

# REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE UM EDIFÍCIO PATRIMONIAL DO CENTRO HISTÓRICO DE ASSUNÇÃO

**Fabiana Silvero<sup>1</sup>**  
[fabiana.silvero@unich.it](mailto:fabiana.silvero@unich.it)

**Fernanda  
Rodrigues<sup>2</sup>**  
[mfrodrigues@ua.pt](mailto:mfrodrigues@ua.pt)

**Sergio Montelpare<sup>3</sup>**  
[s.montelpare@unich.it](mailto:s.montelpare@unich.it)

**Enrico Spacone<sup>4</sup>**  
[espacone@unich.it](mailto:espacone@unich.it)

**Humberto Varum<sup>5</sup>**  
[hvarum@fe.up.pt](mailto:hvarum@fe.up.pt)

## **AREA:**

### **3 MANUTENÇÃO E RESTAURAÇÃO**

#### **Resumo**

Ao longo dos anos, a evolução da qualidade de vida do homem baseou-se principalmente na utilização de recursos naturais e na obtenção de energia. O aumento da disponibilidade de energia permitiu que os países desenvolvessem sua economia e melhorassem o nível de vida da população, mas, por sua vez, esse aumento está associado à atual exacerbação dos problemas ambientais. Desta forma, a Eficiência Energética (EE) surge como uma ferramenta de mitigação e adaptação aos efeitos das Mudanças Climáticas. A nível global, o setor de edifícios tem um dos maiores impactos nas emissões globais, além de representar um dos setores com maior consumo de energia final, portanto, é assumido que tem um amplo campo de ação para melhorias em EE. No entanto, melhorar o desempenho energético de edifícios antigos envolve uma tarefa complexa e atualmente é um grande desafio. Por esta razão, esta investigação busca desenvolver uma metodologia para avaliar o desempenho térmico de uma habitação do Centro Histórico de Assunção (CHA), Paraguai, com o objetivo de analisar seu comportamento higrotérmico atual, realizando simulações dinâmicas. Posteriormente, foram avaliadas diferentes estratégias de reabilitação da envolvente do edifício a fim de determinar a solução mais eficiente para a estrutura e o clima analisados. Desta forma, propor uma solução eficiente energeticamente que garanta condições ótimas de habitabilidade e colabore com o objetivo geral da cidade de retornar ao CHA o seu caráter de núcleo residencial perdido nas últimas décadas.

Palavras-chave: Eficiência energética; Conforto higrotérmico; Reabilitação energética; Edifícios patrimoniais; Paraguai.

---

1 RISCO, Dpto. de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Portugal y Dpto. de Engenharia y Geología, Universidade G. D'Annunzio, Pescara, Italia.

2 RISCO, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

3 Departamento de Engenharia y Geología, Universidade G. D'Annunzio, Chieti - Pescara, Italia.

4 Departamento de Engenharia y Geología, Universidade G. D'Annunzio, Chieti - Pescara, Italia..

5 CONSTRUCT-LESEFEUP, Universidade do Porto, Porto, Portugal.

# REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO PATRIMONIAL DEL CENTRO HISTÓRICO DE ASUNCIÓN

**Fabiana Silvero**<sup>1</sup>  
[fabiana.silvero@unich.it](mailto:fabiana.silvero@unich.it)

**Fernanda Rodrigues**<sup>2</sup>  
[mfrodrigues@ua.pt](mailto:mfrodrigues@ua.pt)

**Sergio Montelpare**<sup>3</sup>  
[s.montelpare@unich.it](mailto:s.montelpare@unich.it)

**Enrico Spacone**<sup>4</sup>  
[espacone@unich.it](mailto:espacone@unich.it)

**Humberto Varum**<sup>5</sup>  
[hvarum@fe.up.pt](mailto:hvarum@fe.up.pt)

## ÁREA:

### 3. MANTENIMIENTO Y RESTAURACIÓN

#### Resumen

A través de los años la evolución de la calidad de vida del hombre se ha basado en gran parte en la utilización de recursos naturales y en la obtención de energía. El aumento de la disponibilidad energética permitió a los países desarrollar su economía mejorando el nivel de vida de la población, pero a su vez, dicho aumento está asociado con la actual exacerbación de los problemas ambientales. De esta manera, surge la Eficiencia Energética (EE) como herramienta de mitigación y adaptación ante los efectos del Cambio Climático. A nivel global, el sector edificios tiene uno de los mayores impactos en las emisiones globales, además de representar uno de los sectores de mayor consumo de energía final, por lo que supone un amplio campo de actuación para mejoras en EE. Sin embargo, mejorar el rendimiento energético de edificios antiguos implica una tarea compleja y actualmente representa un gran desafío. Por este motivo, esta investigación busca desarrollar una metodología de evaluación del desempeño térmico de una vivienda del Centro Histórico de Asunción (CHA), Paraguay, con el objetivo de analizar su comportamiento higrotérmico actual mediante la realización de simulaciones dinámicas. Posteriormente, fueron evaluadas diferentes estrategias de rehabilitación de la envolvente del edificio y se determinaron las soluciones más efectivas para la estructura y el clima analizado. En un enfoque general, se propone una solución eficiente energéticamente que garantice condiciones óptimas de habitabilidad y colabore con el objetivo general de la ciudad de devolver al CHA su carácter de núcleo residencial perdido en las últimas décadas.

Palabras clave: Eficiencia Energética; Confort higrotérmico; Rehabilitación energética; Edificios patrimoniales; Paraguay.

---

1 RISCO, Dpto. de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Portugal y Dpto. de Engenharia y Geologia, Universidade G. D'Annunzio, Pescara, Italia.

2 RISCO, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

3 Departamento de Engenharia y Geología, Universidade G. D'Annunzio, Chieti - Pescara, Italia.

4 Departamento de Engenharia y Geología, Universidade G. D'Annunzio, Chieti - Pescara, Italia..

5 CONSTRUCT-LESEFEUP, Universidade do Porto, Porto, Portugal.

## Introducción

Desde 2001, la humanidad ha vivido 15 de los años más cálidos de la historia (1). El sector energético es uno de los principales contribuyentes a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que causan el calentamiento global, y el sector edificios absorbe alrededor del 40% del consumo final de energía (2,3). No obstante, existe un gran potencial global para reducir el 29% de las emisiones proyectadas para 2020 de forma rentable en el sector edificios, mediante la implementación de medidas destinadas a mejorar su eficiencia energética (EE) (4).

En países en desarrollo como Paraguay, las emisiones de GEI del sector edificios no son muy representativas, sin embargo, considerando futuros escenarios climáticos, es muy probable que la temperatura del aire en el país aumente debido a los efectos del cambio climático (CC) (5). Como consecuencia, este aumento de temperatura causará un aumento en la temperatura interior en los edificios, lo que causará mayores sensaciones de desconfort térmico y un mayor consumo energético destinado a la refrigeración de ambientes (6). La EE de edificios representa una oportunidad para mejorar su desempeño térmico y adaptarlos a los efectos del CC. Sin embargo, encontrar la intervención más adecuada para la rehabilitación energética de edificios patrimoniales representa un desafío que requiere encontrar la mejor solución de reconversión energética que logre la preservación de las características originales del edificio.

De esta manera, la presente investigación busca desarrollar una metodología de evaluación del desempeño térmico de una vivienda del Centro Histórico de Asunción (CHA), con el objetivo de analizar su comportamiento higrotérmico actual mediante simulaciones dinámicas. Posteriormente, fueron evaluadas diferentes estrategias de rehabilitación de la envolvente térmica y se determinaron las soluciones más efectivas para la estructura y clima analizado. En un enfoque general, se propone una solución eficiente energéticamente que garantice condiciones óptimas de habitabilidad y colabore con el objetivo general de la ciudad de devolver al CHA su carácter de núcleo residencial perdido en las últimas décadas.

## Caso de Estudio

El caso de estudio corresponde a un edificio patrimonial del CHA construido durante el periodo 1900-1930 y es parte de los Bienes Culturales inmuebles de la ciudad. De acuerdo con su área y geometría, el edificio corresponde a una vivienda residencial de dos niveles. La planta baja está compuesta de cuatro zonas térmicas (sala, circulación, baño, cocina-comedor), mientras que la planta alta cuenta con tres zonas térmicas (dos habitaciones y una sala) (ver Figura 1).




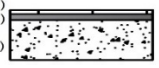
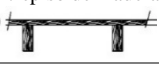


Debido a que no fue posible realizar una inspección del edificio, los materiales constituyentes de la envolvente fueron adoptados de acuerdo a los materiales utilizados en la ciudad durante el periodo de construcción (7). Así, la envolvente opaca está compuesta de paredes de ladrillo macizo revocado ambos lados, piso calcáreo, techo inclinado de tejas con estructura de madera, y ventanas con marcos de madera y vidrio incoloro simple. Además, las ventanas externas tienen protección solar de madera con alta permeabilidad al aire y las puertas exteriores son de madera maciza. Las propiedades térmicas de los elementos constructivos se muestran en la Tabla 1.

Con respecto al clima bajo análisis, la temperatura media anual en Paraguay es 24°C. Las primaveras e inviernos son agradables con temperaturas medias de 19°C. El verano es muy caluroso con altos porcentajes de humedad y temperaturas que pueden alcanzar los 41°C (8). De acuerdo con el Sistema de clasificación climática Köppen-Geiger (9) Asunción tiene un clima Subtropical húmedo denominado **Cfa**. El grupo **C** corresponde a climas "cálidos templados", la letra **f** significa "completamente húmeda" e indica la falta de una estación seca, y la letra **a** corresponde a un "verano caluroso".



**Figura 1:** Caso de Estudio – Plantas arquitectónicas y modelo 3D.

**Tabla 1:** Propiedades térmicas de la envolvente del edificio.

Elemento Constructivo	Material	Espesor [m]	Conductividad Térmica $\lambda$ [W/(m. K)]	Transmitancia Térmica U [W/m <sup>2</sup> .K]
Pared de 30cm (fachada)  (a) (b) (c)	(a) Revoque	0.015	1.15	1.95
	(b) Ladrillo macizo	0.270	0.85	
	(c) Revoque	0.015	1.15	
Pared de 20cm (Norte)  (a) (b) (c)	(a) Revoque	0.015	1.15	2.52
	(b) Ladrillo macizo	0.170	0.85	
	(c) Revoque	0.015	1.15	
Pared de 15cm(Sur & Este)  (a)(b)(c)	(a) Revoque	0.015	1.15	2.96
	(b) Ladrillo macizo	0.120	0.85	
	(c) Revoque	0.015	1.15	
Piso Calcáreo  (a) (b) (c)	(a) Baldosa Calcárea	0.010	2.21	2.91
	(b) Base nivelación	0.015	1.15	
	(c) Contrapiso	0.100	1.80	
Entrepiso de madera  (a)	(a) Madera alta densidad	0.025	0.29	2.80
Techo de tejas  (a) (b)	(a) Teja cerámica	0.010	0.84	4.18
	(b) Madera alta densidad	0.025	0.29	
Ventana  (a)	(a) Vidrio simple incoloro	0.006	0.90	5.78

## Metodología para la evaluación del confort térmico.

En esta investigación, se propone un estudio paramétrico, donde se llevan a cabo simulaciones dinámicas de un edificio utilizando el software Energy Plus y la interfaz Design-BUILDER. El archivo meteorológico utilizado corresponde al predeterminado disponible en Design-BUILDER para Asunción, que tiene datos meteorológicos por hora obtenidos del *International Weather for Energy Calculations* y es propiedad de © 2001 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. La estación meteorológica corresponde al aeropuerto Silvio Pettrossi, el cual se encuentra muy cerca del edificio en análisis.

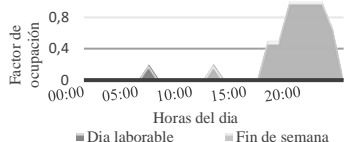
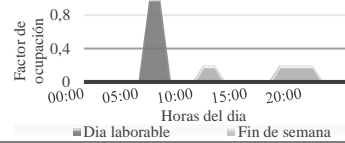
Considerando que Paraguay no cuenta con estándares para la evaluación del desempeño térmico de edificios, los parámetros de entrada para las simulaciones dinámicas se establecieron de acuerdo con estándares internacionales (10). Así, los valores utilizados para todas las zonas térmicas son: 1 para el factor metabólico y 0.5 clo and 1 clo para la vestimenta de verano e invierno, respectivamente. Respecto al control ambiental, para la temporada de calefacción, la temperatura de setpoint es 20°C y de setback es 18°C, para la temporada de refrigeración, la temperatura de setpoint es 25°C y de setback es 27°C. Finalmente, la Tabla 2 muestra los valores de los parámetros de entrada que varían según cada zona térmica. Es importante señalar que estos parámetros pueden ser útiles para futuras investigaciones sobre el confort térmico de edificios en Asunción, ya que se establecieron teniendo en cuenta el clima y las características de la ciudad, los patrones de ocupación, los niveles de confort térmico y varios estándares internacionales.

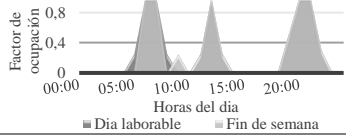
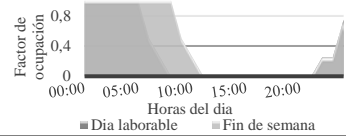
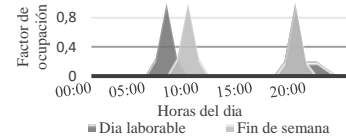
Se considera que el edificio no cuenta con sistemas mecánicos de refrigeración. No obstante, la ventilación natural es considerada, donde la tasa mínima de ventilación natural es definida utilizando los valores establecidos en la Tabla 2 para los requisitos mínimos de aire fresco. La ventilación natural solo funciona cuando la temperatura exterior es menor que la temperatura interior. Sin embargo, el funcionamiento de la ventilación natural está restringido cuando la temperatura exterior es inferior a 18 °C. La protección solar de las ventanas corresponde a persianas de madera exteriores y su horario de apertura fue programado para la temporada de invierno: 100% abierto desde las 8am hasta las 4pm y cerradas el resto del día. Para la temporada de verano, el sombreado está activo cuando la radiación solar incidente en la ventana alcanza el valor medio de 189 W/m<sup>2</sup> (11), con el objetivo de reducir el desconfort térmico debido a la radiación solar directa pero aprovechando la luz natural del día.

Las simulaciones se realizaron durante la semana más calurosa y más fría de un año con intervalos horarios. Los resultados fueron analizados a nivel del edificio y los parámetros elegidos como indicadores de evaluación son la temperatura operativa y el índice PMV de Fanger. Además, se analizó la transferencia de calor a través de la envolvente del edificio para detectar los componentes con mayor influencia en el rendimiento térmico. Después de la evaluación del edificio en su estado original, se implementaron diferentes estrategias de rehabilitación pasiva para evaluar su efectividad ante el clima severo del país, principalmente con temperaturas altas.

Si bien el edificio analizado corresponde a un edificio patrimonial, las características de sus componentes son similares a los utilizados actualmente en el país. Considerando esto, los resultados de esta investigación son útiles para estimar el rendimiento térmico de edificios en Paraguay y evidenciar la necesidad de mejorar los estándares de construcción para requerir un mejor rendimiento térmico de edificios teniendo en cuenta el clima severo del país.

**Tabla 2:** Parámetros de entrada utilizados en las simulaciones.

Zona térmica	Densidad de ocupación [m <sup>2</sup> /persona]	Aire fresco mínimo [l/s – persona]	Iluminancia [Lux]	Ganancias internas [W/m <sup>2</sup> ]	Horarios
Sala	53.32	4	200	3.90	
Circulación	64.50	4	100	1.57	

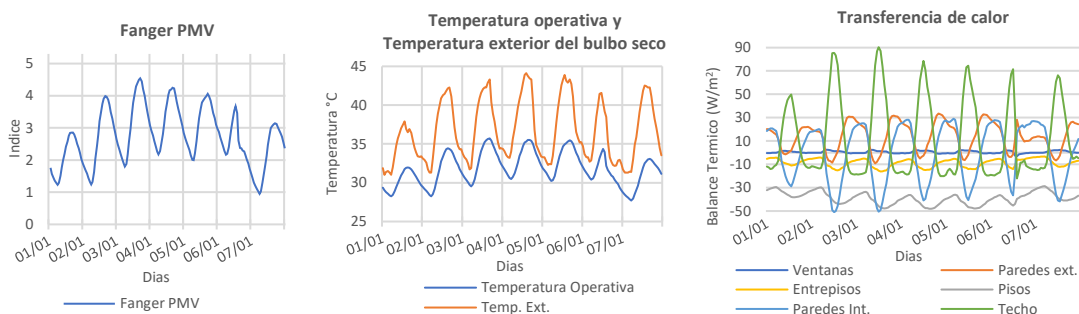
Zona térmica	Densidad de ocupación [m <sup>2</sup> /persona]	Aire fresco mínimo [l/s – persona]	Iluminancia [Lux]	Ganancias internas [W/m <sup>2</sup> ]	Horarios
Cocina-Comedor	59.12	14	300	30.28	
Habitación	43.59	4	100	3.58	
Baño	53.37	10	150	1.67	

## Evaluación de confort térmico del edificio en su estado original

Una vez definidos los parámetros de entrada, se llevó a cabo la simulación dinámica y los resultados se resumen en las Figura 2 y Figura 3. A través del análisis de los resultados, se encontró que, para la semana más calurosa, el índice PMV presenta valores demasiado altos, considerando que la escala de sensación térmica va de -3 a +3 y el valor máximo obtenido por las simulaciones fue 4.5, lo que indica altos niveles de incomodidad por mucho calor. La temperatura operativa también presenta niveles muy altos, con valores máximos de 35.7°C, que ocurren principalmente por la tarde debido a las altas temperaturas exteriores y la alta radiación solar.

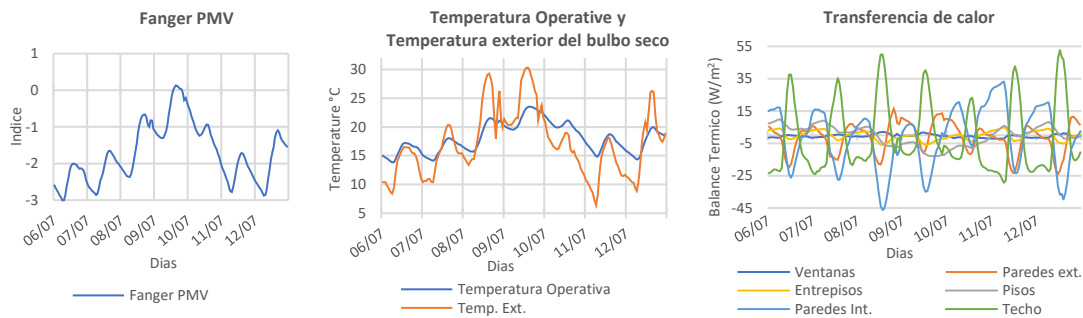
En cuanto a la temporada de invierno, el índice PMV presenta valores mínimos de -3.0, que se encuentra dentro de la escala de sensación térmica e indica disconfort por mucho frío. Los valores obtenidos para la temperatura operativa no son extremadamente bajos, con un valor mínimo de 13.8 °C, que ocurre principalmente durante las primeras horas del día.

Analizando las transferencias de calor a través de la envolvente del edificio, se detectó que las ganancias de calor se producen principalmente a través del techo, seguido por las paredes externas. En la temporada de verano los pisos disipan el calor, lo cual es un aspecto positivo. Por lo tanto, se puede concluir que el edificio tiene un rendimiento térmico muy bajo, donde la implementación de medidas enfocadas en mejorar el rendimiento del techo es esencial. De esta manera, el siguiente paso es introducir estrategias pasivas que apunten a mejorar el rendimiento térmico del edificio.



**Figura 2:** Estado Original – Semana más calurosa – 1 al 7 de enero.





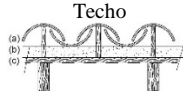




**Figura 3:** Estado original – Semana más fría – 6 al 12 de julio.

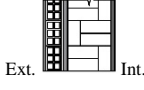
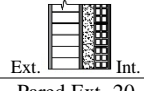
## Evaluación del confort térmico del edificio con las mejoras propuestas

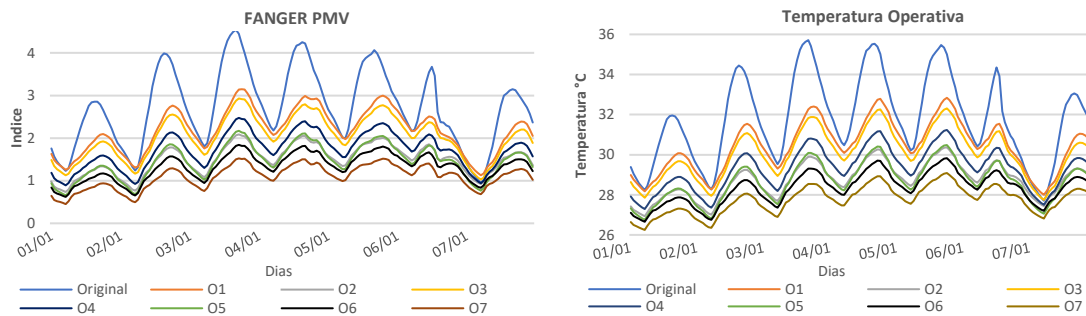
Para la definición de las estrategias de rehabilitación energética, se han analizado varias posibilidades de intervención, que se consideraron las soluciones más adecuadas teniendo en cuenta el valor patrimonial del edificio. De esta manera, las estrategias de rehabilitación propuestas se describen en la Tabla 3. Las últimas dos columnas de la Tabla 3 muestran los valores máximos admisibles de transmitancia térmica según los estándares de Argentina e Italia, para ciudades con condiciones climáticas similares a Asunción (zona climática A para Italia y Ib para Argentina), con el objetivo de hacer una comparación rápida entre las exigencias de rendimiento térmico de los componentes del edificio establecidos por estas normas y las mejoras propuestas.

Una vez definidas las técnicas a implementar, varias simulaciones fueron realizadas y los resultados se muestran en las Figura 4 y Figura 5. Con respecto a las transferencias de calor a través de la envolvente del edificio, para una mejor comprensión, solo los resultados de la Opción 2 se representan en la Figura 6.

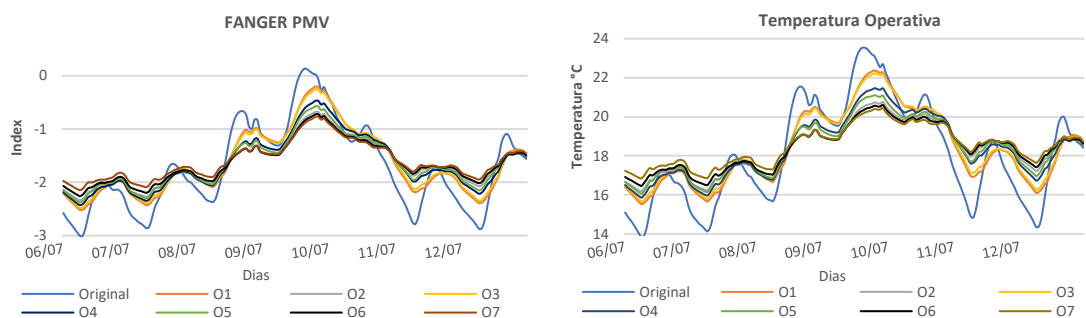
**Tabla 3:** Descripción de los elementos constructivos propuestos.

Opción	Descripción	Elemento Constructivo	U [W/m².K]			
			El. Const. Mejorado	Estado Original	Estándar Argentino	Estándar Italiano
<b>Opción 1</b>	Refuerzo del techo con aislamiento de fieltro de lana de vidrio de 5cm de espesor ( $R_t = 1,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ), ubicado entre la estructura de madera y las tejas cerámicas + Doble acristalamiento (6mm vidrio inc. + 10mm espacio de aire + 6mm vidrio inc).	Techo 	0.69	4.18	0.58	0.32
		Ventana 	2.76	5.78	4.00	3.70
<b>Opción 2</b>	Opción 1 + refuerzo de paredes de 20 y 15cm con revestimiento externo de aislamiento de fieltro de lana de vidrio de 5cm de espesor y 1 cm de revoque ( $R_t = 1,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ )	Pared Ext.-15 	0.64	2.96	1.32	0.54
		Pared Ext.-20 	0.62	2.52	1.32	0.54
<b>Opción 3</b>	Opción 1 + refuerzo de paredes de 15cm con revestimiento interno de ladrillo hueco de 8 cm ( $R_t = 0,35 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ), con revoque de 1cm de un lado, dejando un espacio de aire de 1 cm ( $R_t = 0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ )	Pared Ext.-15 	1.05	2.96	1.32	0.54

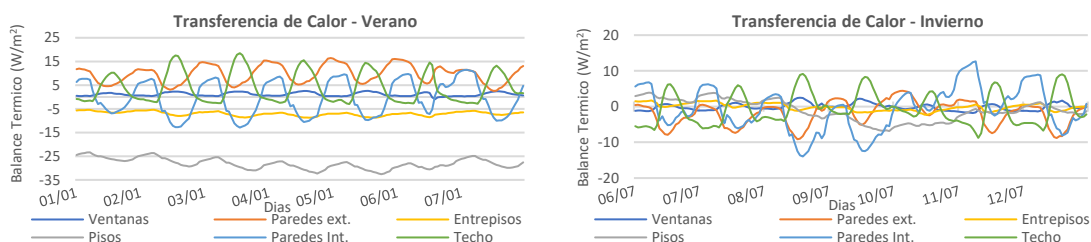
Opción	Descripción	Elemento Constructivo	U [W/m <sup>2</sup> .K]			
			El. Const. Mejorado	Estado Original	Estándar Argentino	Estándar Italiano
<b>Opción 4</b>	Opción 3 + refuerzo de paredes de 20cm con revestimiento externo de ladrillo hueco de 8cm, con revoque de 1cm de un lado, dejando un espacio de aire de 1cm ( $R_t = 0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ).	Pared Ext.-20	1.09	2.52	1.32	0.54
						
<b>Opción 5</b>	Opción 4 pero reemplazando el espacio de aire entre las paredes por aislamiento de fieltro de lana de vidrio de 5 cm de espesor.	Pared Ext.-15	0.50	2.96	1.32	0.54
						
<b>Opción 6</b>	Opción 2 pero con espesor de aislamiento de 8 cm ( $R_t = 1,8 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ).	Techo	0.49	4.18	0.58	0.32
		Ext.-15	0.46	2.96	1.32	0.54
<b>Opción 7</b>	Opción 2 pero con espesor de aislamiento de 15 cm ( $R_t = 3,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ).	Ext. Wall-20	0.45	2.52	1.32	0.54
		Techo	0.27	4.18	0.58	0.32
		Pared Ext.-15	0.26	2.96	1.32	0.54
		Pared Ext.-20	0.26	2.52	1.32	0.54



**Figura 4:** Estrategias de Rehabilitación – Semana más calurosa – 1 al 7 de enero.



**Figura 5:** Estrategias de rehabilitación – Semana más fría – 6 al 12 de julio.



**Figura 6:** Transferencia de calor a través de la envolvente térmica – Opción 2.



## Análisis sensitivo de los resultados

En esta investigación, se llevó a cabo una serie de simulaciones dinámicas para analizar la efectividad de las técnicas pasivas para un clima subtropical húmedo. El objetivo principal fue mejorar los niveles de confort térmico dentro del edificio mediante la aplicación de las estrategias pasivas modeladas. Para la temporada de verano, se observaron grandes mejoras, mientras que para la temporada de invierno los resultados fueron menos significativos.

Como se esperaba, el mayor impacto se observó con la Opción 7 debido al uso de un aislamiento más grueso. Por lo tanto, para la temporada de verano se observó una disminución del 66% del índice Fanger PMV respecto al valor máximo presentado en el estado original del edificio, y una disminución de 6.6 °C en la temperatura operativa máxima. Para la temporada de invierno, en cambio, se observó un aumento del 30% en el índice Fanger PMV respecto al valor mínimo y un aumento de 3 °C de la temperatura operativa mínima.

Las medidas que utilizan aislamiento exterior han mostrado mejores resultados que las que utilizan aislamiento interior. Entre los resultados de la Opción 2 y la Opción 5, casi no hay diferencias, donde la adición de una capa de ladrillos huecos en la Opción 5 no mostró mejoras significativas respecto a la Opción 2 (solo aislamiento + revoque), razón por la cual se considera mejor la Opción 2 ya que permite conservar una mayor área útil interior.

Con respecto a las opciones 2, 6 y 7, la única diferencia es el grosor del aislamiento, con 5 cm, 8 cm y 15 cm utilizados, respectivamente. La variación en los resultados entre las opciones 2 y 7, considerando la temperatura operativa, es de 1.3 °C para la temporada de verano y de 0.6 °C para la temporada de invierno. De esta forma, triplicar el espesor del aislamiento no significa triplicar las mejoras, donde un análisis costo-beneficio debe ser considerado para comparar y determinar la mejor opción.

Analizando la transferencia de calor a través de la envolvente del edificio, se han logrado mejoras significativas con la mayoría de las estrategias implementadas. Para la temporada de verano, la transferencia de calor a través de las paredes en el estado original alcanza 33 W/m<sup>2</sup>, mientras que para la Opción 2, por ejemplo, este valor disminuyó a 16 W/m<sup>2</sup>. Para el techo, en el estado original, la transferencia de calor alcanza 90 W/m<sup>2</sup>, mientras que para la Opción 2 este valor disminuyó a 18 W/m<sup>2</sup>. De esta forma, a través de las medidas implementadas, el rendimiento térmico del edificio ha mejorado significativamente.

## Conclusiones

El objetivo de esta investigación fue desarrollar una metodología para la evaluación del rendimiento térmico de un edificio para analizar, a través de simulaciones dinámicas, su desempeño higrotérmico actual. Posteriormente, se evaluaron diferentes soluciones de rehabilitación para la envolvente térmica para determinar la solución más eficiente para el edificio y el clima analizado.

De esta manera, los autores concluyeron que la solución más eficiente corresponde a la Opción 2, mediante la cual se obtuvo, para la temporada de verano, una disminución del 53.5% del valor máximo del índice de Fanger y una disminución de 5.3 °C de la temperatura operativa máxima. Para la temporada de invierno, en cambio, se obtuvo un aumento del 24% del valor mínimo del índice de Fanger y un aumento de 2.4 °C de la temperatura operativa mínima. Además, esta opción representa la menos invasiva, por la cual se conservarán las características originales de la vivienda.

Es una realidad que la mayoría de los edificios de Paraguay no han sido diseñados para aprovechar los recursos naturales o para hacer frente a la intensificación actual de los factores

climáticos. Estos factores afectan la comodidad térmica interior de los edificios creando una sensación de incomodidad. Además, la envolvente de los edificios paraguayos tiene un diseño constructivo simple, con una presencia mínima o nula de aislamientos térmicos. Esto se debe a la falta de estándares que exijan un nivel mínimo de rendimiento térmico o eficiencia energética de los edificios, y en comparación con otros países de América del Sur, Paraguay aún está lejos de la certificación energética obligatoria de los edificios. Por lo tanto, este tipo de investigación es importante para demostrar que las estrategias de rehabilitación pasiva son efectivas para el clima severo del país, considerando sus tipologías constructivas. Al mismo tiempo, se muestra que los edificios existentes con valor patrimonial tienen el potencial de aumentar sus niveles de rendimiento.

Finalmente, es importante señalar que la mayoría de los estándares de construcción de Paraguay se basan en estándares desarrollados en países vecinos, por esta razón, es importante señalar que los valores de transmitancia térmica utilizados en la mayoría de las opciones implementadas en esta investigación son más exigentes que los valores establecidos en los estándares de rendimiento térmico de otros países de Sudamérica, considerando ciudades con condiciones climáticas similares a las de Asunción. De esta manera, los resultados de esta investigación pueden ser útiles para la creación de estándares de desempeño térmico del Paraguay, considerando las tipologías y sistemas de construcción de los edificios paraguayos y las características climáticas del país.

## Agradecimientos

Este proyecto ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea. Esta publicación refleja únicamente la opinión del autor, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en el mismo - Programa ELARCH (número de referencia del proyecto: 552129-EM-1-2014-1-IT-ERA MUNDUS-EMA21).

## Bibliografía

- (1) National Centers for Environmental Information. **State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2015**. January 2016. <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201513> (8/11/2017).
- (2) Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Minx J, Brunner S, et al. **Technical Summary. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, United Kingdom and New York, USA. 2014.
- (3) Lucon O, Ürge-Vorsatz D, Zain Ahmed A, Akbari H, Bertoldi P, et al. **Buildings. In: Climate Change 2014: Mitigation**. Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, United Kingdom and New York, USA.; 2014. p. 671–738.
- (4) Levine M, Ürge-Vorsatz D, Blok K, Geng L, Harvey D, Lang S, et al. **Residential and commercial buildings. Climate Change 2007: Mitigation**. Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, United Kingdom and New York, USA. 2007.
- (5) Secretaria de Ambiente Paraguay [SEAM]. **Segunda Comunicación Nacional Cambio Climático Paraguay**. Vol. 357. Asuncion, Paraguay.; 2011.
- (6) Kramer B. **The impact of climate change on the indoor climate of monumental buildings**. University of Technology Eindhoven; 2011.
- (7) Gutierrez R. **Historia de la arquitectura del Paraguay 1537-1911**. Asuncion, Paraguay.; 2010.
- (8) Secretaria de Ambiente Paraguay [SEAM]. **Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático**. Asuncion, Paraguay.: AGR Servicios Graficos; 2001.



- (9) Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA. **Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification.** Hydrol Earth Syst Sci Discuss. 2007;4(2):439–73.
- (10) International Standard Organization. ISO 7730:2005- Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
- (11) Wankanapon P, Mistrick RG. **Roller Shades and Automatic Lighting Control with Solar Radiation Control Strategies.** Built. 2011;1(1):35–42.