

# Incidencia de los puentes térmicos en rehabilitación energética

Eider Iribar-Solaberrieta  
César Escudero-Revilla.  
Koldobika Martín-Escudero  
Jon Teres-Zubiaga  
Juan María Hidalgo-Betanzos  
Álvaro Campos-Celador  
Imanol Ruiz de Vergara-Ruiz de Azua  
Iván Flores-Abascal  
Carlos García-Gáfaró

Grupo ENEDI, Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (EHU-UPV)  
Laboratorio de Control de Calidad de la Edificación – Gobierno Vasco  
*Comunicación “II Congreso Edificios de Consumo Casi Nulo”*

## INTRODUCCIÓN

La reducción de consumos de energía en la edificación se ha convertido en un importante desafío en Europa a consecuencia de las nuevas directivas. Existe un gran potencial de ahorro de energía en la reducción del uso de sistemas de calefacción y refrigeración. Y la rehabilitación energética en los edificios residenciales está jugando un papel importante en ese aspecto.

Con el objetivo planteado en Europa se están ejecutando en la rehabilitación de los edificios existentes mayores espesores de aislamiento. Cuanto mayor es el espesor del aislamiento en la envolvente, más crítico es el puente térmico. Por ello, la relevancia de la caracterización de los PTs y su efecto en la demanda se ha incrementado en EECN.

No obstante, la complejidad y la unicidad de los PTs dificulta la estandarización de metodologías de cálculo y exigencias que limiten las pérdidas térmicas a través de los mismos. Por ello, el problema de los PTs no se regula apropiadamente, lo cual conlleva al técnico a emplear procedimientos simplificados o a desestimar las pérdidas de calor reales a través de los PTs en el proceso de diseño constructivo, y como consecuencia a tener en práctica mayores demandas energéticas que las predichas en el proyecto, además de problemas de confort y patologías.

Así, el objetivo de este estudio es analizar las deficiencias en el comportamiento térmico de una solución constructiva de rehabilitación habitual en estos últimos años aplicando una metodología que considera la inercia térmica y la tridimensionalidad de los PTs. No se ha querido estudiar la mejor solución constructiva existente en el mercado, ni la peor, sino ser realista y analizar un sistema habitual con aislamiento continuo por el exterior, comprobando si en realidad el sistema propuesto (aislamiento continuo) anula los PTs o no.

## PROYECTO

El edificio de referencia es de 6 plantas, construido en 1960 en Bilbao y de una tipología similar a edificaciones de los barrios construidos en esta época a causa de la revolución industrial y el consiguiente incremento de población. El bloque se estructura en tres núcleos de comunicación. Y en cada uno se ubican dos viviendas por planta, con una suma total de 36 viviendas. Las viviendas son pasantes con tres habitaciones que dan a la fachada noreste y con salón, cocina y baño que dan a la fachada suroeste.

De acuerdo a la época en la que se construyó, la fachada antes de rehabilitar es un muro de doble hoja de ladrillo (Enlucido 0,5cm/ Enfoscado de mortero de cemento 1cm/ Ladrillo Hueco Senci-

llo 4.5 cm/ Cámara de aire 3 cm/ Ladrillo Hueco Doble 10.5cm/ Revoco de mortero de cemento). Las ventanas son de marco de aluminio y vidrio monolítico de 4mm. La cubierta es inclinada de teja a dos aguas. Y por último, la planta baja es una solera con un parquet flotante de acabado.

Para la rehabilitación se ha optado una fachada ligera con una cámara de aire estanca: revestimiento exterior con panel cementicio sustentado con estructura autoportante y lana de roca de 6 cm continuo cubierta con una lámina impermeable y transpirable. La cubierta se ha rehabilitado con el mismo sistema constructivo con un revestimiento de Zinc. Y el tipo de ventana seleccionado es de carpintería de PVC con vidrio doble bajo emisivo.

Con el estudio de los PTs realizado además de obtener el cerramiento equivalente, permite determinar el comportamiento térmico y el perfil de temperaturas del modelo completo definido en función de la norma UNE-EN ISO 10211. En estos perfiles de temperaturas se observa que a partir de una cierta distancia desde el centro del puente térmico el flujo de calor es unidimensional y homogénea, el mismo que en el resto del cerramiento. De esta forma, se resuelve la superficie afectada por el puente térmico. En el caso del frente de forjado, por ejemplo, la distancia es la siguiente (Imagen 2). Desde el forjado a distancias mayores que las indicadas, el flujo de calor a través de la fachada es unidimensional.

### METODOLOGÍA

Primeramente, se han realizado simulaciones de demanda energética en estado actual y rehabilitado sin tener en cuenta los PTs mediante la herramienta informática TRNSYS [4], para después poder comparar con los resultados obtenidos considerando la incidencia de los PTs.

La herramienta informática TRNSYS y otras similares, simulan el edificio contemplando el flujo de calor en el cerramiento unidimensional. En los PTs, donde la composición de los cerramientos no es homogénea, sin embargo, el flujo de calor se produce en más de una dimensión. Debido a esta limitación de los programas informáticos de simulación de edificios, para contemplar debidamente los PTs, existe la necesidad de representar el PT mediante un cerramiento homogéneo y trasladar este nuevo cerramiento al modelo del edificio. Para ello, se ha basado en la metodología del muro equivalente [3].

El método del muro equivalente se basa en buscar un cerramiento ficticio de 3 capas homogéneas simples, con el mismo comportamiento térmico-dinámico que el PT y con la misma superficie en fachada que la afectada por el mismo (Imagen 1).

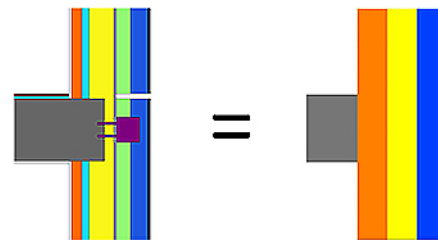


Imagen 1. Concepto de la metodología del muro equivalente

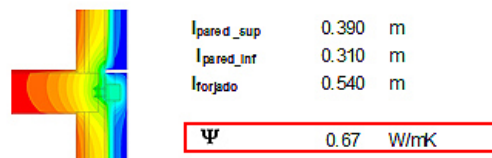


Imagen 2. PT-frente de forjado

Capa	Espesor [m]	Rt [m2K/W]	$\lambda$ [W/mK]	$\rho$ [kg/m3]	C [J/kgK]
1	0.083	1.145	0.073	936.00	1000
2	0.083	0.003	33.333	1113.60	1000
3	0.083	0.621	0.134	0.48	1000
	<b>0.250</b>	<b>1.769</b>			

Tabla 1. Ejemplo. Características de cerramiento equivalente en el PT del frente del forjado

También, se ha resuelto mediante este estudio la transmitancia lineal ( $\psi$  en W/mK) que se define como un coeficiente corrector de la transmitancia térmica del cerramiento que representa la influencia del puente térmico en el cerramiento. En el caso del frente de forjado, por ejemplo, se ha visto que el valor de la transmitancia lineal en este caso concreto es de  $\psi=0.67$  W/mK. Este valor se aleja del valor dado por el código técnico. Ya que en el código técnico se agrupan los puentes térmicos de la misma tipología definiendo con un valor de transmitancia lineal simplificado, que para este caso sería  $\psi=-0.03$  W/mK.

Este procedimiento se ha seguido también en otros tipos de PTs (Imagen 3): encuentro entre la fachada y la solera, pilar en esquina, encuentro entre la cubierta y la fachada y pilar en fachada.

El análisis térmico de cada puente térmico posibilita pre visualizar el riesgo de condensaciones superficiales en estos puntos críticos. Por ejemplo, en la esquina interior en el encuentro del suelo y la fachada se observa una caída de temperatura importante que podría generar condensaciones superficiales.

Por último, el cerramiento equivalente calculado se sustituye en el modelo del edificio en la superficie correspondiente, para después volver a simular y obtener la demanda real (Imagen 4). El procedimiento completo se ha aplicado desde cada espacio de una vivienda de referencia a la totalidad del edificio. Para ello, se ha elegido una vivienda de referencia (Imagen 5 y 6) con una demanda similar a la media del edificio, ubicada en una planta intermedia y en esquina del bloque. Y para la simulación se han definido unas condiciones concordantes al uso y tipología, basándose en las condiciones propuestas por IDAE [2], en cuanto a los datos climáticos, capacitancias térmicas de los espacios, ventilación y cargas térmicas.

El procedimiento completo se ha aplicado desde cada espacio de una vivienda de referencia a la totalidad del edificio. Para ello, se ha elegido una vivienda de referencia (Imagen 5 y 6) con una demanda similar a la media del edificio, ubicada en una planta intermedia y en esquina del bloque. Y para la simulación se han definido unas condiciones concordantes al uso y tipología, basándose en las condiciones propuestas por IDAE [2], en cuanto a los datos climáticos, capacitancias térmicas de los espacios, ventilación y cargas térmicas.

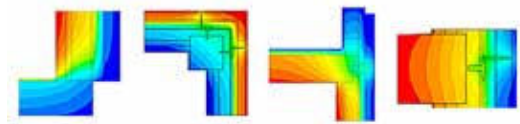


Imagen 3. Perfil de temperaturas en cada PT estudiado

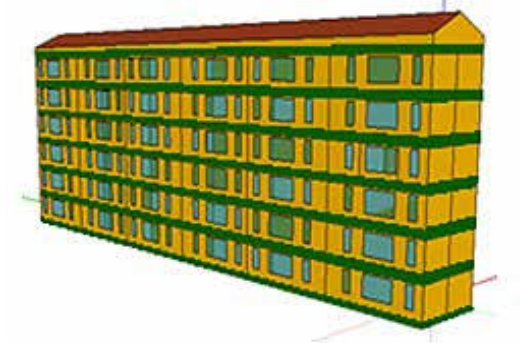


Imagen 4. Definición del cerramiento equivalente del PT del frente de forjado en el modelo del edificio



Imagen 5- vivienda de referencia en la planta 4



Imagen 6- Planta tipo de la vivienda

**RESULTADOS**

La demanda energética de la vivienda de referencia analizada en estado actual es 55.6 kWh/

m2año. Más a detalle, las demandas energéticas de calefacción de la vivienda de referencia y los espacios definidos en la misma (Imagen 7 y 8) a lo largo de un año son las siguientes:

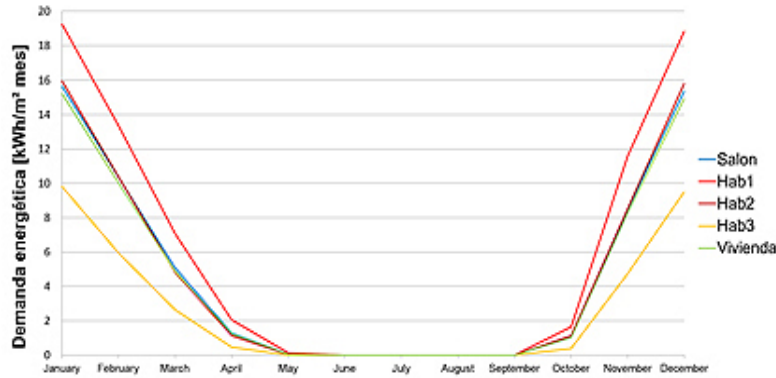


Imagen 7-Demanda de la vivienda de referencia en estado actual (kWh/m2 mes)

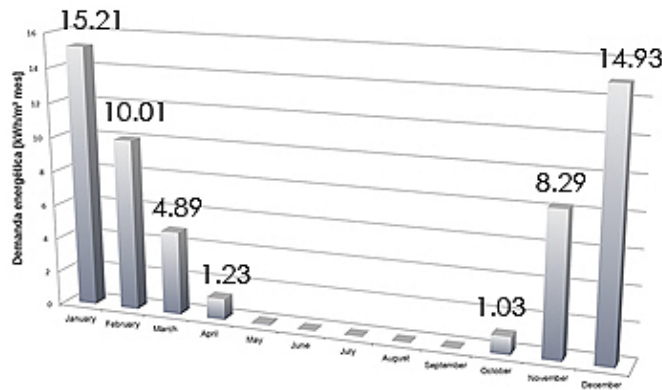


Imagen 8- Demanda de la vivienda de referencia en estado actual (kWh/m2 mes)

Se observa que el espacio con mayor demanda en relación a la superficie es la habitación 1, situada en la esquina suroeste de la vivienda, con una demanda total de 74.0 kWh/m2 año (Imagen 7). Y el espacio con menos demanda en relación a la superficie es la habitación 3 con 33.6 kWh/m2 año, 55% menos en comparación con la habitación 1.

Contemplando los resultados de cada mes de media, el mes con mayor demanda es de 15.2 kWh/m2 mes. Por otra parte, de mayo a septiembre no hay necesidad de calefacción.

Una vez analizados los resultados de la vivienda de referencia, se han estudiado las demandas para cada vivienda y la media del edificio (Tabla 2).

para cada vivienda y la media del edificio (Tabla 2).

		Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3			
		A	B	A	B	A	B		
<b>SUELO</b>									
<b>SUR</b>	Piso 1	61.21	52.88	52.64	52.64	52.89	62.30	<b>NORTE</b>	
	Piso 2	58.82	49.05	48.80	48.80	49.06	58.95		
	Piso 3	55.68	46.68	46.45	46.45	46.72	56.34		
	Piso 4	<b>55.64</b>	46.47	46.43	46.44	46.70	56.30		
	Piso 5	57.74	48.84	49.97	48.63	48.88	58.42		
	Piso 6	83.58	74.02	73.81	73.82	74.03	83.64		
<b>CUBIERTA</b>									

Tabla 2- Demanda del edificio en estado actual (kWh/m² año)

En cada casilla se muestra el valor de cada vivienda: en orden de izquierda a derecha, las viviendas del sur al norte y en orden de arriba abajo de la planta 1 a la planta 6. El valor subrayado, la demanda del bloque 1, planta 4 A, corresponde a la vivienda de referencia. Por lo tanto, la demanda media del total del edificio en estado actual es 56.1 kWh/m<sup>2</sup> año.

Después de simular el edificio en estado rehabilitado, en cambio, se ha obtenido una demanda de 16.6 kWh/m<sup>2</sup>año en la vivienda de referen-

cia. Sin embargo, éste valor se incrementa si se tiene en cuenta la repercusión de los PTs, siendo la demanda de calefacción real de la vivienda de referencia 20.9 kWh/m<sup>2</sup>año. En efecto, reducción de la demanda respecto al estado actual es de 62%.

A continuación también se muestra la variación de las demandas en la vivienda de referencia y cada espacio dividido (Imagen 9 e Imagen 10) a lo largo de un año en estado rehabilitado y considerando el efecto de los PTs:

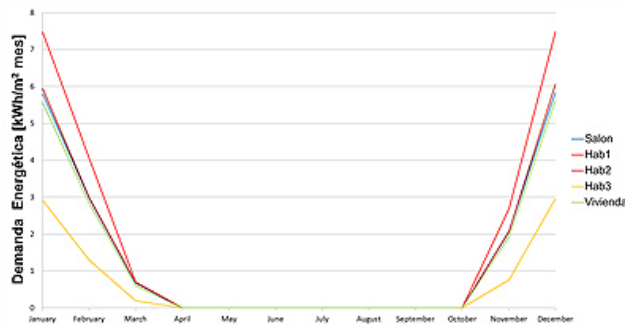


Imagen 9- Demanda de la vivienda de referencia rehabilitado con efecto de los PTs (kWh/m<sup>2</sup>mes)

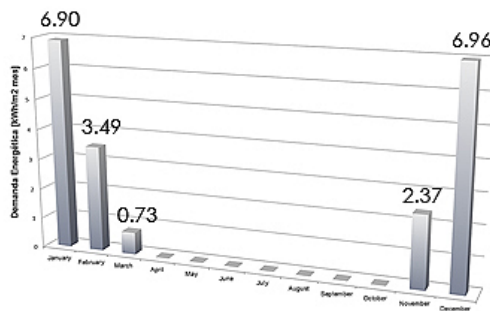


Imagen 10-Demanda de la vivienda de referencia rehabilitado con efecto de los PTs (kWh/m<sup>2</sup>mes)

El espacio con mayor demanda, la habitación 1, situada en la esquina noroeste, tiene una demanda total de 26.3 kWh/m<sup>2</sup>año (Imagen 9), mientras que en el estado actual su demanda es de 74.0 kWh/m<sup>2</sup>año. En la habitación 3, el espacio con menor demanda, es de 13.9 kWh/m<sup>2</sup>año (Imagen 9), 47% menos en comparación con la habitación 1 y con una reducción de la demanda de 58%.

Comparando con el estado actual, se observa que la demanda de abril y octubre desaparece (Imagen 10). En el estado actual la demanda para estos meses es de 1.2 kWh/m<sup>2</sup> mes y 1.0 kWh/m<sup>2</sup> mes respectivamente.

A continuación se muestran los resultados sin considerar el efecto de los PTs (tabla 3) en cada vivienda y los valores obtenidos después de realizar el estudio completo de los PTs (tabla 4).

		Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3			
		A	B	A	B	A	B		
<b>SUELO</b>									
<b>SUR</b>	Piso 1	25.58	23.42	23.32	23.32	23.43	25.60	<b>NORTE</b>	
	Piso 2	18.58	16.27	16.18	16.18	16.29	18.71		
	Piso 3	16.67	14.67	14.60	14.61	14.72	17.01		
	Piso 4	<u>16.56</u>	14.46	14.50	14.51	14.62	16.90		
	Piso 5	17.53	15.56	15.92	15.51	15.61	17.87		
	Piso 6	25.72	23.52	23.44	23.44	23.53	25.80		
<b>CUBIERTA</b>									

Tabla 3 - Demanda del edificio en estado rehabilitado sin el efecto de los PTs (kWh/m<sup>2</sup>año)

Por lo tanto, la demanda media del total del edificio en estado rehabilitado y sin considerar los PTs es 18.7 kWh/m<sup>2</sup>año. En cambio teniendo en cuenta la incidencia de los PTs son los siguientes:

Por lo tanto, la demanda media del total del edificio en estado rehabilitado y teniendo en cuenta los PTs es 24.3 kWh/m<sup>2</sup> año.

		Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3				
		A	B	A	B	A	B			
		SUELO								
SUR	Piso 1	40.43	33.50	33.40	33.40	33.51	40.47	NORTE		
	Piso 2	22.90	18.67	18.57	18.58	18.69	23.02			
	Piso 3	20.98	17.07	17.00	17.00	17.11	21.30			
	Piso 4	20.87	16.85	16.90	16.91	17.02	21.21			
	Piso 5	21.84	17.95	18.32	17.90	18.00	22.18			
	Piso 6	39.35	32.18	32.10	32.11	32.20	39.42			
		CUBIERTA								

Tabla 4 - Demanda del edificio en estado rehabilitado (kWh/m<sup>2</sup>año)

## CONCLUSIONES

La demanda total del edificio en estado actual es de 55.6 kWh/m<sup>2</sup> año. Pero existe un desequilibrio importante entre las demandas de unidades de viviendas. Las viviendas de la última planta y de la primera planta son las más críticas, y entre éstas las viviendas ubicadas en las esquinas del bloque. Este desequilibrio llega a ser de un 45% entre la vivienda de mayor demanda y menor demanda. En una actuación de rehabilitación bien diseñado y ejecutado Estas diferencias deberían ser diluidas.

Para ello, se podría proponer un sistema de rehabilitación integral, que comprende también la solera, además de la rehabilitación de la cubierta, ventanas y fachada. No obstante, debido a las dificultades que se plantean en la realidad para intervenir por el interior en este tipo de comunidades de propietarios, está posibilidad ha sido descartada.

Aun así, ha habido una eficiente disminución de demanda con el sistema de rehabilitación planteado, siendo el resultado de la demanda total sin el efecto de los PTs de 18.7 kWh/m<sup>2</sup>año, cumpliendo las exigencias del nuevo CTE HE1, 20.0 kWh/m<sup>2</sup>año para la zona climática C1 (Bilbao) [1]. Sin embargo, después de realizar el estudio de los PTs y evaluar la incidencia de los mismos, se ha visto que la demanda real es de 24.3 kWh/m<sup>2</sup> año. En este caso, no se cumpliría la exigencia de la demanda del Código Técnico de la Edificación. De esta forma, **el incremento por los PTs en este caso de rehabilitación se ha visto que es de un 30%.**

Por lo tanto, se confirma que con la solución de rehabilitación planteada, aun siendo el aislamiento continuo, no se suprime el efecto del PT. Es más, es necesario considerarlos, ya que sino

el resultado que se obtiene se aleja de la realidad. Este impacto en la demanda significa una incidencia del mismo orden en el consumo y el gasto económico anual de los usuarios.

Otro de los problemas que se ha observado es que la repercusión de los PT en cada vivienda no es igual. Las viviendas en la planta 1 y planta 6 son más vulnerables a los PTs, agravando el problema del desequilibrio de demandas entre viviendas. Esto puede suponer que el inquilino de la planta 6 tenga hasta el consumo doble que el inquilino de la planta 3. Es por lo tanto, otro aspecto importante a tener en cuenta.

Por lo tanto, cabe **destacar lo importante que es tener en cuenta los PTs en el diseño constructivo de las intervenciones de rehabilitación.** Es interesante y se puede evaluar a detalle la influencia de los puentes térmicos en las pérdidas térmicas de un edificio en fase de diseño, también realizar un análisis completo del riesgo de las condensaciones y patologías que podría haber en el edificio a posteriori. Igualmente, todo indica que se deberían buscar nuevas soluciones para los encuentros constructivos críticos, además de la estandarización de metodologías de cálculo y limitaciones mediante normativas más exhaustivas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CISC, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Código Técnico de la Edificación, Documento Básico de Ahorro de Energía. Madrid, Ministerio de vivienda, 2013.
- [2] IDAE. Condiciones de aceptación para programas informáticos alternativos a LIDER y CALENER, Anexo III.. Madrid, Ministerio de Industria Comercio y Turismo, 2009.
- [3] MARTIN, K., ESCUDERO, C., ERKOREKA, A., FLORES, I., SALA, J.M. Equivalent wall method for dynamic characterization of thermal bridges. Energy and Buildings, Vol 55, 2012, pp. 704-714.
- [4] TRNSYS- A Transient Simulation Program, Madison, USA, 1996.