



XIENCAC
ENCUENTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

VII ELACAC
ENCUENTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

ZONAS VARIABLES DE CONFORT TÉRMICO PARA EDIFICIOS NATURALMENTE ACONDICIONADOS EN URUGUAY

**Alicia Picción (1); Magdalena Camacho (2); Gabriel Cheirasco (3); María Noel López (4);
Sara Milicua (5)**

(1) Arquitecta, Maestranda en Energías renovables: aplicaciones en la edificación, apiccion@farq.edu.uy;

(2) Arquitecta, Maestranda en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética, mcamacho@farq.edu.uy; (3) Arquitecto, Maestrando en Construcción de Obras de Arquitectura, cheirasco@farq.edu.uy; (4) Arquitecta, Especialista, Maestranda en Ciencias Ambientales, marialop@farq.edu.uy; (5) Arquitecta, Especialista, Maestranda en Construcción de Obras de Arquitectura, smilicua@farq.edu.uy

Universidad de la República, Facultad de Arquitectura; Instituto de la Construcción, Departamento de Clima y Confort en Arquitectura, C.P. 11200, Montevideo, e-mail: decca@farq.edu.uy

RESUMEN

El artículo discute las zonas de confort térmico para edificios naturalmente acondicionados, a partir de estudios de campo sobre confort realizados en edificios públicos destinados a enseñanza y a oficinas, en dos ciudades de Uruguay: Salto y Montevideo. Metodología: Durante todo un año se adquieren datos de parámetros ambientales en cuatro edificios con resoluciones tipológicas y usuarios distintos (acostumbrados a ambientes naturales y/o artificialmente acondicionados) y sus respuestas acerca de las condiciones térmicas del ambiente, sus preferencias y de las acciones que realizan para lograr confort, mediante encuestas. Basados en el enfoque adaptativo de confort térmico, se vincula los datos ambientales con la respuesta de las personas. Se trataron estadísticamente los datos determinando si existe o no relación estadísticamente significativa para las siguientes regresiones: sensación térmica y temperatura operativa y confort térmico y temperatura exterior. Resultados: En los edificios naturalmente acondicionados, existe una correlación significativa entre las respuestas de sensación térmica y la temperatura operativa, así como entre respuestas de confort térmico total y la temperatura exterior registrada. Conclusiones: Se necesitan más estudios a los efectos de proponer un rango de confort térmico para el período frío en Salto y rangos para edificios con aire acondicionado. Los resultados obtenidos muestran que una variación en $\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la temperatura de funcionamiento del aire acondicionado impacta sobre la eficiencia energética, produciendo un ahorro de $2\text{kWh}/\text{m}^2$ en refrigeración.

Palabras claves: confort térmico, enfoque adaptativo, estándar de confort.

ABSTRACT

The article discusses the thermal comfort zones for free running buildings, from comfort field studies conducted in public buildings for education and offices in two cities in Uruguay: Salto and Montevideo. Methodology: For an entire year acquire data of environmental parameters in four buildings with different resolutions typological and users (used to natural and / or artificially conditioning environments) and their response about ambient temperature conditions, preferences and actions to achieve comfort, through surveys. Based on adaptive approach of thermal comfort, environmental data is linked with the response of people. Data were treated statistically by determining whether or not statistically significant relationship to the following regression: thermal sensation and operative temperature and thermal comfort and outside temperature. Results: In free running buildings is a significant correlation between the responses of thermal sensation and operative temperature, and between thermal comfort total and outdoor temperature recorded. Conclusions: More studies are needed to propose a range of thermal comfort for the cold period in Salto and ranges for conditioning buildings. The results show that a variation in $\pm 1^{\circ}\text{C}$ of the air conditioning set point affects energy efficiency, producing a saving of $2\text{kWh}/\text{m}^2$ in refrigeration.

Keywords: thermal comfort, adaptive approach, comfort standard

1. INTRODUCCIÓN

El cuerpo humano mantiene el equilibrio térmico con su ambiente por medio de procesos fisiológicos de termorregulación, no conscientes. A ello se suman los ajustes de comportamiento (ropa, ventanas, ventiladores), la adaptación fisiológica (aclimatación) y los ajustes psicológicos (expectativas) que constituyen los mecanismos que permiten a los ocupantes del edificio adaptarse a los climas interior y exterior. Varios estudios de campo, (Auliciems, 1981,1986; Nicol, 2002, De Dear, 1997; González, 2001) establecieron una fuerte dependencia estadística de las neutralidades térmicas (T_n) para los niveles medios de temperatura del aire exterior, es decir, la temperatura de confort está fuertemente relacionada con la temperatura exterior media registrada para personas en edificios naturalmente acondicionados.

Es necesario precisar los términos. La expresión ‘edificio climatizado artificialmente’ refiere a un edificio que cuentan con instalaciones mecánicas de climatización (HVAC = Heating, Ventilation, Air Conditioning) y ‘edificio naturalmente acondicionado’ a un edificio que no cuenta con dichas instalaciones. Brager y De Dear definen al edificio con aire acondicionado como ‘un edificio sellado y con aire acondicionado central que provee una oportunidad de adaptación mínima y cuyos ocupantes se presume que no tienen opción de abrir/cerrar ventanas’. En el otro extremo también definen el ‘*edificio naturalmente ventilado*’ como aquel con ventanas operables y ventiladores de techo que permite un alto grado de oportunidad de adaptación’. En este trabajo cada caso de estudio presenta particularidades respecto a la clasificación aludida, por lo tanto manejaremos las siguientes denominaciones: *Edificio naturalmente acondicionado*: edificio que no tiene instalaciones centrales de climatización (calefacción, refrigeración o ventilación mecánica); *Edificio con aire acondicionado*: edificio que cuenta con instalaciones centrales de climatización HVAC para todo el año.

Otra evidencia que refieren los autores nombrados es que en los climas cálidos la gente prefiere una sensación térmica algo más fresca que neutral, mientras que en climas más fríos prefieren sentir un poco más caliente que neutral. Por otra parte, para las personas en edificios con aire acondicionado esta relación es más compleja porque el clima interior está dissociado del exterior. Para el enfoque adaptativo, entonces, el rango de condiciones consideradas confortables se ve modificado también por las características del edificio y las oportunidades de adaptación. La importancia de este enfoque radica así en la oportunidad de atender, simultáneamente, al confort de los ocupantes y la reducción de consumo de energía mediante la definición de niveles variables de temperatura interior (De Dear, 1997; ASHRAE 2004). En ese sentido actualmente se discute si es razonable, contar con un rango de confort tan estrecho (Arens et al, 2010). En Uruguay el Ministerio de Industria, Energía y Minería, MIEM, ha instrumentado desde 2005 un Programa de Eficiencia Energética de alcance nacional orientado a mejorar el uso de la energía para los usuarios finales de todos los sectores económicos. Dicho programa, entre otras acciones, ha culminado la etapa de aprobación de normas de eficiencia energética a través del Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT) y una nueva reglamentación térmica para vivienda nueva de la Intendencia de Montevideo (IM). Todas estas acciones deben acompañarse de investigaciones que aporten información y comprensión de los aspectos involucrados en el uso eficiente de la energía en la edificación. A tales efectos se comenzó a estudiar el confort térmico en edificios públicos de enseñanza y oficinas para avanzar hacia la definición de temperaturas de confort adecuadas, de acuerdo al tipo de edificio y en condiciones de clima templado.¹

1.1. Caracterización climática y de los edificios analizados

Uruguay según la norma de Zonificación Climática UNIT 1026:99 está dividido en tres zonas climáticas: Cálida, Templada Cálida y Templada Fría y de acuerdo a la clasificación climática de Köppen pertenece a la zona climática Cfa, clima templado húmedo con precipitaciones todo el año y con temperatura del mes más cálido superior a 22°C. Esta investigación se desarrolla en dos ciudades de Uruguay - Montevideo (latitud -34°50’, altitud 16 m, zona templada fría) y Salto (latitud -31°38’, altitud 33 m, zona cálida) – durante meses cálidos y meses fríos debido a la clara estacionalidad del clima. En Tabla 1 se presentan datos de ambas ciudades según las Normales climatológicas de Uruguay (DNM, 1996).

¹ ‘Un aporte a la eficiencia energética a partir del estudio de condiciones de confort térmico y lumínico en edificios de uso discontinuo para condiciones de clima templado. Estudio de casos’. Proyecto financiado por la Comisión Sectorial de Investigación Científica – UR, llamado 2008.

Tabla 1. Datos de temperaturas medias para Montevideo y Salto. Elaboración propia a partir de DNM, 1996

	Anual	Período caluroso			Período frío		
		Meses Montevideo: diciembre, enero, febrero y marzo	Meses Salto: noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril	Meses Montevideo: abril, mayo, junio, julio agosto, setiembre, octubre y noviembre	Meses Salto: mayo, junio, julio agosto, setiembre y octubre	Temp. media Tm °C	Amplitud media Am °C
Montevideo	16,6	21,8	9,7	22,8	14	8,5	10,8
Salto	18,1	22,1	12	25	14,1	10,9	11,7

Este artículo analiza cuatro edificios públicos: dos edificios de oficina climatizados artificialmente (Sucursal 19 de Junio del Banco de la República, BROU, en Montevideo y la Sucursal del Banco Hipotecario ,BHU en Salto) y dos edificios de enseñanza, ambos de la Universidad de la República, el primero acondicionado naturalmente y el otro climatizado artificialmente en verano cuando dispone de recursos económicos (Facultad de Arquitectura en Montevideo y Edificio de la Regional Norte en Salto).

La Facultad de Arquitectura es un edificio naturalmente acondicionado en los sectores estudiados, sólo un espacio cuenta ocasionalmente con sistemas individuales para su acondicionamiento térmico. El edificio de Regional Norte funciona como naturalmente acondicionado en invierno y como sistema mixto durante el período caluroso, ya que cuenta con un sistema central de refrigeración y ventilación pero con controles por local y además el ocupante puede abrir/cerrar ventanas u otros dispositivos de control. Los edificios del BROU y del BHU son edificios con aire acondicionado central sin controles individuales.



Figura 1. Arriba izquierda edificio BHU y derecha Regional Norte en Salto; abajo izquierda sucursal BROU y derecha Facultad de Arquitectura en Montevideo

1.2. Características de los edificios analizados

De acuerdo al análisis preliminar de una serie de variables estudiadas en los cuatro edificios se puede observar (tabla 2) sus particularidades. Los edificios cuyo uso corresponde a sucursales bancarias cuentan con recursos económicos para el funcionamiento y mantenimiento de los equipos de climatización todo el tiempo. Mientras que en el edificio de la Regional Norte el funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones de climatización depende de la existencia de recursos económicos. También las cargas internas por equipamiento y ocupación se concentran en un horario más restringido y son mayores en los edificios bancarios.

La Regional Norte, de la Universidad de la República, ubicado en Salto fue construido en el 2000 y cuenta con un área cubierta aproximada de 24000 m², distribuidos en 3 sectores: atrio, aulas y oficinas al norte y salón de actos, cantina y biblioteca al sur. Se trata de un edificio cuyas fachadas principales están

definidas por grandes superficies vidriadas, con doble vidriado hermético al sur y vidrio simple con protección solar exterior al Norte. Los entrepisos de hormigón armado aportan masa térmica. Las aberturas operables están distribuidas en la fachada Norte, mientras que en la sur están ubicadas sólo en subsuelo y nivel 1. El atrio no cuenta con aberturas altas que permitan la ventilación por termosifón, es decir que el aire caliente se acumula en el sector superior del atrio. La sucursal del Banco Hipotecario del Uruguay (BHU) se localiza en la ciudad de Salto. Su estilo arquitectónico es de los años 1940 -1950, reciclado hacia el año 2000. Es un edificio en donde predomina la masa y la relación área de hueco sobre superficie opaca es menor al 25%. El edificio funciona como un gran volumen con entrepiso. El edificio de la Facultad de Arquitectura (FARQ), Universidad de la República, ubicado en Montevideo, fue construido hacia 1945 y ampliado en los años 1980 y 2000. Cuenta con un área aproximada de 11500 m² distribuidos en 3 sectores (hall, cantina y salón de actos; biblioteca y oficinas y por último salones) que rodean un espacio exterior central. Edificio de gran masa térmica con fachadas vidriadas conformadas por vidrios simples ($U=6 \text{ w/m}^2\text{K}$). El Edificio 19 de junio del Banco República (BROU), inaugurado en 1976, se localiza en el centro de la ciudad de Montevideo. El proyecto representa al estilo internacional con volúmenes definidos por pieles de vidrio y acero (vidrio simple absorbente). El edificio se estructura en tres volúmenes con un área total de 20.000 m²: dos torres y un volumen más bajo de acceso. Las plantas de las torres eran pensadas como planta libre pero actualmente están subdivididas por tabiques y mobiliario. El flujo mayor de usuarios eventuales se localiza en planta baja.

Tabla 2. Características de los edificios estudiados

	Salto		Montevideo	
	Regional Norte	Banco Hipotecario	Sucursal Banco República	Facultad de Arquitectura

1. Datos generales edificio

área de planta locales estudiados (m ²)	747	337.9	4396	627
altura promedio locales (m)	4.5	3.2	7.7	4
orientación de la fachada principal de los locales estudiados	N - S	S	N-S	E-S
área total de cerramientos vidriados en locales estudiados (m ²)	780.7	116.4	5534.4	322.8
área expuesta locales (m ²)	1297.8	516.2	8856.9	1189.7
horario de uso	de 7:00 a 22:00	de 13:00 a 19:00 hs	de 12:00 a 19:00 hs	todo el día

2. Equipamientos y cargas internas

Densidad promedio de mobiliario: sillas, escritorios, etc (m ² /cantidad)	2.7	7.7	8.2	32.1
Densidad de personas promedio (m ² /per)	13.4	25	38.8	5.1
Densidad promedio en locales estudiados de pc, laptops, escaner, cafetera, (m ² /cantidad)	28.2	16.1	22.5	10

3- Sistema de refrigeración y/o calefacción

Descripción del equipo	fancoil - cassette	fancoil - cassette	manejadoras	No existe
control de encendido	central	central	central	No existe
control de regulación	central/individual	central/individual	central	No existe

4-Determinación de la muestra

cantidad de encuestas realizadas	33	7	34	62
error promedio (%)	10	15	15	15
confianza promedio (%)	90	85	85	85

En la tabla 3 se presentan las posibilidades de adaptación que son percibidas por los usuarios(x) y las existentes (.) en cada uno de los edificios, donde se observa que el edificio naturalmente acondicionado es el que presentan mayores posibilidades de modificación.

Tabla 3. Oportunidades adaptativas: Controles ambientales identificados por los usuarios(x) y disponibles (.)

		Abrir o cerrar una o varias protecciones solares	termostato HVAC	termostato calefacción	On - off HVAC	On - off calefacción	ventilador individual	abrir o cerrar ventanas exteriores	abrir o cerrar puertas int.	abrir o cerrar puertas ext.
Regional Norte	Múltiple altura								X	
	administración							X	.	
	depto de invest.				.			.	X	X
	cantina		X		X			.	.	X
	biblioteca				.			.		
	salones				.			.		
BHU	Doble altura		X	X	X		X			
	Bajo entpiso		X		X					
	Sobre entpiso		X		X					
BROU	Niveles de la torre	X			X	X			X	
	entpiso									
	hall de acceso									.
FARQ	Salones	X						X	X	X
	Biblioteca						X	X	.	X

2. OBJETIVO

La investigación propone un primer acercamiento al tema del confort térmico en edificios públicos de uso discontinuo destinados a enseñanza y a oficinas. El objetivo es contribuir con la comprensión de la relación existente entre la temperatura de bulbo seco a la cual los usuarios dicen encontrarse en confort térmico, la temperatura interior y la temperatura exterior.

El propósito de este artículo es presentar y discutir algunos de los resultados de la investigación ‘Un aporte a la eficiencia energética a partir del estudio de condiciones de confort térmico y lumínico en edificios de uso discontinuo para condiciones de clima templado. Estudio de casos’, especialmente los que apoyan la propuesta de rango de temperatura variable de acuerdo a los fundamentos del enfoque de adaptación.

3. MÉTODO

En el trabajo de campo previo se adquirió simultáneamente datos de las variables del clima interior y del exterior y la respuesta de las personas acerca de las condiciones térmicas del ambiente, sus preferencias y de las acciones que realizan para lograr confort, mediante encuestas (ver tabla 4, registro de variables). Se realizaron las siguientes visitas de campo: Facultad de Arquitectura: 5/11/2009; 23/11/2009; 25/2/2010; 28/7/2010 y 27/9/2010; Regional Norte: 11/12/2009; 9/3/2010 y 11/8/2010; Banco República del Uruguay: 16/3/2010; 17/3/2010 y 24/3/2010; Banco Hipotecario: 11/12/2009; 9/3/2010 y 11/8/2010.

Se contrastaron las mediciones de campo con las respuestas simultáneas de las personas acerca de las condiciones en las que trabajan y de las acciones que realizan para lograr confort². Por tratarse de un monitoreo puntual la medición dura diez minutos por persona, así se pueden relevar varios espacios en un día y obtener más datos por edificio. El cuestionario se dividió en dos partes: 1. Los antecedentes personales, factores de contexto y psicológicos, tales como características de salud, descripción de la oficina, área de trabajo y satisfacción con el espacio de trabajo y luego el cuestionario referido a la evaluación térmica de los personas sobre su entorno inmediato, tales como sensación térmica en la escala de 7 puntos ASHRAE, la preferencia térmica en una escala de 3 puntos y la percepción de control (contabilizándose como sí o no). La vestimenta, la actividad y la tasa metabólica fueron estimadas según ASHRAE 55-92 e ISO 7730 de acuerdo a las respuestas dadas. El diseño de la estructura de base de datos y convenciones de codificación se basó en fuentes del proyecto de Dear (RP-702, 1994). Se determinaron además los índices de confort: Temperatura de neutralidad (Tn) según Aluciems y Temperatura Operativa (Top), con el software de

² Los aspectos metodológicos de la primera etapa del proyecto pueden encontrarse en el artículo ‘Aporte a la eficiencia energética a partir de un estudio de casos de las condiciones de confort térmico y visual en edificios públicos en clima templado’, Anales de ENTAC 2010.

ASHRAE Comfort (Wincomf), Fountain and Huizenga, 1995. Se realizaron 124 encuestas en el período caluroso y 43 en el período frío, con un error promedio de 15%, para un 85% de confianza. Se relevaron sus respuestas térmicas referidas al ambiente construido y las acciones adaptativas, en simultáneo con los estudios del edificio. A los efectos de realizar el análisis de los datos recolectados, los archivos de datos son desagregados para cada edificio. Cada uno de los cuatro edificios cuenta con un resumen estadístico de las variables clave.

Tabla 4. Características de los parámetros ambientales registrados

	<i>variable</i>	<i>instrumento</i>	<i>rango de mediciones del aparato</i>	<i>intervalo del registro</i>	<i>localización del instrumento</i>
Interior	temperatura de bulbo seco local	Onset-Hobo H8	-30°C to +50°C	2 minutos	en el espacio próximo al usuario
	temperatura de bulbo seco usuario	Termo Anemómetro PCM EXTECH 407119A	0°C a +50°C	instantáneo	en el usuario a: 1.10m y 0.6 m
	humedad relativa	Onset-Hobo H8	0 -100%	2 minutos	en el espacio próximo al usuario
	velocidad del aire	Termo Anemómetro PCM EXTECH 407119A (de hilo caliente no omnidireccional)	0.2m/s-17m/s	instantáneo	en el usuario a: 1.10m y 0.6 m
	temperatura media radiante	cámara termográfica FLUKE TIR 3/ FT 20/7.5	-20 °C a + 600 °C	instantáneo	en todas las superficies que rodean al usuario
	iluminancia	Luxómetro digital EXTECH HD450	0 a 50000 luxes	instantáneo	en el usuario a: 1.10m y 0.6 m
	iluminancia	Onset-Hobo H8 con tres canales	0-32000 lumen/m2	2 minutos	en el espacio próximo al usuario
exterior	temperatura de bulbo seco	Onset-Hobo H8 Pro	-40°C a +100°C	2 minutos	espacio exterior del edificio
	humedad relativa	Onset-Hobo H8 Pro	0 % a 100 %	2 minutos	espacio exterior del edificio
	radiación solar	http://www.wunderground.com/	-	horaria	estación meteorológica
	velocidad del aire	http://www.wunderground.com/	-	horaria	estación meteorológica

Nota: para la toma de mediciones de velocidad de aire interior, el sensor de medición se colocó perpendicular al flujo de aire. La medición no dura más de 1 minutos hasta que se estabilice la lectura. La velocidad promedio registrada fue 0.1 m/s \pm 0.001.

El siguiente paso, que presenta este artículo, refiere al desarrollo de productos estadísticos más complejos. Para el tratamiento estadístico de los datos se utilizó el software libre PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis (Hammer, Ø., Harper, D.A.T., and P. D. Ryan, 2001). Primero se realizaron los test de Levene y Lilliefors para probar normalidad y homogeneidad de varianzas de los datos ambientales y respuestas obtenidas. Debido a la gran variabilidad intrínseca existente fue necesaria en algunos casos utilizar la transformación “row normalize length” que convierte los datos a una escala de 0 a 1. El análisis de la regresión lineal se utilizó en este caso para averiguar si existe o no relación estadísticamente significativa entre las siguientes variables: sensación térmica de confort total en los encuestados vs temperatura de neutralidad térmica; sensación térmica de confort total vs temperaturas operativas y sensación térmica vs temperatura exterior. Para esta investigación la evaluación de “confort térmico total” corresponde a aquellas personas que dicen estar ‘ni frío ni calor’ y que además prefieren no cambiar esta situación. Cabe aclarar que algunos de los tamaños de muestra dentro de los edificios individuales fueron demasiado pequeños para permitir que tales modelos estadísticos alcanzaran significación. Sin embargo, el archivo contiene una razonable cantidad, calidad y diversidad de datos aplicables a la fase de propuesta de modelo de adaptación.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Condiciones ambientales interiores y confort

Inicialmente se analizó la neutralidad térmica con el espacio, que sirve para expresar el estado físico, psicológico y fisiológico con que los usuarios perciben el ambiente. Esta neutralidad térmica es percibida como agradable, es decir: no sienten ni frío ni calor en un determinado espacio (Kuchen et al, 2010). Posteriormente se vinculan estas respuestas de neutralidad con la preferencia de permanecer en las condiciones que el ambiente posee, ya que estos datos se complementan. Este voto de preferencia permite encontrar una serie de usuarios que están disconformes o conformes con el ambiente, en términos

porcentuales. Sería confort térmico total aquel que presenta una neutralidad térmica y una preferencia de permanecer en esas condiciones.

El mayor porcentaje de personas que contestan que no sienten ni frío ni calor y que además les gustaría permanecer en estas condiciones es de 67% para el periodo frío en Salto y se obtiene en un edificio con aire acondicionado. Dentro de los edificios naturalmente acondicionados es la Regional Norte en invierno la que tiene los mayores porcentajes.

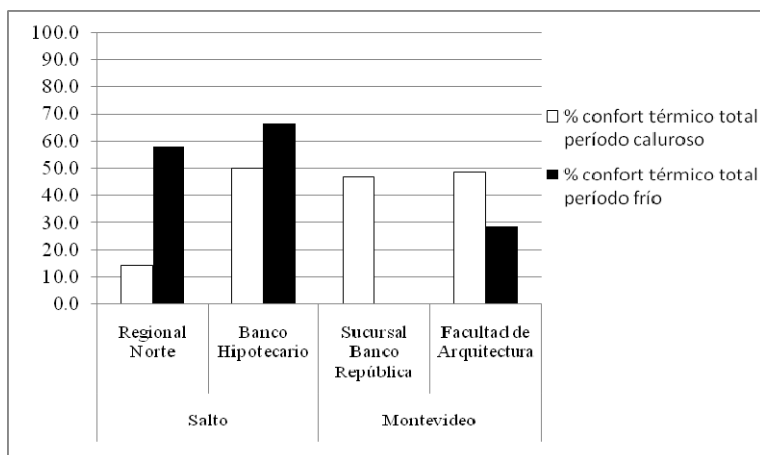


Figura 2. Porcentajes de confort térmico registrados. Fuente: elaboración propia

A partir de la aplicación de la estadística de regresión lineal se vinculan datos de temperatura con las respuestas de satisfacción térmica (expresan que sienten ni frío ni calor). Primeramente se analizó si existe una correlación entre las respuestas subjetivas de los ocupantes con la temperatura operativa calculada. La tabla 5 muestra que existe correlación significativa en los edificios naturalmente acondicionados, tanto en Montevideo como en Salto en ambos períodos, frío y caluroso. En edificios con aire acondicionado se da sólo un caso de correlación, Salto en período frío, pero para un número bajo de respuestas.

Tabla 5. Correlaciones entre respuestas de confort y temperatura operativa (TOP) por períodos. Elaboración propia

Estadística utilizada y número de respuestas válidas	I. edificios con aire acondicionado	II. edificios naturalmente acondicionados
número de edificios período caluroso	2	2
número de edificios período frío	1	2
r^2 de regresiones respuestas de confort térmico y top en Montevideo período caluroso para 95% significancia. NI=31 y NII=19	0.005	0.88
r^2 de regresiones respuestas de confort térmico y top en Salto período caluroso para 95% significancia. NI=12 y NII=43	0.008	0.79
r^2 de regresiones respuestas de confort térmico y top en Montevideo período frío para 95% significancia. NI=0 y NII=21	-	0.97
r^2 de regresiones respuestas de confort térmico y top en Salto período frío para 95% significancia. NI=3 y NII=21	0.99	0.94
r^2 de regresiones respuestas de confort térmico y top en Montevideo y Salto todo el año para 95% significancia. NI=46 y NII=102	0.05	0.61

La figura 3 presenta las regresiones en ambos tipos de edificios para todo el año, donde se repite que existe una correlación aunque es menos significativa que por períodos en edificios no acondicionados, no existiendo una correlación robusta en los edificios con aire acondicionado. En todos los casos los usuarios realizaban actividades de escritorio. Para el período caluroso las respuestas de confort térmico corresponden a personas que estaban vestidas con 0.6 clo de promedio y un desvío de ± 0.12 . En el período frío la variabilidad en la ropa que usaban es mayor, teniendo como media 1.1 clo, y una desviación de ± 0.3 .

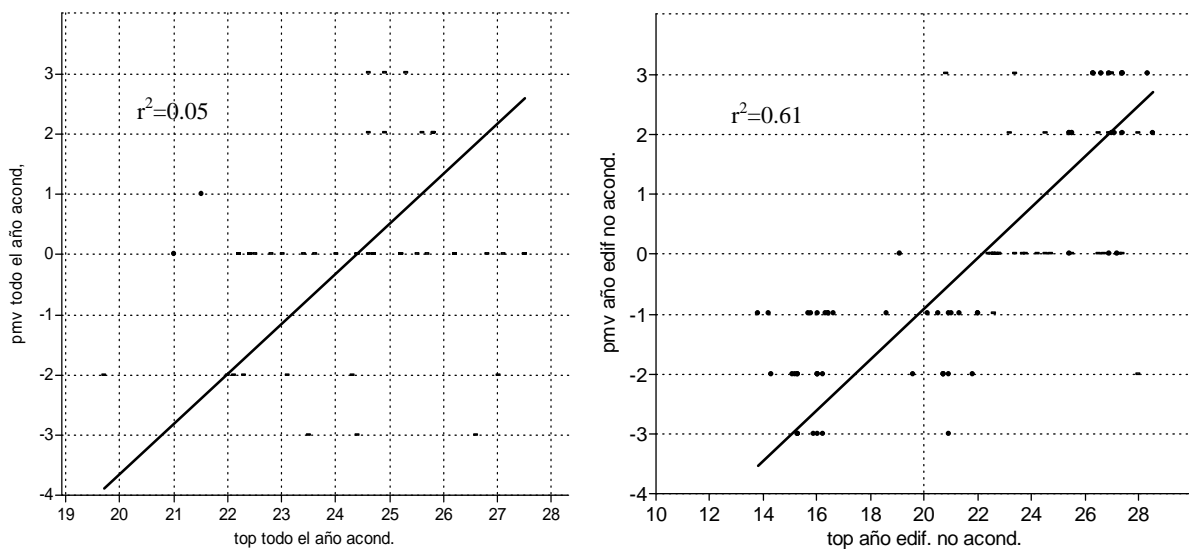


Figura 3. Correlación entre respuestas de confort en escala de ASHRAE -PMV y la temperatura operativa calculada a partir de registros, para todo el año en las dos localidades, edificios acondicionados y no acondicionados.

4.2. Condiciones ambientales exteriores y confort

Se ha argumentado que utilizar solo la temperatura exterior para calcular la temperatura de confort es ignorar otros factores como la humedad y el movimiento del aire, ya que la temperatura de confort es una función que involucra más que la temperatura exterior: depende de la aislación de la ropa de la gente (Nicol et al., 1999), el uso de los controles del edificio (Raja et al. 2001), del metabolismo según la actividad que se desarrolle (Raja and Nicol, 1997). Sin embargo, al ser este estudio una primera aproximación a la determinación de las zonas de confort resulta ser un parámetro posible de discutir.

Debido a que con los datos de temperatura exterior media no se pudo obtener varianza, se tomó otro criterio. Para las respuestas de confort total se halló la temperatura de neutralidad y se la vinculó con la temperatura exterior registrada al momento de la encuesta, en todos los casos. El análisis con todos los edificios juntos determinó una baja correlación (solo en un caso se obtuvo $r^2 = 0.8$; siendo las otras 0.48; 0.05 y 0.005). En tabla 5 se presenta la correlación obtenida con este criterio (T_n vs T_e) para los edificios naturalmente acondicionados, en los que sí existe significancia.

Tabla 5. Correlación temperatura de neutralidad con temperatura exterior registrada

Estadística utilizada y número de respuestas válidas	edificios naturalmente acondicionados
número de edificios período caluroso	2
número de edificios período frío	2
r^2 de regresiones de temperatura de neutralidad térmica de Auliciems y temperatura exterior en Montevideo período caluroso para 95% significancia. N=8	0.72
r^2 de regresiones de temperatura de neutralidad térmica de Auliciems y temperatura exterior en Salto período caluroso para 95% significancia. N=12	0.95
r^2 de regresiones de temperatura de neutralidad térmica de Auliciems y temperatura exterior en Montevideo período frío para 95% significancia. N=6	0.86
r^2 de regresiones de temperatura de neutralidad térmica de Auliciems y temperatura exterior en Salto período frío para 95% significancia. N=11	0.27

4.3. Aplicación de norma ASHRAE 55:2004

Los estudios realizados permiten conocer el grado de conformidad térmica que poseen los usuarios de espacios de trabajo. La información recabada en el trabajo de campo muestra que las temperaturas relacionadas a las respuestas de confort total se mueven en los rangos mostrados en tabla 6, con un valor de mayor frecuencia. Para Montevideo, ciudad más fría, las personas responden a un rango más ajustado, pero en el período caluroso las respuestas muestran mucha dispersión. A la inversa sucede en Salto, ciudad más cálida, donde la mayor amplitud de respuestas se da en el período frío. Estas situaciones estarían reconociendo que la percepción térmica está significativamente modificada por las experiencias y expectativas propias, entre las que se encuentra la aclimatación.

Tabla 6. Rangos de confort térmico registrados

	Período frío		Período caluroso	
	Rango	Temp x frecuencia	Rango	Temp x frecuencia
Montevideo	19 – 21 °C	20 °C	20.5 – 27 °C	24.5
Salto	16 – 22 °C	19 °C	23.5 – 28 °C	25.5°C

Estos rangos constituyen evidencia sobre la aceptación térmica de los usuarios y nos permiten así proponer rangos de aceptación térmica del 90%. Se tomó la propuesta de zona variable de confort de la norma ASHRAE 55:2004 y los datos de tabla 1, para establecer, como referencia, el rango de temperaturas operativas para Salto y Montevideo en edificio naturalmente acondicionados (ver figura 4). Considerando la temperatura media del mes más frío, para Montevideo el rango de confort sería de 18.8 °C a 23.5°C aproximadamente; en cambio para Salto el rango del período frío sería de 19.2°C a 24.0°C. Si consideramos la temperatura media del mes más caliente, en Montevideo el rango iría de 22.2 °C a 27.2 °C y en Salto de 23.2°C a 28.1°C. Los rangos así propuestos para todo el año en Montevideo (18.8 a 27.2°C) y Salto (19.2 a 28.1°C) tendrían una amplitud mayor a 8°C, mientras en la escuela tradicional se propone un rango de 19 a 25°C.

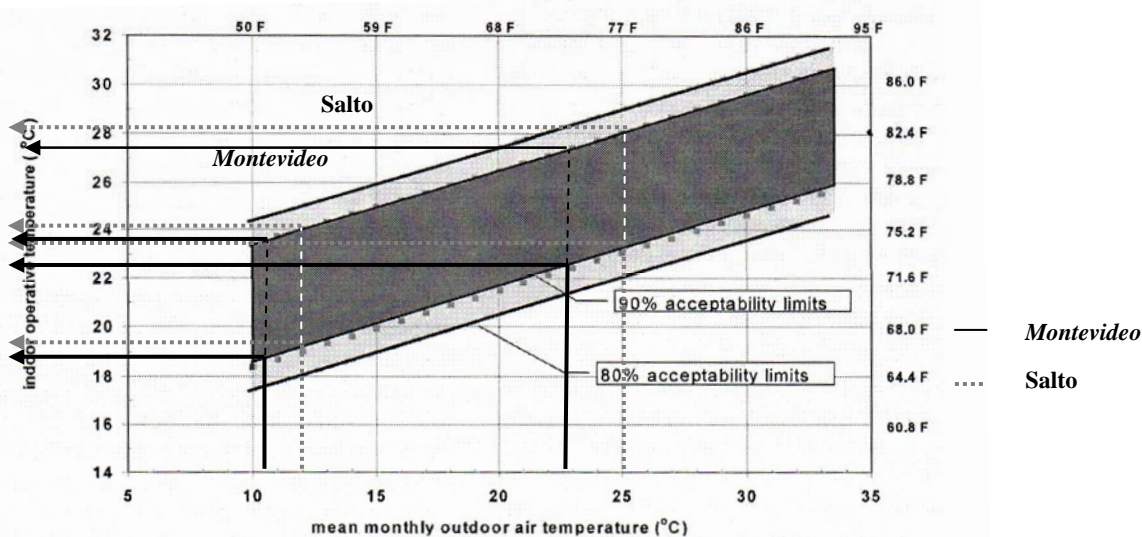


Figura 4. Rangos de temperatura operativa aceptable para edificios naturalmente acondicionados (modelo confort adaptativo) en Salto (punteado) y Montevideo. Fuente: Modificado de ASHRAE, 2004

Van Hoof et al. (2007) discute que el modelo de adaptación es aplicable únicamente durante los meses de setiembre a abril en zonas de clima templado del hemisferio sur, mientras que en invierno no sería aplicable debido a las bajas temperaturas exteriores (menores a 10°C). En nuestro estudio la discusión se da sí en el período frío, pero para la ciudad de Salto donde la temperatura media de invierno es mayor a 10°C y más altas que en Montevideo, donde el modelo resulta aplicable.

Los rangos propuestos representan también un potencial de ahorro energético del edificio, ya que permite modificar el set-point de temperatura del aire acondicionado. Asumiendo que la edificación en el sector servicios consume el 8% del consumo de energía para refrigeración (DNEM,2008), si la temperatura de set point de los equipos variara en +1°C se ahorraría 2 kWh/m² en refrigeración.

5. CONCLUSIONES

Los estudios de campo mostraron bajos porcentajes de confort en los edificios públicos analizados. La edad de la construcción y las tecnologías incorporadas no suponen una mejor percepción de confort de los usuarios. Tal como lo expresan Nicol y Humphreys (2002) infortunadamente las encuestas de confort no producen datos que sean suficientemente coherentes para trabajar estadísticamente, por la complejidad de las variables y sus relaciones.

La temperatura operativa presenta correlaciones significativas con las respuestas de ni frío ni calor expresadas en edificio naturalmente acondicionados de Montevideo y Salto, por lo que puede ser utilizado como índice de satisfacción térmica con el ambiente para evaluar o diseñar estos tipos de edificios.

También se encontró razonable correlación entre la temperatura exterior y las respuestas de confort total (satisfacción + preferencia) - índice más exigente que la simple respuesta de ni frío ni calor. Esto implica que las decisiones de diseño que vinculan al edificio con el clima del lugar impactarán sobre el confort de los usuarios y el consumo de energía.

A partir de los resultados de estas correlaciones se observa la oportunidad de la aplicación de la norma ASHRAE 55:2004 en estas dos ciudades, para edificios naturalmente acondicionados. Sin embargo se discute para Salto la validez del rango de confort para el período frío porque los valores de temperatura de mínima y máxima parecen elevados. En este estudio de campo y en otros realizados para edificios residenciales en Salto, los resultados muestran una dispersión en las preferencias de temperatura para el período frío pero con tendencia a preferir y aceptar valores más bajos de temperatura que los propuestos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARENS, E., HUMPHREYS, M.A., DE DEAR, R., ZHANG, H. **Are “Class A”, temperature requirements realistic or desirable?** Building and Environment 45(1): 4-10. 2010.
- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2004. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy** (ASHRAE Standard 55-2004). Atlanta, 2004.
- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 1997. **Comfort Programme**. Atlanta, 1997.
- AULICIEMS, A. **Towards a psycho-physiological model of thermal perception**. International Journal of Biometeorology, v. 25, 109-122, 1981.
- DE DEAR, R. AND BRAGER, G. **Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55**. Energy and Buildings, v.34, n.6, p 549-561, 2002.
- DE DEAR, R., BRAGER, G., COOPER D. **Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference**. Final report, ASHRAE RP- 884, Macquarie University, 1997.
- GONZALEZ, E. AND BRAVO, G. **Toward appropriate comfort temperatures to the hot and humid climatic conditions**. Plea 2001 International Conference on Passive and Low Energy-Architecture. p. 823-827, 2001.
- HOUGHTEN F. AND YAGLOU C.P. **Determining lines of Equal comfort**. ASHRAE. Transactions, 28, p 361- 384, 1983.
- HUMPHREYS, M. AND HANCOCK, M. **Exploring the variation of the desired thermal sensation on the ASHRAE scale**. En Energy and Buildings, 2007, v.39, n.7. p. 867-874, 2007.
- INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION (ISO). **Moderate Thermal Environments: Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort (ISO 7730)**. Geneva, Switzerland, 1994.
- INSTITUTO URUGUAYO DE NORMAS TÉCNICAS (UNIT). **Zonificación Climática**. UNIT 1026:99. Montevideo, 1999.
- MCCARTNEY AND NICOL, **Developing an adaptive control algorithm for Europe**. Energy and Buildings, v.34. p. 623-635, 2002.
- KUCHEN, E, FISCH, M, GONZALO, G. **Modelos de confort. Rangos de Aceptación térmica**. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol 14, 2010. Argentina
- MEDINA, E. **Modelos de elección discreta**, disponible en www.eva.medinaam.es, 2003.
- MINISTERIO DE INDUSTRIA ENERGÍA Y MINERÍA. **Proyecto de Eficiencia Energética**. Montevideo, 2005.
- MINISTERIO DE INDUSTRIA ENERGÍA Y MINERÍA. **Plan de Ahorro energético. Dirección Nacional de Energía y Tecnología Nuclear**. Montevideo, 2008.
- NICOL, J. F., & HUMPHREYS, M. A. **Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings**. Energy and Buildings, v.34, n.6, 563-572, 2002.
- VAN HOOFF, J AND HENSEN, J. **Quantifying the relevance of adaptive thermal comfort models in moderate thermal climate zones**. Building and Environment 42: 156-170, 2007

AGRADECIMIENTOS:

Los autores agradecen a la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) por financiar esta investigación como proyecto I+D del año 2008. De igual manera a las instituciones que permitieron realizar los estudios de campo en sus instalaciones y a sus funcionarios que brindan su tiempo y colaboración.