se llevaron a cabo para probar las hipótesis de significancia para los cuatro modelos planteados como resultados de este trabajo de investigación y que quedan como sigue:

Cuadro 31. Análisis de varianza para probar la hipótesis de la significancia del Modelo 1.

| Fuente de variación | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrado medio | F_0 |
|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|--------|
| Regresión | 3886.08 | 23 | 168.96 | 375.94 |
| Residual | 972.12 | 2163 | 0.45 | |
| Total | 4858.21 | 2186 | | |

Cuadro 32. Análisis de varianza para probar la hipótesis de la significancia del Modelo 2.

| Fuente de variación | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrado medio | F_0 |
|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------|
| Regresión | 1427.00 | 27 | 52.85 | 98.02 |
| Residual | 1164.08 | 2159 | 0.539 | |
| Total | 2591.08 | 2106 | | |

Cuadro 33. Análisis de varianza para probar la hipótesis de la significancia del Modelo 3.

| Fuente de variación | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrado medio | F_0 |
|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------|
| Regresión | 350.22 | 12 | 29.19 | 26.63 |
| Residual | 1086.01 | 991 | 1.10 | |
| Total | 1436.23 | 1003 | | |

Cuadro 34. Análisis de varianza para probar la hipótesis de la significancia del Modelo 4

| Fuente de variación | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Cuadrado medio | F_0 |
|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------|
| Regresión | 146.99 | 11 | 13.36 | 25.71 |
| Residual | 515.55 | 992 | 0.52 | |
| Total | 662.54 | 1003 | | |

Los datos de las tablas de análisis de varianza indican que la hipótesis (6) se rechaza con un nivel de significancia de $\alpha = 1$ por ciento en los cuatro modelos, lo que indica que al menos una variable X_i explica a la variable dependiente respectiva en cada modelo.

En los modelos de regresión múltiple es también de interés probar hipótesis para coeficientes de regresión individuales, estas pruebas son útiles para determinar la contribución al cambio total de Y de cada una de las variables independientes.

Las hipótesis para probar la significancia de cualquier coeficiente de una variable independiente individual son: $H_0 : \beta_j = 0$ (7)

Contra: $H_1 : \beta_j \neq 0$

Si la hipótesis H_0 no se rechaza, indica que la variable independiente X_j se puede quitar del modelo (1).

La estadística de prueba para la hipótesis es: $t_0 = \frac{\hat{\beta}}{se(\hat{\beta})}$

La cual se distribuye como una t de Student con $n - k - 1$ grados de libertad.

La hipótesis nula H_0 se rechaza si el valor absoluto de $t_0 > t_{\alpha/2, n-k-1}$

En los cuadros 35 al 38 se puede observar el cálculo de la estadística t_0 para probar la hipótesis (7).

Cuadro 35. Valores de t_0 para probar la significancia de cada variable individual en el Modelo 1.

| Variable | Coficiente no estandarizado | Error estándar | t_0 | Significancia |
|-----------|-----------------------------|----------------|--------|---------------|
| Constante | 2.406 | 0.463 | 5.192 | 0.000 |
| X1 | 0.173 | 0.003 | 57.704 | 0.000 |
| X2 | -0.179 | 0.018 | -9.943 | 0.000 |
| X3 | -0.150 | 0.017 | -8.716 | 0.000 |

| | | | | |
|-----|--------|-------|--------|-------|
| X4 | 0.066 | 0.008 | 8.709 | 0.000 |
| X5 | -0.008 | 0.003 | -2.256 | 0.024 |
| X6 | -0.084 | 0.028 | -2.986 | 0.003 |
| X7 | 0.275 | 0.063 | 4.356 | 0.000 |
| X8 | -0.302 | 0.102 | -2.974 | 0.003 |
| X9 | 0.213 | 0.060 | 3.575 | 0.000 |
| X10 | 0.042 | 0.011 | 3.693 | 0.000 |
| X11 | -0.060 | 0.015 | -3.947 | 0.000 |
| X12 | -0.366 | 0.078 | -4.670 | 0.000 |
| X13 | 0.041 | 0.010 | 4.285 | 0.000 |
| X14 | -0.967 | 0.237 | -4.086 | 0.000 |
| X15 | 0.114 | 0.057 | 2.022 | 0.043 |
| X16 | -0.096 | 0.028 | -3.364 | 0.001 |
| X17 | 0.036 | 0.015 | 2.397 | 0.017 |
| X18 | 0.098 | 0.028 | 3.507 | 0.000 |
| X19 | -0.124 | 0.040 | -3.089 | 0.002 |
| X20 | -0.109 | 0.044 | -2.448 | 0.014 |
| X21 | 0.116 | 0.046 | 2.506 | 0.012 |
| X22 | -0.125 | 0.060 | -2.097 | 0.036 |
| X23 | -0.045 | 0.023 | -1.978 | 0.048 |

Cuadro 36. Valores de t_0 para probar la significancia de cada variable individual en el Modelo 2.

| Variable | Coefficiente no estandarizado | Error estándar | t_0 | Significancia |
|-----------|-------------------------------|----------------|---------|---------------|
| Constante | 2.815 | 0.341 | 8.246 | 0.000 |
| X1 | -0.222 | 0.023 | -9.723 | 0.000 |
| X2 | -0.065 | 0.005 | -12.344 | 0.000 |
| X3 | 0.082 | 0.011 | 7.342 | 0.000 |
| X4 | -0.245 | 0.020 | -12.287 | 0.000 |
| X5 | 0.022 | 0.002 | 10.472 | 0.000 |
| X6 | -0.473 | 0.045 | -10.435 | 0.000 |
| X7 | 0.158 | 0.034 | 4.688 | 0.000 |
| X8 | -0.453 | 0.074 | -6.163 | 0.000 |
| X9 | -0.102 | 0.011 | -9.621 | 0.000 |
| X10 | 0.180 | 0.021 | 8.595 | 0.000 |
| X11 | 0.096 | 0.011 | 8.658 | 0.000 |
| X12 | -1.260 | 0.158 | -7.971 | 0.000 |
| X13 | 0.038 | 0.007 | 5.074 | 0.000 |
| X14 | -0.763 | 0.091 | -8.404 | 0.000 |
| X15 | 0.159 | 0.030 | 5.281 | 0.000 |
| X16 | 0.157 | 0.026 | 5.957 | 0.000 |
| X17 | -0.349 | 0.066 | -5.296 | 0.000 |
| X18 | -0.192 | 0.043 | -4.491 | 0.000 |
| X19 | -0.410 | 0.118 | -3.465 | 0.001 |
| X20 | 0.092 | 0.033 | 2.812 | 0.005 |

| | | | | |
|-----|--------|-------|--------|-------|
| X21 | 0.013 | 0.004 | 3.613 | 0.000 |
| X22 | 0.142 | 0.032 | 4.476 | 0.000 |
| X23 | -0.105 | 0.028 | -3.672 | 0.000 |
| X24 | -0.206 | 0.061 | -3.366 | 0.001 |
| X25 | -0.345 | 0.116 | -2.988 | 0.003 |
| X26 | -0.233 | 0.072 | -3.230 | 0.001 |
| X27 | 0.182 | 0.068 | 2.675 | 0.008 |

Cuadro 37. Valores de t_0 para probar la significancia de cada variable individual en el Modelo 3.

| Variable | Coficiente no estandarizado | Error estándar | t_0 | Significancia |
|-----------|-----------------------------|----------------|--------|---------------|
| Constante | 0.222 | 0.327 | 0.679 | 0.497 |
| X1 | 0.150 | 0.010 | 14.942 | 0.000 |
| X2 | -0.001 | 0.000 | -3.366 | 0.001 |
| X3 | -0.563 | 0.135 | -4.172 | 0.000 |
| X4 | 0.402 | 0.095 | 4.244 | 0.000 |
| X5 | 0.127 | 0.048 | 2.632 | 0.009 |
| X6 | -0.079 | 0.031 | -2.529 | 0.012 |
| X7 | -0.120 | 0.048 | -2.521 | 0.012 |
| X8 | 0.320 | 0.101 | 3.166 | 0.002 |
| X9 | 0.054 | 0.017 | 3.199 | 0.001 |
| X10 | 0.423 | 0.204 | 2.077 | 0.038 |
| X11 | -0.044 | 0.019 | -2.330 | 0.020 |
| X12 | 0.065 | 0.029 | 2.247 | 0.025 |

Cuadro 38. Valores de t_0 para probar la significancia de cada variable individual en el Modelo 4.

| Variable | Coficiente no estandarizado | Error estándar | t_0 | Significancia |
|-----------|-----------------------------|----------------|--------|---------------|
| Constante | 0.338 | 0.266 | 1.270 | 0.205 |
| X1 | 0.129 | 0.012 | 10.474 | 0.000 |
| X2 | 0.049 | 0.006 | 8.842 | 0.000 |
| X3 | 0.007 | 0.002 | 2.970 | 0.003 |
| X4 | 0.571 | 0.134 | 4.248 | 0.000 |
| X5 | 0.087 | 0.022 | 3.900 | 0.000 |
| X6 | -0.063 | 0.012 | -5.219 | 0.000 |
| X7 | 0.078 | 0.023 | 3.457 | 0.001 |
| X8 | -0.036 | 0.011 | -3.296 | 0.001 |
| X9 | 0.059 | 0.021 | 2.832 | 0.005 |
| X10 | 0.128 | 0.039 | 3.306 | 0.001 |
| X11 | -0.164 | 0.066 | -2.508 | 0.012 |

De acuerdo con estos datos se concluye que todas las variables son importantes para explicar las respectivas variables dependientes.

6.2.4.-Validación del modelo

El coeficiente de determinación múltiple R^2 es una medida de la reducción de la variabilidad de Y obtenida usando las variables independientes X_1, X_2, \dots, X_k . Se define como:

$$R^2 = \frac{SS_R}{S_{YY}} = 1 - \frac{SS_E}{S_{YY}}$$

Sin embargo, valores grandes de R^2 no implican necesariamente un buen ajuste de un modelo, ya que al aumentar una variable independiente al modelo, R^2 siempre se incrementa, sin importar si la variable contribuye o no al modelo.

Para evitar estos problemas de las R^2 , algunos autores como Edwards (1969), Haitovsky (1969) y Seber (1977), recomiendan el uso de la R^2 ajustada, la cual se define como:

$$R_k^{-2} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p} \right) (1 - R^2)$$

Por último se presenta un cuadro donde se tienen las estimaciones de los coeficientes de determinación según modelos ajustados y que queda como sigue:

Cuadro 39. Coeficientes de determinación según modelos ajustados.

| Coeficiente | MODELO | | | |
|----------------|---|---|--|--|
| | 1 (Experimental, variable dependiente: opinión4) | 2 (Experimental, variable dependiente: csiente2) | 3 (Ex Post Facto, variable dependiente: opinión4) | 4 (Ex Post Facto, variable dependiente: csiente2) |
| R^2 | 0.800 | 0.551 | 0.244 | 0.222 |
| R^2 ajustada | 0.798 | 0.545 | 0.235 | 0.213 |

6.3.-Ejemplos de aplicaciones para el Modelo 1

En este primer ejemplo de aplicación se muestra la capacidad predictiva de los modelos de este tipo, que además de explicar, se pueden utilizar para predecir cual será la sensación térmica del sujeto estudiado en relación a su capacidad cognoscitiva para evaluar térmicamente un espacio arquitectónico.

Las aplicaciones del modelo se hacen partiendo de un sujeto que tiene determinadas características bio-psico-sociales, así como las del ambiente que le rodea en sus tres tipos: natural, construido y social.

De tal forma que entonces, podemos plantearnos la siguiente pregunta del problema:

Si un sujeto está expuesto dentro de un espacio arquitectónico a una temperatura del aire de 16° C, ¿cómo la calificaría con una opinión de sensación térmica?

Entonces, partiendo de los datos de un sujeto-usuario específico podemos predecir el valor de la variable “opinión de la sensación térmica del sujeto, enfoque cognoscitivo”, si aplicamos el modelo 1, para lo cuál es necesario como primer paso, asignar valores a las variables independientes respectivas.

Cuadro 40. Asignación de valores a las variables independientes para un caso de aplicación del Modelo 1 como predictor.

| Variable | Descripción de la variable independiente | Valores asignados a las variables independientes para el caso de estudio |
|----------|---|---|
| X1 | Temperatura del aire en ° C | 16° C |
| X2 | Opinión de preferencia térmica del sujeto, enfoque afectivo | Regular (ni bueno ni malo) aceptable, en la escala utilizada, de cinco puntos tiene un valor de 3. |
| X3 | Tiempo transcurrido desde la 1ª toma de opinión del sujeto a la correspondiente de referencia | El tiempo es de 3 a 5 minutos en la agrupación de datos le corresponde el valor de 1. |
| X4 | Humedad relativa del aire en % | La humedad relativa es de 75 a 80%, en la agrupación de datos le corresponde el valor de 10. |
| X5 | Tiempo previo al estudio en el que el sujeto ingiere su alimentación | El tiempo es de 6:31 a 7:00 horas, en la agrupación de datos le corresponde el valor de 14. |
| X6 | Nivel educativo familiar del sujeto | El nivel educativo de la familia es de preparación técnica, en la agrupación de datos le corresponde el valor de 1. |
| X7 | Relación simbólica entre comodidad y espacios exteriores, manifestada por el sujeto | El sujeto no presenta esta relación simbólica, por tanto en la agrupación de datos le corresponde el valor de 0. |
| X8 | Relación simbólica entre frío y elementos arquitectónicos, manifestada por el sujeto | El sujeto si presenta esta relación simbólica, por tanto en la agrupación de datos le corresponde el valor de 1. |
| X9 | Relación simbólica entre frío y casa, manifestada por el sujeto | El sujeto no presenta esta relación simbólica, por tanto en la agrupación de datos le corresponde el valor de 0. |
| X10 | Horario en que se llevó a cabo el experimento, en minutos ú horas | El horario es de 16:00 a 17:00, en la agrupación de datos le corresponde el valor de 5. |
| X11 | Temperatura corporal del sujeto en ° C | La temperatura corporal es de 36°C a 36.4°C, en la agrupación de datos le corresponde el valor de 3. |
| X12 | Relación simbólica entre frío y espacios exteriores, manifestada por el sujeto | El sujeto no presenta esta relación simbólica, por tanto en la agrupación de datos le corresponde el valor de 0. |

| Variable | Descripción de la variable independiente | Valores asignados a las variables independientes para el caso de estudio |
|----------|--|--|
| X13 | Evaluación emocional del sujeto, dentro del espacio donde se desarrolló el estudio | En la escala utilizada de 0 a 9, tiene un valor para este sujeto de 4. |
| X14 | Estatura del sujeto en metros | La estatura es de 1.72 metros. |
| X15 | Tipo de población (rural) | La población en la que vive no es de tipo rural, por tanto le corresponde el valor de 0. |
| X16 | Tasa metabólica del sujeto, previa al desarrollo del estudio en mets | La tasa metabólica es de 0.8267 a 0.9999 mets, en la agrupación de datos le corresponde el valor de 1. |
| X17 | Alimentación del sujeto previa al estudio | La alimentación previa al estudio es de 1 a 300 cal, en la agrupación de datos le corresponde el valor de 1. |
| X18 | Color de piel del sujeto | El color de piel es moreno y de acuerdo con la escala de cinco puntos utilizada le corresponde el valor de 3. |
| X19 | Relación simbólica entre calor y casa, manifestada por el sujeto | El sujeto no presenta esta relación simbólica, por tanto en la agrupación de datos le corresponde el valor de 0. |
| X20 | Sexo o género del sujeto | El género del sujeto es femenino, de acuerdo con la escala asignada le corresponde el valor de 0. |
| X21 | Relación simbólica entre frío y otros elementos e instalaciones, manifestada por el sujeto | El sujeto no presenta esta relación simbólica, por tanto en la agrupación de datos le corresponde el valor de 0. |
| X22 | Relación simbólica entre calor y espacios exteriores, manifestada por el sujeto | El sujeto no presenta esta relación simbólica, por tanto en la agrupación de datos le corresponde el valor de 0. |
| X23 | Calidad de construcción de la casa donde vive el sujeto | En la escala utilizada de 3 a 9 el valor asignado es de 9. |

Entonces si tenemos el modelo 1 donde: $y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_{23} x_{i23} + \varepsilon_i$

Sustituyendo valores tenemos:

$$Y = 2.406 + (0,173) (X_1 = 16) + (-0,179) (X_2 = 3) + (-0,15) (X_3 = 1) + (0,066) (X_4 = 10) + (-0,008) (X_5 = 14) + (-0,084) (X_6 = 1) + (0,275) (X_7 = 0) + (-0,302) (X_8 = 1) + (0,213) (X_9 = 0) + (0,042) (X_{10} = 5) + (-0,06) (X_{11} = 3) + (-0,366) (X_{12} = 0) + (0,041) (X_{13} = 4) + (-0,967) (X_{14} = 1.72) + (0,114) (X_{15} = 0) + (-0,096) (X_{16} = 1) + (0,036) (X_{17} = 1) + (0,098) (X_{18} = 3) + (-0,124) (X_{19} = 0) + (-0,109) (X_{20} = 0) + (0,116) (X_{21} = 0) + (-0,125) (X_{22} = 0) + (-0,045) (X_{23} = 9)$$

$Y = 2.89976$

Si hacemos un análisis entre el valor obtenido para Y, y la escala PMV de P. O. Fanger, tenemos:

Cuadro 41. Escala para valorar el ambiente térmico de un espacio arquitectónico, utilizada para los diferentes estudios experimentales sobre confort térmico, esta fue establecida por P. Ole Fanger y publicada por primera vez en su trabajo “Thermal Comfort” en 1970.

| Escala PMV de P. O. Fanger, con traducción para este trabajo: |
|---|
| 1 muy frío |
| 2 frío |
| 3 ligeramente frío |
| 4 neutro (ni frío ni caliente) |
| 5 ligeramente cálido |
| 6 cálido |
| 7 muy cálido |

En el ejemplo de aplicación anterior podemos observar que el valor de $Y = 2.89976$ se aproxima a 3 y que en la escala PMV, el valor de 3 corresponde a un clima calificado como *ligeramente frío*, es decir que si en nuestro ejercicio la temperatura del aire considerada tenía un valor de $16^{\circ} C$, entonces el sujeto del cuál se toman los datos que se sustituyeron en el modelo, estaría opinando que dicha temperatura del aire para él, representa un espacio arquitectónico con un ambiente térmico *ligeramente frío*, lo cuál en términos generales y para personas que habitamos esta región del país resulta verdadero.

Ahora, si nuestro análisis lo extendemos más allá de solo ubicar el valor de Y en la escala PMV, entonces podemos ver que el valor obtenido para Y , **de 2.89976 es menor de 3**, lo que puede interpretarse también de la manera siguiente: este sujeto dentro de un espacio arquitectónico con $16^{\circ} C$ de temperatura del aire, lo calificará como un ambiente térmico *ligeramente frío pero con una tendencia a considerarlo frío*, ya que el valor de Y es menor de 3.

Cabe mencionar, que así como en el ejemplo anterior, la aplicación del modelo se llevó a cabo para un solo individuo, de la misma manera estos modelos pueden aplicarse a grupos de personas más amplios y donde los datos a cargar en el modelo sean valores promedio del grupo social en estudio.

Este tipo de aplicación del modelo en grupos de personas, adquiere relevancia para diseñar adecuadamente proyectos que vayan a ser habitados primordialmente por grupos bien caracterizados por edad, género, estado de salud, entre otros. Dentro de los proyectos señalados se encuentran los edificios escolares (jardín de niños, primarias, secundarias, preparatoria, etc.) hospitales, reclusorios femeniles o varoniles, etc.

Por otra parte es importante señalar que el modelo nos sirve para conocer otras variables, es decir, la variable dependiente se puede convertir en independiente y cualquiera de las independientes plantearse dentro del análisis como dependiente.

Así podemos plantear un segundo ejemplo donde el problema fuera el siguiente: ¿Qué temperatura debe existir en un espacio arquitectónico, que sea considerada neutra por el usuario de dicho espacio?

Partiendo de los datos del ejemplo anterior, pero ahora teniendo como incógnita de la ecuación a la temperatura neutra del aire es decir X_1 , e introduciendo como dato de la opinión de sensación térmica de la escala PMV que es 4 = “neutra”, entonces tenemos:

Si despejamos X_1 del Modelo 1 tenemos:

$$X_1 = (-2.406 + (Y) - (-0,179) (X_2) - (-0,15) (X_3) - (0,066) (X_4) - (-0,008) (X_5) - (-0,084) (X_6) - (0,275) (X_7) - (-0,302) (X_8) - (0,213) (X_9) - (0,042) (X_{10}) - (-0,06) (X_{11}) - (-0,366) (X_{12}) - (0,041) (X_{13}) - (-0,967) (X_{14}) - (0,114) (X_{15}) - (-0,096) (X_{16}) - (0,036) (X_{17}) - (0,098) (X_{18}) - (-0,124) (X_{19}) - (-0,109) (X_{20}) - (0,116) (X_{21}) - (-0,125) (X_{22}) - (-0,045) (X_{23})) / 0.173$$

$$X_1 = (-2.406 + (4) - (-0,179) (3) - (-0,15) (1) - (0,066) (10) - (-0,008) (14) - (-0,084) (1) - (0,275) (0) - (-0,302) (1) - (0,213) (0) - (0,042) (5) - (-0,06) (3) - (-0,366) (0) - (0,041) (4) - (-0,967) (1.72) - (0,114) (0) - (-0,096) (1) - (0,036) (1) - (0,098) (3) - (-0,124) (0) - (-0,109) (0) - (0,116) (0) - (-0,125) (0) - (-0,045) (9)) / 0.173$$

$$X_1 = (-2.406 + 4 + 0.537 + 0,15 - 0,66 + 0.112 + 0,084 + 0,302 - 0,21 + 0.18 - 0.164 + 1.663 + 0,096 - 0,036 - 0.294 + 0,405) / 0.173$$

$$X_1 = 7.529 - 3.77 / 0.173 = 21.7283$$

Por lo tanto:

$$X_1 = 21.73^{\circ}\text{C}$$

Lo anterior quiere decir que para el problema planteado, para la pregunta de:

¿Cuál es la temperatura neutra? la respuesta es: 21.73°C

Las pruebas experimentales se llevaron a cabo la mayoría de ellas en el mes de octubre y noviembre de 2003, es decir meses fríos, a los cuáles ya estaban aclimatados los participantes de las pruebas experimentales, entonces aplicando la ecuación de Auliciems A., para calcular la temperatura neutra tenemos lo siguiente:

Para Diciembre, el mes más frío, con una temperatura media mensual de 13.5° C:

$$T_n = 17.6 + (0.31) (T_m) = 17.6 + (0.31) (13.5^{\circ}\text{C})$$

Por lo tanto: $T_n = 21.8^{\circ}\text{C}$

Donde: T_n = Temperatura neutra

T_m = Temperatura media mensual.

De lo anterior podemos ver que **el valor obtenido con nuestro modelo fue: una temperatura neutra de 21.73°C**, que es muy cercano al obtenido aplicando la ecuación de **Auliciems A. que fue de 21.8°C**, siendo así éste, otro dato que valida a nuestro modelo, con la teoría existente al respecto.

6.4.-Comentarios a los modelos matemáticos obtenidos

Respecto a los modelos propuestos en este trabajo para definir la sensación y la preferencia térmica de los sujetos estudiados, se establecen las siguientes conclusiones:

1.- Como se puede observar, el valor de la R^2 ajustada es más bajo que el de la R^2 no ajustada, sin embargo las diferencias son muy pequeñas, de acuerdo con estas cifras, se puede concluir que el **Modelo 1 ajusta muy bien a los datos, ya que explica el 79.8% de la variación de la variable dependiente**, así mismo el **Modelo 2** tiene un coeficiente de determinación que se puede clasificar como medianamente bueno, ya que **explica el 54.5% de la variación total de la variable dependiente**.

El hecho de que los Modelos 1 y 2 (derivados del estudio experimental) determinen bien la variación total de la variable dependiente, lo podemos considerar así, si partimos de que las variables independientes consideradas en ambos casos, no son todas de tipo paramétrico, si no que intervienen también variables cuya medición es de tipo ordinal.

2.-Los Modelos 3 y 4 tienen un ajuste bajo, el primer caso de un 23.5% y el segundo de 21.3%; por lo que las conclusiones que se desprendan de estos modelos **deben tomarse con mucha reserva**, ya que la probabilidad de cometer errores con los mismos es muy alta.

Al respecto de **los Modelos 3 y 4** que corresponden a los desarrollados a partir del estudio ex post facto **el coeficiente de determinación es muy bajo debido a que el rango de variabilidad de la variable independiente temperatura del aire es muy estrecho, comparado con el rango de variabilidad de la misma variable en el estudio experimental**, en particular esta variable es muy importante, si consideramos que para el Modelo 1, tiene un coeficiente estandarizado muy alto, de 0.873.

3.-Llama la atención como una **variable tan importante dentro del fenómeno del confort térmico, como lo es el tipo de vestimenta (ropa) del sujeto solo aparece en un modelo del estudio ex post facto**, no así en los Modelos 1 y 2 obtenidos del estudio experimental.

Esto se debe a que el rango de variabilidad de dicha variable en el caso del estudio ex post facto con relación al estudio experimental es diferente, en el primer caso los clo de ropa son de 0.37 a 0.59 y representan el 76.9% del total de los sujetos; y para el experimental va de 0.39 a 0.59 clo y representan al 84.1% del total de sujetos estudiados, para llegar al 100% presentaron otro tipo de indumentarias de 0.91 clo para el estudio experimental y de 0.97 clo para el estudio ex post facto.

Es decir, **en el estudio experimental**, más que una variable independiente la vestimenta se comporta por sus valores como **una variable descriptiva o constante** y para el **estudio ex post facto si actúa como una variable independiente**, lo cuál se observa con claridad en el **Modelo 3**, por la variabilidad de la variable citada.

4.-Esta misma situación sucede con otras variables independientes registradas en el estudio ex post facto y en el experimental **que al no tener los mismos intervalos de variabilidad los datos de las variables registradas**, entonces no aparecen las mismas variables independientes para definir los modelos y hay diferencias al pasar de la base de datos del estudio experimental a la del estudio ex post facto.

5.-Sin embargo y aún dentro de una misma base de datos, ya sea para el caso del estudio experimental o para el estudio ex post facto, también se presentan diferencias en cuanto a cuáles son las variables independientes que constituyen los modelos de las variables: **la opinión de sensación térmica (cognoscitiva) y la opinión de preferencia térmica (afectiva)**, lo cuál se debió a que la referencia de determinación de los coeficientes estandarizados para cada una de ellas es diferente, para un caso es **una escala ordinal térmica de siete puntos** y para el **otro caso es la, una escala ordinal de cinco puntos**, además de que como ya se dijo, para obtener una variable dependiente la otra formó parte del análisis de regresión y viceversa, debido a que al preguntar un voto de opinión no es posible aislar o descontar del fenómeno el otro tipo de opinión.

6.5.-Análisis comparativo entre los modelos propuestos en este trabajo y otras investigaciones

Para llevar a cabo un análisis comparativo entre la propuesta de esta investigación y otros trabajos desarrollados con anterioridad, es menester hacer una consideración previa, que es, que dentro de los trabajos más importantes sobre el confort térmico, como los realizados por los doctores P. Ole Fanger y J. Richard de Dear entre otros, no se plantearon como propósito principal, demostrar o aportar evidencias de que el fenómeno del confort térmico, tiene un carácter holístico.

Así, de esta manera, P. O. Fanger realizó los primeros trabajos experimentales más importantes de los últimos años sobre la sensación térmica de los sujetos, estos los llevó a cabo a principios de los años 70 en el siglo XX, donde relacionó una escala de siete puntos, con una serie de variables, las cuáles intuía, determinaban dicha sensación térmica en las personas y de manera parcial en cada estudio, fue estableciendo conclusiones, respecto a las variables fundamentales que determinan el confort térmico del ser humano.

También estudió otras variables que llamó “factores especiales”, tal como lo aborda en el capítulo tres: “The influence of certain special factors on the application of the comfort equation”, de su célebre obra “Thermal Comfort” en 1970, donde concluye que, varios de estos factores especiales no mostraban ninguna diferencia significativa en las condiciones de confort térmico y que por tanto para la ingeniería no tenían importancia, a esta corriente

de pensamiento se le llamó *estática*, debido a que se partía del concepto de que las condiciones ambientales permanecían estáticas, como es el caso de los locales que cuentan con aire acondicionado.

Posteriormente, a mediados de la década de los 70, Humphreys Michael A. planteó, que para estudiar correctamente al fenómeno del confort térmico, debía hacerse desde un enfoque mucho más amplio que el planteado por P. O. Fanger, a este nueva corriente le llamaron *adaptativa*. A los trabajos de Humphreys M. A. le siguieron los de Nicol J. Fergus, Auliciems Andris y otros en los años 80; así como los más recientes en los 90 del Dr. J. Richard de Dear, quien junto con otros investigadores desarrolló en 1997 el trabajo: “Developing and Adaptive Model Thermal Comfort and Preference, Final Report ASHRAE RP-884”.

Sin embargo, y a pesar de que en la corriente *adaptativa* se abogaba por la consideración de otras variables independientes que definían al fenómeno de la sensación y la preferencia térmica, no se hace el planteamiento directo para determinar cuáles variables son parte del fenómeno y cuál es el grado de importancia de éstas variables dentro de él.

Los estudios de ambas corrientes han sido tan relevantes, que se han incluido en diversos estándares muy reconocidos, como son los de ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers) y los de ISO (International Organization for Standardization).

En nuestro caso, el interés fundamental en esta investigación fue aportar evidencias para comprobar la hipótesis de que el fenómeno del confort térmico a partir de la sensación y la preferencia térmica de los sujetos tiene un carácter holístico, esto significa, que lo propuesto en el presente trabajo, es algo que dejó de hacerse en los trabajos antes citados.

Así, nuestra propuesta adquiere relevancia, si vemos que con los resultados obtenidos, es decir los modelos propuestos, podemos identificar dentro de los experimentos realizados, no solo las variables que definen al fenómeno estudiado, si no que además, a partir de ellos, conocimos la importancia de las variables independientes en la definición de la sensación y la preferencia térmica (variables dependientes) a través de un valor cuantitativo para cada una de ellas; cabe recordar que en nuestro trabajo consideramos como sensación térmica a la variable dependiente con un enfoque cognoscitivo y a la preferencia térmica como la variable dependiente con un enfoque afectivo.

Por último debemos señalar, que sí se han desarrollado trabajos coincidentes con el objetivo del nuestro es decir determinar cualitativa y cuantitativamente las variables que determinan un fenómeno y que aunque no se refieren específicamente al estudio del confort térmico, sí tienen una relación directa con la temática estudiada, ya que en ellos se incluyen algunas variables abordadas en nuestro modelo, siendo los trabajos referidos, los siguientes:

- “Habitabilidad de la Vivienda Urbana”, del Dr. Serafín Joel Mercado Doménech et al, UNAM, México, 1995.
- “Componentes psicológicos, ambientales y fisiológicos generadores de estrés en una sala de espera”, Estrada Rodríguez Cesáreo et al, UNAM, México, 2005

6.5.1.-Estudios realizados por el Dr. P. Ole Fanger (1970)

En todos sus estudios, para conocer la sensación térmica de los sujetos, utilizó la siguiente escala psico-física:

| Escala PMV de P. O. Fanger (1970) |
|-----------------------------------|
| 1. cold |
| 2. cool |
| 3. slightly cool |
| 4. neutral |
| 5. slightly warm |
| 6. warm |
| 7. hot |

Debemos destacar que la mayoría de los estudios sobre confort térmico reportados por ASHRAE utilizan la escala anterior para estudiar cada una de las variables que están relacionados con el fenómeno de la sensación térmica del ser humano.

De los estudios de P. O. Fanger podemos citar entre otros a los siguientes³:

- Mean thermal sensation vote for Danish collage-age and early subjects during three-hour test period.
- Mean thermal sensation votes (last three votes) versus temperature for Danish collage-age and early subjects.
- Neutral temperatures for the different groups of subjects (°C), for females and males, females, males.
- Evaporative heat losses (for group and sex)

En términos generales, las condiciones experimentales en que se llevaron a cabo los estudios en el laboratorio de la Universidad Técnica de Dinamarca fueron las siguientes:

El laboratorio comenzó sus operaciones de trabajos experimentales en 1968, la cámara térmica mide 2.80 m de ancho, 5.6 m de largo y una altura de entrepiso de 2.80 m, para poder participar en la prueba previamente debieron haber respondido que tuvieron una noche normal de sueño, comida normal, registrar una temperatura corporal menor a

³ FANGER P. O. (1973), “Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering”, Danish Technical Press, Mc Graw Hill, New York, USA, pp. 75-80.

37.2°C y haber estado una hora antes de iniciar el evento.

Las condiciones de la cámara fueron constantes para cada periodo de tres horas que duró la prueba y las temperaturas del aire fueron mantenidas en cuatro diferentes niveles: 21.1°C, 23.3°C, 25.6°C y 27.8°C, la temperatura media radiante fue igual a la temperatura del aire, es decir no existían diferencias por este concepto; la velocidad del aire fue aproximadamente de 0.1 m/s, se establecieron dos niveles de humedad relativa del aire 30% y 70% para cada temperatura del aire medida, por último debe señalarse que las pruebas se llevaron a cabo por la tarde de 2 a 5 p.m. y por la noche de 7 a 10 p.m.

Además de los estudios enumerados, se realizaron otros trabajos sobre la sensación térmica, en relación al lugar geográfico de origen de los sujetos, su edad, su género, forma y dimensiones del cuerpo, ciclos menstruales, diferencias étnicas, alimentación, ritmos circadianos, etc., en todos ellos se utilizó la técnica de análisis de **regresión lineal simple** y a partir de ellos se determinó si dicha variable independiente tenía influencia en la sensación térmica del sujeto, fue una manera de ir validando variable por variable, la pertenencia de éstas al citado fenómeno.

De tal forma que si la variable estudiada definía en parte a la sensación térmica, entonces dicha relación se traducía a un valor de temperatura en grados centígrados; para así determinar la preferencia térmica de los sujetos en esa unidad de medida. A continuación se muestran algunos resultados de las regresiones lineales obtenidas:

Cuadro 42. Información tomada de: “Table 4. Regression Equations” (p. 77), de “Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering” by P. Ole Fanger, 1970.

| Group | Number | Regression equation | Correlation coefficient of determination R | Estimated residual standard deviation of mean votes S_{YT} |
|------------------------------|--------|------------------------|--|--|
| College-age Danish: | | | | |
| Females + Males | 128 | $Y = -3.836 + 0.3048T$ | 0.716 | 0.768 |
| Females | 64 | $Y = -5.963 + 0.3907T$ | 0.803 | 0.751 |
| Males | 64 | $Y = -1.709 + 0.2190T$ | 0.615 | 0.731 |
| Elderly Danish: | | | | |
| Females + Males | 128 | $Y = -4.241 + 0.3206T$ | 0.667 | 0.925 |
| Females | 64 | $Y = -6.090 + 0.4001T$ | 0.757 | 0.901 |
| Males | 64 | $Y = -2.391 + 0.2412T$ | 0.569 | 0.906 |
| College-age American: | | | | |
| Females + Males | 720 | $Y = -4.625 + 0.3376T$ | 0.796 | 0.756 |
| Females | 360 | $Y = -5.678 + 0.3735T$ | 0.834 | 0.727 |
| Males | 360 | $Y = -3.574 + 0.3019T$ | 0.783 | 0.709 |

6.5.2. - “Developing and Adaptive Model Thermal Comfort and Preference, Final Report ASHRAE RP-884”, del Dr. J. Richard de Dear et al (1997)

Respecto a los instrumentos de investigación aplicados y en particular los cuestionarios que se utilizaron en este estudio, podemos señalar lo siguiente:

- El cuestionario se dividió en dos partes la primera donde se recolecto la información referente a cuestiones demográficas y factores contextuales y psicológicos; y en la segunda parte la información que cubrió la valoración del ambiente térmico del sujeto en el momento de llenar dicho cuestionario.
- Las escalas utilizadas para medir la opinión térmica de los sujetos, fueron una escala de sensación térmica de 7 puntos (de P. O. Fanger) y otra escala de preferencia térmica de 3 puntos (1. want cooler, 2. want no change y 3. want warmer).
- Para otro tipo de cuestiones referentes a las observaciones de este estudio, los investigadores se apoyaron en los estándares “ASHRAE Standard 55-92” e “ISO 7730”.

En relación con nuestro trabajo podemos ver que hay similitud metodológica con respecto a los cuestionarios aplicados en el estudio ASHRAE RP-884, las diferencias que deben señalarse son que en nuestro trabajo incluimos otras variables más y respecto a las escalas utilizadas en lo que De Dear R. J. llama escala de preferencia térmica, utiliza una de 3 puntos (ya enunciada) y en nuestro caso se uso una de 5 puntos, ambas escalas son desde el punto de vista de nuestro trabajo de tipo afectivo. Al respecto de las escalas afectivas se ha dado una discusión profunda entre la corriente adaptativa y la estática respecto a si “lo cómodo para un sujeto es siempre lo neutro”.

La escala de preferencia térmica de nuestro trabajo como ya se dijo fue de 5 puntos y en ella, el punto central fue: 3. Regular (Ni bien ni mal) pero aceptable, los puntos extremos fueron: 1. muy mal y 5. Muy bien, como respuesta a la pregunta ¿cómo se siente térmicamente en este lugar?, dicha escala se construyó a partir del siguiente postulado:

“Si ya se tenía evaluada la sensación térmica de los sujetos, había que conocer si estos opinaban necesariamente sentirse bien en la neutralidad de la temperatura y además conocer, como se sentían dichos sujetos en otros ambientes térmicos, calificados por ellos como fríos o cálidos”.

La principal diferencia entre estas dos escalas es, que en el caso de la escala de tres puntos de J. Richard De Dear, se siguió haciendo referencia a la calificación térmica del ambiente en las palabras que definen los puntos de la escala, en nuestro caso se trató de ir directamente a la calificación de “como se siente el sujeto” en un ambiente térmico determinado.

Todos los resultados obtenidos en las investigaciones adaptativas han sido tan importantes, que ya han sido incluidas como un nuevo método opcional en el ASHRAE 55-2004, para determinar las condiciones térmicas aceptables en espacios acondicionados de forma natural o dicho en otras palabras, en espacios acondicionados con sistemas pasivos

de acondicionamiento térmico.

En este estudio de J. Richard De Dear el tratamiento matemático que se les da a las variables dependientes sensación térmica y preferencia térmica, es de ir relacionando a cada una de ellas con alguna variable independiente a partir de regresiones lineales simples, obteniéndose los modelos siguientes para este trabajo:

- Operative temperature (TOP)
- New effective temperature (ET)
- Predicted mean vote (PMV)
- Standard effective temperature (SET)

Los aspectos centrales que se abordaron en este trabajo fueron entre otros demostrar que el PMV utilizado en el método de análisis estático esta limitado para analizar a los edificios con ventilación natural, ya que en éstos suceden otros factores que permiten ajustes de sus usuarios, a diferencia de los edificios con aire acondicionado, donde las condiciones permanecen controladas y estáticas. Así que el interés principal se centró en demostrar que los dos tipos de acondicionamiento térmico se dan de diferente forma y para cada uno de ellos se establece un modelo, como se muestra a continuación:

Cuadro 43. Información tomada de: “Table 4.1: Assessment of the dependence of acceptable indoor temperature ranges on outdoor effective temperature” (p. 154), de “Developing and Adaptive Model Thermal Comfort and Preference, Final Report ASHRAE RP-884”, del Dr. J. Richard de Dear et al.

| | Centrally heated/air conditioned buildings | Naturally ventilated buildings |
|--|--|--------------------------------|
| Number of buildings | 108 (3 missing values) | 41 (4 missing values) |
| Number of buildings with thermal sensation | 63 | 33 |
| Regression models achieving 95% significance* | (58% of total) | (75% of total) |
| Mean range of indoor temperatures based on the 80% acceptability criterion (K) | 4.1 | 6.9 |
| Regression model for the dependence of the 80% acceptable temperatures ranges on outdoor effective temperature | $y = 3.08 + 0.05*x$ | $y = 6.28 + 0.03*x$ |
| Statistical T-test for the regression gradient | 1.81 | 0.36 |
| Statistical significance of T-test | $p > 0.05$ | $p > 0.10$ |
| Mean range of indoor temperatures based on the 90% acceptability criterion (K) | 2.4 | 4.9 |
| Regression model for the dependence of the 90% acceptable temperatures ranges on outdoor effective temperature | $y = 1.81 + 0.03*x$ | $y = 3.70 + 0.02*x$ |
| Statistical T-test for the regression gradient | 1.81 | 0.36 |
| Statistical significance of T-test | $p > 0.05$ | $p > 0.10$ |

*Based on those thermal sensation (AHS) models in Appendix A ($y = a + b*TOP$) achieving 95% statistical significance or better

Como podemos observar los modelos planteados en el cuadro anterior fueron contruidos a partir de regresiones lineales simples, debido a que el objetivo era relacionar solo a dos variables.

6.5.3. - Estudios desarrollados en otros campos de conocimiento, pero que tienen relación directa con el confort térmico del ser humano

De los estudios que coinciden con el objetivo principal de nuestra investigación, tenemos como ejemplos los que a continuación se comentan:

6.5.3.1.-“Habitabilidad de la Vivienda Urbana”, del Dr. Serafín Joel Mercado Doménech et al, UNAM, México, 1995.

El fenómeno de estudio de este trabajo es la habitabilidad del espacio arquitectónico y el caso de estudio fue la vivienda urbana en la Ciudad de México. En este trabajo se señala que la habitabilidad es un conjunto de condiciones físicas y no físicas, que permiten la permanencia del ser humano en un espacio determinado, en donde éste, puede obtener en un mayor o menor grado gratificación a su existencia.

Al respecto de las bases del diseño de una vivienda, Rapoport (1985), dice que “...un diseño debe permitir que ese control de calidad, determinado por la congruencia, entre expectativas y satisfacción de las mismas, sea el más cercano posible a ese esquema ideal...”, es decir, que aunque el diseñador o proyectista arquitectónico, no puede controlar a las variables climáticas, si puede crear un diseño arquitectónico, que permita a los habitantes de una vivienda, a no sufrir por las contingencias climáticas.

Es importante comentar (como ya se hizo en el capítulo 1 de este trabajo) que los habitantes al apropiarse de los espacios arquitectónicos (objetos culturales), se van transformando conjuntamente al ritmo temporal del cambio cotidiano de las sociedades que habitan los edificios y que siendo la *habitabilidad*, la principal cualidad de las obras arquitectónicas, esta se manifiesta como una *variable en el tiempo y el espacio*, trasladando dicha propiedad a cada uno de los factores que la componen y dentro de ellos podemos señalar al *confort térmico del ser humano*.

De ahí que en el estudio referido se aborden algunas variables que también son parte del fenómeno del confort térmico del ser humano, lo que se hizo de la siguiente manera: El trabajo se divide en dos partes generales, en la primera de ellas se trata de establecer la relación que existe entre la habitabilidad y diez factores psicológicos que la determinan, la muestra estuvo conformada por 234 sujetos, mayores de 15 años, que residían en la Ciudad de México.

Las variables que se hicieron intervenir fueron las siguientes:

- Variable dependiente: Habitabilidad de la vivienda.
- Variables independientes: Placer, activación, control, seguridad, operatividad,

privacidad, funcionalidad, significatividad, inteligibilidad y valores.

A partir de lo anterior se diseñaron diferentes instrumentos que se “pilotearon” con 70 sujetos y se aplicaron a 234 de ellos, recogiendo la información relativa a las variables antes enumeradas, se realizó el análisis de la información anterior a partir de una regresión lineal múltiple, utilizando el procedimiento de “paso a paso”, utilizando como variable independiente la habitabilidad y como variables independientes las 10 antes citadas.

Se obtuvo una R^2 ajustada de 0.734, es decir que con las variables: activación, placer, significatividad y operatividad, explican un 73% la variabilidad asociada al constructo de habitabilidad, a continuación se presenta el modelo obtenido para el análisis antes citado:

Cuadro 44. Expresión matemática del modelo de regresión lineal de habitabilidad.

$$H = 5.048 (C) + 0.611 P + 0.303 O + 0.345 A + 0.110 S$$

Donde:

- **H** = Habitabilidad de la vivienda: Entendida como el grado en que la vivienda se ajusta a las expectativas, necesidades, patrones de vida y preferencias de la familia usuaria.
- **C** = Constante
- **P** = Placer: Es el nivel de agrado o desagrado que se siente en relación al entorno de la vivienda.
- **O** = Operatividad: Es la facilidad de desplazamiento, es decir, se enfoca a los aspectos sensorios motrices que intervienen al contacto con la distribución espacial.
- **A** = Activación: El grado de tensión emocional derivada de estimulación proveniente de la vivienda y de las actividades sociales de los moradores.
- **S** = Significatividad: Se refiere a las cargas simbólicas que los individuos depositan en los espacios de su casa, así como los sentimientos de arraigo, identificación y posesión.

En la segunda parte del trabajo se desarrolla una segunda investigación, cuyo objetivo principal fue medir la influencia de los aspectos físicos que se registran en la vivienda, sobre los aspectos psicológicos antes mencionados y así ver en que medida determinan dichos factores físicos la habitabilidad de la vivienda.

La muestra fue intencional de cuota fija, de 30 viviendas de tres tipos diferentes, de acuerdo con el número de recámaras y baños con que contaban las viviendas, dichas viviendas se localizaban en la Ciudad de México y su Área Metropolitana, y en las cuáles se registraron las variables físicas y a todos los integrantes de las familias que vivían en ellas y que tuviesen una edad de entre 18 y 65 años, se les aplicó un instrumento que evaluaba las variables psicológicas que fueron las siguientes:

- Variables dependientes: Placer, activación, control, seguridad, operatividad, privacidad, funcionalidad, significatividad, inteligibilidad y valores.
- Variables independientes: Ruido, temperatura, humedad, velocidad del aire, iluminación y distancia.

El tipo de estudio fue un ex post facto, levantándose la información para una misma vivienda en tres horarios, que fueron:

- Por la mañana de 10:00 a 13:00 horas
- Por la tarde de 15:00 a 17:00 horas
- Por la noche de 19:00 a 21:00 horas

Los resultados se analizaron por medio de la técnica de regresión lineal múltiple, dichas regresiones se realizaron entre todas las variables independientes de tipo físico con cada una de las variables dependientes de tipo psicológico (que en la primera parte del trabajo eran variables independientes); esto con la finalidad de determinar que variables físicas afectan a cada una de las variables psicológicas.

Se determinaron los niveles de significatividad utilizando el análisis de varianza y se encontró que existen relaciones muy importantes entre las variables físicas, traducidas a atributos físicos del diseño de los espacios arquitectónicos y la habitabilidad, tal como se puede observar en el cuadro siguiente:

Cuadro 45. Relación de variables físicas y psicológicas incluidas en la segunda parte del estudio de Serafín Joel Mercado Doménech et al (1995), “Habitabilidad de la vivienda urbana” p. 129.

| | Habitabilidad | Placer | Activación | Control | Funcionalidad | Privacidad | Operatividad | Significatividad | Valores |
|---------------------------------|---------------|--------|------------|---------|---------------|------------|--------------|------------------|---------|
| Iluminación Natural Cocina | 2(-) | | | | | | 2(-) | 2(-) | 1(-) |
| Iluminación Natural Recámara | | | | 1(+) | | | | | |
| Iluminación Artificial Recámara | | | | | 1(+) | | | | |
| Humedad Baño | | 2(-) | 2(-) | | | | | | |
| Humedad Cocina | | 2(+) | 1(+) | | | | | | |
| Ventilación Recámara | 2(+) | | | | | | 2(+) | | |
| Temperatura Sala-Comedor | | 2(-) | 1(-) | 3(-) | | | | | |
| Permeabilidad Auditiva Baño | 3(+) | | 1(+) | | 2(+) | | 3(+) | 2(+) | 1(+) |
| Permeabilidad Auditiva Cocina | | | | | | | 2(-) | | |
| Ruido Baño | 1(+) | | | | | | | | |
| Ruido Recámara | 1(-) | | | | | 3(-) | 1(-) | 1(-) | 1(-) |
| Ruido Cocina | | | | | | 1(+) | | | 1(+) |
| Superficie Total | | | | | | 3(+) | | | |

p. ≤ 0.05 = 1
 p. ≤ 0.01 = 2
 p. ≤ 0.005 = 3

(+) relación positivo
 (-) relación negativa

Como conclusión podemos decir que hay una misma forma de plantear este trabajo en relación con el nuestro, principalmente en la primera parte de este estudio, donde se hace un análisis con regresión lineal múltiple para definir una variable dependiente; que en el caso del estudio de Mercado Doménech fue la habitabilidad de la vivienda urbana y en nuestro caso fueron las opiniones de sensación y preferencia térmica del ser humano, en ambos casos a partir de un gran número de variables independientes.

Respecto a la segunda parte de este trabajo y en relación a la variable física temperatura ó temperatura del aire, se aprovechó la relación encontrada entre ésta y las variables placer, activación y control, ya que a partir de ello se planteó dentro de nuestro trabajo la variable: evaluación emocional del espacio.

Así mismo, en el modelo obtenido en la primera parte de este trabajo, una variable que define a la habitabilidad de la vivienda, es la significatividad, la cuál también se incluyó como una variable independiente dentro de nuestra investigación.

6.5.3.2.-“Componentes psicológicos, ambientales y fisiológicos generadores de estrés en una sala de espera”, Estrada Rodríguez C. et al, UNAM, México, 2005.

El objetivo general del estudio fue encontrar la relación que existe entre el estrés de los usuarios de una sala de espera en un centro de atención para la salud y diferentes variables físico ambientales, fisiológicas y socio ambientales, dicho estudio fue de tipo ex post facto y se llevó a cabo en una sala de espera de pacientes y acompañantes de un Centro Público de Atención Especializada de la Ciudad de México, la muestra estuvo conformada por 206 personas encuestadas, de las cuáles 72% eran mujeres y 28% hombres, con una edad que fluctuaba entre los 9 y los 73 años (promedio 34.18 años), así mismo se registraron fisiológicamente a 104 personas y las variables medidas fueron:

- Variables físico ambientales: Sonido, iluminación, temperatura ambiental, humedad y velocidad del aire.
- Variables fisiológicas: temperatura de la piel y ritmo cardiaco
- Variables socio ambientales: condiciones ambientales apropiadas y condiciones ambientales negativas
- Variable psicológica: La percepción del estrés.

Instrumentos: Se construyó una escala de evaluación ambiental, que incluía la evaluación y percepción de aspectos físicos y ambientales diseñada y validada para este estudio, también se utilizó una escala de estrés, que se generó a través del auto reporte de 16 afirmaciones de respuestas físicas, conductuales y emocionales de estrés, con una escala de calificación que va de cero, total ausencia y 10, total presencia del atributo.

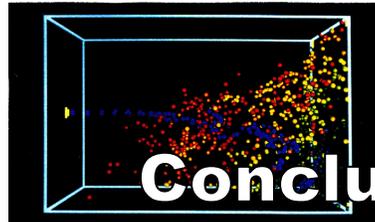
Discusión de los resultados: Con los datos de las variables planteadas, se realizó una regresión lineal múltiple del tipo “paso a paso”, donde la variable dependiente fueron las calificaciones de estrés obtenidas mediante auto reporte y como variables independientes, los niveles de sonido, la iluminación, la temperatura ambiental, la humedad, la velocidad del aire, la temperatura de la piel, la tasa cardiaca y las

evaluaciones ambientales positiva, negativa y en términos de espacio. Los resultados de este análisis arrojaron un modelo con una $R^2 = 0.40$, con cinco predictores cuyos valores de Beta se incluyen en el siguiente cuadro:

Cuadro 46. Coeficientes Beta para estrés en usuarios de una sala de espera en un centro de salud.

| Variab les | Beta | t | p |
|-------------------------------|-------------|----------|----------|
| Evaluación ambiental negativa | 0.40 | 4.81 | 0.00 |
| Edad | -0.27 | 3.30 | 0.00 |
| Humedad | 0.22 | 2.68 | 0.01 |
| Evaluación ambiental positiva | -0.16 | 1.96 | 0.05 |
| Tasa cardíaca | -0.14 | 1.70 | 0.09 |

Posteriormente se procedió a comparar el perfil de las respuestas dadas con las variables del modelo obtenido por medio de un análisis de discriminantes “paso a paso” (método Wilk).



**Conclusiones y
recomendaciones**

“El factor realmente valioso es la intuición”.
Albert Einstein

Conclusiones y recomendaciones

Cumplimiento de objetivos y aportación de evidencias para probar la hipótesis planteada

En las columnas 5 y 6 del cuadro 47 se incluyen los valores de los coeficientes estandarizados, tanto para el Modelo 1, como para el Modelo 2 y donde se puede observar el carácter holístico de los modelos matemáticos propuestos.

Cuadro 47. Variables independientes que determinan a la variable dependiente de los Modelos 1 y 2, las cuáles pertenecen a los seis diferentes subsistemas en que se desagregó nuestro modelo conceptual del confort térmico del ser humano.

| Subsistemas | Variables que integran los subsistemas | Factores que agrupan a las variables | Variables incluidas en el análisis de regresión | Coefficiente estandarizado Beta Modelo 1 | Coefficiente estandarizado Beta Modelo 2 |
|--|---|---|---|--|--|
| Ambiente natural (El clima) | Temperatura del aire | 1.-Temperatura del aire | temperat | 0.873 | -0.448 |
| | Radiación solar | Temperatura radiante | Considerada constante | ----- | ---- |
| | Humedad del aire | 2.-Humedad relativa | humedad2 | 0.109 | -0.233 |
| | Viento | 3.-Velocidad del aire | Considerada constante | ----- | ---- |
| | Presión atmosférica | 4.-Presión atmosférica | Considerada constante | ----- | ---- |
| | Meteoros (dependiendo el tipo de meteoro, este repercutirá en una o varias de las variables indicadas) | No se registraron meteoros en las 4 localidades estudiadas | Considerada constante | ----- | ---- |
| | Calidad del aire | Por el tiempo de permanencia, el volumen de aire en el local y el número de sujetos, no se consideró. | Considerada constante | ----- | ---- |
| Ambiente construido (El edificio) | -Dimensiones -Orientaciones solares -Tipo de materiales de construcción -Formas interiores -Tipo de aberturas, de funcionamiento, forma y ubicación -El color -Diferencias de confort térmico dentro del espacio arquitectónico | 5.El espacio arquitectónico | Considerada constante | ----- | ---- |



| Subsistemas | VARIABLES que integran los subsistemas | Factores que agrupan a las variables | VARIABLES incluidas en el análisis de regresión | Coefficiente estandarizado Beta Modelo 1 | Coefficiente estandarizado Beta Modelo 2 |
|---|--|--|---|---|--|
| Ambiente social (La sociedad) | -Grupo étnico del sujeto -Grupo social y económico del sujeto -Participación en grupos, deportivos, sociales, políticos, etc. | 6.Memoria térmica (1ª parte) | educaci2 claseco2 | -0.038 ---- | 0.088 -0.065 |
| Parte social del ser humano | Tipo de vestimenta | 7.Tipo de vestimenta | vestime2 | ---- | ---- |
| | -Hábitos de alimentación -Tipo de bebidas | 8.Tipo de alimentación | aliment2 tiemalim | 0.031 -0.026 | ---- 0.058 |
| | Grado de aclimatación, que incluye: -Lugar de nacimiento -Características del espacio donde se vive. -Tiempo de permanencia diaria en ese espacio. -Tiempo en años de esa vivencia espacial. | 6.Memoria térmica (2ª parte) | viveactu pobrural pobsemir poburban hrsecasa casa clima | ---- 0.023 ---- ---- -0.022 ---- | ---- ---- ---- -0.075 -0.062 0.103 0.090 |
| Parte biológica del ser humano | Color de piel del sujeto | 9.Factor genético | colpiel | 0.041 | 0.053 |
| | -Estado de salud -Descompensación física-adaptación física -Temperatura corporal -Presión arterial -Pulso | 10.Estado de salud del sujeto | tempcor presart pulso | -0.047 ---- ---- | ---- 0.080 ---- |
| | Edad del sujeto | 11.Edad del sujeto | edad2 | ---- | 0.222 |
| | Ciclos temporales | 12.Ciclos temporales | hrdespie hrest2 hrestudi permane2 | ---- 0.049 ---- -0.098 | ---- 0.151 ---- -0.219 |
| | -Metabolismo basal -Metabolismo muscular -Índice de masa corporal (IMC) e Índice de superficie corporal (sirve para corregir la tasa de metabolismo) | 13.Actividad que desarrolla el sujeto | peso2 estatur2 mets112 | ---- -0.057 -0.044 | 0.216 ---- ---- |
| | -Género del sujeto | 14.Género del Sujeto | sexo2 | -0.034 | -0.202 |
| Parte psicológica del ser humano | -Placer -Activación -Control Psicofísica: -Contacto visual con el exterior, -ruidos -olores | 15.Evaluación emocional del espacio | emocion | 0.049 | 0.135 |

| Subsistemas | Variables que integran los subsistemas | Factores que agrupan a las variables | Variables incluidas en el análisis de regresión | Coefficiente estandarizado Beta Modelo 1 | Coefficiente estandarizado Beta Modelo 2 |
|-------------|--|---|--|---|---|
| | La Significatividad Espacial | 6.Memoria térmica (3ª parte) | sig1casa sig1escu sig1exte sig1earq sig1otro sig2casa sig2escu sig2exte sig2earq sig2otro sig3casa sig3escu sig3exte sig3vent sig3otro | -0.034 ----- -0.023 ----- ----- ----- 0.039 ----- -0.053 -0.031 0.030 ----- ----- ----- 0.052 ----- ----- | -0.089 -0.160 ----- -0.153 -0.159 0.045 ----- ----- -0.151 -0.058 ----- ----- ----- ----- -0.051 ----- |
| | -Estado de Ánimo que sucede en el momento -Más la variable de Memoria Térmica (1ª, 2ª y 3ª partes) | 16.Expectativas de confort térmico | estanim2 | ----- | 0.086 |
| | Es la variable dependiente de las otras variables independientes, medidas como opinión denotativa y connotativa. | 17.Sensación térmica, preferencia térmica | opinion4 csiente2 | ----- -0.131 | ----- -0.304 ----- |

Como podemos observar en el cuadro anterior, de los seis subsistemas propuestos en la hipótesis para definir al modelo holístico del confort térmico, es decir: el clima, el edificio, la sociedad, así como las partes social, biológica y psicológica del ser humano; de todos ellos una o más variables participaron para definir a la variable dependiente, según se puede observar en el cuadro 47.

Cabe señalar que el único subsistema que no aportó una variable independiente para construir los modelos de regresión fue el correspondiente al medio construido, es decir el edificio o espacio arquitectónico donde se desarrollaron los estudios, debido a que las variables de este subsistema participaron como constantes o variables descriptivas y que por ese solo hecho participan también en la definición del modelo, pues todas las constantes, se constituyen como un marco referencial de los dos estudios.

Por último debo comentar que en el cuadro 47 solo se incluyeron los modelos 1 y 2 ya que son los que mejor definen al fenómeno del confort térmico del ser humano desde un enfoque holístico y aunque los modelos 3 y 4 incluyen también diversas variables, no se quiso desarrollar conclusiones a partir de ellos por su bajo grado de definición del fenómeno. Por todo lo antes dicho y observado respecto a los modelos 1 y 2, podemos concluir que **los modelos desarrollados aportan evidencias para probar la hipótesis donde se le confiere un carácter holístico al fenómeno del confort térmico** y por tanto los modelos que lo definen, tienen por consecuencia **la característica de ser también los holísticos** y entonces la tesis de este trabajo queda así:

48. Tesis central que se concluye en este trabajo respecto al carácter holístico del fenómeno del confort térmico del ser humano.

El fenómeno del confort térmico del ser humano tiene un carácter holístico y se puede definir cualitativa y cuantitativamente a partir de un modelo de análisis con dicho enfoque.

Recomendaciones para investigaciones futuras sobre el confort térmico del ser humano

A continuación se plantean posibles trabajos de investigación, a desarrollarse en el futuro, tanto por los grupos de investigación del IPN, la UNAM y la UAM, así como por los maestrantes y doctorantes de dichas instituciones, pudiéndose circunscribir dichos trabajos a dos grandes grupos que son: La investigación básica y la investigación aplicada.

1.-Investigación Básica:

1.1.-Estudios sobre variabilidad en la Zona de Confort Térmico

Una línea de investigación a desarrollarse en trabajos a futuro sobre el confort térmico es el relativo al estudio de los intervalos para zonas de confort térmico, ya que como podemos observar a continuación utilizando la variable csiente2 (opinión de preferencia térmica del sujeto, enfoque afectivo), en el trabajo experimental, podemos observar que la zona de Confort Térmico para este estudio esta ubicada de 18°C a 29°C, lo cuál concuerda con los trabajos presentados por el Dr. John Martin Evans, donde establece los rangos de Confort Térmico de 18°C el inferior y de 28°C el superior.

Para determinar los intervalos de 18°C (inferior) y de 29°C (superior) en nuestro estudio, se tomó como referencia Standard 55 de ASHRAE, “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”, que establece que se puede determinar como parte de una zona de confort, todos aquellos ambientes, donde el 80% de personas que los ocupen, estando en con actividad ligera y sedentaria, opinen que el medio ambiente térmico es **aceptable**.

Cuadro 49. Cruce de las variables temperatura del aire (temperat) y opinión de preferencia térmica del sujeto (csiente2), en el estudio experimental y donde podemos observar los intervalos inferior y superior de la zona de confort térmico, ajustándose al 80% de aceptación en la variable csiente2 desde los 18°C hasta los 29°C.

| | | | csiente2 | | | | | Total |
|-----------------|------|--|----------|-------|---------------------------------------|-------|-----------|--------|
| | | | Muy malo | Malo | Regular (ni bueno, ni malo) Aceptable | Bueno | Muy bueno | |
| temperat | 16°C | | | 14,3% | 48,6% | 34,3% | 2,9% | 100,0% |
| | 17°C | | 9,2% | 15,4% | 36,9% | 27,7% | 10,8% | 100,0% |
| | 18°C | | | 19,0% | 47,6% | 27,0% | 6,3% | 100,0% |
| | 19°C | | | 7,7% | 48,1% | 36,5% | 7,7% | 100,0% |

| | | | | | | | | |
|-------|------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 20°C | | | 3,8% | 49,1% | 41,5% | 5,7% | 100,0% |
| | 21°C | | | 3,3% | 38,3% | 51,7% | 6,7% | 100,0% |
| | 22°C | | | 1,2% | 38,8% | 49,4% | 10,6% | 100,0% |
| | 23°C | | | | 35,3% | 56,9% | 7,8% | 100,0% |
| | 24°C | | | 1,2% | 32,5% | 59,0% | 7,2% | 100,0% |
| | 25°C | | | 5,2% | 36,5% | 53,1% | 5,2% | 100,0% |
| | 26°C | | | 1,2% | 43,0% | 51,2% | 4,7% | 100,0% |
| | 27°C | | | 4,1% | 50,7% | 41,1% | 4,1% | 100,0% |
| | 28°C | 1,0% | | 8,2% | 49,5% | 37,1% | 4,1% | 100,0% |
| | 29°C | | | 15,1% | 55,8% | 27,9% | 1,2% | 100,0% |
| | 30°C | 1,2% | | 21,7% | 53,0% | 24,1% | | 100,0% |
| | 31°C | 4,1% | | 26,8% | 45,4% | 22,7% | 1,0% | 100,0% |
| | 32°C | 5,8% | | 30,2% | 46,5% | 16,3% | 1,2% | 100,0% |
| | 33°C | 11,0% | | 37,8% | 34,1% | 17,1% | | 100,0% |
| | 34°C | 19,6% | | 26,8% | 42,3% | 10,3% | 1,0% | 100,0% |
| | 35°C | 23,3% | | 33,7% | 32,6% | 9,3% | 1,2% | 100,0% |
| | 36°C | 28,9% | | 36,1% | 27,7% | 4,8% | 2,4% | 100,0% |
| | 37°C | 38,5% | | 34,4% | 19,8% | 5,2% | 2,1% | 100,0% |
| | 38°C | 32,6% | | 47,7% | 16,3% | 3,5% | | 100,0% |
| | 39°C | 43,9% | | 41,5% | 13,4% | 1,2% | | 100,0% |
| | 40°C | 55,3% | | 35,5% | 7,9% | 1,3% | | 100,0% |
| | 41°C | 56,5% | | 30,6% | 9,7% | 3,2% | | 100,0% |
| | 42°C | 58,1% | | 30,6% | 9,7% | 1,6% | | 100,0% |
| | 43°C | 60,0% | | 28,0% | 10,0% | 2,0% | | 100,0% |
| | 44°C | 60,9% | | 21,7% | 8,7% | 8,7% | | 100,0% |
| Total | | Count | 347 | 445 | 763 | 561 | 71 | 2187 |

En el cuadro 50 podemos observar que la temperatura del aire con mayor porcentaje considerada como neutra es 23°C con un 68.6%, el porcentaje más alto para frío es 17°C con un 49.2% y el porcentaje más alto para la temperatura considerada muy cálida es de 42°C con un 87.1%, debe mencionarse que nadie consideró la clasificación de “muy frío”

Cuadro 50. Cruce de las variables temperatura del aire (temperat) y opinión de sensación térmica del sujeto (opinión4), en el estudio experimental.

| | | | opinión4 | | | | | Total | |
|----------|------|------|----------|------------------|---------------------------|--------------------|--------|------------|--------|
| | | | Frio | Ligeramente frío | Neutro (ni frío ni calor) | Ligeramente cálido | Cálido | Muy cálido | |
| temperat | 16°C | | 28,6% | 57,1% | 14,3% | | | | 100,0% |
| | 17°C | | 49,2% | 38,5% | 12,3% | | | | 100,0% |
| | 18°C | | 47,6% | 46,0% | 4,8% | 1,6% | | | 100,0% |
| | 19°C | | 21,2% | 67,3% | 11,5% | | | | 100,0% |
| | 20°C | | 11,3% | 69,8% | 15,1% | 3,8% | | | 100,0% |
| | 21°C | | 1,7% | 51,7% | 46,7% | | | | 100,0% |
| | 22°C | | 3,5% | 43,5% | 49,4% | 2,4% | 1,2% | | 100,0% |
| | 23°C | | 2,0% | 9,8% | 68,6% | 17,6% | 2,0% | | 100,0% |
| | 24°C | | 1,2% | 19,3% | 45,8% | 32,5% | 1,2% | | 100,0% |
| | 25°C | | 2,1% | 12,5% | 46,9% | 33,3% | 5,2% | | 100,0% |
| | 26°C | | | 2,3% | 50,0% | 39,5% | 7,0% | 1,2% | 100,0% |
| | 27°C | | | 4,1% | 26,0% | 47,9% | 20,5% | 1,4% | 100,0% |
| | 28°C | 1,0% | | 3,1% | 40,2% | 36,1% | 18,6% | 1,0% | 100,0% |
| | 29°C | | | 2,3% | 18,6% | 33,7% | 41,9% | 3,5% | 100,0% |
| | 30°C | | | 1,2% | 7,2% | 34,9% | 49,4% | 7,2% | 100,0% |
| | 31°C | | | 1,0% | 13,4% | 34,0% | 45,4% | 6,2% | 100,0% |
| | 32°C | | | | 2,3% | 30,2% | 57,0% | 10,5% | 100,0% |
| | 33°C | | | | 1,2% | 12,2% | 70,7% | 15,9% | 100,0% |

| | | | | | | | | | |
|-------|------|-------|----|-----|------|-------|-------|-------|--------|
| | 34°C | | | | 6,2% | 23,7% | 44,3% | 25,8% | 100,0% |
| | 35°C | | | | | 15,1% | 51,2% | 33,7% | 100,0% |
| | 36°C | | | | | 4,8% | 45,8% | 49,4% | 100,0% |
| | 37°C | | | | 2,1% | 7,3% | 38,5% | 52,1% | 100,0% |
| | 38°C | | | | | 3,5% | 44,2% | 52,3% | 100,0% |
| | 39°C | | | | | 1,2% | 31,7% | 67,1% | 100,0% |
| | 40°C | | | | | 2,6% | 26,3% | 71,1% | 100,0% |
| | 41°C | | | | | 1,6% | 21,0% | 77,4% | 100,0% |
| | 42°C | | | | 1,6% | | 11,3% | 87,1% | 100,0% |
| | 43°C | | | | | 2,0% | 14,0% | 84,0% | 100,0% |
| | 44°C | | | | | 4,3% | 13,0% | 82,6% | 100,0% |
| Total | | Count | 99 | 264 | 401 | 369 | 552 | 502 | 2187 |

En el cuadro anterior podemos ver como los sujetos opinaron afectivamente respecto a la calidad térmica del ambiente donde se encontraban, así tenemos que para los ambientes térmicos considerados “fríos” el mayor porcentaje fue de de 37.4% y lo consideraban “Regular (ni bueno, ni malo) pero aceptable”, para el caso “ligeramente frío” el 47% lo considero también “Regular-Aceptable”, para el “Neutro (ni frío, ni calor) el 57.1% lo considero “Bueno”.

Para el caso “Ligeramente cálido” el mayor porcentaje fue de 55.8% y lo considero “Regular-Aceptable”, para la clasificación “Cálido”, 42.2% lo consideraron “Malo” y al mismo tiempo para “Cálido” otro 42.2% lo consideró “Regular-Aceptable”, y para “Muy cálido” el 62% lo consideró “Muy malo”.

De lo anterior podemos concluir que los ambientes térmicos considerados “fríos” y “ligeramente fríos” fueron considerados por los sujetos en mayor porcentaje como “Regulares, pero aceptables” y por el contrario “Cálido” y “Muy cálido” fueron considerados como “Malo” y “Muy malo”, con esto se confirma el grado de aclimatación que tenían los sujetos participantes en el experimento y que fueron:

| Clima real del lugar donde más tiempo vivieron los sujetos participantes en el experimento: | Porcentaje de sujetos participantes |
|---|-------------------------------------|
| Semi Frio húmedo | 31.3% |
| Semi Frio | 57.7% |
| Cálido húmedo | 11.1% |
| Total | 100.0% |

A continuación se presenta el cruce de las variables de opinión de sensación y preferencia térmica del sujeto:

Cuadro 51. Cruce de las variables opinión de sensación térmica del sujeto (opinión4) y opinión de preferencia térmica del sujeto (csiente2), en el estudio experimental.

| | | | csiente2 | | | | | Total |
|----------|------------------|--|----------|-------|---------------------------------------|-------|-----------|--------|
| | | | Muy malo | Malo | Regular (ni bueno, ni malo) Aceptable | Bueno | Muy bueno | |
| opinión4 | Frio | | 6,1% | 28,3% | 37,4% | 22,2% | 6,1% | 100,0% |
| | Ligeramente frio | | | 3,4% | 47,0% | 42,8% | 6,8% | 100,0% |

| | | | | | | | | |
|--------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
| | Neutro (ni frío ni calor) | | | | 33,7% | 57,1% | 9,2% | 100,0% |
| | Ligeramente cálido | | | 7,0% | 55,8% | 36,3% | ,8% | 100,0% |
| | Cálido | | 5,4% | 42,2% | 42,2% | 9,4% | ,7% | 100,0% |
| | Muy cálido | | 62,0% | 29,7% | 5,6% | 2,2% | ,6% | 100,0% |
| Total | | Count | 347 | 445 | 763 | 561 | 71 | 2187 |

A continuación se muestra una tabla resumen comparando zonas de confort térmico de diferentes autores y las que arrojaron este estudio:

Cuadro 52. Umbrales inferior y superior de diferentes zonas de confort térmico del ser humano, a partir de la temperatura del aire y la humedad.

| Autores | Umbrales de temperatura | Umbrales de humedad | Observaciones |
|---|--|--|--|
| B. Givoni | 21°C a 26°C | 5-17 mmHg. | Bienestar óptimo límite, máximo permisible |
| V. Olgyay | 23.9°C a 29.5°C | 20-75% | Trópicos |
| ASHRAE | 20.55°C a 24.44°C (Invierno) 23.33°C a 27.22°C (Verano) | 4 mm Hg- 14mm Hg | Bienestar óptimo |
| Yaglou-Drinker | 18.8°C a 23.8°C | 30-70% | EE.UU. Verano (T. E.) |
| Koenigsberger et al | 22°C a 27°C | 30-70% | Trópicos (T. E.) |
| C. E. Brooks | 23.3°C a 29.4°C | 30-70% | Trópicos |
| John Martin Evans | -18°C a 28°C temperaturas medias con una oscilación térmica de hasta 8°C, para actividades sedentarias -13°C a 28°C temperaturas medias con una oscilación térmica de hasta 4°C, para actividades de confort para dormir. -10°C a 30°C temperaturas medias, con una oscilación térmica de hasta 16°C para una actividad de circulación interior. -8°C a 32°C temperaturas medias con una oscilación térmica de hasta 18°C para una actividad de circulación exterior. | | Propone un diferente rango de confort de acuerdo a los diferentes rangos de oscilación térmica. |
| Carl Mahoney | 25°C a 30°C (mayor 20°C temperatura media anual, de día) 23°C a 28°C (mayor a 20°C temperatura media anual, de día) 22°C a 29°C (entre 15°C y 20°C temperatura media anual, de día) 21°C a 27°C (entre 15°C y 20°C, temperatura media anual, de día) 20°C a 27°C (menor a 15°C temperatura media anual, de día) 19°C a 26°C (menor a 15°C temperatura media anual, de día) | 30% a 50% 50% a 70% 30% a 50% 50% a 70% 30% a 50% 50% a 70% | Establece en total 24 diferentes rangos de confort térmico, tomando en cuenta 3 grupos de temperatura media anual, si es de día ó de noche y 4 diferentes grupos de humedad |
| Resultados del estudio para construir el Modelo Holístico de Análisis del Confort Térmico (J. Raymundo Mayorga Cervantes, 2005) | De 18°C a 29°C | 30 a 80% | Donde debe considerarse que a las temperaturas más bajas les correspondieron la humedad más alta (80%) y a las temperaturas más altas, las humedades más bajas (30%), en términos generales. |



1.2.-Estudios para profundizar en la influencia dentro del fenómeno del confort térmico de las variables más importantes identificadas en los Modelos 1 y 2.

Las variables que pertenecen al modelo holístico obtenido y que tienen una gran importancia cuantitativa en la definición de las variables dependientes (opinión de sensación térmica del sujeto y preferencia térmica del sujeto) del mismo, representan importantes estudios que pueden desarrollarse a futuro, para profundizar en la comprensión de las citadas variables y de entre las cuáles podemos señalar a las siguientes:

- Temperatura del aire
- Humedad relativa del Aire
- Tiempo de permanencia dentro del espacio arquitectónico
- Estatura del sujeto
- Tasa metabólica del sujeto, previa al desarrollo del estudio en met
- Algunas relaciones simbólicas con los conceptos, frío, comodidad y calor
- Evaluación emocional del sujeto, dentro del espacio donde se desarrolló el estudio, entre otras

1.3.-Estudio de variables complejas dentro del fenómeno del confort térmico del ser humano

Durante el desarrollo del trabajo de investigación y en particular en la parte donde se construyó la propuesta del modelo formal, escrito y gráfico finales, donde se trata de describir detalladamente al fenómeno del confort térmico quedó claro que éste es un fenómeno complejo, el cuál no solo esta determinado por variables individuales que lo definen, sino que en su composición se manifiestan también grupos de variables que a su vez juntas, constituyen al fenómeno global del confort térmico.

Es así como del número total de variables quedaron 17 finales, de las cuáles 6 correspondían a variables individuales, mientras otras 11 agrupaban a una cantidad no uniforme de variables, destacando algunas por la magnitud de variables que agrupan y otras por su manifestación en diferentes subsistemas del modelo citado, a partir de lo antes dicho podemos citar como importante para futuros estudios, los de las variables siguientes:

Memoria térmica

Constituida de tres partes, que son:

Primera parte: Tradiciones y costumbres del sujeto, grupo étnico del sujeto, grupo social y económico del sujeto, participación en grupos deportivos, sociales, políticos, etc.

Segunda parte: Grado de aclimatación, que incluye lugar de nacimiento, características del espacio donde se vive, tiempo de permanencia diaria en ese espacio,



tiempo en años de esa vivencia espacial.

Tercera parte: La significatividad espacial.

Expectativas del sujeto ante el confort térmico

Esta variable estaría constituida a partir de la variable memoria térmica (1ª, 2ª y 3ª partes) así como de la variable estado de ánimo el sujeto.

2.-Investigación Aplicada:

Dentro de los estudios a futuro en el campo de la investigación aplicada, se proponen los siguientes trabajos de investigación:

2.1.-Desarrollo de estándares de confort térmico para población mexicana por:

- Región geográfica
- Grupo económico-social
- Características físicas de los grupos sociales, entre otros

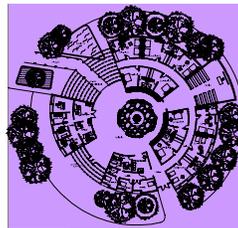
2.2.-Diseño de herramientas metodológicas para el diseño arquitectónico con enfoque bioclimático

Dentro de este rubro podemos señalar solo como ejemplos representativos, mas no limitativos los siguientes:

- Psico-socio gramas: Es decir la sensación y la preferencia térmica a partir de variables psicológicas y sociales, aunque en este sentido pueden incluirse otras.
- Nomogramas y otros instrumentos

2.3.-Diseño de software especializado para determinar zonas de confort térmico, considerando al tipo de habitante y el género del edificio que se va a diseñar ó a evaluar.

En este rubro se pueden señalar como posibles trabajos, programas de cómputo basados en diferentes lenguajes de programación para cálculo de diversos algoritmos, a partir de los modelos aquí propuestos, además de que dicho software, no podría ser solo para cálculo, si no que puede incluir la representación de gráficos que apoyen el proceso del diseño arquitectónico, pero con la diferencia de que se podrá agregar información de los seis subsistemas mencionados en el planteamiento central de la tesis.



Apéndice A

Laboratorios para la investigación
en el área del confort térmico y
tópicos afines

Apéndice A: Laboratorios para la investigación en el área del confort térmico y tópicos afines:

En México:

- Laboratorio de Heliodiseño**, Centro de Investigación y Estudios de Posgrado; Maestría y Doctorado en Arquitectura – Tecnología, (Bioclimática), Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México. Edificio de Posgrado, junto a la Torre II de Humanidades, Ciudad Universitaria, México, DF C.P. 04510, Línea de Investigación: Heliodiseño, Tel. (01 5) 56 22 07 07, 56 22 07 24, Fax 55 50 66 64, Dr. J. Diego Morales Ramírez, e mail: josed@servidor.unam.mx, URL <http://ciepfa.posgrado.unam.mx/AcaFrame.html>
- Instituto de Ingeniería**, Línea de Investigación: Ahorro de Energía. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, México, DF, C.P. 04510, , Tel. (01 5) 56 22 81 36, Dr. David Morillón Gálvez, e mail: damg@pumas.iing.unam.mx
- Centro de Investigación en Energía**, Universidad Nacional Autónoma de México. Privada de Xochicalco s/n Temixco, Mor. C.P. 62595, Tel. (01 73) 25 00 52, 25 00 46, Fax 25 00 18 y 25 00 44, México, Dr. Isaac Pilatowsky, e mail: ipf@mazatl.iimtemix.unam.mx
- Laboratorio de Ambiente Controlado**, Ingeniería en Energía, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco No.186, Col Vicentina, Iztapalapa, México, DF, C.P. 09340, Tel. 5804 4644/ 45, Fax 5804 4645, Dr. Juan José Ambríz García, e mail: agj@xanum.uam.mx y Dr. Hernando Romero Paredes Rubio, e mail: hrp@xanum.uam.mx
- Laboratorio de Arquitectura Bioclimática**, y Posgrado en Diseño Bioclimático, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. Edificio “S” de Talleres CYAD, Av. San Pablo No.180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, México, DF Tel. (01 5) 5723 5972 y Fax 5723 4369; Tel. 57 24 43 10, 11 y 12, Arq. Víctor Fuentes Freixenet, e mail: posgradocyad@hp9000a1.uam.mx, URL <http://www.wazc.uam.mx/cyad/posgrado/>, <http://geocities.com/viqueiramx/bioclimatica.htm>
- Laboratorio de Diseño Ambiental y Habitabilidad** (Arquitectura Bioclimática, Ecotecnologías, Confort Térmico), Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, ESIA-Tecamachalco, Instituto Politécnico Nacional. Edificio 2, 3er. Piso, Fuente de Leones No.28, Lomas de Tecamachalco, Naucalpan, Edo. de Méx., México, C.P.56500, Tel (01 55) 57 29 63 00, (01 55) 57 29 60 00, Ext. 68023 ó 68022, fax 68023, Mtro. en Arq. J. Raymundo Mayorga Cervantes, e mail: jrmayorga@ipn.mx, mayorgipn@hotmail.com, URL <http://www.te.ipn.mx/esiatecamachalco>
- Laboratorio de Arquitectura Bioclimática**, ESIA-Tecamachalco, Instituto Politécnico Nacional. Edificio de Laboratorios y Biblioteca Licenciatura, P. B., Fuente de Leones No.28, Lomas de Tecamachalco, Naucalpan, Edo. de Méx., México, C.P.56500, Especialista en Diseño Bioclimático Francisco Domínguez Aranda, e mail:
- Laboratorio de Diseño Ambiental** Universidad Autónoma de Baja California-Mexicali Blvd. Benito Juárez s/n, Insurgentes Este, C.P. 21280, Mexicali, B. C. N., México, tel. (686) 566 42 50, Dra. Ramona Alicia Romero Moreno, e mail: ramonaromero@uabc.mx, URL <http://cimarron.mx1.uabc.mx/FramesetPosgrados.htm>
- Laboratorio de Energía, Medio Ambiente y Arquitectura**, Departamento Rosales y Blvd. L. D. Colosio s/n, Col. Centro, C.P. 83000, Hermosillo, Son., México, Tel./Fax: +52 (662) 259 2180 y 259

de Arquitectura Universidad de Sonora 2179, Dr. J. Manuel Ochoa de la Torre, e mail:
jmochoa@arq.uson.mx

Laboratorio de Sistemas Térmicos,
Laboratorio de Tecnologías Solares y
Laboratorio de Simulación Numérica, Interior Internado Palmira s/n, Col. Palmira, Cuernavaca, Mor.,
México, C. P. 62490, Tel. (01 777) 318 7741, Dra. Gabriela
Álvarez García, e mail: gaby@cenidet.edu.mx
Centro Nacional de Investigación y
Desarrollo Tecnológico (CENIDET)

En Latinoamérica:

Laboratorio de Estudios Bioambientales del Centro de
Investigación Hábitat y Energía Centro de Investigación Hábitat y Energía, SICyT-FADU-UBA,
Pabellón III, Piso 4, Ciudad Universitaria, (1428) Capital
Federal, Argentina. Dirección Postal: CC1765, Correo Central,
Facultad de Arquitectura, Diseño y (1000) Capital Federal, Argentina, Fax: (541) 7828871, e mail:
Urbanismo, Universidad de Buenos Aires evans@fadu.uba.ar

Instituto de Estudios del Hábitat (**IDEHAB**), Facultad de Arquitectura y
Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata-Argentina http://members.tripod.com/IDEHAB_FAU_UNLP/ui2_01.htm

Instituto de Investigaciones Tecnológicas para el Diseño Ambiental del Hábitat Humano, Facultad de
Arquitectura y Urbanismo UNNE Av. Las Heras 727- (3500) Resistencia -Chaco- Argentina,
(Universidad Nacional del Nordeste) Tel./Fax +54 (03722) 425573, e mail: itdahu@arq.unne.edu.ar

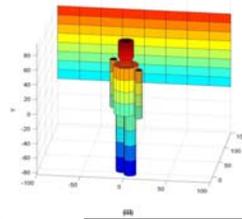
En Europa y otros:

Internacional Centre for Indoor Environment and Energy, Universidad
Técnica de Dinamarca B 402 Dk-2800 Lyngby, Dinamarca. teléfono: fax +45 4525
4041: +45 4593 2166, P. Ole Fanger, E-mail:
fanger@et.dtu.dk

Laboratorio de Ensayos Energéticos para Componentes de la Edificación (parte del Programa de la Comunidad
Europea PASSYS) Plataforma Solar de Almería, Carretera de Senés s/n.,
Apartado 22, E-04200 Tabernas (Almería), Tel. (950) 387922,
Grupo de Arquitectura Bioclimática CIEMAT, Avenida de la Fax (950) 365015, e mail: mjose.jimenez@psa.es,
CIEMAT, Avenida de la Comlutense, no.22, 28040, Madrid, España.

Division of Environmental and Life Sciences, Macquarie University Sydney, NSW 2109, Richard de Dear, Macquarie, e mail:
rdedear@laurel.ocs.mq.edu.au, Australia

Center for Environmental Design Reserch (CEDR), University of California, Berkeley 390 Wurster Hall, #1839, College of Environmental Design
University of California, Berkeley, CA 94720-1839, USA
Telephone: 510-642-2896, Fax 510-643-5571 Ed Arens,
Director e mail: earens@uclink.berkeley.edu, Kathleen
Kuhlman, Management Services Officer e mail:
kathy_k@uclink.berkeley.edu, Gail S. Brager, Ph. D., e mail:
gbrager@socrates.berkeley.edu.



Apéndice B

Instituciones en México, dedicadas
al estudio del confort térmico y
tópicos afines

Apéndice B: Instituciones en México, dedicadas al estudio del confort térmico y tópicos afines

| Nombre de la Institución | Datos de identificación, en su caso URL |
|--|---|
| American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers (ASHRAE). | http://www.ashrae.org . |
| Asociación Nacional de Energía Solar, (ANES), Sección México ISES. | http://www.anes.org.mx . |
| Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado, Facultad de Arquitectura, (CIEPFA), Universidad Nacional Autónoma de México, (UNAM). | Edificio de Posgrado, junto a la Torre II de Humanidades, Ciudad Universitaria, México, DF C.P. 04510, Línea de Investigación: Heliodiseño, Tel. (01 5) 56 22 07 07, 56 22 07 24, Fax 55 50 66 64, Dr. J. Diego Morales Ramírez, e mail: josed@servidor.unam.mx , http://www.ciepfa.unam.mx , |
| Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (IIUNAM). | Ciudad Universitaria, México, DF, C.P. 04510, , Tel. (01 5) 56 22 81 36, Dr. David Morillón Gálvez, e mail: dmg@pumas.iing.unam.mx , http://iingen.unam.mx/ , |
| Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Tecamachalco, (ESIA-Tecamachalco) Instituto Politécnico Nacional, (IPN), México. | Edificio 2, 3er. Piso, Fuente de Leones No.28, Lomas de Tecamachalco, Naucalpan, Edo. de Méx., México, C.P.56500, Tel (01 55) 57 29 63 00, (01 55) 57 29 60 00, Ext. 68023 ó 68022, fax 68023, Mtro. en Arq. J. Raymundo Mayorga Cervantes, e mail: jrmayorga@ipn.mx , mayorgipn@hotmail.com , URL http://www.te.ipn.mx/esiatecamachalco , |
| División de Ciencias y Artes para el Diseño (CYAD), Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco (UAM-Azc). | Av. San Pablo No.180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200, México, DF Tel. (01 5) 5723 5972 y Fax 5723 4369; Tel. 57 24 43 10, 11 y 12, Arq. Víctor Fuentes Freixenet, URL http://www.wazc.uam.mx/cyad/posgrado/ |
| División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa (UAM-Izt). | Av. San Rafael Atlixco No.186, Col Vicentina, Iztapalapa, México, DF, C.P. 09340, Tel. 5804 4644/ 45, Fax 5804 4645, Dr. Juan José Ambríz García, e mail: agj@xanum.uam.mx y Dr. Hernando Romero Paredes Rubio, e mail: hpr@xanum.uam.mx |
| Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Baja California. | Blvd. Benito Juárez s/n, Insurgentes Este, C.P. 21280, Mexicali, B. C. N., México, tel. (686) 566 42 50, Dra. Ramona Alicia Romero Moreno, e mail: ramonaromero@uabc.mx , URL http://cimarron.mx/uabc.mx/FramesetPosgrados.htm |
| Universidad de Sonora (Carrera de Arquitectura e Ingeniería Civil) | Rosales y Blvd. L. D. Colosio s/n, Col. Centro, C.P. 83000, Hermosillo, Son., México, Tel./Fax: +52 (662) 259 2180 y 259 2179, Dr. J. Manuel Ochoa de la Torre, e mail: jmochoa@arq.uson.mx |
| Facultad de Arquitectura, Universidad de Colima, México. | Campus Coquimatlán, Col., México, http://web.ucol.mx/docencia/poegradados/educacion/ |
| Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) | Interior Internado Palmira s/n, Col. Palmira, Cuernavaca, Mor., México, C. P. 62490, Tel. (01 777) 318 7741, Dra. Gabriela Álvarez García, e mail: gaby@cenidet.edu.mx |



Apéndice C

Relación de cuadros, figuras y fotografías

Apéndice C: Relación de cuadros, figuras y fotografías

Relación de cuadros incluidos en el trabajo:

| No. | Descripción | Pág. |
|-----|---|-------|
| 1 | Modelos que explican parcial o totalmente al fenómeno del confort térmico. | 20-22 |
| 2 | Clasificación de modelos formales que abordan diversos aspectos sobre el fenómeno del confort térmico del ser humano. | 38-39 |
| 3 | Categoría de factores externos al ser humano que determinan el confort térmico cuando se encuentra dentro de los edificios. | 55 |
| 4 | Categoría de factores internos o personales del ser humano que determinan el confort térmico cuando se encuentra dentro de los edificios. | 55-56 |
| 5 | Modelo holístico formal que representa al fenómeno del confort térmico del ser humano cuando se encuentra dentro de los edificios y que representa una propuesta de este trabajo, respecto de las variables que conforman el fenómeno citado. | 57-58 |
| 6 | Composición de las variables agrupadas: memoria térmica y expectativas del sujeto ante el confort térmico, que se constituyen así como componentes ó elementos intermedios del paradigma holístico que representa al fenómeno del confort térmico del ser humano cuando se encuentra dentro de los edificios. | 59 |
| 7 | Estudios donde se señalan intervalos de temperaturas para diferentes zonas de confort. | 61-62 |
| 8 | Resumen de diferentes zonas de confort térmico donde se indican amplitud de la zona y temperatura neutra. | 63 |
| 9 | Límites de humedad relativa que determinan una zona de confort térmico en relación con la temperatura del aire. | 64-65 |
| 10 | Velocidades del viento en espacios interiores y su efecto en los usuarios. | 65-66 |
| 11 | Resumen del tipo de estudio y diseño de la investigación ex post facto. | 79 |
| 12 | Definición operacional de las variables para la construcción de los diferentes instrumentos de Investigación. | 81-82 |
| 13 | Estándares e indicadores de las variables, a partir de las cuáles se diseñaron los estudios de observación y de las pruebas experimentales sobre el confort térmico del ser humano. | 82-86 |
| 14 | Características promedio de las aulas teóricas donde se llevaron a cabo los estudios de tipo ex post facto, relativos a la sensación y la preferencia térmica del ser humano. | 89 |
| 15 | Resumen de los estudios ex post facto desarrollados de Diciembre de 2002 a Septiembre de 2003. | 90-91 |
| 16 | Diferentes traducciones de la escala de sensación térmica de P. O. Fanger y que forma parte de la Norma ISO 10551:1995. | 92 |
| 17 | Escala afectiva para valorar la preferencia térmica dentro de este estudio. | 93 |

| No. | Descripción | Pág. |
|-----|---|---------|
| 18 | Resumen del tipo de estudio y diseño de la investigación experimental. | 97 |
| 19 | Grupos de sujetos que participaron en las pruebas experimentales en el Laboratorio de Ambiente Controlado en la UAM Iztapalapa desarrolladas de Mayo a Noviembre de 2003. | 102 |
| 20 | Descripción de temperatura del aire, humedad relativa y hora en que se llevó a cabo cada una de las lecturas y registros de opinión, en los once experimentos o pruebas experimentales respectivas. | 103-105 |
| 21 | Variables independientes incluidas en el análisis de regresión lineal en relación al modelo holístico conceptual, que representa al fenómeno del confort térmico, tanto para el estudio ex post facto, como para el estudio experimental. | 111-113 |
| 22 | Variables independientes que explican la variable dependiente opinión ₄ , (opinión de sensación térmica del sujeto, enfoque cognoscitivo), a partir de los datos del estudio experimental. | 114-115 |
| 23 | Variables independientes que explican la variable dependiente csiente ₂ (opinión de preferencia térmica del sujeto, enfoque afectivo), a partir de los datos del estudio experimental. | 115-116 |
| 24 | Variables independientes que explican la variable dependiente opinión ₄ , (opinión de sensación térmica del sujeto, enfoque cognoscitivo), a partir de los datos del estudio ex post facto. | 116 |
| 25 | Variables independientes que explican la variable dependiente csiente ₂ , (opinión de preferencia térmica del sujeto, enfoque afectivo), a partir de los datos del estudio ex post facto. | 116 |
| 26 | Expresiones matemáticas de los modelos desarrollados en este estudio. | 117 |
| 27 | Coefficientes del Modelo 1 que explican la variable dependiente opinión ₄ , opinión de sensación térmica del sujeto, enfoque cognoscitivo, a partir de los datos del estudio experimental. | 118-119 |
| 28 | Coefficientes del Modelo 2 que explican la variable dependiente csiente ₂ , opinión de preferencia térmica del sujeto, enfoque afectivo, a partir de los datos del estudio experimental. | 119 |
| 29 | Coefficientes del Modelo 3 que explican la variable dependiente opinión ₄ , opinión de sensación térmica del sujeto, enfoque cognoscitivo, a partir de los datos del estudio ex post facto. | 120 |
| 30 | Coefficientes del Modelo 4 que explican la variable dependiente csiente ₂ , opinión de preferencia térmica del sujeto, enfoque afectivo, a partir de los datos del estudio ex post facto. | 120 |
| 31 | Análisis de varianza para probar la hipótesis de la significancia del Modelo 1. | 121 |
| 32 | Análisis de varianza para probar la hipótesis de la significancia del Modelo 2. | 121 |
| 33 | Análisis de varianza para probar la hipótesis de la significancia del Modelo 3. | 121 |
| 34 | Análisis de varianza para probar la hipótesis de la significancia del Modelo 4. | 122 |

| No. | Descripción | Pág. |
|-----|--|---------|
| 35 | Valores de t_0 para probar la significancia de cada variable individual en el Modelo 1. | 122-123 |
| 36 | Valores de t_0 para probar la significancia de cada variable individual en el Modelo 2. | 123-124 |
| 37 | Valores de t_0 para probar la significancia de cada variable individual en el Modelo 3. | 124 |
| 38 | Valores de t_0 para probar la significancia de cada variable individual en el Modelo 4. | 124 |
| 39 | Coeficientes de determinación según modelos ajustados. | 125 |
| 40 | Asignación de valores a las variables independientes para un caso de aplicación del Modelo 1 como predictor. | 126-127 |
| 41 | Escala para valorar el ambiente térmico de un espacio arquitectónico, utilizada para los diferentes estudios experimentales sobre confort térmico, esta fue establecida por P. Ole Fanger y publicada por primera vez en su trabajo “Thermal Comfort” en 1970. | 128 |
| 42 | Información tomada de: “Table 4. Regression Equations” p.77 de “Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering” by P. Ole Fanger, 1970. | 134 |
| 43 | Información tomada de: “Table 4.1: Assessment of the dependence of acceptable indoor temperature ranges on outdoor effective temperature” p.154, de “Developing and Adaptive Model Thermal Comfort and Preference, Final Report ASHRAE RP-884”, del Dr. J. Richard de Dear et al. | 136 |
| 44 | Expresión matemática del modelo de regresión lineal de habitabilidad. | 138 |
| 45 | Relación de variables físicas y psicológicas incluidas en la segunda parte del estudio de “Habitabilidad de la vivienda urbana”. | 139 |
| 46 | Coeficientes Beta para estrés en usuarios de una sala de espera en un centro de salud. | 141 |
| 47 | Variables independientes que determinan a la variable dependiente de los Modelos 1 y 2, las cuáles pertenecen a los seis diferentes subsistemas en que se desagregó nuestro modelo conceptual del confort térmico del ser humano. | 143-145 |
| 48 | Tesis central que se concluye en este trabajo respecto al carácter holístico del fenómeno del confort térmico del ser humano. | 146 |
| 49 | Cruce de las variables temperatura del aire (temperat) y opinión de preferencia térmica del sujeto (csiente2), en el estudio experimental y donde podemos observar los rangos inferior y superior de la zona de confort térmico, ajustándose al 80% de aceptación en la variable csiente2 desde los 18°C hasta los 29°C. | 146-147 |
| 50 | Cruce de las variables temperatura del aire (temperat) y opinión de sensación térmica del sujeto (opinión4), en el estudio experimental. | 147-148 |
| 51 | Cruce de las variables opinión de sensación térmica del sujeto (opinión4) y opinión de preferencia térmica del sujeto (csiente2), en el estudio experimental. | 148-149 |
| 52 | Umbral inferior y superior de diferentes zonas de confort térmico del ser humano, a partir de la temperatura del aire y la humedad. | 149 |

| No. | Descripción | Pág. |
|-----|---|------|
| 53 | Mediciones de la velocidad del aire producidas por el “minisplit” en diferentes puntos dentro de la cámara fría o de confort del LAC de la UAM-Iztapalapa, en las pruebas experimentales desarrolladas de Mayo a Noviembre de 2003. | 169 |

Relación de figuras incluidas en el trabajo:

| No. de Figura | Descripción | Pág. No. |
|---------------|---|----------|
| 1 | Uno de los primeros modelos que se utilizaron a partir de la segunda mitad del siglo XX, para determinar la zona de bienestar ó de confort térmico, fue el que estableció Víctor Olgay (1963) en su trabajo “Desing with Climate”. | 17 |
| 2 | Uno de los trabajos más recientes sobre el estudio del confort térmico, fue el que desarrolló Richard de Dear et al (1997) en Australia y que se llama “Developing and Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, ASHRAE RP-884”. | 18 |
| 3 | Representación simplificada de la regulación de la temperatura mediante el análogo hidráulico (esquema tomado de Russek Mauricio, “Regulación y Control en Biología”, p. 100). | 35 |
| 4 | Representación esquemática de la regulación de la temperatura en animales grandes, como lo es el hombre (esquema tomado de Russek Mauricio, capítulo “Sistemas Regulatorios de la Fisiología Animal”, del Libro Regulación y Control en Biología p.104) | 36 |
| 5 | Esquema general del proceso de investigación científica, del cuál se derivaron los estudios Ex Post Facto y Experimental de este trabajo, Figura tomada de “Análisis Cuantitativo”. | 51 |
| 6 | Modelo formal No.1, donde se muestran los dos grandes grupos de factores externos (el ambiente) e internos (las partes bio-psico-social del hombre) y como resultado de la interacción de estas dos, el concepto de confort térmico. | 54 |
| 7 | Modelo formal No. 2, donde se representa gráficamente la propuesta de dos categorías (factores internos y factores externos) subdivididas en tres grupos cada una de ellas, donde además se observa el fenómeno del confort térmico como resultado central de la interacción de todos los factores indicados. | 56 |
| 8 | Esquema general que representa al fenómeno del confort térmico, las variables que lo componen y la interrelación entre ellas. | 60 |
| 9 | Esquema general del Laboratorio de Ambiente Controlado, perteneciente al Área de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, en México, DF. | 100 |
| 10 | Cámara fría y de confort, donde se llevaron a cabo las pruebas de sensación y preferencia térmica a los sujetos de estudio, cuyas sesiones se realizaron en diferentes días y en las cuáles participaron de 10 a 15 sujetos en promedio en cada sesión. | 101 |
| 11 | Cuarto de control desde el cuál se dieron las instrucciones para que los sujetos de estudio externaran su opinión a través del cuestionario que previamente se les entregó y que fueron llenando dentro de la cámara fría y de confort. | 102 |

- 12 Ubicación en planta de los puntos donde se hizo la medición de la velocidad del aire dentro de la cámara fría y de confort del LAC de la UAM-Iztapalapa, en las pruebas experimentales desarrolladas de Mayo a Noviembre del 2003. 169

Relación de fotografías incluidas en el trabajo:

| No. de Fotografía | Descripción | Pág. No. |
|-------------------|---|----------|
| 1 y 2 | Imágenes del Laboratorio de Heliodiseño del Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, donde se llevan a cabo investigaciones de tipo básico y aplicado en el tema de la Física Ambiental aplicada al Diseño Arquitectónico. | 11 |
| 3 | Comprender mejor el concepto de confort térmico permite mejorar los métodos de diseño arquitectónico con enfoque bioclimático y con ello mejorar la habitabilidad de los edificios, (Casa de Tacubaya, México, DF, Luis Barragán, 1947) | 12 |
| 4 | Los modelos más importantes para analizar el confort térmico del ser humano, se han desarrollado a partir de estudios experimentales, principalmente en países Europeos, de Australia y de USA. | 19 |
| 5 | El clima es una variable importante a considerar dentro de la construcción del concepto de confort térmico. | 24 |
| 6 | La Ciudad de México representa un parque edilicio de grandes dimensiones y donde lograr la habitabilidad de sus espacios arquitectónicos resulta de gran importancia, ahí, el confort térmico es una de las variables importantes, por el ahorro energético que representaría hacerlo por medio de sistemas pasivos, aunque debe aclararse que en climas extremos, dicho ahorro es todavía mayor. | 26 |
| 7 | Imagen de pruebas experimentales sobre confort térmico reportadas por ASHRAE, en donde queda manifiesta la importancia de registrar variables del medio físico, factores personales como vestimenta, edad, sexo y actividad entre muchos otros. | 43 |
| 8 | Aplicación de la primera prueba ex post facto a un grupo de estudiantes del primer semestre de la carrera de Ingeniero Arquitecto en la ESIA-Tecamachalco del IPN, en Diciembre de 2002. | 52 |
| 9 | Edificio No.2 de Aulas de la ESIA-Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional, foto tomada desde la dirección nor-poniente, ubicado en Lomas de Tecamachalco, Naucalpan, Estado de México, México. | 57 |
| 10 | En la imagen podemos observar una particular sensación y preferencia térmica del ser humano a los ambientes muy fríos. | 74 |
| 11 | En esta imagen podemos observar un Restaurante en la Ciudad de Villa Hermosa, Tabasco, México, el cual esta dividido por un gran cristal transparente y donde los comensales eligen en que parte del Restaurante quieren estar para comer, en esta parte se encuentran equipos de aire acondicionado –minisplits-. | 75 |
| 12 | En esta imagen del mismo Restaurante de la foto anterior, podemos observar como hay comensales que prefieren comer en la zona que no cuenta con equipos mecánicos de aire acondicionado y donde solamente cuentan con ventilador que da | 76 |

| No. de Fotografía | Descripción | Pág. No. |
|-------------------|---|----------|
| | movimiento al aire pero que no lo enfría, esto debido a que según frases populares de esa región, dicen: “cuando se toma cerveza, hay que sudarla”. | |
| 13 | Aula teórica del Edificio No.2 de la ESIA-Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional, ubicado en Lomas de Tecamachalco, Naucalpan, Estado de México, México. | 78 |
| 14 | Aula teórica del Edificio No.2 de la ESIA-Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional, foto tomada desde la parte posterior del aula en dirección Nor-poniente. | 79 |
| 15 | Una parte de las pruebas ex post facto se llevaron a cabo en edificios escolares de la ESIA Unidad Tecamachalco del IPN, aquí podemos observar la fachada Nor-poniente del Edificio No.1 de Aulas. | 80 |
| 16 | Aula No. 502, del Instituto Tecnológico de Acapulco, uno de los espacios donde se imparte la carrera de Arquitectura y donde se llevaron a cabo las pruebas ex post facto respectivas, se encuentra ubicada en el Municipio de Acapulco, Gro. en un bioclima cálido-húmedo. | 87 |
| 17 | Aula del CETIS No.117 donde se llevaron a cabo pruebas ex post facto sobre el confort térmico, ubicado en Coyuca de Benítez Gro., México, con un bioclima cálido húmedo. | 87 |
| 18 | Pasillo de acceso a las aulas y cubículos de profesores del área de Licenciatura, Edificio No.2 de la ESIA-Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional y donde se aplicaron parte de las pruebas ex post facto a grupos de estudiantes de dicha institución de Diciembre de 2002 a Junio de 2003. | 88 |
| 19 | Otro imagen de la aplicación de las pruebas ex post facto en las aulas de la ESIA-Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional, la cuál se encuentra ubicada en una pequeña cañada que corresponde a un bioclima semi-frío húmedo. | 92 |
| 20 | Imagen donde se observa el levantamiento de datos de temperatura corporal, presión sanguínea y ritmo cardiaco en alumnos de la ESIA-Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional, para elaborar la base de datos de las pruebas ex post facto. | 93 |
| 21 | Imagen de los pasillos interiores, de las aulas donde se realizaron parte de las pruebas ex post facto, tomada en dirección Este-oeste en el Edificio No.1 de Aulas de la ESIA-Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional. | 94 |
| 22 | Imagen que muestra el acceso sobre un pasillo interior, a la cámara fría y de confort, del Laboratorio de Ambiente Controlado, el cuál se encuentra ubicado en la planta baja del edificio “Carlos Graef” de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. | 96 |
| 23 | Imagen que muestra el interior de la cámara fría y de confort, donde se observa el “mini-split”, el acceso a la cámara y el humidificador. Dicha cámara es parte del Laboratorio de Ambiente Controlado de la UAM-Iztapalapa. | 97 |
| 24 | Cuarto de Control del Laboratorio de Ambiente Controlado de la UAM-Iztapalapa. | 98 |
| 25 | En esta imagen se observan las tarjetas de monitoreo, control y adquisición de datos, que se encuentran ubicados en el cuarto de control del Laboratorio de Ambiente Controlado, de la UAM-Iztapalapa. | 99 |

| No. de Fotografía | Descripción | Pág. No. |
|--------------------------|--|-----------------|
| 26 | Otra imagen interior de la cámara fría y de confort donde se pueden observar a los estudiantes participando en una de las pruebas experimentales, al fondo podemos ver la ventanilla que comunica visualmente el cuarto de control y esta cámara. | 106 |
| 27 | Área de trabajo del cuarto de control donde se monitorean y se controlan a través de la computadora, las condiciones ambientales tanto de la cámara fría y de confort, como de la cámara caliente. | 106 |
| 28 | Imagen donde se observa el falso plafond de la cámara fría y de confort, del lado izquierdo se encuentra el sensor de CO ₂ y del lado derecho el sensor de temperatura, el cuál puede ubicarse a diferentes niveles sobre el nivel del piso de la cámara. | 107 |
| 29 | Imagen interior de la cámara fría y de confort donde se observa la aplicación de pruebas experimentales a un grupo de alumnos de la ESIA-Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional para conformar la base de datos del estudio experimental. | 107 |
| 30 | Imagen que muestra el cerebro o tarjeta principal de control, el cuál se encuentra ubicado en el cuarto de control del Laboratorio de Ambiente Controlado. | 108 |



Apéndice D

Anexos

Apéndice D: Anexos

Anexo 1.- Equipo portátil utilizado en las observaciones de la investigación tipo ex post facto y experimental

Equipo No.1.- Termómetro/ Higrómetro, para interior y exterior (utilizado en el estudio ex post facto):

Termómetro/ Higrómetro, para interior y exterior: Modelo 63-687A, Marca: Radio Shack, Tandy Corporation.

Especificaciones técnicas:

Requerimientos de potencia: Corriente directa 3 V o dos baterías “A A”

Intervalo de medición: Interiores: de -5°C a 50°C
Exteriores: de -50°C a 70°C

Resolución: 0.1°C

Precisión:

Interior +/- 1°C de 0°C a 40°C
+/- 2°C de -5°C a <0°C
y de >40°C a 50°C

Exterior +/- 1°C de 0°C a 40°C
+/- 2°C de -40°C a <0°C
y de >40°C a 50°C
+/- 3°C de -50°C a <-40°C
y de >50°C a 70°C

Escala de selección: En grados centígrados (° C) y en grados Fahrenheit (° F)

Tipo de pantalla: L C D

Peso: 190 g

Dimensiones (L x A x H): 15.2 x 8.3 x 1.6 centímetros

Equipo No.2.- Termómetro infrarrojo de oído (utilizado en el estudio ex post facto y experimental):

Termómetro infrarrojo de oído: Modelo BE-510, Marca: Besmed Health Business Corp.

Especificaciones técnicas:

Error de laboratorio máximo permisible: ASTM E 1965-98 estándar

| | |
|---|--|
| Intervalo: | Error: |
| 36.0°C a 39.0°C | +/-0.2°C |
| <36°C ó > 39°C | +/-0.3°C |
| | Lo anterior de acuerdo con los estándares de seguridad IEC60601-1, IEC60601-1-2(EMC) |
| Funciones: | |
| Intervalo de medición de temperatura: | De 34.0°C a 42.2°C |
| Intervalo de temperatura ambiente: | De 10°C a 40°C |
| Intervalo de temperatura almacenamiento: | De -20°C a 50°C |
| Tiempo de respuesta: | De 1 a 2 segundos |
| Tiempo de medición: | <5 segundos |
| Modo display | Oral |
| Escala de selección: | En grados centígrados (°C) y en grados Fahrenheit (°F) |
| Tipo de pantalla: | LCD |
| Memoria: | Hasta 9 distintas mediciones |
| Cubierta disponible de la punta indicadora: | Anillo de presión con película en la cubierta |
| Detección de la punta indicadora: | Si |
| Activación: | Botón de escaneo |
| Diseño: | Ergonómico para manos |
| Tipo de sensor: | Termopile |
| Tipo de batería: | CR2032 |
| Caja: | Plástico |
| Dimensiones (L x A x H): | 14.0 x 3.8 x 3.0 centímetros |
| Peso: | 70 g |

Equipo No.3.- Medidor Digital de Presión Sanguínea con inflado manual (utilizado en el estudio ex post facto y experimental):

Medidor Digital de Presión Sanguínea con inflado manual Modelo HEM-412C, Marca: OMRON

El equipo contiene:

1 Monitor oscilamétrico digital de tensión arterial:

Requerimientos de potencia: Cuatro baterías “A A”

Intervalo de medición: De 20 a 300

Caja: Plástico

Tipo de pantalla: LCD

Resolución: 0.1°C

Precisión:

Material: Plástico

Activación: Botón ON /OFF

Escala de selección: En milímetros de mercurio (mmHg) para presión sistólica y para presión diastólica

Peso: 210 g

Dimensiones (L x A x H): 12.3 x 8.3 x 5.2 centímetros

1 Brazaletes inflable para el brazo:

Inflado: Manual

Dimensiones: Se adapta al brazo con dimensiones que van de 9 pulgadas a 13 pulgadas en circunferencia

Material: Tela y plástico

Peso: 180 g

Anexo 2.-Registro de velocidades del aire dentro de la cámara fría y de confort del Laboratorio de Ambiente Controlado

A continuación se presentan las velocidades del aire medidas dentro de la cámara donde se llevaron a cabo las pruebas experimentales de confort térmico con seres humanos y que eran producto del mini-split, equipo de aire para enfriar el ambiente, la altura de entrepiso dentro de la cámara fría y de confort es de: 2.25 m, del nivel de piso terminado al lecho bajo del falso plafond.

Cuadro 53. Mediciones de la velocidad del aire producidas por el mini-split en diferentes puntos dentro de la cámara fría ó de confort del LAC de la UAM-Iztapalapa, en las pruebas experimentales desarrolladas de Mayo a Noviembre de 2003.

| Mediciones desde el techo | *Puntos donde se llevaron a cabo las mediciones, velocidad del aire en m/s | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 0.25 m | 0.16 | 0.40 | 1.50 | 0.13 | 0.22 | 0.09 | 0.23 | 0.00 | 0.29 | 0.14 | 0.21 |
| 0.50 m | 0.10 | 0.07 | 0.26 | 0.05 | 0.38 | 0.42 | 0.25 | 0.01 | 0.29 | 0.05 | 0.16 |
| 1.00 m | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.00 | 0.04 | 0.09 | 0.16 | 0.13 | 0.13 | 0.05 | 0.13 |

*Cabe señalar que los puntos de medición del 1 al 11 se distribuyeron de manera uniforme dentro de la superficie de la cámara fría y de confort.

Respecto a las velocidades del aire registradas para las rejillas que son por donde se inyectó el aire caliente para las pruebas experimentales, estas fueron en todos los casos menores a 1 m/s.

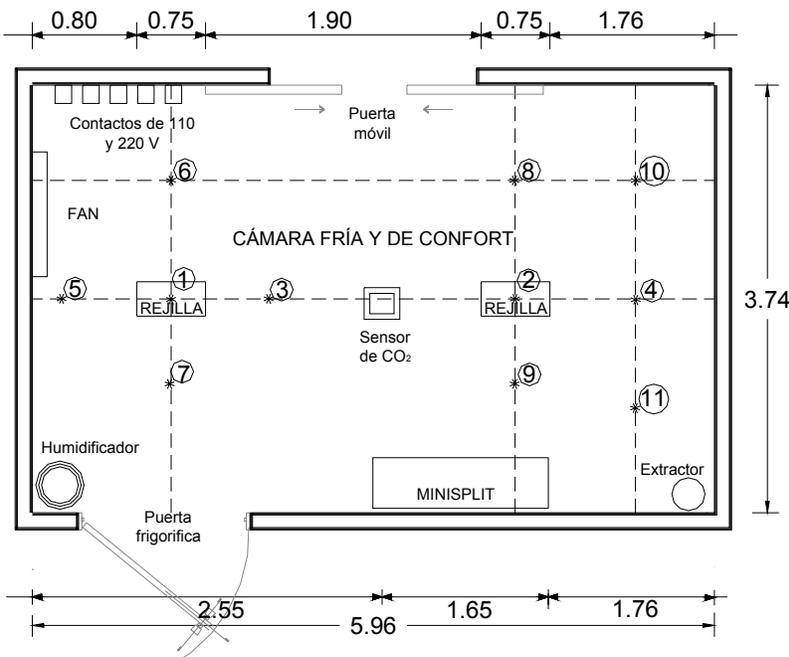


Fig. No.12.- Ubicación en planta de los puntos donde se hizo la medición de la velocidad del aire dentro de la cámara fría y de confort del LAC de la UAM-Iztapalapa, en las pruebas experimentales desarrolladas de Mayo a Noviembre del 2003.



Bibliografía y mediografía

Bibliografía y mediografía

Bibliografía temática:

- ALEMANY BARRERAS Alba et al (1986) “Climatología, Iluminación y Acústica”, Departamento de Ediciones ISPJAE, Ciudad La Habana, Cuba, 358 p. p. p.
- ASHRAE (1992) “ANSI/ASHRAE Standard 55-1992, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”, American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers Inc., Atlanta, USA, 1992.
- ASHRAE (2004) “ANSI/ASHRAE Standard 55-2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”, American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers Inc., Atlanta, USA, 2004.
- ASHRAE (1997) “Handbook Fundamentals”, I-P Edition American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc. Atlanta GA, EE.UU.
- AULICIEMS A. (1981) “Towards a Psicho-Physiological Model of Thermal Perception”, International Journal of Biometeorology, Vol. 25, p.p. 109-122, 1981.
- AULICIEMS A. (1982) “Psicho-Physiological Criteria for Global Thermal Zones of Building Design”, Int. J. of Biometeorology Supplement to Vol. 26, Proceedings Int. Biometry Congress p.69
- AULICIEMS A. and DE DEAR Richard J. (1986 a) “Air conditioning in a tropical climate: Impacts upon European residents in Darwin, Australia”, International Journal of Biometeorology, Vol. 30 (3), pp. 259-282, 1986.
- AULICIEMS A. and DE DEAR Richard J. (1986 b) “Air conditioning in a Australia -I- Human thermal factors”, Architectural Science Review, Vol. 29 (3), pp. 67-75, 1986.
- AULICIEMS A. (1989) “Thermal Comfort, In Building Design and Human Performance”, Ed. Ruck N., New York: Van Nostrand, USA, p.p. 71-88, 1989.
- AULICIEMS Andris and SZOKOLAY Steven V. (1997) “Thermal Comfort”, Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA) Notes 97, University of Queensland, Australia, 1997.
- BELDING H. S. y HATCH T. F. (1955) “Index for Evaluating Heat Stress in Terms of Resulting Physiological Strains”, Heating, Piping and Air Conditioning Journal, Agosto 1955.
- BRAGER G. S., FOUNTAIN M.E., BENTON C.C., ARENS E. A. And BAUMAN (1994) “A Comparison of Methods for Assessing Thermal Sensation and Acceptability in the Field”, Proceedings Thermal Comfort: Past, Present and Future (ed: Oseland N. A., and Humphreys Michael A.), pp. 52-72, Garston, United Kingdom, 1994.
- BRAGER G. S. and DE DEAR Richard J. (1998) “Thermal Adaptation in the Built Environment: a Literature Review”, Energy and Buildings, Vol. 27, pp. 83-96, 1998.
- BRAVO G., GONZALEZ E., RODRIGUEZ L., OHNARI K. y MORAN M. (2000) “Sensación Térmica y Confort en Condiciones Cálidas y Húmedas”, Memorias COTEDI 2000, Conferencia Internacional sobre Confort y Comportamiento Térmico de Edificaciones, Maracaibo, Venezuela, 2000.

- BULGHERONI Raúl (1985) “Ciumanidad”, Primera Edición, Editorial Diana S. A., ISBN 968-13-1647-9, DF., México, 1985, 244 p.
- CANO Krzysztof and DE DEAR Richard J. (1998) “Field study of occupant comfort and office thermal environments in a hot-arid climate”, Final Report ASHRAE RP-921, ISBN 0-86905-648-4, Institute for Environmental Science, Murdoch University, Perth, WA 6150, Australia, Division of Environmental and Life Sciences, Macquarie University, Sydney, NSW 2109, Australia, December 1998, pp. 93.
- CABANAC Michael (1981) “Physiological Signals for Thermal Comfort”, In: Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort (ed.: Cena K. and Clark J. A.), pp. 181-192, Elsevier, Amsterdam, Holland, 1981.
- CHÁVEZ DEL VALLE Francisco Javier (2002) “Zona Variable de Confort Térmico”, Universidad Politécnica de Cataluña, España, Mayo-2002, 182 p.
- DE DEAR Richard J. (1994) “Outdoor Climatic Influences on Indoor Thermal Comfort Requirements, In: Thermal Comfort: Past, Present and Future” (ed: Oseland N. A., and Humphreys Michael A.), United Kingdom: BRE, 1994.
- DE DEAR Richard J., et al (1997) “Developing and Adaptive Model Thermal Comfort and Preference, Final Report ASHRAE RP-884”, March 1997, Macquarie Research Ltd., Macquarie University, Sydney, Australian, Center for Environmental Design Research, University of California, Berkeley, USA, “Results of Cooperative Research between The American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., (ASHRAE), and Macquarie Research, Ltd.
- DE DEAR Richard J. (1998) “A Global Database of Thermal Comfort Field Experiments”, ASHRAE Transactions, Vol. 104 (1b), p.p. 1141-1152, 1998.
- DE DEAR Richard J. (1999) “Adaptive Thermal Comfort in Natural and Hybrid Ventilation”, Technical Paper, presented at the First International One Day Forum on Natural and Hybrid Ventilation, HybVent Forum’99, 09/1999, Sydney, Australia, 1999.
- EGAN David M. (1975) “Concepts in Thermal Comfort”, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, ISBN 0-13-166447-6, New Jersey, USA, XIII-203 p.
- EVANS John Martin (1980) “Housing, Climate and Comfort”, The Architectural Press Limited, ISBN 0-85139-102-8, London, Great Britain, 186 p., 1980.
- EVANS John Martin (2000) “Técnicas Bioclimáticas de Diseño: Las Tablas de Confort y los Triángulos de Confort”, Memorias de COTEDI 2000, (Conferencia Internacional sobre Confort y Comportamiento Térmico de Edificaciones), Maracaibo, Venezuela Junio 2000.
- FANGER P. Ole (1970) “Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering”, Danish Technical Press, Copenhagen 1970, Mc Graw Hill, New York, USA, 1973.
- FERNANDEZ GONZALEZ Alfredo (2003) “Historia de los Índices de Confort Térmico”, Serie: Estudios de Arquitectura Bioclimática Vol. V, compilador Manuel Rodríguez Viqueira, UAM-Azcapotzalco, Editorial LIMUSA, S.A. de C. V. Grupo Noriega Editores, DF. México, pp. 162-179, 2003.
- FUENTES FREIXANET Victor Armando (2002) “Metodología de Diseño Bioclimático, el análisis climático”, Tesis de Maestría, División de Ciencias y Artes para el Diseño, UAM-Azcapotzalco, México DF,

2002, 385 p.

- FUENTES FREIXANET Víctor (1991) “Arquitectura y Energía, Control Térmico en Edificaciones”, que forma parte del libro: “Manual de Arquitectura Solar”, Compiladora Lacomba Ruth, Primera edición, ISBN 968-24-3614-1, Editorial Trillas, S.A. de C. V., DF., México, 1991, 292 p.
- GAGGE A. P., NISHI Y., GONZÁLEZ R. R. (1972) “Standard Effective Temperature. A Single Temperature Index of Temperature Sensation and Thermal Discomfort”, CIB Symposium on Thermal Comfort and Moderate Heat Stress. Londres Inglaterra: Building Reserch Station, 13-15 de Septiembre 1972, 22 p.
- GARCÍA CHÁVEZ José Roberto. y FUENTES FREIXANET Víctor (1995) “Viento y Arquitectura”, Segunda Edición, Editorial Trillas S.A. de C. V. ISBN 968-24-4720-8, México, 1995, 196 p.
- GIVONI Baruch y BERNER-NIR E. (1967) “Effect of Solar Radiation on Physiological Heat Strain in Relation to Work and Clothing”, Research Report, Building Research Station, Technion-Haifa, Israel.
- GIVONI Baruch (1976) “Man, Climate and Architecture”, Applied Science Publishers, Ltd., London, England, 1976, 483 p.
- GONZÁLEZ Eduardo, HINZ Elke, OTEIZA Pilar de y QUIROZ Carlos (1986) “Proyecto, Clima y Arquitectura”, Volumen 1, 2 y 3, Primera edición, Instituto de Investigaciones de Arquitectura y Sistemas Ambientales, Facultad de Arquitectura, Universidad de Zulia, Maracaibo y Ediciones G. Gili, S.A. de C. V. ISBN Obra 968-887-015-3, DF, México, 1986, Tomo I 198 p., Tomo II 186 p., Tomo III 215 p.
- GONZÁLEZ CRUZ Eduardo Manuel y BRAVO MORALES Gaudy Claret (2003) “Sobre el Confort Térmico: Temperaturas Neutrales en el Trópico Húmedo” (pp. 93-102), tomado de: “Estudios de Arquitectura Bioclimática”, Anuario 2003, Vol. V, Compilador Manuel Rodríguez Viqueira, Primera edición, Editorial LIMUSA S.A. de C. V., Grupo Noriega Editores, ISBN 968-18-6572-3, DF., México, 2003, 231 p.
- HERNÁNDEZ TOLEDO Mario (1991) “Bienestar Térmico Humano”, que forma parte del libro: “Manual de Arquitectura Solar”, Compiladora Lacomba Ruth, Primera edición, ISBN 968-24-3614-1, Editorial Trillas, S.A. de C. V., DF., México, 1991, 292 p.
- HUMPHREYS Michael A.(1976) “Field Studies of Thermal Comfort Compared and Applied”, Building Services Engineering, 44 p., p.p. 5-27, 1976.
- HUMPHREYS Michael A.(1978) “Outdoor Temperatures and Comfort Indoors”, Building, Research and Practice, (Batiment International) March /April, pp. 91-105, 1978.
- HUMPHREYS Michael A.(1994) “Field Studies and Climate Chamber Experiments in Thermal Comfort Reserch”, Proceedings Thermal Comfort: Past, Present and Future (ed: Oseland N. A., and Humphreys Michael .A.), pp. 52-72, Garston, United Kingdom, 1994.
- ISO International Organization for Standardization (1994) ISO 7730, “Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort”, International Organization For Standardization, 2nd. Ed., Geneva, Switzerland, 1994.
- ISO International ISO 10551: 1995, “Ergonomic of the Thermal Environment, Assessment of

- Organization for Standardization (1995) for the Influence of the Thermal Environment Using Subjective Judgment Scales”, 18 p., Technical Comity: ISO/TC 159/SC 5, fecha de publicación: 18-mayo-1995.
- JÁUREGUI OSTOS Ernesto (1990) “The Human Climate of the Tropical Cites, an Overview”, Memoria I Encuentro Nacional de Diseño y Medio Ambiente, Universidad de Colima, Colima, México, pp.56-67, 1990.
- JÁUREGUI OSTOS Ernesto (1994) “Notas de Bioclimatología Humana”, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, Julio de 1994, (no publicadas).
- KOENIGSBERGER O. H.; INGERSOLL T. G. y SZOKOLAY S. V. (1977) “Viviendas y Edificaciones en Zonas Cálidas y Tropicales”, Editorial Paraninfo, Madrid, España.
- KOENIGSBERGER O., MAHONEY C., EVANS J. M. (1973) “Diseño de Viviendas Económicas y Servicios de la Comunidad. El Clima y el Diseño de Casas”, Volumen I, S.69, IV.11, Naciones Unidas, New York, USA, 90 p.
- LUPTON E. y MILLER A. J. (1994) “El ABC de la Bauhaus y la Teoría del Diseño”, Editorial Gustavo Gili, ISBN: 968-887-254-7, Barcelona, España, 63 p.
- MASTERTON J. M. y RICHARDSON F. A. (1979) “A method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity”, Downs view, Ontario, Canada, AES, Environment Canada, CLI 1-79, 1979.
- MAYORGA CERVANTES Juan Raymundo (1995) “Apuntes de Arquitectura Bioclimática”, Registro S. E .P. No.73520, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Tecamachalco, Instituto Politécnico Nacional, Edo. de Méx., México, 50 p.
- MAYORGA CERVANTES Juan Raymundo (2001) “Modelo Holístico para Analizar el Confort Térmico del Ser Humano dentro de la Vivienda Rural”, Memoria del III Seminario y Taller Iberoamericano sobre Vivienda Rural y Calidad de Vida en los Asentamientos Rurales, p. p. 417-419, CYTED-HABYTED-RED XIV-E (España), Universidad de Oriente, Cuba, Santiago de Cuba, Julio de 2001.
- MAYORGA CERVANTES Juan Raymundo (2001) “Génesis: Comodidad Térmica en la Arquitectura”, Revista Esencia y Espacio, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Tecamachalco, IPN, Nueva Época, Año 1, julio-septiembre de 2001, Número 14, pp. 27-30, México.
- MAYORGA CERVANTES Juan Raymundo (2002) “Modelo holístico para analizar el confort térmico del ser humano dentro de los edificios” (ERE 01-03) XXVI Semana Nacional de Energía Solar, Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), en la Ciudad de Chetumal, Q. R., México, del 11 al 15 de Noviembre de 2002.
- MAYORGA CERVANTES J. R. y MORALES RAMÍREZ J. D. (2003) “El confort térmico del ser humano dentro de los edificios, una visión holística” (ERE 01-13) XXVII Semana Nacional de Energía Solar, Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), en la Ciudad de Chihuahua, Chih., México, 6 al 10 de Octubre de 2003.
- MAYORGA CERVANTES J. Raymundo, AMBRÍZ GARCÍA Juan José: y ROMERO PAREDES RUBIO Hernando (2004) “Determinación Experimental de Variables del Confort Térmico con Población Mexicana”, (ERE 01-53), XXVIII Semana Nacional de Energía Solar, Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), en la Ciudad de Oaxaca, Oax., México, 4 al 8 de Octubre de 2004, pp.141-145.

- MAYORGA CERVANTES J. Raymundo. y MORALES RAMÍREZ J. Diego (2004) “Zona de Confort Térmico para un caso de Población Mexicana”, (ERE 01-52), XXVIII Semana Nacional de Energía Solar, Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), en la Ciudad de Oaxaca, Oax., México, 4 al 8 de Octubre de 2004, pp.135-140.
- MCINTYRE D. A. (1981) “Design Requirements for a Comfortable Environment”, In: Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort (ed.: Cena K. and Clark J. A.), Elsevier, Amsterdam, Holland, 1981. pp. 157-168
- MERCADO DOMÉNECH Serafín Joel et al (1995) “Habitabilidad de la Vivienda Urbana”, Primera edición, UNAM, ISBN 968-36-4670-0, D. F., México, Octubre 1995, 188 p.
- MESA ARIZABALO Néstor Alejandro (1997) “Parámetros que Intervienen y se Interrelacionan para Definir la Zona de Confort Higrotérmico, dentro de un Ambiente Arquitectónico, Diseñado para la Práctica de Actividades Deportivas”, Tesina de Especialización en Heliodiseño, Posgrado en Energía Solar de la Unidad Académica de los ciclos Profesional y de Posgrado del C. C. H. y la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Arquitectura de la UNAM. D. F., México, 78 p.
- MORALES RAMÍREZ José Diego (1993) “Estudio de Techos de Edificios Construidos para Operar en Forma Pasiva”, Tesis de Doctorado en Arquitectura, Tecnología, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Arquitectura, UNAM, D. F., México, 119 p.
- MORALES RAMÍREZ José Diego et al (1998) “Estudio para el Ahorro de Energía de Edificios para la Ciudad de México”, Primera Edición, Facultad de Arquitectura, Instituto de Geofísica, UNAM, ISBN 968-36-6572-1, México, 150 p.
- MORILLON Gálvez David (1993) “Bioclimática, Sistemas Pasivos de Climatización”, Universidad de Guadalajara, Editorial Doble Luna S.A., Guadalajara, Jal., México.
- MORILLON Gálvez David (2004) “Impacto del Clima y la Cultura en las Consideraciones Semióticas de la Arquitectura Bioclimática”, Serie: Estudios de Arquitectura Bioclimática, Vol. VI, Compilador Manuel Rodríguez Viqueira, UAM-Azcapotzalco, Editorial LIMUSA, S.A. de C. V., Grupo Noriega Editores, D. F., México, pp. 11-22, 2004.
- MORILLON Gálvez David (2004) “Atlas del bioclima de México”, ISBN 970-32-1904-7, SID/644, Serie Investigación y Desarrollo, ISBN 970-32-0196-2, Instituto de Ingeniería UNAM, D. F. México, Octubre de 2004, 138 p.
- NICOL J. Fergus (1993) “Thermal Comfort, a Handbook for Field Studies Toward an Adaptive Model”, UK: University of East London, 1993.
- NICOL J. Fergus (1994) “Some Like it Hot, Comfort and Energy in Pakistan”, Proceedings European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings”, Lyon, France, 1994.
- NICOL J. Fergus, RAJA I. A., ALLAUDIN A. y JAMI G. N. (1999) “Climatic Variations in Comfortable Temperatures: the Pakistan Projects”, Energy and Buildings, 30, 1999.
- OLGYAY Victor (1963) “Design whit Climate, Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism”, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA, 190p.
- PÉREZ VALDÉS Olga Rosa (1989) “Aspectos Térmicos”, Grupo Física Ambiental, Dirección de Proyectos, Ministerio de la Construcción, (MICONS), Enero de 1989, Ciudad de la

- Habana, Cuba, 88 p.
- PUPPO Ernesto y PUPPO Valeria (1980) “Un Espacio para Vivir”, Primera edición, Editorial Ediciones Técnicas Marcombo S.A., ISBN: 84-267-0391-7, Barcelona, España, 1980, 103 p.
- RACOTTA POULIEFF Radu (2000) “Metabolismo Energético, la Fuente Oculta de la Vida”, Revista Academia del IPN, Año V, Número 26, Marzo-Abril 2000, Publicación Bimestral, D. F., México, p. p. 37-48.
- RAMÓN Fernando (1980) “Ropa, Sudor y Arquitecturas”, H. Blume Ediciones, ISBN 84-7.214-193-4, Madrid, España, 124 p.
- RIVERO Roberto (1988) “Arquitectura y Clima”, Primera edición, Universidad Nacional Autónoma de México, ISBN 968-36-0487-0, D. F., México, Noviembre 1988, 267 p.
- RUSSEK Mauricio y CABANAC Michael (1990) “Regulación y Control en Biología”, Serie Premios Nacionales en Ciencias, 1ª Reedición, Editorial Instituto Politécnico Nacional, ISBN 968-29-2673-4, México, 148 p.
- SANDOVAL ALVAREZ Leandro, PINEDA LARIOS Ricardo y BANDALA LÓPEZ Olimpia E (2004). “Aplicación del Índice Humidex para el estudio de las condiciones de confort térmico en un edificio dedicado a educación”, ERE 01-56, Memoria de la XXVIII Semana Nacional de Energía Solar, ANES, celebrada del 4 al 8 de octubre del 2004, en la Ciudad de Oaxaca, Oax., México, p. p. 159-163.
- SZOKOLAY Steven V. (1984) “Passive and Low Energy Design for Thermal and Visual Comfort”, Conference Proceedings on Passive and Low Energy Architecture (PLEA) 84, D.F., México, 1984, p.p. 11-28.
- SZOKOLAY Steven V. (1990) “House Design for Overheated Environments”, Memoria I Encuentro Nacional de Diseño y Medio Ambiente, Universidad de Colima, Colima, México, pp.10-18, 1990.
- TUDELA Fernando (1982) “Ecodiseño”, Colección Ensayos, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, ISBN 968-597-431-4, D. F., México, Tercer Trimestre 1982, 235 p.
- YUAN X., CHEN Q. y GLICKSMAN L. R. (1997) “Experimental Validation of a Computational Fluid Dynamics Model for Modeling Displacement Ventilation Flows”, Phase 2 report ASHRAE TC 5.3 “Room Air Distribution on Performance Evaluation and Development of Design Guidelines for Displacement Ventilation (RP-949)”, MIT, Cambridge, USA, (draft version), 1997.

Bibliografía de metodología de la investigación y complementaria:

- ARTEAGA AVENDAÑO Elizabeth et al (2000) “Análisis de las actividades de capacitación sobre salud reproductiva en áreas rurales”, Serie Investigación y Evaluación 5, Primera Edición, Instituto mexicano del Seguro Social (IMSS), ISBN-968—824-755-3, México, Octubre de 2000, pp.36-55 (y su anexo pp. 1-21)
- BAIRD D. C.(1991) “Experimentación: Una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos”, Primera edición en español, Editorial Prentice Hall, Hispanoamericana S. A., ISBN 968-880-223-9, D. F., México, 207 p.

- BARRIGA HERRERA DÍAZ Mónica (1999) “Diseño y proyecto de una cámara de ambiente controlado para el estudio del confort higro-térmico, aire acondicionado y refrigeración”, Tesis de Maestría en Diseño, UAM-Azcapotzalco, DF. México, 1999. (Documento no publicado, para consulta en Biblioteca UAM-Azcapotzalco) pp.31-50.
- CABALLERO CABALLERO Magdaleno (1994) “Diseño de un prototipo de sistema mixto de climatización natural”, Tesis de Maestría en Ciencias en la Especialidad de Ingeniería Mecánica, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, ESIME Unidad Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional, D. F., México, 159 p.
- COLLADO VIDES Rolando (1999) “Calidad de Vida de los Trabajadores”, Cuestión Social, Revista Mexicana de Seguridad Social No.44, 1999, IMSS, D. F., México, p. p.60-64
- DÍAZ GUERRERO Rogelio(1986) “El Ecosistema Sociocultural y la Calidad de Vida”, Primer edición, Febrero 1986, Editorial Trillas S.A. de C. V., ISBN 968-24-1914-X, D.F., México, 75 p.
- DRAPER N. y SMITH H. (1966) “Applied Regression Analysis”, Editorial John Wiley & Sons, New York, USA.
- EDWARDS J. B. (1969) “The Relation Between F-test and R²”, The American Statistician, 23-28.
- GALEANA DE LA O. Silvia (1999) “Promoción Social”, Primera edición, enero de 1999, Editorial Plaza y Valdés Editores, ISBN 968-856-620-9, México DF. 166 p.
- GALLEGOS NAVA Ramón (1999) “Educación Holista”, Primera edición, Editorial Pax, ISBN 968-860-455-0, D. F., México, 247 p.
- GRAYBILL F. (1961) “An Introduction to Linear Statistical Models” Volume 1, Editorial Mc Graw Hill, New York, USA.
- GRANET Irving P. E. (1988) “Termodinámica”, Primera edición en español, Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., ISBN 968-880-121-6, Edo. de Méx., México, 1988.
- GUJARATI Damodar (1981) “Econometría Básica”, Primera edición, Editorial Libros Mc Graw-Hill de México S. A. de C. V., ISBN 968-451-027-6, D. F., México, 1981, 463 p.
- GUYTON Arthur C. (1975) “Fisiología Humana”, Cuarta edición, Nueva Editorial Interamericana S.A. de C. V., ISBN 968-25-0297-7, DF, México, 1975, 446 p.
- GUYTON Arthur C. (1994) “Fisiología y Fisiopatología”, Quinta edición, Nueva Editorial Interamericana S.A. de C. V., ISBN 968-25-2057-6, DF, México, 1994, pp. 556-557.
- GUYTON Arthur C. y HALL John E. (2001) “Tratado de Fisiología Médica”, Décima edición, Editorial Mc Graw-Hill EDITORES, S.A. de C. V., ISBN 970-10-3599-2, D.F., México, 2001, 1280 p.
- HAIR F. Joseph Jr. Et al (1999) “Análisis Multivariante”, 5ª Edición, Editorial Prentice Hall Iberia, ISBN 84-8322-035-0, Madrid, España, 1999, 832 p.
- HAITOVSKI Y. (1969) “A Note on the Maximization of R²”, The American Statistician, 1, 20-21, 23.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI Roberto, et al (1998) “Metodología de la Investigación”, Segunda Edición, Editorial Mc-Graw-Hill Interamericana Editores S.A. de C. V., ISBN 970-10-1899-0, D. F., México, 501 p.
- MAYORGA CERVANTES Juan Raymundo (1996) “Estudio de los Efectos Meteorológicos en las Edificaciones en el Clima Tropical” Proyecto con Clave: 3.5, generado del Programa de Colaboración

Científica-Tecnológica México-Cuba, (CONACYT-MINVEC).

- MAYORGA CERVANTES Juan Raymundo (1998) “La Sustentabilidad y la Teoría de la Arquitectura”, Revista de la Asociación de Instituciones de Enseñanza de la Arquitectura de la República Mexicana (ASINEA), Año 7, Número 12, mayo de 1998, Número 14, p. p. 18-20, México.
- MAYORGA CERVANTES Juan Raymundo (1998) “Edificios con Diseño Bioambiental, ¿Utopía o Realidad?”, Revista Arquitecto Anáhuac, Vol. IV, Número 7, marzo de 1998, p. p. 13-15, Escuela de Arquitectura, Universidad Anáhuac, México.
- MAYORGA CERVANTES Juan Raymundo (1998) “Sustentabilidad: una Arquitectura Perdurable”, Revista Esencia y Espacio, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Tecamachalco, IPN, junio-julio de 1998, Número 4, p. p. 16-18, México.
- MAYORGA CERVANTES Juan Raymundo (1999) Revisión, Actualización y Modificación de la Guía Técnica “La Protección Ecológica en los Municipios”, desarrollada en la ESIA-Tecamachalco del IPN para el Instituto Nacional de Administración Pública (INAP), México.
- MAYORGA CERVANTES Juan Raymundo (2000) “Impacto del Desequilibrio Ecológico en las Construcciones del DF y su Área Metropolitana”, Proyecto de Investigación con registro ante la Dirección de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI) del IPN, No. 934674, México.
- MAYORGA CERVANTES Juan Raymundo (2000) “Aproximación a un Modelo de Análisis de la Calidad de Vida en la Vivienda Rural”, Memoria del II Seminario y Taller Iberoamericano sobre Vivienda Rural y Calidad de Vida en los Asentamientos Rurales, Tomo I, p. p. 193-197, CYTED-HABYTED-RED XIV-E (España), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S. L. P., México, Noviembre de 2000.
- MAYORGA CERVANTES Juan Raymundo (2000) “Las Mujeres Mexicanas y su Papel en el Mejoramiento de la Vivienda Rural” Memoria del II Seminario y Taller Iberoamericano sobre Vivienda Rural y Calidad de Vida en los Asentamientos Rurales, Tomo I, p. p. 193-197, CYTED-HABYTED-RED XIV-E (España), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S. L. P., México, Noviembre de 2000.
- MAYORGA CERVANTES Juan Raymundo (2001) “Modelo de Análisis Taxonómico de las Ecotecnologías aplicadas a la Vivienda Rural”, Memoria del III Seminario y Taller Iberoamericano sobre Vivienda Rural y Calidad de Vida en los Asentamientos Rurales, p. p. 225-229, CYTED-HABYTED-RED XIV-E (España), Universidad de Oriente, Cuba, Santiago de Cuba, Julio de 2001.
- MAYORGA CERVANTES Juan Raymundo (2003) “Ecotecnologías para el Desarrollo Sustentable de los Municipios”, Proyecto de Investigación con registro ante la Coordinación General de Estudios de Posgrado e Investigación (CGPI) del IPN, No.200646, México.
- MAYORGA CERVANTES Juan Raymundo (2005) “Uso Eficiente de la Energía en Edificios a partir de Técnicas de Diseño Ambiental”, Proyecto de Investigación con registro ante la Coordinación General de Estudios de Posgrado e Investigación (CGPI) del IPN, No.20030200, México.
- MÉNDEZ-RAMÍREZ I. (1981) “Modelos Estadísticos Lineales: Interpretación y Aplicaciones”, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México, 1981.
- MONROY OLIVARES Cesar (1997) “Teoría del Caos”, Serie: Tecnologías Emergentes de Cómputo, Primera Edición, Editorial Alfaomega Grupo editor S.A. de C. V., ISBN 970-15-0069-5, Santa Fe de Bogotá, Colombia, 1997, 186 p.

- MONTGOMERY D. y PECK E. (1982) “Introduction to Linear Regression Analysis, Editorial John Wiley & Sons, New York, USA, 1982.
- SEBER G. A. F. (1977) “Linear Regression Analysis”, Editorial John Wiley & Sons, New York, USA.
- SIERRA BRAVO Restituto (1996) “Tesis Doctorales y Trabajos de Investigación Científica”, Cuarta Edición, Editorial Paraninfo, S.A., ISBN 84-283-2052-7, Madrid, España, 497 p.
- TRIANA ESPINOSA Joel Antonio y MONTES JIMÉNEZ José Carmelo (1998). Habitabilidad, Energía y Medio Ambiente: Una propuesta Holística para la Vivienda en México”, Instalaciones, Revista de Ingeniería, No.24 y No.25, D. F., México, pp. 6-13 y pp. 4-14 respectivamente.
- UNAM, ENEP-IZTACALA (1997) Memorias del “2º Seminario Internacional sobre Formación Ambiental, Valores y Corrupción”, Septiembre de 1997, México, 317 p.
- VILLAGRÁN GARCÍA José (1988) “Teoría de la Arquitectura”, Primera edición, Dirección General de Publicaciones, Universidad Nacional Autónoma de México, ISBN 968-36-0054-9, DF, México, 530 p.
- VITRUVIO POLIÓN Marco Lucio (siglo I aprox.) “Los Diez Libros de Arquitectura”, traducción directa del latín de BLÁNQUEZ Agustín, Nueva edición, Editorial Iberia S. A., Barcelona, España, 1970, 301 p.
- YUREN CAMARENA María Teresa (1975) “Leyes, Teorías y Modelos”, Primera Edición, ANUIES, Editorial Edicol S.A., México.

Mediografía:

- DE DEAR Richard J. (1999) “Human Heat Balance”, (2-marzo-1999), 1 p. En línea. Tomado de página inicial de Macquarie University. World Wide Web. <http://atmos.es.mq.edu.au/~rdedear/pmv/>
- KVISGAARD Bjorn (1997) “Thermal Comfort”, (17-Enero-2003) 35 p. En línea. Tomado de página inicial INNOVA Air Tech Instruments A/S, Denmark (Brüel & Kjaer), World Wide Web. http://www.innova.dk/fileadmin/Files/Sales_litterature/Thermal_Comfort_Booklet_Spanish.pdf
- NICOL Fergus (2002) “Thermal Comfort”, 24 pars. En línea. Tomado de página inicial. London Metropolitan University. World Wide Web. <http://www.learn.londonmet.ac.uk/student/resources/doc/comfort.html>
- ROUTTIO Pentti y BERMEJO B. Jesús (1998) “Análisis Cuantitativo”, Arteología, o la Ciencia de los Artefactos, (15-octubre-1998), 81 pars. En línea. World Wide Web. <http://www.usuarios.iponet.es/casinada/arteolog/280.htm>
- U. S. NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE, NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH (2005) “Temperatura corporal normal”, (9 de febrero de 2005), 2 p. En línea. Tomado de página inicial de Medline Plus Información de Salud para Ud. World Wide Web. <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/001982.htm>,