

PERFORMANCE TERMICO ENERGETICA DE UN EDIFICIO BIOLCLIMATICO EN UNA ZONA DE ALTA RADIACION DE ARGENTINA

C. Filippín¹, S. Flores Larsen² y L. Marek³

1. CONICET - Av. Spinetto 785, Santa Rosa, La Pampa, Argentina - Tel Fax : 54 (0) 2954 430910.
2. Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO) – Universidad Nacional de Salta – CONICET, Avda. Bolivia 5150 (4400) Salta, Argentina.
3. Arquitecto proyectista. Santa Rosa, La Pampa, Argentina

Recibido: 21-02-2020; Aceptado:12-05-20; Publicado en línea: 30-07-20.

RESUMEN.- Se describe el diseño de un edificio bioclimático para el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) en Victorica, al NO de la provincia de La Pampa, Argentina (37°38'S, 63°34'W). Las pautas generales de diseño fueron: minimizar el consumo de energía convencional, utilizar la tecnología tradicional, maximizar el confort térmico y visual y alcanzar un costo adicional inferior al 10%. Las estrategias fueron: solarización (ganancia solar directa), conservación (envolvente de baja permeabilidad térmica y masa de acumulación), disipación (ventilación natural cruzada) y protección solar. Los objetivos del trabajo son: analizar el comportamiento higrótérmico y energético del edificio a través del monitoreo durante el invierno de 2017 y el verano 2017-2018. Los resultados del monitoreo experimental muestran un entorno térmicamente aceptable. El área colectora al norte del 7 % respecto al área útil es apropiada. El consumo anual de energía es de 46 kWh/m² (calefacción) y 19 kWh/m² (electricidad utilizada para refrigeración, equipos e iluminación) y resultan de las mediciones registradas en medidores entre las 7 hs del de agosto de 2017 y las 7hs del 1 de agosto de 2018. Las aproximaciones realizadas en las primeras etapas de diseño fueron apropiadas.

Palabras claves: Edificio bioclimático no residencial, ganancia solar directa, ventilación natural, consumo de energía

THERMAL ENERGY PERFORMANCE OF A BIOCLIMATIC BUILDING IN A HIGH RADIATION AREA OF ARGENTINA

ABSTRACT.- The design of a bioclimatic building for the INTA (National Institute of Agricultural Technology) in Victorica, NW of the province of La Pampa, Argentina (37°38'S, 63°34'W) is described. The general design guidelines were: minimize conventional energy consumption, use traditional technology, maximize thermal and visual comfort and achieve an additional cost of less than 10%. The strategies were: solarization (direct solar gain), conservation (envelope with low thermal permeability and thermal mass), dissipation (natural cross ventilation) and shading. The objectives of the work are: to analyze the hygrothermal and energetic behavior of the building through monitoring during winter of 2017 and summer 2017-2018. The results of the experimental monitoring show a thermally acceptable environment. The collection area north of 7% with respect to the useful area is appropriate. The annual energy consumption is 46 kWh / m² (heating) and 19 kWh / m² (electricity used for refrigeration, equipment and lighting) and results from measurements recorded on meters between 7 am (August 1, 2017) and 7 am (August 1, 2018). The approximations made in the early design stages were appropriate.

Keywords: No-residential bioclimatic building, solar direct gain, natural cooling, energy consumption

1. INTRODUCCIÓN

Argentina depende en gran medida de los combustibles fósiles para su suministro de energía. El petróleo y el gas absorben casi el 90% de la energía consumida, y el gas natural es el componente más importante de la matriz energética, ya que contribuye con más de la mitad de toda la energía primaria. 1/3 de toda la energía utilizada se consume en hogares y edificios comerciales y públicos. El consumo de gas residencial, comercial y de las Entidades oficiales depende en gran medida de la temperatura, aumentando un factor de 4 en los meses de invierno con respecto a los de verano (Gil, Givogri y Codesiera, 2015). Los edificios no residenciales, por su ocupación diurna y la disponibilidad del recurso solar, ofrecen un gran potencial

para el uso de la iluminación natural y también para la calefacción solar, situación que genera fortalezas para el invierno y debilidades para el verano.

Un gran número de variables de interacción aleatoria se combinan para valorar el rendimiento energético de un edificio (Royapoor, Roskilly, 2015). Los modelos de construcción capturan una parte arbitraria y limitada de lo que esencialmente es una multiplicidad de elementos dinámicos (sistemas auxiliares de acondicionamiento), estocásticos (ocupantes) y probabilísticos (clima), lo que resulta en imprecisión e incertidumbre (Karlsson, Rohdin, Persson, 2007); Turner, Frankel, 2008; Raftery, Keane, O'Donnell, 2011; Carroll, Hitchcock, 1993). El comportamiento de los ocupantes es uno de los principales

factores que influyen en el consumo de energía del edificio. Hong, et al. (2016), Fabi et al (2012) afirman que además de las propiedades del edificio, los controles afectan el consumo de energía y algunos de ellos están altamente conectados con el comportamiento de sus ocupantes.

En Argentina se han construido y evaluado diferentes edificios bioclimáticos no-residenciales. Esteves Miramont (2017) describe la escuela Petroleros del Sur en Malargue (Mendoza). Hernandez et al. (2010) presentan los resultados del primer hospital bioclimático de Argentina que comenzó a ofrecer sus valiosos servicios a la población de Susques, en la región de la Puna, en agosto de 2008, siendo un ejemplo regional sin precedentes en favor del uso racional de la energía en los edificios públicos. Boutet et al (2011) presentan el análisis comparativo de cuatro auditorías energéticas de temperatura, humedad relativa e iluminancia, efectuadas durante períodos de verano y otoño (2010 – 2011), en dos edificios escolares de Nivel Inicial, de la ciudad de Resistencia, Chaco. Los resultados verifican que, independientemente de la tecnología constructiva implementada y del período histórico de su ejecución, los espacios interiores son susceptibles de sobrecalentamiento incluso en días frescos de otoño, por el ingreso de irradiación solar directa a través de las aberturas orientadas hacia el Noreste y Noroeste. Boutet (2017) a partir del análisis estadístico de los resultados de auditorías termo-energéticas durante un año completo (abril 2012- marzo 2013) en 8 prototipos escolares determina casos particulares de sobrecalentamiento con temperaturas que exceden el límite superior de confort térmico regional y define una propuesta genérica que implicó la regulación de las áreas vidriadas y el diseño integrado de sus dispositivos de protección solar, como así también el tratamiento de la envolvente opaca.

En este marco los objetivos del presente trabajo son: analizar el comportamiento higro-térmico y energético del

edificio durante el invierno 2017 y el verano 2017- 2018 y evaluar las condiciones de confort.

2. METODOLOGIA

El caso de estudio, edificio de la *Agencia de Extensión Rural de INTA* (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), se encuentra en Victorica, en el noroeste de la provincia de La Pampa, Argentina ($37^{\circ}38'S$, $63^{\circ}34'W$, 175 m sobre el nivel del mar). Esta región seca se caracteriza por mesetas, valles, colinas y planicies de cultivo, tierras de pastoreo bajas y bosques abiertos (Figura 1). Se ubica en una situación de borde entre la zona bioambiental IIIa y IVb de máxima irradiancia según Norma IRAM 11603 (2011). El clima se muestra en la Tabla 1.

El diseño del edificio dio prioridad al acondicionamiento natural de los espacios y una clara zonificación de las diferentes áreas funcionales para proporcionar espacios de trabajo cómodos y bien iluminados. Otro de los objetivos generales fue alcanzar, operación y mantenimiento de bajo costo. Hay un aspecto que es decisivo en el contexto general: el comportamiento del usuario para maximizar el potencial de ahorro de energía a través de un uso correcto del edificio. Las estrategias fueron:

- Solarización: orientación de los espacios según su uso (permanente y no-permanente) para maximizar el aprovechamiento de la radiación solar minimizando la zonificación térmica entre áreas con y sin ganancias solares directas.
- Acumulación a través de masa térmica.
- Conservación de la energía: uso de una envolvente con baja permeabilidad térmica según temperatura de diseño mínima de invierno y máxima de verano (Norma IRAM 11603, 2011).

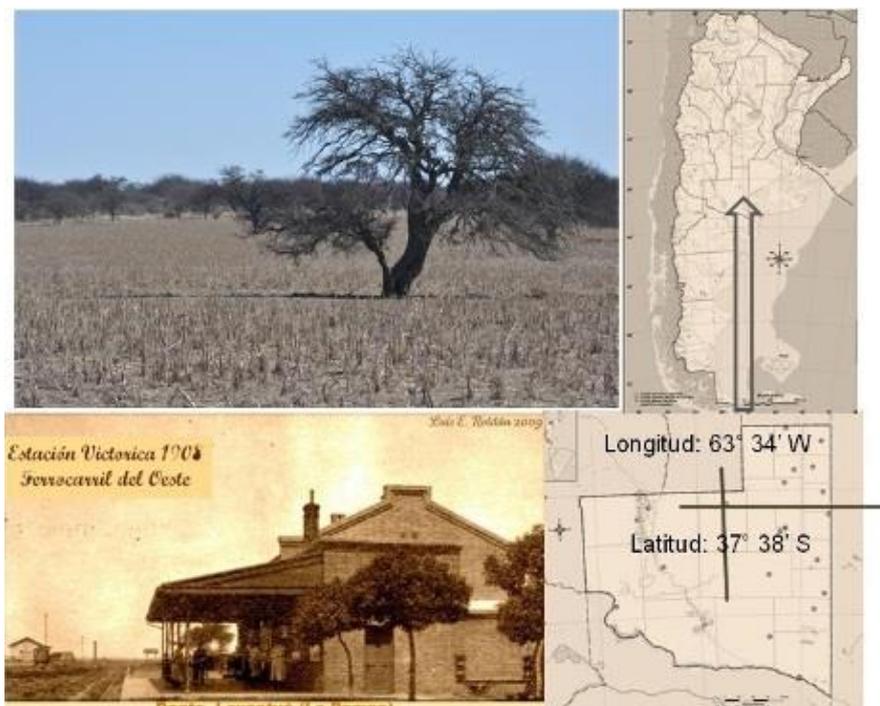


Fig. 1: Localización del caso de estudio.

Se observa la construcción másica de las primeras edificaciones en un clima semiárido.

- Disipación de la energía: uso de aberturas para generar ventilación cruzada para aprovechar la brisa nocturna y durante las primeras horas de la mañana.
- Iluminación natural y artificial, eficiente.
- Protección solar y diseño de los espacios exteriores.

Tabla 1: Datos climáticos de julio y enero

	mínima media		1.8
	media		8.2
Temperatura de julio	máxima media		14.6
	mínima absoluta	°C	-12.6
Amplitud térmica de invierno			12.0
Temperatura mínima de diseño			-7.6
Temperatura de neutralidad (Auliciens, 1969)			20.0
Zona de confort (Auliciens, 1969)			17.8-22.8
Velocidad media del viento en invierno			11 km/h
Radiación solar sobre superficie horizontal (Righini, Grossi Gallegos, Raichijk, 2005).			8.1MJ/m ²
	máxima media		31.5
	media		23.6
Temperatura de enero	mínima media	°C	15.7
	máxima absoluta		39.5
Amplitud térmica de verano			16.9
Temperatura máxima de diseño			39.5
Temperatura de neutralidad (Auliciens, 1969)			25.1
Zona de confort (Auliciens, 1969)			22.6-27.6
Velocidad media del viento en verano			11 km/h
Radiación solar sobre superficie horizontal (Righini, Grossi Gallegos, Raichijk, 2005).			23.4MJ/m ²
Grados-día de calefacción base 18°C			1505
Grados-día de enfriamiento base 23°C			379

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional – Fuerza Aérea Argentina (2000)

El edificio se muestra en la Figura 2, 3 y 4. El diseño es compacto con un área de 298 m² un índice de compacidad del 95% (Mascaró 1983) y un valor de FAEP (relación envolvente/área útil) de 1.61, que indicaría la eficiencia energética del sistema (Esteves, Gilardi y Oliva, 1997). La envolvente vertical es tri-capa: muro interior de ladrillo macizo como masa de acumulación (0.17m de espesor), aislación térmica (0.07m de espesor) y protección mecánica. La pared interior de la envolvente y las paredes divisorias entre áreas funcionales generan un edificio másico (400

kg/m²) (J. Goulding, J. Owen Lewis, T. Steemers, 1994). La cubierta es de chapa aluminizada blanca con 0.10m de lana de vidrio y cielorraso de paneles metálicos. La transmitancia térmica (K) de muros y techos es de 0.53 y 0.41 W/m²°C, respectivamente (Nivel B de la Norma IRAM 11605, 2004). Hacia el norte las áreas transparentes son de virio simple con cortina de enrollar motorizada con lamas de aluminio aisladas (K = 3.2 W/m²°C). Hacia el sur las ventanas tienen DVH. Los componentes tecnológicas definen un valor de coeficiente global de pérdidas (G) de 0.40 W/m³°C que

satisface la recomendación de la Norma IRAM 11604 (2011). El área colectora solar (área de vidrio efectivo) es del 7 % del área útil del edificio. Las áreas funcionales se distribuyen según un eje E-O: de uso permanente (UP) no-permanente (UNP). Las oficinas están orientadas hacia el norte y tienen acristalamiento transparente para la ganancia solar directa en invierno. El sector sur, aprovecha el recurso solar a través de ventanas altas (ver corte). La sala de usos múltiples (SUM) está destinada a actividades de divulgación de tareas propias de la institución y de socialización, y está ubicada en el lado NW y mirando hacia el norte. Esta área

está conectada con el resto del edificio (gestión-extensión-investigación) a través de una circulación de este a oeste. Un elemento a destacar, es el plenum técnico-térmico, que tiene ventanas que dan al ecuador y se ubica entre las áreas norte y sur, a una altura de 2.40 m por sobre el pasillo. Este sector debería actuar como regulador de los flujos de aire y energía con un acceso fácil para la apertura de ventanas que favorecen la ventilación natural cruzada en verano y su cierre en el invierno evitando la estratificación térmica con la administración (Ver figura 3).



Fig. 2: Planta y corte del edificio.



Fig. 3: 1-2 plenum técnico (sector amarillo en corte figura 2), 3 = estantes de luz regulables 4,5 = pasarelas que facilitan la apertura de ventanas para ventilación natural cruzada (6).



Fig. 4: Vista norte y este (1-2), salida de emergencia (3), vista oeste (4), pérgola (5)

El monitoreo posterior a la ocupación del edificio se realizó entre el 17 de julio de 2017 y el 5 de febrero de 2018). Se instalaron adquirentes de datos (tipo HOBO) en cada área funcional para detectar la temperatura interior y la humedad relativa en intervalos de tiempo de 10 min. Los registradores de datos estaban protegidos por contenedores térmicos de poliestireno expandido con orificios, de acuerdo con la metodología descrita por Molas et al. (2008).

Las variables meteorológicas al aire libre (radiación solar, velocidad del viento, humedad relativa y temperatura ambiente exterior) fueron registradas por una estación meteorológica instalada cerca del edificio. Simultáneamente, se realizaron tres lecturas diarias de los medidores de gas natural y electricidad al comienzo, al mediodía y al final de la actividad diaria (período: de 7:00 AM a 16:00 PM).

3. RESULTADOS DEL MONITOREO Y DISCUSIÓN

La figura 5 muestra los resultados del comportamiento térmico para las áreas UP y UNP.

El período evaluado, se extiende entre el 17 de julio (día lunes y laborable) y el 13 de agosto, los resultados muestran claramente la alternancia de la evolución de la temperatura en acuerdo con la semana laboral y los fines de semana.

Se observa el descenso de la temperatura máxima los fines de semana en correspondencia con la ausencia de ganancias de calor internas, del aporte solar por el cierre de los sistemas de protección externa de las áreas transparentes y la permanencia de los sistemas auxiliares de calefacción en piloto o mínimo.

El día 13 de agosto la temperatura mínima extrema interior estuvo por debajo del límite de la zona de confort (según la Tabla 1) con un valor de alrededor de 16.0 °C (temperatura del aire exterior = 1.3°C). La amplitud térmica diaria en las áreas UP durante los fines de semana fue de alrededor de 2°C, 8°C por debajo del valor que se observó en los días laborables.

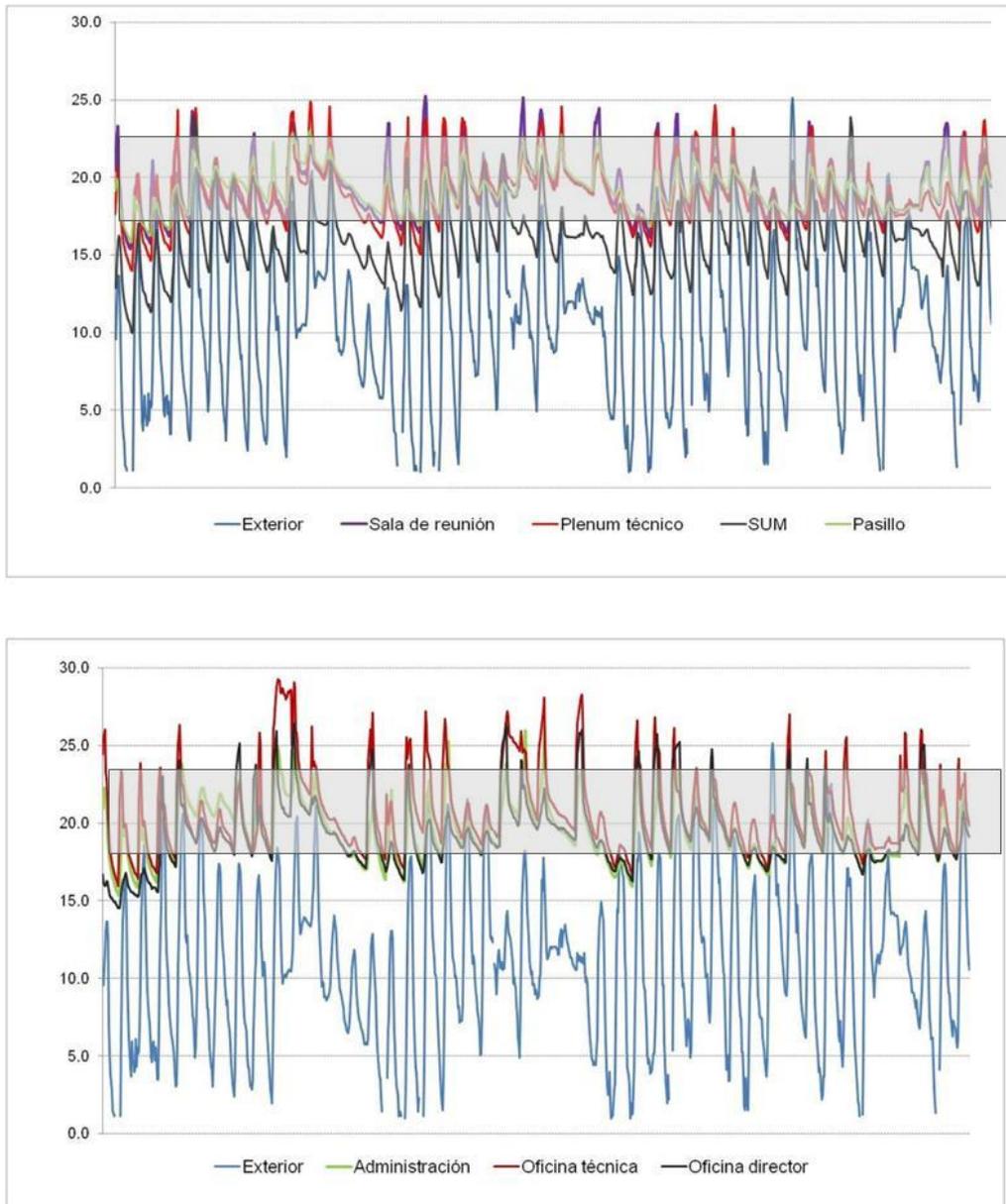


Fig. 5: Evolución de la temperatura entre el 17 de julio y el 13 de agosto de 2017. Superior = áreas de uso permanente; inferior = áreas de uso no - permanente. Area gris: zona de confort

Respecto a la temperatura promedio, y para el período de uso (7 a 16h), los resultados muestran que durante julio, la oficina del director, hacia el sur del edificio y con un ingreso indirecto de la energía solar desde el norte a través del plenum térmico, el valor fue de 20.4 °C, 5 décimas por debajo de la administración, también en el sector sur, y con un ingreso del sol directo desde las ventanas altas. La oficina técnica con una fachada vidriada al norte alcanzó un valor de 22.9 °C. En la sala de reunión, también orientada al norte, pero de uso no permanente, el valor fue de 20.2°C. La temperatura promedio en el pasillo fue de 19.8 °C, número que indicaría que el diseño permitió minimizar la zonificación térmica entre zonas pasivas y no pasivas. Los valores menores corresponden al SUM (16.3°C) y al plenum técnico 19.6°C. La temperatura promedio de todo el edificio fue de 19.8 °C, 7.2 °C por encima de la temperatura promedio exterior. Durante agosto y como es de esperar, se observa un ascenso de la temperatura promedio del aire exterior (13.3°C). La temperatura del aire promedio de todo el edificio fue de 20.3°C, valor que acordaría con el sugerido

para locales de oficinas por la Norma IRAM 11659-1:2004. La temperatura promedio en el período de uso, tanto en la administración como en la oficina del director, hacia el sur, fue de 20.9 °C. Hacia el norte, la oficina de técnicos y sala de reunión alcanzó valores de 23.0 y 20.7 °C, respectivamente. La temperatura promedio en el pasillo fue de 20.0 °C y en el SUM 20.1 °C. La Tabla 2 muestra el consumo de gas natural destinado a calefacción. La lectura tri-diaria del medidor se inició el 1 de agosto. El consumo entre el 1 y el 4/agosto fue de 5 y 2 m³ a la mañana y a la tarde, respectivamente. El consumo durante la noche fue de 23m³ (calefactores al máximo). Entre el 7 y el 11/agosto aumenta a 14 m³ repartidos en 10 y 4 m³ a la mañana y a la tarde, respectivamente. El consumo a la noche fue de 3 m³ (calefactores en piloto). A partir del día 10/agosto se observa una serie de 15 días con una temperatura del aire exterior entre 15 y 20°C y con un cielo claro y una radiación máxima que se mantiene alrededor de los 600W/m². En esta situación disminuye el consumo de gas (5 y 2 m³ durante la mañana y la tarde, respectivamente).

Tabla 2: Consumo de gas natural (m^3) durante agosto 2017

Periodo	Consumo de gas natural durante (m^3)				Temperatura media entre 8 y 16hs ($^{\circ}C$)
	Mañana	Tarde	/día	Noche	
01-04/08	5	2	7	23	11.6
Fin de semana	Total = $16m^3$				
07-11/08	10	4	14	3	12.4
Fin de semana	Total = $13 m^3$				
14-18/08	5	2	7	3	14.4
Fin de semana extendido	Total = $15m^3$				
22-25/08	6	1	7	3	14.3
Fin de semana	Total = sin datos				
28/08-01/09	Sin datos		13	3	14.7

En la semana del 28 del mismo mes (día lunes) que continúa a un fin de semana con cielo cubierto ($2.4 MJ/m^2$), el consumo diario de gas natural pasa de $7m^3$ de la semana que le precede con cielo claro, a $13m^3$, aún con similar

temperatura media del aire exterior. El promedio de radiación solar fue de $11.5 MJ/m^2$, $3 MJ/m^2$ por debajo de la irradiación global diaria para el mes de agosto.

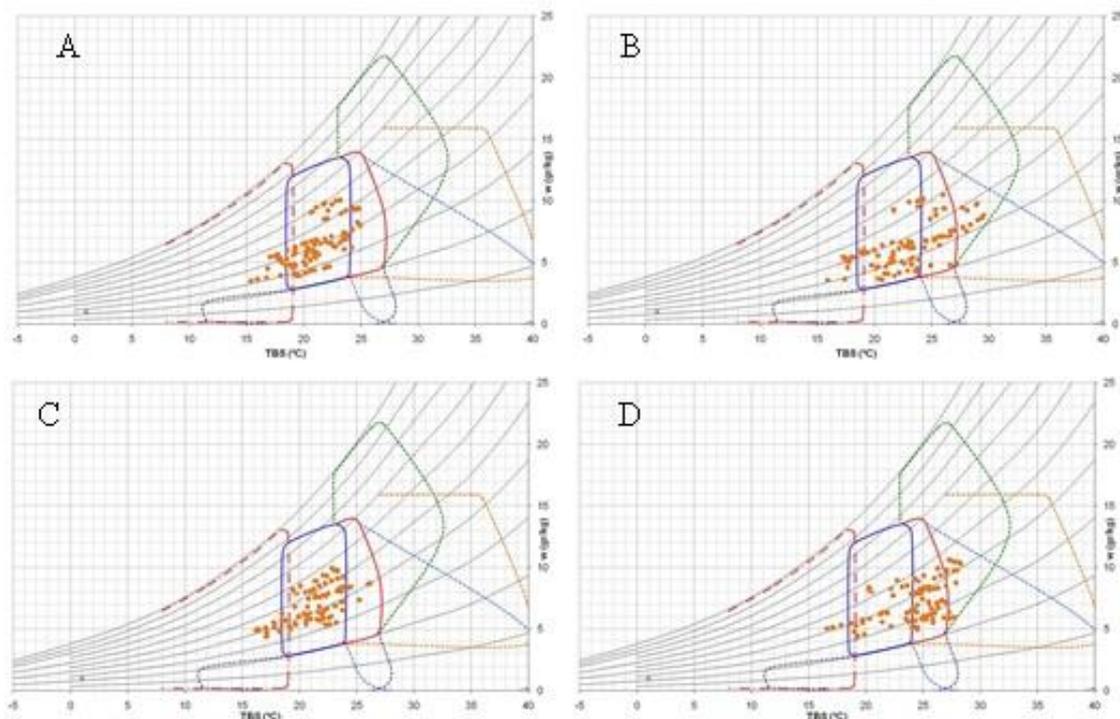


Fig. 6: Diagrama de confort durante julio: A = administración, B = oficina técnica. Durante agosto: C = administración; D = oficina técnica

Los diagramas de confort en la figura 6 muestran la diferencia entre la administración y la oficina técnica. Aún con una envolvente vertical que es más vulnerable a los vientos provenientes del sur y sur-oeste (característicos de la localización geográfica), el diagrama de confort para el mes de julio muestra que en la administración hay predominancia de puntos dentro del área. En la oficina técnica, con fachada

al norte, muestra un porcentaje muy importante de puntos por fuera del área de confort y hacia la derecha indicando un sobrecalentamiento del área, por un exceso de aporte solar y/o calor auxiliar.

El período cálido evaluado, se extiende entre el 21 de noviembre de 2017 y el 2 de febrero de 2018 (Figura 7). En

el exterior predominan las temperaturas máximas de aire entre 35 y 40°C y durante algunos días de enero supera los 40.0°C con un valor máximo de 44.0°C el 29/01/2018. Se verifica una tanda de 4 días (1-2-3 y 4/12/2017) con el cielo semi-cubierto y un descenso de la temperatura del aire exterior hasta valores que oscilaron entre 10 y 15°C y una máxima que no superó los 25.0°C. La temperatura interior descendiendo los primeros días de diciembre con valores que oscilan entre los 22.5°C y casi 20.0°C de máxima y mínima, respectivamente. El comportamiento, acompaña el descenso de la temperatura del aire exterior y la ausencia de ganancias internas y aporte solar durante fin de semana. A partir de ese día y hasta el 30 de diciembre hay continuidad de días con cielo claro (radiación solar máxima sobre superficie horizontal alrededor de 1000 W/m²) y una temperatura máxima de 44.0°C el 29 de diciembre (valor record).

Durante la semana del 26-29/12 el promedio de la temperatura exterior fue de 27.7°C (HR = 60.0) y el consumo promedio diario semanal de electricidad fue de 19 kWh (0.065 kWh/m²), el segundo valor mayor de todo el período de monitoreo. El 59.0% corresponde al consumo durante la mañana. El mayor consumo diario se registró al día 29 y es de 22 kWh (0.074 kWh/m²). En acuerdo con el comentario anterior, y según los valores registrados por los usuarios, los equipos se encienden, en la dirección a las 11h al llegar la temperatura interior a 27.7 °C, en la oficina a las 12h con 28.3°C de temperatura interior y en la sala de reunión a las 9h con 26.5°C. Cabe mencionar que la temperatura de neutralidad de diciembre es de 24.8°C y la zona de confort se extiende entre los 22.3 y 27.3°C. En la oficina se supera el valor máximo de la zona de confort para encender el equipo de aire acondicionado. Es posible que los técnicos extensionistas que usan el espacio se adapten a temperaturas más elevadas precisamente porque desarrollan

actividades de campo bajo condiciones climáticas más severas que un usuario típico de oficina. Durante enero de 2018 y entre el 8 y el 12, se extiende un período aún más cálido con una secuencia de días con una temperatura máxima y mínima de 40 y 20°C, respectivamente, y un valor máximo de irradiancia solar sobre superficie horizontal de 1000 W/m². EL mayor valor semanal promedio de consumo de electricidad de todo el período de monitoreo, es de 25 kWh y el 72.5% corresponde a la energía consumida durante la tarde, inversamente a lo que sucedió en diciembre. El encendido de los equipos en la oficina, sala de reunión y dirección se prolonga durante dos horas a la tarde y una hora a la mañana. A partir de los datos medidos se observa que los equipos se encienden cuando la temperatura interior en cada área funcional oscila entre los 27.1 y los 28.0°C, valores muy cercanos a la temperatura máxima de la zona de confort (27.6°C) según temperatura de neutralidad de enero y se apagan cuando la temperatura del aire oscila entre los 25.0 y los 26.0°C, valor superior al mínimo de la zona de confort (22.6°C). De acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional, y a nivel provincial, Victorica fue la localidad que registró la mayor temperatura a las 15h del día 12/01, y a nivel nacional, la segunda del país más calurosa. En este contexto amerita un análisis termo - energético diario. En las áreas UP se encienden los equipos de aire a las 10 y a las 11h en la oficina y en la sala de reunión, respectivamente. En ese momento la temperatura interior en la oficina fue de 27.9°C (exterior = 32.3°C). El equipo permanece encendido hasta las 17h y se mantiene una temperatura entre los 26.0 y 26.5°C. En la sala de reunión (espacio usado para almorzar) se enciende entre las 11 y 13hs. El consumo total diario de electricidad fue de 28 kWh (el mayor valor registrado en todo el período de monitoreo).

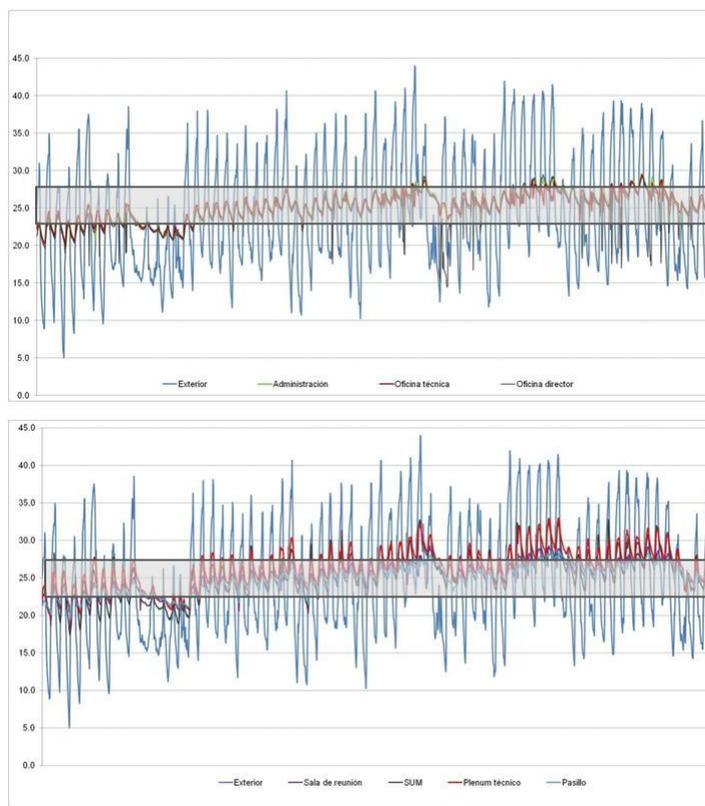


Fig. 7: Evolución de la temperatura en el período cálido entre el 21 de noviembre de 2017 y el 2 de febrero de 2018. superior = áreas de uso permanente; inferior = áreas de uso no-permanente. Area gris: zona de confort

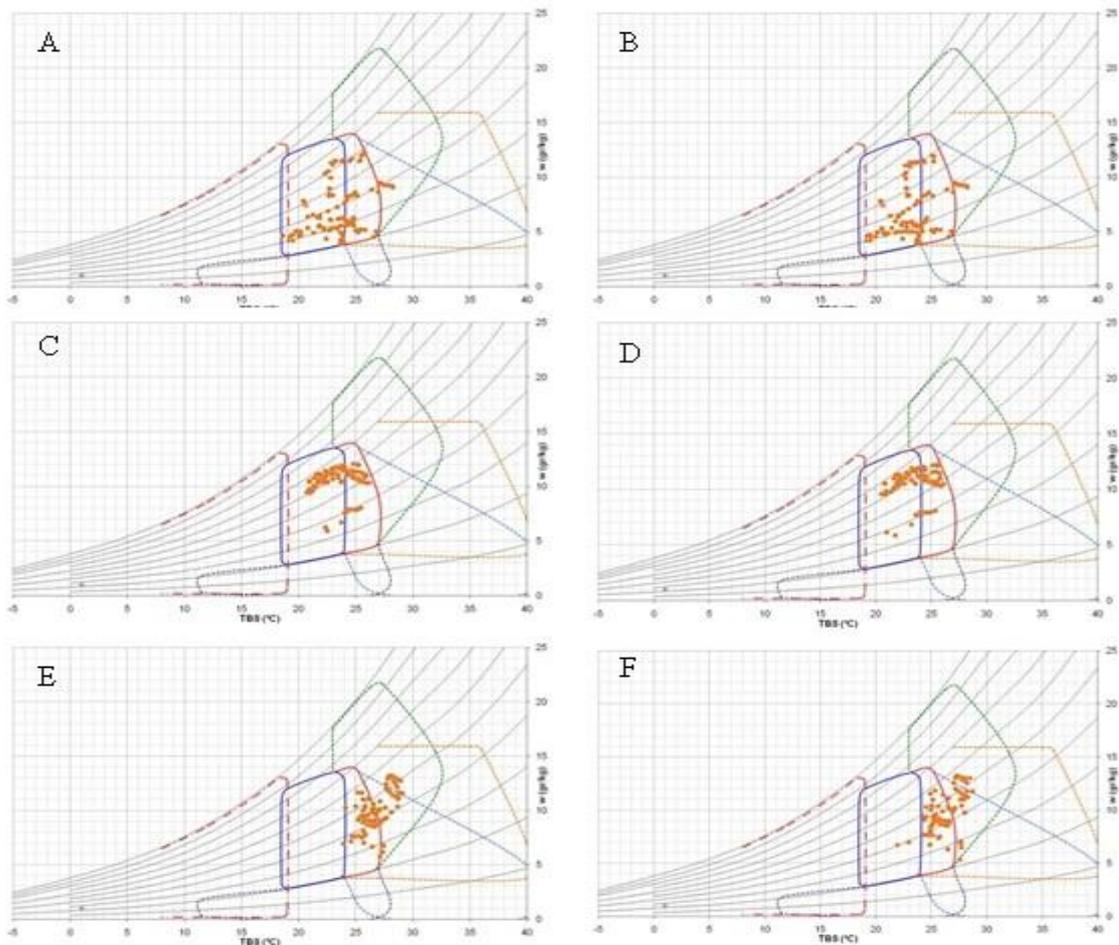


Fig. 8: Diagramas de confort en áreas de UP entre las 7 y las 16hs. A = administración noviembre; B = oficina noviembre; C = administración diciembre; D = oficina diciembre; E = enero administración; F = enero oficina. Referencias: verano (rojo), ventilación cruzada (verde), inercia térmica y ventilación selectiva (naranja), enfriamiento evaporativo (celeste), humidificación (gris).

En la figura 8 se observan los diagramas de confort para cada mes y para la administración y la oficina. El mes más desfavorable es enero en el cual los resultados estarían indicando el requerimiento de optimizar la ventilación cruzada para ingresar a la zona de confort. Según Godoy Muñoz (2012) las exposiciones previas o actividades pueden afectar la percepción de confort durante una hora, aproximadamente. En el caso de estudio analizado los usuarios realizan actividades de extensión fuera del edificio y es posible que no sientan que el ambiente interior no es térmicamente aceptable. Gómez Azpeitia, Bojórquez, Ruiz (2007), son contundentes: los estudios de campo siguen siendo la clave para la comprensión global del problema del confort térmico.

4. CONCLUSIONES

El desarrollo del trabajo y los resultados obtenidos permitieron cumplir con los objetivos planteados. Las principales conclusiones del monitoreo post-ocupación son las siguientes:

- El ambiente interior del edificio es térmicamente aceptable durante invierno y verano.
- El consumo anual de energía (65 kWh/m^2) fue casi la mitad del consumo de un edificio denominado de "bajo

consumo" con un valor de 121 kWh/m^2 según Sartori y Hetness (2007). De acuerdo a los datos registrados en los medidores (8/2017-8/2018), el consumo fue de 46 kWh/m^2 (calefacción) y 19 kWh/m^2 (refrigeración, equipos e iluminación), que en total corresponden a un 54% del consumo de un edificio "low-energy

- La reducción del área vidriada efectiva al norte a un 7% de la superficie útil del edificio, sumada a una envolvente energéticamente eficiente, cuyos componentes tecnológicas definen un valor del coeficiente global de pérdidas (G) de $0.40 \text{ W/m}^2\text{°C}$ que satisface la recomendación de la Norma IRAM 11604 (2011), permitió alcanzar el confort térmico con un importante ahorro energético. Este 7% significó una reducción del 40% respecto a los primeros edificios bioclimáticos construidos en la región (Filippín, C. and Beascochea, A., 2007). Amerita resaltar que el área vidriada efectiva adoptada corresponde, por un lado a un edificio no-residencial másico, con un período de uso que acuerda, en la mayor parte de sus horas, y durante el invierno, con la disponibilidad de radiación solar y su aprovechamiento. En el verano, aleros y protecciones externas de las áreas transparentes contribuyen a minimizar el ingreso de radiación solar. Es de esperar que una pérgola, en la fachada norte, que se eleva por sobre el borde inferior de la cubierta, se tape con la cobertura vegetal para generar un entorno inmediato a la fachada con menor temperatura. Por otro,

lado, los usuarios tuvieron una participación activa en el uso de los sistemas pasivos y mecánicos en invierno y verano en acuerdo con las sugerencias realizadas por los profesionales responsables del diseño.

- El mes más desfavorable es Enero. Para la semana más calurosa (enero 8-12/2018), el pico de consumo se presenta después del mediodía, debido al uso de refrigeración. Alrededor del 73% del consumo eléctrico diario se produce por la tarde, en días con temperatura exterior promedio de 30.8°C.

- La incorporación de paneles fotovoltaicos para iluminación nocturna podría disminuir en un 38% el consumo promedio total diario.

Finalmente es pertinente destacar dos aspectos que influyeron en el éxito de este edificio. En primer lugar, se pudo realizar un proceso ordenado y sistemático de estudio durante todas las etapas del edificio: desde el pre-diseño, diseño y construcción hasta su habilitación y monitoreo en condiciones de funcionamiento con una participación activa de los usuarios. En la etapa de pre-diseño se recibieron, analizaron, evaluaron e implementaron diferentes sugerencias realizadas por los usuarios de un edificio bioclimático anterior construido por INTA y descrito en Filippín, Marek y Flores Larsen (2018). En segundo lugar, fueron de fundamental importancia los procedimientos y actitudes de los propios usuarios en cuanto al uso de los sistemas de acondicionamiento natural y/o mecánicos, permitiendo una transferencia de tecnología exitosa al sector público. Amerita comentar que la iluminación natural requiere un estudio particular para evitar deslumbramiento en determinadas horas. Hacia el fin del monitoreo se colocaron estantes regulables en el plénum térmico-técnico como una primera aproximación (ver figura 3.3).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por ANPCYT (PICT ANPCYT 2014-2605) y Universidad Nacional de Salta (CIUNSa 2489). Nuestro agradecimiento a técnicos de la Institución que colaboraron en el monitoreo y al Ente Promotor: Centro Regional del INTA, La Pampa-San Luis.

REFERENCIAS

ASHRAE, ASHRAE Handbook-Fundamentals, 2009, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

Boutet, M. L. (2014). Acondicionamiento higrotérmico – lumínico de edificios escolares en zonas urbanas de la región N.E.A. Auditorías energéticas y propuestas de mejoras mediante Diseño Solar Pasivo. Tesis doctoral. FAU-UNNE.

Boutet, M. L.; Hernández, A.; Jacobo, G.; Martina, P. y Corace, J. J. (2011). Auditorías higrotérmicas y lumínicas de dos edificios escolares de nivel inicial de la ciudad de Resistencia, en condiciones reales de ocupación. *Avances en energías renovables y medio ambiente*, **15**, 29-36.

Carroll, W.L.; Hitchcock, R.J. (1993). Tuning simulated building descriptions to match actual utility data: methods and implementation, ASHRAE Trans. 99 1993, pp.928-934.

Esteves Miramont, A. (2017). *Arquitectura Bioclimática y Sustentable*. FAUD, Universidad de Mendoza; CCT CONICET Mendoza.

Esteves, A.; Gelardi, D.; Oliva, A. (1997). The shape in the bioclimatic architecture: the FAEP factor. Proceedings of II Conference on Teachers in Architecture, Chapter 3.12

Fabi, V.; Andersen, R. Vinther; C., S.; Olesen. B. W. (2012). Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models. *Building and Environment* **58**, 188 -198.

Filippín C., Marek L., Flores Larsen S. (2018). Integración del proceso del diseño y construcción de un edificio bioclimático para el INTA-Guatraché, L.P. Monitoreo, performance energética y relocalización. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, **40**, 65-75.

Filippín, C. and Beascochea, A. (2007), Performance assessment of low-energy buildings in central Argentina. *Energy & Buildings* **39**, 546-557.

Gil, S.; Givogri P.; Codesiera, L. (2015). El Gas Natural en Argentina. Propuestas Período 2016-2025, *Preparado para la Cámara Argentina de la Construcción*.

Gómez Azpeitia, G.; Bojórquez Morales, G.; Pávez Ruiz Torres R. (2007). El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados. Universidad de Colima, *Revista Palapa*, **2**:1,45-57.

Goulding, J. R.; Owen L. J.; Steemers, T.C. (1994). Energy in architecture, Eur.Passiv. Solar Handb., pp. 05.121-05.128.

Hernández, A.L.; Lesino; G.; Rodríguez, L.; Linares. J. (2010). Design, modelling and computational assessment of passive and active solar collectors for thermal conditioning of the first bioclimatic hospital in Argentina, *Journal of Building Performance Simulation*, **3**:3, 217-232.

Hong, T.; Taylor-Lange, S. C.; D'oca, S.; Yan, D.; Corgnati, S. P. (2016). Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings. *Energy and Buildings*, **116**, 694 -702.

Karlsson, F.; Rohdin, P.; Persson, M.L. (2007). Measured and predicted energy demand of a low energy building: important aspects when using building energy simulation. *Build. Serv. Eng. Res. Technol.* **28** (3), 223-235.

Mascaró, J. L. (1983). *Variación de los costos de los edificios con las decisiones arquitectónicas*. La Plata, Facultad de Arquitectura y Urbanismo UNLP, Buenos Aires, Argentina.

Molas, V. García, A. Iriarte, E. Correa. (2008). Auditoria térmica y variables del confort. Caso de una vivienda del Instituto Provincial de la Vivienda (IPV), ciudad de Catamarca, *Av. Energías Renov. Med. Ambient.* **12**, 121-128.

Norma IRAM 11604. Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites. Buenos Aires, Argentina, 2011.

Norma IRAM 11659. Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Buenos Aires, Argentina, 2004.

Norma IRAM, 11603. Zonificación Bioambiental de la República Argentina, Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires, Argentina, 1996/2011.

- Raftery, P.; M. Keane, M.; O'donnell, J. Calibrating whole building energy models: an evidence-based methodology, *Energy Build.* **43** (9), 2011, pp.2356–2364.
- Righini, R.; Grossi Gallegos, H.; Raichijk, C. (2005). Approach to drawing new global solar irradiation contour maps for Argentina *Renew. Energy* **30**, 1241–1255.
- Royapoor, M.; Roskilly, T. (2015). Building model calibration using energy and environmental data. *Energy and Buildings* **94**, 109 -120.
- Sartori L., Hestnes, A.G. (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and Buildings* **39**, 249–257
- Servicio Meteorológico Nacional–Fuerza Aérea Argentina, 2000. Argentina.
- Turner, C.; Frankel, M. (2008). Energy Performance of LEED for New Construction Buildings, New Buildings Institute, Washington, DC.