

APORTE METODOLÓGICO PARA DETERMINAR LA TRANSMITANCIA TÉRMICA EN LA CONSTRUCCIÓN EN SECO

**NUÑEZ BERTÉ, Alejandra; FERNÁNDEZ LUCO, Luis; EVANS,
John Martin**

anunezberte@gmail.com, lfdezluco@gmail.com, evansjmartin@gmail.com

Maestría 'Sustentabilidad en Arquitectura y Urbanismo', SAU, SP-
FADU-UBA

Resumen

El trabajo presenta un método simplificado para evaluar la transmitancia térmica de ensamblajes de muros exteriores con sistema constructivo de EPG, Enramado de Perfiles Galvanizados también conocidos como 'Steel Framing', considerando el impacto de los puentes térmicos en el valor total. Tanto las herramientas convencionales como las fórmulas habituales y disponibles, no contemplan el impacto en el valor total de transmitancia térmica, ocasionado por la frecuencia de puentes térmicos característica de estos sistemas. La Norma IRAM 11605, recomienda el uso de software basado en el modelo matemático de diferencias finitas para calcularlo. Dichos programas son arancelados y requieren experiencia en su aplicación a situaciones concretas y no siempre están disponibles para su empleo en ámbitos de investigación y laboratorios.

A partir de datos disponibles de 6 ensamblajes de muros exteriores en EPG, obtenidos por aplicación de un procedimiento numérico, para un estado plano de propagación del calor, basado en la Ley de Fourier, adoptados como referencia, se analizan los valores de K (transmitancia

térmica) obtenidos por cálculo simplificado, proponiendo un modelo simple de material compuesto afectado por un coeficiente de eficiencia de transmisión de calor para el acero y para las aislaciones térmicas. La propuesta, de aplicación simple, permite una estimación primaria de K, que presenta una desviación menor al 3 % con respecto a los obtenidos por software.

Con un criterio análogo, se propone una metodología complementaria para evaluar la contribución de la aislación exterior en la reducción del valor K y se presentará un cuadro con valores para los distintos espesores.

Palabras clave

Eficiencia energética, Envolvente edilicia,
Normativa de aislación térmica, Steel framing,
Puentes térmicos

Introducción

Los sistemas constructivos tradicionales o convencionales y sus herramientas

La adopción de la mampostería de ladrillo como sistema constructivo en Argentina, se inicia en el periodo colonial y continúa fuertemente instalado hasta el presente, El ladrillo macizo reemplaza la construcción de adobe en zonas urbanas como resultado de su mayor durabilidad y resistencia y por este motivo se lo considera construcción tradicional o convencional.

El fuerte arraigo cultural por los muros macizos, incluso profundizado por la herencia de la inmigración italiana, ha impedido el desarrollo y adopción de otros sistemas constructivos, especialmente construcción liviana con madera o Entramado de Perfiles Galvanizados, EPG, también conocido como 'Steel framing'. En la región patagónica, donde por cuestiones climáticas y la dificultad de obtener materiales convencionales, se construye con materiales livianos, tanto en las estancias rurales y viviendas urbanas, con materiales importados como resultado de la inmigración británica.

En este contexto, tanto las normativas como las herramientas proyectuales y de cálculo existentes y utilizadas responden a los métodos aplicables a los elementos constructivos pesados relativamente homogéneos con sistemas

convencionales de ladrillos macizos, bloques y ladrillos cerámicos huecos. Las estructuras de hormigón armado para columnas, vigas y dinteles forman puentes térmicos, pero su impacto, aunque significativo esta moderado por la limitada diferencia de transmisión y las amplias distancias entre estos elementos que representa una limitada proporción de la superficie total del muro. Desde el inicio de las normativas nacionales de acondicionamiento térmico de edificios (IRAM, 1970 y 1973), y las normas mínimas de habitabilidad (SEDUV, 1970) estos métodos se han utilizado para evaluar las características térmicas de muros de mampostería

Crisis energética. Impacto de la envolvente constructiva en la eficiencia energética de las construcciones

De acuerdo con el Balance Energético Nacional de 2017 (MINEM 2019), el 27% de la demanda energética corresponde al sector residencial, y el 72% de esta proporción corresponde a gas para calefacción, agua caliente y cocción. Según Salvador Gil (2019) 46% del consumo total de energía en vivienda está destinada a calefacción. Esta demanda está directamente relacionada con la calidad térmica de la envolvente, y las mejoras podrían reducir la demanda de energía en un 25 %, con ventajas adicionales en lo que respecta al confort de los ocupantes.

Diversas políticas gubernamentales recientes promueven mejoras en las características térmicas de edificios y varias provincias y ciudades están reglamentando y estudiando normativas sobre el acondicionamiento térmico:

- Ciudad de Rosario: Decreto 985-2013 para la Ordenanza 8757
- Provincia de Buenos Aires: Decreto 11030-10 y Ley 13059
- Cuidad Autónoma de Buenos Aires: Ley 4458 (parcialmente vetada)

Asimismo, varias normas IRAM también promueven mayor eficiencia:

- IRAM 11900 Etiquetado energético de viviendas, promovido por la Secretaría de Energía
- IRAM 11605 Transmitancia térmica máxima admisible

Dichas normativas de Acondicionamiento Térmico, entre otros temas, fijan valores máximos de transmitancia térmica 'K' de muros y techos según la zona bioclimática y la temperatura mínima de diseño. En consecuencia, el cálculo preciso y confiable de la transmitancia térmica es fundamental para la selección de alternativas constructivas y la evaluación de sistemas.

Sistemas industrializados. Sistema Entramado de Perfiles Galvanizados EPG

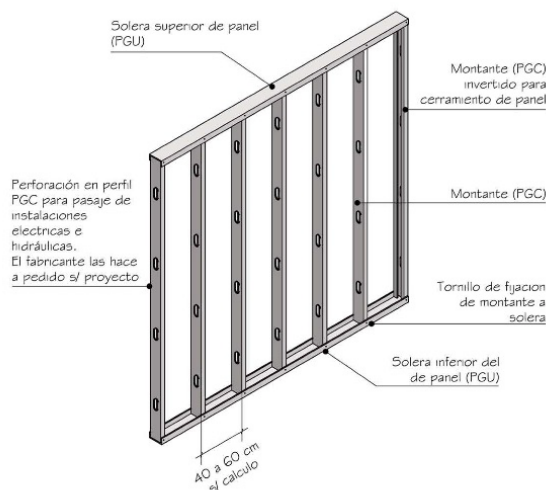
Con las nuevas exigencias de la Secretaría de Vivienda de la Nación (2019), los ladrillos macizos y bloques cerámicos convencionales superan los valores de K máximo admisible, establecidos para el nivel B, Medio, de la Norma IRAM 11605, para la gran mayoría de las zonas bioambientales de la República Argentina (IRAM, 1996) y requiere nuevos diseños especiales o capas aislantes adicionales (Evans y de Schiller, 2008). Incluso CICER, la Cámara Industrial de la Cerámica Roja que nuclea a los fabricantes intenta promover estas iniciativas de mejoras.

Es necesario entonces adoptar sistemas mixtos que combinan mampostería con construcción en seco o introducir otros sistemas, como por ejemplo el EPG (sistema de perfiles de acero galvanizado conformados en frío) o sistemas de madera. El EPG ha sido declarado sistema constructivo tradicional el 1 de febrero del 2018 con la Resolución 5-E-2018 de la Secretaría de Vivienda y Habitat del Ministerio del Interior.

El EPG como sistema multicapa permite combinar distintas aislaciones térmicas tanto en la cavidad entre montantes y en el exterior, con distintos materiales y variando espesores y densidades, hasta alcanzar o superar los requisitos de transmitancia requeridos en la zona del proyecto. También ofrece la ventaja de rapidez de construcción, prefabricación total o parcial de elementos constructivos y bajo contenido energético (Evans y de Schiller, 2018).

La conformación del sistema estructural se realiza con perfiles PGC y PGU, Figura 1, conformando paneles, Figura 1, con una secuencia modulada de 400 o 600 mm entre montantes verticales. Los perfiles de acero galvanizado son un puente térmico “frecuente” generando anomalías térmicas en la adyacencia de los mismos. Se puede disminuir su impacto en la transmisión térmica por aplicación de aislación térmica exterior, que rompe dichos puentes.

Figura 1. Detalle de panel exterior de EPG.



Elaboración propia

Justificación de la investigación

Ante la alta demanda habitacional por satisfacer, especialmente en vivienda social, y la necesidad de incorporar medidas de eficiencia energética en las envolventes constructivas y adecuarlas a nuevos requerimientos, el EPG es una alternativa valiosa para obras nuevas y mejoramiento del parque existente. En este contexto, se considera importante y necesario contar con una herramienta amigable y accesible, que permita estimar el valor de K promedio de los ensamblajes de muros exteriores para calcular las pérdidas de calor, y el K máximo en los puentes térmicos para evaluar el riesgo de condensación. Un método simplificado y confiable debe permitir la comparación de K equivalente obtenido con los valores límite establecidos en las Normas IRAM correspondientes.

Puente térmico y métodos de cálculo

La Norma IRAM 11605 establece en el apartado 5.4 Puentes térmicos que la transmitancia térmica correspondiente a un puente térmico, K_{pt} no debe ser mayor que el 50% del valor de la transmitancia térmica del muro opaco K_{mo} , y cuando la distancia entre dichos puentes es menor o igual a 1,7 deberá reducirse ese a 35%. Este requisito no tiene un razonable respaldo técnico y actualmente la Norma está en proceso de revisión.

Para una evaluación más precisa del impacto de los puentes térmicos, cuando estos se encuentran cercanos y son numerosos, como en estas estructuras

modulares, tanto la norma IRAM 11605 (1996) como la norma ISO 10211, recomiendan el uso de softwares basados en el método de diferencias finitas, o la Norma IRAM 11658-1 y 2 (2003).

El BRE, Building Research Establishment, ha publicado un informe (Anderson & Kosmina, 2019) sobre el cálculo de la transmitancia térmica. En muros con EPG, recomienda el uso de la Norma ISO 6946. En la construcción con madera, el aumento de la transmitancia de aproximadamente 15 %.

En la construcción con EPG, la modulación entre montantes es entre 400 y 600 mm y se alcanzan valores más precisos con software especializado, pero este enfoque tiene la limitación de que el software no es libre y que requiere un entrenamiento específico por parte de proyectistas.

Metodología empleada

Adoptando como referencia los valores de K de 6 ensamblajes de muros exteriores en EPG representativos publicados por el INCOSE (Instituto de la Construcción en Seco), obtenidos según el método ensayo INTI 101-21405 2012, que contempla el uso de un software específico basado en el método de las diferencias finitas, se analiza la aplicación de un modelo sencillo que permita estimar el coeficiente K, conociendo la geometría y los materiales empleados.

Con el conjunto de datos, se procurará aplicar alguna metodología correctiva al método simplificado para que el valor estimado para K, que incluye los puentes térmicos, no difiera del valor medido o estimado mediante un software específico en más de un 10 %.

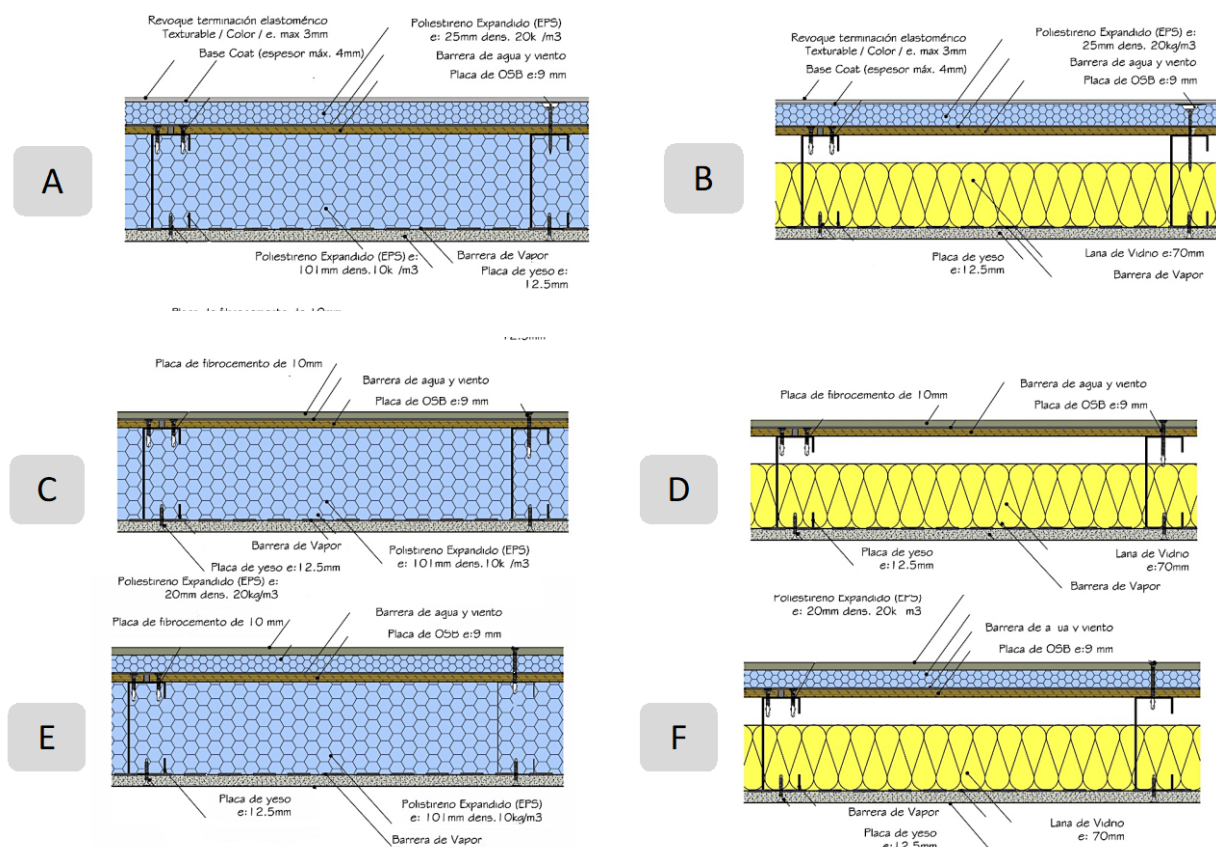
Materiales y métodos

Los ensamblajes seleccionados son tabiques exteriores de EPG, con perfiles PGC 100 mm de acero galvanizado y 0,9 mm de espesor cada 400 mm, con placa de yeso de 12 mm y barrera de vapor en el interior y un diafragma rigidizador de OSB de 9 mm, además de barrera de agua y viento en el exterior.

Las variantes de terminación exterior son EIFS (Exterior Insulation Finish System) con aislación exterior en EPS y Sidding cementicio con y sin EPS. La aislación en la cavidad entre montantes es lana de vidrio y EPS en otros casos

Los muros A, B, C, D, E y F muestran el detalle de los ensamblajes analizados

Imagen 1. Ensamblajes de muros exteriores.



Fuente: Elaboración propia

Geometrías analizadas

Se analizaron las siguientes geometrías y combinaciones, como se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1: geometrías y combinaciones analizadas.

N	Terminación exterior	Aislación térmica interior entre montantes	Aislación térmica exterior
1	EIFS	100 mm EPS	25 mm EPS
2		70 mm LV	25 mm EPS
3	Sidding cementicio 8 mm	100 mm EPS	no
4		70 mm LV	no
5		100 mm EPS	20 mm EPS
6		70 mm LV	20 mm EPS

Fuente: Elaboración propia

La presencia de dos espesores de aislación térmica interior entre montantes, dos espesores de aislación térmica exterior y dos tipos de terminación exterior, permite disponer de variadas alternativas para analizar.

Para estas variantes se dispone de valores obtenidos a partir ensayo de INTI 101-21405 2012, que corresponde a un análisis higrotérmico de los ensamblajes, en geometría 2 D. Para este esquema plano, se procede al cálculo teórico de transmitancia térmica y distribución de isothermas a partir de la Ley de Fourier de transmisión del calor, considerando la incidencia de los puentes térmicos. En este procedimiento, se verifican también los riesgos de condensación y, ante la eventualidad de que esto ocurra, se procede al cálculo del caudal másico de condensado. Estas últimas consideraciones no se incluyen en la propuesta que se presenta.

Como resultado de este análisis, se obtienen los coeficientes de transmitancia térmica que se tomarán en consideración, es decir, los valores de K , K_{pt} K_{mo} , que corresponden a la transmitancia media equivalente, a la del perfil y a la del material aislante entre perfiles, respectivamente.

Para la determinación del K máximo, se estableció una temperatura mínima de diseño de 0° C, en tanto que la temperatura interior y la humedad relativa exterior e interior se establecieron de acuerdo con la Norma IRAM 11625. La Tabla 2 muestra los valores obtenidos mediante la aplicación del procedimiento INTI descripto.

Tabla 2: valores de transmitancia térmica equivalente, considerando el efecto de los puentes térmicos y demás condicionantes, como la geometría.

N	Terminación exterior	Aislacion térmica interior entre montantes	Aislación térmica exterior	K	K _{pt}	K _{mo}
A	EIFS	100 mm EPS	25 mm EPS	0,48	0,79	0,24
B		70 mm LV	25 mm EPS	0,56	0,79	0,32
C	Sidding cementicio 8 mm	100 mm EPS	no	0,93	3,88	0,35
D		70 mm LV	no	1,13	3,96	0,51
E		100 mm EPS	20 mm EPS	0,51	1,28	0,30
F		70 mm LV	20 mm EPS	0,62	1,38	0,35

Fuente: Elaboración propia

Bases conceptuales del método propuesto

Considerando las leyes físicas de transmisión del calor y prescindiendo del mecanismo acoplado transporte de calor – transporte de vapor, es posible establecer los siguientes enunciados:

- La cantidad de calor (energía) que transportan ambos materiales está en relación con su superficie relativa en el plano de referencia (exterior – interior) donde, por condiciones de borde, la temperatura debe ser igual
- Para un conjunto de dos materiales con conductividad térmica muy diferente, donde la que corresponde al perfil es aproximadamente de un orden de magnitud mayor que la del aislante, la distribución de energía que atraviesa cada uno debe afectarse por un coeficiente de eficiencia.

El enunciado b) podría entenderse también de otra manera, si se piensa que la energía recorrerá el camino más “eficiente”, para ir desde el plano de mayor temperatura al de menor temperatura. En zonas del aislante lejanas al perfil metálico, la energía se transporta según un modelo “plano”, desde el lado más caliente al más frío, con dirección transversal al panel. Sin embargo, en las zonas próximas al perfil metálico, es más fácil que la energía circule por el material aislante hasta alcanzar el perfil metálico y luego se transporte con facilidad por el metal. De esta manera podríamos decir que la sección transversal relativa del metal, en lo que respecta a su capacidad de transmisión del calor, es “superior” a la que corresponde al cálculo geométrico, en un factor que podría estimarse en 2 para la geometría analizada.

Este factor de “eficiencia” constituye parte de la propuesta que se presenta.

Para la geometría que se muestra en la Fig. 2 la superficie de contacto del Perfil PGC contra la placa de yeso y el OSB es el ancho de ala del perfil de 40 mm, medida B para perfil PGC 100 mm de acuerdo a Norma IRAM-IAS U-500-205.

Considerando que la separación entre montantes es de 400 mm en una sección lineal de 1000 mm, la superficie de contacto de los perfiles en el plano de referencia (exterior – interior) representa aproximadamente el 8 % de la sección total, con un 92 % para el material aislante.

Aplicando un modelo simple de material compuesto, se le atribuye a cada uno de los materiales una capacidad de transmitir energía del lado caliente al lado frío dada por su sección transversal relativa multiplicada por su transmitancia térmica K.

Este valor, luego debe afectarse por el coeficiente de eficiencia, que resulta de considerar el efecto de la gran diferencia en el valor de K para ambos materiales, situación que perturba el flujo unidimensional de energía y mejora la eficiencia del material más conductor. Adoptando un coeficiente 2 para el acero, que indica una eficiencia doble, en relación con el valor unitario que se atribuye al material aislante, y aplicando la ecuación 1, se obtienen los valores que se muestran en la Tabla 3.

$$K_{eq} = K_{PT}.Sup.rel_{PT}.Factor\ efic_{PT} + K_{mo}.Sup.rel_{mo}.Factor\ efic_{mo}$$

Tabla 3. Aplicación de coeficiente de eficiencia de conducción

Sidding cementicio 8 mm con 70 mm de LV entre montantes (C)		Sidding cementicio 8 mm con 100 mm EPS entre montantes (D)		
Kpt	Kmo	Kpt	Kmo	
3,96	0,51	3,88	0,35	
0,08	0,92	0,08	0,92	% incidencia en un metro lineal de tabique
2	1	2	1	coeficiente de eficiencia de conducción
	1,1028		0,9428	Valor estimado de K
	1,13		0,93	Valor K metodología INTI
	< 3%		< 2%	Error de estimación

Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos al aplicar un modelo simple de material compuesto y el coeficiente de eficiencia sobre los valores de los materiales que componen el sistema, dan por resultado un valor K que contempla el impacto de los puentes térmicos, con una desviación inferior al 3 % con respecto al valor K obtenido por software.

Para los ensamblajes que tienen aislación exterior se evaluará el efecto atenuador de la misma sobre la transmitancia del puente térmico, en función de su espesor

Los ensamblajes C y E, y D y F son iguales en sus componentes, con el agregado de EPS de 25 mm como aislación exterior. Al comparar los valores K, en ambos casos se verifica una reducción de 0,55 del valor.

Tabla 4. Índice de efecto atenuador de la aislación térmica exterior

placa cementicia 8 mm	0,55	100 mm EPS		0,93
		70 mm LV		1,13
	0,55	100 mm EPS	20 mm EPS	0,51
		70 mm LV	20 mm EPS	0,62

Fuente: Elaboración propia

El BRE, Building Research Establishment, ha publicado un informe (Anderson & Kosmina, 2019) sobre el cálculo de la transmitancia térmica. En muros con EPG, recomienda el uso de la Norma ISO 6946.

Conclusiones

La falta de una herramienta de cálculo de fácil acceso, y los pocos datos publicados de valores de transmitancia térmica de los muros exteriores con sistema de EPG calculados con software de diferencias finitas, ocasionan errores al diseñar los ensamblajes y las aislaciones que permitan alcanzar los valores K estipulados por la Norma IRAM 11605 en las distintas zonas bioambientales. Por consiguiente, también serán incorrectas las evaluaciones de G coeficiente global de pérdida de calor, y otros cálculos relacionados que tomen el valor de K como dato

Los ensamblajes de techos también presentan la misma problemática, con similar modulación en su estructura

Referencias

El presente trabajo se desarrolla en el marco de la tesis, actualmente en elaboración, de la Maestría Sustentabilidad en Arquitectura y Urbanismo, Secretaría de Posgrado, FADU-UBA, titulada "Lana de oveja rústica, bioaislación aplicada a la eficiencia energética de la envolvente. Caso de estudio: prototipos de vivienda social en zonas laneras" con Dr. Arqto. John Martin Evans como director, y el Ingeniero Luis Fernández Luco como co-director

Bibliografía

- Anderson, B. y Kosmina, L. (2019) Conventions for U-Value Calculations, Building Research Establishment, Watford.
- Evans, J. M. y de Schiller, J. (2018) Comportamiento térmico de sistemas constructivos: Balance energético y ambiental de muros mejorados, en Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, INENCO, UNSa, Salta.
- Gil, S, D. Strier y otros (2019) "Estudio de Propuestas de Implementación de Energías Renovables en Viviendas Sociales para la Generación de Energía Eléctrica Distribuida y Solar Térmica". UNSAM - FDG. Bs. As.
- <https://www.argentina.gob.ar/energia/hidrocarburos/balances-energeticos>.
- <https://www.incose.org.ar/documentacion-tecnica/>
- IRAM (1996) Norma IRAM 11605, Acondicionamiento Térmico de Edificios. Condiciones de Habitabilidad en Edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos.
- IRAM (2003) IRAM 11658-1:2003, Aislamiento térmico de edificios. Puentes térmicos. Parte 1: Cálculo de flujos de calor en edificios. Método para el desarrollo de modelos. Vigente desde 10/10/2003, 13 páginas.
- IRAM (2003) IRAM 11658-2:2003, Aislamiento térmico de edificios. Puentes térmicos. Parte 2: Procedimiento para la validación de los métodos de cálculo de gran exactitud. Vigente desde 10/04/2003, 8 páginas.
- ISO (2008) ISO Standard 10211, Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Detailed calculations, International Standards Organization, Geneva.
- MINEM, Balance Energético Nacional 2017, Ministerio de Energía y Minería, Buenos Aires, 2018, disponible en:
- MIOPyV (2000). Estándares Mínimos de calidad para Viviendas de Interés Social. Ministerio del Interior Obras Públicas y Vivienda,
- Secretaría de Vivienda (2019) Estándares Mínimos de Calidad para Viviendas de Interés Social, Marco para la Promoción de Viviendas Inclusivas, Asequibles y Sostenibles, Revisión 2019, Secretaría de Vivienda, Buenos Aires