

POTENCIALES DE EFICIENCIA Y CONFORT PARA UN MEJOR FUNCIONAMIENTO DEL EDIFICIO CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN

E. Toranzo¹, E. Kuchen², A. Alonso³

Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat - Universidad Nacional de San Juan, Argentina (IRPHa UNSJ)
Ignacio de la Roza y Meglioli – 5400 Rivadavia – San Juan
Tel. 0261-4260104 – Fax 0261-4235397e-mail: euge_toranzo@hotmail.com

Recibido: 13/08/12; Aceptado: 05/10/12

RESUMEN: Los edificios públicos no alcanzan las exigencias térmicas, debiendo introducir sistemas adicionales de climatización, pudiendo afectar la eficiencia energética del edificio. El objetivo de esta investigación es conocer potenciales de eficiencia a partir del comportamiento del usuario en su espacio de trabajo. Para ello se lleva a cabo un estudio de campo mediante mediciones con sensores y encuestas. La correlación entre datos medidos y datos subjetivos permite encontrar potenciales de adaptación para el usuario y de eficiencia energética para el edificio. La evaluación se basa en normas internacionales y en el voto de confort emitido por los usuarios. Se observa que según las exigencias propuestas por el estándar de referencia ISO 7730, el porcentaje de aceptación térmica es $\approx 80\%$, es decir, buen nivel de confort. En contraposición al estándar, la temperatura de confort es variable y el usuario emplea estrategias de adaptación para restablecer su condición de confort. Este aspecto, sumado a la falta de educación del usuario y a falencias del funcionamiento del edificio, conduce a estimar potenciales de eficiencia y confort.

Palabras clave: edificios públicos, confort térmico, adaptación térmica, eficiencia energética

INTRODUCCIÓN

Hoy la valoración del confort térmico exige mayor atención. Los usuarios de edificios de oficina permanecen más del 30% de su tiempo en espacios de trabajo con lo cual, las condiciones térmicas interiores deben satisfacer el bienestar en términos de producción y salud. El aporte de confort térmico conduce a gastos de energía importantes por lo cual, algunos países implementan programas y normas sobre eficiencia en el funcionamiento de edificios (ver WSVO, 1995; EnEV, 2002), considerando el comportamiento de sus usuarios en sus espacios de trabajo (ver (EnBop, 2008)).

Se sostiene la necesidad de encontrar un equilibrio entre confort y costos de energía. A esto se suman costos ambientales que tiene el suministro de diferentes formas y usos de la energía primaria (Kuchen et al., 2011). Pensando en la disponibilidad adecuada de recursos para las generaciones futuras, estas medidas son significativas a corto, mediano y largo plazo ya que conducen a disminuir la contaminación ambiental y al cuidado de los recursos no renovables. La carencia de normativas nacionales específicas para evaluar las exigencias locales sobre confort y eficiencia energética conduce al uso de estándares internacionales (Ej.: ASHRAE-55, 2004; ISO-7730, 2006; ISSO-74, 2004; EnBop, 2008).

En el año 1970 un cambio significativo impulsado por el profesor P.O. Fanger introduce el concepto que el confort térmico es estándar para todo el mundo. Su teoría es adoptada por normas internacionales como la ISO 7730. Otros autores encuentran serias diferencias en su aplicación y señalan la necesidad de abordar las particularidades de cada caso de estudio, considerando la habilidad de adaptación del usuario a diferentes escenarios y experiencias térmicas.. Además, indican que dicha norma es útil solo en espacios con climatización total (ver (Auliciems, 1981)).

La integración de estas particularidades impulsan el desarrollo del Proyecto PICT (Cod.304/10) “Eficiencia Energética y Confort en Espacios de Trabajo, EEC” (Kuchen, 2010), en el cual se abordan una serie de edificios públicos con espacios de oficina pudiendo aplicar conocimientos, metodologías y herramientas para diagnosticar el comportamiento térmico-energético del edificio y la percepción sensorial de usuarios respecto de variables ambientales interiores de espacios de trabajo. En este trabajo se selecciona un edificio de oficinas de la ciudad de San Juan diseñado bajo criterios bioclimáticos básicos adecuados a las particularidades de la región. En la etapa de post-ocupación del edificio se lleva a cabo un monitoreo en invierno, periodo transitorio y verano. Se analizan hábitos que el usuario emplea para modificar su expectativa térmica y se evalúa el grado de adaptación mediante estrategias simples como la apertura de ventanas, el uso de parasoles o la adaptación de la ropa. Mediciones con sensores y encuestas cortas simultáneas a los usuarios permiten evaluar estos aspectos en relación al consumo energético del edificio y validar el estándar de referencia internacional (ISO 7730, 2004). El seguimiento del edificio a lo largo de su vida útil permitiría, obtener un panorama holístico sobre el desempeño del edificio y del usuario, como así también introducir aportes para el desarrollo de estándares locales sobre el confort y el cuidado de la energía en edificios.

¹ Becario CICITCA, UNSJ

² Investigador CONICET

³ Becario CICITCA, UNSJ

OBJETO DE ESTUDIO

El Edificio Central de la Universidad Nacional, en adelante ECU, construido entre 1949 y 1952 diseñado con criterios bioclimáticos básicos, se emplaza sobre un eje cívico institucional de la ciudad de San Juan. El edificio se sitúa en la zona bioambiental IIIa según (Norma IRAM 11603), en clima templado cálido con temperatura exterior media anual de 17,2 °C. Las estaciones del año propias de la región, exigen considerar aspectos pasivos tales como la inercia térmica de los muros perimetrales, el uso de parasoles horizontales/verticales, la variación del porcentaje de vidrio en las aberturas según la orientación de las fachadas y el desarrollo longitudinal en sentido este-oeste (ver Figura 1). Así se logran obtener ventajas en ventilación y ganancia/rechazo de la energía solar (ver (Kuchen et al. 2011)).



Fig. 1a - Fachada Norte

Fig. 1b - Fachada Sur

Fig. 1c - Fachada Este

Fig. 1d - Fachada Oeste

Figura 1 – Fachadas y detalles del ECU.

La Figura 1a, muestra una fachada norte con el 30 % de superficie vidriada y parasoles horizontales fijos. En la parte inferior (1^{er} piso), el porcentaje de vidrio es cercano al 80% con parasoles verticales móviles y árboles de hoja caduca, adecuando ganancia/rechazo del sol. La Figura 1b, muestra un 50 % de superficie de vidrio sobre fachada sur, permitiendo el enfriamiento radiativo nocturno y el aprovechamiento de corrientes de aire predominantes del sur-este en verano. Las fachadas este y oeste (ver Figura 1c y 1d) son casi idénticas y poseen un porcentaje de superficie vidriada < 10% con parasoles verticales móviles para el control manual del ingreso de radiación solar en los ambientes de trabajo. La superficie total del edificio es de 5.320m². Para el análisis se divide en tres sectores funcionales. Oficinas (espacios de trabajo) representa el 45,9%, Servicios (sala de máquinas, archivo, baños, ascensores y escaleras) el 30% y Otros usos (hall, sala de convenciones, sala de teatro, sala del concejo superior) el 24,1% (ver figura 2).

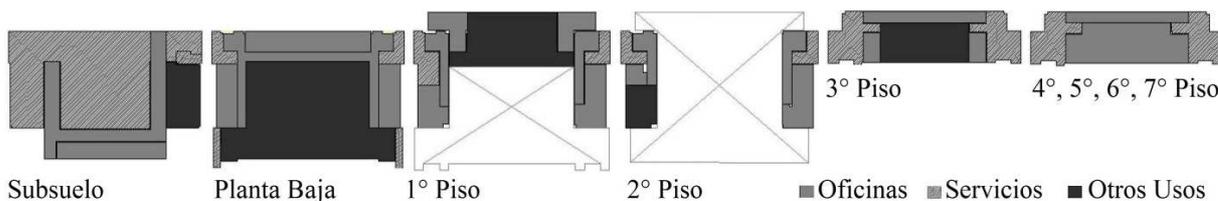


Figura 2 – Distribución de Sectores de Oficinas, Servicios y Otros Usos por Piso en el Edificio ECU.

El edificio posee un sistema de climatización total. El sistema de calefacción consiste en una caldera de vapor de 320 kW que abastece tres circuitos diferentes (ver Figura 3). El sistema de refrigeración es mixto por combinar un sistema central de 33,9kW para abastecer el circuito A (subsuelo, planta baja, 1° y 2° piso). Un aire acondicionado tipo splits central de 13,9 kW por piso del 3° al 6° y equipos splits individuales por oficina de potencias variables que en promedio no superan los 2 kW cada uno en el 7° piso (ver figura 3) y que suman un total de 12kW.

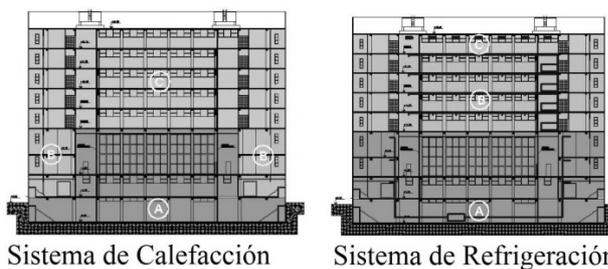


Figura 3 – Corte este-oeste sobre hall central. Zonificación de circuitos de calefacción y enfriamiento en el edificio de oficinas ECU.

METODOLOGÍA

Se propone un trabajo de campo, de tipo transversal mediante mediciones y encuestas simultáneas en invierno, período transitorio y verano. Entiéndase por transversal, elegir un día al azar por estación del año, tomando la mayor cantidad de casos para conseguir una distribución normal (ver (Kuchen, 2008)). En total se relevan 25 espacios de oficina que se eligen en función de la estratificación por piso y según la orientación, evitando relevar los casos particulares.

a) – Medición y Encuesta de Confort: Comienza a las 8:00hs en subsuelo y culmina a las 13:30hs en el 7° Piso. Se registran las variables temperatura y humedad relativa mediante sensores de alta precisión HOBO, que responden con la exactitud y tiempo de respuesta propuesto por la norma ISO 7726. Un sensor fijo exterior en azotea tipo UA-001-64 permite tomar

registro de la temperatura exterior. Simultáneamente un sensor móvil tipo U12- 012 se desplaza en el interior del edificio para la medición por oficinas. El sensor móvil se ubica a $0,90 \pm 0,20$ m sobre el nivel del piso. Se miden por Piso, 3 espacios de oficinas como mínimo. La medición dura no más de 5 minutos por espacio de trabajo. Se contempla un período de adaptación térmica del sensor de 3 minutos y se toman 2 minutos adicionales para el traslado del instrumental dentro de ECU. Como máximo es posible relevar 6 espacios por hora. El intervalo de medición es de 1 minuto.

Paralelamente a la medición móvil, el usuario responde una encuesta corta (dos carillas). La encuesta se elabora sobre la base de los objetivos propuestos y en relación al modelo desarrollado en (Kuchen, 2008). Las preguntas versan sobre aspectos psicológicos, fisiológicos y físicos del usuario respecto al ambiente térmico en que se encuentra. Entre los datos más importantes están el voto de sensación térmica (CV, Comfort Vote) y preferencia térmica (PV, Preference Vote), el nivel de actividad en la última hora de trabajo (Met) y los niveles de aislación de la ropa (Clo). La sensación térmica del usuario se contabiliza mediante el uso de la escala de valor de 7 puntos de ASHRAE (ver (ASHRAE 55)). Sobre dicha escala, el usuario promedio estima su sensación térmica CV (Voto de Confort) al elegir valores que van desde -3 (mucho frío), -2 (frío), -1 (algo de frío), 0 (neutro), +1 (algo de calor), +2 (calor), hasta +3 (mucho calor), pudiendo elegir valores intermedios.

b) – Adaptación Térmica Usuarios: La encuesta permite además, relevar información sobre el acceso manual al control del ambiente térmico mediante estrategias como modificación de prendas de vestir, apertura de puertas/ventanas, accionamiento del parasol, etc. Para evaluar los procesos de adaptación térmica un relevamiento ocular permite conocer el estado del cielo, el tipo de fachada, el funcionamiento del sistema de climatización, el estado de apertura de ventanas, el uso de elementos de protección solar, la incorporación de equipamiento adicional para climatización, entre otros.

c) – Consumo y Demanda Energética: El levantamiento de datos sobre el tipo y uso de diferentes formas de energía empleadas en el funcionamiento de ECU exige acceder a los registros de consumo energético real anual del edificio correspondientes al año de estudio 2011, período en que se llevan a cabo las mediciones. Estos datos se obtienen del ente regulador de energía de la ciudad. Para determinar la demanda energética del sector Oficinas, se releva la potencia instalada de los ítemes Ventilación, Calefacción, Refrigeración e Iluminación en el edificio y se discriminan por unidad de superficie útil del sector de estudio. Además, se enumeran tipo, cantidad y potencias de “Artefactos de consumo eléctrico” del sector Oficinas (Ej.: monitor, ordenador, impresora, fax, etc.). Este valor de demanda se mide en $[kWh/m^2a]$ y se contrasta con el valor de consumo real, que se expresa en la misma unidad. La evaluación de la demanda del sector Oficinas se hace en relación a valores de referencia que propone el programa alemán EnBop, EnergieBetriebsoptimierung (Optimización energética del edificio en su etapa de funcionamiento), que se aplica sobre edificios demostrativos en los cuales se pretende alcanzar una demanda de energía primaria (PE) para Iluminación, Calefacción, Refrigeración y Ventilación de $100 kWh_{Prim.}/m^2a$ (ver (EnBop, 2008)). Para ello, los valores de energía final (FE) que consume el edificio ECU, se reducen a valores de energía primaria (PE).

d) – Eficiencia Energética: Los potenciales de EE que se proponen para mejorar el funcionamiento de ECU se fundan en valores de referencia propuestos por estándares de eficiencia y según valores objetivo relevados en publicaciones (EnBop, 2008; Dutt; et al., 2006; Fisch, et al., 2007; Kuchen, et al., 2011).

RESULTADOS

En ECU se recolectan 156 encuestas (votos) en el sector de oficinas en invierno, período transitorio y verano, en 2011. Cada encuesta se vincula a un valor de medición de las variables ambientales, al consumo energético del edificio y a una demanda energética por superficie unitaria del sector Oficinas. Estos datos son suficientes para documentar el grado de confort y eficiencia energética del edificio, evaluar los resultados en relación a los estándares de referencia y elaborar estrategias de mejoramiento.

a) – Confort Térmico: La Figura 4 muestra la comparación entre los valores de temperatura interna de medición máxima, media, mínima y su desviación estándar y el valor medio de temperatura exterior durante los periodos de invierno, transitorio y verano. Es necesario aclarar que la desviación estándar (σ) es donde se encuentra el 70% de la dispersión de los datos, es decir la zona más representativa de la muestra. Se destaca el contraste de amplitud térmica interior/exterior del edificio en invierno con una diferencia de $Dt=13,8K$ (Kelvin).

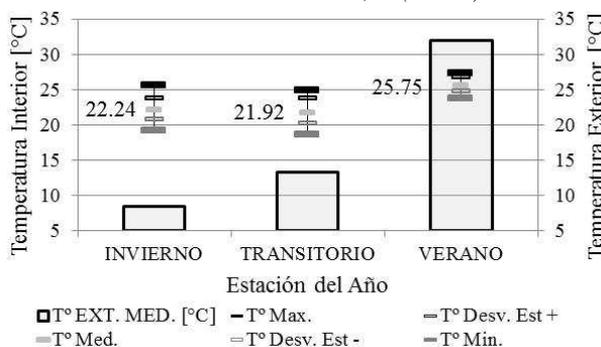


Figura 4 – Valores máximos, medios, mínimos y de desviación estándar de temperatura interior en relación con la media exterior, en función de las estaciones.

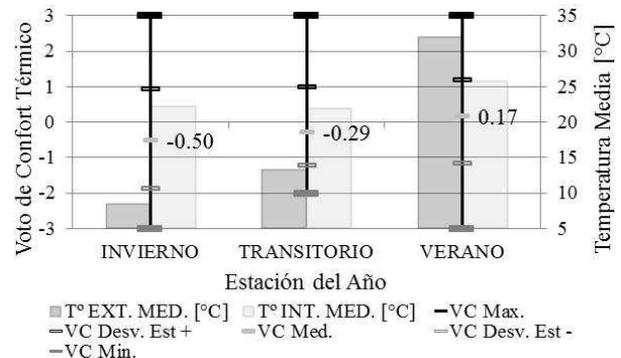


Figura 5 – Voto de sensación térmica (encuesta) respecto a las temperaturas medias (medición) en función de las estaciones.

Este gradiente es progresivamente menor en los demás períodos. En invierno, el sistema de calefacción permite mantener una temperatura media de $22,2 \pm 1,3^{\circ}\text{C}$ de desviación estándar. En verano, el sistema de refrigeración mantiene un rango de temperatura interior de $25,7 \pm 1^{\circ}\text{C}$, aun cuando la temperatura exterior alcanza una media de 32°C al momento de la medición. De los valores obtenidos de la encuesta, el voto de sensación térmica (CV) es un indicador de la satisfacción con que los usuarios aceptan o no el ambiente térmico en que se encuentran. En la Figura 5 se esbozan los valores de CV máximo, medio, mínimo y desviación estándar. Cada voto CV, se obtiene en simultáneo con la medición de temperatura interior (t_a) y exterior (t_e) para cada estación del año estudiada. En la Figura 5 se superpone dicha información, donde se observa que un incremento de t_e , se correlaciona con un aumento de sensación de calor.

Es de destacar que aunque el voto CV en el período de invierno se expresa con un valor medio de $-0,5$, la desviación estándar entorno a dicho valor oscila en $\sigma \pm 1,4$ sobre la escala de 7 puntos de ASHRAE y con ello interpretarse, que parte de la muestra se sitúa en la sensación de "frío". En el período transitorio y en verano, CV se acerca más a la sensación de confort aunque en ambos casos no se obtiene $\text{CV}=0$. La desviación estándar sobre el valor medio en ambos períodos no supera $\sigma \pm 1$ y con ello se interpretan condiciones de confort más estables que en el período de calefacción (ver Figura 5).

b) – Adaptación Térmica: De la encuesta se obtiene información sobre el acceso manual de los usuarios al control del ambiente térmico. A través de diferentes estrategias, el usuario restituye la desconformidad térmica y acepta rangos de temperaturas de confort variables. La Figura 6 destaca el porcentaje de empleo de distintas estrategias de adaptación que el usuario promedio emite en la encuesta ($n=156$). La frecuencia con que emplea la apertura de puertas/ventanas, accionar un parasol, encender una estufa eléctrica (invierno), accionar un split o un ventilador (verano), incluso modificar sus prendas de vestir, permite evaluar el grado de adaptación. Los resultados se agrupan en frecuencias de uso: siempre y a menudo, rara vez y nunca y cuando no es posible, en invierno, período transitorio y verano. La Figura 6, destaca el uso frecuente de modificación de Prendas de vestir ($\approx 80\%$) y el empleo de Puertas y Ventanas ($>50\%$). La incorporación de Estufas en el período de invierno y transitorio ($\approx 50\%$), puede deberse a deficiencias térmicas del sistema de calefacción, tanto como la incorporación Ventiladores y Splits ($\approx 40\%$), en el período de verano.

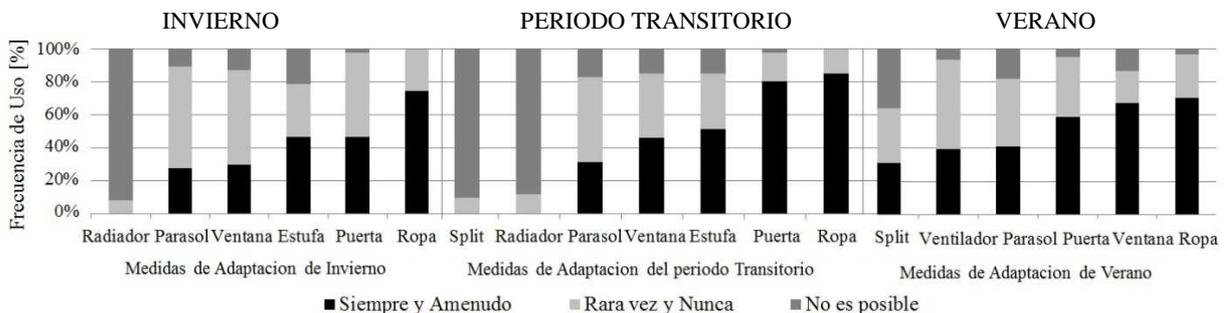


Figura 6 – Frecuencia de aplicación de las medidas de adaptación en Invierno, periodo Transitorio y Verano.

El relevamiento ocular permite reforzar la evaluación sobre aspectos vinculados a la adaptación térmica. Para ello se cuantifican apertura de ventanas, uso de cortinas y parasoles y el estado de funcionamiento del sistema de climatización en espacios de trabajo. La Figura 7, muestra un incremento de apertura de ventanas en el período de verano ($>20\%$), bajo uso del parasol a lo largo de las estaciones del año ($\approx 30\%$), disminución de uso de cortinas en verano ($<30\%$) y funcionamiento parcial del sistema de climatización en período transitorio. La información de la Figura 6, se contrasta con la Figura 7, pudiendo afirmar el usuario es activo a la hora de adaptarse a condiciones térmicas variables según la época del año.

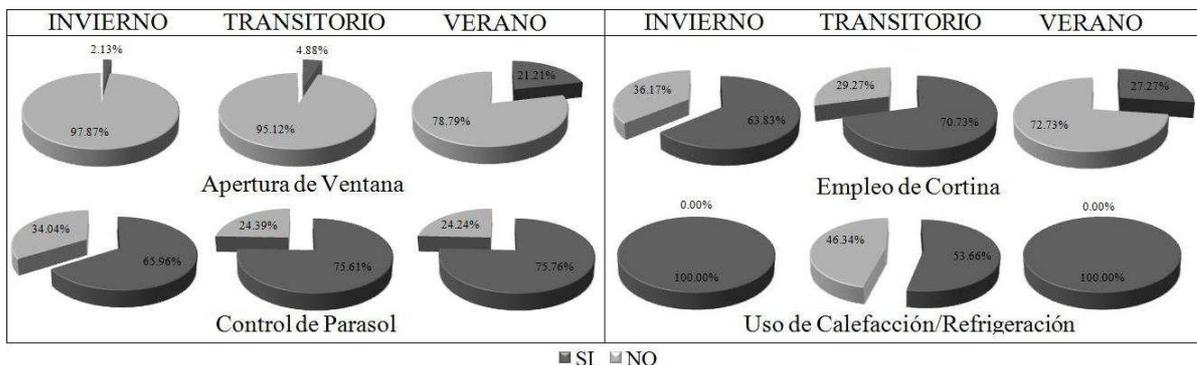


Figura 7 – Porcentaje de empleo de medidas de adaptación en invierno, período transitorio y verano.

c) – Eficiencia Energética: El consumo real anual de energía final del período 2011, se discrimina en función de la superficie útil del sector de Oficinas de ECU ($45,9\%$ del total del edificio), siendo de $161,1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Del relevamiento de la potencia instalada, se determina la demanda de energía de los ítemes Ventilación, Refrigeración, Calefacción e Iluminación del Edificio ECU que se corresponde con el sector de Oficinas, la cual supera los $95 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. El relevamiento de Artefactos de consumo eléctrico del sector Oficinas permite estimar una demanda de $\approx 60 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. La demanda anual para el sector Oficinas asciende a $153,64 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Con ello se estima que más del 30% del gasto energético es provocado por los Aparatos

de consumo eléctrico. La Figura 8a muestra la distribución porcentual de la cantidad de equipamiento de consumo eléctrico en el sector Oficinas y la Figura 8b la demanda energética porcentual de cada uno de ellos.

Este relevamiento arroja valores que afectan la eficiencia del edificio. Por ejemplo, el artefacto “PC” presente en un 13%, representa el 43% de demanda del sector y casi contrariamente el artefacto “Lámpara Compacta” presente en un 40% llega a ser representativa del 14% de la demanda de energía por superficie útil. El relevamiento permite observar usos imprevistos de apoyatura al sistema de acondicionamiento, como por ejemplo: El artefacto “Estufa Eléctrica” está presente en un 2%, pero representa el 21% de la demanda de energía que generan los Artefactos de consumo eléctrico sobre el sector de estudio.

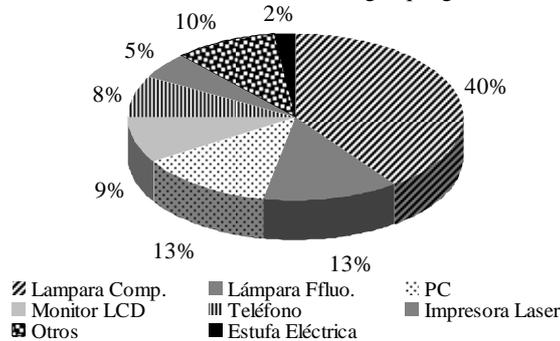


Figura 8a – Cantidad de Artefactos de consumo eléctrico de oficina promedio

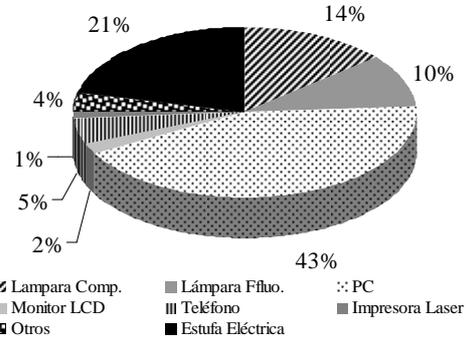


Figura 8b – Demanda energética porcentual que generan los Artefactos de consumo eléctrico en el sector oficinas

Consumir 161,1 kWh/m²a de energía final en el sector Oficinas, acarrea costos ambientales que dependen de la composición de la matriz energética de la cual se nutre la red, es decir de los diferentes tipos de energía primaria involucrados en la obtención de energía útil para el funcionamiento del edificio (electricidad, gas, etc.).

ANÁLISIS

El edificio ECU posee climatización total. Por ello, en la evaluación de los resultados sobre el confort térmico, se consideran las sugerencias del estándar de referencia ISO 7730 (ISO 7730, 2006). Las exigencias de esta norma, se contrastan con la opinión de otros autores que justifican que dicho estándar no contempla el proceso de adaptación térmica del usuario medio (Cena, de Dear, 1998; Nicol, Humphreys 2005, Raue, et al. 2006). La evaluación de la eficiencia energética se hace en base a las exigencias del estándar EnBop (EnBop, 2008). Algunos potenciales de eficiencia se postulan en base a predicciones según (WWF, 2008; EnBop, 2008 y Dutt; et al., 2006).

a) –Confort Térmico Variable: El estándar ISO7730 indica que en invierno 80% de los usuarios estarían satisfechos con el ambiente térmico mientras la temperatura en el ambiente interior se mantenga dentro del rango de 22±2°C y en verano, dentro del rango de 24,5±2,5°C (ver ISO 7730, 2004, Categoría B = Buen nivel de confort). La Figura 4 permite corroborar que en ECU, tanto el sistema de calefacción en invierno, como el de refrigeración en verano mantienen una temperatura media de 22,2°C y 25,7°C respectivamente y dentro de un rango con mínimas desviaciones ya que en ambos casos la desviación estándar no supera ±1,3°C. En principio estos valores dan a conocer que el confort de los usuarios es bueno (ver ISO 7730), ya que el alcanzar valores de disconformidad térmica menores al 20% o lo que es lo mismo del 80% de aceptación se considera un logro. Simultáneamente a esta teoría, otros autores indican la necesidad de disponer del diagnóstico que emiten los usuarios en sus espacios de trabajo (ver (Cena, de Dear, 1998; Nicol, Humphreys 2005, Raue, et al. 2006, Kuchen, 2008)). De la medición de temperatura del aire (ta) y del voto de sensación térmica de la encuesta (CV), se obtienen rectas de regresión con pendientes “b” que varían para invierno b=-0,18, para el período transitorio b=0,10 y para verano b=0,64. Estos autores concluyen que la constante “b” es un indicador del nivel de adaptación de los usuarios. De ello, se podría indicar que en verano la pendiente es más elevada que el de los otros períodos y por ello, estarían mejor adaptados o aceptarían rangos de temperatura mayores, pero por tratarse de un edificio con climatización total se considera el valor de pendiente de la recta promedio que es: b=0,14 y a su vez, representativo de las 156 encuestas realizadas en los tres períodos.

Nótese que no todos los usuarios votan CV=0 sobre la escala de 7-puntos de ASHRAE. Esto lleva a interpretar que más allá de que ta se mantenga relativamente constante, los usuarios no sienten el confort de la misma manera, es decir que prefieren temperaturas más altas o bajas de las que poseen. Para analizar la temperatura más adecuada al nivel de adaptación que tienen los usuarios, se toma el concepto de temperatura de confort o temperatura de neutralidad (tn). Ésta, es una temperatura de cálculo que se obtiene de la Ecuación 1 y representa una predicción de la temperatura a la cual el usuario promedio se siente térmicamente confortable y no desea un ambiente ni más frío ni más cálido que el que posee.

$$tn = ta + \left(\frac{1}{b} \cdot CV\right) \quad \text{Ecuación 1}$$

La constante “b=0,14” de la Ecuación 1, mantiene la información de la pendiente de la recta promedio de los casos de estudio (ver (Griffiths, 1990). De vincular el voto de confort CV de la encuesta con el valor de temperatura de neutralidad tn de cálculo para ECU, se obtienen gráficas diferentes para cada período que se muestran en la Figura 9. La intersección entre la recta con el valor CV=0 sobre el eje “y”, da como resultado un valor de temperatura siempre diferente sobre el eje “x” para cada período (ver Figura 9). Además, se puede ver que la significación que tiene el voto CV±0,5 sobre la escala de 7-puntos de ASHRAE es siempre cambiante ya que responde a rangos de tn variables en función de las estaciones del año (ver Figura 9). En extensos trabajos de campo se cuestiona que la temperatura de neutralidad deba ser constante como indica el estándar ISO 7730, entre los cuales se resaltan los resultados de Auliciems, A. (tn= 20,5 °C), de Schiller, G. E. (tn= 22 °C), de Ye, X.

J. ($t_n = 22,5 \text{ }^\circ\text{C}$), Gagge, A. P. ($t_n = 24 \text{ }^\circ\text{C}$) e inclusive el de Fanger, P.O ($t_n = 25,6 \text{ }^\circ\text{C}$). Los autores (Cena, de Dear, 1998; Nicol, Humphreys 2005, Raue, et al. 2006), consideran además, que la temperatura exterior tiene fuerte influencia sobre el ambiente interior, afectando la sensación térmica y el grado de adaptación de los usuarios, sobre todo, en espacios con ventanas operables manualmente, como sucede en el edificio de estudio.

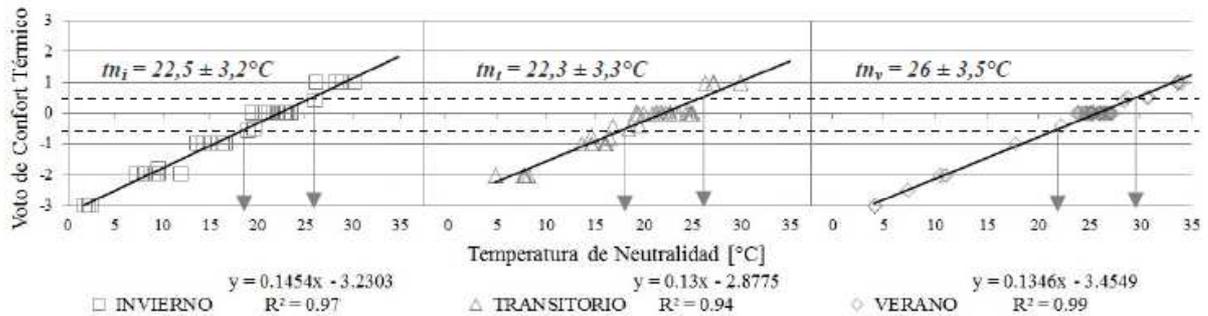


Figura 9 - Temperatura de Neutralidad en relación al Voto de Confort Térmico de invierno, periodo transitorio y verano.

De relacionar la temperatura de neutralidad con la temperatura exterior, es decir $t_n = f(t_e)$, se obtiene la Figura 10 para cada estación de estudio. Las pendientes de las rectas de regresión indican que un incremento de temperatura exterior se traduce en un aumento del valor de temperatura deseada en cada período analizado, reforzando la teoría de que no existe una temperatura de confort constante.

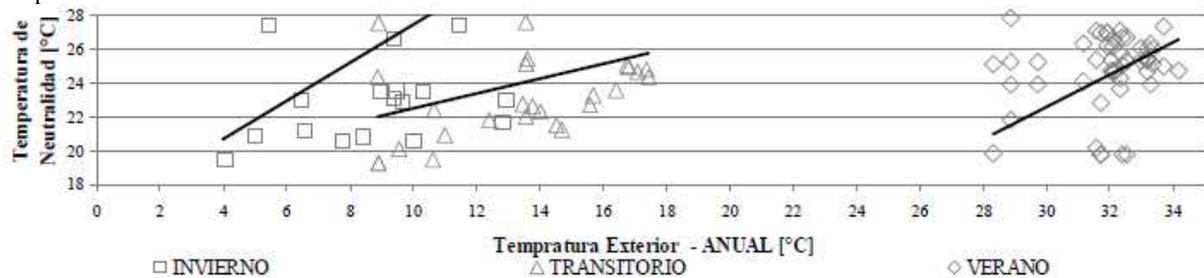


Figura 10 – Temperatura de Neutralidad en relación a la Temperatura Exterior de Invierno, Periodo Transitorio y Verano.

Estos aspectos sumado a la información que suministra la desviación estándar de t_a y CV en las Figura 4 y la Figura 5, es viable predecir que la satisfacción del usuario puede lograrse con una leve variación de la temperatura de suministro del sistema de climatización en $\pm 1\text{K}$, conduciendo importantes ahorros de energía.

b) – Estrategias de Adaptación: Las observaciones que se muestran en la Figura 9 y la Figura 10 permiten concluir que el usuario experimenta un proceso de adaptación continuo, incluso a las condiciones térmicas de climatización que les son impuestas (Kuchen y Fisch, 2009). La Figura 6 muestra que la estrategia más empleada en general es la “Ropa”, es decir que el usuario adecua la vestimenta “siempre y a menudo” a lo largo del período anual. El uso de “Puertas” se emplea frecuentemente en el período transitorio y disminuye en invierno. La incorporación de otros dispositivos de control térmico (Ej.: ventilador externo, estufa), no previstas como equipamiento para Oficinas, se usan con una frecuencia cercana al 50% según la época del año. El empleo de estos dispositivos adicionales supone deficiencias en el sistema de climatización.

Al contrastar la información de la Figura 6 y la Figura 7, se manifiestan las frecuencias de uso de diferentes estrategias en el proceso de adaptación. El empleo de “Ventanas” que se muestra en la Figura 6 es menos frecuente en invierno y el incremento de uso en verano indica un mayor grado de contacto con el exterior. En la Figura 7 se observan también estos incrementos. Respecto del accionamiento del “Parasol” no se observa correlación entre la Figura 6 y la Figura 7. El control sobre el parasol ocurre cuando este es accesible y móvil, es decir sobre fachada este y oeste. De las encuestas realizadas, aprox. el 40% corresponden a espacios con estas orientaciones, con lo cual se puede afirmar que más de la mitad de los usuarios en esos espacios emplean esta estrategia. El uso de cortinas en espacios de trabajo se produce más por un control de deslumbramiento que por rechazo de la luz solar y así es como el régimen de uso se intensifica en el período de invierno, cuando los rayos solares son más horizontales y llegan a penetrar en profundidad dentro de los espacios de trabajo. En verano e invierno, el uso de climatización es total. En el período transitorio el sistema de climatización solo se emplea del subsuelo hasta el 2° Piso en sector de oficinas. El resto del edificio logra atemperarse con el potencial del clima local.

c) – Nivel de Eficiencia Energética: En general, los edificios de oficinas representan un importante ejemplo de derroche energético y por lo tanto, detentan un elevado potencial de ahorro. Del relevamiento en ECU se detectan aspectos vinculados al consumo de energía que deben ser destacados. Las pautas básicas de diseño bioclimático materializadas en orientación, parasoles, paramentos, superficies de vidrio expuestas, etc., son responsables de un importante ahorro en energía. Contrariamente, la baja hermeticidad de la fachada, el empleo indiscriminado de estrategias de adaptación por los usuarios y la incorporación de Artefactos de consumo eléctrico en oficinas atentan contra el ahorro de energía. Para la comparación se toma el programa alemán (EnBop, 2008), que propone alcanzar una demanda de energía primaria de $100\text{kWh}_{\text{prim.}}/\text{m}^2\text{a}$ en Iluminación, Calefacción, Refrigeración y Ventilación, en edificios de la administración pública. En la comparación, los valores de energía final (FE) que consume el edificio ECU, se reducen a valores de energía primaria (PE), de aquí que el consumo real de PE en el sector de Oficinas de ECU asciende a $180,55\text{kWh}_{\text{prim.}}/\text{m}^2\text{a}$.

La Figura 11a muestra la distribución porcentual de los ítemes de análisis para Iluminación, Ventilación, Calefacción y Refrigeración, a la cual se le adiciona su correspondiente a Artefactos de consumo eléctrico y Otros (Ej.: Ascensor). Respecto de ello, la Figura 11b muestra el porcentual de demanda objetivo del estándar EnBop al cual se le agrega el valor de consumo promedio de “Artefactos de consumo eléctrico” registrado en ese país, representativo del 29% con un valor de $\approx 40 \text{ kWh}_{\text{Prim.}}/\text{m}^2\text{a}$ (Kuchen et al., 2011). De comparar la Figura 11a y Figura 11b, ECU muestra un elevado consumo del ítem Artefactos de consumo eléctrico, que representa el 33%, con un valor de $89,19 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$. El ítem “Calefacción” en ECU representa un elevado consumo de PE debido al gas natural, más costoso ambientalmente (emisiones) que consumir electricidad (de origen hidroeléctrico en la región de estudio). El ítem “Refrigeración” no llega a ser de importancia por el receso universitario extendido del período de verano (mes de Enero).

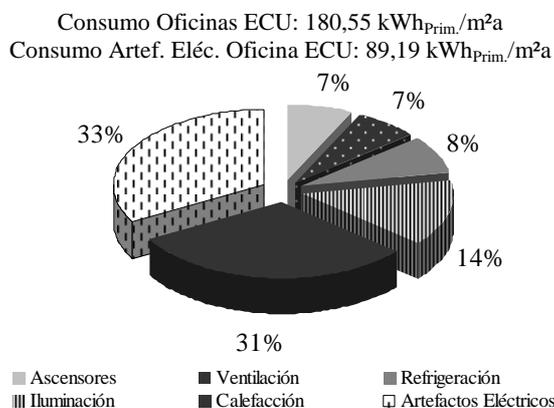


Figura 11a - Consumo total PE sector Oficinas en ECU

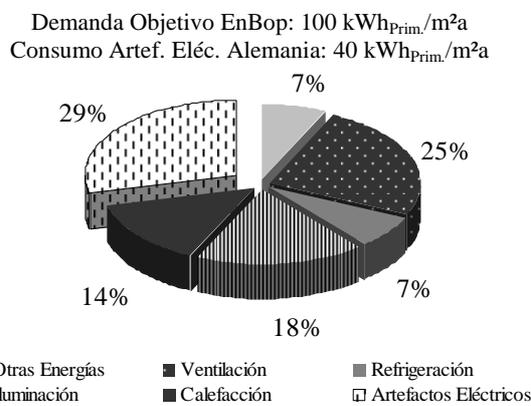


Figura 11b - Demanda PE referencial, según (EnOB 2008)

El ítem “Ventilación” posee diferencias notables, sobre todo por característica de la envolvente edilicia. De acuerdo al programa EnBop, por exigencias de hermeticidad del cerramiento (WSVO, 1995) y de conservación del calor y energía (EnEV, 2002), la demanda del ítem está presente todo el año (Leão et al., 2008; Kuchen y Fisch, 2009). En ECU el ítem “Ventilación” está asociado al funcionamiento del sistema de climatización (invierno/verano). Cuando no está en uso, la apertura de ventanas es el único mecanismo para mantener las condiciones adecuadas de la calidad del aire, lo cual se da debidamente en el período transitorio y menos debidamente en verano. Aún así, una elevada frecuencia en la modificación de prendas de vestir o la apertura de ventanas, refuerza el concepto de adaptación. El usuario se manifiesta activamente a la hora de restaurar su condición de confort térmico. Esto también puede afectar la eficiencia del sistema de calefacción y refrigeración debido a que un mayor grado de adaptación conduce a preferir diferentes valores de temperatura de los que propone la norma ISO 7730, es decir, más bajas en invierno y más elevadas en verano de lo que aconseja el estándar.

d) – Potenciales de Eficiencia Energética: Las fallas detectadas en el modo de accionar de los usuarios y del funcionamiento del edificio, conducen a propuestas de mejoramiento actualmente en estudio. Entre ellas: La educación del usuario a través de un Manual de Uso del espacio de oficina, con un potencial esperado del 5-8% sobre el ítem “Ventilación” (ver (EnBop, 2008; Dutt; et al., 2006; Lutz, W., 2003)), la eliminación de fugas en aberturas o eventual recambio por DVH, con un potencial esperado 20% sobre el ítem “Calefacción” (ver (Dutt; et al., 2006), el control del Set-Point de temperatura en equipos de climatización considerando el clima exterior, con un potencial esperado 30% entre los ítemes “Calefacción y Refrigeración” (ver (Fisch, et al., 2007)), el recambio de Artefactos consumo eléctrico por tecnologías eficientes, clase A, con un potencial esperado 30% (ver (PROCAE, Secretaría de Energía de la Nación; Kuchen et al., 2011)) y de hasta el 50% sobre éste ítem (ver (Dutt; et al., 2006)). En general, la corrección de errores del funcionamiento del edificio durante la vida útil del edificio suele ser de baja inversión y conduce a ahorros inmediatos de como mínimo el 30% y hasta un 50% sobre el consumo total del edificio (ver (Kuchen et al., 2011)).

CONCLUSIONES

Un edificio térmicamente confortable y energéticamente eficiente, es aquel que posee un nivel superior de confort a costos energéticos reducidos. El análisis integral del edificio, la valoración de sus propiedades de diseño en respuesta al clima local y los posibles niveles de eficiencia energética deben constituirse en objetivos a alcanzar en la elaboración de proyectos sustentables. El monitoreo continuo durante la vida útil del edificio permite relevar problemas y elaborar propuestas de solución integral que conducen a mejorar la eficiencia del funcionamiento. Proponer demandas objetivo como las del estándar de referencia (EnOB 2008) de $100 \text{ kWh}_{\text{Prim.}}/\text{m}^2\text{a}$, constituye un primer paso en pos de alcanzar mejores niveles de eficiencia en edificios. La corrección del funcionamiento deficiente del edificio puede abordarse durante su vida útil, es decir cuando se encuentra operando todo el equipamiento que consume energía. Por ejemplo: La baja eficiencia del sistema de calefacción, la falta de aislación de los cerramientos y la baja estanqueidad del interior del ECU, la incorporación de artefactos viejos de baja eficiencia y de elevado consumo como “Estufas eléctricas” (no permitidas), constituyen problemas para el funcionamiento eficiente. La información que aporta el voto de confort de la encuesta y la temperatura de medición es esencial para detectar tendencias del confort térmico. En este caso de estudio se verifica que la temperatura de neutralidad/confort es variable y que el usuario emplea diferentes estrategias (modificación de la ropa, apertura de ventanas, etc.), para restituir su sensación de confort. El contacto con el clima exterior a partir de la ventilación natural por ventanas en exceso durante el período de calefacción/refrigeración, conduce a elevar las solicitudes del equipo de climatización. La educación del usuario mediante un Manual de uso permitiría disminuir las malas praxis de los mismos durante el proceso de adaptación térmica estacional. A partir de este estudio se observa que el edificio posee un gran potencial de ahorro energético

y que existen diferentes caminos para alcanzarlos. El diagnóstico del Confort y la Eficiencia Energética del edificio ECU permite elaborar las propuestas de solución planteadas. Estas se encuentran en fase de aplicación y por ello, los potenciales de eficiencia a alcanzar se corresponden a los propuestos en la bibliografía consultada. Los avances serán publicados en futuros trabajos.

REFERENCIAS

- ASHRAE 55:2004. (2004). Thermal environmental conditions for human occupancy (Supersedes ANSI/ASHRAE Standard 55:1992).ASHRAE Inc., Atlanta, USA.
- Auliciems, A. (1981). Towards a Psycho-Physiological Model of Thermal Perception. Department of Geography, University of Queensland, Biometeor, v. 25, n. 2, pp. 109-122. 067, Australia.
- Cena, K.; de Dear, R. (1998). Field Study of Occupant Comfort and Office Thermal Environments in a Hot-Arid Climate. Final Report ASHRAE, RP-921; Institute for Environmental Science, Murdoch University, Perth, Australia. ISBN 0-86905-648-4.
- DIN EN ISO 7730. (2006). Ergonomie des Umgebungsklimas. Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV und des PPD. Indexes und der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO/DIS 7730:2003). Deutsche Fassung EN ISO 7730:2005.
- Dutt, G.S.; Tanides, C.G.; González, E.D.; Evans, J.M., de Schiller, S.; Iglesias-Furfaro, H. (2006). Escenarios energéticos para la Argentina (2006-2020) con políticas de eficiencia, 36 p., 1a ed. - Buenos Aires, WWF y FVSA, Argentina, 2006.
- EnBop. (2008). Energie Betriebsoptimierung. <http://www.enob.info>
- EnEV. (2002). Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik in Gebäuden.
- Fisch, M. N.; Plesser, S. y Bremer, C. (2007).EVA: Evaluierung von Energiekonzepten für Bürogebäude. Bericht zur Grobanalyse; BMWA.
- Griffiths, I. (1990). Thermal Comfort Studies in Buildings with Passive Solar Features. Field Studies Report to the Commission of the European Community, ENS35 090 UK.
- IRAM 11603. (1996). Acondicionamiento Térmico de Edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina. Argentina.
- IRAM 11900. (2010). Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios. Clasificación según la tramitancia térmica de la envolvente. Argentina.
- ISSO-74. (2004). Thermische Behaaglijkheid. Publication 74, ISSO. Rotterdam, Holanda.
- Kuchen E. y Fisch M. N. (2009). Spot Monitoring - Thermal comfort evaluation in 25 office buildings in winter. International journal Building and Environment, ISSN 0360-1323, Elsevier, Vol. 44, Issue 4, S. 839-847.
- Kuchen, E. (2008). Spot-Monitoring zum thermischen Komfort in Bürogebäuden. Tesis de Doctorado. ISBN: 978-3-89959-783-7. Der Andere Verlag, S. 203. Tönning, Deutschland.
- Kuchen, E.; Plesser, S.; Fisch, M.N. (2011). Eficiencia Energética y Confort en Edificios de Oficina, XI ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, ISBN: 978-85-89478-20-5, Rio de Janeiro, Brasil.
- Leão, M.; Müsch, W.; Fisch, N. N.; Toledo-Borges, E., Kuchen, E. (2008). A Evolução da Eficiência Energética em Alemanha. Congreso Interamericano "XII ENTAC". PaperNr. 1860 (Accepted for Publication). Fortaleza, Brasil.
- Lutz, W. (2003). Programa de Ahorro y Eficiencia Energética en el Mercado Eléctrico Argentino. Identificación de las Características, Lineamientos Generales y Opciones para una Propuesta PAyEE. Secretaría de Energía Eléctrica de la Nación y GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). Argentina.
- Nicol, F. y Humphreys, M. (2005). Maximum temperatures in buildings to avoid heat discomfort. International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment". Santorini, Greece.
- Raue, A. K.; Kurvers, S. R.; van der Linden, A. C.; Boestra, A. C.; Plokker, W. (2006). Dutch Thermal Comfort Guide-lines; from weighted temperature exceeding hours towards adaptive temperature limits; the Netherlands.
- Schiller, G. E.; Arens, E. A.; Bauman, P. E.; Benton, C.; Fountain, M.; Doherty, T. (1988). A Field Study of Thermal Environments and Comfort in Office Buildings. Centre for the Built Environment; University of California, Berkley; No. 3164 (RP-462).
- Secretaría de Energía de la Nación (2012). Proyecto de Eficiencia Energética en Argentina – GEF, <http://energia3.mecon.gov.ar>

ABSTRACT: Public buildings fail to meet thermal requirements and must introduce additional air conditioning systems, which may affect building energy efficiency. It is the aim of this work to achieve efficiency potentials taking in advance the user behaviour in their workspaces. A field study is carried out using sensor measurements and surveys on environmental aspects of the workspace. The correlation between measured data and subjective data from the survey allows us to find potential adaptation of user and energy efficiency for the building. The evaluation is based on the criteria of international standards and user comfort vote. As an important result, it is shown that according to the requirements proposed by the reference standard ISO 7730, the percentage of thermal acceptance is $\approx 80\%$, ie, good comfort level. In contrast to standard the comfort temperature is variable, and the users apply adaptive strategies to restore his comfort condition. This aspect, coupled with the lack of user education and the failures of the building performance, leads to estimate efficiency and comfort potentials.

Keywords: public buildings, thermal comfort, thermal adaptation, energy efficiency.