

Evaluación energética y rehabilitación de la envolvente edilicia de una escuela en zona bioambiental templada cálida, Argentina

Energy evaluation and retrofitting of the building envelope of a school in warm temperate bioenvironmental zone, Argentina

Guillermina Ré (*), Celina Filippín (**)

RESUMEN

El objetivo del trabajo es identificar ahorros energéticos potenciales de distintas propuestas de rehabilitación de la envolvente de un edificio escolar ubicado en la ciudad de San Juan, Argentina. Se analiza el comportamiento energético a partir de los consumos históricos de electricidad y gas natural. También se evalúan las propiedades térmicas de los cerramientos y se calculan los indicadores energéticos en régimen estacionario. Para dar solución a los problemas de materialidad constructiva se elaboran propuestas que permitan a los componentes alcanzar los valores de transmitancia térmica sugeridos por la Norma IRAM 11605 en los niveles de confort térmico *recomendado* y *medio*. Los resultados alcanzados evidencian que la Rehabilitación Óptima proyecta una reducción del 55% en los requerimientos energéticos para calefacción. Sin embargo, la Rehabilitación Media con ahorros del 47%, se posiciona como la más conveniente al considerar también los costos económicos de construcción actuales.

Palabras clave: escuela; envolvente; propiedades térmicas; rehabilitación; energía.

ABSTRACT

The objective of the work is to identify potential energy savings from different proposals for the retrofitting of the envelope of a school building located in the city of San Juan, Argentina. The energy behavior is analyzed from the historical consumption of electricity and natural gas. The thermal properties of the closings are evaluated and the energy indicators are calculated in stationary regime. In order to solve the problems of constructive materiality, proposals that allow the components to achieve the thermal transmittance values suggested by the IRAM 11605 Standard in the recommended and average levels of thermal comfort, are developed. The results achieved shows that Optimal Rehabilitation projects a 55% reduction in energy requirements for heating. However, Medium Rehabilitation, with savings of 47%, is positioned as the most convenient one, when also is considered current economic construction costs.

Keywords: school; envelope; thermal properties; rehabilitation; energy.

(*) Mg. Arquitecta. Becaria CONICET. Investigadora IRPHa, FAUD, UNSJ, San Juan (Argentina).

(**) Dra. Arquitecta. Investigadora CONICET. Santa Rosa, La Pampa (Argentina).

Persona de contacto: guillerminare@gmail.com (G. Ré)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3109-7138> (G. Ré); <http://orcid.org/0000-0002-0521-6180> (C. Filippín)

Cómo citar este artículo/Citation: Guillermina Ré, Celina Filippín (2021). Evaluación energética y rehabilitación de la envolvente edilicia de una escuela en zona bioambiental templada cálida, Argentina. *Informes de la Construcción*, 73(563): e407. <https://doi.org/10.3989/ic.79374>

Copyright: © 2021 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Recibido/Received: 20/04/2020
Aceptado/Accepted: 07/12/2020
Publicado on-line/Published on-line: 03/09/2021

1. INTRODUCCIÓN.

Dentro de los diferentes sectores intervinientes en la problemática energética y de emisiones de dióxido de carbono (CO²), el parque edilicio posee un índice significativo, al ser un importante consumidor de energía a nivel mundial. La construcción de edificios y su operación representaron el 36% del consumo de energía final global y produjeron 39% del CO² durante el año 2017 (1). En Argentina, según los datos publicados por la Secretaría de Energía (2018) en el Balance Energético Nacional (2), la participación de este sector en el consumo total de energía fue del 34%, correspondiendo 26% al sector residencial y 8% al comercial y público. Dicha situación ha motivado la elaboración de estrategias de eficiencia energética que permitan fomentar el uso racional de los recursos y reducir la generación de emisiones. A nivel global, el informe de la IEA (1) menciona que la mayoría de los países han incluido en sus contribuciones el impulso de los edificios sostenibles y la actualización e implementación de los códigos de energía para las edificaciones y las políticas de certificación. En el ámbito nacional, se ha avanzado en el desarrollo y difusión de etiquetas de eficiencia energética, principalmente para edificios residenciales (3). En este contexto, adquieren importancia las acciones tendientes a disminuir la demanda energética partir de la regulación y rehabilitación de la materialidad de las envolventes.

La falta de conocimiento sobre los factores que determinan el uso de la energía en edificios representa una dificultad para lograr la eficiencia energética de los mismos (4). Las escuelas son edificios públicos que poseen particularidades en su diseño, construcción y funcionamiento. El análisis de consumos energéticos en tipologías escolares a partir de auditorías es un tema relevante para dirigir esfuerzos (5, 6, 7). Distintos autores defienden que la línea base de consumo debe establecerse tomando la energía facturada (8).

Una revisión del estado del arte a nivel mundial (9), analiza el consumo energético de edificios escolares. En escuelas de Estados Unidos, se reconoce que el mayor consumo es para calefacción con un 47%, seguido de iluminación (14%) y refrescamiento de ambientes (10%). La misma investigación sintetiza y compara consumos energéticos por unidad de superficie en edificios escolares de 18 países. Se observa que aquellos con mayores registros son Japón y Eslovenia, con valores de 278 kWh/m²/año y 272 kWh/m²/año respectivamente. Los que evidencian menores consumos son Alemania (43 kWh/m²/año), Hong Kong (59 kWh/m²/año) y Grecia (69 kWh/m²/año).

Estudios en Brasil han avanzado en esta línea temática integrando datos de energía facturados y respuestas a un cuestionario, para construir un modelo basado en evidencia (10). Se analiza el indicador de la intensidad del uso de energía (1) y se reconoce que es más confiable relacionar el rendimiento energético en función del número de estudiantes, en vez de unidad de superficie en planta. En Reino Unido, un estudio enfatiza la importancia de las mediciones y la verificación del consumo de energía operativa durante la etapa de uso de edificio escolar, con respecto a las proyecciones de diseño (11).

En Argentina, existen estudios analíticos que identifican los requerimientos de energía para climatización en edificios escolares aplicando modelos de simulación numérica (12), y dinámica (13). Estos trabajos evalúan el comportamiento ener-

gético y proponen soluciones constructivas que garanticen adecuadas condiciones térmicas interiores. No obstante, se reconoce en el país un déficit de información sobre consumos energéticos en edificios escolares en base a datos empíricos obtenidos de las boletas de servicio de gas natural y electricidad. La importancia de las auditorías energéticas para definir el caso de referencia, sobre el cual elaborar las propuestas de mejoras sustenta la contribución del presente trabajo.

Como antecedente se pueden mencionar trabajos realizados en escuelas de La Pampa. Uno de ellos (14), documenta valores de consumos energéticos en escuelas de diferentes localizaciones geográficas: en Realicó 63,3 kWh/m²/año (GD °18= 1200), en Castex de 195,8 kWh/m²/año (GD °18 = 1350) y en Santa Rosa de 120,8 kWh/m²/año (GD °18 = 1500). Otra investigación llevada a cabo en 15 establecimientos escolares de Santa Rosa indica que el gas natural representa un 89,2%, mientras que la electricidad lo hace en un 10,8% (15). Para la ciudad de San Juan, un estudio sobre 17 escuelas públicas, primarias y secundarias, reconoce que el 45% del consumo energético corresponde al gas natural y que un 55% a la electricidad (16).

Las escuelas se presentan como una oportunidad de revertir el problema ambiental del uso de la energía, si se considera a los edificios como redes en lugar de entidades independientes (17). En Argentina, la construcción de infraestructura escolar es tradicionalmente producto de planes masivos de intervención estatal, con la adopción de prototipos. En base a esto, se destaca la relevancia que tienen los estudios de casos para elaborar soluciones que den respuestas al diseño de futuras intervenciones en edificios educativos (12).

Se identifican trabajos que realizan aportes significativos con propuestas de rehabilitación edilicia para casos de estudio. En España, para el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (18) se proponen mejoras para la eficiencia energética y la reducción de emisiones, a partir del análisis del comportamiento energético en base a facturas de servicio. En Grecia, una investigación presenta propuestas de diseño y tecnologías para optimizar el rendimiento energético de una escuela albergue (19). Con ellas, se logra una reducción de la demanda de energía en casi un 68% y una mejora significativa del confort térmico interior. También en Portugal se han realizado avances sobre confort, calidad del aire y consumo energético de edificios escolares, con un estudio experimental de rehabilitación a un prototipo de aula de la escuela de Brandão (20).

El objetivo del presente trabajo es evaluar la envolvente y el consumo de energía de un edificio escolar del Programa Nacional 700 Escuelas en San Juan. A partir de analizar las características de la tecnología original, se estudian las propuestas de rehabilitación para disminuir la demanda energética. Los resultados alcanzados con el estudio pueden servir a otros edificios escolares que posean similares características constructivas en la materialización de las envolventes, y que se encuentren localizados en la Zona Bioambiental III-a: templada cálida.

2. METODOLOGÍA

2.1. CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio es el Colegio Provincial de Rivadavia (CPR), una institución de gestión estatal de nivel secundario,

que comenzó a funcionar en agosto del año 2008 (Figura 1). Pertenece al Programa Nacional 700 Escuelas (PN-700E), implementado entre el 2004 y el 2008, pero que tuvo continuidad hasta el 2015 con los Programas Más Escuelas I, II y III. En este marco, existen en el país un total de 2370 escuelas públicas terminadas, de las cuales 71 se ubican en la Provincia de San Juan. El caso fue seleccionado por tener una alta representatividad dentro de la población de estudio, tanto en su configuración funcional, como en su tecnología constructiva (21).



Figura 1. Acceso al edificio (arriba) y sector aulas crujía sur (abajo).

La escuela consta de dos zonas de aulas. En el plano del edificio (Figura 2) se identifican con color los espacios climatizados artificialmente, que presentan un uso regular y diario. El edificio posee una superficie cubierta de 1169,4 m², pero el

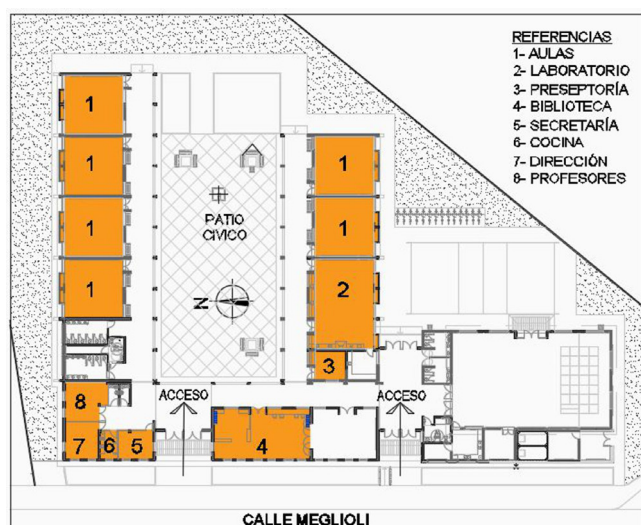


Figura 2. Planta CPR con indicación de espacios calefaccionados.

área calefaccionada es de 604,38 m². Las circulaciones son semi-cubiertas, a través de galerías.

Los muros son de mampostería de ladrillón¹ de 30 cm o 22 cm, con terminación exterior de revoque. Los cerramientos superiores difieren en su materialidad. Para las aulas se utiliza losa inclinada con terminación de baldosa cerámica. Para las galerías, administración y servicios, losa plana. La carpintería es de marco de chapa y vidrio simple; cuenta con parasoles en las orientaciones norte y oeste.

2.2. Localización geográfica

La ciudad se ubica a 640 msnm. Sus coordenadas geográficas son: 31°32'13" latitud sur y 68°31'30" longitud oeste. Perteneció a la zona bioambiental III-a, templada cálida, según la clasificación de la Norma IRAM 11603 (22) para la República Argentina. Se caracteriza por veranos calurosos, con temperaturas medias (TM) de 26°C, y máximas medias superiores a los 30°C. Los inviernos son moderados, con TM de 10°C. La subzona "a" presenta amplitudes térmicas, diarias y estacionales, iguales o mayores a los 14°C. La radiación solar global diaria incidente sobre plano horizontal (23) presenta un promedio de 7,33 kWh/m² para los meses cálidos (de octubre a marzo); y valores de 3,95 kWh/m² para los fríos (de abril a septiembre).

2.3. Consumos energéticos

Se analizan los consumos energéticos del edificio escolar, desde su primer año de funcionamiento (2009) y hasta el 2015. Se reúne y procesa la información de las boletas de servicio de gas natural y electricidad del período en estudio. Con ellas se calcula el promedio histórico y se define una línea base de consumo energético. Con los valores medios se busca compensar la incertidumbre que muchas veces presentan las facturas energéticas. Es usual que las empresas estimen valores en determinados momentos, producto de la falta de lectura del medidor, los cuales ajustan y corrigen en el siguiente período de facturación (24).

La empresa prestadora del servicio de energía eléctrica elabora boletas mensuales para la tarifa que corresponde al caso de estudio. En cambio, la empresa de gas natural, realiza su facturación de manera bimestral. Éstos no coinciden con los meses calendario. El bimestre 1 está integrado por febrero y marzo, mientras que al 6, lo componen diciembre y enero del año siguiente. Para poder analizar los consumos anuales en conjunto se decide organizar los registros mensuales de electricidad de acuerdo a los bimestres de las boletas de gas. Es decir que, en el presente trabajo, cada año se toma desde febrero a enero.

Los datos de gas natural, en m³, se convierten a kWh para posibilitar el estudio comparativo con la electricidad. Se utiliza un factor de conversión de 9,767 kWh/m³, que surge de considerar el Poder Calorífico Inferior del gas natural (8400 kcal/m³) y una equivalencia de 1 kW a 859,8 kcal/h (25, 26).

La climatización se analiza para el año 2013, en el cual se desarrolló una auditoría energética al edificio escolar. En dicha oportunidad se relevaron las instalaciones, los equipos eléc-

¹ Ladrillo macizo, cocido, de mayores dimensiones que el común (27 x 18 x 7 cm).

tricos y a gas para calefacción y refrescamiento y sus potencias (Tabla 1). Se registraron las horas de uso de los mismos, y se realizó la lectura de medidores. En base a esta información se calcularon los consumos mensuales y anuales (27, 28).

Tabla 1. Artefactos de climatización. Cantidades y potencias.

| Cantidad | Artefactos | Potencia |
|--------------|-------------------------------|----------|
| | Gas Natural | (kcal/h) |
| 1 | Cocina - Quemador grande | 1800 |
| 4 | Estufa Volcán tiro balanceado | 3800 |
| 10 | Estufa Volcán tiro balanceado | 5700 |
| Electricidad | | (Watt) |
| 1 | AA - 3500 frigorías | 2150 |
| 10 | Ventilador de pared (aulas) | 90 |
| 5 | Ventilador de pared (admin.) | 90 |
| 1 | Estufa vertical a cuarzo | 1200 |
| 2 | Caloventilador | 1500 |

El análisis del consumo se centra en la fase de funcionamiento del edificio, entendida como energía operativa. El trabajo investiga el comportamiento energético para calefacción (y no para refrescamiento), debido a que el invierno es la estación con más intensidad de uso del edificio escolar. El año lectivo transcurre de marzo a noviembre, con el desarrollo de las actividades educativas. De diciembre a febrero tiene lugar las mesas de exámenes y tareas administrativas y de mantenimiento.

El consumo de gas para calefacción se consigue al descontar del total, el funcionamiento del horno/cocina. Dicho artefacto se utilizada en la preparación de infusiones para el personal, ya que la escuela no posee bufete. Su consumo se calcula de acuerdo a la potencia (Tabla 1) y las horas de uso. Durante el bimestre 6 (meses de verano), la cocina es el único artefacto a gas utilizado. El establecimiento escolar no posee sistema de agua caliente sanitaria ni otro equipamiento que consuma gas natural.

2.4. Propiedades térmicas de la envolvente

Se analizan las propiedades térmicas de la envolvente vertical y horizontal de los sectores que poseen acondicionamiento artificial. La evaluación en régimen estacionario se realiza aplicando los procedimientos de las Normas IRAM vigentes. La utilización de métodos teóricos de cálculo, constituyen una herramienta con un gran potencial en la etapa de análisis y propuestas de mejoras energéticas de los edificios existentes (29).

Para el cálculo de la Transmitancia Térmica² (K) se utiliza el programa desarrollado por Gonzalo (30) en el Centro de Estudios Energía y Medio Ambiente (CEEMA), el cual se basa en la metodología de la Norma IRAM 11601 (31). Ésta última indica que K es la inversa de la resistencia térmica total de un elemento constructivo. Dicho valor se obtiene de la sumatoria de las resistencias de cada material que integra el elemento, y de las resistencias superficiales, interior y exterior.

La IRAM 11605 (32) establece K máximos para muros y techos que aseguren condiciones mínimas de habitabilidad. Éstos se organizan de acuerdo a tres niveles según las condiciones de confort higrotérmico: Nivel A (*recomendado*); Nivel B (*medio*); Nivel C (*mínimo*). En la Tabla 2 se muestran los valores que corresponden a la ciudad de San Juan, Zona Bioambiental III-a.

Tabla 2. Valores K máximos admisibles para ciudad de San Juan

| Estación | Elemento | Nivel A | Nivel B | Nivel C |
|----------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | W/m ² K | W/m ² K | W/m ² K |
| Invierno | Muro | 0,30 | 0,82 | 1,42 |
| | Techo | 0,26 | 0,68 | 1,00 |
| Verano | Muro | 0,50 | 1,25 | 2,00 |
| | Techo | 0,19 | 0,48 | 0,76 |

El Coeficiente Volumétrico de Pérdidas de Calor (G_{cal}) y la Carga Térmica de Calefacción Anual (Q_{cal}) del edificio, se calculan según lo especificado en la Norma IRAM 11604 (33), y detallado en las ecuaciones [1] y [2]. Dicha Norma incluye en su campo de aplicación a los edificios educativos, sin embargo, no presenta valores G_{cal} admisibles para edificios de otros usos diferentes al residencial. Para el presente trabajo se toman como referencia los valores disponibles.

$$[1] \quad G_{cal} = \frac{\sum K_m \cdot S_m + \sum K_v \cdot S_v + \sum \gamma K_r \cdot S_r + \text{Per.} \cdot P_p}{V} + 0,35n$$

$$[2] \quad Q_{cal} = \frac{8 \text{ GD } G_{cal} V}{1000}$$

El G_{cal} [1] se obtiene de la sumatoria de los K por unidad de superficie (K.S) de los cerramientos de la envolvente: opacos (m), no opacos (v), lindantes (r); el perímetro del piso en contacto con el exterior (Per.) y sus pérdidas (Pp.); dividido en el volumen interior calefaccionado (V). A esto se le suman las pérdidas de calor por infiltración, de acuerdo la capacidad específica del aire (0,35) y al número de renovaciones (n).

Para el cálculo del Q_{cal} [2] se toman los Grados Día (GD) de calefacción para una temperatura base 18°C. Se opta por este valor al considerar los resultados de monitoreos higrotérmicos y encuestas de confort realizados previamente en el caso de estudio (34). Los GD se calculan de acuerdo al uso del edificio; no se incluyen los días domingos, feriados y tampoco una semana del receso de invierno, cuando la escuela permanece cerrada. Se utilizan los registros climáticos obtenidos de una central meteorológica (35). Las horas de funcionamiento son 8h, a diferencia de edificios residenciales donde la ecuación tiene un valor de 24h.

2.5. Propuestas de mejoras constructivas

Se elaboran propuestas de rehabilitación del cerramiento vertical y horizontal como medidas de optimización de la eficiencia energética del edificio. Las soluciones técnicas se diseñan en consideración al contexto climático, socio-económico y tecnológico local. Se prioriza la integración a los procesos constructivos y la viabilidad para una posible aplicación en edificios públicos existentes.

² Indica la capacidad de aislamiento de los materiales. A nivel internacional se la conoce como Valor U, mientras en Argentina, se la identifica con la letra K.

Se requiere que los componentes de la envolvente rehabilitados (muros, techos y carpinterías) verifiquen los valores de transmitancia térmica indicados en la Norma IRAM 11605 (Tabla 2) en los niveles de confort A- *recomendado* y B- *medio*. Los elementos mejorados individualmente, se organizan en grupos que permitan alcanzar mayores beneficios, respecto a la disminución de los consumos energéticos y a las condiciones térmicas interiores. Los conjuntos de mejoras constructivas reciben el nombre de: Rehabilitación *Simple*, *Media* y *Óptima*. Para ellos se identifican los ahorros energéticos potenciales a partir de calcular las nuevas demandas para calefacción (Q_{cal}). A su vez, se analiza la relación con los valores K Global³ y la proximidad de cada propuesta al G_{cal} admisible especificado en la IRAM 11604 (33).

Para techos y muros se utiliza un Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE). La rehabilitación de la envolvente desde el exterior permite mantener el área útil de las aulas y preservar la masa térmica en el interior. Para la carpintería, la decisión es reemplazar las existentes por unas que disminuyan el problema de infiltraciones de aire, y mejoren el comportamiento térmico. Se evalúan dos alternativas, para el Nivel B, marco de aluminio común con doble vidrio hermético (DVH 6-12-6 mm). Para el Nivel A, unas de alta eficiencia con ruptor de puente térmico (RPT) y DVH.

Esta tecnología ha sido ampliamente estudiada y evaluada por grupos de investigación del país, arribando a conclusiones prometedoras (36, 37, 38). El sistema fue utilizado en edificios bioclimáticos de La Pampa con resultados de vida útil satisfactorios (39). En el análisis de precios se observó que el aislamiento térmico y su protección mecánica en paredes corresponde a un incremento de 1.93% del costo total, mientras que el uso de la carpintería con RPT, es de 1.70% (40).

Los componentes tecnológicos B, constituyen un menor ahorro energético que los A, aunque también requieren de una menor inversión económica. Se incluye un análisis de los costos de construcción por metro cuadrado ($U\$/m^2$) que contribuyan en la toma de decisiones para identificar los conjuntos de propuestas de rehabilitación más convenientes. Investigaciones desarrolladas en la región (41, 42), que han evaluado el aspecto económico y energético, señalan que la incorporación de aislantes térmicos en las envolventes permite alcanzar ahorros sustanciales de energía y mejorar las condiciones de confort de los usuarios.

3. RESULTADOS

3.1. Análisis de consumos energéticos

Los consumos energéticos históricos promedio para el intervalo 2009 – 2015 se ven representados en la Tabla 3. La energía operativa media del caso de estudio, que involucra la sumatoria de los consumos de gas natural y de electricidad, tiene un valor de 90466 kWh/año. En la Tabla se detalla el consumo de gas natural por bimestre según la información suministrada en las boletas de servicio. El valor anual es de 46486 kWh. El Coeficiente de Variación (CV) entre los años analizados es del 14%. Los bimestres 3 y 4, correspondientes al invierno, son los más estables con variaciones del 22% y 18% respectivamente. Al analizar la relación de los consumos entre bimestres, se ob-

tiene un CV de 112%, que establece una diferencia significativa en el consumo anual de gas natural. El mismo aumenta en los meses fríos y disminuye en los meses cálidos.

El consumo promedio de energía eléctrica, con registros mensuales, se agrupa por bimestre en coincidencia con la facturación de gas (Tabla 3). Los consumos anuales durante el período, presentan un CV del 8%, lo cual denota cierta estabilidad en su comportamiento. El promedio histórico es de 43981 kWh. La variación entre los meses es del 15%. Dicha información indica que el uso de la energía eléctrica del edificio escolar no se encuentra afectada por las temperaturas exteriores en las diferentes estaciones del año. Es decir, que no se destina al acondicionamiento térmico de ambientes. Su uso principal es para abastecer al sistema de iluminación, seguido de los equipos electrónicos.

La Tabla 4 resume los datos de consumo en climatización de ambas fuentes de energía durante el año 2013 y los Grados Día para calefacción. No se incluyen en la Tabla las estufas a gas, ya que su consumo se obtiene al descontar de las facturas de gas, la utilización de la cocina. En la Tabla se puede observar que el consumo eléctrico para refrescamiento es de 859 kWh/año, repartido entre los meses de octubre a marzo. Mientras que para calefacción es de 1118 kWh/año. El consumo total de gas durante el 2013 fue de 48063 kWh, de los cuales 3499 kWh corresponden al uso de la cocina y 44565 kWh a las estufas de tiro balanceado. La sumatoria de los consumos de gas y electricidad para calefacción, dan un total de 45683 kWh. El bimestre 3, conformado por junio y julio, registra los mayores valores (20010 kWh), en concordancia con los GD (269).

Con los resultados obtenidos de los consumos de energía se calculan indicadores por unidad de superficie y por alumno. Estos datos brindan indicios del funcionamiento del edificio. El consumo total promedio registra valores de 149,68 kWh/ m^2 /año y 317,43 kWh/alumno. En cuanto al consumo en calefacción, los valores son de 75,59 kWh/ m^2 /año y de 160.29 kWh/alumno.

En la Figura 3 se representa gráficamente la relación de los consumos con los Grados Día del año 2013. En ella se observa que los consumos totales se ven afectados de manera considerable por el uso de energía para calefacción de ambientes. El bimestre 5 (octubre y noviembre), presenta GD similares al bimestre 1 (febrero y marzo), sin embargo, se registran consumos de energía para calefacción superiores en el primero. Esto se debe a que en primavera el edificio aún permanece frío luego de los meses de invierno, a diferencia de la carga energética que mantiene a fines del verano (producto de los altos niveles de radiación solar y elevadas temperaturas), que postergan el uso de calefacción mecánica.

Mediciones higrotérmicas y análisis de los niveles de confort interior realizados previamente en el de estudio (34, 43), indican que las aulas presentan un desempeño térmico deficiente en las estaciones frías y cálidas, con ambientes que escapan de la zona de confort gran parte del tiempo. El índice PMV (Valor Medio Predicho) para días de invierno del mes de agosto oscila entre -0,50 y -1,50 en condiciones reales de uso, valores que indicarían un ambiente entre ligeramente fresco

³ K Global: sumatoria de las transmitancias térmicas de los componentes de envolvente y su superficie neta (33).

Tabla 3: Consumo histórico de gas natural y energía eléctrica. En kWh.

| CONSUMO DE GAS NATURAL | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|-------|
| Bimestre | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | Anual |
| Mes | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | kWh |
| Promedio | 435 | | 4094 | | 20462 | | 16927 | | 3866 | | 702 | | 46486 |
| Desvío estándar | 234 | | 1719 | | 4502 | | 2988 | | 3239 | | 637 | | 6450 |
| Coeficiente de variación (%) | 54 | | 42 | | 22 | | 18 | | 84 | | 91 | | 14 |
| CONSUMO DE ELECTRICIDAD | | | | | | | | | | | | | |
| Bimestre | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | Anual |
| Mes | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | kWh |
| Promedio | 3458 | 4303 | 3902 | 4225 | 4353 | 3724 | 3919 | 3768 | 3682 | 3290 | 2966 | 2390 | 43981 |
| Desvío estándar | 598 | 863 | 467 | 1034 | 605 | 761 | 644 | 553 | 510 | 399 | 576 | 385 | 3699 |
| Coeficiente de variación (%) | 17 | 20 | 12 | 24 | 14 | 20 | 16 | 15 | 14 | 12 | 19 | 16 | 8 |
| CONSUMO TOTAL | | | | | | | | | | | | | |
| | 8196 | | 12221 | | 28539 | | 24614 | | 10838 | | 6058 | | 90466 |

Tabla 4: Consumo de energía para calefacción (kWh) y Grados Día por bimestre. Año 2013

| CONSUMO DE ENERGIA PARA CALEFACCIÓN – Año 2013 | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|-------------|------|-------|
| Bimestre | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | Anual |
| Mes | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | kWh |
| GAS | 303 | | 4297 | | 20188 | | 14426 | | 8341 | | 508 | | 48063 |
| Cocina/Horno | 292 | | 668 | | 697 | | 711 | | 623 | | 508 | | 3499 |
| Calefacción | 11 | | 3630 | | 19491 | | 13714 | | 7719 | | no registra | | 44565 |
| ELECTRICIDAD | 3338 | 4074 | 4667 | 5612 | 4825 | 2701 | 3664 | 4279 | 3141 | 3139 | 3514 | 2752 | 45706 |
| Estufa a cuarzo | | | 20 | 48 | 103 | 38 | 64 | 31 | | | | | 304 |
| Caloventilador | | | 26 | 159 | 257 | 121 | 212 | 39 | | | | | 814 |
| Calefacción | | | 46 | 207 | 360 | 159 | 276 | 70 | | | | | 1118 |
| TOTAL CALEFACCIÓN | 11 | | 3883 | | 20010 | | 14060 | | 7719 | | no registra | | 45683 |
| GD °18 | 16 | | 89 | | 269 | | 255 | | 16 | | | | 645 |

y fresco. Esta situación estaría presente en el 64% de las horas de clase. Las condiciones del aula 4 (ubicada al final de la crujía), resultan ser las más desfavorables, con un ambiente que prevalece fresco la mayoría del tiempo, en acuerdo con la mayor exposición exterior de su envolvente vertical. El PDD

(Porcentaje de Personas en Disconfort) del período analizado oscila entre un 10% y un 50%. Según encuestas realizadas, la zona de confort térmico para invierno se encuentra entre los 17°C y 20°C, con una diferencia de temperatura interior-exterior inferior a 11°C.

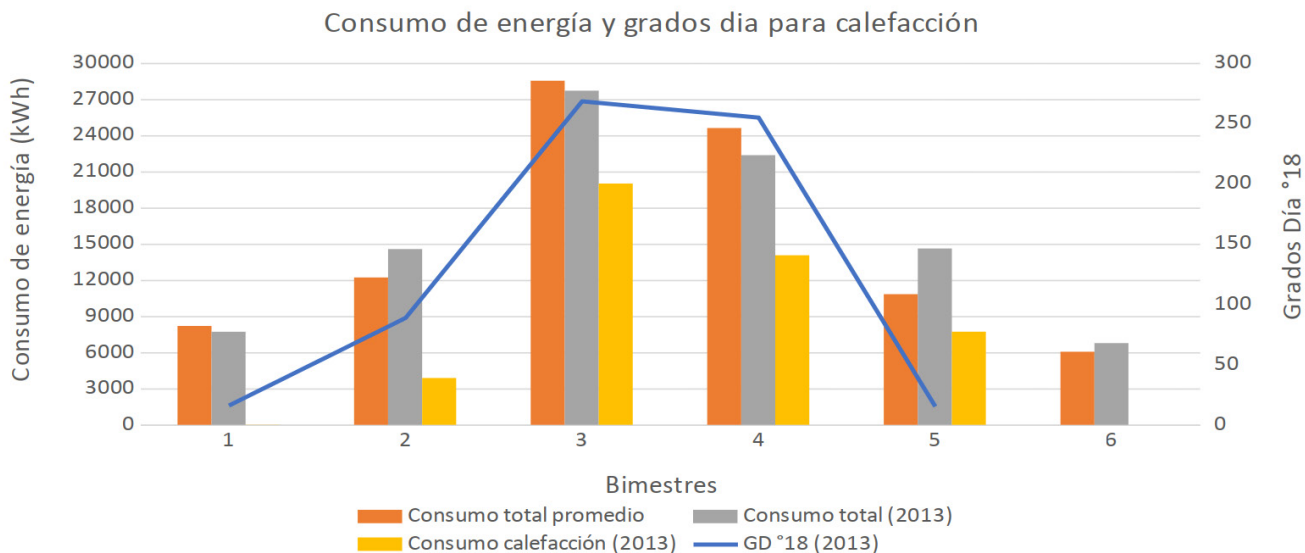


Figura 3. Consumo energético anual en relación a Grados Día de calefacción.

3.2. Propiedades de la envolvente y cálculos teóricos del comportamiento energético

El análisis comparativo de los K con los valores admisibles (K_{adm}) de invierno y verano, se representa gráficamente en las Figuras 4 y 5. Puede observarse que la mayoría de los elementos superan los máximos establecidos en la IRAM 11605 (Tabla 2): Esto denota que la materialidad de envolvente no alcanza la calidad mínima recomendada. Los muros exteriores de 0,30 m poseen una transmitancia térmica de 2,04 W/m² K, mientras los de 0,22 m presentan condiciones térmicas aún peores, con K de 2,47 W/m² K. El tabique de yeso, utilizado en el sector administrativo, es el único componente que supera los mínimos requerimientos respecto a la calidad B, con un valor K de 0,67 W/m² K. Los cerramientos horizontales también registran un déficit térmico. La losa inclinada del sector aulas posee transmitancias de 1,23 W/m² K para verano y 1,35 W/m² K para invierno, mientras que la losa plana del sector administrativo tiene un K de 1,30 W/m² K y 1,43 W/m² K (Tabla 5).

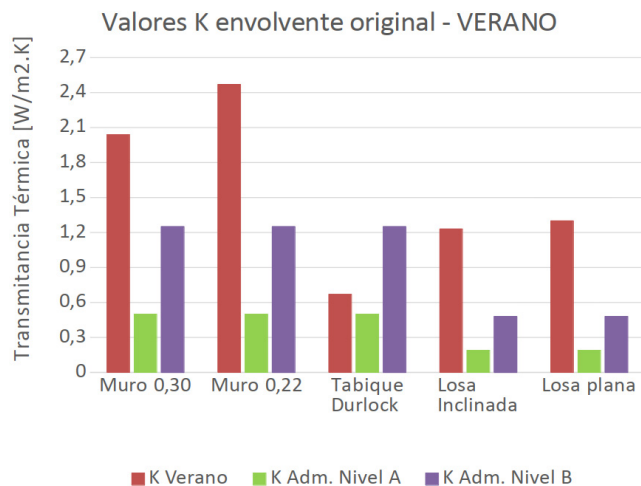


Figura 4. Envolvente original. Valores K y K_{adm} Nivel A y B. Verano.

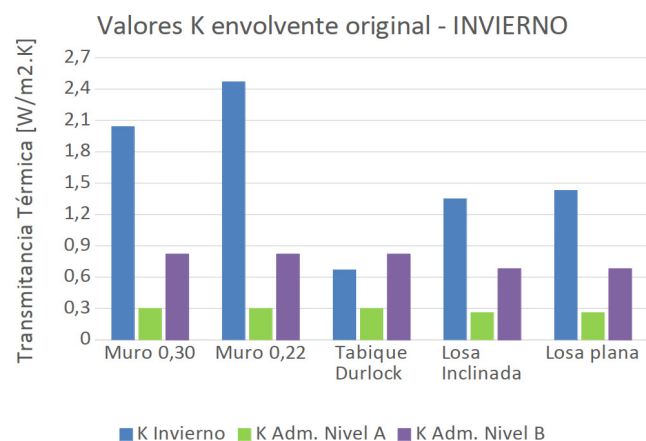


Figura 5. Envolvente original. Valores K y K_{adm} Nivel A y B. Invierno.

La carpintería existente es de marco de chapa con vidrio simple. Presenta altos valores transmitancia térmica (Tabla 5), y graves problemas de infiltración de aire que pueden alcanzar los 1,86 m³/h/metro lineal de junta móvil para 8 km/h de velocidad de viento (44). Las ventanas no poseen burlete ni cierre hermético.

Con los datos de transmitancia térmica por superficie, se calcula el G_{cal} del edificio calefaccionado. El volumen considera-

Tabla 5: Transmitancias térmicas. Envolvente original.

| Componentes Envolvente Original | K Verano | K Invierno |
|--|--------------------|--------------------|
| Muros | W/m ² K | W/m ² K |
| Muro ladrillón. Espesor 0,30 m | 2,04 | 2,04 |
| Muro ladrillón. Espesor 0,22 m | 2,47 | 2,47 |
| Tabique de yeso (Durlok). Espesor 0,08 m | 0,67 | 0,67 |
| Losa | W/m ² K | W/m ² K |
| Losa inclinada. Espesor 0,30 m | 1,23 | 1,35 |
| Losa plana. Espesor 0,26 m | 1,30 | 1,43 |
| Carpintería (marco + vidrio) | W/m ² K | W/m ² K |
| Puerta: chapa y vidrio simple | 5,73 | 5,73 |
| Ventana: chapa y vidrio simple | 5,63 | 5,63 |

do es de 2.155 m³ y las renovaciones de aire ascienden a 2,5. Se obtiene como resultado un G_{cal} de 2,614 W/m³ K, que excede ampliamente al G_{cal} máximo admisible de 1,285 W/m³ K.

El Q_{cal} se calcula con los Grados Días resultantes del procesamiento de datos meteorológicos del año 2013 (GD °18= 645). El valor Q_{cal} obtenido es de 29050 kWh/año. Éste indica la necesidad de carga de calefacción que requiere el edificio escolar, para mantener una temperatura de 18°. El mismo se ve afectado por el rendimiento medio de los equipos de calefacción, que para las estufas tiro balanceado es de 0,59 (3). A partir de ello, se obtiene que el valor teórico de consumo energético de calefacción del edificio, es de 49237 kWh/año. El consumo en función de la carga calculada no involucra las ganancias internas ni el calor conseguido por la radiación solar incidente.

3.3. Rehabilitación energética de la envolvente

Las mejoras de los cerramientos opacos se resuelven con la incorporación de aislación térmica exterior. Para la protección mecánica de terminación, se prioriza la durabilidad y resistencia de los materiales. Se priorizan aquellos que logren una integración con la imagen y tecnología constructiva utilizada en los edificios de esta tipología (PN-700E).

Nivel A:

- Muros: espuma rígida de poliuretano 7,5 cm; revoque grueso y fino exterior 2,5 cm.
- Losas: espuma rígida de poliuretano 11 cm; cubierta de chapa trapezoidal prepintada de color gris claro.
- Carpintería: marco de aluminio con RPT y DVH 6-12-6 mm.

Nivel B:

- Muros: poliestireno expandido (EPS = expanded polystyrene) 5 cm; revoque grueso y fino exterior 2,5 cm.
- Losas: EPS 10 cm; cubierta de chapa trapezoidal prepintada de color gris claro.
- Carpintería: marco de aluminio común y DVH 6-12-6 mm.

En la Tabla 6 se detallan las transmitancias térmicas de los componentes constructivos mejorados. Los muros de Nivel A presentan valores K de 0,28 W/m² K, mientras que los del Nivel B ascienden a 0,49 W/m² K (espesor 0,35m) y 0,51 W/m²

K (espesor 0,27m). Las losas exhiben nuevos valores de 0,19 W/m² K y 0,26 W/m² K, para cada nivel respectivamente. Los valores K de las puertas y ventanas propuestas, se tomaron de la Norma IRAM 11507-4 (45). Ella especifica que los valores superiores a 4 W/m² K no son clasificables. Aquellos ubicados entre 2 y 4 W/m² K, corresponden a las categorías de aislación K4 y K5.

Tabla6: Transmitancias térmicas de los componentes de la envolvente. Propuestas de mejoras para Nivel A y B.

| Componentes Mejorados | | K Verano | K Invierno |
|------------------------------|---|--------------------|--------------------|
| Muros | | W/m ² K | W/m ² K |
| Nivel A | Muro ladrillón + aislación. Espesor 0,375 m | 0,28 | 0,28 |
| | Muro ladrillón + aislación. Espesor 0,295 m | 0,28 | 0,28 |
| Nivel B | Muro ladrillón + aislación. Espesor 0,35 m | 0,49 | 0,49 |
| | Muro ladrillón + aislación. Espesor 0,27 m | 0,51 | 0,51 |
| Losa | | W/m ² K | W/m ² K |
| Nivel A | Losa inclinada + aislación + chapa. Espesor 0,412 m | 0,19 | 0,19 |
| | Losa plana + aislación. Espesor 0,40 m | 0,19 | 0,19 |
| Nivel B | Losa inclinada + aislación + chapa. Espesor 0,402 | 0,25 | 0,26 |
| | Losa plana + aislación. Espesor 0,39 | 0,26 | 0,26 |
| Carpintería (marco + vidrio) | | W/m ² K | W/m ² K |
| Nivel A | Puerta: aluminio RPT y DVH | 2,83 | 2,83 |
| | Ventana: aluminio RPT y DVH | 2,81 | 2,81 |
| Nivel B | Puerta: aluminio simple y DVH | 4,60 | 4,60 |
| | Ventana: aluminio simple y DVH | 3,67 | 3,67 |

Los componentes mejorados de manera individual se agrupan en distintas propuestas de rehabilitación con el fin de lograr mayores ahorros energéticos y garantizar mejores condiciones higrotérmicas del ambiente interior. Los conjuntos de mejoras constructivas se organizan de la siguiente manera:

- *Rehabilitación Simple A* (R-Simple A): losa A + carpintería A.
- *Rehabilitación Simple B* (R-Simple B): losa B + carpintería B.
- *Rehabilitación Media* (R-Media): losa B + muros B + carpintería B.
- *Rehabilitación Óptima* (R-Óptima): losa A + muros A + carpintería A.

3.4. Discusión de resultados

En base al análisis realizado respecto a las transmitancias térmicas de la envolvente, los consumos energéticos y las condiciones de confort térmico interior (34, 43) se reconoce la necesidad de rehabilitar el cerramiento vertical y horizon-

tal con el fin de lograr mejoras en el comportamiento térmico-energético del edificio.

Se identifica que la calefacción presenta la mayor demanda para climatización artificial, con un 49% de participación respecto al total de energía consumida en el año 2013. Las variables que la afectan directamente son: los meses de uso del edificio y el escaso equipamiento para refrescamiento. Ambas situaciones son comunes en escuelas públicas nacionales.

El consumo energético para calefacción obtenido de las boletas de servicio y de la auditoría energética, es de 45683 kWh/año. El requerimiento energético del edificio calculado a partir del Qcal (29050 kWh/año), da un consumo de 49237 kWh/año, para una temperatura estable de 18° C. El valor calculado es superior al consumo real. Esto se debe, por un lado, a que el cálculo en régimen estacionario [1 y 2] no considera las ganancias de calor sensible y latente, que, en espacios densamente ocupados como las aulas, constituyen un aporte significativo. Por otro lado, podría estar confirmando que el funcionamiento real del edificio escapa de las condiciones aceptables de confort térmico.

Las mejoras térmicas de la envolvente y los ahorros energéticos potenciales se calculan de manera teórica. Estos procedimientos permiten en una instancia de diseño evaluar cada alternativa de rehabilitación. Para conocer cuáles de ellas son las más convenientes, se analiza en la Tabla 7 el beneficio energético en comparación al costo de construcción (U\$/m²). Se puede observar que las rehabilitaciones de Nivel A, si bien presentan menores consumos que las B, incrementan notablemente los valores de la inversión. Los materiales que afectan en mayor medida dicho aumento es la espuma rígida de poliuretano y el ruptor de puente térmico en la carpintería de aluminio.

Tabla 7: Disminución del consumo en calefacción y costo económico de las mejoras constructivas. Los valores se expresan en US Dólar.⁴

| Mejora de la Envolvente | Consumo en Calefacción | Costo de las Mejoras | Inversión Total |
|-------------------------|------------------------|----------------------|-----------------|
| | kWh | U\$/m ² | U\$ |
| Original | 45683 | - | - |
| R-Simple B | 30608 | 108,04 | 65296 |
| R-Simple A | 27867 | 207,18 | 125216 |
| R-Media | 24212 | 127,33 | 76953 |
| R-Óptima | 20557 | 269,35 | 162790 |

La Figura 6 representa gráficamente la relación de los indicadores energéticos con los ahorros proyectados para cada propuesta de mejora. Se analiza el K Global y la diferencia porcentual para verificar el G_{cal} admisible de 1,285 W/m³ K (33). También se incluye el costo por unidad de superficie de los conjuntos de rehabilitación.

La R-Óptima es la única propuesta que alcanza y mejora en un 9% el valor de referencia, con un G_{cal} de 1,173 W/m³ K. El K Global de la envolvente desciende de 2,26 W/m² K (E-Original) a 0,72 W/m² K y logra un ahorro energético para calefacción de 55%. Presenta un costo de construcción de 269,35

⁴ Cotización divisa al 22/06/2020: 1 U\$ = \$ 71,15 (Pesos), Banco de la Nación Argentina.

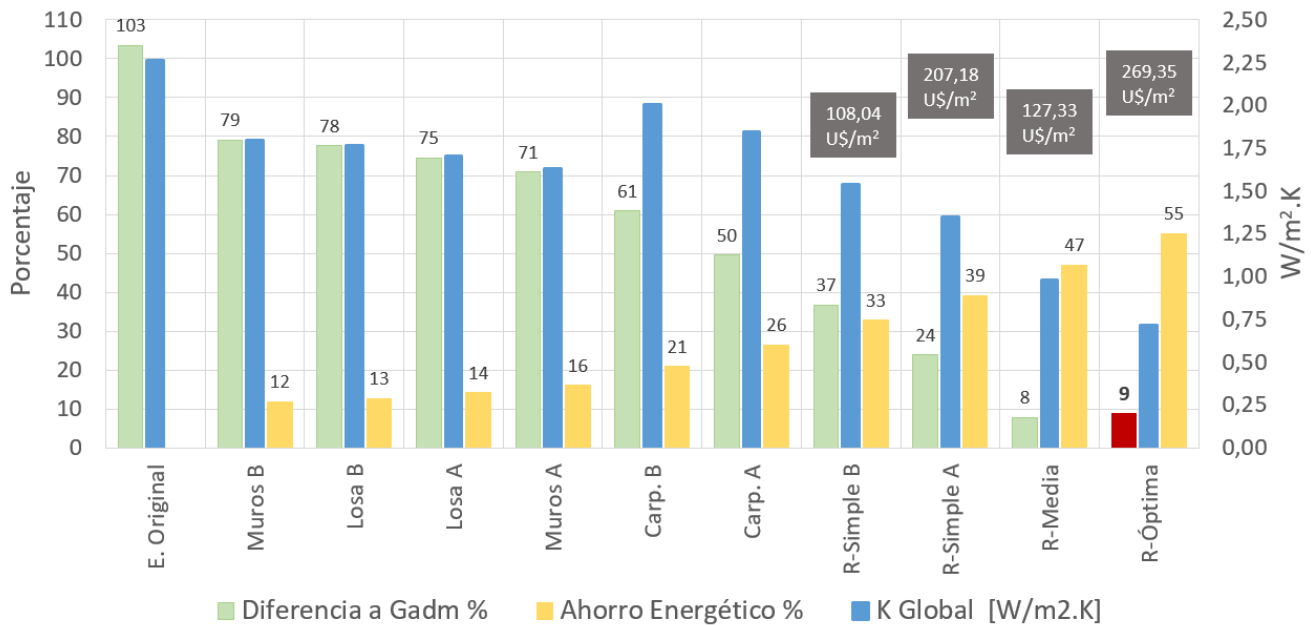


Figura 6. Relación entre indicadores energéticos del edificio y ahorros para calefacción

U\$/m², que constituye un 112% más que la R-Media, integrada por componentes de Nivel B. Esta última posee una diferencia deficitaria del 8% respecto al G_{adm}, pero logra ahorros energéticos proyectados del 47%, con un K Global de 0,98 W/m² K, y un valor de 127,33 U\$/m².

Las R-Simple A y B alcanzan valores de K Global de 1,54 W/m² K y 1,35 W/m² K, con reducciones energéticas del 33% y 39% (Figura 6). Los costos son de 207,18 U\$/m² y 108,04 U\$/m², respectivamente (Tabla 7). Como se puede observar, estas variantes también evidencian una importante diferencia económica entre ellas, con un incremento que alcanza el 92% de A respecto a B.

En cuanto a los mejoramientos individuales el mayor impacto lo tienen las carpinterías. Éstas, además de mejorar la transmitancia térmica respecto a la envolvente original, resuelven los problemas de infiltración de aire. La Carp. B disminuye los consumos en un 21%, mientras que la Carp. A lo hace en un 26%. Estos resultados posicionan a los elementos no opacos exteriores, como los componentes con mayor relevancia dentro de la rehabilitación de la envolvente.

4. CONCLUSIONES

La evaluación de la envolvente en su estado original, permite identificar la necesidad de mejoras tanto en muros, techos y carpinterías. Las transmitancias térmicas de los elementos se encuentran muy por encima de los valores recomendados por la IRAM 11605 (32), denotando un déficit en las condiciones higrotérmicas de los espacios interiores.

El estudio se realiza con la utilización de las Normas IRAM vigentes. Las mismas brindan información y procedimientos de calidad y utilidad respecto a la evaluación del acondicionamiento térmico de edificios, pero se orientan principalmente a la tipología residencial. En base a ello, se manifiesta la necesidad de ampliar el campo de aplicación de la Norma IRAM 11604 (33), incorporando valores referenciales para otras tipologías edilicias, por ejemplo, las escuelas. En este

sentido la investigación que enmarca al presente trabajo, se encuentra en la búsqueda de conformar, por un lado, un rango de valores G_{cal} que mejor representen las particularidades de los edificios escolares. Por otro lado, los valores Q de calefacción según los Grados Días horarios en periodo de uso y para una temperatura base de acuerdo a monitoreos higrotérmicos.

Las propuestas diseñadas presentan un alto índice de replicabilidad en escuelas públicas construidas en la ciudad de San Juan entre 2004 y 2015. Las soluciones tecnológicas son de factible ejecución y respetan la tradición constructiva local.

La rehabilitación Óptima verifica el coeficiente volumétrico de pérdidas de calor (G_{adm}) y alcanza ahorros energéticos proyectados para calefacción del 55%. Sin embargo, presenta valores muy elevados en cuanto a costos de construcción, condicionados por el valor de los materiales elegidos. Es notable el incremento de precios que presentan aquellos que se escapan del uso estándar (como las carpinterías con RPT). La alternativa R-Media, cuyos componentes se ubican en el nivel medio (B) de acuerdo al Norma IRAM (32), logra beneficios energéticos del 47%, con costos de inversión 112% menores. En consideración, la propuesta M-Media se posiciona como la más conveniente en la actualidad. Los indicadores de consumo energético en calefacción para dicho conjunto de mejoras serían de 40 kWh/m²/año y de 85 kWh/alumno.

En cuanto a las rehabilitaciones de los componentes constructivos de forma individual, el mayor potencial corresponde a las carpinterías. Éstas permiten mejorar las transmitancias térmicas y disminuir las infiltraciones de aire. Con el reemplazo de las existentes por unas de aluminio simple y DVH se podrán alcanzar ahorros del 21%.

Los resultados alcanzados muestran el potencial de rehabilitación que posee el caso de estudio para el mejoramiento de las condiciones térmicas y la disminución de la energía ne-

cesaria para calefacción. Las soluciones presentadas también permiten aumentar los niveles de confort en verano.

La investigación analiza los consumos energéticos de un edificio escolar en base a datos empíricos obtenidos de facturas de servicio y de auditoría energética. La metodología utilizada representa un aporte al ámbito científico, pudiendo ser adoptada en futuros trabajos que deseen hacer estimaciones energéticas en edificios a partir de métodos de cálculo.

AGRADECIMIENTOS

La información presentada forma parte de la Tesis Doctoral de la autora, del Doctorado en Arquitectura, de la Universidad de Mendoza. Se agradece a la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, y a la Universidad Nacional de San Juan, por la contribución en el financiamiento de la investigación en el marco del proyecto CICITCA 2020.

REFERENCIAS

- (1) International Energy Agency. IEA (2018). *Informe Global: Hacia un sector de edificios y de la construcción eficiente, resiliente y con cero emisiones*. Global Alliance for Buildings and Construction (Global ABC). Coordinado por el Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas.
- (2) Secretaria de Energía de La Nación (2019). *Balance Energético Nacional. Año 2018*. Ministerio de Hacienda. Argentina. Dirección URL al 29/11/19: <https://www.argentina.gob.ar/energia/hidrocarburos/balances-energeticos>
- (3) IRAM (2017) 11900. Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo. 2° Edición. Instituto Argentino de Normalización. Argentina
- (4) Yoshino H.; Hong T.; Nord N. (2017). IEA EBC Annex 53: Total energy use in buildings. Analysis and evaluation methods. *Energy and Buildings*, Elsevier, v.152, p. 124–136, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.038>
- (5) Mohamed M.O., Mohamed H.I. (2017). Energy consumption analysis of school buildings in Manitoba, Canada. *International Journal of Sustainable Built Environment*, Elsevier, v.6, p. 359-371. <https://doi.org/10.1016/j.ijse.2017.05.003>
- (6) Rospì, G.; Cardinale, N.; Intini, F.; Cardinale, T. (2015). Analysis of energy consumption of different typologies of school buildings in the city of Matera (Southern Italy). *Energy Procedia*, Science Direct, v.82, p. 512 – 518. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.863>
- (7) Lourenco, P.; Duarte Pinheiro, M., Heitor, T. (2014). From indicators to strategies: Key Performance Strategies for sustainable energy use in Portuguese school buildings. *Energy and Buildings*, Elsevier, v.85, p. 212–224. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.025>
- (8) Fabi, V.; D'oca, S.; Buso, T.; Corgnati, S.P. (2013). The influence of occupant's behaviour in a high performing building. En: CLIMAMED 2013, *Mediterranean Congress of Climatization*, n°7, Estambul. Actas. Octubre, 2013, p. 1-10.
- (9) Dias Pereira, L.; Raimondo, D.; Corgnati, S.P.; Gameiro Da Silva, M. (2014). Energy consumption in schools – A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v.40, p. 911–922. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.010>
- (10) Geraldi, M. S. & Ghisi, E. (2020) Mapping the energy usage in Brazilian public schools. *Energy & Buildings*, Vol. 224, p. 01-17. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110209>
- (11) Burman E., Kimpian J. & Mumovic D. (2018) Building Schools for the Future: Lessons Learned From Performance Evaluations of Five Secondary Schools and Academies in England. *Frontiers in Built Environment*. Vol. 4, p. 01-22. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2018.00022>
- (12) Melchiori, M.; San Juan, G.; Discoli, C. (2014). Comparación del comportamiento energético en dos establecimientos educativos: Campinas (Brasil) y La Plata (Argentina). *Estudios del hábitat*, Universidad Nacional de La Plata, FAUD, v.12, p. 63-81.
- (13) Mercat, M.; Ledesma, S.L.; Gonzalo, G. (2016). Análisis comparativo del comportamiento térmico de aulas prototípicas en Tucumán. *AVERMA*, v. 20, p. 08.47-08.59.
- (14) Filippín, C. (1999). Performance energética de una tipología edilicia escolar en diferentes localizaciones geográficas de la provincia de La Pampa. *AVERMA*, v.3, art.07-09.
- (15) Filippín, C. (2000). Benchmarking the energy efficiency and greenhouse gases emissions of school buildings in central Argentina. *Building and Environment*, Pergamon, v.35, p. 407-414.
- (16) Ré, M.G.; Filippín, C.; Blasco Lucas, I. (2018). Consumos energéticos de gas natural y electricidad en edificios escolares del Área Metropolitana de San Juan, Argentina. Análisis estadístico en función de variables arquitectónicas. *Hábitat Sustentable*, v. 8, n. 2. p. 105-115. <https://doi.org/10.22320/07190700.2018.08.02.08>
- (17) Boutet, M.L.; Hernández, A.; Jacobo, G. (2020). Methodology of quantitative analysis and diagnosis of higo-thermal and lighting monitoring for school buildings in a hot-humid mid-latitude climate. *Renewable Energy*, Elsevier, v.145, p. 2463-2476. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.009>
- (18) Martín-Consuegra, F., Oteiza, I., Alonso, C., Cuerdo-Vilches, T., & Frutos, B. (2014). Análisis y propuesta de mejoras para la eficiencia energética del edificio principal del Instituto c.c. Eduardo Torroja-CSIC. *Informes de la Construcción*, 66, 536, e043. <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.125>.
- (19) Kolokotsa D. Vagias V., Fytraki L. & Oungrinis K. (2019) Energy analysis of zero energy schools: the case study of child's asylum in Greece. *Advances in Building Energy Research*. Vol. 13, Issue 2, p. 193-204. <https://doi.org/10.1080/17512549.2018.1488612>
- (20) Barbosa, F.C.; de Freitas, V.P.; 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>

- (21) Programa Nacional 700 Escuelas. (2004). *Manual de proyecto*. Argentina: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología Nación. Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios.
- (22) Instituto Argentino De Normalización (2012). *IRAM 11603. Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*. 3° ed. Buenos Aires.
- (23) Grossi Gallegos, H.; Righini, R. (2007). *Atlas de Energía Solar de la República Argentina*. Secyt- UNLu
- (24) Genet, J.P.; Schubert, C. (2013). *Designing a metering system for small and medium-sized buildings*. Schneider Electric.
- (25) Selectra (2020). Factor de conversión del gas natural, de m³ a kWh. Disponible en: <https://preciogas.com/faq/factor-conversion-gas-natural-kwh>. Acceso: 28 ene. 2020.
- (26) Jahnke, E. (2009). *Evaluación Económica de Alternativas de Calefacción*. Año 2009. Santiago, Chile: Territorio Verde.
- (27) ENARGAS. Ente Nacional Regulador del Gas. Ministerio de Desarrollo Productivo. Disponible en: <https://www.enargas.gov.ar/secciones/eficiencia-energetica/consumo-artefactos.php>. Acceso: 31 jul. 2020
- (28) ENRE. Ente Nacional Regulador de la Electricidad. Ministerio de Desarrollo Productivo. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/enre/uso-eficiente-y-seguro/consumo-basico-electrodomesticos>. Acceso: 31 jul. 2020
- (29) Bienvenido-Huertas, D.; Rodríguez-Álvaro, R.; Moyano, J.; Marín D.; & Rico, F. (2019). Estudio comparativo de los métodos para evaluar la transmitancia térmica en cerramientos opacos en el invierno mediterráneo. *Informes de la Construcción*. Vol. 71, 554, e288. <https://doi.org/10.3989/ic.62542>
- (30) Gonzalo, G.E. et al. (2000). *Programa para el cálculo de transmitancia térmica (K medio ponderado), retardo y amortiguamiento*. CEEMA: Centro de Estudios Energía y Medio Ambiente, IAA. FAU. UNT.
- (31) Instituto Argentino De Normalización (2002). *IRAM 11601. Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo*. 3° ed. Buenos Aires.
- (32) Instituto Argentino De Normalización (2002). *IRAM 11605. Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en Edificios*. 1° ed. Revisión 2002. Buenos Aires, 1996.
- (33) Instituto Argentino De Normalización (2001). *IRAM 11604. Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Coeficiente Volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites*. 2° ed. Buenos Aires.
- (34) Ré, M.G.; Filippín, C.; Blasco Lucas, I. (2017). Niveles de confort térmico en aulas de dos edificios escolares del Área Metropolitana de San Juan. En: *Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente*, n°50, San Juan, 2017. Actas. FAUD, UNSJ, v. 5, p. 05.97-05.108.
- (35) Pontoriero, D. y Hoesé, L. (2017) Banco de datos meteorológicos, 2006 a 2015. Instituto de Energía Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan.
- (36) Andersen, M.; Discoli, C.A.; Viegas, G.M.; Martini, I. (2017). Monitoreo energético y estrategias de retrofit para viviendas sociales en clima frío. *Hábitat Sustentable*, Universidad de Bio-Bio, v. 7, n. 2. p. 50-63.
- (37) Camporeale, P.E; Mercader Moyano, M.P y Czajkowski, J.D. (2017). Multi-objective optimisation model: A housing block retrofit in Seville. *Energy and Buildings*, Elsevier, v.153, p. 476-484. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.023>
- (38) Esteves Miramont, A. (2017). *Arquitectura bioclimática y sustentable: Teoría y práctica de la conservación de la energía. Sistemas solares pasivos y enfriamiento natural de edificios*. 1° ed. Mendoza, Argentina: FAUD, UM; INHAE, CCT-CONICET.
- (39) Filippín, C.; Flores Larsen, S. (2017). Evaluación de la performance energética y el estado de conservación de una envolvente a través de la termografía. En: *Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente*, n°50, San Juan, 2017. Actas. FAUD, UNSJ, 2017, v. 5, p. 05.01-05.11.
- (40) Marek, L.; Filippin, C. (2007) Edificio bioclimático para la Unidad de Extensión y Desarrollo Territorial del INTA en Guatraché (La Pampa). *AVERMA*, v. 11, p. 05.01-05.08.
- (41) Esteves, A.; Esteves, M.J.; Mercado, M.V.; Barea, G.; Gelardi, G. (2018). Building Shape that Promotes Sustainable Architecture. Evaluation of the Indicative Factors and Its Relation with the Construction Costs. *Architecture Research*, 8 (4), p.111-122. <http://article.sapub.org/10.5923/j.arch.20180804.01.html>
- (42) Kuchen, E y Kozak, D. (2020) Transición energética argentina. El nuevo estándar de eficiencia energética en la evaluación de la vivienda social. Caso de estudio: Vivienda de Barrio Papa Francisco. *Hábitat Sustentable*, v. 10, N° 1, pp. 44-55. <https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.01.04> HS
- (43) Ré, M.G.; Blasco Lucas, I.; 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. *Hábitat Sustentable*, v. 6, n. 2. p. 40-51.
- (44) Yañez Parareda, G. (1982) Energía solar, edificación y clima: elementos para una arquitectura solar. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.
- (45) Instituto Argentino de Normalización (2010). *IRAM 11507-4. Carpintería de obra y fachadas integrales livianas. Ventanas exteriores. Parte 4: Requisitos complementarios. Aislación Térmica*. 2° ed. Buenos Aires.