



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE ESCUELA RURAL EN SANTIAGO DEL ESTERO-ARGENTINA: EVALUACIÓN DEL CONFORT HIGROTÉRMICO

*Energetic rehabilitation of rural school in Santiago
Del Estero Argentina: Evaluation of hygrothermal confort*

GABRIELA GIULIAN¹, JULIETA SAGANIAS², LUCIANA THOMASCHEWSKY³,
BEATRIZ GARZON⁴, ALEJANDRO FERREIRO⁵

Recibido: 24 de diciembre de 2022. Aceptado: 15 de enero de 2023

DOI: <http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2023.v10.n19.a126>

ABSTRACT

El presente trabajo tiene como objetivo el análisis del confort higrotérmico de una escuela en Área Rural de Población dispersa (ARPoDs), situada al sureste de la provincia de Santiago del Estero, en la localidad de las Viboritas, departamento Mitre, en Norte Grande de Argentina. Fue utilizada una combinación metodológica, descriptiva, experimental y analítica, para el diagnóstico del comportamiento del caso de estudio. Al prototipo estatal denominado caso base, se le diagnostica un desempeño térmico deficiente. Por ello, se propone una alternativa de mejora de rehabilitación energética de la envolvente. Se evaluó comparativamente ambos casos, con el ajuste de simulaciones térmicas y la verificación de valores de cálculo con los admisibles establecidos en la serie de Normas IRAM sobre acondicionamiento térmico. El análisis de los datos empíricos y teóricos obtenidos, permitió observar que el caso mejorado responde de manera óptima, al comportamiento térmico-energético, logrando adecuados parámetros de confort interior en aulas. Se concluyó que la evaluación y el ajuste de diseño en proyectos de escuelas estatales previo a la etapa de construcción, es primordial para el cumplimiento de estándares mínimos de calidad, por parte de los organismos responsables de su producción; para contribuir a la eficiencia energética edilicia del hábitat escolar, y favorecer a la sustentabilidad ambiental en zonas desfavorables y al desarrollo humano de sus habitantes.

Palabras clave: Escuela Rural; Población dispersa; Eficiencia Energética; Confort Higrotérmico; Calidad de Vida.

- 1 Dra. Prof. Arquitecta, Docente en Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero-Argentina. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7226-8925>, Correo electrónico: gm.giuliano@gmail.com.
- 2 Estudiante Ing Civil en Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero-Argentina; Ayudante de Investigación en Proyecto PI-FCEyT: 23/C168 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7620-5457>, Correo electrónico: saganiasjulieta@gmail.com
- 3 Estudiante Ing Civil en Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero-Argentina; Ayudante de Investigación en Proyecto PI-FCEyT: 23/C168 ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4628-4646>, Correo electrónico: lucianamicatthomas67@gmail.com
- 4 Dra. Prof. Arquitecta, Docente en Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán-Argentina. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3130-8895>, Correo electrónico: bgarzon06@gmail.com
- 5 Mg. Ing. Electromecánico. Docente en Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero-Argentina; Responsable del Proyecto PI-FCEyT: 23/C168 "Expectativas en horizontes posibles de desarrollo humano a partir de Energías No convencionales en Áreas Rurales con Población Dispersa de la Provincial de Santiago del Estero". ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4072-9774>, Correo electrónico: af552000@gmail.com

RESUMEN

In this paper, we propose the hygrothermal comfort analysis of a rural educational building in a dispersed settlement, located southeast of the province of Santiago del Estero, in the town of Las Viboritas, department of Mitre, in Norte Grande, Argentina. A methodological, descriptive, experimental, and analytical combination was used for the diagnosis of the behavior of the case study. The state prototype, called the base case, is diagnosed with poor thermal performance. Therefore, an alternative to improve the energy rehabilitation of the envelope is proposed. Both cases were evaluated comparatively, with the adjustment of thermal simulations and the verification of calculation values with the admissible ones established in the series of IRAM Standards on thermal conditioning. The analysis of the empirical and theoretical data obtained, allowed us to observe that the improved case responds optimally to the thermal-energetic behavior, achieving adequate interior comfort parameters in classrooms. In conclusion, the evaluation and design adjustment in state school projects prior to the construction stage, is essential for compliance with minimum quality standards, by the agencies responsible for their production; to contribute to the building energy efficiency of the school habitat and favor environmental sustainability in unfavorable areas and the human development of its inhabitants.

Keywords: Rural School; Dispersed Population; Energetic Efficiency; Hygrothermal Confort; Quality of life.

I. INTRODUCCIÓN

TENIENDO EN CUENTA los Objetivos de Desarrollo Sostenible al 2030[1] y del acuerdo de París sobre frenar el cambio climático, el nuevo decenio que comenzamos a transitar, debiera plantearse mundialmente y especialmente en nuestro país, como una década dedicada a la acción de iniciativas alternativas, ante la sostenida emergencia social, sanitaria, económica, energética y la vulnerabilidad ambiental por causas antropogénicas[2].

El incremento de consumos energéticos en el planeta ha generado dificultades en el abastecimiento de los recursos y agotamiento de estos. Esto, sumado a la creciente preocupación por el cambio climático y la sostenibilidad medioambiental ha impulsado el aumento de iniciativas de integración e incorporación de Eficiencia Energética en Edificios (EEE)[3]. Por esto se ha buscado reducir las necesidades energéticas, fomentando el estudio de soluciones más eficientes y sostenibles en la envolvente de las construcciones. Debido a que representan las mayores barreras térmicas contra las condiciones externas[4] y[5].

El marco de trabajo de la sostenibilidad implica la innovación permanente y la promoción de nuevas tecnológicas como una herramienta, que permite mejorar distintos aspectos en las construcciones para lograr edificios bioambientales. Es por ellos, que se busca establecer políticas sustentables que se puedan incorporar en los criterios relacionados con el tema de diseño, construcción de las estructuras y la posterior operación, en todo el ciclo de uso edilicio.

El diseño de una escuela sostenible es la estrategia más apropiada para renovar los procesos educativos y lograr educación con calidad[6]. El lugar educativo en donde los niños desarrollan su intelecto, tiene una influencia directa en la forma en la cual asimilan los conocimientos, la manera de aprender los mismos y como se relación con otros de su entorno; puede afectar, además, en cómo piensan e integran a la sustentabilidad y cuidado del planeta a sus acciones.

Las características de la envolvente, junto con el clima, el tipo y tamaño de la construcción, su emplazamiento respecto a los edificios vecinos, la eficiencia de los sistemas de climatización y el comportamiento del usuario, son los principales factores influyentes en el consumo energético[7]. De allí, que más del 50% de la demanda energética, se debe a las pérdidas de calor de la envolvente[8]. Por estas razones, este aspecto ha sido incorporado en los códigos técnicos de edificación dada su importancia al momento de mantener las condiciones térmicas interiores estables[9].

En el ámbito internacional, distintos grupos de investigación, evaluaron diversas situaciones que presentan condiciones similares a las del caso en estudio, en los que se auditaron aulas de escuelas para conocer sus situaciones higrotérmicas y así recomendar buenas prácticas de construcción sostenible.

En Barcelona España, donde predomina el clima BSh -seco semiárido cálido- según Koppen y Geydeger, llamado clima mediterráneo seco, se proyectó y construyó en el año 2010, la Escuela Guar-

dería Municipal “La Font del Rieral”, que se destaca por su diseño bioclimático y la incorporación de materiales naturales en toda la construcción y el uso de soportes de tecnologías sustentables para ahorro de recursos no renovables. En Burkina Faso, un país ubicado al oeste del continente Africano, que posee características climáticas similares a Barcelona, se proyectó y ejecuto, la escuela secundaria de Dano, donde se propuso avanzar en el uso y desarrollo de técnicas de construcción tradicionales entre las comunidades locales, y desarrollar métodos innovadores y la creación de soluciones para condiciones climáticas extremas[10].

En Latinoamérica, se auditaron aulas de escuelas para conocer sus situaciones higrotérmicas y así recomendar, buenas prácticas de construcción sostenible y principios de bioclimatismo para instituciones educativas, explorando estrategias solares pasivas en la elección de criterios funcionales y en los cerramientos del edificio, para la máxima optimización de los factores naturales y la racionalización del uso de la energía[11]. En Buenos Aires, se estudiaron posibilidades de adaptación de escuelas rurales a los estándares constructivos, según normativas vigentes, para mejorar la calidad de vida y disminuir el impacto ambiental[12]. En la Plata, se analizaron auditorías ambientales y de condiciones de confort en establecimientos escolares[13]. Desde el noreste del país, en Chaco y Corrientes, se efectuaron auditorías higrotérmicas y lumínicas, a partir de monitoreos y simulaciones térmicas[14]. En el noroeste, se diseñaron escuelas bioclimáticas para aprovechar los recursos naturales disponibles de acuerdo al clima del lugar y, de esta manera, crear espacios confortables desde el punto de vista higrotérmico y lumínico[15].

En la provincia de Santiago del Estero, Argentina, existen comunidades rurales con demandas energéticas difíciles de satisfacer por diversas causas, y que presentan estructuras en condiciones negativas que dificultan el confort en los niños en momentos de aprendizaje. Por ello, se evalúa la eficiencia térmico-energética de mejoras propuestas a partir del uso de estrategias pasivas y de la incorporación de sistemas solares arquitectónicamente integrados en rediseños de escuelas[16][17].

En este contexto, el presente trabajo toma como caso base de estudio una escuela rural de la provincia de Santiago del Estero, con el objetivo de

evaluar el confort higrotérmico de los ambientes, y así realizar una propuesta superadora, a través de un caso mejorado, en la envolvente arquitectónica, con el fin de optimizar el bienestar de la comunidad educativa, y al mismo tiempo disminuir la demanda de energía en calefacción y refrigeración; colaborando con ello a minimizar las emisiones de CO₂ que impactan de manera negativa en el ambiente[18].

II. METODOLOGÍA

El trabajo se estructura en tres etapas. En primer lugar, una investigación descriptiva y analítica, sobre el estado del arte de la temática desde una mirada actual, obtenida a través de revisión bibliográfica. A continuación, se desarrolla la caracterización del contexto geográfico y climático, de la localidad donde se sitúa la escuela rural, junto a la detección de recomendaciones generales de diseño, y de orientaciones óptimas de asoleamiento, según zona Bioambiental IIa correspondiente a la Norma IRAM 11.603[19]. Para cerrar esta primera etapa se incluye la sistematización de la información, producto del relevamiento arquitectónico y constructivo de la institución, denominada en adelante caso base.

La segunda instancia, se enfoca en el análisis de resultados empíricos a través de una evaluación objetiva cualitativa y cuantitativa. Se inicia partiendo del diagnóstico del caso, mediante simulación térmica en período estival, considerado como la más desfavorable, encontrando así que la escuela estatal obtiene un comportamiento higrotérmico ineficiente, se propuso una alternativa de rediseño de su envolvente, mediante la rehabilitación energética de muros y techos. Seguidamente, se verifica el comportamiento térmico-energético del caso base y mejorado de manera comparativa entre los mismos y con los valores admisibles normados: Se calcularon los valores de “K” de cerramientos opacos y no opacos, comparándolos con los admisibles de la Norma IRAM 11.605 de Valores máximos de transmitancia térmica[20]. Se obtienen valores de cargas térmicas de refrigeración “QT” y coeficientes volumétricos de refrigeración “GR” de los prototipos, que fueron corroborados con valores de “GR” admisibles de Norma IRAM 11.659-Partes 1[21] y 2, de Ahorro de energía en refrigeración[22]. Se cotejan valores de pérdidas de calor

“G” con admisibles y calcularon cargas térmicas de calefacción anual “Q”, según Norma IRAM 11.604 de Ahorro de energía en calefacción[23].

En una última fase, se valoran y discutieron los detalles obtenidos de la simulación térmica del caso mejorado contrastado con el base. La evaluación de los resultados del desempeño de ambos prototipos, permitió confirmar y concluir, condiciones de habitabilidad óptimas en aulas, dentro del rango de confort recomendados por Givonni y Olgay[24] y[25].

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. Situación geográfica y climática

La escuela N° 426 de la localidad de Las viboritas, se ubica en el departamento Mitre, al sur de la provincia de Santiago del Estero. Con latitud de 29°24'50''S, y longitud 62°47'23''O, esta localidad pertenece a Zona Bioambiental II-Cálida y subzona a, con amplitudes térmicas mayores a 14°C (Fig. 1 y Tabla I), según clasifica-

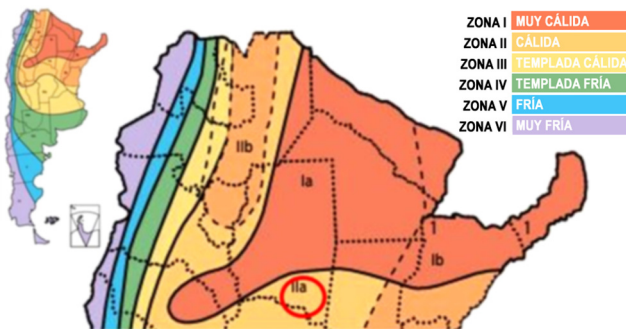


Fig. 1. Mapa Argentina, zonas bioambientales, provincia de Santiago del Estero, Departamento Mitre. Nota: Fuente de Norma 11.603 (IRAM, 2012), ICPA (2020) y elaboración propia del estudio.

ción bioambiental de la República Argentina de norma 11.603[17]. El clima de la localidad, se caracteriza por un período estival muy cálido, con altas temperaturas y escasas lluvias, presentándose mayormente entre los meses de octubre a marzo (promedio anual de 8mm). La época invernal, en cambio registra temperaturas bajas y es seca. En Tabla II, se observa que la provincia presenta un valor de temperatura máxima media promedio anual de 27,26 °C y la humedad relativa máxima es 72 %; mientras que la temperatura mínima media anual, es de 16,64°C y la humedad relativa mínima de 48%. Por lo tanto, la amplitud térmica promedio anual, se encuentra en el orden de los 11 °C, siendo esto un factor fundamental a considerar en el diseño del edificio.

B. Caracterización arquitectónica

El partido arquitectónico se ubica en el centro del terreno. Consta de dos volúmenes edilicios de perímetro libre, que se ordenan en torno al patio cívico. El primer edificio hacia el sector Norte (N), tiene como función, una escuela de nivel primario. El segundo volumen, en dirección Este (E) de jardín de infantes, corresponde al nivel inicial del sistema educativo.

En este trabajo toma como caso de estudio al sector edilicio de nivel primario, y el mismo se denominará en adelante caso base. En la Fig. 2, se encuentra en una vista de planta de la escuela y es posible observar que cuenta con la siguiente distribución de locales: aula, circulación, depósito y/o dormitorio docente, dirección, cocina. Además, un tercer volumen del núcleo sanitario, que se configura como independiente entre los dos anteriores, y menores dimensiones, que aloja dos baños.

Tabla I. Recomendaciones de Orientaciones Óptimas y Recomendaciones de Diseño.

ZONA BIOAMBIENTAL	SUB-ZONA	ORIENTACIONES ÓPTIMAS	RECOMENDACIONES -NORMA 11.603 (IRAM, 2012)
I-Muy cálida	a	NO-N-NE Y SO-S-SE	Minimizar el asoleamiento
	b		Colores claros en paredes exteriores y techos.
II-Cálida	a	N y S	Gran aislación térmica en techos y en las paredes orientadas al este y al oeste.
	b		Aprovechar los vientos dominantes y la creación de zonas de alta y baja presión que aumenten la circulación de aire.

Nota: Fuente de Norma 11.603 (IRAM, 2012), ICPA (2020) y elaboración propia del estudio.

Tabla II. Datos climáticos de la Localidad: Temperatura y Humedad Relativa Período [2005-2015].

MESES	T. MÍN. MEDIA (°C)	H. R. MÁX (%)	T. MEDIA (°C)	H. R. MED. (%)	T. MÁX. MEDIA (°C)	H. R. MÍN. (%)
JULIO	5,6	76	12,4	68	20,5	55
DICIEMBRE	20,1	74	26,7	64	33,8	51
PROMEDIO ANUAL	13,8	76,5	20,48	67,08	27,7	53,83

Nota: Fuente del Servicio Meteorológico Nacional- Estadísticas Climatológicas y elaboración propia del estudio.



Fig. 2. Mapa Localidad Las Viboritas, ubicación Escuela N°426, Fotografía y Planta Arquitectura.
 Nota: Fuente de elaboración propia del estudio.

C. Caracterización tecnológica

La escuela en su cerramiento lateral se ejecutó con mampostería de Ladrillo Cerámico Macizo de 0,20 m de espesor, en adelante (Muro caso base). El cerramiento horizontal superior corresponde a un techo másico de losa de H°A° (Techo caso base)

de un espesor de 0,12 m, más un contrapiso aliviado con carbonilla que cumple la función de aislación térmica, y terminado con una cubierta de tejas cerámicas como barrera hidrófuga. Las carpinterías son de madera. Las ventanas no poseen celosías, llevan rejas y aleros horizontales de hormigón como protección solar (Fig. 3). Este



Fig. 3. Fotografías de Volumen inicial y primario: detalles.
 Nota: Fuente Fotografías de autor y detalle de elaboración propia

sistema, no permite regular la iluminación natural, ya que solo admiten apertura y cierre, y en algunos casos cuentan, en el lado exterior, con rejas circulares metálicas. La ventilación no es cruzada en los locales, ya que las aberturas no se localizan en ambos frentes, por lo tanto, la renovación de aire no es eficiente.

Por su localización rural y en ARPoDs, la escuela no cuenta con agua, cloaca, y tampoco servicio de energía eléctrica; la cual lo que se provee a través de un sistema fotovoltaico autónomo.

IV. EVALUACIÓN DE SIMULACIÓN TÉRMICA

Se realizó una simulación térmica del modelo edilicio escolar a través del Programa Simedif 2.0[26], con carga de datos geométricos, constructivos y de condiciones climáticas de la zona. A tal fin, se delimitaron tres zonas isotérmicas que se encuentran diferenciadas por color (Fig. 4). La Zona 1 (sector azul): de Aula y galería. La Zona 2 (sector naranja): Deposito, dirección y cocina y Zona 3 (sector gris) de Núcleo sanitarios. Así se presenta en la Fig. 5, la evolución de temperaturas, analizadas en 10 días continuos, en período de ocupación regular: desde el 15/11 al 25/11, correspondiente al equinoccio de primavera, pero con temperaturas importantes, semejantes a días típicos de verano. En esta gráfica puede observarse la curva de temperatura exterior,

con registros de valores diferentes en el transcurso de los días. Es evidente una subdivisión del período después de primeros cuatro días por un marcado salto térmico. En la primera etapa de la simulación, la temperatura exterior promedio es de 20°C de media, 34°C de máxima, y 14°C de mínima. Mientras que, en la segunda etapa, la temperatura promedio exterior es de 22° de media, 39°C de máxima, y 17°C de mínima, registrándose una considerable amplitud térmica exterior (ΔT_e) entre el día y la noche, aproximadamente 17 °C. Las temperaturas promedio interiores simuladas en las distintas zonas, fueron para la Z1: máx. de 32°C, med. de 29°C y mín. de 26°C; en Z2: una máx. de 31°C, med. de 28°C y mín. de 25°C; y la Z3: máx. de 36°C, med. de 31,5°C y mín. de 27°C. Se observa correlación, entre los aumentos de T_i , en correspondencia con los de T_e , al tratarse de las horas de mayor incidencia solar. La fluctuación térmica interior (ΔT_i) promedio diario, es de 3°C en Z1 y 2 y de 6° C en Z3. Según Givoni, los parámetros recomendados para el confort higrotérmico interior de verano son entre 20 a 27°C y para Olgyay, hasta 28°C inclusive. En el caso base, los valores sobrepasan 5°C a los valores recomendados[24][25].

Por los resultados, se infiere que la sensación los usuarios excede el rango de confort, por lo cual se realiza una propuesta de rehabilitación energética de la envolvente para mejorar las condiciones de bienestar.

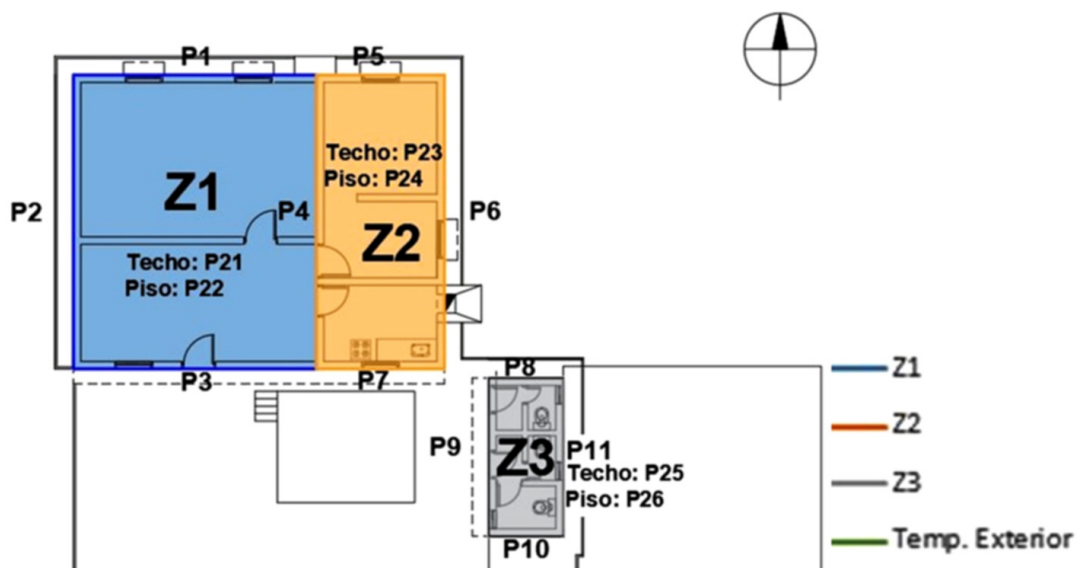


Fig. 4. Ubicación de zonas térmicas.
Nota: Fuente: Elaboración propia

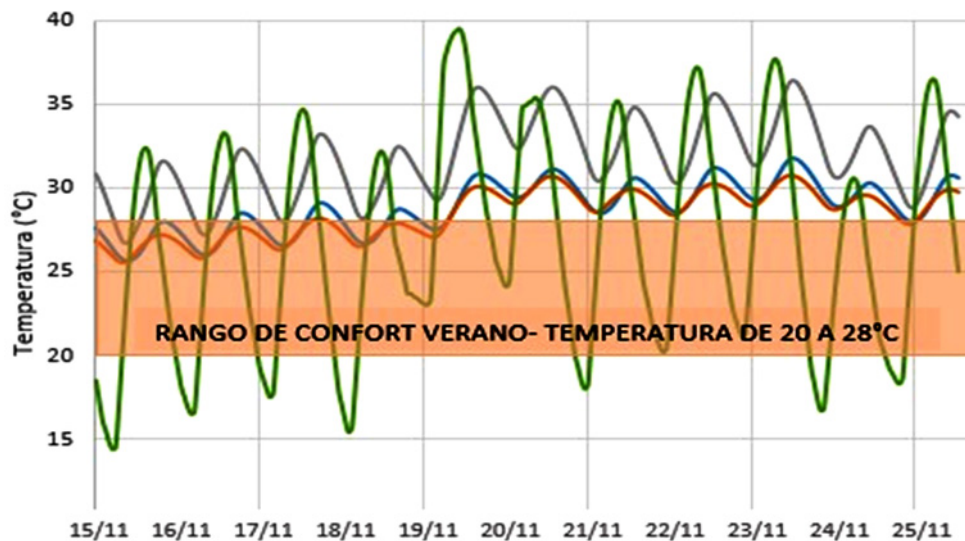


Fig. 5. Gráfica de comparación de temperaturas exteriores e interiores del caso base. Nota: Fuente de Programa Simedif 2.0[26], y elaboración propia del estudio

V. REHABILITACIÓN ENERGÉTICA EDILICIA

En la Fig. 6, puede advertirse el detalle constructivo de muro y techo existentes del caso base. A su vez, en la Fig. 7 se encuentra el detalle con la propuesta de ajuste de rehabilitación energética de la envolvente.

Al muro base, se le incorpora hacia el exterior, aislación de 0,05 m de poliestireno expandido (EPS) y un tabique de LCM de 0,15 m, con terminación de revoques grueso, fino y pintura látex color claro. Para el techo base, de Losa de H°A°, se plantea, incorporar hacia el interior cámara de aire -ático- ventilado- y doble aislación térmica de lana de vidrio de 0,05m y placa de cielorraso de EPS de 0,03 m. Cabe aclarar que esta propuesta superadora, no se proyecta para núcleo sanitario, pero si incluye el sector de servicio de depósito- dormitorio y cocina- comedor, por habitarse por los usuarios gran cantidad de horas, comparables con el tiempo que permanecen en el aula y la galería, principales de la escuela rural.

VI. EVALUACIÓN TÉRMICO-ENERGÉTICA COMPARATIVA

A continuación, se presenta la evaluación térmico-energética que permiten analizar comparativamente, los valores de cálculos con los admisibles de la serie de Norma IRAM 11.600 y 11.900. Para

su elaboración, se utilizó el programa calculador TRAN-Q-E[27].

La Tabla III, contiene valores de transmitancia térmica de cálculo (KCAL) de ambos casos en forma comparativa con procedimiento de cálculo de Norma 11.605, y solo verificada para condición de verano (ya que es despreciable la diferencia con invierno). Estos resultados son cotejados con los valores máximos admisibles (KMAX ADM) de confort higrotérmico «A, A/B, B y C» de norma 11.900[27]. Los valores de KCAL del caso base, fueron para techos y muros, de 1,36 y 2,08 W/m². K respectivamente. Por lo cual, estos no verifican el nivel C- mínimo de confort higrotérmico. En cambio, se encuentra que en el caso de la versión mejorada los valores se reducen a 0,30 W/m² K en techos y a 0,44 W/m² K en muros. Con ello, y verifica con respecto a valores de las normas de referencia el nivel de confort higrotérmico A/B-intermedio entre medio y recomendado; llegando obtener un el nivel A- óptimo de confort higrotérmico, constituyendo un avance sustancial.

Seguidamente, en la Tabla IV se calculan ganancias y pérdidas térmicas según la situación verano o invierno tanto para el caso base como para el mejorado. Como se muestra, el caso base presenta un QR de 32.430 W y el caso mejorado de 25.046 W, es decir, se reduce la carga térmica por refrigeración en un 23%. De todas maneras, se detecta que los resultados de GR fueron mayores al GRadm

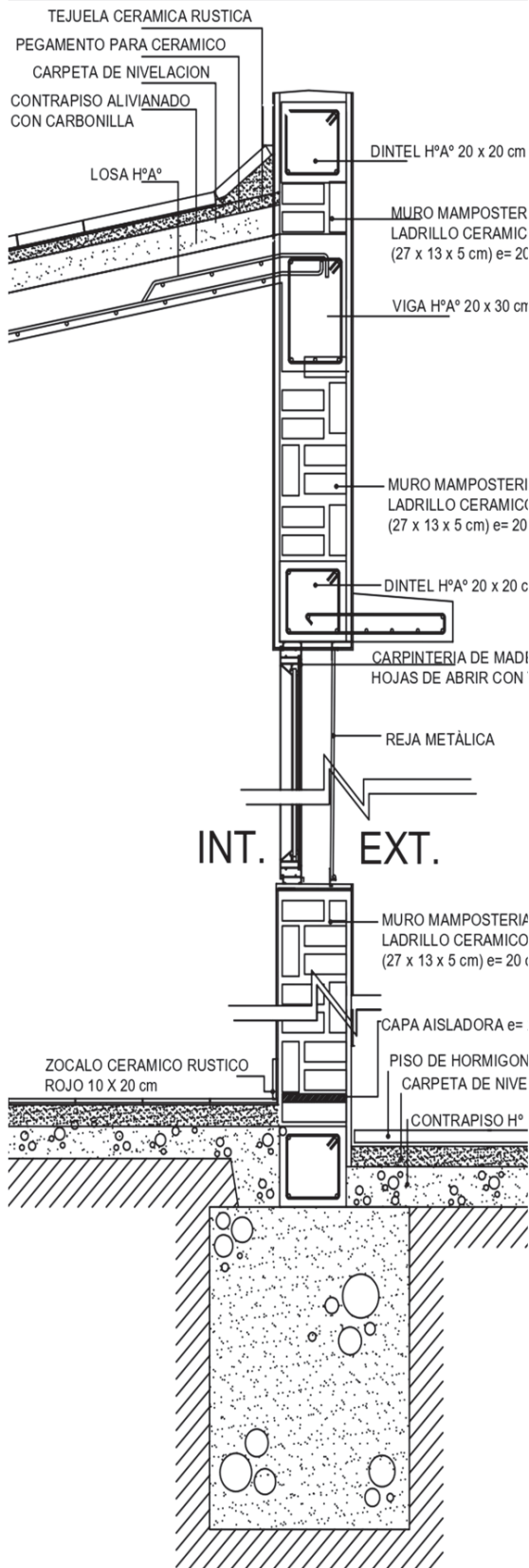


Fig. 6. Detalle Constructivo Caso Base.
Nota: Fuente elaboración propia del estudio

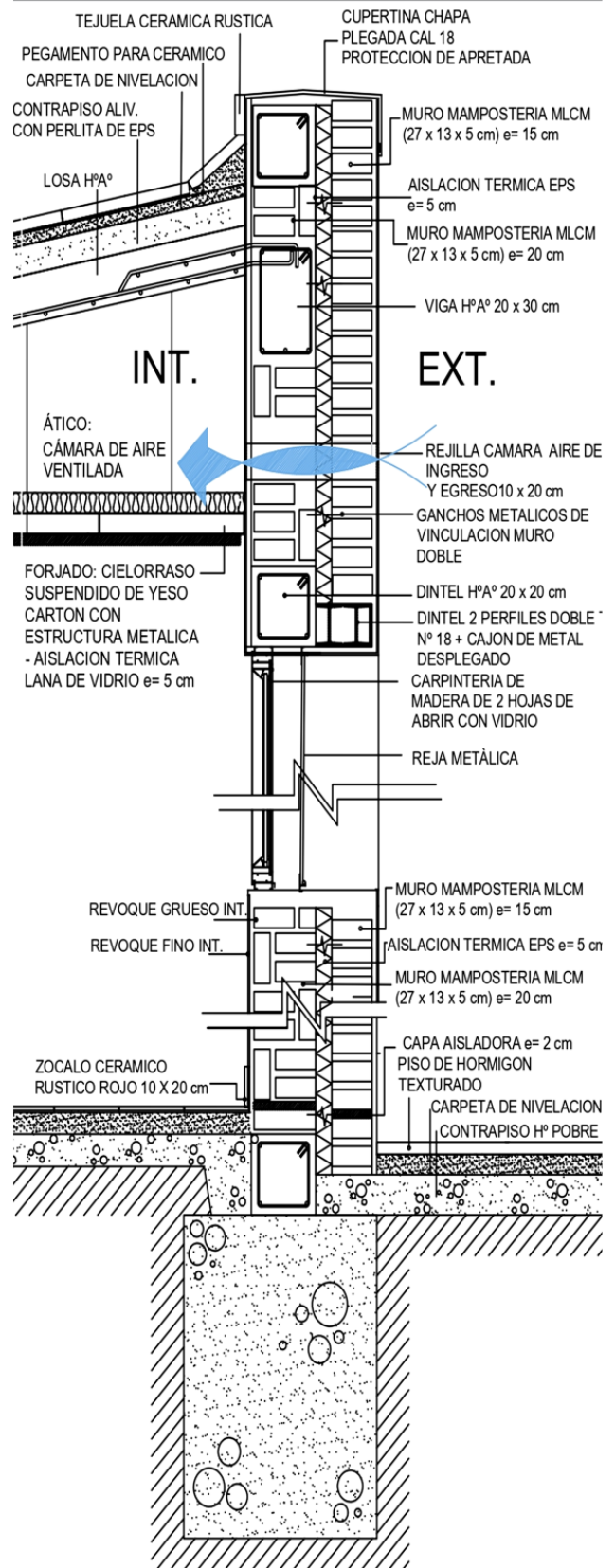


Fig. 7. Detalle Constructivo Caso Mejorado.
Nota: Fuente elaboración propia del estudio

Tabla III. Cálculo y Verificación de Transmitancia Térmica condici^ona de verano, Normas IRAM serie 11.600 y 11.900.

U/ K [W/m ² K]	Casos	K _{CAL} [W/m ² K]	Nivel A K _{MAX ADM} [W/m ² K]	Nivel A/B K _{MAX ADM} [W/m ² K]	Nivel B K _{MAX ADM} [W/m ² K]	Nivel C K _{MAX ADM} [W/m ² K]	Verifica IRAM 11.900
K- verano, Zonas Ambientales I y II	Techo Base	1,36	0,18	0,31	0,45	0,72	NO- Nivel C
	Techo Mejorado	0,30	0,18	0,31	0,45	0,72	SI- Nivel A/B
	Muro Base	2,08	0,45	0,78	1,10	1,80	NO- Nivel C
	Muro Mejorado	0,44	0,45	0,78	1,10	1,80	SI- Nivel A

Nota: Fuente de elaboraci^on propia del estudio.

Tabla IV. Cálculo y Verificaci^on de Refrigeraci^on y Calefacci^on seg^un Normas IRAM serie 11.600

CLIMATIZACI ^o N	Caso	Q [W]	G [W/m ³]	G _{adm} [W/m ³]	Verifica IRAM 11.659	Verifica IRAM 11.654
Refrigeraci ^o n	Base	32.430	57,19	18,92	G _R > G _{Radm} : NO	
	Mejorado	25.046	44,17	18,92	G _R > G _{Radm} : NO	
Calefacci ^o n	Base	30.270	2,293	1,389		G _{cal} > G _{adm} : NO
	Mejorado	16.100	1,220	1,389		G _{cal} < G _{adm} : SI

Nota: Fuente de elaboraci^on propia del estudio.

estipulado en norma IRAM 11.659, con lo cual, se visibiliza la necesidad de utilizar sistemas activos de climatizaci^on termo-mec^anica; quedando en evidencia la rigurosidad del clim^atica de la zona[28].

En cuanto a los resultados para invierno, las p^er^didas de calor se registran con un valor de 30.270 W para el edificio existente y de 16.100 W para el rehabilitado, lo que significa una disminuci^on del 45%. En cuanto al G_{cal} del caso base es de 0.270 W/m³ por lo tanto, no verifica seg^un al valor admisible G_{adm} de 2,713 W/m³; en cambio en la propuesta de mejoras el G_{cal} es de 2,141 W/m³, lo cual, se sit^ua por debajo.

VII. SIMULACI^oN T^eRMI^CA DEL CASO MEJORADO

Con el fin de conocer la mejora de las situaciones t^er^micas interiores en el perⁱodo de clases

c^aldido- desfavorable entre el 15/11 al 25/11, se vuelve a simular el edificio escolar. En la Fig. 8, se toman solo las Zonas 1 y 2 de Caso Base (CB) y se modifican las caracterⁱsticas constructivas, para que el programa Simedif 2.0., pueda recrear las temperaturas interiores de Zonas 1 y 2 del Caso Mejorado (CM), incluyendo la rehabilitaci^on energ^etica propuesta.

La Fig. 9, presenta la gr^afica resultante del c^alculo donde se pueden apreciar de manera contrastada las Z1 y 2 del CB y las Z1 y 2 del CM. Ambas zonas del caso mejorado presentaron una disminuci^on de 3 °C producto de la rehabilitaci^on energ^etica techos y muros. Con este logro, los valores de temperaturas interiores simulados ingresan al rango de confort recomendado de 20 a 28° en cada, pr^acticamente en todo el periodo de la simulaci^on, con excepci^on de la zona Z1 en el horario de mayor insolaci^on solar de algunos de los dⁱas.

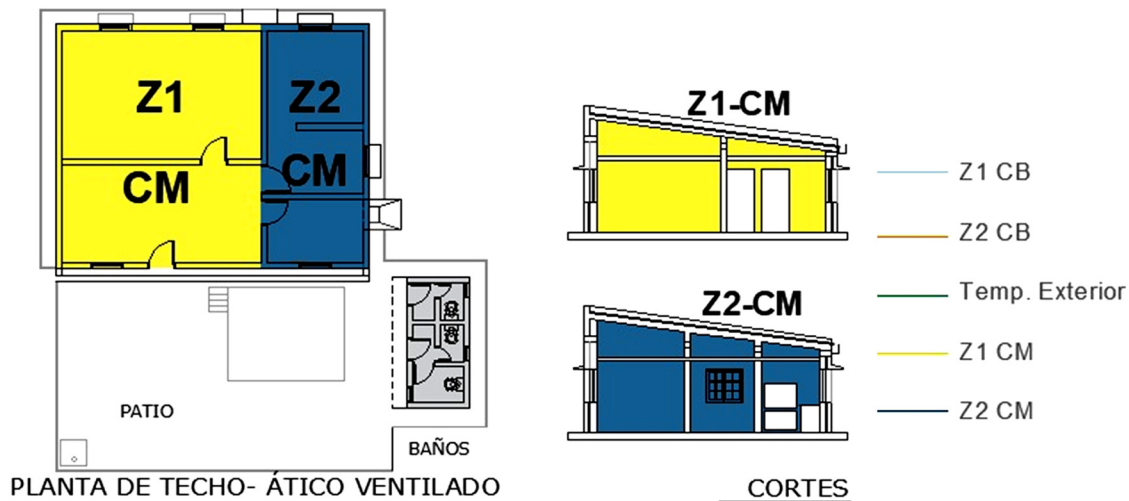


Fig. 8. Ubicación de nuevas zonas térmicas. Nota: Fuente elaboración propia del estudio

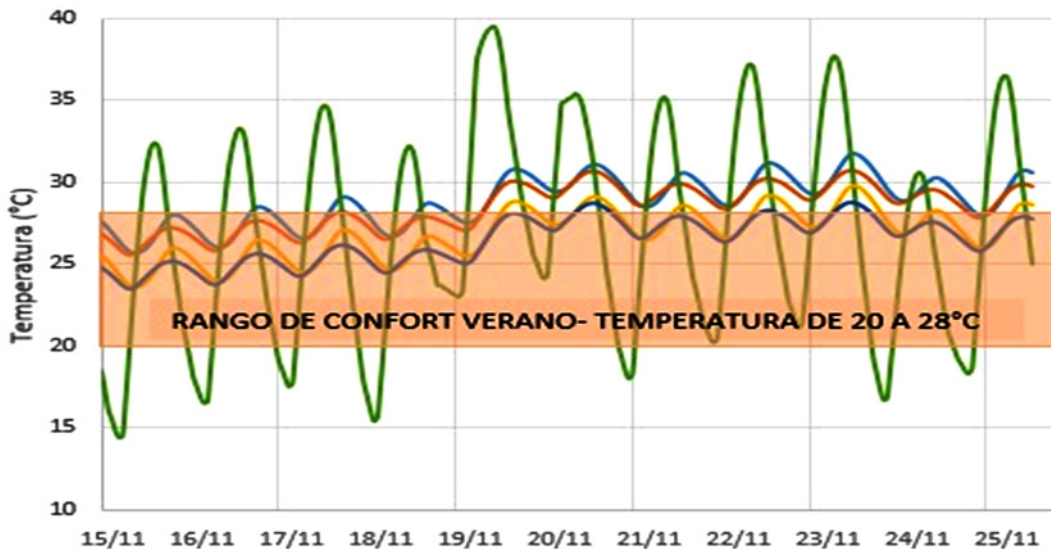


Fig. 9. Gráfica de comparación de temperaturas exteriores e interiores del caso mejorado

VIII. CONCLUSIÓN

El diagnóstico térmico-energético de la escuela estatal rural situada en área de población dispersa, en Mitre- Santiago del Estero; se realizó a través de diversos cálculos en estado estacionario, con respecto a normas de referencia y de modelado dinámico por simulación térmica edilicia. La valoración se efectuó en fecha normal de ocupación escolar, durante el fin del equinoccio de primavera, y próximo al inicio del período estival. Con esto, quedó demostrado que, durante todo el período de análisis, las temperaturas del aire interior de todos los locales de la escuela, superaron los valo-

res máximos recomendados por reconocidos autores, y con ello se presume que alumnos y docentes, carecen de sensación de confort en los espacios que utiliza la comunidad educativa.

Por tal motivo esta investigación, se propuso diseñar y evaluar térmico energéticamente, mejoras tecnológicas en la envolvente. Hacia el exterior se planteó en la mampostería, la incorporación equilibrada de inercia y aislación térmica. Mientras que, hacia el interior se proyectó un falso techo, compuesto por un forjado o cielorraso suspendido doblemente aislado, con cámara de aire o ático adecuadamente ventilado.

Los resultados de la mejora del caso fueron observados de manera contrastada con el caso base. Encontrando que se puede optimizar la envolvente, al nivel intermedio y máximo de confort higrotérmico. En tal sentido, se logra además disminuir las pérdidas y ganancias de calor, que permiten colaborar en el ahorro del consumo de energía no renovable, para calefacción en invierno y refrigeración en verano.

La superposición de los resultados, de los dos modelos escolares térmicos globales, permitió corroborar el efecto positivo, al alcanzar la mejora un buen desempeño térmico-energético en la estación desfavorable. La contribución del presente trabajo, es demostrar la importancia y las ventajas en el diseño, evaluación y ajustes de edificios escolares; para cumplir normativas y estándares mínimos en la construcción de futuras obras; favoreciendo de este modo, al propósito de optimizar las condiciones de salubridad, habitabilidad y calidad de vida, de las comunidades educativas de Santiago del Estero-Argentina.

REFERENCIAS

- [1] PNUD. Informe sobre Desarrollo Humano 2019.
- [2] IPCC: Cambio climático 2021: Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 pág. ISBN 978-92-9169-343-6. 2021.
- [3] W. Tushar, L. Lan, C. Withanage, H. En, K. Sng, C. Yuen, K. L. Wood, y T. Kumar. Exploiting design thinking to improve energy efficiency of buildings. *Energy*, 197, 117-141. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117141>. 2020.
- [4] A. Barbaresi, M. Bovo y D. Torreggiani. The dual influence of the envelope on the thermal performance of conditioned and unconditioned buildings. *Sustainable Cities and Society*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.1022>. 2020.
- [5] N. Cervero Sánchez. La envolvente en la rehabilitación de conjuntos de vivienda protegida. *Architecture, City and Environment*, 14(42). <https://doi.org/10.5821/ace.14.42.8960>. 2020.
- [6] A. Gough, Sustainable Schools: Renovating Educational Processes. *Applied Environmental Education and Communication*, 4, 339-351. 2005.
- [7] H. Yoshino, T. Hong y N. Nord. IEA EBC annex 53: Total energy use in buildings – Analysis and evaluation methods. *Energy and Buildings*, 152(1), 124-136. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.038>. 2017.
- [8] F. Ascione, N. Bianco, G. Maria Mauro y D. F. Napolitano. Building envelope design: multi-objective optimization to minimize energy consumption, global cost and thermal discomfort. Application to different Italian climatic zones. *Energy*, 174, 359-374. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.182>. 2019.
- [9] T. Blázquez, S. Ferrari, R. Suárez y J. J. Sendra. Adaptive approach-based assessment of a heritage residential complex in southern Spain for improving comfort and energy efficiency through passive strategies: A study based on a monitored flat. *Energy*, 181, 504-520. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.160>. 2019.
- [10] G. Giuliano. Eficiencia Energética de Escuelas Rurales en Santiago del Estero. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de Salta. 2019.
- [11] G. San Juan, S. Hoses, I. Martini. Aprendizaje en las escuelas del Siglo XXI. Avances en energías renovables y medio ambiente, ISSN 0329-5184, 2: 08.173-0.8.176. 2014.
- [12] M. Marcilese & J. Czajkowski. El aula de una escuela rural bonaerense. Su adecuación a la Ley 13059/03 y decreto reglamentario. *ASADES, Energías Renovables y Medio Ambiente*, 27. pp. 45 - 51, 2011 Impreso en la Argentina. ISSN0328-932X. 2011.
- [13] S. De Schiller y J. M. Evans. Sustentabilidad del hábitat construido. Diseño, eficiencia energética y energías renovables. *Arquisur Revista N°14*. p.p. 32-45, eISSN2250-4206. 2018.
- [14] S. Belmonte, R. Caso, S. Flores Larsen & B. Balderrama. Instituto Nacional en Energía No Convencional, INENCO (1980-2015). Capítulo 2: Edificios Bioclimáticos, p. 37-38. ISBN 978-987-20105-5-3.
- [15] M. Boutet, A. Hernández & G. Jacobo. Propuesta de Optimización del Comportamiento Higrotérmico - Lumínico, de un Edificio Escolar de la Región N.E.A., a partir de Monitoreo y Simulación en Período de Otoño. *Avances en Energías Renovables Y Medio Ambiente*, 17, 1-10. 2013.
- [16] B. Garzón, Hábitat Sustentable y Saludable: Experiencias de Cogestión. Jornada; Aprender para Enseñar; UNT-FAU, San Miguel de Tucumán. 2017.
- [17] G. Giuliano y B. Garzón. Evaluación del confort higrotérmico de una escuela rural y su rediseño, en Silípica-Santiago del Estero. *Revista PENSUM*, ISSN: 2469-0724, Volumen 6, Número 6, Diciembre. 2020.
- [18] S. Flores Larsen, C. Filippín, G. Lesino. Monitoreo y simulación del comportamiento térmico de una

- escuela rural en algarrobo del Águila, La Pampa. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 8, N.º 1, ISSN 0329-5184. 2004.
- [19] Norma IRAM N°11603. Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación Bioambiental de la República Argentina. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. 2012.
- [20] Norma IRAM N°11605. Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos. Clasificación según la transmitancia térmica de la envolvente. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. 2020.
- [21] Norma IRAM N° 11659-1-2. Aislamiento térmico de edificios. Acondicionamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 1 y Parte 2: Edificios para viviendas. 2007.
- [22] Norma IRAM N°11.601. Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. 2004.
- [23] Norma IRAM N°11604. Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. 2004.
- [24] B. Givoni y A. Man. Climate and Architecture. Elsevier Architectural Science Series. Editor Henry J. Cowan; Professor of Architectural Science; University of Sydney. 444-20039-8. Library of Congress Catalog Card 69-15822. 1969.
- [25] V. Olgyay. Arquitectura y Clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Reeditado en Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona, España, 1998. ISBN: 84-252-1488-2. 1963.
- [26] S. Flores Larsen. Simedif 2.0. Programa calculador térmico de edificios. Versión Junio 2019. INENCO-CONICET. 2019.
- [27] B. Garzón y C. Mendonca. TRANS-Q-E: Programa calculador de transmitancia, cargas térmicas de calefacción y refrigeración y consumos energéticos, según Normas IRAM 11601(2004), 11603 (2012), 11604 (2004), 11605 (2002), 11659-1 (2007), 11659-2 (2007). Obra Inscripta en Dirección Nacional de Derechos del Autor DNDA, CABA. 2013.
- [28] IRAM 11.900. modificación N°1 a la Norma IRAM 11900:2017-12. Prestaciones energéticas de viviendas. Métodos de cálculos. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. 2019.