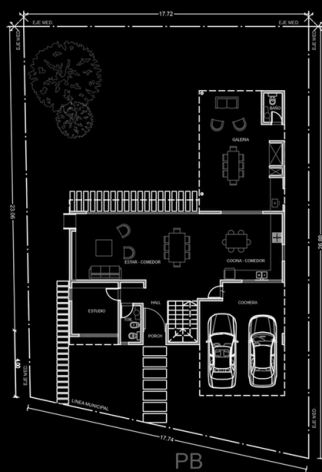


07

Incidencia de las superficies vidriadas en la eficiencia energética de viviendas: dos casos en Tucumán



ESP El presente trabajo tiene como objetivo demostrar cómo las carpinterías inciden considerablemente en la eficiencia energética edilicia. Se exponen dos casos de viviendas, *casas country*, ubicadas en el gran San Miguel de Tucumán. Ambas se construyen considerando criterios de eficiencia térmico-energética desde las orientaciones y a través del uso del sistema Cassaforma. Este sistema resulta muy eficiente desde el punto de vista térmico-energético, ya que alcanza los más altos estándares de aislación térmica establecidos por IRAM 11605. Sin embargo, estas viviendas poseen una importante superficie de ventanas, con un acristalamiento de bajas prestaciones térmicas y sin protecciones solares en la mayoría de sus orientaciones. Se analiza la performance de ambas a través de la ponderación EPDA (Estrategias Pasivas de Diseño Arquitectónico) y el etiquetado de eficiencia energética en su estado original. A través de estas herramientas, se estudia el comportamiento de las viviendas considerando dos posibles variantes: la reducción de la superficie de ventanas en un 50 % y la utilización de un sistema de vidrio de mejores prestaciones térmicas existente en el mercado local. Se concluye que las carpinterías presentan una elevada incidencia en el comportamiento energético de ambos casos y la reducción de las mismas permite importantes ahorros energéticos.

ENG **Glass surfaces incidence on the energy efficiency of homes: two cases in Tucumán**
The objective of this work is to demonstrate how the glaze surface considerably affects building energy efficiency. Two cases of housing are presented, which consist of two private neighborhood houses located in the metropolitan area of San Miguel de Tucumán. Both were built considering recommended criteria on thermal energy efficiency and using Cassaforma system. This system is very efficient from a thermal energy point of view since it reaches the highest IRAM standards for thermal insulation. However, these cases present a significant window surface, with low thermal performance glazing and no solar protection in most orientations. Their performance is analyzed through EPDA (Passive Architectural Design Strategies) and energy efficiency labeling at their original state. Using the same tools, these houses' behavior is analyzed considering two possible variants: a 50 % window surface reduction and the use of a glass system with a better thermal performance that is available in the local market. It is concluded that carpentry has a high impact on energy behavior in both cases and its reduction allows significant energy savings.

POR **Incidência das superfícies envidraçadas na eficiência energética de Edificações residenciais: dois casos em Tucumán**
O presente trabalho tem como objetivo demonstrar como as esquadrias incidem consideravelmente na eficiência energética edilícia. Apresentam-se dois casos de residências "casas country" localizadas na grande San Miguel de Tucumán. Ambas as residências foram construídas considerando critérios de eficiência térmico-energética desde as orientações e através da utilização do sistema Cassaforma. Este sistema, resulta muito eficiente desde o ponto de vista térmico energético, já que atinge os maiores padrões de isolamento térmico estabelecidos por IRAM 11605. Porém, apresentam uma importante superfície de janelas envidraçadas de baixo desempenho térmico e sem proteções solares na maioria de suas orientações. Analisa-se a performance de ambas as casas através da ponderação EPDA (Estratégias Passivas de Design Arquitetônico) e o etiquetado de eficiência energética, em seu estado original. Através das mesmas ferramentas, analisa-se o desempenho das residências considerando duas possíveis variáveis: a redução da superfície de janelas em um 50 % e a utilização de um sistema de vidro de melhor desempenho térmico presente no mercado local. Se conclui que as esquadrias apresentam uma elevada incidência no comportamento energético em ambos os casos e a redução das mesmas, permite importantes poupanças energéticas.

Autoras:

Esp. Arq. Amalita Fernández

Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad Nacional de Tucumán
CONICET
Argentina
afernandez@herrera.unt.edu.ar
<https://orcid.org/0000-0002-5848-2685>

Dra. Arq. Beatriz S. Garzón

Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad Nacional de Tucumán
CONICET
Argentina
bgarzon06@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3130-8895>

Palabras clave: aislamiento térmico, cerramientos, eficiencia energética, ventanas, vivienda.

Keywords: thermal insulation, envelope, energy efficiency, windows, housing.

Palavras-chave: isolamento térmico, fechamentos, eficiência energética, janelas, edificações residenciais.

Artículo Recibido: 30/06/2023

Artículo Aceptado: 01/11/2023

CÓMO CITAR

Fernández, A., & Garzón, B. S. Incidencia de las superficies vidriadas en la eficiencia energética de viviendas: dos casos en Tucumán.

ARQUISUR Revista, 13(24), 94–103. <https://doi.org/10.14409/ar.v13i24.13064>

ARQUISUR REVISTA

AÑO 13 | N° 24 | DIC 2023 – MAY 2024

PÁG. 94 – 103

ISSN IMPRESO 1853-2365

ISSN DIGITAL 2250-4206

DOI <https://doi.org/10.14409/ar.v13i24.13064>



INTRODUCCIÓN

El sector edilicio presenta un elevado impacto ambiental, tanto desde el punto de vista de las emisiones de CO₂ como desde el consumo energético. El mismo es responsable del 36 % de las emanaciones de dióxido de carbono y del 40 % del consumo energético total en el mundo (Rivero Camacho, *et al.*, 2018). En Argentina, el 37 % del consumo energético de la matriz nacional es ocupado por el sector edilicio, en donde la climatización es el ítem más representativo de dicho consumo (Kuchen y Kozak, 2020). Se estima que, sobre el total de la energía empleada para la climatización de ambientes, se desperdicia un 50 % debido a las ganancias o pérdidas de calor a través de los cerramientos del edificio (Venhaus Held, *et al.*, 2017). El sector residencial consume a nivel global una cantidad significativa de energía, por tal motivo resulta fundamental desarrollar e implementar sistemas arquitectónicos bioclimáticos que contribuyan a la disminución del consumo energético (Manzano Agugliaro *et al.*, 2015). Se trata, asimismo, de reducir el consumo sin afectar el confort térmico edilicio. En Argentina, para contribuir a lograr la meta nacional de ahorro energético, es esencial la implementación de medidas de Eficiencia Energética (EE) en el sector residencial, ya que este representa el 27 % del consumo total del país (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2017). Además, este sector puede ser abordado desde múltiples enfoques, lo que le otorga un gran potencial de mejora.

El parámetro de diseño más importante para regular y controlar el confort térmico de una edificación en clima cálido húmedo es su envolvente, y resulta indispensable, ya que su adecuado diseño reduce de manera considerable los consumos energéticos (González Vásquez y Molina–Prieto, 2018). Sadineni, Madala y Boehm (2011) afirman que los muros conforman la fracción predominante de la envolvente arquitectónica, a la vez que proveen confort térmico y acústico y son el elemento que mayor aporte estético hace a la construcción. Las ventanas son claves en la eficiencia energética de los edificios debido a que a través de ellas ocurren múltiples intercambios lumínicos y energéticos (De Gastines y Pattini Gast, 2016). En los países como Argentina, donde las ventanas son de bajo desempeño, hay un elevado potencial de ahorro energético asociado a la selección de aberturas (De Gastines y Pattini Gast, 2019).

Los valores de transmitancia térmica de las ventanas disponibles en el mercado argentino tienen una amplia distribución (desde 6,00 hasta 1,88 W/m² K).

La transmitancia térmica de la ventana puede ser reducida en hasta un 70 % con respecto a la ventana más comúnmente utilizada. No obstante, incluso las ventanas más aislantes tienen factores K elevados en comparación con las tecnologías existentes en otros países, que alcanzan valores de transmitancia térmica inferiores a 0,8 W/m²K (Jelle *et al.*, 2012). La situación, orientación y diseño de las ventanas son estrategias de alta importancia, ya que pueden afectar las condiciones de iluminación, ahorro energético, confort térmico y visual, al interior de los espacios (Vasquez, 2017).

Frente a la problemática ambiental global, numerosos países incorporan políticas de EE con el fin de reducir el consumo de energía, aspecto que puede observarse en medidas como etiquetados o pasaportes de EE (Alonso Frank y Kuchen, 2017).

Con el propósito de introducir la etiqueta de EE en el país, en 2018 surge el Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas, basado en la Norma IRAM 11900. Se trata de obtener una estimación del consumo de energía primaria en hogares residenciales ya construidos para satisfacer las demandas generadas por requerimientos de calefacción, refrigeración, producción de agua caliente sanitaria e iluminación, durante un año típico. De esta manera, los individuos pueden conocer el nivel de EE de una vivienda, volviéndose esta nueva herramienta una pieza muy importante a la hora de comprar, alquilar o construir un inmueble destinado a vivienda. Cabe destacar que se constituye igualmente como instrumento útil para evaluar un nuevo proyecto o plantear reformas en uno existente. Por su parte, la norma IRAM 11900 introduce el concepto de EPDA (Estrategias Pasivas de Diseño Arquitectónico) como: «Características del diseño arquitectónico y de los elementos constructivos que adecuan el edificio a las condiciones climáticas y ambientales, y permiten mejorar la sensación de confort higrotérmico y reducir la demanda de energía convencional» (IRAM, 2019:2).

El objetivo de este trabajo es demostrar cómo inciden las superficies vidriadas en la etiqueta de EE y en la ponderación EPDA.

METODOLOGÍA

En el presente trabajo se analiza el comportamiento energético de dos viviendas y el cumplimiento de estrategias pasivas de diseño arquitectónico en su caso original y en dos propuestas de mejoras de las superficies vidriadas. Se utilizan como herramientas metodológicas la ponderación EPDA (IRAM 2019) y el

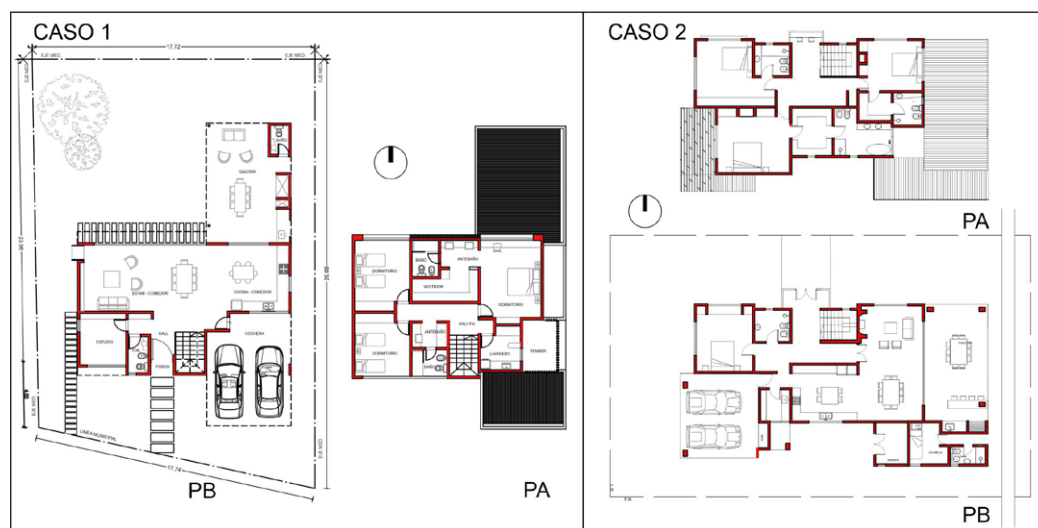


FIGURA 1 | Planimetría de ambos casos de estudio. Fuente: elaboración propia.

Orientación/ protección	Caso 1		Caso 2	
	FSP	% de incidencia sobre 100 % aberturas	FSP	% de incidencia sobre 100 % aberturas
Norte sin protección	1	20,24 %	1	20,25 %
Norte con protección 1	0,1	8,59 %	0,8	20,25 %
Norte con protección 2	0,6	23,29 %	-	0 %
Este sin protección	1	6,64 %	1	15,41 %
Este con protección	-	0 %	0,44	12,95 %
Sur sin protección	1	27,47 %	1	10,89 %
Sur con protección	0,53	8,29 %	-	0 %
Oeste sin protección	1	5,47 %	1	20,25 %
Total sin protección		59,82 %		66,80 %
Total con protección		40,17 %		33,20 %

TABLA 1 | Incidencia de las superficies vidriadas en cada orientación con y sin protecciones para ambos casos. Fuente: elaboración propia.

aplicativo informático nacional Etiquetado de Viviendas (Secretaría de Energía, s.f.). Se toman dos casos de viviendas construidas con el sistema Cassaforma, con muy buenas prestaciones en cuanto a la aislación térmica, y se realiza un etiquetado de EE en ambos casos. *A posteriori*, se efectúan dos propuestas de mejoras, vinculadas al tratamiento de las superficies vidriadas: por un lado, se sustituye el tipo de vidrio existente por doble vidriado hermético (DVH) y, por otro, se reducen a la mitad las superficies vidriadas.

Se define a las EPDA como: «Características del diseño arquitectónico y de los elementos constructivos que adecuan el edificio a las condiciones climáticas y ambientales, y permiten mejorar la sensación de confort higrotérmico y reducir la demanda de energía convencional» (IRAM, 2019:2). Las EPDA posibles de evaluar son: aislación térmica, inercia térmica, protec-

ción solar, ventilación natural, captación solar, humidificación y entorno. La ponderación de la relevancia de las estrategias depende del clima de la región donde se emplaza el edificio. Para determinar la ponderación de las EPDA, se identifica una serie de parámetros característicos, denominados Recursos Arquitectónico-Constructivos (RAC), que reducen la demanda de energía y optimizan el confort higrotérmico mediante el acondicionamiento natural del edificio en los períodos de verano e invierno (IRAM, 2019).

El equipo de trabajo Grupo Hábitat Sustentable y Saludable (GHabSS) de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán FAU-UNT, desarrolló un calculador C-EBioDA, calculador de estrategias bioclimáticas de diseño arquitectónico, para simplificar y sistematizar la obtención de la ponderación de estrategias pasivas para la ciudad de

Orientación/ protección	Caso 1	Caso 2	Nivel de confort higrotérmico (IRAM 11605)
K cubierta	0,77 W/m ² K	0,50 W/m ² K	Nivel B
K muros	0,40 W/m ² K	0,40 W/m ² K	Nivel A
K Ventanas	5,49 W/m ² K	5,49 W/m ² K	-
FS vidrio	0,98	0,98	-

TABLA 2 | Comportamiento térmico de la envolvente de los casos analizados. Fuente: elaboración propia.

San Miguel de Tucumán. Este lleva a cabo una sencilla sistematización, a través de una planilla de cálculo, de todas las variables cualitativas con sus correspondientes valores que inciden en la ponderación EPDA. Para su ejecución, las únicas variables a seleccionar son las calidades de los elementos constructivos para cada RAC.

El aplicativo informático nacional es una herramienta en línea, basada en la norma IRAM 11900, diseñada para realizar la evaluación de EE en una vivienda en cualquier lugar del país a partir de un relevamiento de esta y obtener la etiqueta correspondiente, conforme a los lineamientos establecidos a nivel nacional (Fernández *et al.*, 2020). Asimismo, contribuye a formular recomendaciones de mejora y cuantificar el impacto de estas en términos de potenciales ahorros (Ministerio de Energía y Minería, s.f.). Este aplicativo clasifica la EE de la vivienda en siete categorías denominadas «Clase de Eficiencia Energética», definidas alfabéticamente de la A a la G.

DESCRIPCIÓN DE CASOS DE ESTUDIO

Los casos de estudio consisten en dos viviendas unifamiliares (Figura 1) ubicadas en el área metropolitana de San Miguel de Tucumán, en barrios privados. El caso 1 se emplaza en el municipio de Yerba Buena, y el 2 en la comuna rural El Manantial. El caso 1 cuenta con una superficie construida cubierta de 180 m², y el 2 con 230 m². En cuanto al semicubierto, los dos presentan cochera y galería. En el caso 1, este constituye 73 m²; y en el 2, 75 m². Ambos se resuelven en dos niveles, de manera compacta con su perímetro libre, situación típica de los barrios privados, donde el reglamento interno no permite la edificación entre medianeras. Se desarrollan con un eje principal en sentido este-oeste y las caras principales con orientación norte-sur.

En la Figura 1 puede apreciarse la morfología de los dos casos. Se evidencia la compacidad de las mismas y la orientación con un eje principal hacia el norte. También pueden observarse las grandes superficies

acristaladas, así como la presencia de aberturas en las cuatro orientaciones. Para el caso 1, el 22,03 % de la superficie del Cerramiento Vertical Exterior (CVE) está constituida por ventanas, mientras que en el caso 2 lo está en un 33,77 %. En la Tabla 1 se expresa el porcentaje de aberturas en muros, para cada caso, con la incidencia de estas en cada orientación, con y sin protecciones.

En cuanto a la materialidad, su estructura consiste en una platea de fundación de hormigón armado, donde se fijan unos tabiques portantes antisísmicos materializados con el sistema constructivo tipo Cassaforma. Este sistema consiste en paneles de poliestireno expandido de 100 mm, con mallas de acero de alta resistencia, revocados en ambas caras con 30 mm de mortero cementicio con aditivos. En ambos casos las ventanas se materializan con carpintería de aluminio y vidrio laminado de seguridad sin protecciones móviles y con protecciones fijas, aleros, hacia el norte. Con respecto a las propiedades térmicas de la envolvente, en la Tabla 2 se expresan valores de transmitancia térmica y factor solar de los vidrios.

Las dos viviendas cuentan con instalación eléctrica y de gas natural, siendo el principal vector energético la electricidad. La iluminación se lleva a cabo, en su totalidad, con tecnología LED. El acondicionamiento térmico es a través de sistemas de aire acondicionado de unidades separadas, ubicados en los locales habitables, con una etiqueta de EE clase A. Para la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) se instala, en cada caso, un sistema de colección solar.

RESULTADOS VALORACIÓN DE EPDA

Para definir las EPDA, se utiliza el calculador C-EBioDA a partir de los valores brindados por la norma IRAM para la localidad de San Miguel de Tucumán. Para las dos viviendas, la calidad de los elementos que constituyen los RAC resulta idéntica, por lo que se realiza un único cálculo para ambos casos. En función de la definición que se asigna a la calidad de los elementos

RAC	Calidad de los elementos constructivos	Puntaje recurso
Aislación térmica techo	Nivel B	0,75
Aislación térmica muro exterior	Nivel A	1,00
Aislación térmica ventanas	Mayor que 5 kW/m ² K	0,00
Sombreado solar ventanas	Sin protección	0,00
Contacto con otras viviendas	Sin medianeras en contacto	0,00
Forma compacta FAEP	FAEP < 2,50	0,00
Proporción de ventanas en muro	Mayor que 20 % hasta 45 %	0,50

TABLA 3 | Puntaje de recursos para ambos casos. Fuente: elaboración propia.

EPDA	49,10 %
Aislación térmica	71,88 %
Inercia térmica	20,7 %
protección solar	31,25 %
Ventilación natural	27,5 %
Captación solar	50,18 %
Humidificación	70 %
Entorno	40 %

TABLA 4 | Porcentaje de incidencia de cada estrategia en la ponderación EPDA. Fuente: elaboración propia.

1. Tanto el coeficiente volumétrico de calefacción (IRAM 11604) como de refrigeración (IRAM 11659–2) mejoran sustancialmente cuando se disminuye la superficie de la envolvente que se encuentra en adyacencia con el exterior.

constructivos para cada RAC, se determina un puntaje de recurso. Este puntaje de recurso está dentro de un breve rango que va de cero a uno, siendo el valor uno la situación más favorable.

Los RAC más significativos para los casos analizados con sus respectivas calidades de elementos y puntaje de recurso se expresan en la Tabla 3. Se puede observar que la aislación térmica de la envolvente opaca resulta favorable, principalmente la proporcionada por muros, ya que alcanza el nivel máximo de confort higrotérmico, A. Para la zona bioclimática en la que se emplazan, zona cálida (IRAM, 2012), se considera a la morfología compacta como desfavorable, contrario a lo que sucede en otros índices de comportamiento térmico propuestos por IRAM,¹ así como en la etiqueta de EE. La ausencia de protecciones solares en ventanas y la baja aislación térmica provista por ellas resultan situaciones muy desfavorables, con un puntaje igual a cero.

Se obtiene un porcentaje total de EPDA de un 49,10%. En la Tabla 4 se muestra la incidencia porcentual de cada estrategia de diseño pasivo en la ponderación EPDA total. La estrategia más relevante resulta la aislación térmica, con un aprovechamiento de 71,88 %, seguido por la captación solar en invierno, con una incidencia del 50,18 %.

ETIQUETA DE EE CASOS BASE

A partir del aplicativo de Nación, se efectúa el etiquetado de ambas viviendas. Se obtiene el valor característico IPE (Índice de Prestaciones Energéticas) y

la clase de eficiencia energética. Se determina la incidencia de cada uno de los requerimientos energéticos posibles (calefacción, refrigeración, producción de ACS e iluminación) en el IPE total, poniendo énfasis en el acondicionamiento térmico.

Para el caso 1, el IPE resultante es de 83 kWh/m²año, al cual le corresponde una clase D, con tan solo 8 puntos por encima de la clase C (Figura 2). Esta categoría se presenta en color amarillo, por debajo de las categorías verdes, las cuales representarían las situaciones eficientes. En este valor, el requerimiento de mayor incidencia es la calefacción, seguido inmediatamente de la refrigeración, con valores muy próximos entre sí, 41 kWh/m²año y 39 kWh/m²año, respectivamente. La iluminación representa un valor muy bajo, 3 kWh/m²año, y el requerimiento de producción de ACS representa un requerimiento nulo de energías convencionales, ya que se compensa por completo con el sistema de energías renovables considerado. Esta preponderancia de requerimiento para acondicionar térmicamente, se debe a las importantes superficies vidriadas presentes en todas las orientaciones. En particular, calefaccionar posee un requerimiento ligeramente superior, lo cual se asocia a la presencia de una galería orientada hacia el norte, que no permite que se genere la ganancia térmica necesaria para disminuir el uso de sistemas activos de calefacción.

En el caso 2, el IPE obtenido resulta 55 kWh/m²año, posicionándose en una clase C (Figura 3), clase que se representa en color verde como «eficiente». El ma-

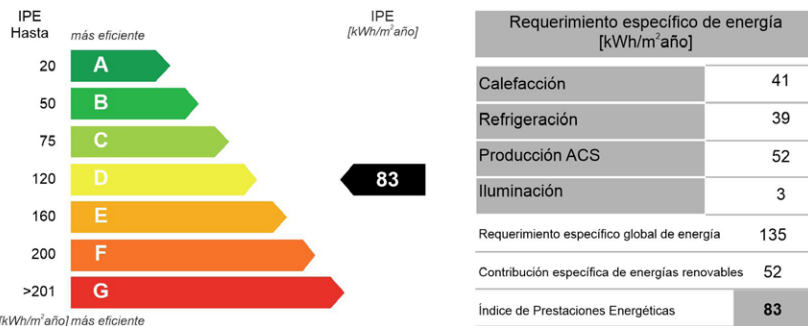


FIGURA 2 | IPE y etiqueta de EE para el caso 1. Fuente: elaboración propia.

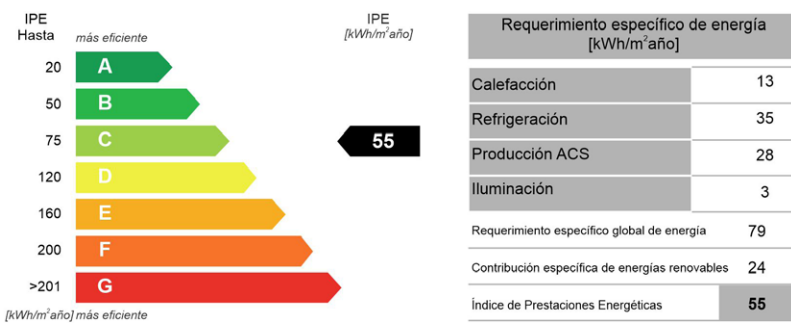


FIGURA 3 | IPE y etiqueta de EE para el caso 2. Fuente: elaboración propia.

El mayor requerimiento energético está dado por la refrigeración, 35 kWh/m²año, seguido por la calefacción, 13 kWh/m²año, con una diferencia considerable entre ambos. Esto puede deberse a la existencia de grandes superficies vidriadas orientadas hacia el norte sin protección solar, las cuales proporcionan captación solar favorable durante las estaciones frías y resultan completamente negativas durante el período estival. El requerimiento de iluminación es el más bajo de todos, 3 kWh/m²año; y el de producción de ACS se compensa casi en su totalidad con el sistema de energías renovables.

Resulta importante notar que en ambos casos el IPE resulta inferior al 50 % de los valores que configuran a las siete clases de eficiencia energética. Se destaca también la incidencia de requerimiento energético para acondicionamiento térmico (calefacción y refrigeración) como los más relevantes en ambos casos.

MEJORAS EN SUPERFICIES ACRISTALADAS EPDA Y ETIQUETAS DE EE

Para mejorar las prestaciones energéticas de los dos casos, se proponen modificaciones vinculadas a las superficies acristaladas y se las verifica de ma-

nera numérica. Se efectúan dos posibles propuestas para cada caso. La primera consiste en disminuir el coeficiente de transmitancia térmica de los vidrios a 2,82 W/m²K con la incorporación de doble vidriado hermético y manteniendo las dimensiones, proporciones, posición y sistema de apertura de las mismas, es decir, sin realizar ninguna modificación en el diseño arquitectónico. La segunda implica una reducción de todas las superficies vidriadas en un 50 %.

La propuesta 1 tiene como principal ventaja el hecho de no modificar el diseño de cada uno de los prototipos, mientras que la propuesta 2 sí. En tanto, la propuesta 1 implica elevar los costos en la construcción; mientras que la 2, por el contrario, los disminuye con respecto al proyecto arquitectónico original.

A continuación, se analiza la incidencia de ambas mejoras en la ponderación EPDA (Tabla 5). Tras la aplicación de la propuesta 1 mejora de la transmitancia térmica de ventanas, se obtiene un EPDA de 55, 11 %. Con esto, el RAC que mejora es aislación térmica en ventana y la estrategia *aislación térmica* es la que expresa un importante incremento, de 71,88 % a 86,88 %. Con la aplicación de la propuesta 2 se modifica el RAC *proporción de ventanas en muros*, pero,

	Casos base	Propuesta 1	Propuesta 2
EPDA	49,10 %	55,11 %	48,19 %
Aislación térmica	71,88 %	86,88 %	70,63 %
Inercia térmica	20,7 %	20,7 %	15,7 %
protección solar	31,25 %	31,25 %	31,25 %
Ventilación natural	27,5 %	27,5 %	27,5 %
Captación solar	50,18 %	55,8 %	50,18 %
Humidificación	70 %	70 %	70 %
Entorno	40 %	40 %	40 %

TABLA 5 | Ponderación EPDA para el caso original y propuestas de mejoras. Fuente: elaboración propia.

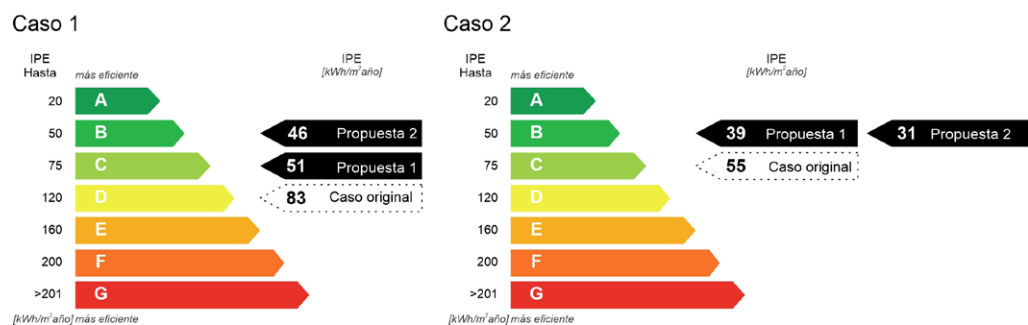


FIGURA 4 | Etiquetas de EE para ambos casos con las propuestas de mejora. Fuente: elaboración propia.

CASO 1					
	Original	Propuesta 1		Propuesta 2	
		Valores	% de mejora	Valores	Valores
Clase de EE	D	C	14,30 %	B	28,60 %
IPE kWh/m ² año	83	51	26,56 %	46	44,57 %
Calefacción kWh/m ² año	41	19	53,6 %	20	51,21 %
Refrigeración kWh/m ² año	39	29	25,63 %	23	41,03 %

CASO 2					
	Original	Propuesta 1		Propuesta 2	
		Valores	% de mejora	Valores	Valores
Clase de EE	C	B	14,30 %	B	14,30 %
IPE kWh/m ² año	55	39	29,09 %	31	43,63 %
Calefacción kWh/m ² año	13	6	53,85 %	7	46,15 %
Refrigeración kWh/m ² año	35	27	22,08 %	17	51,42 %

TABLA 6 | Comparación entre requerimientos energéticos para el caso original, 1 y 2, y sus respectivas propuestas de mejora. Fuente: elaboración propia.

según la normativa, este pasa a tener un puntaje inferior. La propuesta 2 supone un cambio desfavorable en la ponderación EPDA, con un valor de 48,19 %. En este caso, se considera una disminución de la incidencia de la estrategia *aislación térmica* e *inercia térmica* de 71,88 a 70,63 % y de 20,7 a 15,7 %, respectivamente. Esto se debe a que, para la localidad analizada, perteneciente a la zona bioclimática II b, la disminución de aberturas se considera desfavorable.

En las etiquetas de EE se percibe una mejora sustancial en todos los casos (Figura 4). Con la aplicación de la propuesta 1 se genera un ascenso de clase: para el caso 1 de D a C, y para el caso 2 de C a B; y una reducción en el IPE de 83 kWh/m²año a 51 kWh/m²año y 55 kWh/m²año a 39 kWh/m²año, respectivamente. Con la propuesta 2, se obtiene para ambos casos clase B, y el IPE obtenido es inferior, 46 kWh/m²año y 31 kWh/m²año.

En cuanto a los requerimientos energéticos, las mejoras inciden en lo que refiere al acondicionamiento térmico, calefacción y refrigeración. En la Tabla 6 se exponen dichos valores con sus respectivos porcentajes de mejora con relación al caso original. Respecto del acondicionamiento térmico de manera global (calefacción y refrigeración), la propuesta 2 resulta más conveniente. Sin embargo, en lo que refiere exclusivamente a calefacción, es más importante la mejora generada por la primera propuesta, ya que disminuye las pérdidas térmicas por transmisión durante las noches sin mermar las superficies de ganancia por radiación en invierno. Por el contrario, la propuesta 2 genera mejoras sustanciales en ambos casos.

DISCUSIONES

Es esencial destacar la importancia de llevar a cabo un análisis exhaustivo de la diferencia entre los resultados obtenidos a través de la ponderación EPDA y la etiqueta de EE. En este estudio, se observa que la reducción de las aberturas en las viviendas condujo a mejoras sustanciales en la etiqueta de EE, así como en otras variables que pueden evaluarse mediante las normas IRAM. Sin embargo, resulta curioso notar que la ponderación EPDA considera esta reducción de aberturas como una característica desfavorable.

Esta discrepancia pone de manifiesto la complejidad de encontrar un equilibrio entre los enfoques de diseño arquitectónico y la EE. Mientras que la etiqueta de EE y otras métricas pueden enfocarse en resultados cuantitativos, la ponderación EPDA se centra en estrategias pasivas de diseño arquitectónico que pueden no alinearse perfectamente con estas métricas.

Por lo tanto, es crucial reconocer que las decisiones de diseño deben considerar tanto las métricas cuantitativas como las EPDA para lograr un equilibrio adecuado entre eficiencia energética y diseño estético. Esto implica una comprensión profunda de cómo las diferentes mejoras pueden impactar en varios aspectos del rendimiento de una vivienda y una evaluación cuidadosa de las prioridades y objetivos específicos de cada proyecto. En última instancia, este análisis de incongruencias destaca la necesidad de un enfoque holístico y adaptativo en la búsqueda de viviendas sostenibles y eficientes desde el punto de vista térmico.

Por otro lado, en el contexto de las mejoras propuestas, queda pendiente la evaluación de la viabilidad de incorporar sistemas de protección solar en las

superficies vidriadas existentes. Esta tarea se reserva para futuros análisis con el fin de determinar su posible impacto en la eficiencia y sostenibilidad. Esta propuesta se plantea como una intervención factible en un edificio ya construido y no en la etapa de proyecto, como lo que se plantea en el artículo.

CONCLUSIONES

En el análisis efectuado se evalúa el comportamiento térmico-energético de dos viviendas utilizando dos métricas clave: la ponderación EPDA y la etiqueta de EE. Ambas viviendas se ubican en el área metropolitana de la ciudad de San Miguel de Tucumán, en barrios cerrados. Los muros se resuelven con el sistema Casasaforma y se coloca aislación térmica en sus techos. Tras la evaluación, para ambos casos se obtiene una ponderación EPDA de 49,10 %. En cuanto a la etiqueta, la vivienda del primer caso obtuvo una de clase D, mientras que la del segundo caso logró una clase C. Esto indica que, en términos de EE, la vivienda del segundo caso ya partía de una posición más ventajosa en comparación con la del primero.

Se propusieron dos mejoras en ambas viviendas relacionadas con las superficies de ventanas. La primera propuesta buscaba mejorar la eficiencia térmica de las ventanas mediante la instalación de DVH, mientras que la segunda implicaba reducir la superficie de las ventanas en un 50 %. En ambos casos se mantuvo la ubicación y el sistema de apertura de las ventanas. Después de aplicar estas mejoras, se observó que la segunda propuesta fue más efectiva en términos de la etiqueta de EE.

En este estudio se pone en relieve la importancia de considerar cuidadosamente las superficies vidriadas en el diseño de viviendas para lograr un comportamiento térmico óptimo. Si bien la tendencia actual en la arquitectura incluye la creación de grandes aberturas para aprovechar la luz natural y las vistas panorámicas, es fundamental equilibrar esta estética con la EE. La modificación de las superficies vidriadas puede tener un impacto significativo en la eficiencia térmica de una vivienda. Esta «moda» de aberturas amplias puede conducir a un desempeño térmico deficiente, incluso cuando se cuenta con una envolvente opaca eficiente. Por lo tanto, es esencial encontrar un equilibrio entre el diseño visual y las consideraciones energéticas para garantizar viviendas cómodas y eficientes desde el punto de vista térmico. ■

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso–Frank, A. y Kuchen, E. (2017). Validación de la herramienta metodológica de Alonso–Frank & Kuchen para determinar el indicador de nivel de eficiencia energética del usuario de un edificio residencial en altura, en San Juan–Argentina. *Hábitat sustentable*, 7(1), 06–13. Recuperado a partir de <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2740>
- De Gastines, M. & Pattini, A. (2017). Impacto de los Inputs de Marcos de Ventanas en EnergyPlus en la Estimación de Eficiencia Energética de Edificios. *Estudios del hábitat*, 15(2), e026. <https://doi.org/10.24215/24226483e026>
- De Gastines, M. & Pattini, A. E. (2019). Propiedades energéticas de tecnologías de ventanas en argentina. *Hábitat sustentable*, 9(1), 46–57. <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/3555>
- Fernández, A., Garzón, B. S. y Elsinger, D. (2020). Impact of passive architectural design strategies on the energy efficiency label in Argentina. *Hábitat sustentable*, 10(1), 56–67. <https://dx.doi.org/10.22320/07190700.2020.10.01.05>
- González Vásquez, M. R. y Molina–Prieto, L. F. (2018). Envoltura arquitectónica: un espacio para la sostenibilidad. *Arquitecturax Visión FUA*, 1(1), 49–61. <https://doi.org/10.29097/26191709.2018.01.01>
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2002). IRAM 11605. Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios.
- (2012). IRAM 11603. Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. 3ra. edición.
- (2019). IRAM 11900. Modificación N° 1 a la Norma IRAM 11900:2017–12.
- Jelle, B. P., Hynd, A., Gustavsen, A., Arasteh, D., Goudey, H. y Hart, R. (2012). Fenestration of today and tomorrow: A state–of–the–art review and future research opportunities. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 96, 1–28. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2011.08.010>
- 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*, 10(1), 44–55. <https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.01.04>
- Manzano–Agugliaro, F., Montoya, F. G., Sabio–Ortega, A. y García–Cruz, A. (2015). Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49(5–6), 736–755. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.095>
- Ministerio de Desarrollo Productivo (2017). Balance Energético Nacional (BEN). Argentina.gob.ar. <https://www.argentina.gob.ar/produccion/energia/hidrocarburos/balances-energeticos>
- Ministerio de Energía y Minería (s.f.). Definición y objetivos. Presidencia de la Nación. <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/objetivos>
- Rivero Camacho, C., Pereira, J., Gomes, M. G. y Marrero, M. (2018). Huella de carbono como instrumento de decisión en la rehabilitación energética. Películas de control solar frente a la sustitución de ventanas. *Hábitat sustentable*, 8(2), 20–31. <https://dx.doi.org/10.22320/07190700.2018.08.02.02>
- Sadineni, S. B., Madala, S. y Boehm, R. F. (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3617–3631.
- Secretaría de Energía (s.f.). Etiquetado de viviendas. Ministerio de Economía. <https://etiquetadoviviendas.mecon.gob.ar/inicio>
- Vasquez, B. G. (2017). *Análisis morfológico y técnico de ventanas y su relación con el confort térmico y lumínico*. (Tesis de Maestría). Universidad de Los Andes.
- Venhaus Held, M., Alías, H. M. y Jacobo, G. J. (2017). Las envolturas constructivas en la construcción no convencional de edificios del nordeste argentino y el problema de los puentes térmicos. *Hábitat sustentable*, 7(1), 24–31. <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2619>