

EVALUACIÓN DE UNA PROPUESTA DE REHABILITACIÓN TÉRMICO-ENERGÉTICA DE EDIFICIO ESCOLAR EXISTENTE A PARTIR DE SIMULACIÓN DINÁMICA

Guillermina Ré¹, Celina Filippín²

¹Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de San Juan (IRPha-CONICET-UNSJ).

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Tel.: +54(0)264 4232395 / 3259 Int. 318 - <http://www.irpha.faud.unsj.ar>

E-mails: guillerminare@faud.unsj.edu.ar, cfilippin@cpenet.com.ar

RESUMEN: El consumo energético de edificios escolares convencionales de la ciudad de San Juan se centra principalmente en los sistemas de calefacción y de iluminación. Sin embargo, diversos estudios realizados en casos de estudio, evidencian un déficit térmico que condiciona el adecuado desarrollo de las actividades educativas. El presente trabajo tiene por objetivo evaluar una propuesta de diseño para la rehabilitación térmico-energética de un edificio escolar existente en zona árida. Para ello, se selecciona la temporada fría por ser la de mayor consumo energético. El análisis de las condiciones interiores de los espacios se realiza a partir de simulación dinámica, con la producción de modelos termofísicos, calibrados con datos obtenidos de las mediciones higrotérmicas *in situ* durante el período de receso invernal. Se concluye que la implementación de un cierre vidriado en las galerías, que originalmente funcionan como circulaciones semicubiertas, permite elevar la temperatura en 5,5 °C promedio durante el intervalo de estudio y reducir las corrientes de aire indeseadas en el interior de los espacios áulicos. A su vez, se verifica que la propuesta no evidencia sobrecalentamiento del nuevo espacio de transición en época cálida, lo cual muestra el importante potencial de intervención.

Palabras clave: infraestructura escolar, acondicionamiento térmico, rehabilitación, simulación

INTRODUCCIÓN

El último Informe Global elaborado por la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2024) establece que la demanda energética del sector de la construcción se redujo un 0,7% en 2023, después de una década en la que el crecimiento anual promedio representara más del 1%. La reciente caída se debe principalmente a un invierno con temperaturas cálidas y, en consecuencia, una menor demanda de calefacción. Por el contrario, el uso de electricidad sigue aumentando y su participación en el sector de la construcción es del 37% en 2023, frente al 31% en 2010. Al analizar la intensidad en el uso de la energía, el informe indica que la superficie edilicia crece rápidamente en conjunto con un incremento del consumo de electrodomésticos, especialmente aires acondicionados. Debido a la larga vida útil de las estructuras y de los sistemas de calefacción y refrigeración, las decisiones de diseño y elección de equipamiento que se tomen en la actualidad, determinan el uso de la energía durante los años por venir.

El consumo energético de los edificios escolares se centra principalmente en el sistema de climatización, con un elevado uso de la energía y costos asociados, que demandan de medidas de optimización desde el punto de vista térmico (Satpal et al., 2023). Dichos establecimientos también son grandes consumidores de electricidad para iluminación, ya que necesitan garantizar niveles confortables para llevar a cabo actividades de lectura y escritura. A pesar de tener un funcionamiento principalmente diurno, algunos problemas de orientación o colores de paredes interiores, hacen que la iluminación natural no resulte suficiente, y sea necesario recurrir a sistemas artificiales (De Faria Rodrigues et al. 2019). En el ámbito internacional, la tipología escolar muestra un consumo de energía variado, con valores de referencia que rondan promedios de 192 kWh/m² año (Pereira et al., 2014).



A nivel nacional, existen estudios que analizan los consumos anuales de escuelas y su relación con los Grados Días (GD) en calefacción (IRAM 11603, 2013). En la ciudad de San Juan (GD °18=1096), para una muestra de 17 edificios, los resultados indican consumos totales entre 26 kWh/m² año y 115,1 kWh/m².año, mientras que para calefacción, los resultados se ubican entre 13,8 kWh/m²/año y 104,3 kWh/m²/año (Ré, 2025). En la provincia de La Pampa, Filippín (2005) registra que los consumos energéticos promedio de 15 establecimientos de la ciudad de Santa Rosa (GD °18 = 1500) ascienden a 120,8 kWh/m²/año. De ese total, el gas natural representa un 89,2%, mientras que la electricidad, un 10,8%, situación muy diferente que la identificada en San Juan, donde la participación es de 49,5% y 50,5% respectivamente (Ré, 2025).

En este contexto, las contribuciones ambientales del sector se pueden lograr a través de la rehabilitación energética, el reemplazo de artefactos, equipos y luminarias por unos eficientes, el uso de sistemas pasivos o híbridos de acondicionamiento, la integración de las energías renovables y la aplicación de estrategias bioclimáticas de diseño como orientación del edificio, aislación térmica, materiales utilizados y ganancia directa, entre otros. Gonzalo (2015) manifiesta que el clima debe entenderse como un elemento constitutivo y condicionante de la obra de arquitectura, siendo responsabilidad del proyectista el hecho de integrar al proceso de diseño la relación hombre-hábitat-clima para que los edificios sean capaces de adaptarse a las variaciones ambientales y brindar mayor confort y seguridad.

Distintas investigaciones encaminan sus estudios a la realización de recomendaciones bioclimáticas que permitan guiar las formas constructivas hacia diseños de edificios escolares energéticamente eficientes (Katafygiotou y Serghides, 2014; Barbosa et al., 2020; Mansouri y Guedouh, 2022). El propósito de climatizar y acondicionar pasivamente los espacios interiores de este tipo de establecimientos responde principalmente a la necesidad, cada día creciente, de disminuir el consumo energético.

En relación a la temática, desde el ámbito científico se estudia la complejidad entre el confort térmico y los parámetros climáticos externos que lo configuran. Las investigaciones realizadas por Singh et al. (2019) y por Heracleous y Michael (2020) reflejan una asociación significativa entre la temperatura de confort experimentada en los entornos educativos y las condiciones climáticas exteriores a las que están expuestos. Dentro de las estrategias pasivas de diseño dirigidas a la eficiencia energética para edificios de zonas áridas con grandes amplitudes de temperatura, los espacios de transición cerrados funcionan como amortiguadores térmicos, mitigando las pérdidas de calor de los ambientes calefaccionados (Salameh y Taleb, 2017; Hou et al., 2024). Por su parte, a nivel nacional, Boutet y Hernandez (2022) analizan propuestas de optimización ambiental de la infraestructura de un jardín de infantes de tipología compacta las cuales son validadas mediante simulación dinámica utilizando modelos termofísicos calibrados con datos medidos *in situ*.

En esta línea, el objetivo del presente trabajo es evaluar el comportamiento térmico-energético de una propuesta de rehabilitación arquitectónica de un edificio escolar existente de la ciudad de San Juan, a partir de simulación dinámica.

METODOLOGÍA

La metodología responde a una investigación aplicada basada en el estudio de caso. El proceso implica el estudio profundo de un caso específico para comprender un fenómeno particular y extraer conclusiones aplicables a otros edificios de similares características. Para ello, se selecciona una infraestructura del Programa Nacional 700 Escuelas, cuyo prototipo funcional y arquitectónico es ampliamente utilizado en edificios educativos de la ciudad de San Juan.

El trabajo se desarrolla para la crujía sur del caso seleccionado, la cual está conformada por dos aulas (A5 y A6) y un laboratorio (LAB), con una Galería que funciona como circulación abierta y espacio semicubierto. Para el análisis se selecciona el período invernal por ser el de mayor uso durante el ciclo lectivo, y por tal razón, el que registra los mayores consumos energéticos en climatización. Igualmente, el funcionamiento de la intervención, también se verifica para época cálida.

La evaluación térmico-energética de la propuesta de rehabilitación se realiza con técnicas de simulación dinámica, utilizando el software Simedif V2.0 (2020). Esta herramienta permite analizar la temperatura de espacios interiores frente a diferentes condiciones climáticas y alternativas constructivas, durante la etapa de proyecto. El programa establece que cada área funcional es una *zona térmica* compuesta por un volumen de aire considerado a una temperatura uniforme. El software calcula la evolución de la

temperatura en el tiempo y realiza el balance energético sobre el volumen de aire. La zona térmica puede ser forzada a tener una temperatura fijada por el usuario (temperatura de termostato), opción que habilita a estimar la carga de calefacción y/o refrigeración (Flores Larsen, 2019).

En una primera instancia del trabajo se muestra la calibración del modelo termofísico, para lo cual se utiliza, como base empírica, los datos climáticos y de temperatura interior registrados durante las actividades de auditoría y monitoreo higrotérmico, que se describen en Ré et al. (2016). El período seleccionado corresponde al receso invernal y se desarrolla desde el 8 al 20 de julio. En esta franja de tiempo el edificio se encuentra vacío, sin asistencia de alumnos. Durante el proceso de calibración se comparan los registros de las mediciones con los valores obtenidos de la simulación. A su vez, se realiza el análisis estadístico de regresión lineal simple con el software Statgraphics, que complementa la verificación de datos. Una vez alcanzado el modelo calibrado para cada espacio, se procede al análisis de la propuesta de mejora del sector seleccionado.

La segunda instancia corresponde a la evaluación de las condiciones interiores de los espacios existentes (A4, A5 y LAB) y de la nueva zona térmica generada con la instalación de puertas ventanas de vidrio para el cierre de la galería. La propuesta de rehabilitación arquitectónica se analiza durante el período del 12 al 20 de julio, ya que los primeros días de la simulación se desestiman hasta que el modelo entre en régimen y que los espacios adquieran su respuesta térmica. En un primer momento se analizan los ambientes sin alumnos y sin cargas auxiliares, para identificar el aporte térmico de la galería cerrada. Posteriormente se consideran las ganancias internas y, como cierre del apartado, se calcula el requerimiento energético para calefacción, utilizando para ello el programa Simedif.

En la última instancia del trabajo, se realiza la verificación de la propuesta en época cálida, con el fin de detectar el posible sobrecalentamiento de los ambientes. Para el análisis se toma un día del mes de noviembre con altas temperaturas y niveles de radiación solar.

CASO DE ESTUDIO

El Colegio Provincial de Rivadavia (CPR) es un establecimiento educativo del sector estatal que alberga Nivel Secundario de educación común (Ré et al., 2016).

Arquitectura: la infraestructura posee una tipología en U, conformada de un sector administrativo y de apoyaturas que se conecta, a través de galerías, con dos crujías en las cuales se hallan las zonas de aulas y laboratorio. La fachada principal se encuentra orientada hacia el oeste, mientras que las aulas lo hacen al norte y al sur, permitiendo la ventilación cruzada. El edificio cuenta con una superficie cubierta de 1169,4 m² y una superficie climatizada de 604,38 m², que se indica en color verde, en la Figura 1.

Envolvente: la tecnología constructiva es másica con terminación de revoque. Los muros exteriores son de 30 cm y 20 cm de espesor. Los cerramientos superiores difieren en su materialidad. Para las aulas y laboratorio es losa inclinada con terminación de baldosa cerámica. Para las galerías, administración y servicios, los techos son de losa plana. La carpintería es de marco de chapa con vidrio simple y cuenta con parasoles en las orientaciones norte y oeste.

Características de uso: el funcionamiento del colegio es de lunes a viernes de 7.30 h a 18.30 h para actividades escolares y del personal de limpieza. Además, los días sábados, las instalaciones se ocupan para actividades especiales en horarios de 13 h a 18 h. La cantidad de alumnos total asciende a 285, mientras que el personal de limpieza, directivos y docentes, suman 30 personas.

LOCALIZACIÓN Y CLIMA

El caso CPR se encuentra ubicado en el departamento de Rivadavia, provincia de San Juan, en un entorno urbano de uso residencial. Por su localización geográfica cercana a la Cordillera de los Andes, posee clima mediterráneo continental que se caracteriza por ser seco y desértico, con escasez de precipitaciones, principalmente en invierno. La zona bioambiental corresponde a la clasificación III-a, templada cálida, y se caracteriza por veranos calurosos, con temperatura media de 26 °C y máxima media superior a los 30 °C (IRAM 11603, 2012). Los inviernos son moderados, con temperatura media de 10 °C. La subzona “a” presenta amplitudes térmicas, iguales o mayores a los 14 °C. En el gráfico de la Figura 2, desarrollado por el SMN (2024), se observan claramente los máximos y mínimos alcanzados en la temperatura del aire, para un intervalo de tiempo comprendido entre los años 1967 a 2024.



Figura 1: Planta del Colegio Provincial de Rivadavia con indicación de artefactos y espacios climatizados. Corte, vista y fotografías. Fuente: elaboración propia.

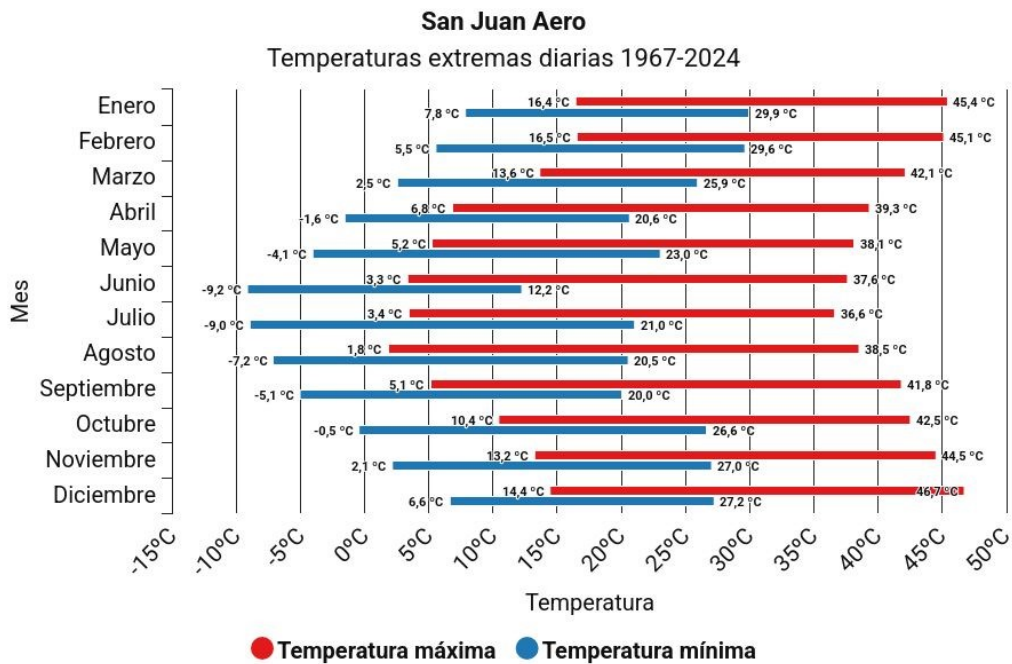


Figura 2: Rangos mensuales de T° máxima y mínima, registradas históricamente. Fuente: SMN (2024).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Propuesta de rehabilitación arquitectónica

Los resultados del monitoreo térmico-energético del caso de estudio (Ré et al., 2016) y de la evaluación subjetiva de las condiciones ambientales interiores (Alamino y Ré, 2022) exponen la necesidad de elaborar soluciones que den respuesta a los problemas de desconfort. Los diagnósticos, energético y ambiental, evidencian que el caso CPR exhibe un comportamiento térmico inadecuado durante las estaciones frías y cálidas, lo que resulta en ambientes que, con frecuencia, quedan fuera de la zona de confort. El estudio, realizado en diferentes períodos de un año calendario, demuestra que la infraestructura no cumple con los requisitos térmicos esenciales para el bienestar de sus ocupantes (Ré et al., 2016). Además, la ventilación cruzada norte-sur en las aulas promueve un movimiento del aire que se percibe con insatisfacción por los usuarios, al menos en temporada fría. Esto se encuentra potenciado por la disposición de circulaciones abiertas, como las galerías, que no funcionan como espacio de transición térmica, ni de protección contra el viento (Alamino y Ré, 2022). Como respuesta a las problemáticas detectadas en las auditorías y diagnósticos, se elaboran, en trabajos previos, propuestas de mejoras constructivas de las envolventes y de recambio tecnológico que permitirían alcanzar ahorros en los consumos energéticos, en hasta un 60 % (Ré et al., 2021).

Sin embargo, se considera necesario complementar las intervenciones mencionadas precedentemente con modificaciones arquitectónicas orientadas a minimizar las corrientes de aire indeseadas y optimizar las condiciones térmicas. Las mismas, pueden traducirse en un aumento de las horas de confort, con la disminución del uso de artefactos mecánicos de calefacción y refrigeración.

A partir de lo expuesto, este trabajo presenta y evalúa una propuesta de rehabilitación térmico-energética para un edificio escolar existente, que consiste en efectuar el cerramiento transparente de las circulaciones semicubiertas con la incorporación de puertas-ventanas de aluminio, que mantengan la conexión interior-externo, pero generen un ambiente térmico con posibilidades de cierre y apertura (Figura 3). Para el estudio, se selecciona la crujía sur, cuya galería posee orientación al norte.

La zona térmica de la Galería cerrada se conecta con las aulas A5 y A6, y el laboratorio. Las ventanas orientadas al norte poseen una superficie de 68 m² que funciona como área captadora del recurso solar. La acumulación de energía se logra en la superficie de piso de 85,5 m² y en la pared que conecta la galería con aulas y laboratorio, cuyo coeficiente de absorción es de 0,70.

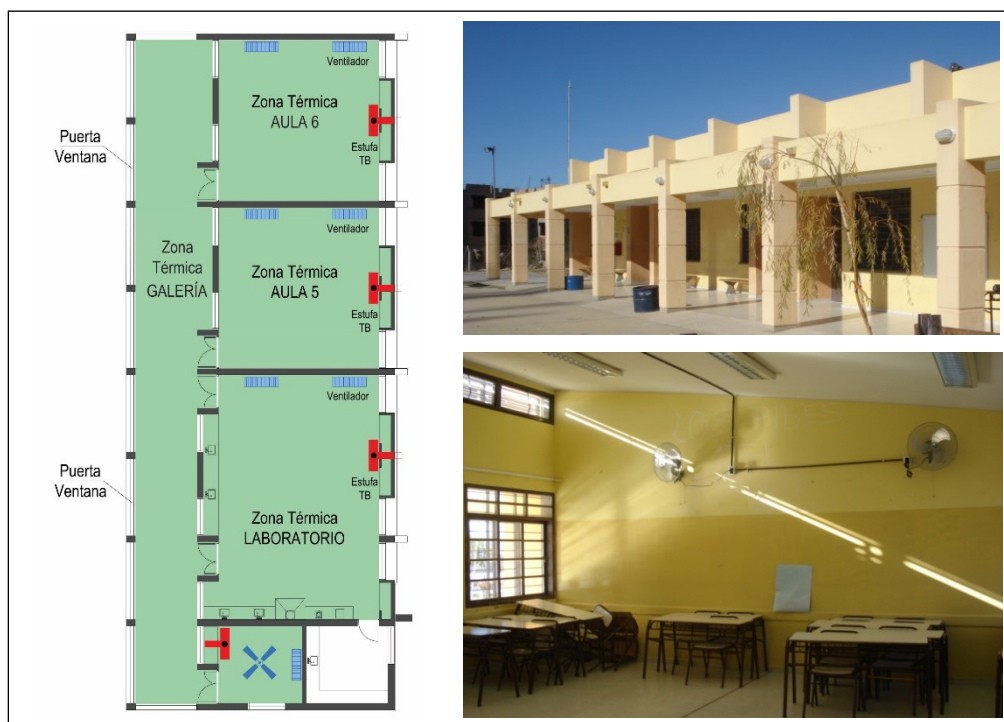


Figura 3: Izquierda: Planta de detalle de crujía sur y propuesta de cerramiento de Galería, como zona térmica simulada con Simedif. Derecha: Fotografías de la circulación e interior del Aula 5.

Calibración con datos medidos

En esta primera instancia del trabajo convergen, por un lado, los datos que surgen de las mediciones higrotérmicas y del registro detallado de la información provista por los usuarios; por otro, las prestaciones del propio modelo de simulación en Simedif con la carga de datos relacionados a la materialidad y superficies de envolventes y de las zonas térmicas.

Según la auditoría, entre los días 8 y 13 de julio (excepto el día 9) se realiza la limpieza del edificio en horario de la mañana. Los resultados de las mediciones y registros energéticos, evidencian que desde el día 13 y hasta el fin del receso escolar los calefactores quedan encendidos en piloto y/o al mínimo de potencia. Otro dato tenido en cuenta, según la información registrada en visitas al establecimiento, es que las cortinas de tela en el laboratorio permanecen cerradas durante todo el período de monitoreo.

A su vez, el estudio de los datos climáticos revela que las condiciones externas entre el 8 y el 16 de julio se caracterizan por valores similares de irradiación solar (alrededor de 500 W/m^2). La temperatura alcanza su mayor valor el día 16 a las 16 h, con $25,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Posteriormente, se observa un descenso brusco de la temperatura hasta los $0 \text{ }^\circ\text{C}$, que tiene lugar el día 19 a las 9 h. La irradiación también desciende a 200 W/m^2 al mediodía solar.

En la Figura 4 se observan los resultados de la calibración para cada área funcional. De acuerdo con los resultados de la evolución de la temperatura, la galería evidencia fluctuaciones térmicas en concordancia con la temperatura exterior. La misma es considerada como zona térmica. Para maximizar el intercambio de aire con el exterior se colocaron tres puertas que permanecen abiertas las 24 h. Para la galería se estiman 6 renovaciones por hora, mientras que para los espacios educativos el valor corresponde a 0,5.

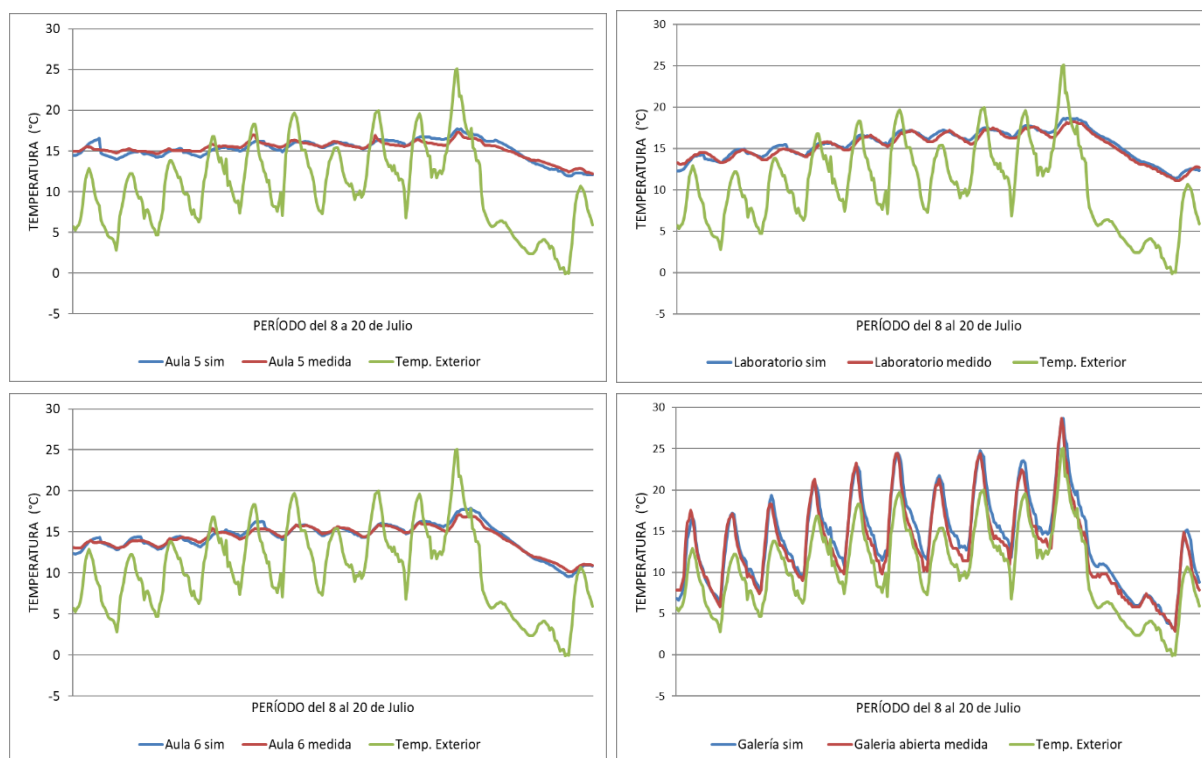


Figura 4: Datos medidos (rojo) y ajustados con SIMEDIF (azul) para el período del 8 al 20 de julio.

Conjuntamente, se realiza un análisis de regresión lineal simple para estudiar el grado de asociación entre los datos medidos y los simulados. La Tabla 1 muestra las correlaciones de Pearson, en las cuales se evidencian coeficientes elevados en cada espacio, lo que demuestra una fuerte relación lineal en las distintas áreas funcionales. En la misma Tabla se indica el Valor-P, que confirma la significancia estadística de las correlaciones, con valores de 0,0 y un nivel de confianza del 95%. Estos resultados permiten ratificar la validez del modelo termofísico y avalan su uso para el estudio del potencial de intervención energética.

Tabla 1: Correlación y Valor-P entre la temperatura del aire, medida y simulada.

| Zona térmica | Correlaciones de Pearson | Valor-P |
|--------------|--------------------------|---------|
| Aula 5 | 0,945 | 0,00 |
| Aula 6 | 0,983 | 0,00 |
| Laboratorio | 0,981 | 0,00 |
| Galería | 0,983 | 0,00 |

Estudio del potencial de intervención: Galería cerrada en invierno

Una vez calibrado el modelo se procede a realizar la simulación de las distintas zonas térmicas con la galería cerrada, como espacio intermedio de transición. En un primer momento se analiza el comportamiento sin alumnos y sin carga térmica auxiliar, recreando el uso característico del período de receso escolar. En la Figura 5 se comparan los resultados de las simulaciones con los datos de las mediciones in-situ con el fin de identificar el impacto de las mejoras en cada uno de los locales. En los gráficos de la izquierda, se observa que existe una importante similitud entre las temperaturas interiores del Aula 5 y del Aula 6, ambas con un comportamiento equilibrado que suaviza la variabilidad y amplitud térmica exterior. Es posible observar que, entre los días 15 a 18, las temperaturas interiores de A5 y A6 superan a los registros de las mediciones. Sin embargo, hacia el final del período con el ingreso de un frente frío y descenso de temperatura, se identifica que A6, ubicada en el extremo de la crujía y con tres envolventes verticales en contacto con el exterior, registra un mayor descenso de la temperatura interior y evidencia ser más propensa a los efectos de cambios meteorológicos.

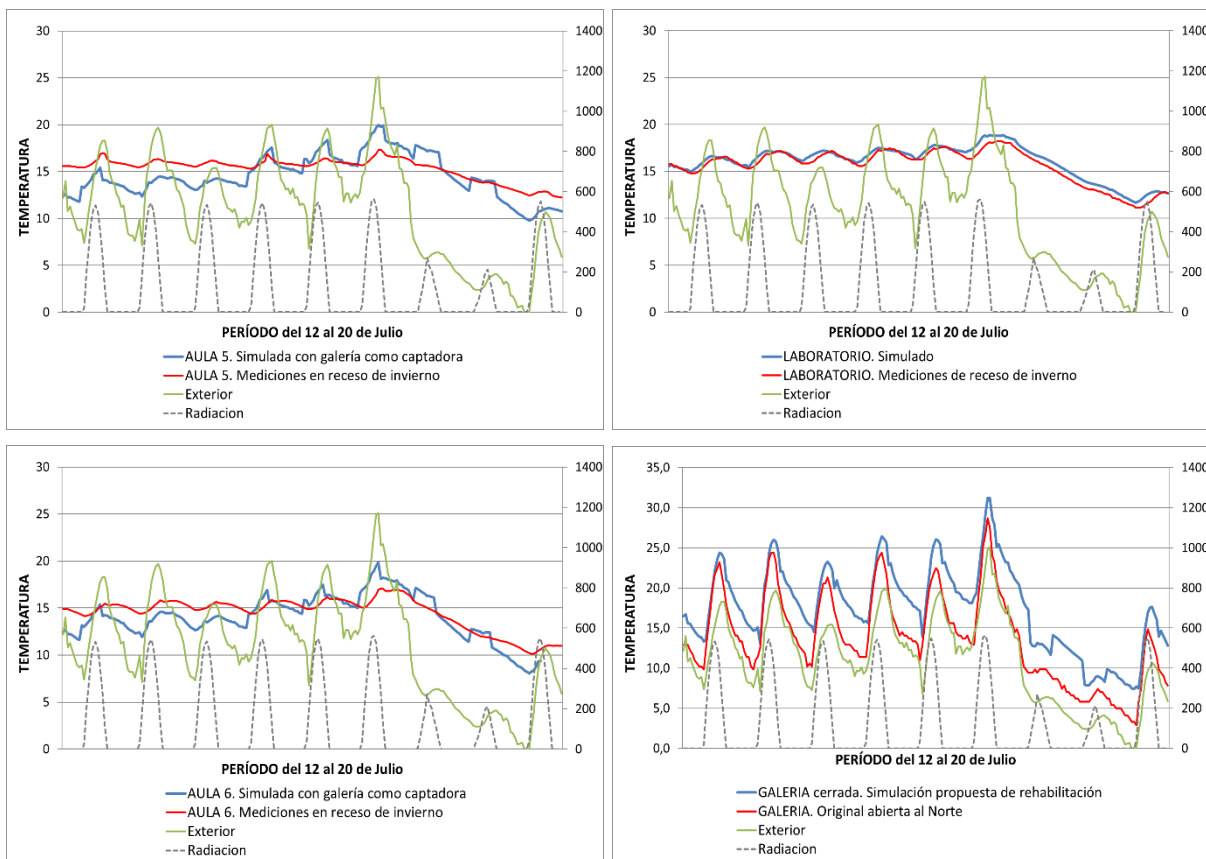


Figura 5: Resultado de la simulación en aulas, laboratorio y galería abierta.

En relación a la galería cerrada como estrategia de diseño pasivo para el mejoramiento térmico, la imagen inferior derecha de la Figura 5 refleja su importante potencial de intervención. El cerramiento

vidriado actúa como colector de la energía y la masa de las envolventes permite su acumulación, lo cual impacta con temperaturas más elevadas durante todo el período de análisis. Los datos indican que el nuevo espacio de transición es capaz de aumentar los valores entre un mínimo de 0,4 °C y un máximo 10 °C en distintos días y horarios, con un promedio de 5,5 °C superior a la temperatura exterior. Esta diferencia térmica repercute en las condiciones interiores de los locales, optimizando su comportamiento y la convierte en una adecuada medida de rehabilitación edilicia para la climatización de época fría. En base a lo detallado, se decide representar el comportamiento térmico de los espacios en un gráfico unificado (Figura 6).

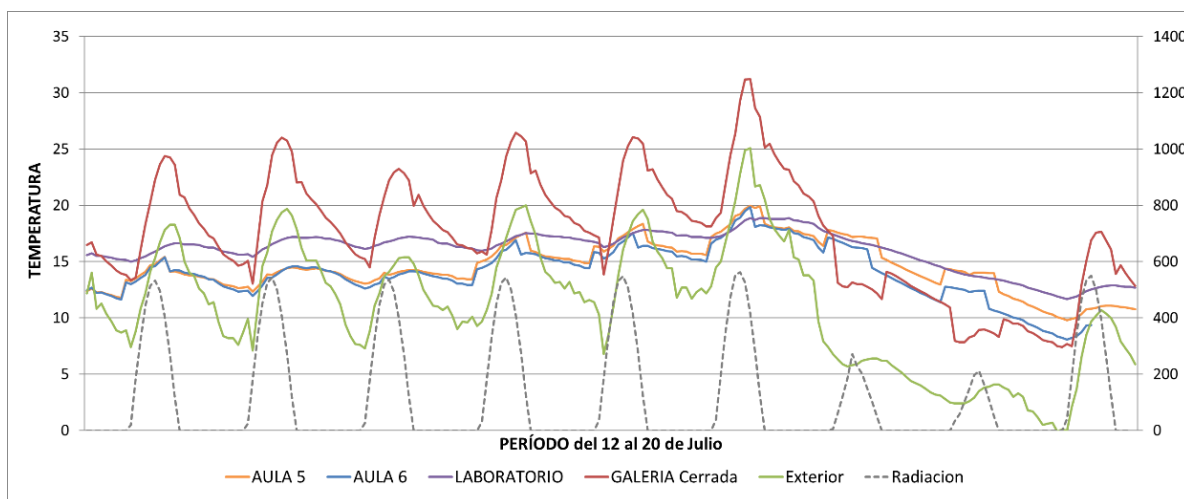


Figura 6: Simulación térmica con galería cerrada y apertura de puertas entre las 10h y 19h.

Posteriormente, se desea conocer el impacto de las ganancias internas en el comportamiento térmico de las Aulas 5 y 6 por el aporte de 27 alumnos en los turnos mañana y tarde. En la Tabla 2 se exponen los valores de las temperaturas promedio, por local. Los resultados muestran que se registra un incremento de 1,6 °C en A5 y de 1,5 °C en A6. Por su parte, en la Galería, el aumento de 1,9 °C es producto del cierre vidriado.

Tabla 2: Temperatura promedio de cada zona térmica sin calefacción auxiliar.

| Zona térmica | Temperatura promedio (°C) | |
|---------------------------|---------------------------|--|
| | Galería abierta | Galería cerrada cuyas puertas se abren entre las 10h y 19h |
| Aula 5 (con alumnos) | 11,2 | 12,8 |
| Aula 6 (con alumnos) | 11,0 | 12,5 |
| Laboratorio (sin alumnos) | 10,9 | 11,4 |
| Galería | 13,6 | 15,5 |
| Exterior | 10,2 | |

En complemento, se analiza el requerimiento energético del sector de estudio. Con la utilización del programa de simulación se calcula el consumo de gas natural diario para calefacción, considerando las horas de la jornada escolar. Como datos de temperatura, se utilizan los valores promedio del período, máxima (18,5 °C), media (10,6 °C) y mínima (2,7 °C). Para la radiación solar sobre superficie horizontal se toma 10,8 MJ/m². Además, se contempla la superficie captadora al norte y las cargas internas por alumnos. Por otro lado, en relación al uso, se configura el termostato a 16 °C y se dispone la galería abierta entre las 10 h y las 19 h. El resultado obtenido es un consumo total de 25 m³ para toda la crujía, con valor unitario de 0,12m³/m². Con este dato, el consumo en calefacción se distribuye en 5m³ para A5, en 9 m³ para A6 y en 11 m³ para LAB. Los valores acuerdan con las características de los ambientes. En A6, son mayores las pérdidas de calor debido a la mayor superficie de envolvente expuesta al exterior, mientras que en LAB, la ausencia de ganancias internas, junto con un mayor volumen y área climatizada, aumentan la demanda en calefacción.

Comportamiento de época cálida: Galería con ventilación nocturna

Con el objetivo de analizar la posibilidad de un sobrecalentamiento indeseado de la galería vidriada, se realiza la simulación térmica para un día de primavera perteneciente al calendario escolar y caracterizado por sus elevadas temperaturas. Dado que el cierre de este espacio de transición corresponde a un recurso favorable para estaciones frías es necesario conocer su comportamiento en época cálida.

Para el análisis se considera el espacio sin aire acondicionado (AA) y con las puertas de la galería abiertas durante las horas nocturnas. La jornada a evaluar es la del 29 de noviembre, pero se cargan datos de temperaturas del aire desde las 12 h del medio día del 28 hasta las 12 h del 30. Para el estudio se hace uso del del modelo termo-físico del edificio previamente calibrado, se utilizan las temperaturas promedio (máxima 33,1 °C, media 25,5 °C y mínima 18,0 °C), la radiación solar sobre superficie horizontal (25,2 MJ/m²) y se simula en estado periódico permanente representativo de la temporada de verano. En este proceso se examina meticulosamente la dinámica térmica de los espacios.

Como estrategia de refrescamiento se evalúa la apertura nocturna de puertas exteriores entre las 0 h y las 7 h, con 7 renovaciones de aire. A su vez, se resuelve la apertura puertas que conectan las aulas con la galería, entre las 5 h y las 7 h, previendo el horario de llegada del personal de maestranza e inicio jornada escolar. Con dichos datos cargados, el programa hace el cálculo de temperaturas horarias.

Los resultados de la simulación evidencian que la temperatura promedio diaria es de 30,2 °C en A5, de 29,6 °C en A6 y de 27,9 °C en LAB. A su vez, en la galería, se registran 28,8 °C, que representa 3,3 °C por encima de la T° exterior (25,5 °C). En la Figura 7 se observa el aumento de la temperatura en las aulas (con una media de 5 °C) como resultado de las ganancias internas durante la jornada escolar. Entre las 8 h y las 18 h, en período sin AA, los resultados muestran temperaturas promedio de 31,3 °C (A5), 30,6 °C (A6) y 28,1 °C (laboratorio), con una T° exterior de 28,4 °C. Por su parte, los datos medidos en comparación con los simulados quedan expresados en la tabla derecha. En ella se reconocen las similitudes entre ambas situaciones, indicando que no existe sobrecalentamiento significativo en la propuesta de cerramiento vidriado de la galería. La mayor diferencia se registra en A5, donde se la T° promedio es 1,8 °C más elevada.

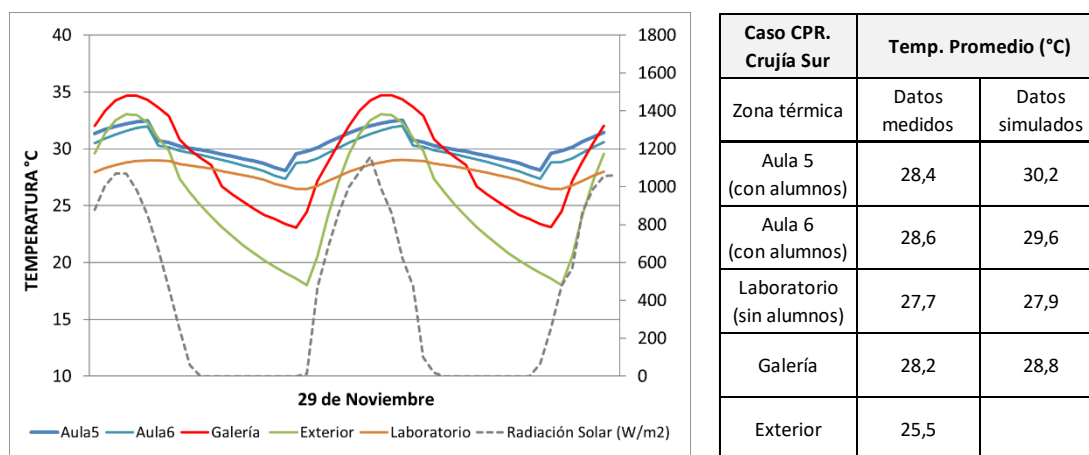


Figura 7: Simulación del comportamiento térmico de la propuesta de rehabilitación en época cálida. Tabla con datos de temperatura, medidos y simulados.

Respecto a los valores de T°_{min} y T°_{max}, se observa que, A5 registra 28,0 °C (6 h) y 32,5 °C (17 h), A6 alcanza 27,3 °C (6 h) y trepa hasta los 32 °C (17 h), mientras que LAB, evidencia 26,4 °C (7 h) y 29 °C (17 h) respectivamente. Por su parte, en la galería, la T°_{max} asciende a 34,5 °C a las 16 h, con un desfase de una hora respecto a la máxima exterior, y la T°_{min} es de 22,8 °C a las 7 h. Con ello se identifica la posibilidad de optimizar la transferencia de calor por convención desde las aulas hacia el espacio de transición por medio de un ventilador y eliminarlo a través de un extractor eólico ubicado en el techo.

Por último, se analizan los requerimientos de climatización mecánica para dichos ambientes, estimando la carga de refrigeración diaria. Para el estudio se considera una temperatura de termostato de 26 °C (IRAM 11659-1). Los resultados obtenidos indican que el consumo energético es de 57 kWh para la jornada escolar desarrollada entre las 8h y las 18h, los cuales corresponden a 24 kWh (A5), 19 kWh (A6) y 13 kWh (laboratorio). El consumo de energía por unidad de superficie útil es de 0,27 kWh/m². Vale destacar que no se observan diferencias en la carga de refrigeración requerida en cuanto al horario de apertura de las puertas de la galería. En base a ello se dimensionan los equipos necesarios, siendo los mismos de 5500 fg/h (Frigorías) para el aula 5, 4472 fg/h para el aula 6, y 2924 fg/h para el laboratorio.

CONCLUSIONES

El estudio desarrollado permite verificar el potencial de intervención de una propuesta de diseño pasivo, elaborada para la rehabilitación térmico-energética de un edificio escolar existente de zona árida. La misma consiste en la conformación de una nueva zona térmica en el espacio Galería, que funcione como ambiente cerrado de transición, entre el patio exterior y los espacios educativos interiores.

El modelo de simulación dinámica, calibrado con los datos de temperatura medidos en instancias de monitoreo in-situ, otorgan validez y confiabilidad a los resultados alcanzados. Además, los registros de los relevamientos y auditorías, junto con la participación activa de los usuarios durante las mediciones, permite contar con la información necesaria para la carga de datos precisos, minimizando las discrepancias entre simulación y calibración.

El análisis de los ambientes que integran la crujía sur del caso CPR, a partir del uso de la herramienta de simulación, muestra que se pueden alcanzar temperaturas más elevadas, tanto mínimas como máximas, durante la época fría. Los resultados conseguidos verifican la contribución de la propuesta de adecuación arquitectónica, a la optimización del acondicionamiento térmico. Se destaca que la galería cerrada, con envolventes vidriadas y con posibilidad de apertura, actúa como colectora y acumuladora, es decir que involucra los procesos de solarización y conservación de la energía. En este aspecto, los datos indican que dicha estrategia es capaz de elevar las temperaturas del nuevo espacio, en un promedio de 5,5 °C superior a la temperatura exterior. Esta diferencia térmica repercute en las condiciones interiores de los locales mejorando su comportamiento.

Por último, la propuesta de rehabilitación también es estudiada para un día de época cálida, con el objetivo de analizar la posibilidad de sobrecalentamiento indeseado. Para esto, se lleva a cabo el proceso de simulación para días lectivos del mes de noviembre que presenten elevadas temperaturas. Los resultados obtenidos demuestran que no existen grandes diferencias térmicas con los datos de las mediciones.

Se concluye que el trabajo representa una importante contribución para la rehabilitación térmico-energética de edificios escolares existentes en la ciudad de San Juan, al evaluar una propuesta de fácil implementación. A su vez, la identificación del potencial térmico de las circulaciones cerradas, que actúen como espacios intermedios entre el interior y el exterior, es una pauta de diseño a destacar para instancias proyectuales de nuevas infraestructuras escolares.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

La presente investigación se enmarca en el proyecto CICITCA 2023-2025 (Código 21A/0987). A su vez, la base de datos de auditorías y monitoreos utilizada para la elaboración del trabajo, forma parte de la Tesis Doctoral de la Mg. Arq. María Guillermina Ré, con dirección de la Dra. Arq. Celina Filippín, del Doctorado en Arquitectura, de la Universidad de Mendoza.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de San Juan por la contribución en el financiamiento de la investigación en el marco de los proyectos mencionados.

REFERENCIAS

- Alamino-Naranjo, Y. y Ré, M. G. (2022). Ambiente interior y satisfacción de usuarios en aulas de zona árida. Estudio de caso. *Revista de Arquitectura*, vol. 27, pp. 126-139.
- Barbosa, F.C.; de Freitas, V.P. y Almeida, M. (2020) School building experimental characterization in Mediterranean climate regarding comfort, indoor air quality and energy consumption. *Energy & Buildings*, Vol. 212. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109782>
- Boutet, M.L y Hernández, A.L. (2022). Validación de propuestas de optimización ambiental de un jardín de infantes de tipología compacta, en clima muy cálido-húmedo. *Revista Hábitat Sustentable* Vol. 12, N°1, pp. 24 -43. DOI: <https://doi.org/10.22320/07190700.2022.12.01.02>
- De Faria Rodrigues, Siene; Herbst Vazquez, Gisele; Morais, Jonder (2019). Replacement of fluorescent lamps with Light Emitting Diode (LED) in an educational institution: environmental, energetic and economic concern. *Eng Sanit Ambient*, v.24, n.4, pp. 799-808.
- Gonzalo, G. (2015). *Manual de arquitectura bioclimática y Sustentable*. (5° ed). Colaboración: Nota, V.M. Editorial Nobuko.
- Heracleous, C., y Michael, A. (2020). Thermal comfort models and perception of users in free-running school buildings of the East-Mediterranean region. *Energy and Buildings*, 215. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109912>
- Hou, G., Zhai, X., Kuai, Y., Shu, P., Ping, Z., y Wei, S. (2024). A systematic review on studies of thermal comfort in building transitional space. *Journal of Building Engineering*, 89, 109280. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.109280>
- IEA (2024-b). *World energy Outlook*. International Energy Agency. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>
- IRAM 11603 (2012). Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina. Instituto Argentino de Normalización.
- IRAM 11659- 1 (2004). Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 1: Vocabulario. (1° ed.) Instituto Argentino de Normalización.
- Katafygiotou, M.C. y Serghides, D.K. (2014). Analysis of structural elements and energy consumption of schoolbuilding stock in Cyprus: Energy simulations and upgrade scenarios of a typical school. *Energy and Buildings*, v.72, p. 8–16.
- Filippín, C. (2005) *Uso eficiente de la energía en edificios*. Ediciones Amerindia. Santa Rosa, La Pampa.
- Flores Larsen, S. (2019). SIMEDIF 2.0 (Versión Beta). Software para el cálculo del comportamiento térmico transitorio de edificios. Manual del Usuario. INENCO, UNSa-CONICET, Salta, Argentina.
- Mansouri, K.; Sriti, L. y Guedouh, M. S. (2022). Post-Occupancy Evaluation of Thermal Comfort Sensation of Pupils in School Establishments under Hot Arid Climate Conditions. *Technium Social Sciences Journal*, Vol. 34, pp. 180-192. www.techniumscience.com
- Pereira, L., Raimondo, D., Stefano, P., Corgnati., M., Da Silva. G. (2014). Energy consumption in schools. A review paper. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. DOI: 10.1016/J.RSER.2014.08.010
- Ré, G. (2025). Eficiencia térmico-energética de edificios escolares existentes en el Área Metropolitana de San Juan. Propuesta metodológica de evaluación y calificación. Tesis doctoral. Doctorado en Arquitectura. Universidad de Mendoza.
- Ré, G., Mazzocco, M. P. y Filippín, C. (2021). Mejoras de eficiencia energética en calefacción. Potencial de intervención en edificio escolar existente del Área Metropolitana de San Juan, Argentina. En *Revista Hábitat Sustentable*. Vol.11, N°1, pp. 21-31.

- Ré, G., Blasco Lucas, I. y Filippín, C. (2016). Evaluación higrotérmica y energética de un edificio escolar perteneciente al Programa Nacional 700 Escuelas, en el Área Metropolitana de San Juan, Argentina. *Revista Hábitat Sustentable*. Vol. 6, N°2, pp. 40-51.
- Salameh, M., & Taleb, H. (2017). Courtyard as passive design solution for school buildings in hot area. <https://doi.org/10.11159/AWSPT17.141>
- Satpal, Kalpana, Bhunik Kumar (2023). Optimizing Energy Efficiency to Design IGBC Green Schools in Composite Climate. IOP conference series: Earth and Environmental Science, Volume 1326, International Conference on Creative and Innovative Solutions in Civil Engineering (CISCE-2023). Jaipur, India. DOI: 10.1088/1755-1315/1326/1/012045
- SIMEDIF (2020). Simedif. Versión 2.0. Programa de diseño y cálculo del comportamiento térmico de edificios. INENCO- UNSa- CONICET. Salta, Argentina.
- Singh, M. K., Ooka, R., Rijal, H. B., Kumar, S., Kumar, A., y Mahapatra, S. (2019). Progress in thermal comfort studies in classrooms over the last 50 years and way forward. *Energy and Buildings*, 188-189, 149-174. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.051>

EVALUATION OF A THERMAL-ENERGY REHABILITATION PROPOSAL FOR AN EXISTING SCHOOL BUILDING BASED ON DYNAMIC SIMULATION

ABSTRACT: The energy consumption of conventional school buildings in the city of San Juan is primarily focused on heating and lighting systems. However, various case studies show a thermal deficit that hinders the proper development of educational activities. This paper aims to evaluate a design proposal for the thermal and energy renovation of an existing school building in arid zone. For this purpose, the cold season was selected as the period with the highest energy consumption. The analysis of the interior conditions of the spaces is performed using dynamic simulation, with the production of thermophysical models calibrated with data obtained from in-situ hygrothermal measurements during the winter recess period. It is concluded that the implementation of a glass enclosure in the galleries, which originally functioned as semi-covered circulation areas, allows the temperature to be raised by an average of 5.5°C during the study period and reduces unwanted drafts inside the classrooms. At the same time, it is verified that the proposal does not show evidence of overheating of the new transition area during the warm season, which demonstrates the significant potential for intervention.

Keywords: school building, thermal conditioning, rehabilitation, dynamic simulation