ISSN 1390-7719

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SERÉIS MIS TESTIGOS

REVISTA PUCE 98

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE ARQUITECTURA DISEÑO Y ARTES

3 DE MAYO - 3 DE NOVIEMBRE DE 2014
QUITO, ECUADOR

CENTRO DE PUBLICACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL ECUADOR

Centro de Publicaciones
Facultad de Arquitectura, Diseño y Artes
Revista PUCE
Quito-Ecuador

Rector
Dr. Manuel Corrales Pascual, S.J. (Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito-Ecuador)

Vicerrector
Ing. Pablo Iturralde Ponce (Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito-Ecuador)

Director General Académico
Dr. Carlos Acurio Velasco (Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito-Ecuador)

Director del Centro de Publicaciones
César Eduardo Carrión (Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito-Ecuador)

Decano de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Artes
Alexis Mosquera Rivera

Miembros del Comité Ejecutivo del Centro de Publicaciones (Comité Editorial):

Presidente (Editor en Jefe)
César Eduardo Carrión (Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito-Ecuador)

Secretario (Coordinador del Comité Editorial)
Lcdo. Walter Jiménez Sarabia (Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito-Ecuador)

Miembros del Comité Editorial de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Artes:
Francisco Ursúa C.
Shayarina Monard
Ruth Ruiz
María Fernanda Novoa

Secretaria abogada:
Pilar Olmos Pacheco

Autores:
Francisco Ramírez C.
Eugenio Mangia G.

Mayra Estévez T.
Francisco Ursúa C.
Alex Schlenker
Gisela Calderón Z.
Sylvia Jiménez R.
Santiago del Hierro K.

Corrector de estilo y ortografía
Alfonso Sánchez (Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito-Ecuador)

Colección n.° 98
3 de mayo de 2014
Publicación Semestral
ISSN n.° 1390-7719
Registro de Derecho Autoral n.° 010645
Ingresada en Catálogo Latindex Folio 21880

La Revista de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador es una publicicación semestral (mayo y noviembre) de su Centro de Publicaciones, que difunde trabajos académicos y científicos, estrictamente originales en español, en la áreas de Leyes, Pedagogía, Ingeniería, Economía, Biología, Química, Historia, Geografía, Antropología, Sociología, Filosofía, Teología, Comunicación, Lingüística, Literatura, Medicina, Administración, Arquitectura, Gestión Social, Psicología y Diseño, y es arbitrada por especialistas de indiscutible valor, cuyos nombres se mantienen en absoluta confidencialidad, recibe trabajos todo el año; el próposito de la Revista PUCE es difundir conocimientos, intercambiar experiencias e incentivar la producción del pensamiento especializado. El contenido de esta revista está dirigido a docentes, investigadores, estudiantes universitarios y público en general.

Los artículos son de responsabilidad exclusiva de sus autores
Los derechos de autor son exclusivos de la PUCE
Se prohíbe la reimpresión parcial o total con cualquier finalidad

Revista PUCE. ISSN 1390-7719. Núm.98
3 mayo - 3 nov 2014. Sylvia Jiménez. pp. 141-173

CONFORT HIGROTÉRMICO, ESTÁNDARES Y APLICACIÓN EN EL MEDIO CONSTRUIDO

Sylvia Jiménez R. [1]

PALABRAS CLAVES: *confort* higrotérmico, estándares, ISO 7730, *confort* en el ambiente construido

KEY WORDS: hygrothermal comfort, standards, ISO 7730, comfort in the built environment

RESUMEN

A fin de comparar la aplicabilidad de estándares de *confort* higrotérmico para el ambiente construido local, se revisaron las distintas herramientas de *confort*: racionales, adaptativas y empíricas disponibles; y fue seleccionada la normativa ISO 7730 para un caso de estudio en oficinas administrativas en el campus de la PUCE Quito. Se realizaron modelaciones térmicas con datos climatológicos diarios, mediciones de campo en sitio y encuestas de *confort* para realizar un diagnóstico comparativo que adicionalmente propone soluciones constructivas y de diseño.

ABSTRACT:

In order to compare the local applicability of hygrothermal standards in the built environment, different comfort tools: rational, adaptive and empirical where revised, selecting ISO 7730 normative for a case study at administrative offices in the campus PUCE, Quito. Thermal modeling with daily climatological data, in site measures and comfort surveys were applied for a comparative diagnose of the building´s performance that includes design and constructive solutions.

1 Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Arquitectura, Diseño y Artes, Quito, Ecuador (svjimenez@puce.edu.ec)

I. INTRODUCCIÓN

La búsqueda de refugio y bienestar ha estado presente en todas las civilizaciones, desde las primeras compilaciones sobre construcción por Marco Lucio Vitrubio -donde se menciona la importancia de la diferenciación por lugar y clima- hasta los esfuerzos documentados del siglo XX, cuando se llega a definir tres categorías de *confort*: visual, acústico e higrotérmico, con su respectiva formulación de estándares y modelos para garantizarlo. Este último es de especial consideración en el ambiente construido.

A pesar de ser un tema recurrente en la arquitectura, el *confort* térmico o higrotérmico no deja de ser una tarea compleja, al requerir el manejo no solo de variables objetivas sino también subjetivas, como la respuesta fisiológica, cultural y sicológica sobre lo que representa. Más aún, de acuerdo a esta definición, para evaluar el *confort* se debería integrar dichas influencias sobre la adaptabilidad del ser humano a su entorno, las costumbres locales y las expectativas colectivas (Olesen y Parsons, 2002; Fanger, 1970; Bluyssen, 2009). Sin embargo, algunas de estas consideraciones no pueden ser objetivamente integradas dentro de una metodología estandarizada que exige parámetros objetivos de medición.

Es entonces en esta complejidad que se hace necesario conocer los límites de los diferentes instrumentos y estándares de medición del *confort* que consideran métodos activos y pasivos, con énfasis en los últimos; revisar su respuesta y la validez de su uso dentro de un contexto físico y cultural propio, para así potenciar su aplicabilidad en la realidad local.

Así, este documento se enmarca en la revisión general de los estándares de *confort* internacional y su aplicación en el medio local mediante el monitoreo y la aplicación de herramientas específicas propuestas dentro de esta normativa en espacios seleccionados dentro del campus de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) en Quito.

II. MODELOS DE *CONFORT* HIGROTÉRMICO

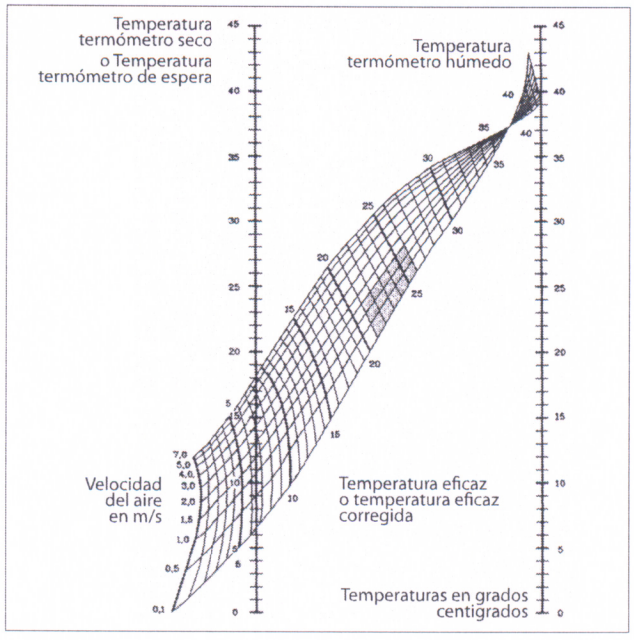
La preocupación por el *confort* y la estandarización aparece durante la Revolución Industrial, cuya promesa de resolución de los problemas a través de la tecnología produce los primeros estudios sobre la sensación de *confort* y ambiente por Heberden (1826), cuando se relacionan por primera vez humedad y temperatura de aire como indicador. De igual modo, los estándares en rangos de temperatura y humedad para el *confort* de acuerdo con las actividades

aparecen a la par del desarrollo del primer equipo de aire acondicionado comercial, en 1902, por Willis H. Carrier; lo cual potencia una rama nueva de la ingeniería en los laboratorios de ASHVE (American Society of Heating and Ventilation Engineers), responsable de la primera definición de una zona de *confort* humana, en 1923, por Houghten y Yaglou (Brager, 1988) .

El posterior desarrollo de los índices de *confort* aparece dentro de una clasificación natural producto del desarrollo de parámetros y definiciones a considerar, agrupándolos en empíricos, racionales y adaptativos.

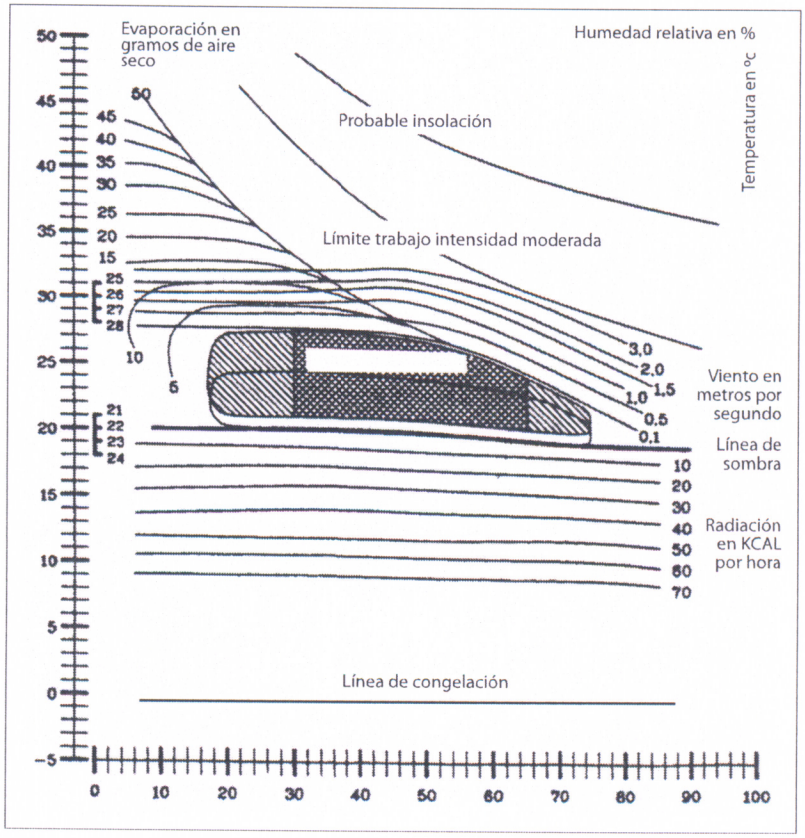
El índice empírico más conocido es el de la temperatura efectiva en el cual se utilizan fórmulas estadísticas en base a la aplicación de encuestas sobre usuarios en ambientes controlados, o ecuaciones fisiológicas con variables empíricas (Bravo et al., 2002), para determinar una sensación térmica diferente de la cual se obtiene al considerar únicamente la temperatura ambiente.

Gráfico 1a
Temperatura efectiva ASHRAE, Carta Bioclimática Olgyay



Fuente: Fernández (1994), citando a Fariña (1990)

Gráfico 1b
Temperatura efectiva ASHRAE, Carta Bioclimática Olgyay



Fuente: Fernández (1994), citando a Fariña (1990)

En la arquitectura, la importancia de considerar el *confort* de manera transdisciplinaria repunta en 1962, cuando Olgyay publica su interpretación holística de la ingeniería, fisiología, geografía y climatología en relación con la arquitectura, y se comienzan a utilizar ampliamente estas intenciones prácticas en términos arquitectónicos mediante el la Carta Bioclimática de Olgyay y el planteamiento inicial de Barouch Givoni en 1969. Estos diagramas han sido los más difundidos y usados en el contexto de la arquitectura y el urbanismo, por su

potencial de uso en emplazamientos que consideren la orientación de acuerdo con factores como el aislamiento por ropa, temperatura, humedad, velocidad del viento y radiación.

Su importancia es indiscutible y sin embargo, las críticas a su uso están en la variabilidad de resultados por factores de interpretación. La principal crítica al diagrama de Olgyay es que no considera la temperatura radiante de la edificación y la necesidad de ajustes posteriores de latitud y altitud para su uso; mientras que el diagrama de Givoni es cuestionado por no incluir índices de aislamiento por ropa. Cabe indicar que el diagrama sicométrico de Givoni propuesto en 1993, añade esta última consideración e índices racionales del PMV (figura 1).

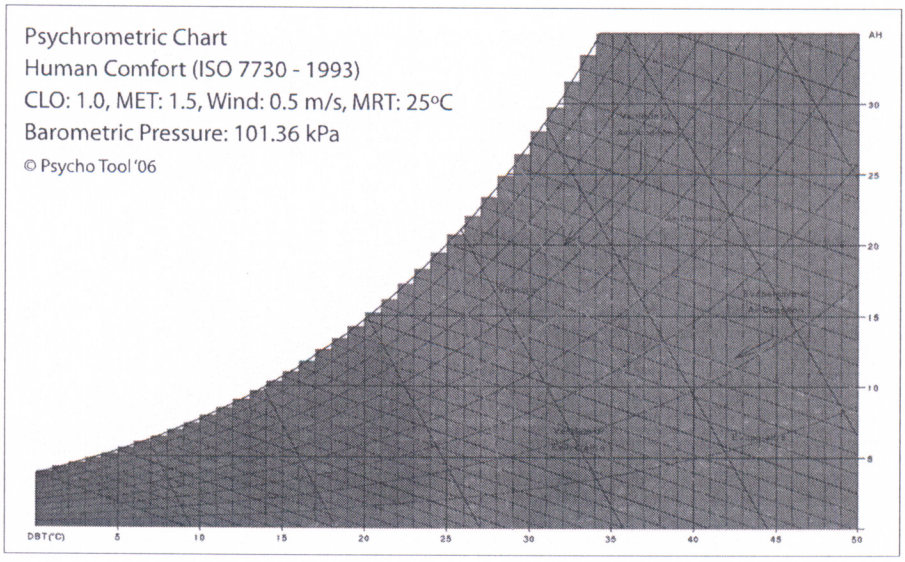


Figura 1: Diagrama sicométrico de Givoni (1993) con las consideraciones de *confort* humano
Fuente: Elaboración Propia con Psycho Tool 2006

Dentro de los índices racionales de *confort*, surgen los estudios de Fanger en el PMV (Predicted Mean Vote - Voto Medio Pronosticado), usados desde 1972 para evaluar ambientes térmicos moderados tanto en la normativa ASHRAE de los Estados Unidos como en la Norma Internacional de *Confort* Térmico ISO 7730.

Este índice está formulado para evaluar la respuesta de grandes grupos de personas, si se considera que los intercambios de calor entre el cuerpo y el ambiente pueden estar influenciados por una variedad de factores culturales y de contexto (Olsen y Brager, 2004) pero que responden fundamentalmente a los que consideremos dentro del *confort* higrotérmico. El PMV ha sido revisado comparativamente con otras normativas principalmente por estar libre de prejuicios.

Finalmente, los modelos adaptativos surgen como una crítica a los modelos anteriores; los más conocidos entre ellos son los de Humphrey, de Dear y de Auliciems, recientemente incorporado en el ASHRAE 55 2004. Estos índices reconocen a los usuarios como receptores activos frente a los estímulos del ambiente térmico al ajustar su comportamiento (cambiar de postura, actividad, vestimenta, bebida o alimento); consideran los ajustes tecnológicos (abrir y cerrar ventanas, cambiar los calefactores) y los ajustes culturales (siestas, vestidos, descansos y la noción de la adaptación sicológica, en donde la exposición repetida o crónica a ciertas condiciones ambientales produce una disminución de la intensidad de la sensación).

III. DEFINICIÓN DE *CONFORT* HIGROTÉRMICO Y VARIABLES

El *confort* higrotérmico puede ser definido en términos físicos como la situación en que el intercambio de calor con el medio es equilibrado. Dichos intercambios de calor pueden darse por radiación, convección y conducción, además de considerarse una ganancia o pérdida térmica por transpiración y respiración. Las variables ambientales para el *confort* son la temperatura del aire, la temperatura media radiante, el movimiento del aire y la humedad relativa.

El cuerpo humano responde a las variaciones entre la temperatura corporal y la del ambiente por medio del metabolismo, que activa los mecanismos que regulan el intercambio de calor en el cuerpo: la actividad metabólica, el movimiento o la transpiración. El balance térmico del cuerpo humano, de acuerdo con Fanger (1972), está dado por la siguiente ecuación (figura 2):

$$M \pm W \pm R \pm C - E \pm C_{res} \pm E_{res} - E_d \pm C_{cond} = C_{cond.clo} = A$$

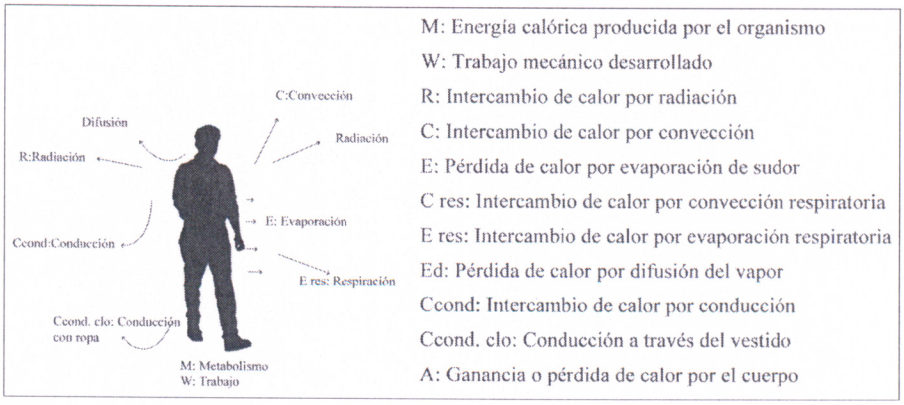


Figura 2: Balance térmico del cuerpo
Fuente: Elaboración propia en base a Fanger (1970)

Dentro de los estándares de aceptación internacional antes mencionados, la norma ISO 7730 define al *confort* higrotérmico como «aquella condición del ánimo que expresa satisfacción con el medio térmico». Así, por definición este estándar busca reflejar una condición subjetiva sobre las condiciones ambientales, una percepción en la cual se toma en cuenta factores ambientales: la temperatura del aire, la velocidad, la humedad relativa, la temperatura de las paredes y factores propios del usuario -la actividad física y las zonas del cuerpo expuestas al exterior por la vestimenta utilizada (figura 3).

Así, las variables fisiológicas relacionadas con el *confort* son: metabolismo, cuya unidad es el MET; y el aislamiento por la vestimenta, cuya unidad es el CLO (1 clo= 0,155m2K/W). La unidad de aislamiento para ganancia térmica por la ropa es una convención que va entre 0 para un ser humano desnudo y 1 con algunas prendas, asume una superficie de piel de un ser humano de 1,80 m2 a 21°C. La vestimenta es un factor relevante en las definiciones de *confort* ya que es gracias a ella que los seres humanos han podido adaptarse a ambientes hostiles, regular el aislamiento y las pérdidas y ganancias de calor, para sobrevivir en condiciones extremas entre los -20°C y los 50°C.

La unidad metabólica MET se basa en la capacidad el cuerpo humano

de mantener una tasa mínima de producción de calor de 60 W durante el sueño y de entre 70 a 140 W durante la actividad (ISO 7730, 2005) .

Sin embargo, a fin de llegar a aproximaciones y determinar indicadores dentro de esta experiencia de satisfacción, se eliminan variables como las diferencias del metabolismo, la edad de los usuarios y el género. Incluso varios autores (como Fanger y Rite, Humphrey y Nicol, Houghten y Yaglou) señalan que el ambiente preferido por la mayoría de usuarios no tiene relación significativa con variables como género y edad.

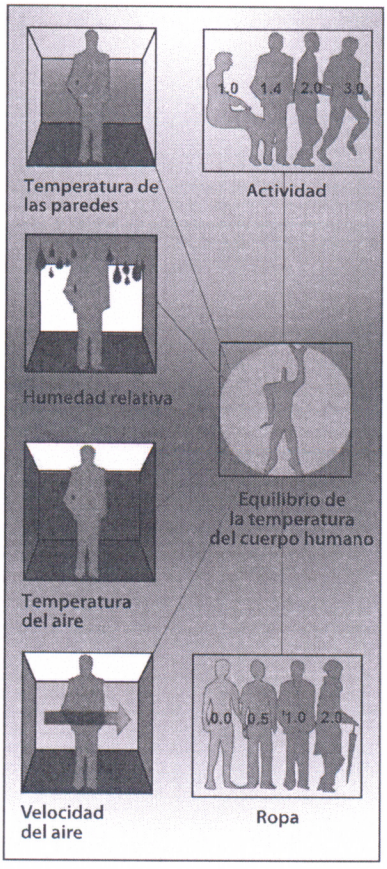


Figura 3: Parámetros que determinan el *confort*
Fuente: ERG, University College Dublin (2010)

IV. METODOLOGÍA

Para este estudio se revisó la definición de *confort* planteada en la normativa internacional sobre *confort* térmico ISO 7730, para un diagnóstico de las actuales condiciones en tres espacios del campus de la PUCE en Quito: Dirección Financiera, Planta Física y CESAQ; para este último, el análisis se realizó bajo una metodología que combina datos climatológicos a largo plazo, encuestas con consideraciones de escala (ASHRAE-55, 2004) y mediciones de campo.

TOMA DE DATOS

La toma de datos se realizó con frecuencia horaria con sensores digitales, en períodos de 12 semanas para evitar errores de desviaciones de acuerdo con la precisión 0,2% de la normativa de instrumentos y métodos de medición de parámetros fijos (ISO-7726, 1998). Estos sensores se colocaron a los 0,10 m y al 1,1 m del suelo en los sitios de trabajo, a fin de registrar la gradiente vertical de temperatura, y analizar las posibles disconformidades por este fenómeno. Adicionalmente, se utilizaron sensores móviles para registrar las siguientes variables: temperatura del aire, temperatura operativa, temperatura del punto de rocío (tdew), asimetría de radiación (Δtpr) y velocidad del aire, temperatura radiante de la envolvente, y temperatura corporal de los usuarios sobre parámetros de entrada del medioambiente, para la evaluación de la eficiencia energética de edificios (ISO-15251, 2007) y mediante imágenes termográficas durante la toma de las encuestas simultáneas, a través de un cuestionario corto a las 12:50 y a las 15:00.

ENCUESTA

El cuestionario utilizado se elaboró sobre la base de los objetivos de comparación frente al modelo de simulación térmica propuesto y en relación con otros modelos estandarizados en la normativa sobre ergonomía del ambiente térmico: evaluación de la influencia del ambiente térmico mediante escalas de juicio subjetivo (ISO-10551, 2002); la economía del ambiente físico: evaluación de ambientes por medio de una encuesta y mediciones del ambiente y respuestas subjetivas de personas (ISO-28802, 2002); además del modelo de requisitos térmicos de la salud ventilación (DIN-1946-2, 1994). La encuesta consta de veinte preguntas sobre aspectos sicológicos,

fisiológicos y físicos del usuario y del ambiente en que se encuentra, y registra los siguientes parámetros principales: voto de sensación térmica o pronóstico promedio de voto (PMV); control sobre el ambiente térmico (Ad); nivel de actividad realizada durante la última hora (MET); nivel de aislación de la ropa (CLO); velocidad del aire (AQ); y preguntas de descarte con base en modelos adaptativos: ingesta de alimentos y parámetro de *confort* visual, y modelos de cielo por la correlación entre nivel de iluminación y la cantidad de piel expuesta a la luz por reacciones termo-fisiológicas humanas.

La encuesta, en este caso, es una herramienta comparativa en el análisis; en ningún caso consideramos que los resultados pueden llevar a refutar resultados de los modelos de simulación térmica, están incluidos en este estudio como «una medición de tipo subjetiva que contiene la información diagnóstica del usuario promedio, respecto al ambiente térmico que lo rodea» (ISO-10551, 2002).

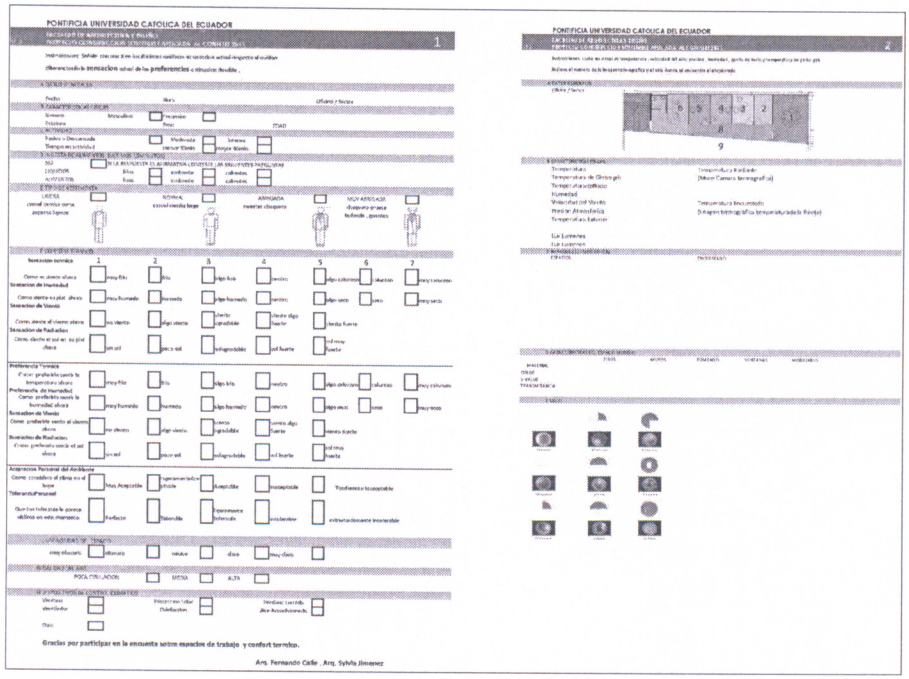


Figura 4: Encuesta *Confort* Higrotérmico
Fuente: Jiménez (2010)

V. CASO DE ESTUDIO: CENTRO DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y QUÍMICOS (CESAQ)

El Centro de Estudios Ambientales y Químicos funciona en el segundo piso, sobre la terraza del parqueadero, junto a la Torre II de la PUCE, hacia la avenida 12 de Octubre. Está distribuido en una secretaría, dos oficinas y una sala de reunión en una sola planta, con cubierta de tableros de fibrocemento recubiertos con impermeabilizantes bituminosos, paredes de yeso cartón con estructura metálica, sobre una losa de hormigón alivianada. Para motivos de análisis, se realizó un levantamiento de la información física: muros originales y adecuaciones, instalaciones, ventanas, así como del número de usuarios, las condiciones y horarios de trabajo, y datos climatológicos dentro de los espacios.

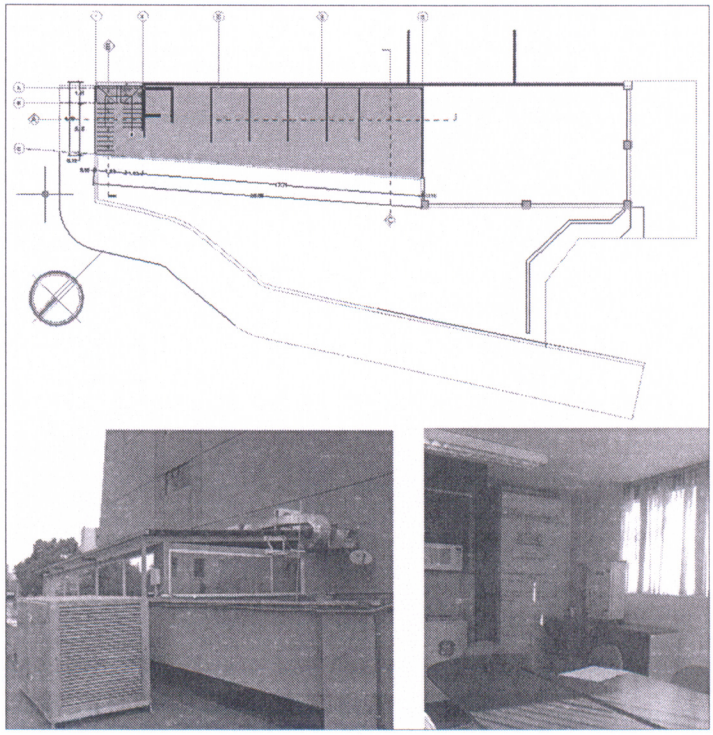


Figura 5: CESAQ: fachada oeste y sala de reunión
Fuente: Jiménez (2010)

ANÁLISIS DE ORIENTACIÓN, ILUMINACIÓN Y DIAGRAMAS SOLARES

Se analizaron las fachadas noreste y suroeste del edificio de acuerdo conla ubicación geográfica, la altitud y el clima: ecuatorial mesotérmico húmedo y microclima de la zona de acuerdo con la estación meteorológica de la Red Metropolitana de Monitoreo Ambiental Quito (REMMAQ) Belisario.

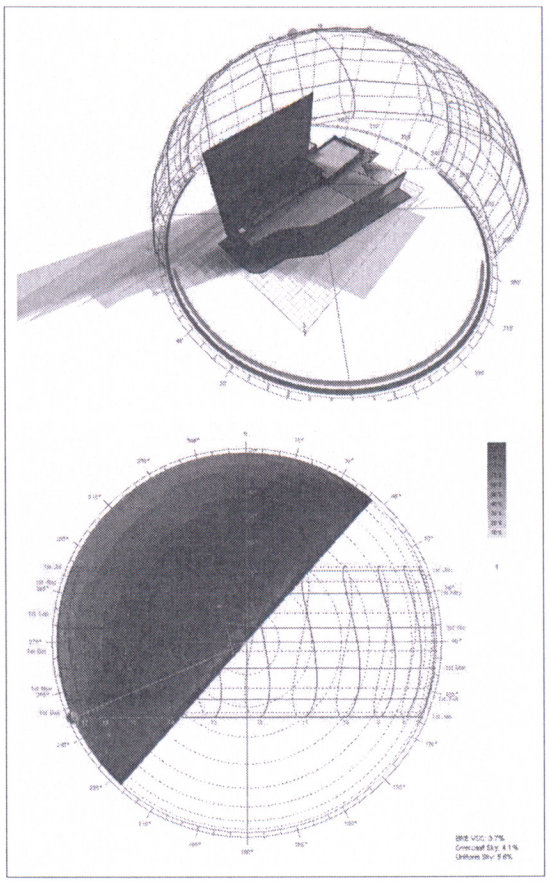


Figura 6: Análisis de orientación
Fuente: Elaboración propia

Se analizó la fachada principal con orientación oeste, la cual presentaba una considerable ganancia térmica directa por su fachada acristalada de piso a techo, y por su cubierta con poco aislamiento y gran exposición solar por la tarde, como se muestra en las figuras 6 y 7. Adicionalmente, existe deslumbramiento por el acceso directo de la luz, que llegaría a cubrir todo el espacio entre las 12:00 y las 18:00.

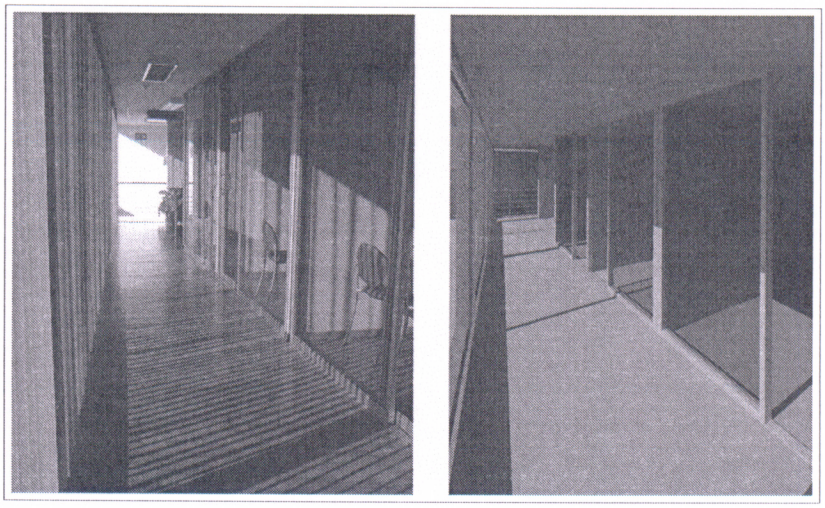


Figura 7: fotografía y modelo tridimensional
Fuente: Jiménez (2010)

ANÁLISIS DE SOMBRAS Y GANANCIA SOLAR

Sobre la base de los datos climáticos del año tipo 2006 de la estación Belisario, se realizaron modelos que analizaran la cantidad de sombra y luz efectiva de acuerdo con la orientación del edificio para el día con mayor sombra. Así, se determinó que la cara recibe luz directa en las tardes durante todo el año, mientras que la cubierta está protegida por la sombra de la Torre en las horas de la mañana, especialmente en los meses de invierno. El análisis de exposición solar para el día más caluroso del año tipo (el 24 de mayo) permite concluir que la mayor ganancia energética en todas las zonas térmicas es por ganancia directa y difusa del sol (Gráf. 2). La cubierta es la cara más expuesta a la radiación en las horas pico, entre las 11:00 y las 15:00 (Gráf. 3).

Gráfico 2
Gráfica de Radiación Solar Global

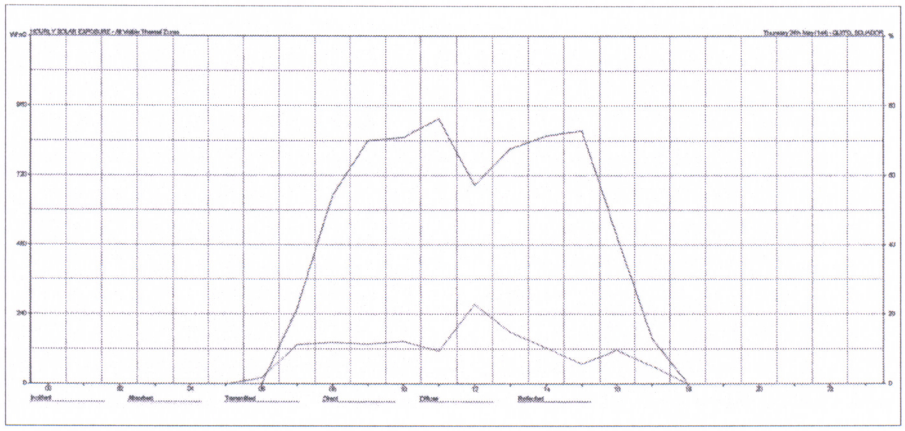
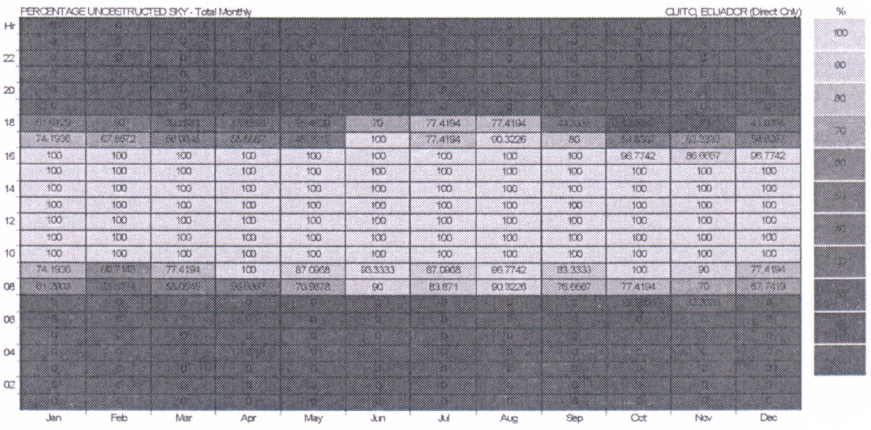


Gráfico 3
Gráfica de Radiación Solar Global



Fuente: Elaboración propia

Para fines de modelación y levantamiento de datos, se determinaron ocho zonas térmicas internas y un punto de control de temperatura exterior (tabla 1 y Fig. 9). Las zonas térmicas se trabajaron independientemente y se colocaron loggers de datos climatológicos en las mismas, con una variación de altura de 1,10 para registrar el gradiente térmico como se ilustra en la figura 8.

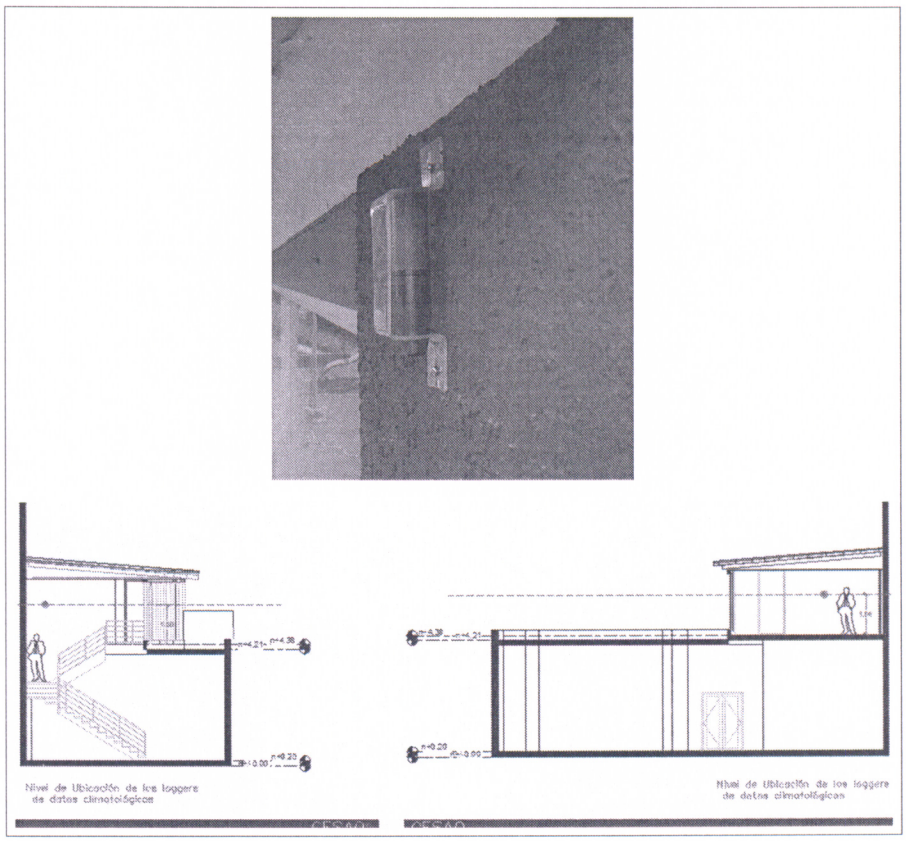


Figura 8: Ubicación de medidores de datos climatológicos CESAQ
Fuente: Jiménez (2010)

Tabla 1
Modelo de tablas de datos climatológicos

Fecha:23/11/2010		Humedad	Punto de	Punto de	Temperatura	Velocidad del viento m/s						Luminancia Lux		
	Cesaq													
1	Sala de Reuniones	56.8	11.81	11.4	14.2	20.5	0	0.9				70	940	280
2	Oficina 1	63.4	12.25	12	14.4	19.2						290	335	345
3	Oficina 2	64.7	13.1	13	15.1	19.4						430	443	301
4	Oficina 3	64.4	12.75	12.6	14.8	19.2						620	404	258
5	Oficina 4	61.9	12.38	12.5	14.9	19.5						300	416	250
6	Área de secretaria	65.1	13.27	13.3	15.4	19.5						850	703	417
7	Gradas	63.8	13.1	13.3	15.5	19.3						405	318	750
8	Corredor	62	12.11	12	14.7	18.7	0	0				1420	519	318
9	Exterior	72.1	12.4	11.9	13.8	16.6						2000	1132	

Fuente: Jiménez (2010)

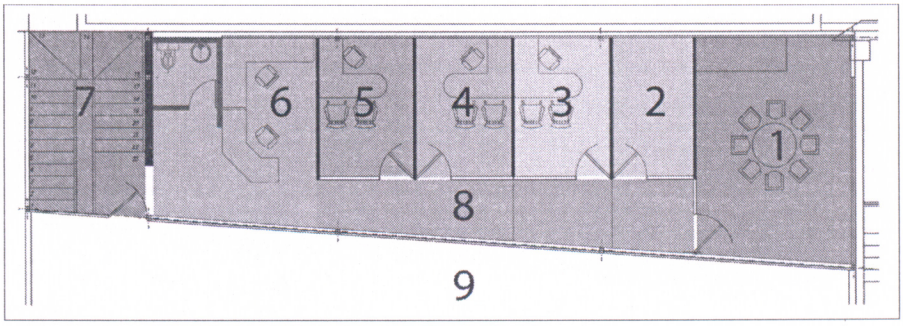
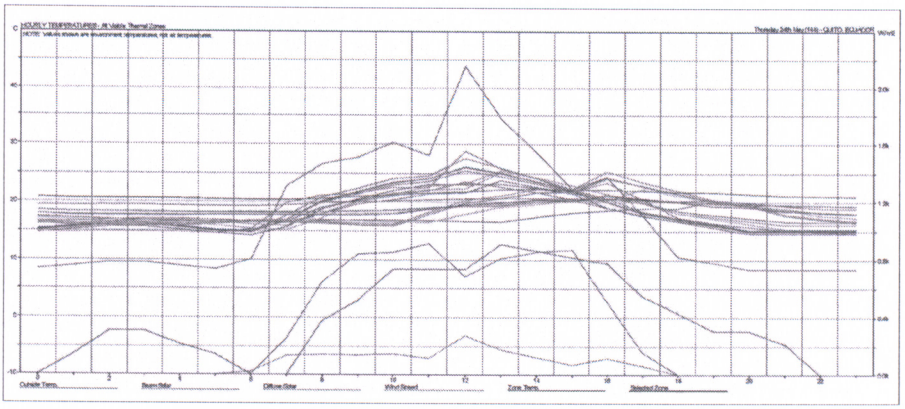


Figura 9: Zona térmicas del CESAQ
Fuente: Jiménez (2010)

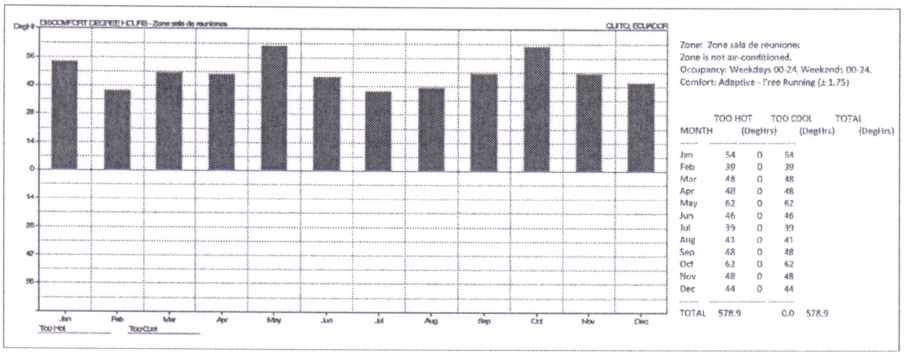
En el análisis de la zona térmica 1 (la sala de reuniones), por su ubicación y ganancia térmica por la envolvente, se determinó un total de 578 horas anuales fuera de *confort* por sobrecalentamiento, en un modelo adaptativo que considera la posibilidad de adaptación de los usuarios al abrir y cerrar ventanas y puerta (Gráf. 4 y 5).

Gráfico 4
Análisis de *confort* de la sala de reuniones



Fuente: Jiménez (2010)

Gráfico 5
Horas fuera de *confort* de la sala de reuniones



Fuente: Jiménez (2010)

En el diagrama sicométrico de la zona de reuniones del CESAQ fue realizado en base a los datos levantados con el equipo de medición dentro de los espacios seleccionados. Así, podemos constatar que para una actividad ligera de 1,88 MET con un nivel de ropa de 0,90 CLO, traje ligero, el PMV es de 1,74 y el porcentaje de personas insatisfechas es del 63,9% (figuras 10 y 11); debido principalmente a la alta ganancia térmica directa y por convección.

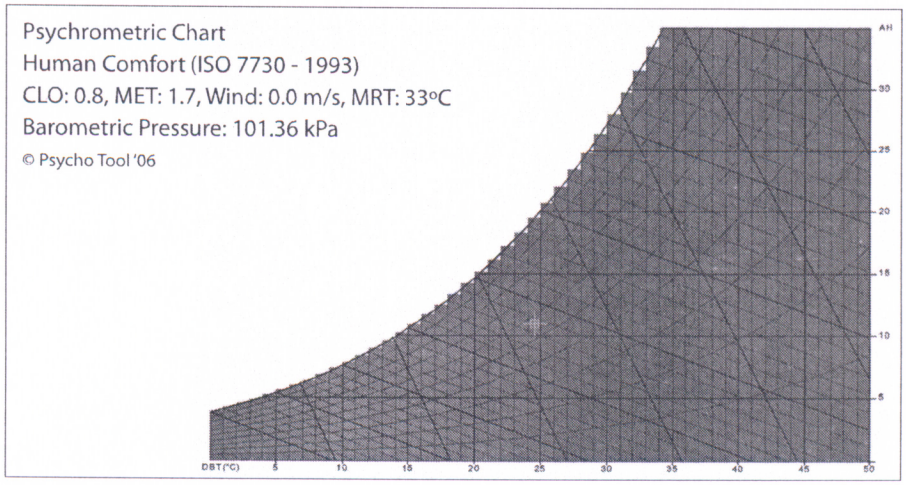


Figura 10: Diagrama psicométrico de la sala de reunión - Período: noviembre 12, 2010
Fuente: Elaboración propia

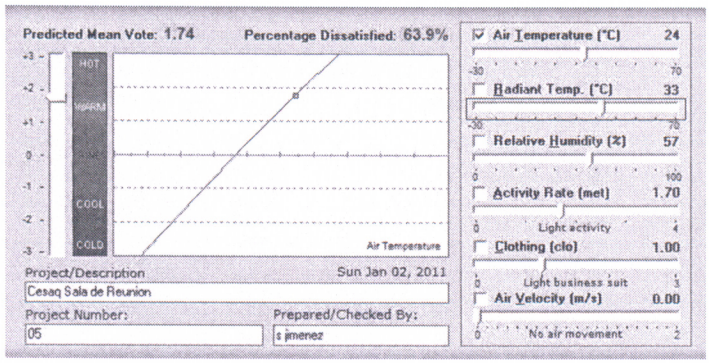


Figura 11: PMV PPD para oficinas - Período: noviembre 12, 2010
Fuente: Elaboración propia

El diagrama psicométrico de la zonas de oficinas del CESAQ fue realizado en base a los datos levantados con el equipo de medición dentro de los espacios seleccionados. Así, podemos ver que para una actividad ligera de 1,88 MET con un nivel de ropa de 0,90 CLO, traje ligero, el PMV es de 0,40 y el porcentaje de personas insatisfechas es del 8,3% (figuras 12 y 13). Es importante mencionar que los datos recabados en ambos espacios se realizaron en el mismo día; la diferencia entre los dos espacios es la presencia permanente y el uso de un sistema de aire acondicionado mecánico.

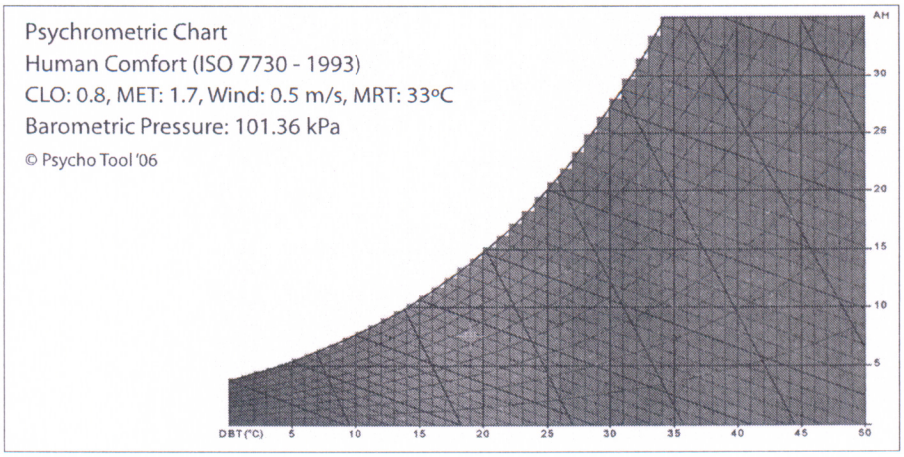


Figura 12: Diagrama sicométrico de las oficinas - Período: noviembre 12, 2010
Fuente: Elaboración propia

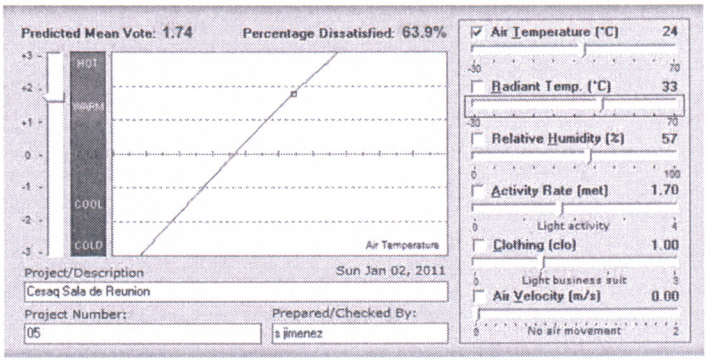


Figura 13: PMV PPD para oficinas - Período: noviembre 12, 2010
Fuente: Elaboración propia

A pesar de contar con sistemas de aire acondicionado, las características de *confort* tienen un PMV de 1,03 con un 27,3% de personas fuera de *confort*, situación que está dentro del rango aceptable; sin embargo, esta solución no es aplicable en el 50% de los casos, es decir, en horas de la mañana, cuando la sugerencia es de calefactar el espacio, como se indica en los modelos térmicos y en las encuestas tomadas a las 10:30, analizadas a continuación (figuras 14 y 15).

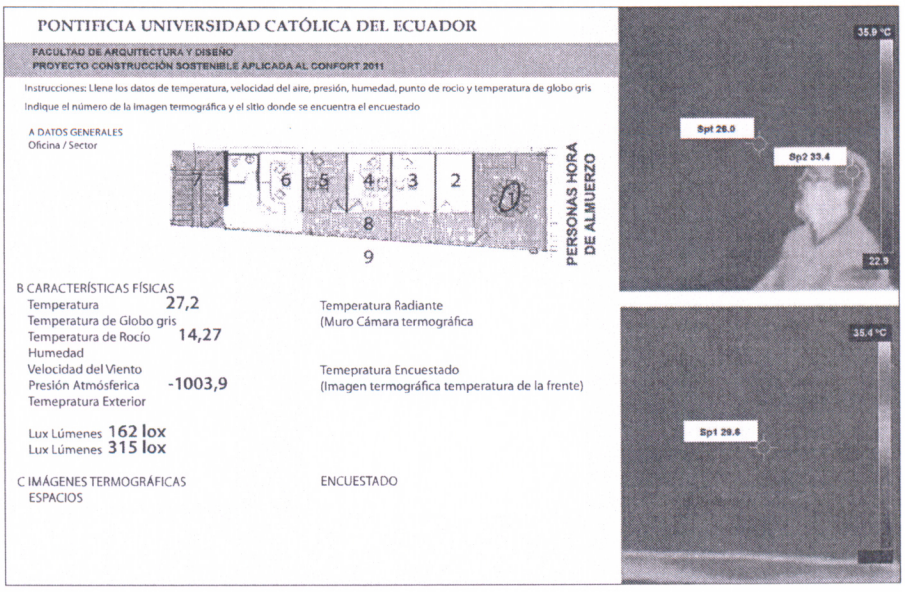


Figura 14: Encuesta de *confort* térmico; encuestador 14:45
Fuente: Fuente: Jiménez (2011)

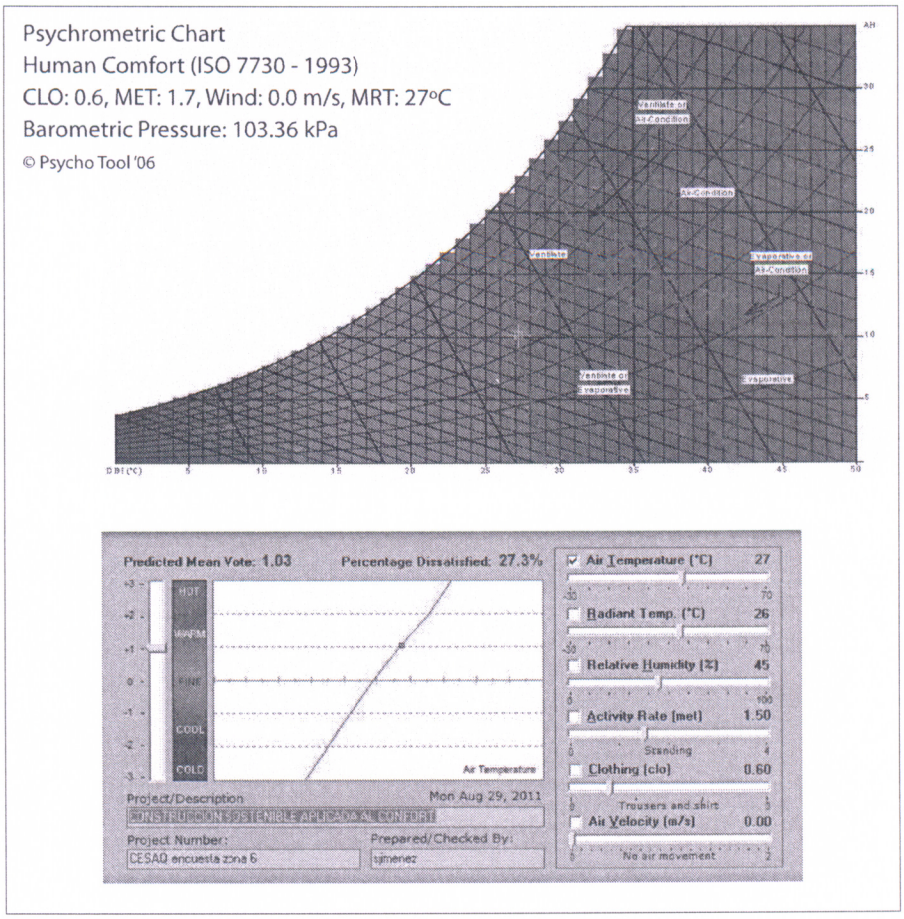


Figura 15: Diagrama sicométrico; encuesta 2, zona 6: oficina
PMV: 14:45
Fuente: Jiménez (2011)

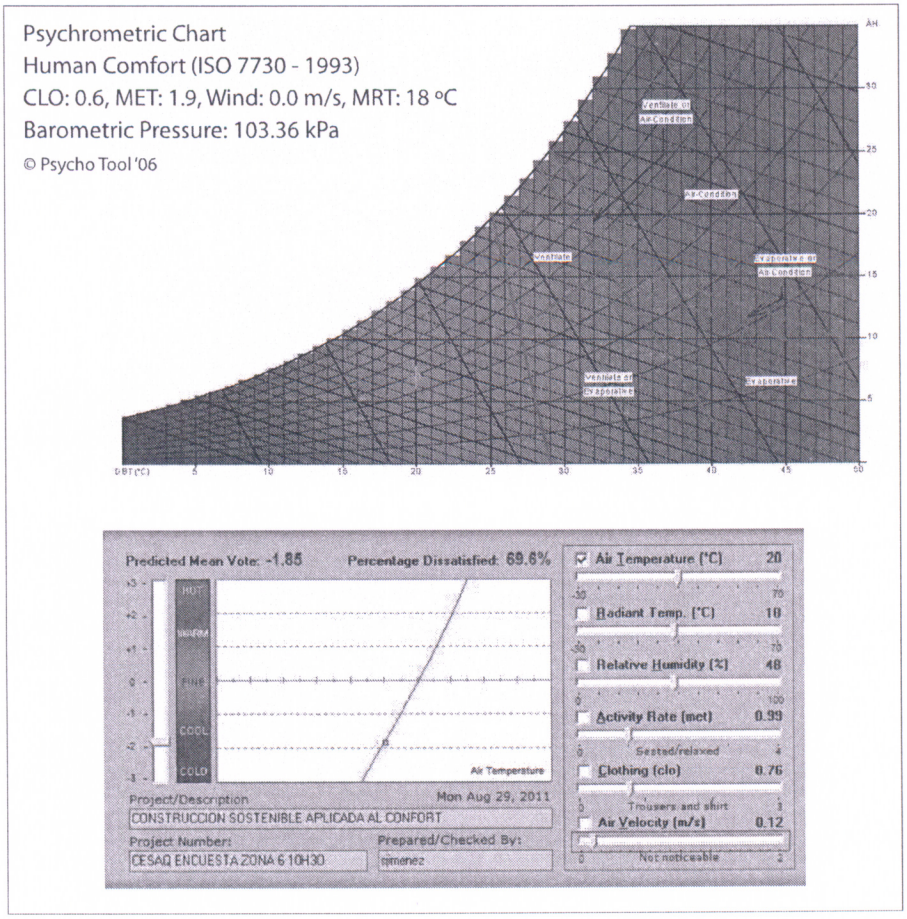


Figura 16: Diagrama sicométrico; encuesta 2, zona 6, 10:30
Estrategias de calefacción
Fuente: Jiménez (2011)

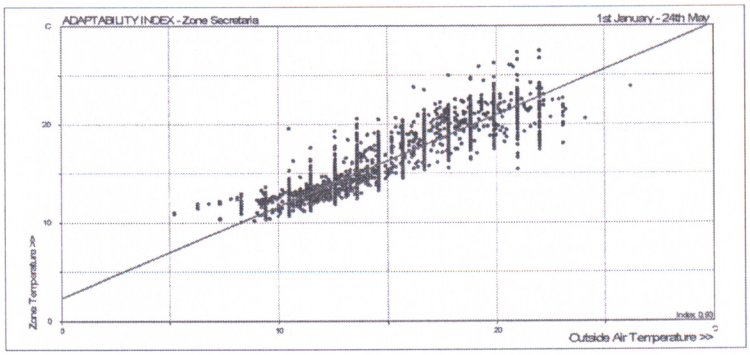
ÍNDICE DE ADAPTABILIDAD PASIVA

El índice de adaptabilidad pasiva es un índice matemático comparativo entre la temperatura interior y exterior, como indicador de aislamiento y desempeño pasivo de la envolvente, cuyos valores fluctúan entre 0 cuando se encuentra aislado y protegido, y 1,0 cuando la envolvente no ofrece protección de la temperatura exterior. Adicionalmente, la gráfica ilustra: mediante color azul, las temperaturas por arriba del *confort*, sugiere enfriamiento; con rojo, la temperatura por abajo del *confort*, sugiere calefacción; y en verde, el uso de aire acondicionado mecánico.

Este análisis se realizó en las dos zonas principales del proyecto: la secretaría y la sala de reunión; y considera el período comprendido entre el 1.º de enero y el 24 de mayo, a fin de cubrir gran parte del espectro de la trayectoria solar anual y el día más caluroso del año registrado para el año tipo.

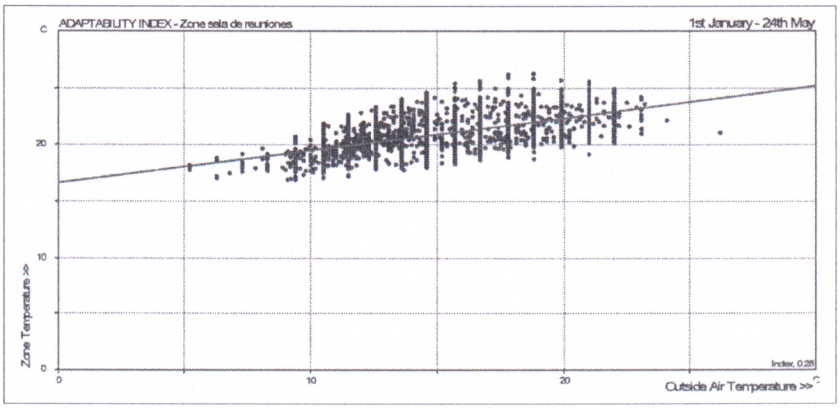
El resultado del análisis nos entregó un índice de adaptabilidad de 0,93 (Gráf. 6) entre la temperatura exterior e interior de la zona de secretaría, en donde el espacio tiene ganancias térmicas permanentes directas y por convección en cubierta por la envolvente con bajo desempeño pasivo. Para la zona de oficinas, el índice es de 0,28 (Gráf.7), por la poca exposición directa que reciben por la envolvente y considerable exposición en cubierta con una alta ganancia térmica y por convección, con un índice de adaptabilidad aceptable. Sin embargo, por el desempeño de la envolvente es necesario calefactar por las mañanas.

Gráfico 6
Gráfica del índice de adaptabilidad en la zona de secretaría - Período: entre 1.º de enero y el 24 de mayo



Fuente: Elaboración propia

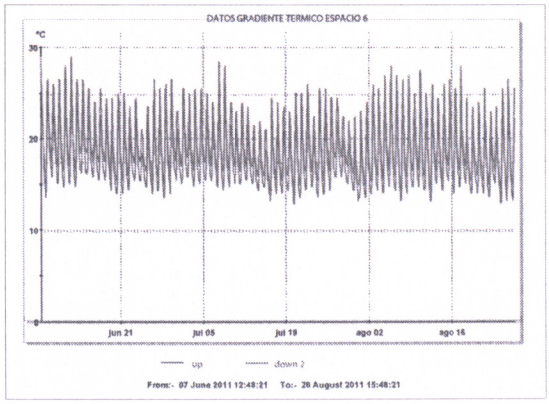
Gráfico 7
Análisis de la gráfica del índice de adaptabilidad de la sala de reuniones - Período: entre el 1.º de enero y el 24 de mayo



Fuente: Elaboración propia

El gradiente térmico registrado por los dispositivos fijos indica una variación de temperatura superior a 4,0°C, la máxima permisible por la norma, la cual provoca la sensación de des*confort* y el fenómeno de pies fríos. El gradiente térmico es producto del comportamiento térmico de la envolvente y la cubierta, cuya temperatura radiante es de alrededor de 3,0°C de diferencia (Gráf. 8).

Gráfico 8
Gradiente térmico de la oficina CESAQ



Fuente: Elaboración propia

Como se observó en el modelo térmico virtual (figura 17), la cubierta se comporta como una cubierta caliente, la cual almacena el calor en los días calurosos y lo disipa fácilmente hacia el interior del espacio y hacia el exterior en los días fríos. En el interior de la cámara se registraron temperaturas hasta 10°C superiores a las del ambiente. Cabe resaltar que en las comparaciones entre modelo y realidad se encontró una variación de entre el 1% y el 3% con el desempeño real del edificio (Gráf. 9).

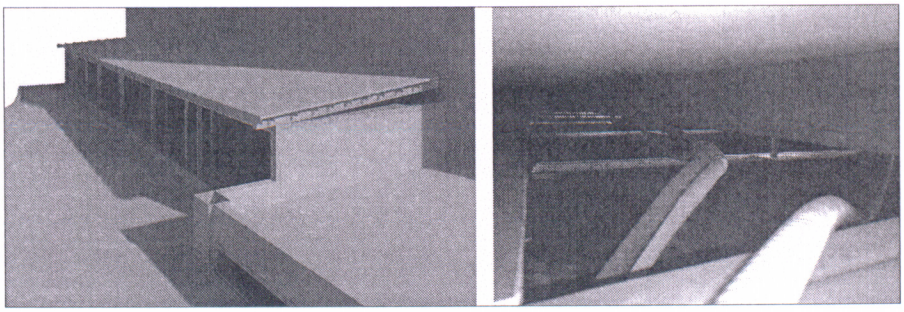
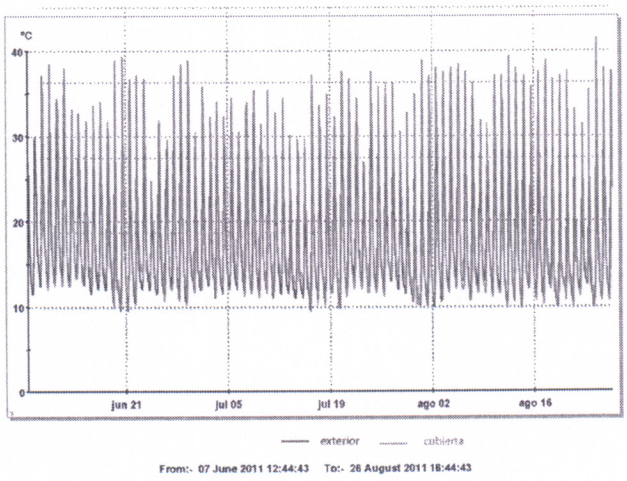


Figura 17: Modelo y fotografía de la cubierta del CESAQ
Fuente: Jiménez (2011)

Gráfico 9
Temperaturas comparativas de cubierta y del exterior



Fuente: Jiménez (2011)

ESTRATEGIAS DE ACONDICIONAMIENTO PASIVO

En la propuesta para el CESAQ, las principales estrategias de ventilación están encaminadas a reducir la ganancia directa y por convección de la cubierta y la cámara de aire entre el muro de la Torre y las oficinas, mediante material aislante previo a la cámara de aire, como se ilustra en los detalles D1 y D3 de la figura 18.

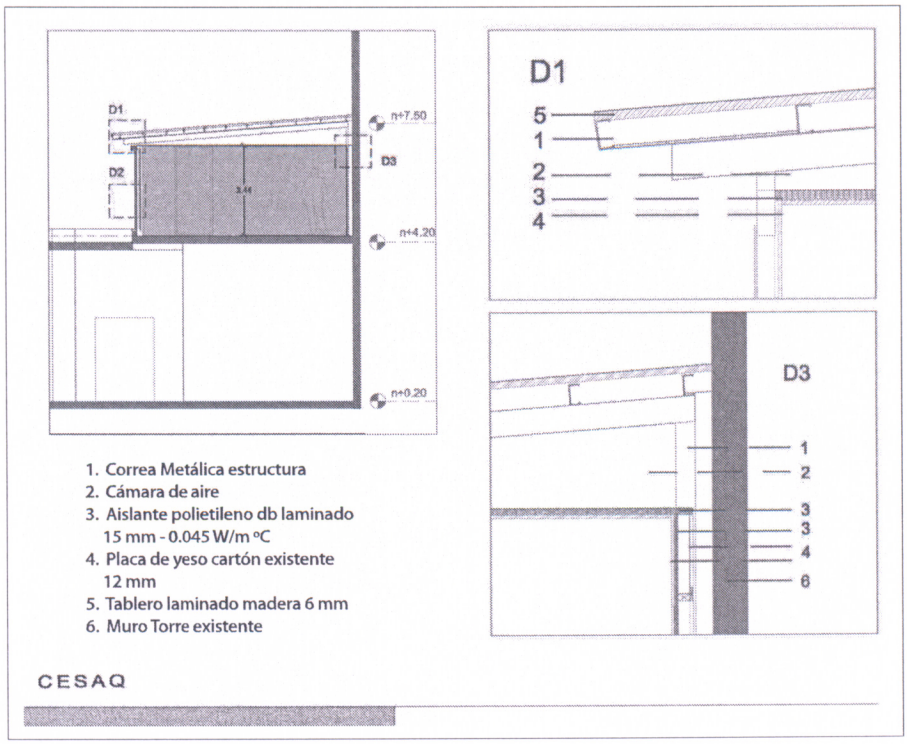
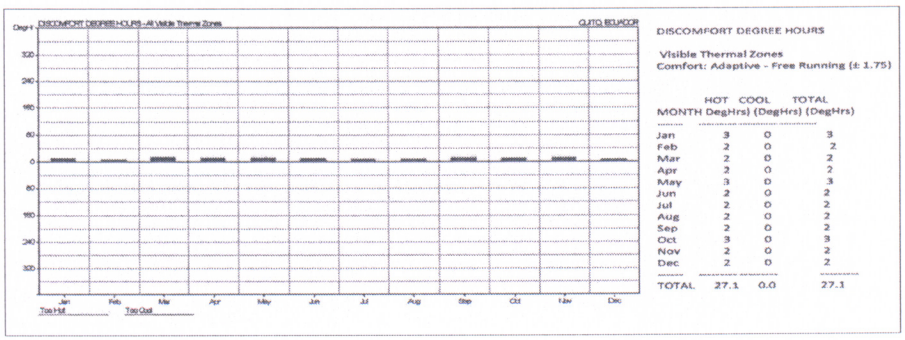


Figura 18: Detalle del aislamiento de la cubierta del CESAQ
Fuente: Elaboración propia

En el análisis del índice de adaptabilidad del modelo con las soluciones constructivas se incrementa el aislamiento en paredes y cubierta, para mejorar la inercia térmica de la envolvente y la ganancia directa en horas de la mañana con los cambios propuestos en materiales de envolvente y reducir así el índice a 0,2 y las horas fuera de *confort* por calor a 27 horas anuales (Gráf. 10).

Gráfico 10
Horas de *confort* en la secretaría del CESAQ



Fuente: Elaboración propia

Las soluciones propuestas con quiebrasoles en la fachada del CESAQ buscan disminuir la ganancia directa en horas de la tarde y el deslumbramiento. Los quiebrasoles fueron diseñados para remplazar la protección actual por persianas, la cual, además de ser ineficiente en protección del deslumbramiento, permite ganancias térmicas directas al espacio. Los quiebrasoles propuestos, de 0,15 m colocados cada 0,22 m con un ángulo de inclinación de 60°, permiten una protección del 66% entre junio y octubre, y del 50% entre diciembre y marzo, como se muestra en la figura 19.

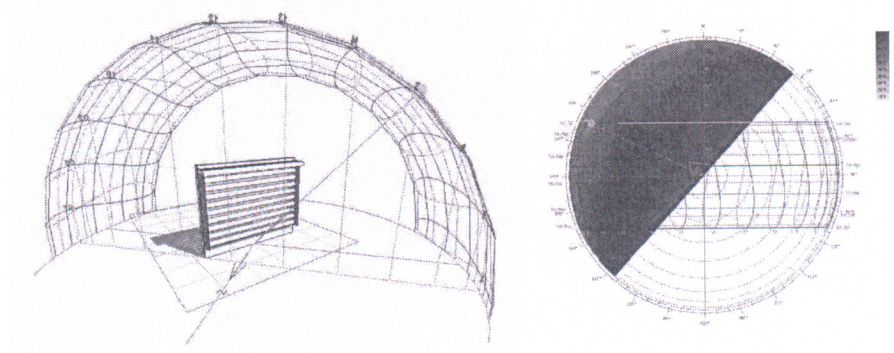


Figura 19: Fuente: diagrama solar quiebrasoles y diagrama solar equidistante CESAQ
Fuente: Elaboración propia

VI. CONCLUSIONES

La aplicación de la ISO 7730 en los espacios señalados como indicador de *confort* se mostró factible y su aplicabilidad, útil y necesaria.

A partir del análisis de los datos procesados de los sensores y las encuestas, se confirmó -como sugiere la bibliografía- que la estratificación dentro de la ISO 7730 en siete categorías es difícil definir de acuerdo con las encuestas; principalmente, por la dificultad de definir grados intermedios de *confort* entre las grandes estratificaciones de neutro, muy cálido o muy frío dentro de las encuestas.

Se confirmó la influencia de puentes térmicos en las tecnologías constructivas predominantes de envolvente, principalmente en cubierta, envolvente y superficies acristaladas; esta es una problemática que no depende de la calidad de la construcción, como de las uniones entre los diferentes materiales usados.

Existe una variación considerable en el gradiente térmico en los espacios de oficina y la sala de reuniones del CESAQ. Se recomienda reducirla mediante la corrección de puentes térmicos, permeabilidad de las envolventes y ventilaciones cruzadas. Sin embargo, en el diagnóstico se encontraron problemas integrales de falta de aislamiento térmico y de envolvente que requieren mayores intervenciones que las planteadas en este estudio preliminar de aplicación y comprobación de la aplicabilidad de la norma ISO 7730. Adicionalmente, sería de interés aplicar modelos adaptativos en los espacios para motivos de comparación de las normativas e indicadores.

Las herramientas e indicadores de *confort* probados demuestran su potencial de uso en el medio construido como herramienta de diagnóstico. Herramientas como el diagrama sicométrico de Givoni modificado (1993), de acuerdo con la ISO 7730, el PMV y las modelaciones térmicas con índices de adaptabilidad, modelos de ganancias térmicas y diagramas solares para protección solar se muestran especialmente útiles en las etapas de diagnóstico y diseño.

Como se comprobó en las modelaciones, el margen de variación entre los modelos y el desempeño térmico real de los edificios es aceptable, y es en esta ultima etapa donde se demuestra el mayor potencial para eliminar posibles problemas térmicos y garantizar condiciones de *confort* en los espacios diseñados

LITERATURA CITADA

Albuja, M. L. (Ed.). (2007) *Atlas Ambiental del Distrito Metropolitano de Quito* (Vol. 1). Quito, Ecuador: Ilustre Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

Arens, E. H. (2010). "Are 'Class A' Temperature Requirements Realistic or Desirable?" *Building and Environment*, 45, 4-10.

Asepeyo, D. (2005). *Confort Térmico*. España: ASEPEYO, Dirección de Seguridad e Higiene.

ASHRAE. (2004). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning.*

Auliciems, A. (1983). "Towards a psycho-physiological model of thermal perception". *International Journal of Biometeorology*, 25, 109-122.

Bluyssen, P. M. (2009). *The Indoor Environment Handbook: How to Make Buildings Healthy and Comfortable.* Londres, Inglaterra: Earthscan.

Brager, G. S. (1988). "Thermal adaptation in the built environment: a literature review". *Energy and Buildings*, 83-96.

Bravo, E., González, L., Rodríguez, L., y Ohnari, K. M. (2002). *Sensación Térmica y Confort en Condiciones Cálidas y Húmedas.* Maracaibo, Venezuela: IFA-Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño.

Cena, K. (2001). "Thermal comfort and behavioural Strategies in Office Buildings Located in a Hot-Arid Climate". *Journal of Thermal Biology*, 26, 409-414.

Código Técnico de la Edificación. (2003). *Documento Básico HE Ahorro de Energía.* España: Ministerio de Fomento, Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo.

D'Ambrosio Alfano, F. R. (s.f.). *A Friendly Tool for the Assessment of Thermal Environments.* Italia, Nápoles: DETEC - Dipartimento di Energetica, Termofluidodinamica Applicata e Condizionamenti Ambientali, Università degli Studi di Napoli Federico II.

DIN-1946-2. (1994). *Heating, ventilation and air conditioning - Requirements relating to health. Deustcher Industrie Normen.*

ERG, University College Dublin. (2010). *Un Vitruvio ecológico.* Madrid, España: GG.

Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.* Copenhague, Dinamarca: Danish Technical Press.

Fariña, T. (1990). *Clima, territorio y urbanismo.* Madrid, España: ETS.

Fernández, F. (1994). "Clima y confortabilidad humana. Aspectos metodológicos". Serie Geográfica, 4, 109-125.

Humphreys, M. A. (2002). "The Validity of ISO-PMV for Predicting Comfort Votes in Every-Day Thermal Environments". *Energy and Buildings,* 34, 667-684.

Humphreys, M. A. (2002). *The Validity of ISO-PMV for Predicting Comfort Votes in Every-Day Thermal Environments.* Oxford, Inglaterra: Oxford Centre for Sustainable Development, Oxford Brookes University.

Humphreys, M. (2002). "Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standars for Buildings". *Energy and Buildings*, 34, 563-572.

INAMHI. (2010). *Análisis Climatológico Decanal.* Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

INAMHI. (2006). *Anuario Meteorológico 2005* (Vol. 45). Quito, Ecuador: INAMHI.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (s. f.). *Condiciones para el Confort Térmico según UNE-EN ISO 7730.* España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

ISO-10551. (2002). *Ergonomía del ambiente térmico. Evaluación de la influencia del ambiente térmico empleando escalas de juicio subjetivo.* International Standard Organization.

ISO-15251. (2007). *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.* International Standard Organization.

ISO-28802. (2002). *Ergonomics of the physical environment - Assessment of environments by means of an environmental survey involving physical measurements of the environment and subjective responses of people.* International Standard Organization.

ISO-7726. (1998). *Ergonomía de los ambientes térmicos. Instrumentos de medida de las magnitudes físicas.* International Standard Organization.

ISO-7730. (2005). *Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local.* International Standard Organization.

Jiménez, S. C. F. (2010). *Construcción Sostenible Aplicada al confort. Informe parcial.* Quito, Ecuador: Mimeo.

Jiménez, S. C. F. (2011). *Construccion Sustentable Aplicada al Confort Informe Final.* Quito, Ecuador: Mimeo.

Kuchen, E. (2008). "Spot Monitoring: Thermal Comfort Evaluation in 25 Office Buildings in Winter". *Building and Environment*, 44, 839-847).

Lenzuni, P. (2007). "Thermal Comfort Assessment in *Confort*-Prone Workplaces". *The Annals of Occupational Hygiene*, 51, 543-551.

Olesen, B. y Parsons, K. (2002). "Introduction to the Thermal Comfort Standards and to the Proposed New Version of EN ISO 7730". *Energy and Buildings*, 3, 537-548.

Olgyay, V. (2008). *Arquitectura y Clima: Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas* (1ra. ed.). (J. F. Clavet, Trad.) Princeton, EEUU: Editorial Gustavo Gili, SL.