

# Análisis Higrotérmico y Consumos Energéticos de una Oficina de Baja Energía con tendencia nZEB en Mendoza

## Hygrothermal Analysis and Energy Consumption of a Low Energy Office with nZEB trend in Mendoza

Presentación: 4 y 5 de octubre de 2022

Doctoranda:

**Micaela D'Amanzo**

Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía -INAHE-, Centro Científico Tecnológico -CCT-, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas -CONICET- Mendoza, Argentina  
mdamanzo@mendoza-conicet.gob.ar

Directora:

**Carolina Ganem Karlen**

Codirectora:

**María Victoria Mercado**

### Resumen

Los edificios de oficinas en zonas templadas frías registran un alto consumo energético y deficiencias para alcanzar el confort térmico en su interior. Se espera identificar sus debilidades y potencialidades en el clima de Mendoza (Bwk, templado árido frío y zona Bioambiental IVa Templada fría) y considerar una aproximación a lineamientos de nZEB. El caso de estudio es el edificio de oficinas de ITC soluciones, ubicado en el parque de desarrollo tecnológico (Polo TIC) de Godoy Cruz, Mendoza, Argentina (32° 93' S y 68°50' O, elevación de 750 m.s.n.m). El monitoreo higrotérmico *in situ*, se realizó con 11 micro-adquisidores de datos de tipo HOBO U-12 y UX-100, ubicados por niveles y orientaciones, tomando en consideración distintos tipos de espacios de trabajo: planta libre y oficina tipo box. Se realizaron mediciones en verano (20/01 al 24/01/2021) e invierno (10/07 al 15/07/2021), teniendo en cuenta horarios post ocupación y fines de semana. El análisis de confort se realizó a partir de los rangos establecidos por Givoni (1992) entre 20°C y 24°C, los resultados indicaron sobrecalentamiento en verano en todos los niveles y temperaturas dentro del rango de confort en invierno. En todos los casos medidos se utilizó energía auxiliar para el acondicionamiento de espacios. Los consumos eléctricos del periodo medido fueron recopilados siendo, para verano (enero) 3457 kWh y para invierno (julio) 4030 kWh. Se analizó la influencia de las temperaturas interiores respecto al consumo energético. Como resultado, si bien el edificio no responde completamente al requerimiento de un edificio nZEB, se evidencia la importancia de aplicar correctamente las estrategias bioclimáticas para invierno y verano.

**Palabras claves:** Edificios de oficinas nZEB, Eficiencia Energética, Confort térmico, climas templados fríos

### Abstract

Office buildings in cold temperate zones have high energy consumption and deficiencies in achieving thermal comfort inside. It is expected to identify their weaknesses and potentials in the climate of Mendoza (Bwk, cold arid temperate and cold temperate bioenvironmental zone IVa) and to consider an approach to nZEB guidelines. The case study is the ITC solutions office building, located in the technological development park (Polo TIC) of Godoy Cruz, Mendoza, Argentina (32° 93' S and 68°50' W, elevation 750 m.a.s.l.). The in situ hygrothermal monitoring was carried out with 11 HOBO U-12 and UX-100 type micro-data collectors, located by levels and orientations, taking into

consideration different types of work spaces: open plan and box office. Measurements were taken in summer (20/01 to 24/01/2021) and winter (10/07 to 15/07/2021), taking into account post-occupancy hours and weekends. The comfort analysis was carried out using the ranges established by Givoni (1992) between 20°C and 24°C, the results indicated overheating in summer at all levels and temperatures within the comfort range in winter. In all cases measured, auxiliary energy was used for space conditioning. The electricity consumptions for the measured period were compiled as, for summer (January) 3457 kWh and for winter (July) 4030 kWh. The influence of indoor temperatures on energy consumption was analysed. As a result, although the building does not fully meet the requirements of an nZEB building, the importance of correctly applying bioclimatic strategies for winter and summer is evident.

**Key words:** nZEB office buildings, Energy Efficiency, Thermal comfort, cold temperate climates

## Introducción

El Cambio Climático (CC), marca desafíos a futuro en los que el hombre deberá repensar su comportamiento en relación con su entorno y el ambiente construido (IPCC, 2018). En verano, las altas olas de calor y en invierno las bajas temperaturas registran un alto consumo energético y deficiencias de confort térmico en el interior en edificios de oficinas de zonas templadas frías. Ante esta dificultad, surgen como respuesta los edificios energía casi nula (nearly Zero Energy Building, nZEB). En ellos conviven e interactúan el diseño pasivo, la eficiencia energética y la producción de energía renovable.

Es crucial atender a las características de diseño y constructivas de los edificios de oficinas, en general de alto porcentaje de fachadas vidriadas, insuficiente aislación térmica en la envolvente y falta de protecciones solares sobre las aberturas, derivando en el uso de equipos de climatización y a su vez aumentando el consumo energético tanto en invierno como en verano.

Ante esta dificultad, los edificios energía casi nula -nearly Zero Energy Building - (nZEB) proponen a partir del diseño pasivo, la eficiencia energética y la integración de sistemas para producción de energías renovables aumentar el confort térmico interior, disminuir el consumo energético y el impacto edilicio frente al cambio climático.

Las tipologías de oficinas de planta libre y plantas sectorizadas según el uso de los espacios evidencian condiciones térmicas diferentes según la orientación del edificio, un adecuado planteo de toma de partido del proyecto desde la perspectiva de diseño bioclimático puede garantizar el confort del usuario en el interior de los mismos minimizando la necesidad de aporte de energía auxiliar.

El objetivo de este trabajo es evaluar el acondicionamiento térmico de un edificio de oficinas de baja energía, que a su vez posee fachadas muy expuestas al ecuador (norte) y con +/-15° grados hacia el este y oeste respectivamente, con tendencia al sobrecalentamiento en verano. En invierno, analizar si la climatización natural mediante ganancia solar es suficiente para lograr temperaturas interiores de confort. Se espera identificar las debilidades y potencialidades de oficinas de bajo consumo en climas templados fríos y considerar una aproximación a lineamientos de nZEB que puedan mejorar las condiciones interiores en espacios de trabajo.

## Metodología

Se seleccionó un caso de estudio en el AMM, siendo un edificio de oficinas dedicado a desarrollos informáticos - ITC soluciones (figura 1), ubicado en el parque de desarrollo tecnológico (Polo TIC) de Godoy Cruz, Mendoza, Argentina (32° 93' S y 68°50' O, elevación de 750 m.s.n.m), con el objetivo de evaluar su comportamiento termo-energético de manera anual.



Figura 1 a) Fachada sur del edificio y acceso principal y b) fachada norte. Fuente: Elaboración propia.

Según la clasificación de Köppen-Geiger descrita en Beck et al. (2018), las características climáticas corresponden a Bwk, templado árido frío y zona Bioambiental IVa Templada fría (IRAM 11603: 2012).

Las temperaturas mensuales de julio (invierno) son de 7.3°C (media), 15.7°C (máxima) y 0.8°C (mínima), con una humedad relativa de 49% y radiación global sobre superficie horizontal de 10.2 MJ/m<sup>2</sup>; y en enero (verano) de 24.9°C (media), 32.3°C (máxima) y 17.4°C (mínima), con una humedad relativa de 63% y radiación global sobre superficie horizontal de 26.1 MJ/m<sup>2</sup>. Los vientos predominantes provienen del suroeste y oeste y las precipitaciones anuales son de 200 ml aproximadamente (Servicio Meteorológico Nacional, 2021).

La construcción data del año 2016 y se encuentra emplazada en un terreno de 600 m<sup>2</sup> con ubicación en esquina con acceso a asoleamiento y frentes norte, sur y este. Se desarrolla en 4 niveles, planta baja, primero, segundo y tercer piso, con una superficie cubierta de 907 m<sup>2</sup>; y galerías y terrazas de expansión de 162 m<sup>2</sup> de superficie semicubierta mediante una pérgola vegetada.

Respecto a la forma del edificio presenta un FAEP de 1.38 (relación envolvente/área útil), considerado dentro del rango de valor óptimo para eficiencia energética en edificios no residenciales (>1.5) (Esteves, A., Oliva, A. L., & Gelardi, D. 1997).

El diseño arquitectónico del edificio integra criterios de diseño pasivo a partir de su orientación norte para ganancia solar, espacios interiores iluminados y ventilados naturalmente, sistemas de recuperación de aguas grises, no posee gas natural para climatización, sino equipos eficientes de bomba de calor que combinan electricidad y agua; también produce energía solar a partir de paneles fotovoltaicos en la cubierta conectados con la red de distribución exterior. La evaluación de confort de los espacios se realizó a partir de los rangos establecidos por Givoni (1992) para climas templados secos, siendo para invierno 18°C a 25°C y para verano 20°C a 27°C (Andreoni Trentacoste, S. E., & Ganem Karlen, C. (2021).

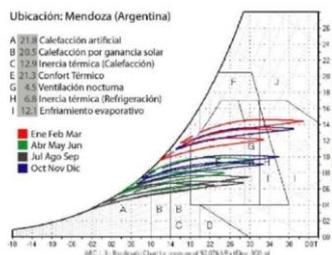


Figura 2: Carta psicrométrica para Mendoza mediante software ABC. Fuente: Andreoni Trentacoste, S. E., & Ganem Karlen, C. (2021).

La envolvente opaca está compuesta por muros de ladrillo (e=0.20m) con sistema de aislación térmica EIFS (e=0.07m), estructura y entrepisos de losa de hormigón armado (e=0.20m) con cielorraso suspendido de roca de yeso con aislación de lana de vidrio. La masa térmica interior de los cerramientos de las oficinas tipo box es liviana (e=0.10cm) y de vidrio tipo blindex. Las aberturas son de DVH (6+9+6) y la cubierta de techos es de chapa galvanizada color blanco con 0.05 de espuma de poliuretano proyectada y terminación interior de cielorraso de roca de yeso. La transmitancia térmica (K) de muros es K=0.43 W/m<sup>2</sup>k, techos K=2,27 W/m<sup>2</sup>k y DVH K=1,96 W/m<sup>2</sup>k.

En cuanto al monitoreo higrotérmico, se registraron datos de temperatura (°C) y humedad relativa (%) mediante 11 adquirentes de datos de tipo HOBO U-12 y UX-100 distribuidos de la siguiente manera: uno (1) exterior, tres (3) en planta baja- zona de buffet, sala de reunión N.O y sala de reunión N; tres (3) en primer piso- zona planta libre, call center y box oficina O; dos (2) en segundo piso- planta libre y box oficina NO; dos (2) en tercer piso – living y esparcimiento, con registros cada 15min, durante 21 días de los meses de enero y julio del año 2021. La ubicación del instrumental se debió a la intención de evaluar las diferentes condiciones de confort térmico según la orientación de los espacios, sea fachada norte, sur, este y oeste, y tipología de planta libre y oficina tipo box (figura 4).

A su vez, se recopilaron los consumos eléctricos del periodo medido mediante boletas de consumo mensual de la empresa distribuidora, con el objetivo de observar los consumos de energía eléctrica para los diversos usos (equipamiento, iluminación y climatización) en relación con las temperaturas interior de los espacios de trabajo en invierno y verano.

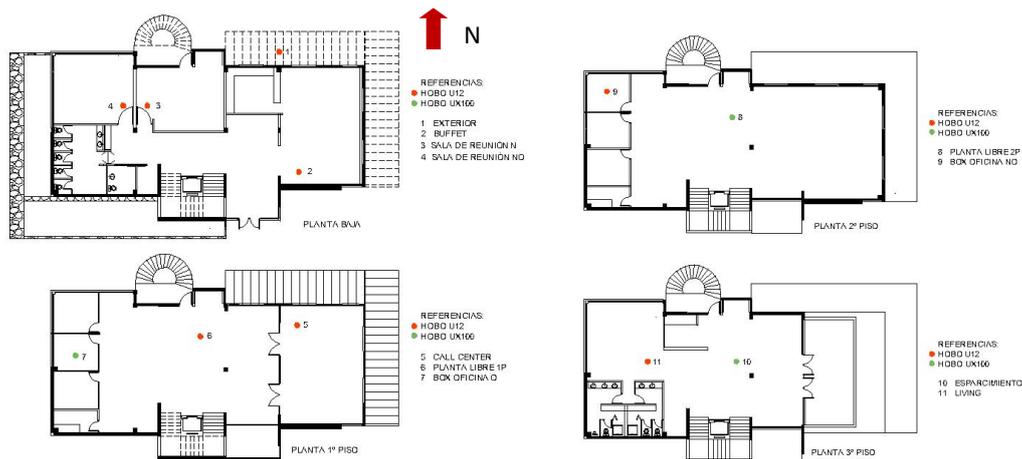


Figura 4: Ubicación en planta arquitectónica de instrumental de medición por sectores y niveles sin escala. Fuente: elaboración propia.

## Desarrollo

Se presentan a continuación los resultados obtenidos del desempeño térmico y energético del edificio mediante el monitoreo de verano e invierno.

Primeramente, se analizaron los datos extraídos de las mediciones del periodo de verano, donde se seleccionaron para el presente estudio las fechas del 20/01 al 24/01/2021, teniendo en cuenta horarios post ocupación y fines de semana sin la influencia de climatización en el interior de los espacios auditados.

En planta baja, el buffet y sala de reunión N mantienen condiciones térmicas similares con temperaturas de 23°C a 30°C en el interior, estos espacios se encuentran con mayor sombreado en las fachadas norte y este a través de la pérgola vegetada, sin embargo, superan las temperaturas de confort. La sala de reunión N-O tiende a igualar la temperatura exterior de 35°C y no posee protección solar hacia el norte y oeste. La HR en todos los sectores del interior es similar, entre 30 y 60 %.

Con respecto al primer piso, en planta libre y call center ubicados en orientación Norte y Este, se registraron temperaturas interiores entre 20°C y 30°C y superiores a 30°C en días de elevada temperatura exterior (23/01/21 y 24/01/21). El box de Oficina ubicado al Oeste tiende a sobrecalentarse alcanzando temperaturas de 35°C en su interior y superiores. Se observa que a mayor HR en el exterior, menor en box de oficina oeste, dificultando la sensación de confort del usuario en su interior.

En el Segundo piso (figura 5) se colocaron sensores en sectores de planta libre y box oficina N\_O, donde se presenta un marcado aumento de la temperatura en el box de oficina orientación N\_O, en relación con la planta libre, con temperaturas mayores a 40°C en días de temperatura exterior de 37°C. El registro de planta libre muestra entre 23°C y 35°C, en días de fin de semana sin encendido de equipos de aire acondicionado. En momentos de 80% HR exterior, en el interior se presentan condiciones de entre 18% y 55%. Se puede decir que el incremento de la HR en el exterior afecta directamente a la HR en box de oficina N\_O de manera creciente.

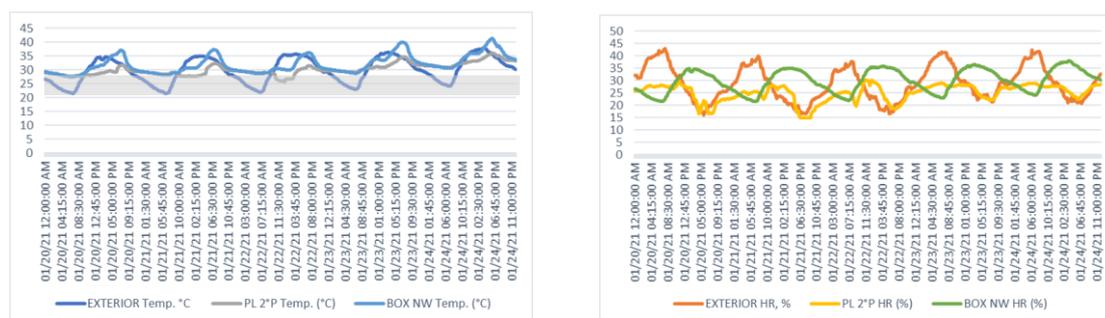


Figura 5: Gráficos comparativos en segundo piso en verano. Izq. temperatura exterior y temperaturas interiores, en gris rangos de temperatura de confort según Givoni. Der.: Humedad relativa exterior y de los espacios interiores. Fuente: elaboración propia.

En el tercer piso se colocaron sensores en sectores de esparcimiento y living, dentro de la misma planta libre. Se observa que en el área de living orientada al noroeste aumenta la temperatura 2°C respecto al área de esparcimiento que se encuentra contigua hacia el noreste. En el interior la HR se encuentra entre el 20% y 60%. Respecto de los datos extraídos de las mediciones del periodo de invierno, donde se seleccionaron para el presente estudio las fechas del 10/07 al 15/07/2021. Se tuvieron en cuenta horarios post ocupación y fines de semana donde no se presenta la influencia de climatización en el interior de los espacios auditados.

En planta baja, el buffet y sala de reunión N mantienen condiciones térmicas similares con temperaturas menores a 20°C en el interior, con una HR de 40% apropiada para las condiciones de habitabilidad. Para este periodo la pérgola se encuentra sin vegetación debido a que la misma es de hoja caduca, permitiendo ganancia solar directa durante las horas del día, sin embargo, esta condición no se logra apropiadamente, ya que, debido a la falta de cálculo efectivo del largo de la pérgola, los espacios quedan sombríos. La sala de reunión N-O, al no tener protección solar demuestra el funcionamiento de la estrategia de invierno de ganancia solar, ya que en este sector tiene mayor porcentaje vidriado que másico, a la vez, la HR disminuye a 20% siendo el valor bajo para el confort humano es necesario mayor humidificación en el espacio.

En primer piso, se observan temperaturas interiores entre para planta libre y call center ubicados en orientación Norte y Este que alcanzan los 16°C mientras en el exterior se registran 5°C. El Call center se encuentra muy climatizado ya que es el espacio del edificio con mayor ocupación por m<sup>2</sup>, durante todo el día. En su estado post ocupación tiende a superar 10° la temperatura exterior. El box de Oficina se ubica al Oeste y por sus características de ubicación compacta entre oficinas y poca infiltración conserva la energía y tiene mayor inercia térmica. En el segundo piso (figura 6), se observa que la planta libre responde a temperaturas de confort, la estrategia de ganancia solar y conservación de la energía es adecuada para periodo de invierno. Respecto a la oficina tipo box ubicada en la esquina noroeste, supera las temperaturas de confort y decrece la HR, detectando la necesidad de infiltración de aire para alcanzar el confort.

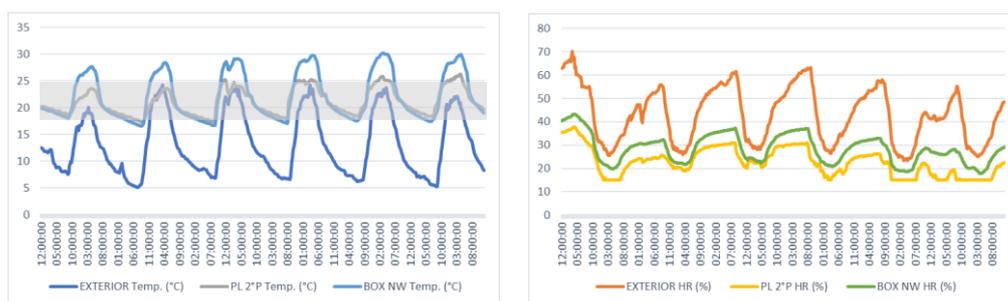


Figura 6: Gráficos comparativos en segundo piso en invierno. Izq.temperatura exterior y temperaturas interiores, en gris rangos de temperatura de confort según Givoni. Der.: Humedad relativa exterior y de los espacios interiores. Fuente: elaboración propia.

En el tercer piso, ambas zonas, living y esparcimiento se encuentran dentro de los rangos de confort para invierno, es adecuado el acondicionamiento térmico mediante ganancia solar y al ser una tipología de planta libre presenta buenas condiciones de habitabilidad sin requerir uso de energía auxiliar.

Respecto a la demanda energética para los periodos estudiados se registraron 3457 kWh de consumo en enero (verano) de energía eléctrica y 766 kWh fueron generados por ER y volcados a la red. En julio (invierno) se registraron 4030 kWh de consumo de energía eléctrica y 73 kWh fueron generados por ER y volcados a la red.

La demanda mensual por metro cuadrado considerando que la superficie total a climatizar es de 860 m<sup>2</sup>, fue de 4.68 kWh/m<sup>2</sup>/mes en invierno para calefacción, iluminación y equipamiento; y de 4.01 kWh/m<sup>2</sup>/mes en verano para enfriamiento, iluminación y equipamiento.

## Discusión de resultados

En el periodo de verano, en todos los niveles, se observa que para el logro de temperaturas de confort térmico interior es necesario el encendido de los equipos de enfriamiento, por lo tanto, se incrementa el consumo de energía auxiliar en este periodo. El segundo piso resultó ser el menos favorable presentando altas temperaturas tanto en planta libre como en oficina tipo box. Las oficinas de planta libre poseen mejores posibilidades de recurrir a estrategias de enfriamiento pasivo, como ventilación cruzada y ventilación natural nocturna; aquellas oficinas tipo box necesitan

incorporar mejor protección solar, minimizando la ganancia solar para alcanzar ahorros energéticos y mejorar el confort de los ocupantes sin recurrir al encendido de equipos de enfriamiento auxiliar.

En el periodo de invierno, las condiciones de confort térmico interior se encuentran dentro de los rangos establecidos por Givoni en todos los niveles.

Con respecto al consumo energético, si bien las curvas de temperatura evidencian que en épocas de invierno los requerimientos del edificio podrían ser bajos, las tarifas demuestran que son mayores que los de verano, pudiendo indicar la influencia del comportamiento del usuario.

## Conclusiones

El edificio de oficinas analizado demuestra la intención de los inversores en considerar recursos de energías limpias y sistemas baja energía, ambientes cuidados y confortables para los usuarios, esto indica la potencialidad para alcanzar una calificación nZEB.

La tipología de planta libre tiene un mejor comportamiento respecto a la adaptabilidad del clima, ya que posee mejores condiciones de enfriamiento natural por ventilación cruzada en verano y aprovechamiento de ganancia solar en invierno. Esto se evidencia en el nivel 3 respecto al nivel 2.

Se propone mejorar el diseño pasivo del edificio para mejorar la eficiencia de las estrategias de ganancia solar en invierno y protección solar sobre las aberturas en verano.

En invierno se sugiere fomentar el comportamiento eficiente de los usuarios frente al uso de los sistemas de calefacción, ya que en conjunto con las temperaturas de los espacios interiores monitoreadas podría alcanzarse un grado adecuado de confort térmico y ahorros energéticos, tanto en planta libre como en oficina tipo box.

## Referencias bibliográficas

Andreoni Trentacoste, S. E., & Ganem Karlen, C. (2021). "El rol activo del usuario en la búsqueda de confort térmico de viviendas en clima templado árido". *Revista hábitat sustentable*, 11(2), 8-2.

Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). "Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution". *Scientific data*, 5(1), 1-12.

Esteves, A., Oliva, A. L., & Gelardi, D. (1997). "Nueva medida para considerar la forma en la conservación de energía en edificios". *Revista de la Universidad de Mendoza*. Disponible en: [ojs.plataforma.um.edu.ar: article/76](https://ojs.plataforma.um.edu.ar/article/76).

Givoni, B. (1992). "Comfort, climate analysis and building design guidelines". *Energy and buildings*, 18(1), 11-23.

IPCC. (2018). "Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change".

Servicio Meteorológico Nacional, (2021). "Pronóstico, observatorio Mendoza". Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/smn>