

## **RECICLADO EDIFICIO DE UNA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN BERISSO, BUENOS AIRES, ARGENTINA**

**Viegas, G<sup>1</sup>.; Chévez, P<sup>1</sup>.; Garganta, M. L.<sup>2</sup>.; Jodra, J.I.<sup>1</sup>.; Díscoli, C.<sup>1</sup>.;**

Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC). Grupo asociado INENCO.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), Universidad Nacional de La Plata (UNLP)

Calle 47 N°162, La Plata, C.P. 1900 – Prov. de Buenos Aires

Tel. 0221-4236587/90 int. 250.e-mail: [gachiviegas@yahoo.com.ar](mailto:gachiviegas@yahoo.com.ar), [chevezpedro@gmail.com](mailto:chevezpedro@gmail.com),

[laugarganta@gmail.com](mailto:laugarganta@gmail.com), [discoli@rocketmail.com](mailto:discoli@rocketmail.com), [juanjodra@gmail.com](mailto:juanjodra@gmail.com)

*Recibido 15/08/18, aceptado 28/09/18*

**RESUMEN:** El presente trabajo tiene por objetivo analizar estrategias de reciclado edilicio para el Gran La Plata, seleccionar las más adecuadas y aplicarlas in situ en una vivienda de interés social localizada en la ciudad de Berisso, con alto nivel de replicabilidad. La metodología se desarrolla en dos etapas: i. el análisis de estrategias de reciclado mediante un estudio tipológico y constructivo, la elaboración de catálogos y adecuación a nivel B de la norma Iram 11605; ii. la aplicación in situ de un reciclado edilicio, mediante la selección de una tipología representativa, la evaluación de alternativas y costos, y la realización de una auditoria térmico-energética previa y posterior a la aplicación de mejoras. Los resultados muestran la factibilidad de las estrategias en obra, así como una reducción sustancial de la amplitud térmica interior tanto en invierno como en verano, y una reducción del consumo de energía en invierno.

**Palabras clave:** reciclado edilicio, auditoria energético-ambiental, vivienda social.

### **1. INTRODUCCIÓN**

El consumo energético edilicio residencial, a nivel internacional, tiene un peso muy significativo dentro de la demanda total de energía con valores del orden del 23% (IEA, 2015). Es por ello que los países que han afrontado medidas concretas para lograr reducciones en su demanda energética focalizaron en el mejoramiento de las condiciones termo-energéticas de las futuras construcciones, pero también de las viviendas existentes, las cuales son mayoritarias en el parque edilicio.

El lanzamiento de estas medidas tuvo su auge luego de la primer crisis petrolera de 1973, donde los países energo-intensivos necesitaron replantear las formas de uso y la eficiencia energética en todos los sectores involucrados. En el sector edilicio residencial, los países desarrollados han introducido con éxito medidas y principios relacionados con el uso racional, la conservación y la eficiencia de los usos finales. Dichos países trabajaron, en primera instancia, en el análisis y desarrollo de medidas de rehabilitación progresiva en el parque edilicio existente y, durante el proceso de reciclado del parque existente, se sentaron las bases normativas para la edificación nueva. Las mejoras energéticas en los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) generaron que la demanda creciera solamente el 4% entre 1973-1985, mientras que el PBI creció en el mismo período el 30% (Rosenfeld et al., 1993). Países como España, a través del IDAE (IDAE, 1986), y Francia, por medio del ADEME (ADEME, 1986) y el COSTIC, llevaron a cabo la organización e implementación del reciclado sistemático de gran parte de la edificación a nivel nacional. Se realizaron numerosas publicaciones orientadas a la difusión, a la capacitación y al desarrollo científico-académico. Al igual que los ejemplos mencionados, el resto de los países desarrollados en su conjunto actuaron en consonancia entendiendo que no es necesario mencionar las singularidades de cada proceso.

<sup>1</sup> Investigadores y Becarios de CONICET

<sup>2</sup> Docente-investigador FAU-UNLP.

Con el tiempo, en gran parte de los países europeos, las medidas y los principios de Passive House Retrofit (PHR) se han ido introduciendo con éxito en la rehabilitación del parque edificatorio existente, permitiendo minimizar los efectos de las crisis energéticas de las últimas tres décadas. Actualmente los ahorros de energía alcanzados en dichos países pueden variar en un rango del 80-95% dependiendo de las tipologías (Verbeeck et al., 2005; Rodríguez González et al., 2011).

Paralelamente en la región Latinoamericana, los efectos de las crisis petroleras generaron acciones similares con escenarios político-institucionales diferentes. En el caso de Argentina, en la década del ochenta se comenzaron a impulsar políticas estatales destinadas al uso racional de la energía, como por ejemplo el Programa Integral de Conservación-URE para la Argentina (Decreto 2247/85), el cual planteaba alcanzar un ahorro de energía del 10% para 1989 y destinaba presupuesto para su ejecución. Las acciones propuestas contemplaban: incentivos directos a los usuarios, la promoción de códigos de edificación orientados a la conservación de la energía, acciones orientadas al mejoramiento de los equipos domiciliarios, la realización de estudios destinados a identificar los patrones de consumo energético, entre otras iniciativas (Infoleg, 2017). Si bien el programa fue discontinuado rápidamente, en lo que refiere a la última iniciativa, el programa AUDIBAIRES, desarrollado en la década del '80 por el Instituto de Arquitectura Solar de la Prov. de Buenos Aires, elaboró una metodología, para ese entonces inédita, que tenía como objetivo evaluar en forma masiva el parque edilicio a través de auditorías energéticas globales y detalladas (IAS-FABA, 1983). En los '90, con el programa URE-AM se profundizó sobre el potencial de uso racional de la energía –URE- (Rosenfeld et al., 2002), en el Área Metropolitana de la ciudad de Buenos Aires y en el Gran La Plata.

Si bien hubo avances significativos en relación a estudios sobre el uso racional de la energía, hasta mediados de la década del 2000 las políticas concretas orientadas a esta temática no fueron incluidas en la agenda política nacional. Con la salida de la crisis político-social de 2001, y ante una situación coyuntural de incremento en la demanda y declive en la producción de energía primaria (Chávez, 2017), fue necesario impulsar acciones que permitieran afrontar la inminente pérdida del autoabastecimiento energético. Es por ello que, entre diversas acciones, se lanzó el Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía –PRONUREE- (Decreto 140/2007) que propuso una serie de lineamientos sobre los distintos sectores de consumo. En cuanto al sector residencial, este contemplaba aspectos constructivos tanto de viviendas nuevas como existentes y abordaba el mejoramiento del equipamiento domiciliario. Focalizando en las “viviendas en uso”, el PRONUREE planteaba desarrollar incentivos, como por ejemplo el financiamiento preferencial para medidas destinadas a reducir el consumo; diseñar una estrategia para la implementación masiva de sistemas de calentamiento de agua basados en energía solar; e implementar un programa nacional de aislamiento de viviendas que incluyera techos, envolventes y aberturas (Infoleg, 2018). Sin embargo, los resultados obtenidos sobre el parque edilicio existente indican que lo previsto para las viviendas en uso no ha avanzado de la forma esperada.

En cuanto al estado del arte sobre la temática del reciclado edilicio, a nivel internacional es posible identificar diversos trabajos científicos dedicados al análisis del comportamiento previo y posterior de viviendas existentes sometidas a reciclados de su envolvente. Algunos ejemplos son: el estudio de Baeli (2013), que recopila los resultados de veinte reciclados energéticos en el Reino Unido; el trabajo de Calderón y Rodríguez Beltrán (2018), que presenta un estudio empírico de dos años de duración sobre los efectos del aislamiento de muros en un edificio de viviendas sociales de gran altura en Newcastle; en Liang et al. (2017) se analiza el impacto del Programa Energize en Phoenix, utilizando datos de facturación previos y posteriores a las mejoras energéticas en más de 800 edificios; o el trabajo de Ignjatović et al. (2016), en el que se analiza un caso de estudio en la ciudad de Belgrado; entre otros ejemplos.

Por su parte, ante la escasa difusión de emprendimientos de reciclados energéticos a nivel nacional, es de destacar que los estudios referidos a esta temática son escasos. Algunos ejemplos son: el trabajo de Rodríguez et al. (2017), donde se plantea una metodología teórica para el abordaje del parque residencial de la ciudad de La Plata; el trabajo de Andersen et al. (2017), donde se analizan viviendas sociales en estado base para la propuesta de medidas de RETROFIT en clima frío; o el trabajo de

Diulio et al. (2016), donde se estudia el impacto luego de realizarse un reciclado sobre una vivienda particular de la ciudad de La Plata.

En este contexto, se trabajó en un proyecto de investigación plurianual financiado por CONICET (PIP CONICET 097) denominado “Desarrollo de tecnologías y pautas para el reciclado masivo de la envolvente edilicia residencial orientado al uso racional y eficiente de la energía en áreas urbanas” (Discoli, 2012), dentro del cual se planteó entre sus objetivos evaluar las alternativas constructivas y elaborar catálogos tecnológicos tendientes a sistematizar y normalizar el potencial de ahorro energético a nivel edilicio, a efectos de ser replicado en forma masiva; así como también ensayar e implementar algunas alternativas constructivas relevantes en laboratorio e in situ a efectos de evaluar sus comportamientos.

En base al contexto descrito y en el marco del mencionado proyecto CONICET se plantea el presente trabajo que tiene por objetivo analizar las posibles estrategias de reciclado existentes para el área de estudio, el Gran La Plata, seleccionar las más adecuadas y aplicar las estrategias in situ para evaluar el proceso de la obra y el comportamiento previo y posterior de la vivienda con la aplicación de medidas. Se tomó como caso de estudio una vivienda de construcción estatal para realizar los primeros ensayos. Dicha tipología de vivienda representa un alto nivel de replicabilidad, puesto que éstas tienen un peso considerable dentro del parque total de viviendas. El presente análisis permitirá evaluar las potencialidades de las medidas de mejoramiento para ser aplicadas en forma masiva.

## 2. METODOLOGÍA

En principio se plantean las estrategias de reciclado edilicio en el Gran La Plata con sus respectivas metodologías de análisis y en segunda instancia se aplican in situ las estrategias de reciclado edilicio y su evaluación del comportamiento térmico-energético. A continuación se desarrolla la instrumentación para cada etapa.

### 2.1. Estrategias de reciclado edilicio en el Gran La Plata

Como primera instancia se desarrolla un análisis del parque edilicio residencial del Gran La Plata desde aspectos tipológicos, sistemas constructivos y componentes con el objeto de evaluar posibles propuestas de reciclado masivo del conjunto edilicio. Se trabaja a partir de estudiar y definir la representatividad tipológica de las unidades edilicias residenciales, teniendo en cuenta en la clasificación aspectos funcionales, morfológicos, constructivos, histórico-temporales y modalidad de gestión (Rosenfeld et al., 1988).

En cuanto a su tecnología y componentes, se trabaja a nivel de *muros, cubierta y aberturas*, definiendo especificidades para cada caso (Rodríguez, et al., 2017). Se han analizado las situaciones iniciales o “de base” y luego se desarrollan propuestas de mejoramiento tecnológico-constructivo en sus características termo-energéticas. La selección de los distintos casos de mejoramiento es motivada por sus características según dos criterios principales: a. Simpleza y eficiencia en la concreción del reciclado: se refiere al criterio de su sencilla adaptación tecnológico-constructiva potenciada desde sus características de pureza formal y simplicidad en el lenguaje, lo cual facilita la ejecución y las técnicas requeridas para su reciclado. De esta manera se priorizan las propuestas de mejoramiento tecnológico-constructivo con aislación exterior, manteniendo la esencia del lenguaje original y obteniéndose mayores beneficios en términos de aislación, inercia térmica y reducción de riesgo de condensación; b. Conservación del lenguaje arquitectónico original: en referencia al criterio de conservación de sus fachadas exteriores, por reconocerse en las unidades edilicias de análisis lenguajes arquitectónicos de importante valor estético, simbólico y patrimonial que se desea preservar. En lo que también se pueden incluir aquellas unidades con materialidades complejas que dificulten sustantivamente la aplicación de reciclados desde la cara exterior. Por lo tanto se priorizan las propuestas de mejoramiento tecnológico-constructivo de aislación interior, en función de conservar el lenguaje exterior.

A su vez se menciona que los distintos espesores de aislación son determinados según los valores máximos del índice de eficiencia energético-económico (IE), herramienta desarrollada a tal fin

(Rodríguez et al., 2012); debiendo cumplir como mínimo con los valores máximos admisibles de transmitancia térmica en nivel B Norma IRAM N°11605 (1996), en concordancia con los requerimientos según Ley 13059 de la Provincia de Buenos Aires.

## 2.2. Aplicación in situ de las estrategias de reciclado edilicio

De acuerdo a la clasificación tipológica de la etapa anterior, se selecciona una vivienda representativa, específicamente una vivienda de gestión estatal, de producción masiva y amplia existencia en el caso de estudio. Se realiza un relevamiento exhaustivo de la vivienda, conociendo pormenorizadamente las características constructivas e higro-térmicas de su envolvente y desarrollando un relevamiento de usos por parte del usuario. En base a esta caracterización, y utilizando el catálogo previamente desarrollado, se seleccionan las mejoras a aplicar, se evalúan costos y se procede a la ejecución del mejoramiento. Las medidas se adaptan a las condiciones económicas y de factibilidad comercial de los elementos aislantes a incorporar. Se documentan todas las etapas de la aplicación de las mejoras fotográficamente. Los costos son afrontados entre la propietaria y el proyecto de investigación que da marco a este trabajo. Para la ejecución de los trabajos de obra, fue necesario capacitar a la mano de obra sobre aspectos específicos a tener en cuenta.

Para evaluar los efectos del reciclado se realiza una comparación de la situación de base de la vivienda (sin mejoras) con la situación mejorada, realizando una auditoría térmico-energética de la misma. Se realizó una auditoría en el invierno (junio y julio) del 2015 y el verano (enero y febrero) del 2016 cuando la vivienda aún no había sido reciclada. Entre mayo y junio del 2016 se realizan las mejoras y durante julio y agosto de 2016 y enero y febrero de 2017 se repite la auditoría de la vivienda en condiciones invernales y estivales. La auditoría se basó en el registro de: temperatura (°C), humedad relativa (%), iluminación natural (lux) y radiación solar ( $W/m^2$ ) cada 15 minutos utilizando adquirentes de datos electrónicos no invasivos (Hobo) y un solarímetro asociado a un Hobo. Se colocó un sensor en cada ambiente de la vivienda y en el exterior. Por otro lado se recopiló los datos horarios de temperatura, humedad y radiación solar de la estación meteorológica Observatorio Astronómico de La Plata (OALP) para los meses y años de la auditoría, para comparar las distintas situaciones climáticas encontradas. Por otro lado se realizaron los registros de los medidores de energía eléctrica y gas natural de distintos días por parte de la usuaria. Y para el período invernal del 2016, con la vivienda ya reciclada, se le solicitó a la usuaria que realizara un uso específico de la vivienda (incorporando o no energía auxiliar; registrando días nublados y soleados; registrando ocupación o no de la vivienda) para conocer la respuesta de la vivienda reciclada bajo diferentes situaciones.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Estrategias de reciclado edilicio en el Gran La Plata

De acuerdo a lo establecido por Rodríguez, Discoli y Martini (2017), quienes proponen una metodología para el reciclado edilicio residencial en forma masiva, las tipologías morfológico-tecnológicas más representativas para el caso de la Región del Gran La Plata, son las siguientes siete: *la casa chorizo; la casa de renta; el chalet californiano; la casa racionalista; la casa cajón* (de iniciativa privada o estatal); *el bloque bajo o monoblock y el edificio PH en altura*.

Posteriormente, para abordar las estrategias concretas de reciclado edilicio, el trabajo mencionado planteó la desagregación en unidades menores, proponiendo el desglose de los componentes de las distintas envolventes edilicias. En consecuencia, se distinguen distintas variantes de *muros; cubiertas; aberturas y encuentros*. Las Tablas 1, 2 y 3 presentan las estrategias de reciclado para los elementos *muros, cubiertas y aberturas*; con sus valores de K en estado base y con diversas estrategias de mejoramiento para alcanzar el nivel B de la Norma IRAM 11605 (1996).

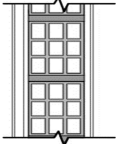
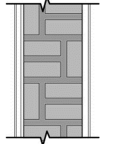
MUROS			
		Ladrillo hueco no portante, revocado ambas caras (0.22m) <b>K= 1,605 W/m<sup>2</sup> °C</b>	Ladrillo común revocado en ambas caras (0.20m) <b>K= 2,370 W/m<sup>2</sup> °C</b>
		Ladrillo común con interior revocado y exterior visto (0.28m) <b>K= 2,125 W/m<sup>2</sup> °C</b>	
	(5cm de EPS) <b>K= 0,485 W/m<sup>2</sup> °C</b>	(5cm de EPS) <b>K= 0,537 W/m<sup>2</sup> °C</b>	
	(5cm de EPS) <b>K= 0,484 W/m<sup>2</sup> °C</b>	(5cm de EPS) <b>K= 0,536 W/m<sup>2</sup> °C</b>	
Aislación exterior con EPS y sistema tipo EIFS			
Aislación exterior con EPS y placas cementicias			
Aislación interior con lana de vidrio y placas de yeso	(7.5cm de LV) <b>K= 0,396 W/m<sup>2</sup> °C</b>	(7.5cm de LV) <b>K= 0,430 W/m<sup>2</sup> °C</b>	(7.5cm de LV) <b>K= 0,421 W/m<sup>2</sup> °C</b>

Tabla 1: Muros usuales en el caso de estudio y posibles estrategias de reciclado del elemento (fuente: Rodriguez et al. 2017).

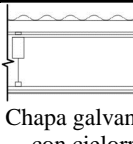

CUBIERTAS				
		Chapa galvanizada, con cielorraso suspendido <b>K (inv.)= 2,606</b> <b>K (ver.)= 1,906</b>	Teja francesa, con cielorraso de machimbre visto <b>K (inv.)= 4,283</b> <b>K (ver.)= 3,295</b>	Losa hormigón armado y cielorraso aplicado <b>K (inv.)= 2,965</b> <b>K (ver.)= 2,455</b>
		Losa con vigueta y ladrillo sapo cerámico <b>K (inv.)= 1,744</b> <b>K (ver.)= 1,554</b>		
	(6cm de EPS) <b>K (inv.)= 0,477</b> <b>K (ver.)= 0,447</b>	(7cm de EPS) <b>K (inv.)= 0,448</b> <b>K (ver.)= 0,434</b>		
	(6cm de EPS) <b>K (inv.)= 0,462</b> <b>K (ver.)= 0,434</b>			
Aislación exterior con EPS bajo cubierta existente				
Aislación exterior c/ EPS (p/ chapa ondulada) y carpeta cementicia				
Aislación exterior c/ EPS y carpeta cementicia			(6cm de EPS) <b>K (inv.)= 0,475</b> <b>K (ver.)= 0,460</b>	(6cm de EPS) <b>K (inv.)= 0,489</b> <b>K (ver.)= 0,473</b>
Aislación interior con lana de vidrio y cielorraso suspendido	(7,5cm de LV) <b>K (inv.)= 0,438</b> <b>K (ver.)= 0,413</b>	(7,5cm de LV) <b>K (inv.)= 0,469</b> <b>K (ver.)= 0,454</b>	(7,5cm de LV) <b>K (inv.)= 0,447</b> <b>K (ver.)= 0,434</b>	(10cm de LV) <b>K (inv.)= 0,323</b> <b>K (ver.)= 0,316</b>

Tabla 2: Cubiertas usuales en el caso de estudio y posibles estrategias de reciclado del elemento (fuente: Rodriguez et al. 2017).

ABERTURAS	
	Vidrio simple de 4mm / <b>K= 5,817 W/m<sup>2</sup> °C</b>
Colocación de cortina de enrollar exterior	(madera 0,5cm) / <b>K= 2,780 W/m<sup>2</sup> °C</b>
Colocación de postigos	(madera 1cm) / <b>K= 2,648 W/m<sup>2</sup> °C</b>
Colocación de carpintería en paralelo	(cámara de aire 5-10cm) / <b>K= 2,909 W/m<sup>2</sup> °C</b>

Tabla 3: Aberturas usuales en el caso de estudio y posibles estrategias de reciclado (fuente: Rodriguez et al. 2017).

El catálogo desarrollado permite observar diferentes tecnologías posibles de aplicar. Las mismas se encuentran sujetas a las condicionantes del mercado y económicas del usuario. Se plantea entonces la necesidad de seleccionar las más efectivas de acuerdo al caso de aplicación.

### 3.2. Aplicación in situ de las estrategias de reciclado edilicio

Para verificar el comportamiento real de la aplicación de pautas de reciclado edilicio en una vivienda existente, se llevó a cabo el mejoramiento de la envolvente de una vivienda de construcción estatal, la cual dentro de la clasificación de Rodriguez et al. (2017) puede ser considerada como la tipología de

“casa cajón”. En este caso en dúplex, con unidades apareadas en hilera, considerada como de alto nivel de representatividad que cuenta con características que simplifican la ejecución de intervenciones.

La vivienda se localiza en la calle 160 entre 21 y 22 (Figura 1 y 2), la cual fue construida mediante el “Programa Federal de Viviendas” entre los años 2010-2011 por el Instituto de la Vivienda de la Provincia de Buenos Aires (IVBA). Se trata de un dúplex de 48m<sup>2</sup>, cuya planimetría se expone en la Figura 3. Las características constructivas obtenidas de la memoria técnica se pueden sintetizar de la siguiente manera: los muros exteriores son de ladrillo cerámico hueco de 18cm x 18cm x 33cm, revocado en ambas caras; posee una cubierta con pendiente, construida en chapa galvanizada N°24, con aislamiento hidrófugo y térmico de alta densidad de 4cm de espesor (inexistente en la obra auditada); asimismo presenta un pequeño sector con cubierta plana, construida con losetas pretensadas, con aislamiento hidrófugo y térmico mínimo (inexistente en la obra auditada). Por su parte, a los efectos de contar con una caracterización sintética de la vivienda, la Tabla 4 expone una serie de indicadores dimensionales, morfológicos y energéticos que son determinantes para los aspectos térmicos de la misma.

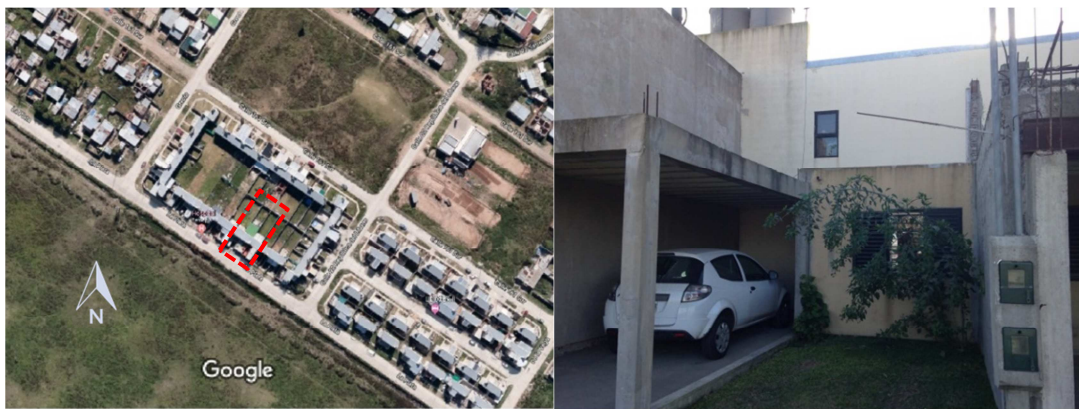


Figura 1: Implantación de la vivienda reciclada. Figura 2: Frente de la vivienda reciclada.

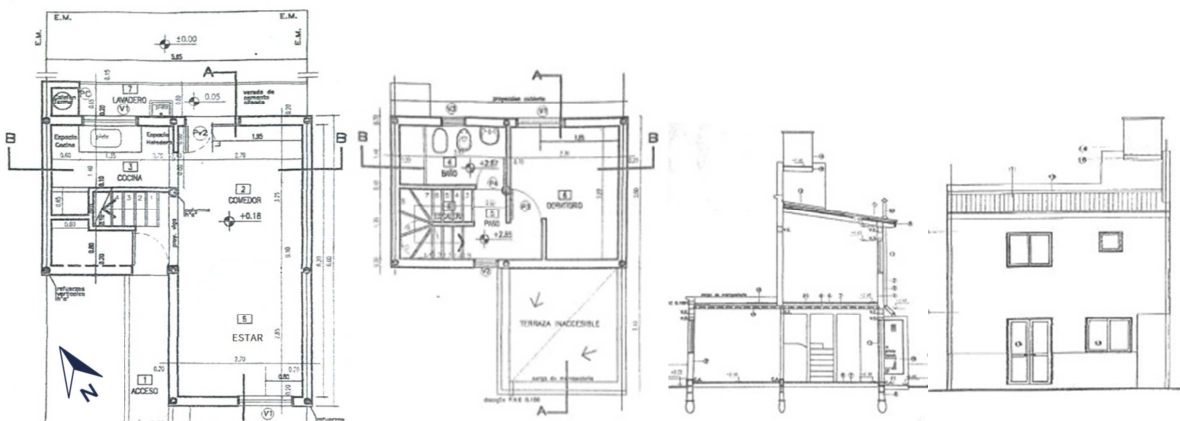


Figura 3: Plantas cortes y vistas de la vivienda.

Perímetro PB (m)	Perímetro PA (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Envolvente (m <sup>2</sup> )	Envolvente expuesta (m <sup>2</sup> )	IC-Índice de compactación (%)	FE- Factor de exposición	FF-Factor de Forma	Transmitancia térmica K muros (W/m <sup>2</sup> °C)	Transmitancia térmica K techo inclinado (W/m <sup>2</sup> °C)		Transmitancia térmica K techo plano (W/m <sup>2</sup> °C)		Coeficiente global de pérdidas G (W/°C m <sup>3</sup> )
										Inv.	Ver.	Inv.	Ver.	
25,0	18,9	48	162,7	203,6	121,5	70,8	0,59	1,2	1,60	4,68	3,52	2,96	2,45	2,8

Tabla 4: Indicadores dimensionales, morfológicos y energéticos. Referencias: IC (Perímetro de planta/perímetro de circunferencia); FE (envolvente expuesta/envolvente total); FF (Superficie de envolvente/volumen).

En función de la tipología de vivienda y la metodología teórica desarrollada por Rodríguez et al. (2017), se seleccionaron las pautas más adecuadas para el caso de estudio (Tablas 1 y 2).

Es por ello que en el caso de los muros (Figura 4) se implementó la estrategia de aislación exterior en la cual se fijan a la pared existente placas de poliestireno expandido de 30 mm (EPS de 20 kg/m<sup>3</sup>) por medio de adhesivo (o fijaciones mecánicas), luego se aplica una capa de *base coat* (mezcla de polímeros acrílicos y cemento Portland), para obtener resistencia mecánica se refuerza dicha capa con una malla de fibra de vidrio que cubre toda la superficie del EPS, la terminación del muro se realizó con un revestimiento texturado. Este sistema constructivo se denomina *Exterior Insulation Finished System* (EIFS) y cuenta con la ventaja de que permite mejorar las prestaciones de la envolvente interviniendo desde el exterior, minimizando las molestias para el usuario, además elimina los puentes térmicos e incorpora la masa térmica al balance energético de la vivienda.

Para la cubierta de chapa (Fig. 5 izq.) se ejecutó un cielorraso suspendido de placas macizas de roca de yeso de 9,5 mm de espesor, con perfilaría de chapa galvanizada y aislación térmica de lana de vidrio de 80 mm. Esta opción evita la necesidad de desmontar los techos y, además, al descender la altura útil de las habitaciones, se reduce el volumen a climatizar. Por su parte, para la cubierta plana de hormigón (Fig 5 der.), se utilizó una aislación térmica exterior con EPS de 75 mm de alta densidad (20 kg/m<sup>3</sup>), separado de la losa unos 10 mm para permitir el escurrimiento de agua ante eventuales filtraciones, con una protección superior ejecutada con malla geotextil sintético que ofrece protección mecánica y evita desarrollo de vegetación, mientras que la terminación es de piedra partida gris tamaño medio.



Figura 4: imágenes de la ejecución de la obra de aislación exterior de muros.



Figura 5: ejecución del cielorraso suspendido (izq.) y de la aislación térmica de la losa (der.)

Por último, ante la imposibilidad de afrontar los costos del recambio total de carpinterías, se optó por mejorar las prestaciones térmicas de las ventanas durante el período de mediciones por medio de la simulación de un doble aventanamiento para evitar infiltraciones incorporando un film transparente de polietileno de larga duración térmica (LTD) coextruido, tricapa, de tonalidad blanco traslúcido, de 100 micrones de espesor. Asimismo se colocaron burletes en todas las aberturas de hoja.

La totalidad de la obra resultó en un costo de AR\$60.728. Dicho monto significó un valor de 3995 USD (tipo de cambio 15,20 ARS/USD mayo 2016), por lo que se obtiene un costo unitario de 83,2 USD/m<sup>2</sup> de planta (48 m<sup>2</sup> totales), representando un 49% los materiales y un 51% la mano de obra.

### 3.3. Auditoría térmica energética de la vivienda antes y después de las mejoras.

#### 3.3.1. Análisis climático de ambos períodos

A partir de la información climática proporcionada por la FCAyG-UNLP se pudo verificar que los inviernos del 2015 y del 2016 presentan similares características generales. Las temperaturas media, máxima y mínima del 2015 fueron 11,7, 23,7 y 0,7°C respectivamente. El invierno del 2016 mostró

temperaturas medias, máximas y mínimas de 9.7, 17.7 y 1.3°C respectivamente. Se observa entonces que el año 2016 fue levemente más frío que el 2015. En el caso del verano se observan similitudes en los diferentes segmentos registrados. Se observa que en 2016 las temperaturas son mayores al inicio del mes de febrero respecto del 2017 y menores al final de febrero de 2016 respecto del 2017. Estos resultados nos permiten desarrollar el análisis comparado.

### 3.3.2. Comportamiento invernal de la vivienda

La vivienda en dúplex posee gran compacidad y bajo factor de exposición al exterior ya que comparte dos medianeras con sus vecinos. Los ambientes principales, comedor, cocina y dormitorio están expuestos a la mejor orientación (noreste). La Figura 6 muestra el comportamiento de los principales locales de la vivienda antes de realizarse las mejoras y el gráfico de confort de invierno. Durante el período la usuaria incorporó energía con un calefactor tiro balanceado de 5000 kcal/h (promedio 6hs al máximo por día en el comedor) y un calentador eléctrico de 425 W (entre 6 y 12 hs diarias de uso en el dormitorio). La Figura 7 muestra el comportamiento de la vivienda en el invierno luego de incorporarse mejoras en su envoltente y el gráfico de confort de invierno. Se han indicado los momentos en los que se han incorporado las mejoras tecnológicas, los cuales se realizaron en tres etapas. En el primer tramo, del 30-06 al 21-07 se realizó la medición de la vivienda con las mejoras de cielorraso suspendido y aislamiento de muros. El 21-07 se incorporó aislamiento de ventanas (simulando doble vidrio). El 03-08 se aisló la losa externamente con poliestireno expandido.

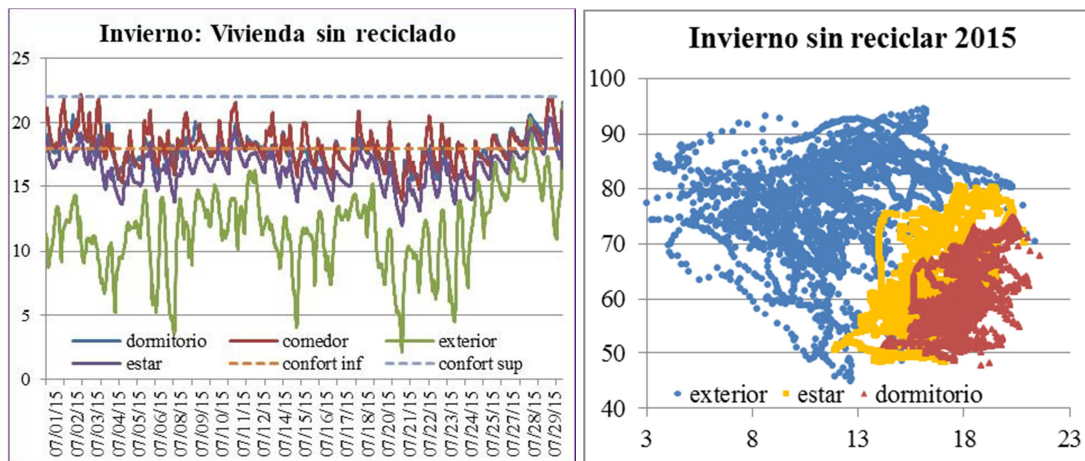


Figura 6: comportamiento térmico y diagrama de confort de la vivienda sin reciclar (invierno).

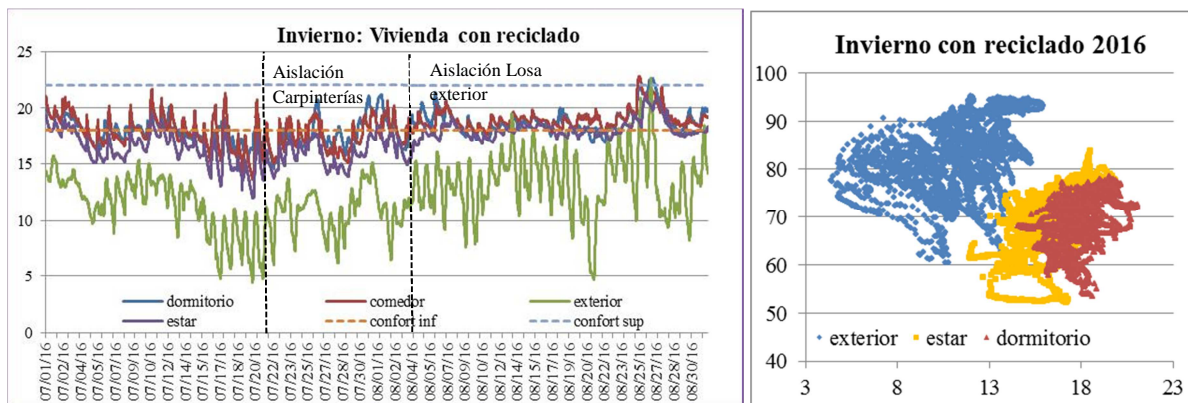


Figura 7: comportamiento térmico y diagrama de confort de la vivienda reciclada (invierno).

Bajo estas condiciones podemos observar que antes del reciclado (Fig. 6) la vivienda permanece en un nivel térmico entre los 15 y los 23°C de temperatura en sus ambientes. En general los ambientes responden de manera similar, a excepción del estar. Este último, si bien está integrado al comedor (el cual tiene orientación noreste), su orientación es S-O, registrando las temperaturas más bajas dado que no recibe significativamente la influencia de la radiación solar. Por otro lado, el comportamiento general de la vivienda muestra que aun siendo de gran compacidad, las oscilaciones térmicas de los ambientes son pronunciadas. Las mismas son de 8°C aproximadamente. Su variación concordante con



la variación térmica exterior confirma la baja calidad térmica de su envolvente. Gran porcentaje de los días los locales se encuentran por debajo de los 18°C, sobre todo por las noches, a pesar de haber incorporado energía auxiliar para calefaccionar.

La Figura 7 muestra la evolución térmica en función de cada intervención mencionada, observando la influencia de sus niveles térmicos a partir de la mejora sustantiva de su envolvente y la recuperación de su inercia térmica. Las diferencias de temperaturas entre las mínimas y las máximas se reducen y oscilan en los 3°C, mientras que en el período anterior sin mejoras la amplitud térmica era de 8°C. La incorporación de todas las medidas de eficiencia previstas permitieron registrar temperaturas dentro del rango de confort térmico (mes de agosto). Así también en el invierno previo a las mejoras, se incorporó energía auxiliar para mejorar las condiciones térmicas en los días más críticos.

En esta instancia se puede observar que el comportamiento general de la vivienda es significativamente más estable y homogéneo dado que no presenta grandes variaciones entre locales. En el caso del estar, que es el local con la orientación menos beneficiosa, si bien mantiene diferencias térmicas con el resto de los locales, mejora significativamente en la última etapa de medición. El aislamiento de la cubierta de losa y de la ventana S-O redujo sustantivamente las pérdidas por envolvente e incorporó su masa térmica al balance general. A nivel general se observa una buena respuesta de la medida de mejoramiento adoptada ya que permitió aislar térmicamente la vivienda e incorporar toda la masa térmica interior estabilizando la vivienda, con temperaturas más homogéneas.

Los diagramas de confort de ambos períodos medidos en los locales de dormitorio y estar. Los gráficos muestran que el comportamiento térmico externo previo a las intervenciones y posterior a las mismas, fue similar en ambos años. Bajo estas condiciones similares se puede observar que los ambientes alcanzan los mismos niveles de confort (dormitorio y estar) con menor consumo de energía para climatizar. El ambiente del dormitorio, que recibe mayor radiación solar, muestra mejor respuesta en 2016 ya que acumula la energía recibida.

Por su parte, la Figura 8 muestra que a pesar de que el invierno de 2016 fue más riguroso que el de 2015, las condiciones de temperatura interior en los locales son similares ambos años. Sin embargo, la principal diferencia radica en que los consumos de energía fueron un 30% menor en 2016. Se entiende que los valores detectados responden a las condiciones de confort del usuario, quien incorpora energía auxiliar a los espacios y por ese motivo en ambos períodos los valores son semejantes.

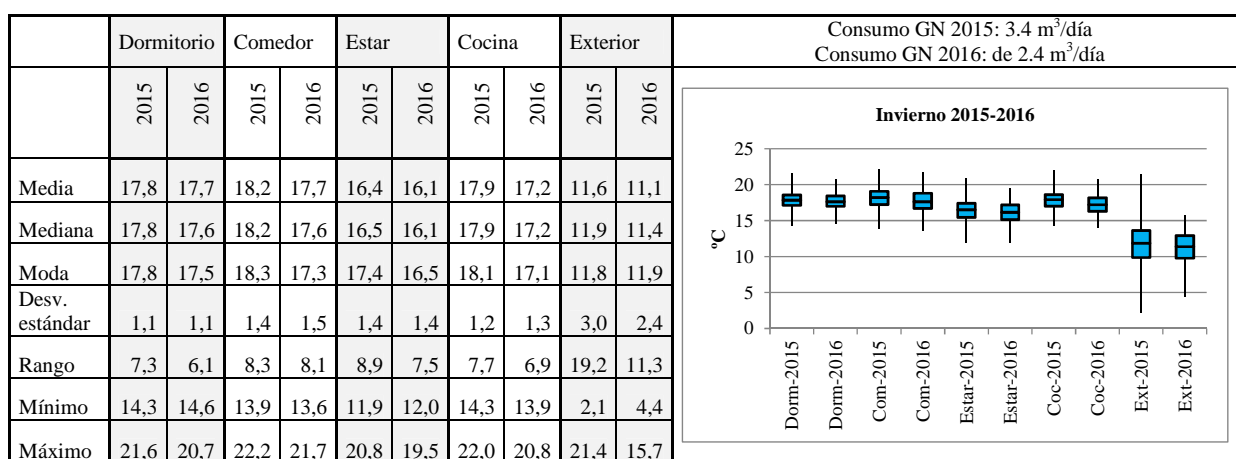


Figura 8: Análisis de estadística descriptiva y diagrama de caja y bigotes de las temperaturas para el período 1 al 30 de julio de 2015 y 2016.

A los efectos de visualizar con mayor detalle los niveles térmicos alcanzados en la vivienda en la situación base (sin mejoras) y con las intervenciones de reciclado se detallan los registros horarios de diferentes días y distintas situaciones de utilización. La Figura 10 muestra las condiciones térmicas particulares de los ambientes en: un día soleado (23.06.2015) antes del mejoramiento, e incorporando energía auxiliar; un día nublado (29.08.16) sin calefacción ni ocupación luego de las mejoras de la envolvente; un día soleado (06.08.16) sin calefacción, con ocupación y reciclado completo.

La Figura 10 (izquierda) muestra un día soleado de invierno del año 2015 sin mejoras en la envolvente. En la misma se observa una relación directa entre la temperatura exterior y la de los ambientes, sin lograr alcanzar al nivel mínimo de confort, utilizando calefacción. La Figura 10 (centro) muestra que, luego de las mejoras, sin aportes térmicos los espacios se mantuvieron muy estables en una temperatura de 18°C gracias a la calidad térmica de la envolvente y la inclusión de la inercia térmica. Asimismo se ve que en condiciones externas similares pero incorporando energía solar y ocupación del espacio, la temperatura aumenta, mejorando el nivel de confort térmico.

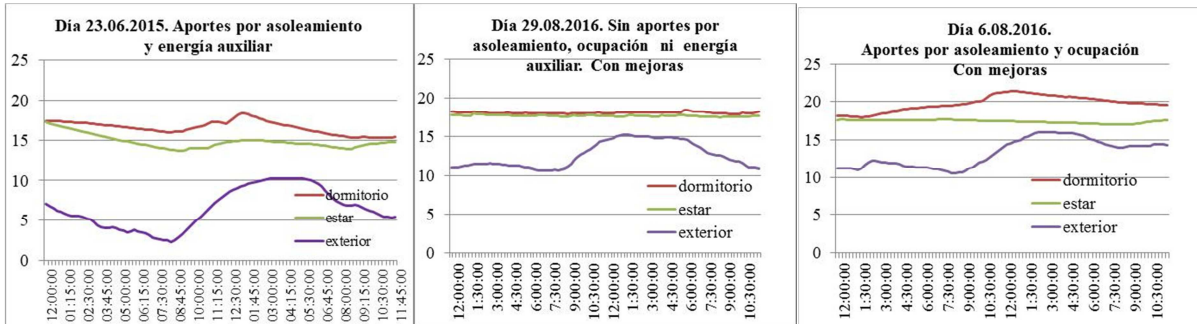


Figura 10: situaciones particulares de uso de la vivienda previo y posterior a la mejora.

### 3.3.3. Comportamiento estival de la vivienda

La Figura 11 muestra el comportamiento en el mes de febrero sin reciclado y su diagrama de confort. La Figura 12 muestra el comportamiento en el mes de febrero con reciclado y su diagrama de confort.

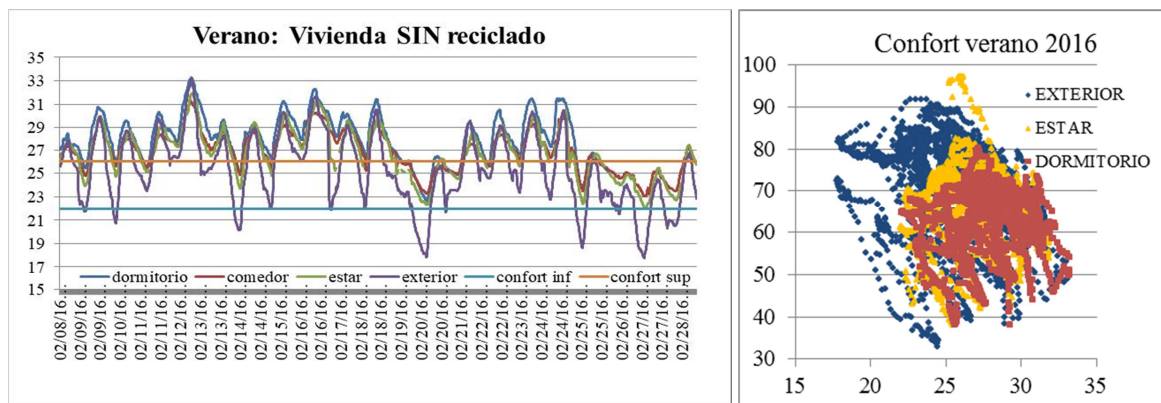


Figura 11: Comportamiento térmico y diagrama de confort de la vivienda sin reciclar (verano).

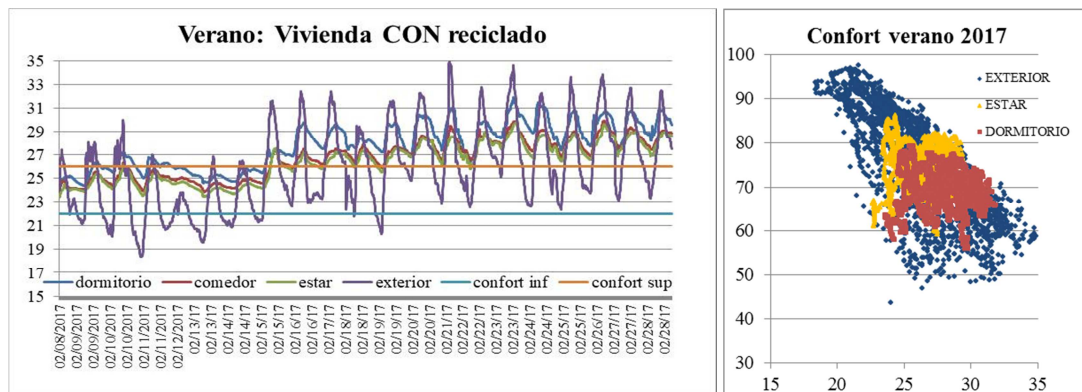


Figura 12: Comportamiento térmico y diagrama de confort de la vivienda reciclada (verano).

Se observa que el comportamiento de la vivienda sin aislamiento en verano, observándose que las temperaturas de los locales acompañan las temperaturas exteriores. Con lo cual la vivienda muestra una gran ineficiencia en su envolvente, registrando temperaturas máximas en sus ambientes que superaron los 30°C. Por otro lado, una vez incorporadas las medidas de mejoramiento en la

envolvente, la vivienda reduce significativamente sus amplitudes térmicas obteniendo un comportamiento térmico más estable. Si bien las temperaturas mínimas no bajan por las noches debido a la falta de ventilación natural por parte de la usuaria, las temperaturas máximas son menores a las exteriores. La estabilidad lograda en los ambientes estar/comedor se advierte en que las temperaturas interiores no acompañan a las exteriores como en la situación base (sin mejoras de envolvente). Como excepción se puede verificar en el dormitorio temperaturas que superan los 29°C en contadas oportunidades en aquellas situaciones que no se protegió con los postigos el ingreso de sol.

Con respecto a los gráficos de confort para ambas situaciones, se visualiza que el exterior presentó condiciones térmicas entre 18 y 32°C en 2016 y entre 18 y 35°C en 2017 durante los períodos auditados. Las condiciones de humedad fueron similares. A partir de estas condiciones, se observa que los ambientes respondieron de manera más estable en período 2017 (temperaturas interiores entre 23 y 30°C aproximadamente) respecto al 2016 (temperaturas interiores entre 22 y 33°C).

La Figura 13 muestra los rangos térmicos registrados en cada caso y los consumos de energía eléctrica y gas natural (situación base sin intervención y con mejoras). Allí se verifica que ante condiciones externas similares entre el verano de 2016 y 2017 (el de 2017 levemente más riguroso que el de 2016), en las mediciones posteriores a las mejoras se encontraron menores temperaturas máximas y menores temperaturas promedio en los ambientes. A su vez se obtuvieron temperaturas mínimas más altas que en el período anterior. En este caso el usuario no cuenta con equipos de refrigeración, por lo tanto el impacto del reciclado puede verse representado en un cambio del comportamiento térmico.

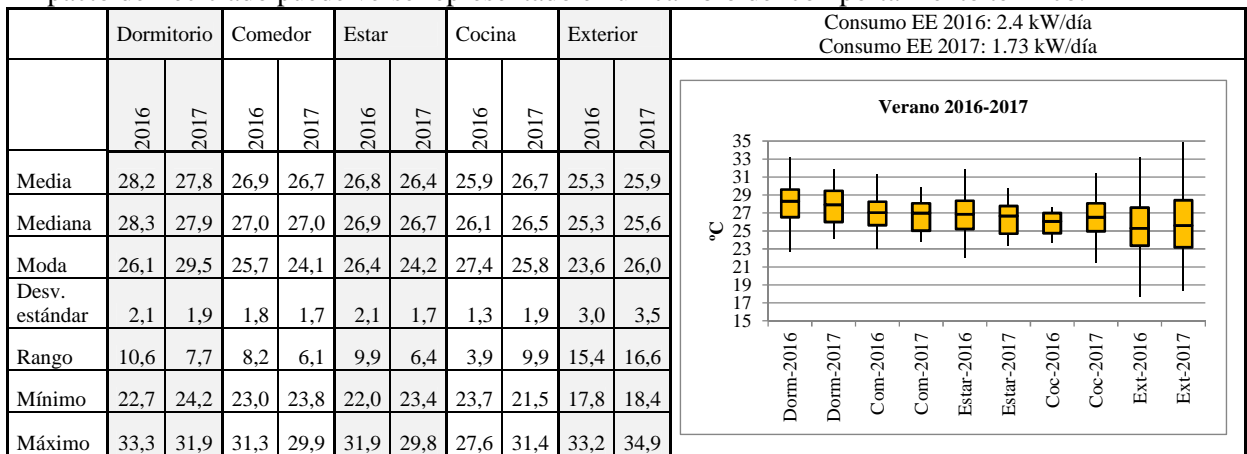


Figura 13: Análisis de estadística descriptiva y diagrama de caja y bigotes de las temperaturas del 8 al 28 de febrero de 2016 y 2017.

#### 4. CONCLUSIONES

El presente trabajo ha desarrollado un análisis teórico general de las condiciones de la envolvente edilicia residencial del Gran La Plata, su clasificación y posterior propuesta de mejoramientos posibles de acuerdo al cumplimiento del nivel B de la Norma Iram 11605. En base a este análisis inicial, y tomando como caso de estudio una vivienda de interés social, de amplia representatividad en el caso de estudio, se decidió realizar la aplicación in situ de medidas de reciclado edilicio en la misma.

La ejecución del reciclado permitió evaluar los resultados de la implementación de las medidas seleccionadas, como así también resolver dificultades tecnológicas y de mano de obra en la vivienda. De esta manera se verificó la factibilidad de implementación y su potencialidad para el mejoramiento masivo de este tipo de conjunto de viviendas. Asimismo, se obtuvo un costo de 83 dólares por metro cuadrado de planta, siendo éste un valor de referencia para el ámbito local que puede ser de utilidad para profesionales de la construcción y potenciales usuarios.

La auditoría térmico-energética pre y post reciclado permitió verificar que los consumos de energía se redujeron, que mejoró la calidad ambiental de los espacios, y que las amplitudes térmicas interiores se redujeron significativamente. Así como también que los espacios se comportaron térmicamente homogéneos en la vivienda.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Ana Chazarreta por involucrarse en la temática y permitir que su vivienda sea reciclada para proporcionar información al proyecto. Al Dr. Arq Lucas Rodríguez por participar con información de contexto y asesorar en esta investigación. Asimismo, se agradece la información climática proporcionada por el Departamento de Sismología e Información Meteorológica de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata.

## REFERENCIAS

- ADEME (1986). "Guide de diagnostic thermique". París: Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.
- Andersen, M.; Discoli, C.; Viegas, G.; Martini, I. (2017). Monitoreo energético y estrategias de RETROFIT para viviendas sociales en clima frío. *Habitat Sustentable* (17), pp. 51-63.
- Baeli, M. (2013). *Residential Retrofit. 20 Case Studies*. Londres: RIBA Publishing.
- Calderón, C. y Rodríguez Beltrán, M. (2018). Effects of fabric retrofit insulation in a UK high-rise social housing building on temperature take-back. *Energy and Buildings* (173), pp. 470-488.
- Chávez, P. (2017). Construcción de escenarios urbano-energéticos a partir de la implementación de estrategias de eficiencia energética y energías renovables en el sector residencial. Tesis del doctorado en Ciencias [Área Energías Renovables] de la UNSa. Salta.
- Discoli, C. (2012). *Desarrollo de tecnologías y pautas para el reciclado masivo de la envolvente edilicia residencial orientado al uso racional y eficiente de la energía en áreas urbanas*. Proyecto de investigación CONICET PIP 1120110100097.
- Diulio et al. (2016). Impacto de la envolvente en la demanda de energía en calefacción residencial de la región metropolitana de La Plata, tomando como caso testigo el reciclado energético de una vivienda. *Ambiente Construido* (16), pp. 55-70.
- IAS-FABA (1983). *Programa de conservación de la energía en la vivienda. Plan piloto de evaluaciones energéticas de la zona de Capital Federal y Gran Buenos Aires. Sumario ejecutivo*. La Plata: Instituto de Arquitectura Solar.
- IDAE (1986). *Jornadas técnicas y de gestores energéticos municipales*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Dirección de Residencial y Servicios.
- IEA (2015). *Indicadores de Eficiencia Energética: bases esenciales para el establecimiento de políticas*. Paris: International Energy Agency.
- Ignjatović, N.; Ignjatović, D.; Stanković, B. (2016). Possibilities for energy rehabilitation of typical single family house in Belgrade-Case study. *Energy and Buildings* (115), pp. 154-162.
- Infoleg (2017). "Subprograma de Conservación de Energía". Decreto 2.247/85. Buenos Aires: Información legislativa y documental. Ministerio de Economía
- Infoleg (2018). "Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía". Decreto 140/2007. Buenos Aires: Información legislativa y documental. Ministerio de Economía.
- IRAM (1996). *Norma 11605. Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos*. Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- Liang, J., Qiu, Y., James, T., Ruddell, B., Dalrymple, M., Earl, S., Castelazo, A. (2017). Do energy retrofits work? Evidence from commercial and residential buildings in Phoenix. *Journal of Environmental Economics and Management*. En prensa.
- Rodríguez et al. (2016). Energy storage for residential dwellings. Methodology to improve energy efficiency and habitability. *Journal of Energy Storage* (8), pp. 99-110.
- Rodríguez, L.; Martini, I.; Discoli, C. (2012). Metodología para el análisis del reciclado edilicio residencial orientado a la eficiencia energética: índice de elasticidad energético-económico. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* (16), pp. 51-58.
- Rodríguez González, A.; Díaz, V.; Caamaño, J.; Wilby M. (2011). Towards a universal energy efficiency index for buildings. *Energy and Buildings* (43), N°4, pp.980-987.
- Rodríguez, L.; Martini, I.; Discoli, C. (2017). *Criterios y métodos para el reciclado edilicio con eficiencia energética*. La Plata: Arte Editorial Sevicop.
- Rosenfeld et al., (1993). *Mejoramiento de las Condiciones Energéticas y de Habitabilidad del Hábitat Bonaerense*. La Plata: Proyecto de investigación CONICET Expte: 03662/89; Legajo: 306590088. IDEHAB. FAU. UNLP.
- Rosenfeld et al. (1988). "Plan Piloto de Evaluaciones Energéticas de la zona Capital Federal y Gran Buenos Aires. AUDIBAIRES". La Plata: CIC y Secretaría de Energía de la Nación. Contrato SE N1 1399/83. 1985/86.
- Verbeeck, G.; Hens, H. (2005). Energy savings in retrofitted dwellings: economically viable?. *Energy and Buildings* (37), N°7, pp. 747-754.

**ABSTRACT:** The present work aims to analyze the possible recycling strategies for the study area, the Gran La Plata, selecting the most appropriate measures and applying them in situ in an existing house. It is a "social interest housing", located in the city of Berisso, which has a high level of replicability within the total housing stock in the area. The methodology is developed in two stages: i. the analysis of recycling strategies through a typological and constructive analysis, the preparation of catalogs and adaptation to level B of the Iram 11605 standard; ii. the *in situ* application of a building recycling, through the selection of a representative typology, the evaluation of alternatives and costs, and the realization of a thermal-energy audit before and after the application of improvements. The results show the feasibility of the strategies in the construction, as well as a substantial reduction of the interior thermal amplitude both in winter and summer, and a reduction of energy consumption in winter. **Keywords:** building retrofitting, energy audit, social housing.