

Evaluación del desempeño térmico energético del edificio ampliación de la FAUD. Monitoreo y balance térmico de un aula taller



Sofía Ávalos, Gabriela Sanchez, María Lucía Calvo, Mariana Gatani

Metodología

Se caracterizó la condición climática de Córdoba. El caso de estudio —Edificio ampliación FAUD Ciudad Universitaria— fue descrito detallando aspectos de implantación, orientación, diseño de fachadas y protecciones, y además condiciones tecnológicas y funcionales referidos al comportamiento térmico energético.

Se monitorearon durante cuatro periodos del año 2016 dos locales seleccionados: el taller A (taller 2 PB) y taller B (taller tesis PA) utilizando sensores Hobos Data Logger, los cuales miden temperatura (°C) y humedad relativa (%) en el interior de los locales. Los datos de temperaturas exteriores fueron obtenidos de los registros de la Estación Meteorológica del CIAL, FAUD, UNC.

Se realizaron balances térmicos de invierno y verano, obteniendo datos de demanda de calefacción y refrigeración. Posteriormente, se pusieron en relación los resultados del monitoreo y del balance térmico, lo que permitió obtener conclusiones respecto a condiciones teóricas de diseño y condiciones reales de comportamiento de los locales frente al clima. La metodología se resume en la tabla 1.

1 Caracterización climática Córdoba.	Relevamiento de datos de temperatura máximas, mínimas y medias, humedad relativa, radiación y velocidad del viento.
2 Análisis del caso de estudio.	Análisis de implantación del edificio, orientación, aspectos tecnológicos, constructivos y funcionales.
3 Monitoreo del edificio.	Medición de temperatura mediante sensores tipo HOBO data Logger del Taller A y Taller B. Comparación con las temperaturas exteriores.
4 Balance térmico	Balance térmico del Taller A para invierno y verano. De acuerdo a procedimiento señalado en normas IRAM 11601; 11603; 11604: 11625 y 11659 1/2.

Tabla 1: Metodología

Desarrollo

Caracterización climática de la ciudad de Córdoba

La ciudad de Córdoba (Lat.: 31°26 Sur) tiene clima templado moderado. Según la distinción de zonas bioambientales establecidas por la norma IRAM 11.603, se inscribe en la Zona III a: templada cálida. Se han registrado inviernos relativamente benignos, con mínimas medias de 3.5°C, con veranos calurosos con máximas medias de 34,1°C y amplitudes térmicas mayores a 14 °C, como se muestra en el cuadro y el gráfico de la figura 1.

	Anual	Enero	Julio
T° Máxima media	26 °C	34.1 °C	19.7 °C
T° Mínima media	11.9 °C	16.1 °C	3.5 °C
Temperatura absoluta mínima	-	-	-4.6 °C
Temperatura absoluta máxima	-	40.5 °C	-
Amplitud térmica	14.1 °C	18.0 °C	16.2 °C
Velocidad del viento media	11.5 km/h	10.3 km/h	10.9 km/h
Radiación global horizontal	16.0 Mj/m ²	21.7 Mj/m ²	9.4 Mj/m ²
	4.5 Kw/m ²	6.3 Kw/m ²	2.6 Kw/m ²
Humedad relativa (%)	65 %	67 %	66 %
Calefacción grados -día (Tb = 20°C)	991°C	26 °C	26 °C

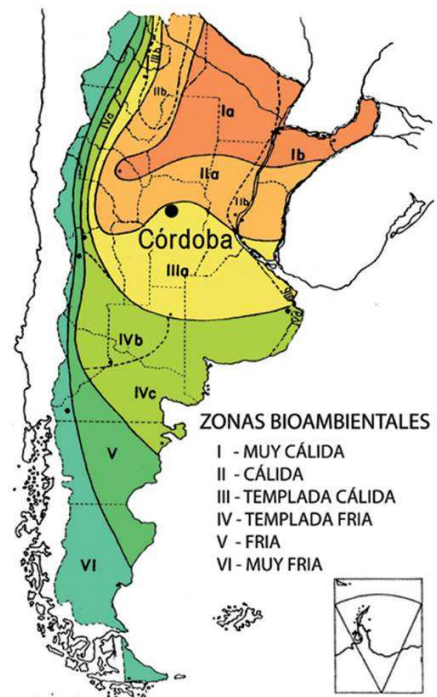
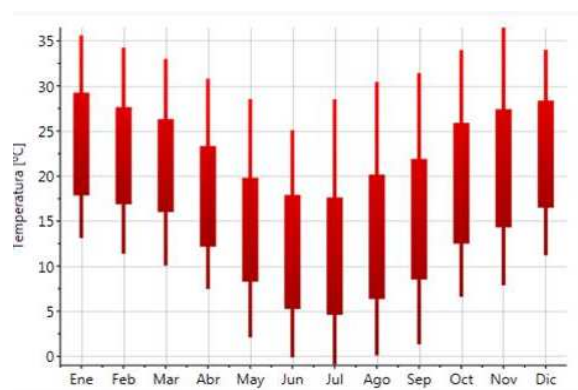


Figura 1: Figuras con datos climáticos Córdoba, Argentina. Fuente: Norma IRAM 11.603. Valores de Temperaturas anuales (°C).

Fuente: Software Meteonorm 7.0. Mapa de zonas Bioambientales IRAM

Análisis del caso de estudio

El edificio ampliación oeste de la sede de la FAUD de la UNC ubicado en Ciudad Universitaria se organiza en un prisma de base rectangular con eje norte-sur en tres niveles que alberga aulas-talleres, biblioteca, sanitarios, boxes de reunión, núcleo de circulación, terraza accesible y talleres de tesis. Las fachadas abren hacia el este y el oeste, con una superficie total de 2.975,80 m² cubiertos.

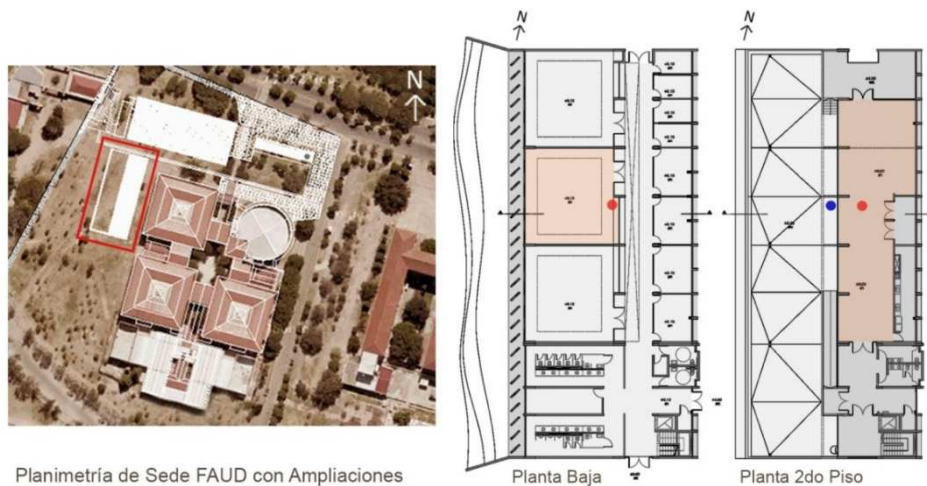


Figura 2. 2a: Ubicación del edificio, 2b: plantas (locales analizados y la ubicación de los Hobo Data Logger - HDL- para monitoreo)

Sobre la fachada este se ubican boxes para reuniones y la biblioteca. La misma está conformada por paños de vidrio completos con aleros horizontales y verticales. Los vidrios cuentan con un vinilo micro-perforado que sirve como tamiz de luz y protección visual. Sobre la fachada oeste se ubican las aulas-taller en planta baja, semienterrados a partir de un talud hasta los 1,75 metros de altura interior del taller. Las aberturas se protegen con una tira de parasoles de hormigón de 3,50 m de altura. La carpintería de los talleres es de aluminio con DVH 3+3 con 12 mm de cámara de aire, mientras que la carpintería del Taller B es de aluminio con vidrio laminado float 3+3.

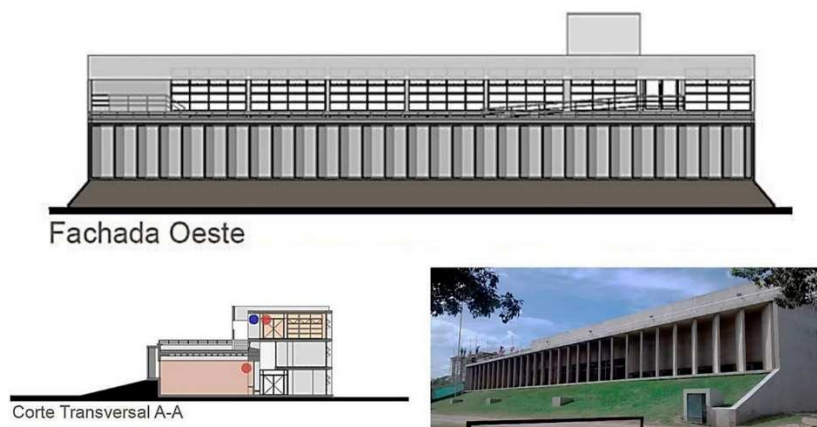


Figura 3: Fachadas Este y Oeste, corte y foto fachada Oeste

El sistema constructivo se conforma por vigas y tabiques de Hº Aº moldeados in-situ de 20,00 cm de espesor sin aislación. Las divisiones interiores y cielorrasos se ejecutaron con paneles de doble placa de yeso con perfilería metálica, sin aislación térmica ni acústica.

El taller A (Fig. 4) se ubica en planta baja con orientación oeste, semi-enterrado hasta 1,75 m en el interior. La altura del local hasta cielorraso es de 3,50 m, mitad tabique de Hº Aº enterrado y la otra mitad aberturas de aluminio corredizas de 1.00 metro de altura y paños fijos de 75 cm, según se muestra en la figura 4. Hacia el norte y el sur colinda con aulas-talleres similares, separados entre sí por tabiques de doble placa de yeso con perfilería metálica. Hacia el este se ubica el pasillo de ingreso a los talleres, separado por un tabique de Hº Aº y aberturas de aluminio de vidrio fijo y puerta doble de madera (figura 4). Con respecto al uso del taller, el mismo tiene un periodo de operación intensivo de marzo a octubre, con una carga de ocupación de entre 30 y 50 personas. Durante los meses de noviembre, diciembre y febrero disminuye considerablemente la ocupación.

Monitoreo

Se instalaron termómetros de temperatura y humedad interior denominados Hobos Data Logger (HDL) en los locales: taller A (aula-taller 2 PB) y taller B (taller de tesis PA) (ver ubicación en figura 2 y 3). Las semanas seleccionadas para el análisis corresponden a una semana de mayo, agosto, octubre y diciembre con la intención de analizar los meses fríos y los meses cálidos del año.

Las figuras 5, 6, 7, y 8 presentan las temperaturas registradas durante los 4 períodos monitoreados: en las ordenadas se indican las temperaturas y en las abscisas la fecha y hora. La curva de color rojo representa las temperaturas exteriores, mientras que la línea gris representa temperaturas interiores del taller A y la negra del taller B. El rectángulo punteado delimita la zona de confort definida entre los 18 y 24 °C según normas IRAM 11603 / 11659-1/2.



Figura 4: Planta y cortes del aula taller analizado (taller A)

Monitoreo periodo frío: mayo y agosto

Se seleccionaron una semana de cada mes donde se registraron las temperaturas mínimas monitoreado para su análisis: del 02 al 09 de mayo y del 08 al 14 de agosto. En los meses fríos, la curva de temperatura exterior describe una trayectoria de gran amplitud térmica, favorecida por la alta radiación solar diurna y los días despejados. Las mínimas temperaturas registradas en las semanas analizadas fueron entre 8°C y 11°C en horas de la madrugada. Las curvas de temperaturas interiores, a pesar de copiar el recorrido de la curva de temperatura exterior, en ambos talleres se mantiene más atenuada, nunca por debajo de los 15°C desfasándose de la primera cuando las temperaturas alcanzan valores mínimos.

En mayo, las curvas de temperaturas interiores se encuentran por encima de las temperaturas exteriores, manteniéndose la mayor parte del tiempo dentro de la zona de confort definida entre los 18°C y 24°C. Mientras que en agosto, la curva de temperatura interior se encuentra por debajo de la exterior cuando esta supera los 20°C. Sin embargo, al igual que la semana de mayo, permanece la mayor cantidad del tiempo dentro de la zona de confort en ambos locales analizados.

En relación al retardo y amortiguación de envoltentes, las curvas interiores copian el recorrido de la exterior y se encuentran siempre por encima de ésta. En casi todos los días monitoreados coinciden los momentos en que se registró la temperatura más alta del día tanto exterior como interior, lo cual se identifica como poca capacidad de retardo térmico. En escasas ocasiones se advierte un pequeño retardo de hasta 2 horas máximo.

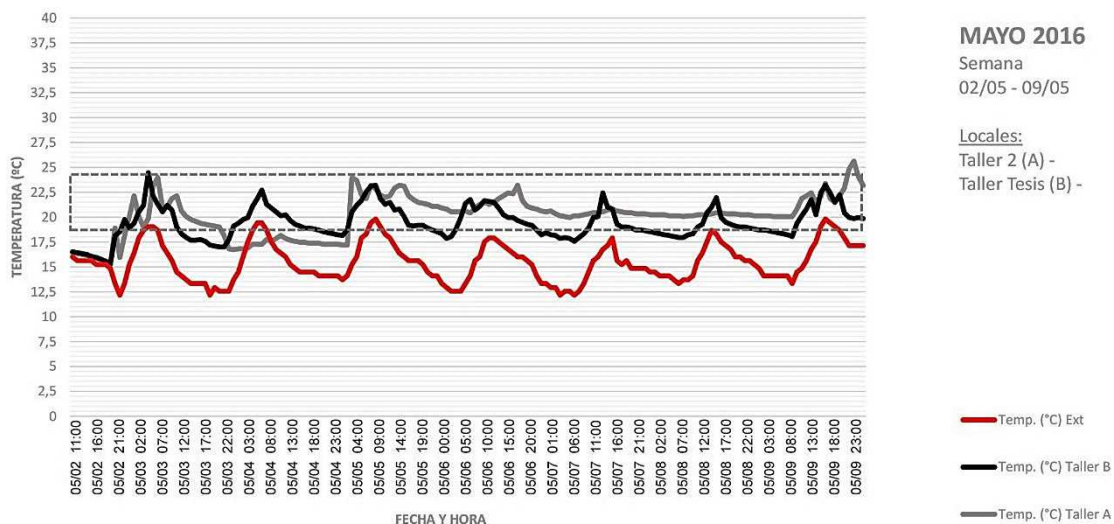


Figura 5: Curva de monitoreo Taller A y Taller B de mayo

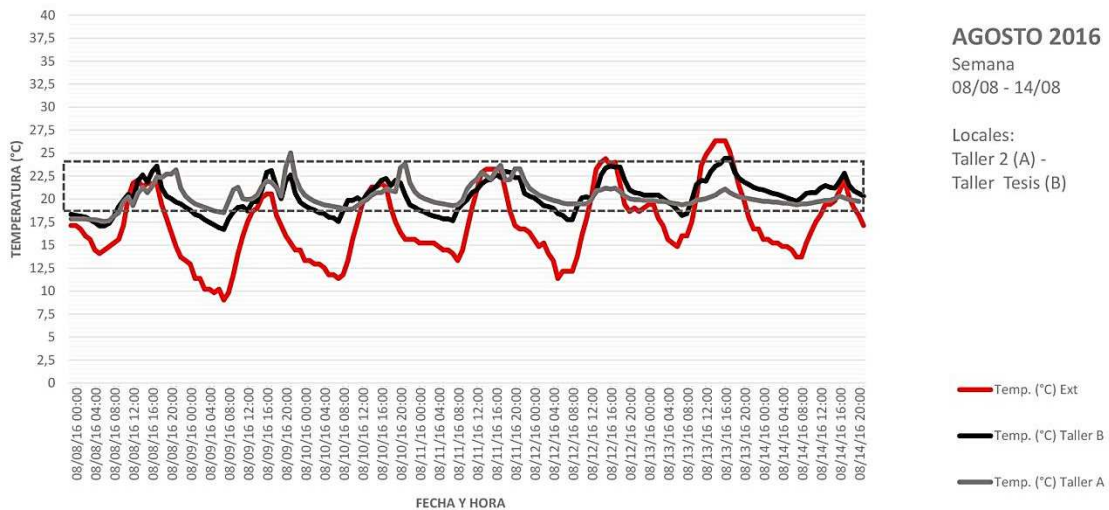


Figura 6: Curva de monitoreo Taller A y Taller B de mayo

Monitoreo periodo cálido: octubre y diciembre. Del 08/10 al 14/10 y del 08/12 al 14/12

Para el periodo cálido, la curva de temperatura exterior muestra la amplitud térmica existente en estos meses (entre 12°C y 14°C), con altas temperaturas durante el día, que disminuyen en la noche. Es posible observar que la temperatura de los espacios interiores no fluctúa a la par de las condiciones externas ya que describen una curva atenuada con menores variaciones entre el día y la noche, mostrándose constante y aplanada, y por encima de la curva de temperatura exterior. La curva interior copia los picos de las altas temperaturas exteriores, pero se desfasa cuando la temperatura exterior disminuye. Esta situación parece describir que el edificio gana calor y no lo pierde, aun con el refrescamiento nocturno característico de nuestro clima, lo cual ocasiona que las temperaturas interiores se encuentren fuera de la zona de confort a partir de mediados de octubre. Esta situación se incrementa hasta llegar al mes de diciembre, el que se encuentra totalmente fuera de la zona de confort con temperaturas interiores superiores a los 30°C, registrándose un pico máximo superior a los 37 °C en el momento que en el exterior se registraban 36°C. En los meses a partir de octubre no se registraron temperaturas interiores inferiores a los 20°C.

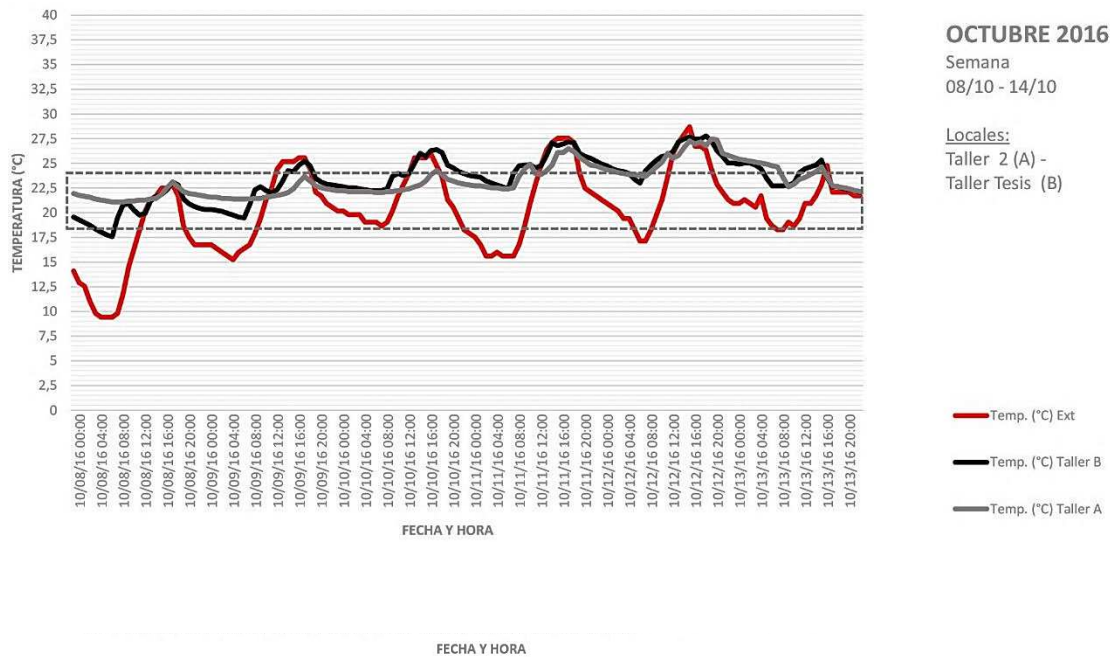


Figura 8: Curva de monitoreo Taller A y Taller B de diciembre

En relación al retardo y la amortiguación, en un día típico de octubre prácticamente no presenta valores de amortiguación considerables respecto al pico más alto de temperatura exterior. Cuando la temperatura exterior baja durante la noche y madrugada, las temperaturas interiores permanecen altas, lo que demuestra que el edificio no pierde calor. Las temperaturas son mayores en el taller B, lo que puede estar condicionado por la cantidad de superficie vidriada presente en su fachada oeste, la cubierta expuesta y la condición de semienterrada de los talleres de PB. Los resultados muestran altos valores de temperatura interior, poca amortiguación térmica y escaso retardo. Mientras que en diciembre la amortiguación en relación al pico de temperatura máxima es mayor, llegando a 7 °C de diferencia entre el exterior y el interior, presentando un retardo casi despreciable.

Balance térmico

Para elaborar el balance térmico se adoptaron las condiciones exteriores de proyecto establecidas por la Norma IRAM 11.603. Según la localidad (Córdoba) la temperatura de bulbo seco (TBS) de verano es 34,9 °C y la humedad relativa 40%, mientras que para el invierno la TBS es -0,4°C y la humedad relativa 75%. Los datos se resumen en la tabla 2.

UBICACIÓN:	CORDOBA			DESTINO	AULA - TALLER		
	Condiciones de Diseño para INVIERNO				Condiciones de Diseño para VERANO		
FECHA Y HORA	21 JUNIO	6 HS		FECHA Y HORA	21 Enero	15 hs	
tbs exterior °C	"-0,4 °C			tbs exterior °C	34,9 °C		
tbs interior °C	23 °C		&t= 23,4 °C	tbs interior °C	25 °C		&t= 9,9 °C
HR exterior %	75%			HR exterior %	40%		
HR interior %	35%		&he=	HR interior %	50%		&he= 4 gr/kg

Tabla 2: Condición de diseño interior y exterior según Normas IRAM 11603

Los resultados del balance estiman una carga total en equipos para calefaccionar de 15.291 kcal/h en invierno y una carga total de refrigeración de 21.218 frigorías para verano. El resultado de carga de calefacción del balance térmico para invierno se despega de los resultados del monitoreo para la estación fría, donde las temperaturas interiores permanecían dentro de la zona de confort. Se optó por reemplazar las temperaturas mínimas de diseño de invierno por las temperaturas mínimas registradas por la estación meteorológica, que excepcionalmente alcanzaron un valor por debajo de los 0°C en dos días de julio con un salto térmico de 20°C (fig. 9). Se adopta TBS exterior 12°C por ser la mínima mayoritariamente registrada en el periodo frío.

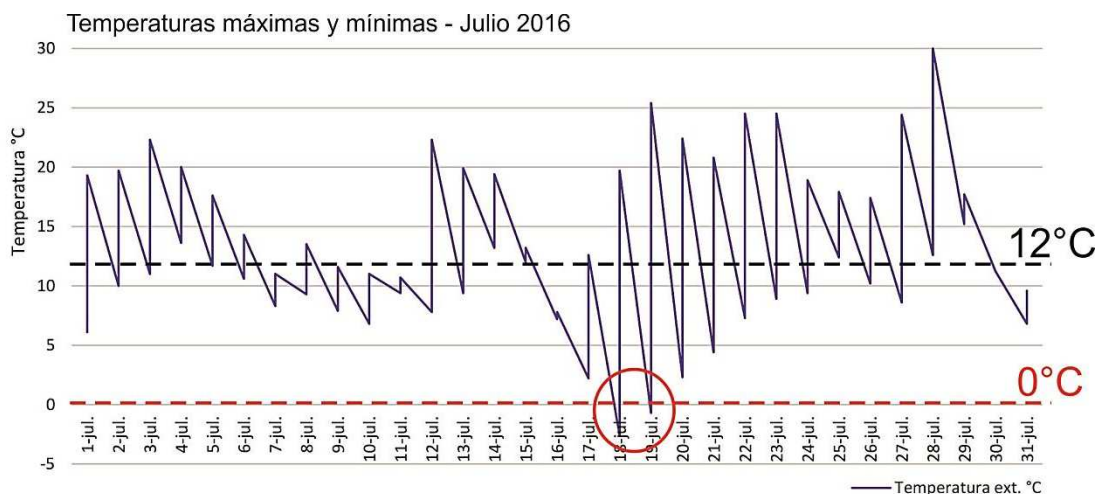


Figura 9: Temperaturas máximas y mínimas registradas por la estación meteorológica. Julio 2016.

Los valores de condiciones interiores y exteriores adoptadas se resumen en la tabla 3.

UBICACIÓN:	CORDOBA			DESTINO	AULA - TALLER		
	Condiciones de Diseño para INVIERNO				Condiciones de Diseño para VERANO		
FECHA Y HORA	21 JUNIO	6 HS		FECHA Y HORA	21 Enero	15 hs	
tbs exterior °C	12 °C			tbs exterior °C	34,9 °C		
tbs interior °C	23 °C		&t= 11°C	tbs interior °C	25 °C		&t= 9,9 °C
HR exterior %	75%			HR exterior %	40%		
HR interior %	35%		&he=	HR interior %	50%		&he= 4 gr/kg

Tabla 3: Condición interior considerando una TBS exterior que se aproxima a las temperaturas

El balance ajustado establece una carga total en equipos para calefaccionar de 12.031kcal/h en invierno, lo que muestra una importante disminución considerando temperaturas mínimas no tan extremas. Si bien hay requerimiento de energía auxiliar para calefaccionar, se debe tener en cuenta que en los resultados del monitoreo se consideró la zona de confort entre los 20 y 25 °C y en el balance se tomó una TBS int de 23°C, lo que explica porque se encuentra mayoritariamente en confort en invierno. La comparación entre ambos balances se muestra en la figura 9.

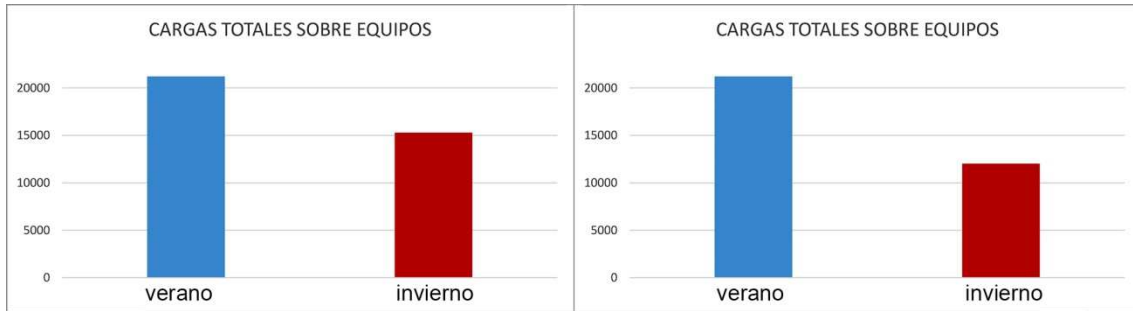


Figura 9: *Cargas totales sobre equipos para invierno y verano*

Conclusiones

Los resultados del monitoreo dan cuenta de un edificio que se comporta confortablemente en invierno. Las curvas de temperaturas interiores se encuentran dentro de la zona de confort a pesar de que la curva de temperatura exterior oscila en general entre los 11 °C y los 20 °C. Solo ocasionalmente se registraron temperaturas mínimas inferiores a 9 °C, por lo que la demanda de acondicionamiento (demanda de calefacción) en invierno es prácticamente nula. Durante el período cálido existe una necesidad de mejorar las condiciones de temperatura interior (demanda de refrigeración) ya que las curvas de monitoreo interior permanecen fuera de la zona de confort por encima de la máxima admisible durante la mayor parte del tiempo.

El balance térmico de invierno estima una carga energética de equipos (Kcal/h) para acondicionar el taller A en el periodo frío algo inferior a la carga de refrigeración (frigorías) en el verano. Cuando se pusieron en relación los resultados del monitoreo con los resultados del balance térmico se pudo ver que el primero arrojó resultados de temperatura interior dentro de la zona de confort para el periodo más frío, mientras el balance muestra resultados de demanda energética y necesidad de acondicionamiento en el taller A para ambos periodos. Esta situación pone en discusión la consideración de las condiciones climáticas y las temperaturas de diseño para simulaciones y balances. En el balance térmico de invierno se adopta para Córdoba la temperatura mínima exterior de diseño de - 0.4 °C según norma para el 21/6 a las 6 de la mañana, y el monitoreo de temperatura exterior arroja temperaturas mínimas entre los 9 y los 12 °C; solo se registraron 4 mediciones inferiores a 0 °C en todo el periodo frío.

Además, en este caso de diseño es particularmente importante la consideración de los materiales y condiciones de las protecciones solares para ajustar el balance. En este caso, los parasoles fijos de hormigón de gran masa térmica expuestos hacia el oeste que entregan temperatura captada por la radiación solar de la orientación oeste. Aunque están separados del aventanamiento, no se genera una corriente convectiva porque este espacio se cierra en los extremos con tabiques de Hº Aº. Según los datos de monitoreo registrados Esta situación influye considerablemente en el comportamiento interior y en la eficiencia térmico-energética del edificio, mejorando la condición de invierno pero igualmente de contraproducente en verano. Los parasoles de HºAº del edificio- acumulan calor por radiación solar directa que es re-irradiado al interior generando un aumento de la temperatura interior.

La falta de ventilación cruzada también es una condición que contribuye a una demanda baja de energía para acondicionar en los meses más fríos y sobrecalentamiento en verano.

Bibliografía

IRAM 11603. (1996). *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina*. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

IRAM 11605. (1996). *Aislamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios*. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

IRAM 11604. (2001). *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, Segunda Edición*. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

IRAM 11601. (2002). *Aislamiento térmico de edificios. Método de cálculo*. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

IRAM 11659-1. (2004). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración Parte 1: Vocabulario, definiciones, tablas y datos para determinar la carga térmica en refrigeración*. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

IRAM 11659-2. (2005). *Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 2: Viviendas*. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

Esteves, A. (2017). *Arquitectura bioclimática y sustentable. Teoría y práctica de la conservación de la energía, sistemas solares pasivos y enfriamiento natural de los edificios*. Mendoza.

ISBN 978-987-4415-32-5

