

Energy Efficiency and Comfort  
in Office Buildings: the German  
Case

## Eficiencia Energética y Confort en Edificios de Oficina: el Caso Alemán



**Ernesto Kuchen** [ernestokuchen@faud.unsj.edu.ar](mailto:ernestokuchen@faud.unsj.edu.ar)

Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat – Universidad Nacional  
de San Juan Departamento de Arquitectura

**Stefan Plesser** [plesser@energydesign-bs.de](mailto:plesser@energydesign-bs.de)

Institute of Building Services and Energy Design - Technical University  
of Braunschweig

**Manfred Norbert Fisch** [prof.fisch@egs-plan.de](mailto:prof.fisch@egs-plan.de)

Institute of Building Services and Energy Design - Technical University  
of Braunschweig



# Eficiencia Energética y Confort en Edificios de Oficina: el Caso Alemán

## Energy Efficiency and Comfort in Office Buildings: the German Case

Ernesto Kuchen (a), Stefan Plesser (b), Manfred Norbert Fisch (c)

(a) IRPHa, Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat – Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño – Universidad Nacional de San Juan – Argentina – email: ernestokuchen@faud.unsj.edu.ar

(b) IGS, Institute of Building Services and Energy Design – Architektur Bauingenieurwesen Umweltwissenschaften – Technical University of Braunschweig – Alemania – email: plesser@energydesign-bs.de

(c) IGS, Institute of Building Services and Energy Design – Architektur Bauingenieurwesen Umweltwissenschaften – Technical University of Braunschweig – Alemania – email: prof.fisch@egs-plan.de

---

### RESUMEN

#### Palabras Claves

Trabajo de Campo  
Monitoreo Energético  
Potenciales de Optimización

La construcción de edificios en los últimos 15 años en Europa persigue el objetivo común de dar respuesta al problema de la Eficiencia Energética y el Confort en espacios de trabajo. Las propuestas de cambio se inclinan por el desarrollo de una arquitectura “transparente”, con extensas superficies de vidrio expuestas. Dicha práctica se hace llamar ecológica y sustentable. Con el tiempo, el uso y la experiencia ponen en alerta a científicos del área. El objetivo del trabajo es detectar los aspectos más relevantes que afectan la Eficiencia Energética (EE) y el Confort de espacios reales de trabajo para la elaboración apropiada de herramientas de diseño y cálculo. Para ello, se lleva a cabo un trabajo de campo en base a mediciones y encuestas en 19 edificios de oficina, en Alemania. Del monitoreo energético y del análisis del Confort se detectan potenciales de optimización. Se observa que la EE no se logra al conectar el edificio a la red energética una vez finalizada la obra arquitectónica. Por el contrario, la planificación integral, el monitoreo y el seguimiento en la vida útil del edificio permiten corregir y lograr mejores niveles de EE y Confort.

### ABSTRACT

#### Key Words

Fieldwork  
Energy monitoring  
Optimization potentials

The building construction in Europe during the last 15 years has brought along a common solving target, to tackle the problem of Energy Efficiency and Comfort in work spaces. The proposals for change and betterment are oriented towards the development of a "transparent" architecture using large enveloping surfaces of glass panels. This approach is endowed with the concepts of being altogether ecology friendly and sustainable. Nevertheless, the usage

and the experience through time have triggered an alarm to the field scientists. The objective of the work is to detect the most relevant aspects affecting both the Energy Efficiency (EE) and the users' Comfort of work spaces in order to elaborate a set of proper calculus and design tools. A field research work has been undertaken here on the basis of on-site measurements and questionnaire responses to study 19 office buildings in Germany. From the energy monitoring, and the analysis of comfort levels, certain optimization potentials have been discerned. It is observed that the EE cannot be achieved by just connecting the building to the energy networks after the construction is finish, but -quite on the contrary- by integrative planning and monitoring throughout the building's useful life, allows for proper correction measures that result in better EE and Comfort levels.

## 1. Introducción

Los edificios de oficinas de la década del '70, en Europa, han sido motivo de intensos debates dentro de la comunidad en general y en el ámbito científico. Se discuten aspectos relacionados con la higiene del espacio de trabajo, la productividad de los usuarios, el Confort en general, la Eficiencia Energética (EE) del edificio, el modo de uso del espacio a partir del desarrollo tecnológico y el incremento de movilidad de personas e información.

En los últimos 15 años, la tendencia arquitectónica del nuevo siglo en torno al paradigma de "transparencia" en el trabajo, alcanza su mayor expresión. El desarrollo de fachadas acristaladas llega a constituirse en sello distintivo de la nueva tendencia, fundamentando además, que a partir de ello es posible alcanzar valores óptimos entre EE del edificio y Confort del usuario.

La prensa internacional dedicada a edificios vanguardistas destaca la torre de RWE en Essen, Alemania, diseñado por Ingenhoven Overdiek Kahlen & Partner en 1997 y el edificio del Banco Nord-LB en Hannover diseñado por Günther Behnisch en 2002 (Fig.1). La producción de este tipo de edificios se elogia con títulos como "ökologisches Hochhaus", que significa: rascacielos ecológicos (Werner, 2002) y comentarios como "Maximum dessen, was derzeit im Büro- und Verwaltungsbau realisiert werden kann" es decir: lo máximo que se puede alcanzar en la actualidad en edificios de oficina (Dassler, 2002) o titulares tales como "Wohltemperierte Architektur", o bien: arquitectura bien lograda (Oswalt, 1994).

Paralelamente a estas expresiones nace una

contracorriente que se argumenta en la idea de que estos edificios llamados "ecológicos", "solares" e incluso "sustentables" no llegan a ser ni más eficientes energéticamente ni más confortables que edificios con menores porcentajes de vidrio en fachada.

Gertis (1999) elabora una síntesis focalizada sobre los edificios con "doble fachada de vidrio" y afirma que más allá de lo descriptivo de la nueva vanguardia, el problema reside en la falta de información y en la necesidad de llevar a cabo mediciones y estudios bajo condiciones reales para llegar a hacer un análisis exhaustivo. En (Müller et al., 2002) se expone la importancia energética de la doble fachadas.

En 2004 bajo el título "Leben im Schwitzkasten", es decir: vivir en cajas para sudar (Schulz, 2004), se abre un nuevo debate de discusión que pone de manifiesto el experimento fallido de los edificios vidriados. El artículo incluye la crítica arquitectónica sobre los edificios más recientes, de los cuales y de forma anecdótica, se citan algunas experiencias y opiniones muy generales, otra vez, sin basarse en fundamentos sólidos y amplios. Esta crítica sorprende aún más dentro del contexto internacional, porque Alemania juega un papel fundamental en temas referidos a la EE de edificios. Entre otros, (Schulz, 2004) admite que hay quienes se encuentran en una constante búsqueda dentro de un ámbito muy desconocido, poco explorado aún y lamenta la falta de datos significativos sobre el funcionamiento de estos edificios.

Se observa la necesidad de llevar a cabo un análisis profundo de los edificios concebidos en la práctica como así también, el profundizar en conocimientos para el desarrollo de innovaciones tecnológicas en la construcción de nuevos

*RWE en Essen**Nord-LB en Hannover**Energieforum, en Berlin*

**Figura 1:** Algunos de los edificios monitoreados en este trabajo de campo. Source: IGS, 2012

**Figure 1:** Some of the buildings monitored in this field study. Fuente: IGS, 2012

edificios.

Esta barrera impide el desarrollo de potenciales de optimización. Es fundamental reducir la brecha de información que existe entre la práctica desarrollada y el conocimiento sobre dicha práctica. Para ello, entre 2004 y 2007, se lleva a cabo un extenso trabajo de campo en el marco del proyecto de investigación EVA “Evaluierung von Energiekonzepten” (evaluación de conceptos energéticos), como parte del programa “EnOB, Energieoptimiertes Bauen” (optimización energética de la construcción), que impulsa y subsidia el Ministerio de Economía de Alemania. Mediante este trabajo es posible poner en foco la EE, el Confort y el funcionamiento general de 19 edificios de oficina y evaluar conceptos energéticos del funcionamiento del edificio “eficiente” desarrollado en los últimos años.

Del análisis se detectan grandes potenciales y se desarrollan herramientas de evaluación para futuras aplicaciones. En este trabajo se muestra una de ellas que se basa en la habilidad de las personas para adaptarse a diferentes situaciones climáticas. La herramienta puede utilizarse en pos de alcanzar mejores niveles de EE. La inmensa cantidad de resultados relevantes que se obtienen de este trabajo de campo se exponen en futuras publicaciones.

## 2. Desarrollo

Para detectar los aspectos más relevantes que afectan la Eficiencia Energética (EE) y el Confort del usuario en espacios reales de trabajo en edificios de oficina, se lleva a cabo un extenso trabajo de campo mediante un estudio longitudinal, para evaluar el comportamiento

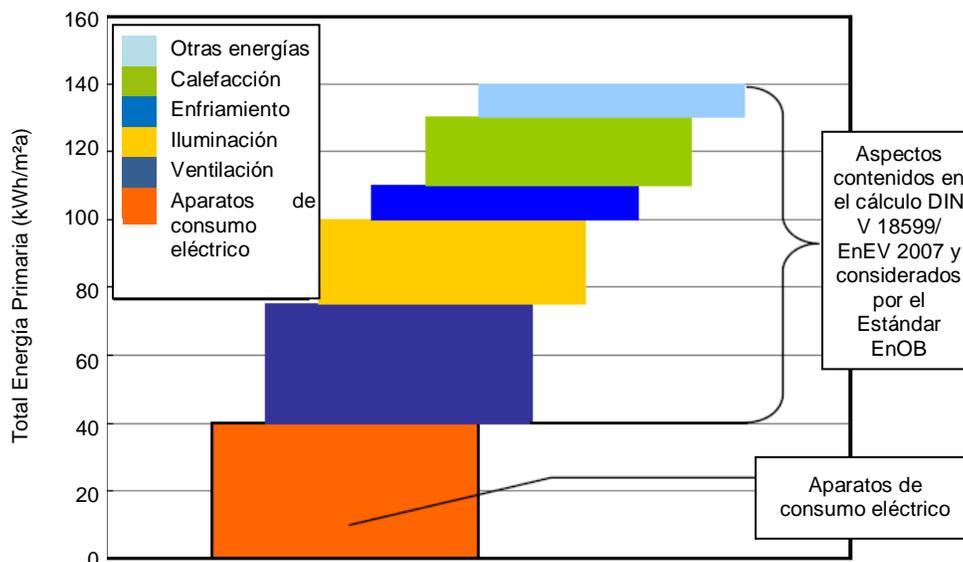
anual del edificio y un monitoreo puntual (Spot-Monitoring) de tipo transversal, con mediciones y encuestas simultáneas, para evaluar puntualmente el comportamiento del usuario respecto de las variables climáticas interiores y exteriores mediante análisis matemático de regresión.

### 2.1. Punto de partida: El edificio eficiente

Luego de la fase de diseño en la elaboración de productos como: autos, máquinas, electrodomésticos, etc., es usual construirlos y luego testarlos bajo condiciones reales de uso, antes de lanzarlos al mercado de consumo. Este procedimiento permite garantizar la calidad del funcionamiento. Lamentablemente, esto no es posible en la “producción” de edificios ya que el costo de elaboración de prototipos a escala sería muy elevado y las pruebas referidas al funcionamiento y uso no serían representativas.

No someter al edificio a una fase de testeo impide garantizar su calidad, lo cual se acentúa aún más cuando cada parte “arquetipo” del mismo es concebida como unidad separada, siendo que en la realidad estará ubicado en un único lugar y desarrollado por un equipo de trabajo, a veces, interdisciplinario y con objetivos comunes.

En la mayoría de los casos, la documentación que ofrece el constructor o el equipo interdisciplinario es limitada. El problema se debe a que los estudios sobre el edificio en cuestión concluyen al finalizar la etapa de construcción y no es posible obtener datos acerca de su rendimiento en la etapa de funcionamiento y menos aún en lo que ha transcurrido de su vida útil.



**Figura 2:** Valores objetivo para una demanda energética de  $\approx 100$  kWhPrim./m<sup>2</sup>a propuesto por el estándar EnOB "Energieoptimiertes Bauen" + Valor promedio de consumo de aparatos eléctricos. Fuente: IGS, 2012

**Figure 2:** Standard values proposed by the EnOB "Energieoptimiertes Bauen" for an energy demand  $\approx 100$  kWhPrim/m<sup>2</sup>.year + Average value of power consumption devices. Source:IGS, 2012

El punto de partida para considerar el edificio como un logro del desarrollo científico y tecnológico, o si por el contrario, es sólo un experimento fallido, se basa en obtener la información de relevamientos, mediciones, encuestas y reuniones con los diferentes actores involucrados en la planificación, construcción y uso del edificio.

El desarrollo de este trabajo de campo permite disponer del conocimiento y documentar el grado en que los edificios desarrollados en los últimos 15 años alcanzan ciertos niveles de EE. Como meta se consideran las exigencias impuestas por el programa EnOB sobre edificios demostrativos, con un valor de demanda de energía primaria (PE)<sup>1</sup> entre: iluminación, calefacción/enfriamiento y ventilación de 100 kWhPrim./m<sup>2</sup>a.

La Figura 2 muestra los valores objetivo para una demanda energética  $\approx 100$  kWhPrim./m<sup>2</sup>a propuesto por el estándar EnOB. El ítem "Otras energías", como su nombre lo indica, se refiere al suministro de energía de origen diferente al convencional para suplementar las exigencias de alguno de los demás ítems (Ej. las necesidades de calefacción, con suministro de "Fernwärmeversorgung", es decir: suministro de

calefacción a distancia, producto del enfriamiento de centrales termoeléctricas). La Figura 2 destaca el ítem "Aparatos de consumo eléctrico" (Ej. equipamiento de espacios de trabajo, cocinas y otras dependencias), que no es considerado en el valor de la demanda energética EnOB y que representa un valor importante respecto de los demás ítems.

## 2.2. Interrogantes e hipótesis

La muestra a analizar se constituye de 19 edificios de oficina, distribuidos en distintas ciudades de Alemania. Del estudio se pretende dar respuesta a interrogantes tales como:

- ¿Cuan energéticamente eficientes son estos edificios en la actualidad?
- ¿Puede en ellos asegurarse un buen nivel de Confort térmico?
- ¿Existen potenciales de optimización en Eficiencia Energética y Confort durante la etapa post-ocupación?
- ¿Como puede identificarse un potencial?
- ¿Que experiencias pueden ser útiles para el desarrollo de nuevas construcciones?

De las preguntas formuladas surge la hipótesis de que el edificio de oficinas en general no funciona óptimamente, pero que el potencial de optimización reside en monitorear su

<sup>1</sup> PE = Primary Energy (Energía primaria), que se encuentra en estado natural antes de transformarse o convertirse, almacenarse o transportarse (energía secundaria) o consumirse (energía final).

funcionamiento para identificar las fallas. Las mediciones y las encuestas llevadas a cabo en los edificios y los resultados del estudio contribuyen para un análisis objetivo y competente sobre la actualidad de los edificios de oficina y permiten elaborar herramientas de evaluación y pautas de diseño aplicables a futuras construcciones.

### 3. Evaluación

#### 3.1. Caminos para la Eficiencia Energética

Los resultados que se obtienen de 19 edificios de oficina muestran notables mejoras en la Eficiencia Energética (EE) respecto de aquellos que se construyen a fines del siglo pasado y antes de introducir las ordenanzas de ahorro (WSVO 95 y EnEV, 2002) y normas sobre EE (DIN V 18599, 2007). En relación a edificios demostrativos pertenecientes al programa EnOB, dentro del cual se sitúa por ejemplo: el edificio Energieforum Berlin, diseñado por Teherani&Jentsch y construido en 2002 (ver Fig.1), los edificios analizados en este trabajo llegan a consumir, en promedio, más de un 50% de PE que aquellos.

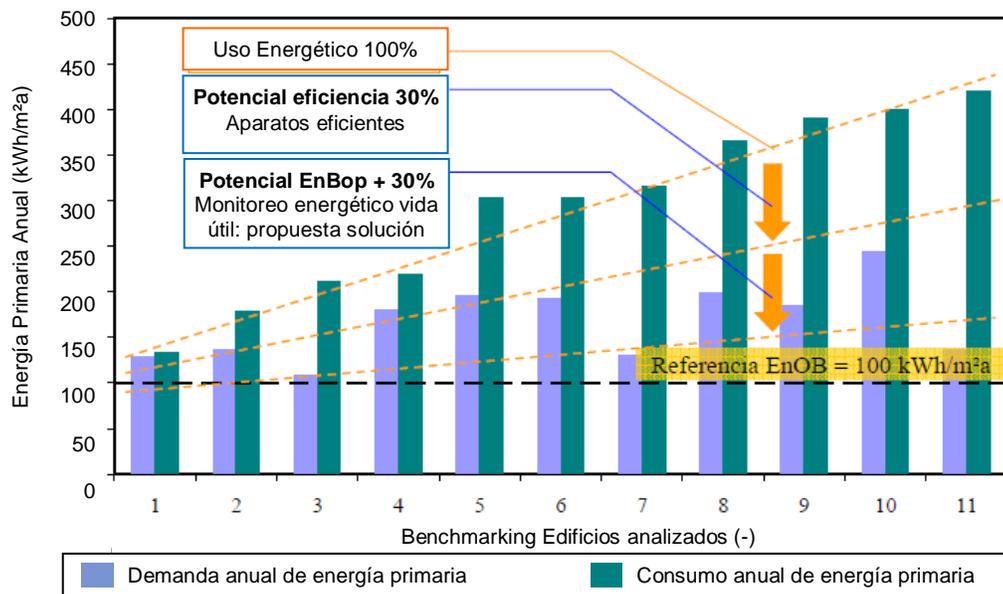
Llama la atención cuando se compara la demanda energética anual calculada en la etapa de diseño según la norma (DIN V 18599), con el valor real de consumo anual en la etapa post-ocupación de los edificios estudiados. La Figura 3 muestra un "benchmarking" de los

casos analizados más representativos (n = 11) respecto del valor de referencia EnOB y se destaca que el valor de consumo supera al valor planeado/simulado de demanda de energía.

El valor de consumo energético anual que se muestra en Figura 3 incluye el equipamiento de espacios de trabajo (aparatos eléctricos) y dependencias de servicios (instalaciones de cocina y otras). El uso irregular de aparatos de consumo eléctrico no se contempla en los cálculos de la demanda/simulación del consumo energético por la norma (DIN V 18599) y como se observa, conduce a obtener valores muy diferentes. La deficiencia energética se le atribuye a errores del Building-manager en el control del edificio o desconocimiento en el manejo y uso de los espacios por los usuarios.

En el Punto 3.1, la Figura 2 muestra el valor promedio de consumo de aparatos eléctricos de  $\approx 40 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . De este estudio, se prevé que el reemplazo de aparatos eléctricos por otros más eficientes conduciría a elevar el potencial de EE en un 30% (Fig.3). Adicionalmente, el potencial EnBop (Energie Betriebsoptimierung), que se traduce como: la optimización energética en la etapa de funcionamiento, es detectable una vez que el edificio se encuentra en uso, se lo puede monitorear y elaborar una propuesta de solución integral, con lo cual se prevé un ahorro adicional del 30% (Fig.3).

Entre los potenciales EnBop se detectan:



**Figura 3:** Demanda y consumo de PE (energía primaria). Variación: Factor 2, entre valor de demanda y consumo en la vida útil. Se oculta el nombre de edificios por protección de la información. Fuente IGS, 2012

**Figure 3:** Demand and consumption of PE (Primary Energy). Variation: Factor 2 between demand and consumption value in operation. Building names have been hidden based on information protection. Source IGS, 2012

sistemas de ventilación desactualizados, déficit en el control de ventiladores del sistema de ventilación, calefacción y enfriamiento simultáneo, ampliaciones erróneas en el sistema de ventilación, fallas hidráulicas, sensores no calibrados, exceso de niveles de iluminación, estrategias de control no verificadas del set-point de temperatura y deficiente supervisión en la ejecución de soluciones.

A continuación se enuncian otros aspectos adicionales detectados en la etapa de funcionamiento de los edificios que conducen a elevar la EE:

- En el sistema de climatización se puede constatar un uso extensivo de sistemas de absorción directa y enfriamiento continuo de espacios de poco uso (Ej. sala de reunión). Estos sistemas presentan problemas en el control de funcionamiento, programación de un set-point de temperatura y de tipo hidráulico.

- Para los sistemas de ventilación, el consumo eléctrico puede reducirse algo más de un 50% disminuyendo el tiempo de funcionamiento al considerar solo el horario de trabajo (8 horas/día).

- Los sistemas de iluminación son eficientes por estar diseñados y construidos a partir del estándar (DIN EN 12464). Adicionalmente pueden preverse algunas mejoras, a partir de la instalación de controladores de presencia y reglas de uso en función de niveles de iluminación diurna.

A partir de este estudio se observa que cada edificio posee un enorme potencial de maximización de los niveles de EE y que existen diferentes caminos para alcanzarlos. Una propuesta de solución integral para corrección de fallas identificadas en el funcionamiento garantiza la durabilidad y eficiencia de los sistemas. Se puede afirmar que optimizar el uso de la energía en la etapa de funcionamiento suele ser de baja inversión y conduce a ahorros inmediatos.

### 3.2. Situación del Confort Térmico

Un extenso trabajo de campo mediante mediciones a través de un estudio longitudinal permite evaluar el comportamiento anual del edificio. En relación a estándares locales (DIN 4108); (DIN EN ISO 7730) e internacionales (ASHRAE 55) las exigencias para el Confort de los usuarios que se alcanzan en los edificios analizados son buenas. No se detectan

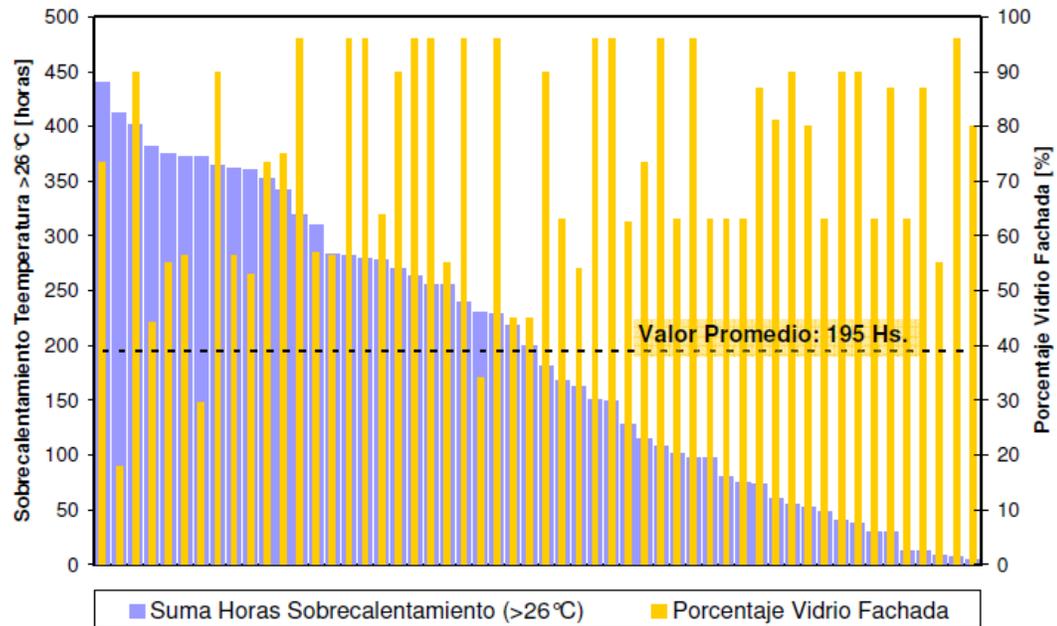
problemas de Confort tales como asimetría de radiación, riesgo de enfriamiento convectivo, pisos frío/calientes o gradiente vertical de temperatura.

Encuestas y mediciones realizadas en verano en espacios de trabajo indican problemas de sobrecalentamiento con temperaturas superiores a 26°C (límite definido por el estándar local DIN 4108). La jornada laboral de lunes a viernes, es de 8 horas, posible dentro del horario de 8:00 a 18:00 hs., sumando un total de 2600 horas al año (h/a). La Figura 4, muestra en barras "anchas" las horas de sobrecalentamiento, que en promedio alcanzan 195 h/a. Según la norma DIN 4108, los usuarios tendrían una sensación de calor durante algo menos del 8% de permanencia en sus espacios de trabajo (Fig. 4).

Luego de referenciar el problema que exponen otros autores (ver (Gertis, 1999); (Müller et al., 2002); (Schulz, 2004), cabe destacar que el sobrecalentamiento no depende de variables estructurales tales como el porcentaje de vidrio expuesto en fachadas o la orientación de los espacios, lo cual es sorprendente (Fig. 4).

Los estudios sugieren que el comportamiento del usuario es causante de este problema y con ello, de la disminución del grado de Confort térmico, según indica la norma de referencia DIN 4108. La encuesta a los usuarios mediante el seguimiento puntual del tipo Spot-Monitoring, muestra que los usuarios no proceden correctamente en la apertura de ventanas y el control de los elementos de protección solar, con lo cual es difícil asegurar un buen nivel de Confort térmico en espacios interiores.

Del relevamiento se detecta que la incorporación de conceptos energéticos para refrigeración de baja potencia (bajo consumo), tales como losas/pisos radiantes, se ven afectados por una percepción errónea de que el movimiento del aire provoca una disminución del valor de temperatura del aire y con ello una mejora en la sensación térmica. El imaginario colectivo conduce la apertura de ventanas y parasoles en forma indiscriminada, para dejar "correr el aire". No se piensa que en espacios interiores en verano, con ventanas cerradas y en sombra, la temperatura radiante media (controlada por losas/pisos radiantes) puede afectar positivamente la condición de Confort. Por ello es que en edificios concebidos con estos sistemas se miden entre 0 y 400 h/a de sobrecalentamiento durante el horario de trabajo



**Figura 4:** No existe dependencia significativa entre Horas de Sobrecalentamiento y Porcentaje de Vidrio en Fachada. Fuente: IGS, 2012

**Figure 4:** No significant dependence between overheating hours and glass building facade percentage. Source: IGS, 2012



**Figura 5:** Unidad de medición móvil desarrollada para llevar a cabo el método Spot-Monitoring. Fuente: IGS, 2012

**Figure 5:** Mobile unit measurement developed to carry out the Spot-Monitoring method. Source: IGS, 2012

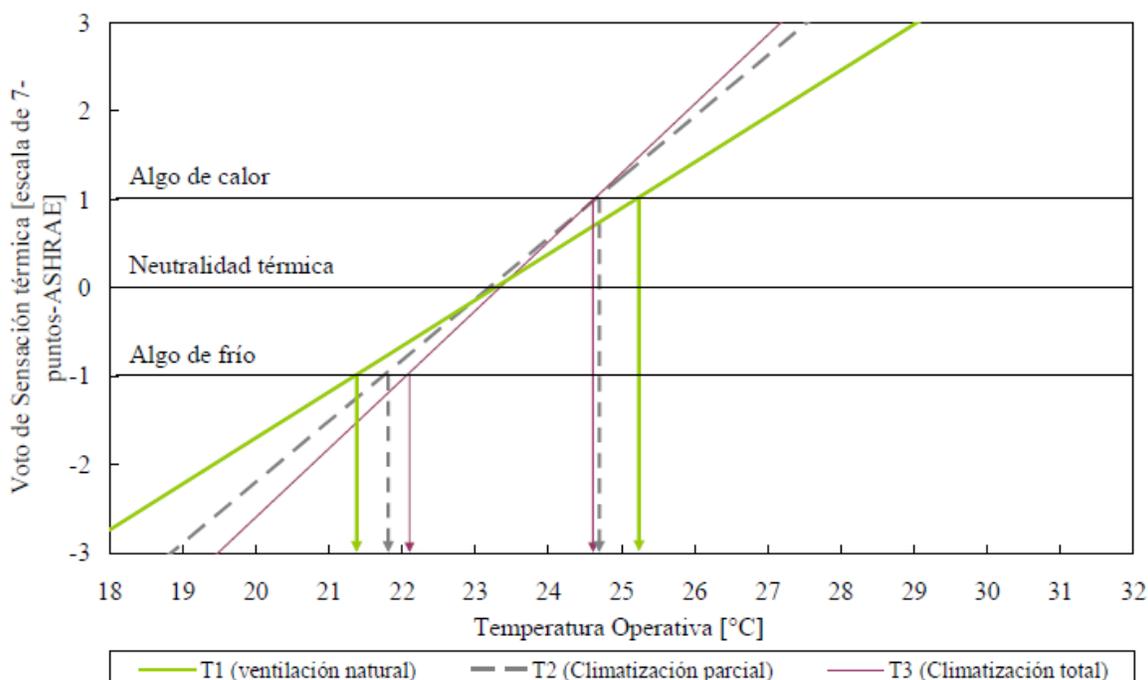
(Fig.4). El correcto funcionamiento de este tipo de sistemas de acondicionamiento pasivo dependen fundamentalmente del comportamiento del usuario, quien no los ve, a veces desconoce su existencia y no puede manipularlos, como es el caso concreto de una ventana, una puerta, un parasol, un termostato, etc.

Otro aspecto importante que se releva es el nivel de concentración de CO<sub>2</sub>, que solo en invierno en promedio se ubica un 30% por encima del valor límite de 1000 ppm (partes por millón), propuesto por la norma (DIN EN 13779). La pequeña diferencia de concentración de CO<sub>2</sub> que se encuentra entre espacios con ventilación natural (27% > 1000 ppm) y espacios con

ventilación mecánica (32% > 1000 ppm), conduce a pensar que los usuarios en invierno ventilan en exceso, que en espacios con ventilación mecánica no se renueva adecuadamente el volumen de aire o que existen conceptos de ventilación erróneos.

### 3.3. La habilidad de adaptación. Potencial de Eficiencia Energética

En el marco del proyecto EVA, se llevan a cabo mediciones (n = 1300), entre otoño de 2004 y otoño de 2006, en 280 espacios de trabajo distribuidos en 30 edificios de oficina, en Alemania, mediante un seguimiento de tipo transversal, denominado "Spot-Monitoring". El



**Figura 6:** Modelos de regresión lineal entre la temperatura operativa y el voto medio de sensación térmica en función de las variantes de ventilación y climatización. Fuente: IGS, 2012

**Figure 6:** Linear regression models between the operative temperature and the thermal sensation vote depending on the ventilation and air conditioning variants. Source: IGS, 2012

trabajo de campo apunta a relevar las condiciones climáticas exteriores e interiores y su vínculo con el Confort térmico de espacios de trabajo. La población analizada en esta publicación incluye 19 edificios sobre los que se evalúa la EE.

El concepto metodológico desarrollado para evaluar el Confort térmico en edificios de oficina (Spot-Monitoring), se basa en un análisis puntual de las condiciones climáticas interiores en espacios reales de trabajo a través de mediciones y encuestas cortas simultáneas, para encontrar valores de temperatura óptima/deseada por los usuarios de espacios de trabajo. La correlación entre datos objetivos y subjetivos junto a la información de cada espacio de trabajo permite identificar el comportamiento del usuario bajo ciertas condiciones climáticas interiores. Para evaluar la influencia de las condiciones climáticas exteriores es necesario llevar a cabo mediciones en cada una de las estaciones del año. Una unidad móvil equipada con sensores, un datalogger y un procesador Notebook permite relevar las diferencias entre espacios de trabajo en funcionamiento (Fig. 5).

El análisis de regresión lineal es el que mejor se adapta para evaluar las tendencias de la relación entre el voto de Confort de la encuesta

(CV) y los valores de medición de temperatura operativa ( $t_{op}$ ). El voto CV se emite sobre la escala de 7 puntos y dos polos de disconformidad, conocida como escala de ASHRAE. Las rectas de regresión promedio se ajustan en función de las variantes de climatización y ventilación encontradas.

Las rectas encontradas del análisis del par ( $t_{op}$ , CV), muestran notables diferencias entre espacios con diferentes estrategias de ventilación y climatización (Fig. 6). La pendiente de la recta puede interpretarse como una medida de la habilidad de adaptación de los usuarios. Es probable que el rango estrecho de valores de temperatura operativa que se obtiene en espacios con climatización parcial (T2) y con climatización total (T3) limite la predicción de diferencias entre estos dos tipos de espacios. Para los espacios con ventilación natural (T1), la diferencia es notable ya que se dispone de un rango de aceptación térmica más amplio (Fig. 6).

Las rectas encontradas y que se representan en la Figura 6 se describen como sigue:

$$\text{Para T1} \quad CV = 0,52 \cdot t_{op} - 12,1$$

$$\text{Para T2} \quad CV = 0,69 \cdot t_{op} - 16,0$$

Para T3  $CV = 0,78 \cdot t_{op} - 18,2$

Donde,

$CV = \text{Voto de confort}$

$t_{op} = \text{Temperatura operativa}$

Estos conceptos pueden traducirse como un potencial de optimización en EE y del Confort que solo es posible detectar durante la etapa de post-ocupación, es decir en condiciones reales al verificar la habilidad de adaptación del usuario al entorno térmico. Estas afirmaciones constituyen un punto de partida para desarrollar una herramienta de cálculo que considere aspectos locales para cada edificio permitiendo optimizar energéticamente cada caso de estudio.

### Conclusiones

De este estudio se llega a la conclusión de que aún en edificios tecnológicos desarrollados en los últimos 15 años en Alemania siguen existiendo potenciales de Eficiencia Energética (EE) y de mejoramiento del Confort en general. Explorar potenciales de EE del edificio en su etapa post-ocupación y estimar potenciales de ahorro a partir de valores de consumo real, permite desarrollar un nuevo foco de análisis y promover valores de referencia en EE a alcanzar en construcciones nuevas o existentes. El estándar EnOB constituye una de estas referencias, exigiendo desarrollar niveles de calidad en el diseño, construcción y uso del edificio. El potencial EnBop a partir del monitoreo del funcionamiento y el control de calidad en la ejecución de mejoras durante su vida útil, constituye una herramienta de baja inversión y que conduce a ahorros inmediatos.

Asegurar el buen nivel de Confort es una tarea difícil ya que aún estableciendo reglas de control y empleando tecnologías desarrolladas, el comportamiento de los actores involucrados en el funcionamiento del edificio pueden afectar el grado de EE. Aunque se destaca el sobrecalentamiento en espacios de trabajo, existen otros aspectos vinculados a la calidad del aire, los niveles de iluminación y ruido que dependen del comportamiento del usuario y que afectan el funcionamiento esperado del edificio. La educación de estos actores puede contemplarse en las políticas de EE mediante la elaboración de, por ejemplo, un "manual de uso" del espacio de trabajo.

Es importante destacar que el usuario de espacios de trabajo constituye un actor

fundamental en el relevamiento de la información, a partir del cual se puede identificar un potencial de optimización. La correlación entre datos objetivos y subjetivos permite pronosticar tendencias sobre la preferencia térmica y elaborar reglas de control sobre el set-point de temperatura de equipos de climatización (ver Ecuaciones 1, 2 y 3). El usuario de espacios con ventilación natural (variante T1), se manifiesta más tolerante respecto de aquellos con climatización parcial y total (T2 y T3), y por ello representa un potencial de optimización del funcionamiento.

Guiados por la tendencia arquitectónica de construir edificios con elevado desarrollo tecnológico en equipamiento y fachadas innovadoras, propietario, usuarios y encargados del funcionamiento creen poseer/habitar edificios ecológicos, energéticamente eficientes y sustentables. La experiencia aquí expuesta indica lo contrario ya que la EE no se logra conectando el edificio a la red de energía una vez finalizada la obra arquitectónica.

El desarrollo de nuevas construcciones exige que, a una planificación interdisciplinaria entre arquitectos, ingenieros y expertos en diseño de conceptos energéticos, física de la construcción, equipamiento técnico y sistemas, se le sume el seguimiento focalizado luego de la puesta en marcha (uso energético al 100%), para descubrir fallas con potenciales de optimización, en pos de alcanzar niveles de EE y Confort deseados.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a los organismos de financiamiento BWUA (Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit), DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt) y DAAD (Deutscher Akademischer Austauschdienst).

### Referencias Bibliográficas

- ASHRAE. (1992). ASHRAE 55: *Thermal environmental conditions for human occupancy* (Supersedes ANSI/ASHRAE Standard 55:1992). Atlanta, USA: ASHRAE Inc.
- Dassler, F. (2002). Vertikale Stadtlandschaft, *Intelligente Architektur*, 35, 26-33.
- DIN 4108. (1969). *Wärmeschutz im Hochbau*. Berlin: Beuth, 1969-08.
- DIN EN 12464-2. (2007). *Licht und Beleuchtung. Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 2: Arbeitsplätze im Freien*; Deutsche Fassung EN 12464-2:2007.
- DIN EN 13779. (2007) Lüftung von Nichtwohngebäuden. Allgemeine Grundlagen und

Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage. Deutsche Fassung EN 13779:2007; Substitute for DIN 1946-2:1994-01, 2007.

DIN EN ISO 7730. (2005). 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.

DIN V 18599. (2007). Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. Berlin: Beuth, 2007-02.

ENEV 2002. (2002). Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik in Gebäuden

GERTIS, K. (1999). Sind neuere Fassadenentwicklungen bauphysikalisch sinnvoll? Teil

2: Glas-Doppelfassaden (GDF), *Bauphysik*, 21, N° 2, 54-66.

MÜLLER, H.F.O; NOLTE, C.; PASQUAY, T. (Hrsg.), (2001) Klimagerechte Fassadentechnologie: II. Monitoring von Gebäuden mit Doppelfassaden, *VDI-Fortschrittsberichte*, Reihe 4 Nr. 170.

OSWALT, P; REXROTH, S. (1994). *Wohltemperierte Architektur*. Heidelberg, Alemania: , C. F. Mueller Verlag.

SCHULZ, M.(2004, noviembre). Leben im Schwitzkasten (Life in the Headlock), *Der Spiegel*, 47/2004, 186-188.

WERNER, J. (2002). Out of Rosenheim, *Deutsche Bauzeitung*, 11/2002

WSVO 95 (1995) Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden.

Recibido: 16|08|2012  
Aceptado: 11|11|2012