

LA INFRAESTRUCTURA DEL EDIFICIO: Envolventes, instalaciones y sistemas en edificios de oficinas

THE INFRASTRUCTURE OF BUILDINGS:
Envelopes, installations and systems in
office buildings

Palabras clave

Chile
Consumo energético
Transparencia
Confort
Transmitancia térmica

Keywords

Chile
Energy consumption
Transparency
Comfort
Thermal transmittance

Desde que Kahn propusiera la separación entre espacios servidos y servidores – transformando a estos últimos en la infraestructura invisible que permite el esplendor de los primeros – dicha distinción se ha mantenido vigente como herramienta de diseño. Pero cuando los espacios servidores pasan a contener a los sistemas del edificio, esta segregación se vuelve problemática: el edificio ya no sólo depende de sus propias infraestructuras, sino que estas también demandan excesiva energía.

Since Kahn proposed the separation between servant and served spaces – transforming the former into the invisible infrastructure that allows the splendor of the latter – the distinction has remained valid as a design tool. But when servant spaces happen to contain the building's own systems, such segregation becomes problematic: the building no longer relies on its own infrastructures, but these also require excessive energy.

En los años 60 se introdujo una nueva tipología de edificios en Chile: oficinas con fachadas livianas (a menudo vidriadas) que descansan en sistemas activos para obtener condiciones de confort. Esto es resultado de una búsqueda global de la arquitectura del siglo xx, que vio un valor en la planta libre, la continuidad espacial o los muros cortina. Sin embargo, a medida que las envolventes se volvieron más ligeras – hasta ser prescindibles estructuralmente – también perdieron la capacidad de aislamiento térmico, acústico y solar que las estructuras de muros sí ofrecían. La búsqueda de un principio estructural idóneo a esta nueva tipología decanta en la integración de sistemas mecanizados,, especialmente en edificios de gran altura (Ábalos y

in the 60s, a new building typology was introduced in Chile: offices with lightweight façades (often glazed) that rely on active systems for comfort conditions. This is the result of a global search for twentieth century architecture, which valued the open plan, spatial continuity or curtain walls. However, as the envelopes became lighter – to the point of becoming structurally dispensable – they also lost the thermal, acoustic and solar insulation capacity that walled structures offered. The search for a suitable structural principle in this new typology depends on the integration of the mechanical systems, especially in high-rise buildings (Ábalos & Herreros, 1992). Thus, if the open plan is supported by a pillar structure,

RENATO D'ALENÇON

Profesor Asistente,
Jefe de Magíster en Arquitectura
Sustentable y Energía, MASE
Escuela de Arquitectura,
Pontificia Universidad Católica
de Chile, Santiago, Chile

CLAUDIO VÁSQUEZ

Profesor Asociado,
Escuela de Arquitectura, Pontificia
Universidad Católica de Chile,
Santiago, Chile

PEDRO PABLO DE LA BARRA

Proyecto FONDEF I+D
«Fachada Variable»
Pontificia Universidad Católica
de Chile, Santiago, Chile

Herreros, 1992). Así, si la planta libre es soportada por una estructura de pilares, la transparencia y liviandad de la fachada es sostenida por una red de infraestructura de ventilación, aire acondicionado, iluminación artificial, redes de comunicaciones y datos.

El edificio como infraestructura

Hoy los edificios ya no son objetos singulares, sino productos reproducibles en condiciones urbanas y logísticas semejantes, conformando una infraestructura con rutinas y horarios para organizar la producción y el consumo. Las ciudades y los edificios del mundo entero se construyen de acuerdo a las tecnologías de las infraestructuras (Easterling, 2014).

La definición de infraestructura suele usarse para estructuras, sistemas o redes de gran escala que, si bien son necesarias, se mantienen invisibles o bien aspiran a estar en un segundo plano. Sin embargo, a escala del edificio, la segregación entre sistemas y espacios permite entender que dichos sistemas invisibles son la propia infraestructura del edificio. Así, podemos preguntar: ¿cuáles son y cómo funcionan esas redes de infraestructura en los edificios? ¿Qué implicancia tienen sobre la arquitectura y los cerramientos de los edificios?

En este artículo proponemos analizar la relación entre la arquitectura y la infraestructura del edificio, evaluando qué tan eficiente y eficaz es el calce entre ambos.

Específicamente, nos ocuparemos de la paradoja de los actuales edificios de oficinas en Santiago donde, pese a que el clima templado mediterráneo supone exigencias mínimas, el sobrecalentamiento por radiación y cargas internas, el ruido urbano, la ventilación y renovación de aire, el deslumbramiento de los puestos de trabajo y el consumo energético no han logrado ser resueltos por los sistemas infraestructurales de los edificios.

Los edificios de oficinas en Santiago

A nivel internacional el consumo energético de los edificios de oficinas está perfectamente cuadrado en el balance energético. La TABLA 1 describe la situación en Norteamérica, España e Inglaterra, donde los edificios de oficinas representan entre el 2% y 3,2% del consumo global. Especialmente llama la atención el

an infrastructure network of ventilation, air conditioning, artificial lighting, communication and data networks support the façade's transparency and its lightness.

The building as infrastructure

Today buildings are no longer unique objects but reproducible commodities given similar urban and logistical conditions, forming an infrastructure with routines and schedules to organize production and consumption. Cities and buildings around the world are built according to infrastructure technologies (Easterling, 2014).

The definition of infrastructure is often used for large-scale structures, systems or networks that, although necessary, remain invisible or aspire to stay in the background. However, at the scale of the building, segregation between systems and spaces allows us to understand that these invisible systems are the building's own infrastructure. We can thus ask, what are these infrastructure networks in buildings and how do they work? What implications do they have on architecture and building façades?

The following article analyzes the relationship between architecture and infrastructure within the building by assessing how efficient and effective is the connection between them. Specifically, we will address the paradox of current office buildings in Santiago where, although the mild Mediterranean climate supposes minimum requirements, overheating by radiation and internal charges, urban noise, ventilation and air renewal, glare at workplaces and energy consumption have not yet been solved by these buildings' infrastructural systems.

Office buildings in Santiago

For international standards, energy consumption in office buildings is perfectly summed up in energy balances. CHART 1 describes the situation in North America, Spain and England, where office buildings represent between 2% and 3.2% of global consumption. Particularly striking are the

perfil del consumo, ya que sobre el 70 % está asociado a iluminación y climatización, ambos aspectos directamente vinculados a la arquitectura de los edificios. El caso de España es probablemente el que más se acerque al de Santiago por las condiciones climáticas, comparables a la zona central de Chile (Pérez-Lombard, Ortiz y Pout, 2008).

consumption profiles, since over 70 % is related to lighting and air conditioning, both aspects directly linked to the buildings' architecture. The case of Spain is probably the one that most closely resembles that of Santiago due to climatic conditions, comparable to those of Chile's central areas (Pérez-Lombard, Ortiz and Pout, 2008).

TABLA / CHART 1

Consumo energético en edificios de oficinas, 2003.

Energy consumption for office buildings, 2003.

Fuente / Source Pérez-Lombard et al., 2008

Edificios de oficinas <i>Office buildings</i>	Norteamérica <i>North America</i>	España <i>Spain</i>	Inglaterra <i>England</i>
Consumo global respecto al balance energético del país <i>Global consumption with respect to the country's energy balance</i>	3,2%	2,7%	2,0%
Consumo total respecto al sector público y comercial del país <i>Total consumption with respect to the country's public and commercial sector</i>	18%	33%	17%
Consumo de climatización respecto al sector construcción del país <i>Air conditioning consumption with respect to the country's construction sector</i>	48%	52%	55%
Consumo de iluminación respecto al sector construcción del país <i>Lighting consumption with respect to the country's construction sector</i>	22%	33%	17%
Otros consumos de iluminación respecto al sector construcción del país <i>Other lighting consumption with respect to the country's construction sector</i>	30%	15%	28%

Gracias a la posibilidad de calcular el comportamiento dinámico de las estructuras sobre 14 pisos, durante los años sesenta comenzó a desarrollarse en Chile la edificación en altura (AUCA, 1969a). Pero esta posibilidad estructural implicaba no sólo un desafío para las faenas constructivas, sino también para los sistemas y servicios técnicos en altura. Uno de los primeros ejemplos fueron las torres de Tajamar que, con su edificio principal de 27 pisos de altura, enfrentaron problemas como la implementación de ascensores que duplicaban la altura y velocidad de los previos, o a la necesidad de impulsar agua y resolver el saneamiento con estrategias hasta entonces inexistentes (AUCA, 1969a).

Pero a diferencia de los edificios de viviendas, las torres de oficinas tienen cargas y formas de uso que los convierten en artefactos de una naturaleza distinta, aún en altura. Deben permitir el libre flujo de personas que entran y salen por razones diversas; además, el trabajo concentra a muchas personas en espacios reducidos, tensionando el balance térmico interior y, con ello, las redes de energía. A su vez, la iluminación natural debe cumplir con los estándares requeridos con la mayor uniformidad posible para evitar el uso de iluminación

Given the possibility of calculating the dynamic behavior in structures over 14 stories high, high-rise buildings began to be developed in Chile during the sixties (AUCA, 1969a). But this structural possibility implied not only a challenge for construction tasks, but also for systems and technical facilities. One of the first examples on the subject was Tajamar Towers complex – whose main building was 27 stories high – facing issues such as implementing elevators that doubled the height and speed of existent ones back then, or the need to pump water and solve sanitation arrangements through new strategies (AUCA, 1969a).

But unlike residential buildings, office towers bear loads and have use forms that turn them into artifacts of a different nature, even in terms of their height. They must allow the free flow of people entering and exiting the building for various reasons; in addition, work concentrates many people in small spaces, stressing the internal thermal balance and, with it, energy networks. In turn, natural lighting must comply with the required standards as uniformly as possible to avoid the use of artificial light. Finally, they are used continuously during the day, requiring constant interaction with the climate of those places where they are located.

EN EDIFICIO ENDESA: EL MAS MODERNO SISTEMA AIRE ACONDICIONADO INSTALADO EN CHILE...



KELLER Y WESTENDARP LTDA.

AV. ZANARTU 1906 - TELEFONO 254074 - CASILLA 9455 - SANTIAGO CHILE

El sistema elegido consiste, en síntesis, en una central que produce en invierno agua caliente de 50° C y en verano agua helada de 4° C. Esta agua (caliente o fría) circula en circuito cerrado por todo el edificio. Con excepción de tres pisos que tienen instalaciones especiales, cada uno de los restantes está dividido en cuatro zonas de acuerdo a la orientación cardinal de cada una de ellas, con control individual. En cada zona hay un equipo acondicionador que consiste en un ventilador, serpentín y filtro donde, por medio de agua caliente o helada, se acondiciona el aire, el cual es llevado por ductos hasta las oficinas o recibos respectivos.

Para la renovación del aire, se incluye una cierta cantidad de aire exterior, el cual es purificado en filtros de alta eficiencia, ubicados en dos estaciones principales en el 2° subterráneo y en el 18° piso. En todo el edificio se mantiene una sobrepresión.

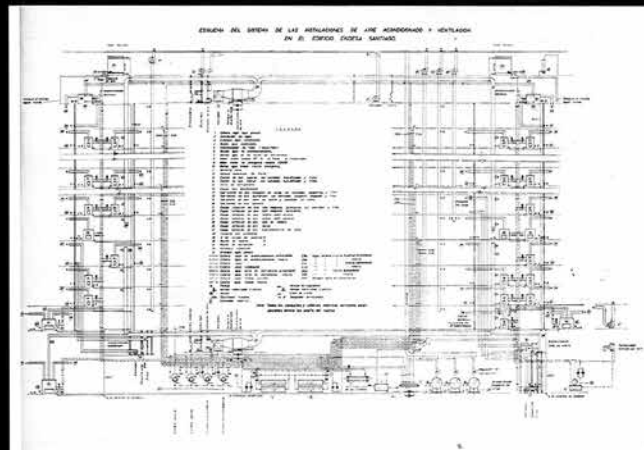
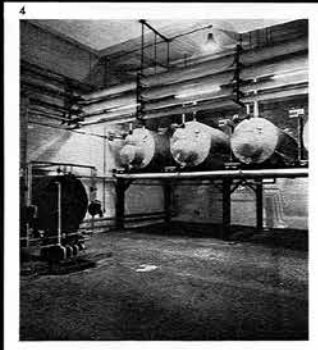
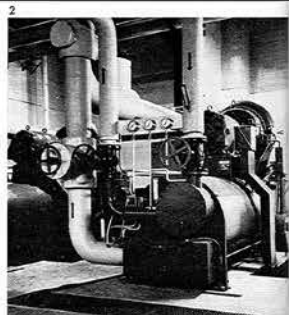
La humidificación del aire en invierno se produce en levadores de aire. En verano, la deshumidificación se hace directamente en los serpentines de enfriamiento.

La planta de agua helada consiste de dos turbocompresores, marca "YORK" de refrigerante FREON 11 de 300 HP cada uno a 8.000 RPM. Los turbocompresores se parecen en su funcionamiento a bombas centrífugas. Para disipar el calor generado en la compresión del gas, se instalaron dos torres de enfriamiento que están ubicadas en el 18° piso.

El calor requerido para la calefacción en invierno, el agua caliente para baños y cocinas y el vapor para las marmitas se produce en tres calderas de 1.000.000 kcal. cada una. Estas calderas funcionan con tiraje forzado, o sea, tienen una sobrepresión en el fogón. El petróleo tipo pesado se quema con quemadores "OERTLI".

Toda la instalación funciona completamente automática. El control de temperatura y humedad se efectúa con un sistema neumático y el control de los compresores y quemadores es electrónico.

La extracción del aire viciado de los salientes, cocinas y sala de máquinas, se efectúa por el sistema tradicional con ventiladores centrífugos marca "TELLAR".



- 1 Tablero y pupitre de comando.
- 2 Enfriadores de agua, marca "YORK" con una capacidad de refrigeración de 900.000 Kcal. cada uno.
- 3 Calderas de calefacción con quemadores "OERTLI" de 1.000.000 Kcal. cada uno.
- 4 Cilindros de agua caliente para baños y cocinas. Estanco de agua condensada.
- 5 Esquema funcional.

artificial. Por último, se utilizan de forma continua durante el día, lo que obliga a una interacción constante con el clima del lugar donde se emplazan. En Chile, el primero en enfrentar estos problemas fue el edificio Endesa (1965) de los arquitectos Echeverry, Larraguibel y Aguirre (FIG. 1). Este edificio fue pionero en varios aspectos: ascensores automatizados (sin ascensorista), climatización centralizada, una central telefónica con 120 líneas y 600 anexos, e iluminación artificial dimensionada para asegurar 500 en todos los puestos de trabajo. En este caso, la estructura de hormigón armado visto se llevó al borde de las losas para dar la mayor libertad posible a las plantas de oficinas, mientras el cerramiento transparente se retiró al plomo interno del pilar para contar con aleros como protección solar. El cerramiento consistió en una fachada liviana de aluminio con ventanas practicables con un 'vidrio polarizado importado' (que hoy debe entenderse como un vidrio tintado). Al ser una experiencia pionera, varios problemas requirieron soluciones especiales por parte de los arquitectos: los ductos de ventilación llevaban el aire de la cocina del casino a las oficinas, el vidrio no proporcionaba el

In Chile, the first building to face such issues was the Endesa building (1965) by architects Echeverry, Larraguibel and Aguirre (FIG. 1). It was a pioneer building in several aspects: automated elevators (did not require an operator), centralized air conditioning, a telephone exchange central with 120 lines and 600 annexes, and artificial lighting designed to ensure 500 lux in every work station. Here, the exposed reinforced concrete structure was pushed to the slabs' edge in order to provide as much freedom as possible to the office plans, while the transparent enclosure was moved to the internal side of pillars creating eaves as sun protection. The envelope consisted of a lightweight aluminum façade with practicable windows bearing an 'imported polarized glass,' which today should be understood as tinted glass. Being a pioneering experience, several issues required the architects' attention: ventilation ducts took the air from the cafeteria's kitchen to the offices, glass did not provide the expected solar control and windows had to be covered with a layer of additional protection, and the climate system was not able to reduce the internal temperature, which reached 26 or 27 °C (AAVV, 1969b). The building's energy demand was

FIG 1 Anuncio instalación aire acondicionado Keeler y Westendarp en Edificio ENDESA. / Ad for Keeler and Westendarp's air conditioning system in the ENDESA Building. Fuente / Source: AUCA 15, Santiago (agosto, 1969).

control solar esperado y se debió recubrir las ventanas con una capa adicional de protección, o incluso el sistema de clima no era capaz de reducir la temperatura interior, que llegaba a 26 o 27 °C (AAVV, 1969b). La demanda energética de este edificio también fue un aspecto pionero, pues su consumo en ese momento era comparable al de toda la isla de Chiloé.

Aún así, los edificios de oficinas con fachadas livianas y climatización artificial se transformaron en un estándar en Santiago a partir de los años 90. Su simpleza tipológica – un núcleo rígido que aloja las circulaciones, un sistema de losas solidarias al núcleo a través de una estructura reticular soportada por pilares en el perímetro y una envolvente adosada a los bordes de las losas – daba como resultado una planta libre que permitía una disposición flexible de los espacios de trabajo, en base al modelo de eficacia corporativa consolidado en EE.UU. tras la Segunda Guerra Mundial (Arnold, 2005). Esta configuración, sin embargo, supone una tensión entre el ambiente interior de los edificios y las condiciones climáticas exteriores, donde la radiación solar pone en jaque los anhelados beneficios de la transparencia.

Desempeño de edificios de oficinas en Santiago

En nuestra investigación nos hemos ocupado de caracterizar las redes, las funciones y la envolvente de los edificios de oficinas construidos en Santiago, a través de indicadores que explican su desempeño energético, las cualidades de su forma arquitectónica, las características de su envolvente, la percepción de los usuarios y la calidad de su ambiente interior. Para ello, se definieron cinco *clusters* o familias de edificios a través del método de clasificación estadística denominado Cluster Analysis (Vásquez, Encinas y D'Alençon, 2015), que permite contar con una visión panorámica del parque construido para estudiarlo sistemáticamente. Las características de los *clusters* son las siguientes:

- *Cluster 1*: edificios de muro cortina, sin protección solar, de un tamaño superior a los 35.000 m² de superficie construida.
- *Cluster 2*: edificios de fachada mixta, pueden tener o no muro cortina, sin protecciones solares y de superficie en torno a los 10.000 m².
- *Cluster 3*: este es un *cluster* especial con un caso único por su tamaño. Su fachada es un muro cortina sin protección solar.
- *Cluster 4*: edificios de fachada de muros con vanos y tamaño en torno a los 10.000 m² de superficie.
- *Cluster 5*: edificios de muro cortina con algún tipo de protección solar, de un tamaño en torno a los 16.000 m² de superficie.

Desde el punto de vista metodológico, hemos realizado auditorías energéticas a casos característicos de cada uno de los *cluster*, aplicando protocolos¹ para establecer el perfil del consumo de energía, la calidad de iluminación (natural y artificial), la calidad del ambiente

also a pioneering feature, comparing its consumption at the time with that of the whole island of Chiloé. Still, office buildings with lightweight façades and artificial air conditioning became a standard in Santiago since the 90s. Its typological simplicity – a rigid core that comprises circulations, a slab system attached to the core through a lattice structure supported by pillars in the perimeter and a façade attached to the edges of the slabs – resulted in an open plan that allowed a flexible workspace layout, based on corporate efficiency models consolidated in the USA after WWII (Arnold, 2005). Such configuration, however, supposes a tension between the interior environment of buildings and external climate conditions, where solar radiation jeopardizes the desired benefits of transparency.

Performance of office buildings in Santiago

Throughout our research, we were concerned with characterizing the networks, functions and façades of office buildings built in Santiago through indicators explaining their energy performance, the qualities of their architectural form, features of their façade, users' perception and the quality of their interior environment. To this purpose, five clusters or families of buildings were defined through a statistical classification method called Cluster Analysis (Vásquez, Encinas and D'Alençon, 2015), which provides a panoramic view of the built mass in order to study it systematically. The characteristics of the clusters are the following:

- Cluster 1: curtain wall buildings, without solar protection, of over 35,000 m² of built surface.
- Cluster 2: buildings with a mixed façade, with or without curtain walls, without solar protection and around 10,000 m² of built surface.
- Cluster 3: a special cluster with a unique case due to its size. Its façade is a curtain wall without solar protection.
- Cluster 4: buildings with walled façades with spans, and built surfaces of around 10,000 m².
- Cluster 5: curtain wall buildings with some type of solar protection, of sizes around 16,000 m².

From a methodological point of view, our approach has involved energy audits to distinctive cases in each of the clusters, applying protocols¹ to establish energy consumption profiles, quality of lighting (both natural and artificial), quality of interior thermal environment and user perception. All measurements were seasonal and were recorded in a database for further analysis.

The protocol to measure energy consumption considered air conditioning, lighting and power in some floors of each case and the measurement of air conditioning system of the whole building. The lighting protocol considered the measurement of illuminances in different types of workstations, according to their relationship with windows and their orientation within the plan. The internal thermal environment quality protocol was based on the thermal zoning of each of the

TABLA / CHART 2

Uso Anual de Energía (UAE) por cada cluster. /
Annual Energy Use (AEU) for each cluster.
Fuente / Source Fondecyt 1130815

UAE (kWh/m ² año)	Cluster 1		Cluster 2			Cluster 3	Cluster 4		Cluster 5	
	Caso 1 Case 1	Caso 2 Case 2	Caso 3 Case 3	Caso 4 Case 4	Caso 5 Case 5	Caso 6 Case 6	Caso 7 Case 7	Caso 8 Case 8	Caso 9 Case 9	Caso 10 Case 10
Caso / Case	246,83	210,01	116,30	142,02	140,45	122,01	70,46	77,42	138,98	241,47
Cluster	228,42		132,93			122,01	73,94		190,22	
Total	150,60									

térmico interior y la percepción de los usuarios. Todas las mediciones fueron estacionales y se registraron en una base de datos para su posterior análisis.

El protocolo para medir el consumo de energía consideró la medición desagregada de climatización, iluminación y fuerza en algunos pisos de cada caso y la medición del sistema de climatización del edificio en su totalidad. El protocolo de iluminación consideró la medición de iluminancias en los distintos tipos de puesto de trabajo según su relación con las ventanas y su orientación en la planta. El protocolo de calidad del ambiente térmico interior se basó en la zonificación térmica de cada uno de los casos, cruzando información medida instrumentalmente con la percepción de los usuarios.

La TABLA 2 presenta los resultados del protocolo de energía desagregado por caso de estudio, cluster y total. La singular situación del cluster 3 se explica porque la legislación vigente respecto de la tarificación eléctrica (Ministerio de Minería, 2000; Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, 2007) establece que para suministros a usuarios cuya potencia conectada es inferior o igual a 2.000 kW (considerado un proveedor monopólico) hay precios regulados, pero para suministros a usuarios con potencia conectada superior a 2.000 kW, la ley dispone libertad de precios, suponiendo que ellos tienen capacidad negociadora (CNE, 2015). Esta diferenciación, propia de un sistema de tarificación que se basa en la asignación eficiente de precios, no considera el uso eficiente de los recursos energéticos, puesto que, en la práctica, introduce un incentivo al mayor consumo para los mayores consumidores.

Como referencia para la evaluación de estos resultados, la TABLA 3 muestra los estándares de consumo de energía para edificios de oficinas en distintos países de la Unión Europea, durante los años en que fueron realizadas las auditorías energéticas. Como vemos, los estándares nacionales son comparables a las referencias de mayor consumo en Europa; sin embargo, el clima es un factor a diferenciar, ya que en la zona central de Chile sólo se podría comparar al de Portugal.

cases, combining instrumentally measured information with the users' perception.

CHART 2 shows the results of energy protocols according to case study, cluster and total. The unique situation of cluster 3 is explained by the fact that current legislation regarding electricity pricing (Ministry of Mining, 2000, Ministry of Economy, Development and Reconstruction, 2007) establishes that, for supplies to users whose power is less or equal to 2,000 kW (considered a monopoly provider) prices are regulated, but for supplies to users with power exceeding 2,000 kW, the law allows flexible rates, assuming that they have the capacity to negotiate (CNE, 2015). Such differentiation, typical of a pricing system based on an efficient allocation of prices, does not consider the efficient use of energy resources, since, in practical terms, encourages greater consumption for the largest consumers.

As reference for the assessment of these results, CHART 3 shows energy consumption standards for office buildings in different countries of the European Union, during the same years when energy audits were carried out. As shown above, national standards

TABLA / CHART 3

Estándares normativos de consumo para edificios de oficina en algunos países de la UE. / Normative consumption standards for office buildings in EU countries.

Fuente / Source BPIE 2011

País Country	Estándar (kWh/m ² año) Standard (kWh/m ² year)
Austria / Austria	23
Suiza / Switzerland	46
República Checa / Czech Republic	179
Portugal / Portugal	122
Alemania / Germany	172

TABLA / CHART 4

Horas de confort higrotérmico (%) por cada caso y cluster. /
Hours of hygrothermal comfort (%) for each case and cluster.
Fuente / Source Fondecyt 1130815

Horas de confort higro-térmico (%) Hours of hygrothermal comfort (%)	Cluster 1		Cluster 2			Cluster 3	Cluster 4		Cluster 5		Total	
	Caso 1 Case 1	Caso 2 Case 2	Caso 3 Case 3	Caso 4 Case 4	Caso 5 Case 5	Caso 6 Case 6	Caso 7 Case 7	Caso 8 Case 8	Caso 9 Case 9	Caso 10 Case 10		
Invierno <i>Winter</i>	Caso /Case	67%	95%	50%	74%	48%	91%	50%	52%	85%	80%	69%
	Cluster	81%		57%			91%	51%		83%		
Otoño <i>Autumn</i>	Caso /Case	65%	54%	14%	85%	55%	93%	65%	90%	78%	78%	68%
	Cluster	59%		51%			93%	77%		78%		
Primavera <i>Spring</i>	Caso /Case	73%	11%	74%	78%	69%	50%	16%	55%	25%	30%	48%
	Cluster	42%		74%			50%	35%		27%		
Verano <i>Summer</i>	Caso /Case	79%	52%	4%	58%	41%	22%	66%	75%	44%	53%	50%
	Cluster	66%		34%			22%	71%		49%		
Anual <i>Annual</i>	Caso /Case	71%	53%	35%	74%	53%	64%	49%	68%	58%	60%	59%
	Cluster	62%		54%			64%	59%		59%		

Es importante considerar también que estos estándares de consumo permiten que los edificios logren un alto desempeño de confort higrotérmico y lumínico, una cuestión que es responsabilidad directa de la arquitectura y que, como veremos, no es tal en nuestro caso.

La TABLA 4 muestra los resultados de las mediciones de confort higrotérmico. Las horas de confort térmico corresponden al porcentaje de mediciones puntuales de temperatura y humedad al interior de las plantas dentro del rango de confort específico para cada estación del año según la norma ISO 7730 (20 °C a 24 °C en otoño e invierno, 23 °C a 26 °C en primavera y verano, humedad relativa entre 20 y 70 % para todo el año). El resultado muestra que la totalidad de los casos tiene un desempeño higrotérmico bajísimo. El caso 1, que es el que consumió más energía en el período (246,83 kWh/m² año), es consecuentemente el que mejor desempeño higrotérmico alcanzó (71%), aun cuando sigue siendo bajo respecto a las expectativas de lograr un 100 % de horas de confort. En general, todos los cluster alcanzan un desempeño en torno al 60 % de horas de confort anual, cuestión que no es coherente con las expectativas de contar con edificios climatizados donde las personas desarrollan actividades de las cuales se espera una cierta productividad.

Finalmente, la TABLA 5 muestra el levantamiento de las horas de confort lumínico, que corresponde al porcentaje de mediciones puntuales de iluminancias al interior de las plantas que se encontraban dentro del rango de confort según la norma ISO 8995-1 (500 a 2000 lux sobre el plano de trabajo). Los registros se realizaron en los puestos de trabajo representativos para cada orientación y nivel de profundidad dentro de la planta con respecto a la fachada para cada caso de estudio, sobre 200 puntos de medición en la totalidad de la muestra.

are comparable to the largest energy consumption references in Europe; however, climate is a factor that helps in differentiating, since Chile's central areas could only be compared to those of Portugal. It is also important to consider that these consumption standards enable high hygrothermal and light comfort performance in buildings, a subject that directly concerns architecture and which, as we shall see, is not such in our case.

CHART 4 shows the results of hygrothermal comfort assessments. Thermal comfort hours correspond to the percentage of temperature and humidity measurements in buildings within the specific comfort range for each season according to ISO 7730 (20 °C to 24 °C in autumn and winter, 23 °C to 26 °C in spring and summer, relative humidity between 20 and 70 % for the entire year). Results show that all cases have a rather low hygrothermal performance. Case 1, the one that consumed the most energy throughout the period (246.83 kWh/m² year) is consequently the one with the best hygrothermal performance (71%), even though it remains low according to the expectations of achieving 100 % comfort hours. In general terms, the performance in all clusters is about 60 % of annual comfort hours, results that are not consistent with the expectations of having climate-controlled buildings where people develop activities from which a certain productivity is expected.

Finally, CHART 5 shows the survey on hours of light comfort, which corresponds to the percentage of illuminance measurements in buildings that were within the comfort range according to ISO 8995-1 (500 to 2000 lux on top of workstations).

TABLA / CHART 5

Horas de confort lumínico (%) por cada caso y cluster. /

Hours of light comfort (%) for each case and cluster.

Fuente / Source Fondecyt 1130815

Horas de confort lumínico (%) Hours of light comfort (%)		Cluster 1		Cluster 2		Cluster 3	Cluster 4		Cluster 5		Total
		Caso 1 Case 1	Caso 2 Case 2	Caso 3 Case 3	Caso 4 Case 4	Caso 6 Case 6	Caso 7 Case 7	Caso 8 Case 8	Caso 9 Case 9	Caso 10 Case 10	
Invierno <i>Winter</i>	Caso /Case	4%	8%	12%	3%	15%	15%	33%	30%	22%	15%
	Cluster	6%		7%		15%	24%		26%		
Otoño <i>Autumn</i>	Caso /Case	5%	18%	19%	2%	20%	16%	12%	42%	29%	18%
	Cluster	11%		11%		20%	14%		35%		
Primavera <i>Spring</i>	Caso /Case	16%	11%	11%	0%	20%	19%	39%	36%	20%	19%
	Cluster	14%		6%		20%	29%		28%		
Verano <i>Summer</i>	Caso /Case	15%	15%	24%	0%	8%	23%	20%	27%	26%	17%
	Cluster	15%		12%		8%	21%		26%		
Anual <i>Annual</i>	Caso /Case	10%	13%	17%	1%	16%	18%	26%	34%	24%	18%
	Cluster	11%		9%		16%	22%		29%		

De la tabla se deduce una baja calidad del ambiente lumínico de los puestos de trabajo, lo que no amerita análisis por el marginal desempeño que alcanzan todos los casos. La disponibilidad de luz (iluminancia) es resultado de un conjunto de factores que combinan la luz natural y sus reflexiones en el espacio, determinados por la profundidad de la planta; así, la iluminación artificial debe funcionar como apoyo en situaciones donde la luz natural no es suficiente. Lo observado en los casos estudiados es que la luz artificial funciona de forma irrestricta durante el día y que el control de la radiación solar normalmente es causa de una luz natural deficiente en los espacios de trabajo. También se debe mencionar que el confort lumínico va más allá de la disponibilidad de luz (iluminancias) y considera la calidad del ambiente lumínico (luminancias); sin embargo, para ninguno de los casos fue posible aplicar protocolos de medición de este aspecto por los bajos niveles de luz disponible.

Conclusiones

A más de 50 años de la construcción del edificio Endesa, la estrategia de máxima transparencia de la envolvente soportada por una infraestructura de instalaciones sigue presentando los mismos desafíos que, en Chile, aún no hemos sido capaces de resolver desde el punto de vista del consumo energético ni del confort de los usuarios. La exploración arquitectónica de la transparencia aún no ha dado el paso de problematizar la dimensión de los edificios como componentes de un sistema de infraestructura con el que puede y debe interactuar, en lugar de sólo depender de él.

Los datos presentados dan cuenta de que, en un número significativo de casos estudiados en Santiago,

Measurements were made in workstations representative of each orientation and degree of depth within the plan for each case study, over 200 measurement points for the entire sample. A low-quality lighting environment within workstations is deduced from the chart, one that does not merit analysis given the low performance in all of the cases. Light availability (illuminance) is the result of a set of factors combining natural light and its reflections in space, determined by the depth of the plan; thus, artificial lighting must function as back-up in situations where natural light is not enough. In the cases studied, it has been observed that artificial light works unrestrictedly during the day and that solar radiation control is usually the cause of poor natural light in workstations. It should also be mentioned that lighting comfort goes beyond the availability of light (illuminance) and considers the quality of the lighting environment (luminance); however, for none of the cases was it possible to apply measurement protocols of such feature due to low levels of available light.

Conclusions

Over 50 years after the construction of the Endesa building, the strategy of maximum transparency in façades supported by an infrastructure of facilities continues to pose the same challenges that, in Chile, we have not yet been able to address from the point of view of energy consumption or user comfort. Architectural exploration on transparency has not yet considered the building dimension as components of an infrastructure system with which it can and should interact, instead of just depending on it.

Data shows that, in a significant number of cases studied in Santiago, the quality of interior environments in buildings today is poor, despite receiving significant amounts of energy. Behind this issue is the evident lack of regulation.

la calidad del ambiente interior de los edificios hoy es deficiente a pesar de recibir importantes cantidades de energía. Detrás de esta cuestión es evidente la falta de regulación.

A nivel internacional, las estrategias y regulaciones para abordar estos problemas consideran una doble componente: el sistema de infraestructuras y el desempeño de la envolvente, ambas en referencia a las condiciones requeridas por los usuarios. En Chile, los reglamentos o normas para garantizar el confort ambiental y la eficiencia energética en oficinas siguen siendo casi inexistentes. Las prescripciones de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (Ministerio de la Vivienda y Urbanismo, 1992) se limitan a establecer requisitos de transmitancia térmica para envolventes en viviendas, que no son aplicables a edificios comerciales. Más aún, al considerar edificio y distribución energética como un sistema, las estructuras tarifarias se enfocan en la eficiencia de la designación de precios y no en la eficiencia energética del sistema, en el que los precios puedan funcionar como un incentivo al mejor desempeño térmico o al confort de los usuarios.

Los grandes edificios de oficinas con fachadas transparentes que se construyen hoy en Chile, dependen y forman parte de un sistema de redes de infraestructura (la energética entre otras), y demandan un suministro permanente y en gran cantidad, pero aún no han asumido su rol como parte integrante de él ni su potencial aporte al mejor desempeño y eficiencia del sistema. Sin embargo, si nos enfocamos en los sistemas infraestructurales al interior del edificio, podemos observar que su vida útil relativamente corta (20 a 25 años) abre la factibilidad técnica de su sustitución y plantea una oportunidad para reformular los sistemas y la lógica de la operación del edificio. **ARQ**

Worldwide, strategies and regulations to address these issues consider two features: the infrastructure system and façade performance, both in relation to those conditions required by the users. In Chile, regulations or standards to guarantee environmental comfort and energy efficiency in offices remain almost non-existent. The prescriptions of the Ordenanza General de Urbanismo y Construcción [General Urban Planning and Construction Ordinance] limit themselves to establish thermal transmittance requirements for façades in dwellings, which do not apply to commercial buildings. Moreover, when considering both building and energy distribution as a system, the tariff structures focus on price assignment efficiency and not on energy efficiency of a system where prices can function as an incentive for better thermal performance or user comfort.

The large office buildings with transparent façades that are being built today in Chile rely on and are part of a system of infrastructure networks (energy among others), demand a large, permanent supply, but have not yet assumed their role as part of it or their potential contribution to a better performance and efficiency of the system. However, if we focus on infrastructural systems in the building, we can see that their relatively short lifespan (20 to 25 years) opens up to the technical feasibility of its replacement and poses an opportunity to reformulate both the systems and their operation logic within the building. **ARQ**

Bibliografía / Bibliography

- AAVV. «¿Edificación en Altura?». *AUCA* 16 (1969a).
- AAVV. «Edificio Endesa». *AUCA* 15 (1969b).
- ÁBALOS, Iñaki; HERREROS, Juan. *Técnica y arquitectura en la ciudad contemporánea, 1950-1990*. Madrid: Nerea, 1992.
- ARNOLD, Thomas. «De la oficina como paisaje al paisaje urbano en la oficina». En *Atlas de Edificios de Oficinas*, Ed. Rainer Hascher y Simone Jeska. Barcelona: Gustavo Gili, 2005.
- Comisión Nacional de Energía. «Tarificación Eléctrica Comisión Nacional de Energía». <http://www.cne.cl/en/tarificacion/electrica/>. Consultado el 3 de diciembre de 2015.
- EASTERLING, Keller. *Extrastatecraft: The Power of Infrastructure Space*. London; New York: Verso, 2014.
- Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. «Reglamento para la fijación de precios de los servicios no consistentes en suministro de energía». Santiago, 2007.
- Ministerio de la Vivienda y Urbanismo. División Desarrollo Urbano. «Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones». Santiago, Chile, 1992. http://www.minvu.cl/opensite_20070404173759.aspx
- Ministerio de Minería. «Ley General de Servicios Eléctricos». Santiago, 2000.
- PÉREZ-LOMBARD, LUÍS; ORTIZ, JOSÉ; POUT, CHRISTINE. «A Review on Buildings Energy Consumption Information». *Energy and Buildings* 40 (3, 2008): 394-98.
- VÁSQUEZ, CLAUDIO; ENCINAS, FELIPE; D'ALENÇON, RENATO. «Office Buildings in Santiago: What Are We Doing from the Point of View of Energy Consumption?». *ARQ* 89 (2015), 50-61.

Notas / Notes

- 1 Los protocolos aplicados fueron extraídos de las guías: «Performance measurement protocols for commercial buildings: Best practices guide» y «Performance measurement protocols for commercial buildings», de la American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, ASHRAE; U.S. Green Building Council (USGBC); y The Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE).
- 1 The applied protocols were extracted from the guides: “Performance measurement protocols for commercial buildings: Best practices guide” and “Performance measurement protocols for commercial buildings,” of the American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, ASHRAE; U.S. Green Building Council (USGBC); and The Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE).

Renato D’Alençon Castrillón

<dalencon@uc.cl>

Arquitecto, Pontificia Universidad Católica de Chile, 1993. Master en Arquitectura, Cornell University, EE.UU., 2004. Autor del libro *Acondicionamientos: Arquitectura y técnica* (Santiago de Chile, 2008). Investigador del Centro de Desarrollo Sustentable, CEDEUS. Profesor Asistente de la Escuela de Arquitectura de la Pontificia Universidad Católica de Chile, donde es investigador, docente y Jefe de Magíster en Arquitectura Sustentable y Energía, MASE.

Architect, Pontificia Universidad Católica de Chile, 1993. Master in Architecture, Cornell University, USA, 2004. Has authored the book *Acondicionamientos: Arquitectura y técnica* (Santiago, 2008). Researcher at the Center for Sustainable Development, CEDEUS. Assistant Professor at the School of Architecture of Pontificia Universidad Católica de Chile, where he works as a researcher, professor and Head of Magíster en Arquitectura Sustentable y Energía, MASE.

Claudio Vásquez Zaldívar

<cvz@uc.cl>

Arquitecto, Magíster en Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Chile, 1995. Doctor Arquitecto, Universidad Politécnica de Cataluña, España, 2008. Experto en arquitectura sustentable y sistemas de fachadas inteligentes, ha liderado proyectos Fondecyt para el estudio del desempeño energético y ambiental de los edificios de oficinas en Santiago. Fundador y miembro del Grupo de Estudio de Arquitectura y Fachadas UC. Es Investigador Responsable del proyecto Fondef I+D «Fachada Variable: Solución de fachada dinámica en base a patrones de movimiento coordinados para el control solar y lumínico aplicable en Santiago de Chile», además de ser profesor Asociado de la Escuela de Arquitectura UC.

Architect, Master in Architecture, Pontificia Universidad Católica de Chile, 1995. Doctor in Architecture, Universidad Politécnica de Cataluña, Spain, 2008. Expert in sustainable architecture and Smart Façades systems, has led several Fondecyt projects on energy performance and office buildings in Santiago. Founder and member of the Study Group on Architecture and Façades UC. He is currently Principal Researcher at the Fondef I+D project “Fachada Variable: Solución de fachada dinámica en base a patrones de movimiento coordinados para el control solar y lumínico aplicable en Santiago de Chile”, as well as being an Associate Professor at the School of Architecture UC.

Pedro Pablo de la Barra

<ppdelaba@uc.cl>

Arquitecto, Magíster en Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2016. Especializado en arquitectura sustentable, con foco en evaluación térmica y lumínica de fachadas. Ha sido ayudante y profesor en distintos cursos del área de edificación y tecnología. Actualmente trabaja como coordinador en el proyecto Fondef I+D «Fachada Variable» en la UC.

Architect, Master in Architecture, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2016. Specialized in sustainable architecture, focused on thermal and light evaluation of façades. Has been TA and professor in several courses on building and technology areas. Currently works as coordinator at Fondef project I+D “Fachada Variable” at UC.