Centrado en la eficiencia energética-constructiva de la edilicia residencial en la Argentina, este libro se orienta a desarrollar una herramienta para mejorar la habitabilidad y minimizar la demanda energética de las viviendas en forma masiva, mediante el reciclado de su envolvente (muros, techos y ventanas). El fin ulterior apunta a sentar las bases para una futura sustitución por fuentes renovables de energía, tanto en la escala dispersa de su aprovechamiento como en su conexión a red.

La metodología se orientó a intervenir masivamente en la detección de casos edilicios "tipo" dentro de "áreas urbanas representativas" (dónde actuar); mejorar la eficiencia energética de la envolvente edilicia residencial construida (cómo actuar); y evaluar los posibles niveles de eficiencia alcanzados, así como la reducción de la demanda energética puntual y zonal (cuánto se ahorra). El área de estudio es la ciudad de La Plata, provincia de Buenos Aires, Argentina, en donde convergen diferentes niveles de complejidad y escalas de análisis.

La integración de los resultados parciales, permitirá evaluar las potenciales mejoras a los efectos de dimensionar la reducción de la demanda energética sectorial y mejorar la habitabilidad edilicia.

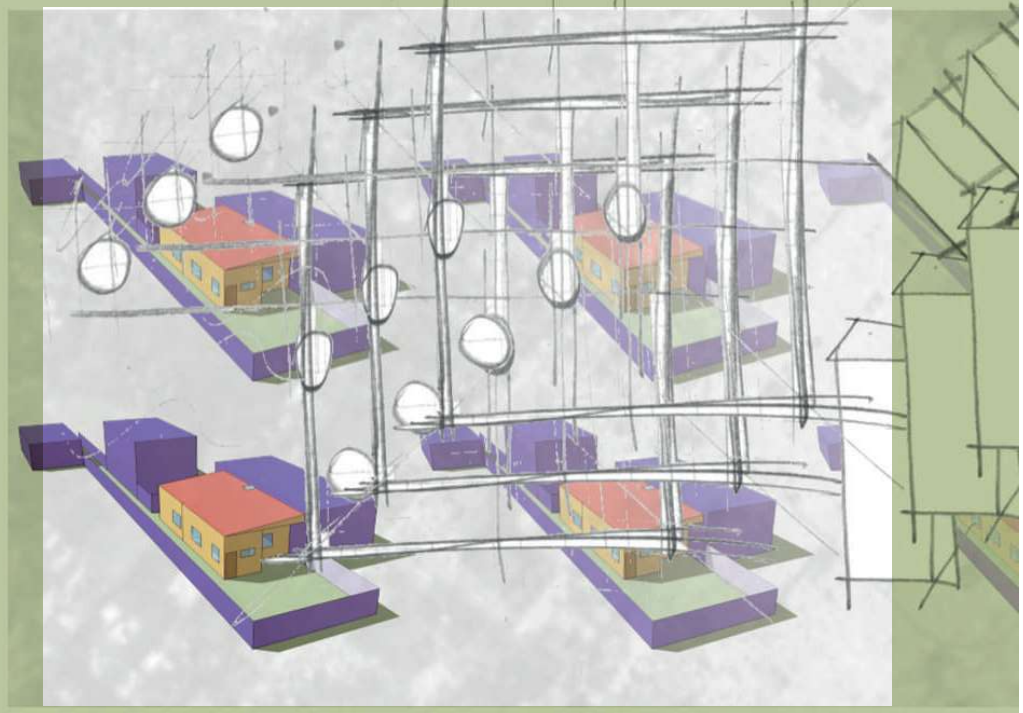
iipac INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y POLÍTICAS DEL AMBIENTE CONSTRUIDO
Facultad de Arquitectura y Urbanismo | Universidad Nacional de La Plata

El Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC), cuya dependencia académica es la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata, es una Unidad de Investigación científico-tecnológica especializada en Arquitectura, Urbanismo, Energía, Transporte, Sustentabilidad, Sociología, Sociología de las organizaciones, Sociología Urbana. Dichos campos disciplinares se integran en tres Grupos de Investigación con intereses comunes, vinculados además a la formación de recursos humanos de grado y postgrado.

CRITERIOS Y MÉTODOS PARA EL RECICLADO EDILICIO CON EFICIENCIA ENERGÉTICA

CRITERIOS Y MÉTODOS PARA EL RECICLADO EDILICIO CON EFICIENCIA ENERGÉTICA

Lucas G. Rodríguez
Carlos A. Discoli
Irene Martini



Editorial Universitaria de La Plata

CRITERIOS Y MÉTODOS PARA EL RECICLADO EDILICIO CON EFICIENCIA ENERGÉTICA

Dr. Lucas G. Rodriguez, Dr. Carlos A. Discoli,
Dra. Irene Martini.

Editorial Universitaria de La Plata

© Lucas G. Rodríguez, Carlos A. Discoli, Irene Martini, 2017.

Edición 2017.

Diseño de interiores y tapa: Yael Rosenfeld.

Se terminó de imprimir en julio de 2017 en los talleres gráficos SERVICOP, calle 50 N 742, La Plata.

Prohibida su reproducción sin la autorización expresa de los autores.

Este libro representa el corolario de una etapa compartida con los investigadores y docentes del Instituto de Investigación y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC) de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y el Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Universidad Nacional de Salta (UNSa) – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET); cuya indiscutida calidad académica sólo ha sido superada por la destacada calidad y calidez humana. A cada uno de ellos manifiesto el más sincero de los agradecimientos; y extiendo el compromiso para continuar en la investigación y el desarrollo para la mejora del hábitat.

Lucas G. Rodríguez

ÍNDICE

Prólogo 13

Resumen general 17

Capítulo 1: Justificación y delimitación del problema edilicio orientado a un reciclado con eficiencia energética 21

1.1. Situación de los distintos sectores energéticos: residencial vs. industrial 21

1.2. Nuestra propuesta 29

1.3. Lo sucedido hasta el momento 30

1.3.1. Antecedentes desde el marco internacional 30

1.3.2. Antecedentes a nivel nacional 34

1.3.3. Antecedentes en investigaciones y programas afines 36

1.3.4. Principales contribuciones por parte del grupo IIPAC 40

1.4. Propuesta metodológica de abordaje 45

1.5. Síntesis y reflexiones del capítulo 1 48

Capítulo 2: Metodología para la clasificación de la edilicia existente y su evaluación energético-económica 49

2.1. La edilicia residencial de La Plata 49

2.1.1. Sitio, historia y contexto 49

2.1.2. Clima. Requerimientos de confort higrotérmico. Habitabilidad 60

2.2. Clasificación y abordaje del parque residencial en La Plata 65

2.2.1. Clasificación de áreas urbanas homogéneas: los mosaicos urbanos 65

2.2.2. Clasificación de unidades edilicias: la tipología residencial 67

2.2.3. Clasificación tecnológico-constructiva: elementos de la envolvente edilicia residencial 71

2.3. Sistemas empleados para la evaluación energética y económica 77

2.3.1. Sistema de evaluación termo-energética 78

2.3.2. Sistemas de evaluación económica 92

2.3.3. Sistema de evaluación termo-energética 95

2.4. Síntesis y reflexiones del capítulo 2 98

Capítulo 3: Instrumentación para el reciclado de aplicación masiva 101

3.1. Identificación y clasificación de la edilicia existente 103

3.1.1. Fichas tipológicas (fase 1) 104

3.2. Análisis, selección y evaluación de alternativas de reciclado termo-energético 107

3.2.1. Catálogos en soporte digital (fase 2) 108

3.2.2. Fichas de evaluación de unidades edilicias (fase 3) 123

3.2.3. El análisis de integración energético-económico como herramienta de selección 128

3.3. Síntesis y reflexiones del capítulo 3 137

Capítulo 4: Ejemplos de aplicación **141**

4.1. Aplicación sobre unidades edilicias representativas 141

4.1.1. Selección de casos 142

4.1.2. Análisis de la situación original (base) en las unidades edilicias seleccionadas 145

4.1.3. Propuestas de mejoramiento tecnológico-constructivo 151

4.2. Aplicación de los resultados a escala urbana 181

4.2.1. Representatividad tipológica en los mosaicos urbanos 182

4.2.2. Integración energético-económica a nivel contextual 186

4.3. Síntesis y reflexiones del capítulo 4 190

Capítulo 5: Verificación y ensayo de las tecnologías propuestas para el reciclado edilicio masivo **193**

5.1. Ensayos de las estrategias tecnológicas de reciclado de la envolvente 194

5.1.1. Situación original y mejoras del elemento MURO 196

5.1.2. Situación original y mejoras del elemento CUBIERTA 198

5.1.3. Situación original y mejoras del elemento ABERTURA 200

5.2. Selección de los casos a ensayar 204

5.3. Sistemas de medición del flujo de calor 206

5.3.1. Características del sistema utilizado en los ensayos 208

5.3.2. Metodología de medición 209

5.4. Resultados de las mediciones de los sistemas 213

5.4.1. Resultados del elemento muro 213

5.4.2. Resultados del elemento cubierta 215

5.5. Síntesis y reflexiones del capítulo 5 219

Capítulo 6: Conclusiones **221**

6.1. Logros obtenidos a partir de la aplicación de la instrumentación metodológica 221

6.1.1. En cuanto a la metodología 221

6.1.2. En cuanto a la instrumentación 222

6.2. Reflexiones finales 225

Referencias bibliográficas **227**

Capítulo 1 227

Capítulo 2 229

Capítulo 3 231

Capítulo 4 233

Capítulo 5 235

ANEXO I: Mosaicos urbanos representativos 237

ANEXO II: Catálogo de fichas tipológicas 241

ANEXO III: Fichas de tecnologías y precios por m2 245

ANEXO IV: Fichas de reciclado de elementos 259

ANEXO V: Fichas de unidades edilicias 263

ANEXO VI: Simulaciones térmicas mediante HEAT 267

ANEXO VII: Simulaciones termo-energéticas mediante EnergyPlus 273

ANEXO VIII: Instrumentación en archivo digital tipo Excel 289

ANEXO IX: Reciclado de vivienda social: Plan Federal, ciudad de Berisso 301

ANEXO X: Complemento en evaluaciones termo-energéticas, con incorporación de GAD 307

CAPÍTULO 5

VERIFICACIÓN Y ENSAYO DE LAS TECNOLOGÍAS PROPUESTAS PARA EL RECICLADO EDILICIO MASIVO

AUTORES:

Graciela Melisa Viegas,
Juan Ignacio Jodra,
Lucas Gastón Rodríguez

COLABORADORES:

Micaela Andersen

5.1. ENSAYOS DE LAS ESTRATEGIAS TECNOLÓGICAS DE RECICLADO DE LA ENVOLVENTE

En el análisis del parque habitacional de la ciudad de La Plata se detectaron diversas tipologías y sistemas constructivos cuya representatividad ha permitido, en los capítulos anteriores, avanzar sobre el reciclado de las unidades edilicias. A partir de los aspectos teórico-conceptuales se instrumentó un estudio teórico sobre los sistema constructivos y los componentes de las unidades edilicias más representativas de la región de La Plata (casa cajón, casa chorizo, monobloque); y se trabajó sobre su situación de base para luego desarrollar las estrategias de reciclado masivo más adecuadas y eficientes.

En las etapas iniciales de la metodología propuesta se evaluó en forma teórica el desempeño térmico de los sistemas constructivos de los elementos de la envolvente edilicia, a partir de planillas de cálculo tipo Excel, lo que permitió conocer los valores de transmitancia térmica de cada uno. Basándose en valores tabulados de conductividad térmica, se calculó la resistencia térmica a partir del espesor de cada capa del sistema constructivo y, en base a ella y a las resistencias térmicas superficiales, intersticiales y de las cámaras de aire, se calculó el valor de transmitancia térmica de cada sistema constructivo a partir de los cálculos estipulados en la Norma IRAM.

Entendiendo que toda consideración teórica simplificada puede presentar variaciones respecto del comportamiento real de los materiales, se vio la necesidad de instrumentar ensayos experimentales para verificar y/o ajustar los valores de referencia de transmitancia térmica de los sistemas conocidos y, a su vez, verificar la factibilidad constructiva de los sistemas de base y sus mejoramientos. Para tal fin, se realizaron ensayos con el método de la "caja caliente", midiendo probetas en escala 1:1. Se reprodujeron las diferentes materializaciones en su situación actual, y con la implementación de las mejoras en su transmitancia térmica. En

base al conocimiento y análisis de los distintos métodos de ensayo para la determinación de la transmitancia térmica existentes, se diseñó y construyó una unidad específica basada en la medición del flujo de calor en régimen estacionario.

En este capítulo, se muestra una síntesis de las variantes constructivas actuales más usuales; sus posibles estrategias de reciclado para cada uno de los elementos de la envolvente; los ensayos en situación base y con mejoras; y los estudios comparativos entre los valores experimentales y teóricos[121]. El análisis incluye las temperaturas medias obtenidas en cada capa del sistema constructivo, información detallada que no se obtiene en forma teórica. Los ensayos se realizan en el Laboratorio de Modelos y Diseño Ambiental perteneciente al Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido.

En cuanto a la construcción de probetas y propuestas de reciclado se han tenido en cuenta en todos los casos los siguientes criterios de resolución:

i. *Simpleza y eficiencia en la concreción del reciclado:* se refiere a criterios de sencilla resolución y adaptación tecnológico-constructiva potenciada desde sus características de pureza formal y simplicidad en el lenguaje, lo que facilita la ejecución y las técnicas requeridas para su reciclado. En este caso, se priorizan las propuestas de mejoramiento tecnológico-constructivo con aislación exterior, manteniendo la esencia del lenguaje original, obteniéndose mayores beneficios en términos de aislación, inercia térmica, eliminación de puentes térmicos y reducción del riesgo de condensación.

ii. *Conservación del lenguaje arquitectónico original:* en aquellas unidades edilicias con lenguajes arquitectónicos de importante valor estético, simbólico y patrimonial al

121 A modo de complemento se presenta un ejemplo de vivienda reciclada a los mismos fines, en el marco del proyecto CONICET, PIP 112-01101-00097. Anexo IX: *"Ejemplo empírico de reciclado edilicio en una vivienda de la localidad de Berisso".*

> que hay que preservar, el criterio de reciclado a tener en cuenta prioriza las resoluciones con aislación interior, a los efectos de preservar el lenguaje exterior.

En cuanto a los diferentes espesores a implementar, cada adopción se fundamenta a partir del los valores máximos del *índice de eficiencia energético-económico* (I_E). Dicha herramienta permitió (ver Capítulo 4) cumplir como mínimo con los valores máximos admisibles de transmitancia térmica en nivel B Norma IRAM Nº11605 (1996), en concordancia con los requerimientos según Ley 13059 de la Provincia de Buenos Aires.

A continuación se detallan los componentes analizados desagregados en Muros, Cubiertas y Aberturas.

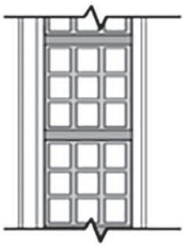
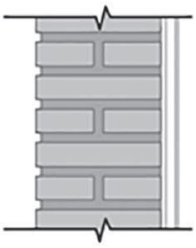
5.1.1. Situación original y mejoras del elemento MURO

Las *tecnologías representativas* en su situación original (de base) para este elemento se presentan en el Cuadro 1.

Estos tres sistemas constructivos resumen las condiciones usuales en las envolventes de muros, observándose en las construcciones de mayor antigüedad el muro de ladrillo común de 0.20 y 0.28 m; mientras que en la actualidad, las construcciones se desarrollan generalmente con muros de ladrillo hueco no portante de 0.22 m de espesor.

Las *propuestas de mejoramiento tecnológico-constructivas de Muros* se describen a continuación:

• **Aislación exterior con EPS y sistema tipo EIFS**: El sistema EIFS (Exterior Insulation Finished System), también conocido como SATE (Sistema de Aislamiento Térmico Exterior), se compone por planchas de poliestireno expandido (EPS) que se fijan al muro existente por medio de adhesivo (o fijaciones mecánicas), para luego aplicar sobre éstas una capa de *base coat* (mezcla de polímeros acrílicos y cemento pórtland). Para darle resistencia mecánica se refuerza dicha capa con una malla de

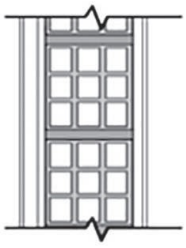
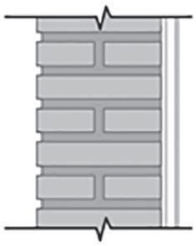
1. MURO DE LADRILLO HUECO (CERÁMICO NO PORTANTE) REVOCADO EN AMBAS CARAS	2. MURO LADRILLO COMÚN (CERÁMICO MACIZO) REVOCADO EN AMBAS CARAS	2. MURO LADRILLO COMÚN (CERÁMICO MACIZO) INTERIOR REVOCADO Y EXTERIOR VISTO
 Espesor 0.22 m	 Espesor 0.20 m	 Espesor 0.28 m
DESCRIPICIÓN (desde el interior)		
• Pintura látex al agua • Revoque interior grueso y fino a la cal • Ladrillo cerámico hueco (18x18x33 cm) • Azotado hidrófugo • Revoque exterior grueso y fino a la cal • Pintura látex para exteriores	• Pintura látex al agua • Revoque interior grueso y fino a la cal • Ladrillo cerámico macizo (12x5x24 cm aprox.) • Azotado hidrófugo • Revoque exterior grueso y fino a la cal • Pintura látex para exteriores	• Pintura látex al agua • Revoque interior grueso y fino a la cal • Azotado hidrófugo • Ladrillo cerámico macizo visto (12x5x24 cm aprox.) • Impermeabilización exterior de silicona

Cuadro 1. Tecnologías representativas en su situación original (de base) para el elemento MURO.

fibra de vidrio que cubre toda la superficie del EPS. El acabado final se realiza con un revestimiento plástico (mezcla de áridos y polímeros con color incorporado) cubriendo toda la superficie del mismo; o bien se puede recurrir también a una pintura exterior.

• **Aislación exterior con EPS y placas cementicias:** Este sistema se compone de placas de EPS desde la cara exterior, protegidas mecánicamente con placas cementicias de 10 mm de espesor sobre estructura metálica. Como revestimiento exterior se debe optar por revestimiento plástico texturado o simplemente pintura látex para exteriores.

• **Aislación interior con LV y placas de yeso:** Este sistema se compone de aislación interior con lana de vidrio (LV), protegidas mecánicamente con placas de roca de yeso de 12 mm sobre estructura metálica, que se presentan con una terminación final de pintura látex para interiores.

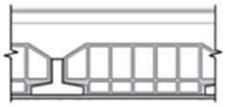
MUROS			
Situación original Mejoras	 1. Ladrillo hueco no portante, revocado ambas caras (0.22 m) **K=1,605 W/m² °C**	 2. Ladrillo común revocado ambas caras (0.20 m) **K=2,370 W/m² °C**	 3. Ladrillo hueco int. revocado y ext. visto (0.28 m) **K=2,125 W/m² °C**
AISLACIÓN EXTERIOR CON EPS Y SISTEMA TIPO EIFS	1.a. (5 cm de EPS) **K=0,485 W/m² °C**	2.a. (5 cm de EPS) **K=0,537 W/m² °C**	
AISLACIÓN EXTERIOR CON EPS Y PLACAS CEMENTICIAS	1.b. (5 cm de EPS) **K=0,484 W/m² °C**	2.b. (5 cm de EPS) **K=0,536 W/m² °C**	
AISLACIÓN INTERIOR CON LV Y PLACAS DE YESO	1.c. (7.5 cm de LV) **K=0,396 W/m² °C**	2.c. (7.5 cm de LV) **K=0,430 W/m² °C**	3.c. (7.5 cm de LV) **K=0,421 W/m² °C**

Cuadro 2. Planilla síntesis con los tipos de muros y sus mejoramientos tecnológico-constructivos. Se determinan además los valores teóricos de transmitancia térmica de cada sistema completo.

A partir de lo descripto, se seleccionarán según el caso las estrategias de mejoramiento con intervención exterior o interior. En el Cuadro 2 se puede observar cada tipo de muro y sus propuestas de mejoramiento.

5.1.2. Situación original y mejoras del elemento CUBIERTA

Las *tecnologías representativas* en su situación original (de base) para este elemento son las que se presentan en el Cuadro 3.

4. CUBIERTA CHAPA ONDULADA (HIERRO GALVANIZADO)	5. CUBIERTA TEJA FRANCESA (CERÁMICA)	6. CUBIERTA LOSA HORMIGÓN ARMADO COLADA IN SITU	7. CUBIERTA Llosa CON VIGUETAS Y LADRILLO "SAPO" CERÁMICO
			
DESCRIPICIÓN (desde el interior)			
• Cielorraso de yeso suspendido • Estructura de tirantería de madera • Entablonado o machimbre de 3/4" • Membrana de aislación hidrófuga • Listones y clavaderas • Chapa ondulada de H°G°	• Estructura de tirantería de madera • Entablonado de machimbre de 3/4" • Membrana de aislación hidrófuga • Listones y clavaderas • Teja cerámica tipo francesa	• Cielorraso de yeso aplicado • Losa de H°A° • Contrapiso cascote • Aislación hidrófuga • Carpeta cementicia	• Cielorraso de yeso aplicado • Ladrillo cerámico tipo "sapo" • Capa de compresión de H°A° • Contrapiso cascote • Aislación hidrófuga • Carpeta cementicia

Cuadro 3. Tecnologías representativas en su situación original (de base) para el elemento CUBIERTA

Los sistemas constructivos presentados para las cubiertas se utilizan en forma usual en el caso de estudio. En relación a las cubiertas inclinadas, tanto las de chapa ondulada como las de teja francesa son de uso corriente, aunque la primera es de mayor representatividad. En cuanto a las cubiertas planas, ambas son de elevada representatividad, aunque en la actualidad la losa con vigueta y ladrillo sapo se ha popularizado gracias a su facilidad constructiva y buena respuesta mecánica.

Las *propuestas de mejoramiento tecnológico-constructivas de cubiertas* se describen en forma genérica a continuación:

• **Aislación exterior con EPS bajo cubierta existente:** Esta estrategia para cubiertas inclinadas propone una alternativa de aislación mediante la colocación de placas de EPS entre el entablonado o machimbre y la cubierta original, ya sea esta de chapa o tejas.

• **Aislación exterior con EPS (para chapa ondulada) y carpeta cementicia:** Esta estrategia trabaja con Isoplacas, que son placas de EPS para aislación térmica en cubiertas livianas no ventiladas, con una cara con curvatura. Estas placas de EPS brindan, a bajo costo, una solución a las deficiencias de aislación térmica en cubiertas livianas, obteniéndose de este modo un buen confort higrotérmico todo el año, un ahorro de energía en climatización, además de prevenir daños estructurales y funcionales de la cubierta.

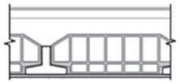
• **Aislación exterior con EPS y carpeta cementicia:** Este sistema para cubiertas planas se denomina de "techo invertido", trabajando con la aislación térmica sobre la hidrófuga. Requiere como terminación de una protección mecánica, brindada por la carpeta de cemento armado. Estos sistemas son los que mejor comportamiento térmico aportan al conjunto, evitando puentes térmicos y reduciendo el riesgo de condensación.

• **Aislación interior con lana de vidrio y cielorraso suspendido:** La colocación de un nuevo cielorraso suspendido con aislación térmica es relativamente sencilla en cuanto a su ejecución; pero se deben agregar barreras de vapor como elementos que reduzcan el riesgo de condensación en la medida de lo posible.

A partir de las alternativas propuestas, en el Cuadro 4 se describen los tipos de Cubiertas en situación de base y con las mejoras.

5.1.3. Situación original y mejoras del elemento ABERTURA

Para el caso de **aberturas**, no se han realizado aún los ensayos, dado que las características del método de medición utilizado no resulta apropiado para medir elementos de escaso espesor y alta conductividad térmica. Este es el caso del vidrio o los metales. En consecuencia, los elementos de abertura y sus mejoramientos quedarán expresados en forma teórica en el Cuadro 5. La *tecnología* representativa del parque edilicio existente mayoritariamente incluye un vidrio simple de 4 mm, con diversidad de marcos.

	CUBIERTAS			
Estado original Situación mejorada	 4. Chapa galvanizada, con cielorraso suspendido **K (inv.)=2,606** **K (ver.)=1,906**	 5. Teja francesa, con cielorraso de machimbre visto **K (inv.)=4,283** **K (ver.)=3,295**	 6. Losa hormigón armado y cielorraso aplicado **K (inv.)=2,965** **K (ver.)=2,455**	 7. Losa con viguetas y ladrillo sapo cerámico **K (inv.)=1,744** **K (ver.)=1,554**
AISLACIÓN EXTERIOR CON EPS BAJO CUBIERTA EXISTENTE	4.a. (5 cm de EPS) (1) **K (inv.)=0,552** **K (ver.)=0,512**	5.a. (5 cm de EPS) (2) **K (inv.)=0,602** **K (ver.)=0,577**		
AISLACIÓN EXTERIOR CON EPS (PARA CHAPA ONDULADA) Y CARPETA CEMENTICIA	4.b. (6 cm de EPS) **K (inv.)=0,462** **K (ver.)=0,434**			
AISLACIÓN EXTERIOR CON EPS Y CARPETA CEMENTICIA			6.a. (6 cm de EPS) **K (inv.)=0,475** **K (ver.)=0,460**	7.a. (6 cm de EPS) (1) **K (inv.)=0,489** **K (ver.)=0,473**
AISLACIÓN INTERIOR CON LV Y CIELORRASO SUSPENDIDO	4.c. (7,5 cm de LV) **K (inv.)=0,438** **K (ver.)=0,413**	5.b. (7,5 cm de LV) **K (inv.)=0,469** **K (ver.)=0,454**	6.b. (7,5 cm de LV) **K (inv.)=0,447** **K (ver.)=0,434**	7.b. (7,5 cm de LV) (3) **K (inv.)=0,404** **K (ver.)=0,393**

Cuadro 4. Planilla síntesis con los tipos de cubierta y sus mejoramientos tecnológico-constructivos. Se determinan además los valores de transmitancia térmica teóricos de cada sistema completo.

Notas:
(1) Para este caso de aplicación, el espesor de aislación recomendado para que cumpla con el nivel B de IRAM y obtenga el mejor coeficiente de elasticidad es de 6 cm. Sin embargo se adopta 5 cm por la facilidad constructiva de las probetas.
(2) Para este caso de aplicación, el espesor de aislación recomendado para que cumpla con el nivel B de IRAM y obtenga el mejor coeficiente de elasticidad es de 7 cm. Sin embargo se adopta 5 cm por la facilidad constructiva de las probetas.
(3) Para este caso de aplicación, el espesor de aislamiento recomendado para que cumpla con el nivel B de IRAM y obtenga el mejor coeficiente de elasticidad es de 10 cm. Sin embargo se adopta 7,5 cm por la facilidad constructiva de las probetas.

ABERTURAS	
	8. Vidrio simple de 4 mm **K=5,817 W/m² °C**
COLOCACIÓN DE CORTINA DE ENROLLAR EXTERIOR	8.a. (madera, 0,5 cm) **K=2,780 W/m² °C**
COLOCACIÓN DE POSTIGOS	8.b. (madera, 1 cm) **K=2,648 W/m² °C**
COLOCACIÓN DE CARPINTERÍA EN PARALELO	8.c. (cámara de aire 5/10 cm) **K=2,909 W/m² °C**

Cuadro 5. Planilla síntesis con los tipos de abertura y sus mejoramientos tecnológico-constructivos. Se determinan además los valores de transmitancia térmica teóricos de cada sistema completo

Para nuestro análisis sólo se consideró el área traslúcida y la intervención a nivel de vanos.

Ante la diversidad de aberturas las *propuestas viables de mejoramiento* son:

• **Colocación de cortina de enrollar exterior**: Esta estrategia incorpora de manera sencilla una mejora en el comportamiento térmico de la abertura mediante una cortina de enrollar o persiana exterior de aluminio inyectada con poliuretano, que se comercializa en cajón cerrado (hermético).

• **Colocación de postigos:** Esta estrategia incluye mejoras en el comportamiento térmico de las aberturas a través de la incorporación de postigos exteriores de madera. Los mismos requieren de burletes para obtener un control mínimo de las infiltraciones.

• **Colocación de carpintería en paralelo:** Esta opción se basa en la incorporación de una segunda carpintería colocada en paralelo a la original, como estrategia de regulación de las pérdidas térmicas por transmitancia y por infiltraciones. Por lo cual se emplea una

segunda carpintería de aluminio estándar (tipo línea “Herrero”) corrediza, con vidrio simple.

A partir de ello, se seleccionan las estrategias de mejoramiento a ser aplicadas a cada situación original (base) como caso de aplicación posible sin modificar su condición estética y constructiva y de acuerdo a su factibilidad. En el Cuadro 5 se puede observar cada tipo de abertura.

En base a la síntesis realizada sobre cada elemento, sus variantes y sus posibilidades de reciclado, se decidió para este capítulo seleccionar algunas de ellas en función de contar con un número abarcable y representativo de muestras a ensayar.

5.2. SELECCIÓN DE LOS CASOS A ENSAYAR

Para el elemento **muro** se trabaja con seis muestras o "probetas":

i. Muro de ladrillo hueco no portante revocado de 0,22 m como probeta base ***(probeta 1)***, al que se le realizaron dos intervenciones de mejoramiento, una incorporando sistema EIFS ***(probeta 1.a.)*** y otra incorporando lana de vidrio interior ***(probeta 1.c.)***.

ii. Muro de ladrillo macizo revocado de 0,20 m ***(probeta 2)*** al que se le incorporan las mismas dos estrategias de mejoramiento, sistema EIFS ***(probeta 2.a.)*** y otra incorporando lana de vidrio interior ***(probeta 2.c.).***

iii. Con respecto al muro de ladrillo macizo de 0,28 m de espesor, dado que presenta similitudes con la probeta 2 (similitudes constructivas y valores de transmitancia térmica cercanos), se decidió no considerarlo en este ensayo experimental.

Para el elemento **cubierta** se trabaja con nueve probetas:

i. Techo de chapa galvanizada con cielorraso suspendido como elemento base ***(probeta 4)*** al que se realizan dos intervenciones de mejoramiento: incorporar EPS del lado externo levantado la chapa ***(probeta 4.a.)***, e incorporar lana de vidrio del lado interior ***(probeta 4.c.)***.

ii. Cubierta de teja francesa, con cielorraso de machimbre visto como probeta de base ***(probeta 5)***, a la que se le realizan dos intervenciones de mejoramientos, uno incorporando EPS del lado externo levantando la teja ***(probeta 5.a.)***, el otro incorporando lana de vidrio con cielorraso suspendido ***(probeta 5.c.)***.

iii. Losa con vigueta y ladrillo sapo cerámico como probeta de base ***(probeta 7)***, a la que se le incorporaron dos mejoramientos, una implementando EPS del lado externo tipo techo invertido ***(probeta 7.a)***, y la otra incluyendo lana de vidrio con cielorraso suspendido ***(probeta 7.b.)***.

En síntesis, se tienen un **total de quince probetas** dispuestas para su medición y para la constatación de su capacidad de aislamiento térmico. Cada probeta requiere ajustes para su medición a través del sistema de caja caliente.

A continuación se describen distintos sistemas de medición del flujo de calor, y a partir de sus características, capacidades y alcances del proyecto se detalla el sistema adoptado (caja caliente).

5.3. SISTEMAS DE MEDICIÓN DEL FLUJO DE CALOR

Existen diversos sistemas desarrollados a nivel nacional e internacional. Algunos son de carácter comercial; otros están instalados en organismos públicos capaces de certificar sus mediciones según normativas nacionales e internacionales; y otros son de carácter experimental desarrollados en ámbitos universitarios y/o por grupos de investigación y/o transferencia de tecnologías. Básicamente responden a dos métodos de medición en estado estacionario. Uno se basa en la medición directa del flujo de calor, conocida como Heat Flow Meter (HFM) y consiste en ubicar el elemento a ensayar entre una fuente caliente y una fuente fría y medir el flujo de calor que pasa a través de él. El otro, denominado método de caja caliente con guardado, Guarded Hot Plate (GHP), obtiene el flujo de calor de manera indirecta. Utiliza una cámara de medición calefaccionada, rodeada por una cámara de guarda exterior en la que la temperatura se mantiene controlada para minimizar el flujo de calor hacia la misma (ver Figura 65).

A nivel institucional y de certificación, se realiza este tipo de ensayos en el área "Construcciones" del Instituto Nacional de Tecnologías Industriales (INTI) de Argentina, que posee dos

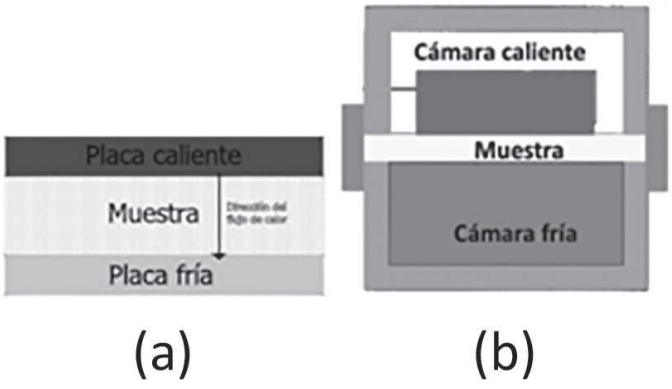


Figura 65. Esquema síntesis de los métodos involucrados en los sistemas de medición de transmitancia térmica de materiales. (a) Heat Flow Meter (HFM, medidor de flujo de calor) y (b) Guarded Hot Plate (GHP, placa de guarda caliente). Fuente: elaboración propia.

equipos para realizar las evaluaciones de transmitancia térmica mediante los dos métodos mencionados. El uso del GHP se especifica en las normas IRAM 11564:1997; ASTM C177 e ISO 8302. El uso del HFM se especifica en las normas IRAM 1860:2002; ASTM C518 e ISO 8301. Ambos tienen el beneficio de permitir a los desarrolladores de sistemas constructivos en el país, tanto empresas como privados, obtener una medición certificada de sus productos para asegurar sus características térmicas.

Como sistema comercial a nivel internacional se encuentra el HMF 300/1 LINSEIS (Heat flow meter instrument, Thermal Conductivity Analyzer), con el cual se realizan pruebas automatizadas a una temperatura prefijada en el rango de 0-60ºC (temperatura operativa), sin intervención del operador, para muestras estándar de 305 mm x 305 mm y espesor hasta 100 mm; destacando como principal inconveniente su elevado costo.

En ámbitos universitarios y de investigación se han relevado tres sistemas experimentales, con diferentes configuraciones y prestaciones.

Un primer equipo fue desarrollado por el Departamento de Materias Básicas y el Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Rafaela, Universidad Tecnológica Nacional de Santa Fe. Dentro de sus características se destaca que es de reducido volumen, con una superficie de medición de 300 x 300 mm y un espesor de 20 a 30 mm de probeta. Es de fácil autoconstrucción y permite realizar ensayos comparativos con otros laboratorios, pero no permite la medición de sistemas constructivos multicapa ya que tiene un reducido espesor de probeta.

El segundo equipo fue desarrollado por el Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente-INIBIOMA-CONICET y UNCOMA Bariloche. Es de geometría cilíndrica para la medición de aislación térmica de materiales al granel. También es de construcción sencilla y bajos recursos pero presenta la imposibilidad de ensayar sistemas constructivos que respondan a muros o cubiertas de edificios.

El tercer sistema es el utilizado para este trabajo, desarrollado por el Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata-IIPAC-FAU-UNLP, el cual da respuesta a la necesidad de ensayar materiales y sistemas constructivos que reproduzcan la envolvente edilicia.

5.3.1. Características del sistema utilizado en los ensayos

El equipo de medición utilizado está basado en el método de medición HFM: se dispone la muestra entre una placa fría y una caliente, y se mide el flujo de calor que pasa a través de ella, una vez logrado el régimen estacionario de temperaturas entre ambas caras de la probeta. Consiste en una unidad frigorífica ubicada en el extremo frio, una estructura calada de EPS en el que se inserta y aísla la probeta, y una fuente generadora de calor en el extremo caliente. En el baricentro se ubica el censor de flujo (Heat Flow Sensor F-005-T-3) y las termocuplas tipo T (cobre-constantan) que registran las temperaturas de capa para determinar el estado estacionario. Logrado éste, se realizan los cálculos y se obtiene el coeficiente de transmitancia térmica (K) del componente ensayado y su conductividad (W/m°K). Es importante tener en cuenta que la diferencia térmica entre la cara caliente y la fría tiene que lograr un salto térmico de 20°C a los efectos de establecer un régimen estacionario estable y un flujo térmico intenso para que el método sea fiable.

La dimensión adoptada para las probetas corresponde a la máxima posible en relación a la geometría de la unidad enfriadora, siendo de 400 mm de ancho por 400 mm de alto, admitiendo un espesor de probetas variable.

Como fuente caliente se utilizó una resistencia eléctrica plana (almohadilla térmica Large AL81 SILFAB) insertada en la tapa de cierre del sistema. Sobre ésta se ubicó una plancha de cobre para establecer un flujo radiente distribuido y homogéneo. Como fuente fría se empleó un equipo frigorífico comercial MABE

HMA 122 FC B, al que se le desmontó de la puerta principal para insertar la estructura calada de poliestireno. El espesor de dicha estructura dependerá del espesor de la probeta a ensayar, adosando planchas ensambladas mecánicamente (Figuras 66, 67 y 68).

5.3.2. Metodología de medición

La medición de las temperaturas se realizó por medio de termocuplas localizadas, dos en la superficie de la probeta: una

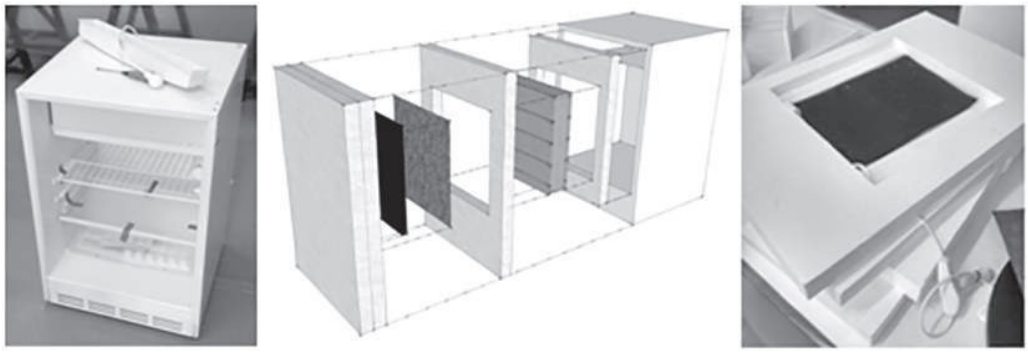


Figura 66. Síntesis conceptual e imágenes del sistema de medición empleado. Fuente: elaboración propia.

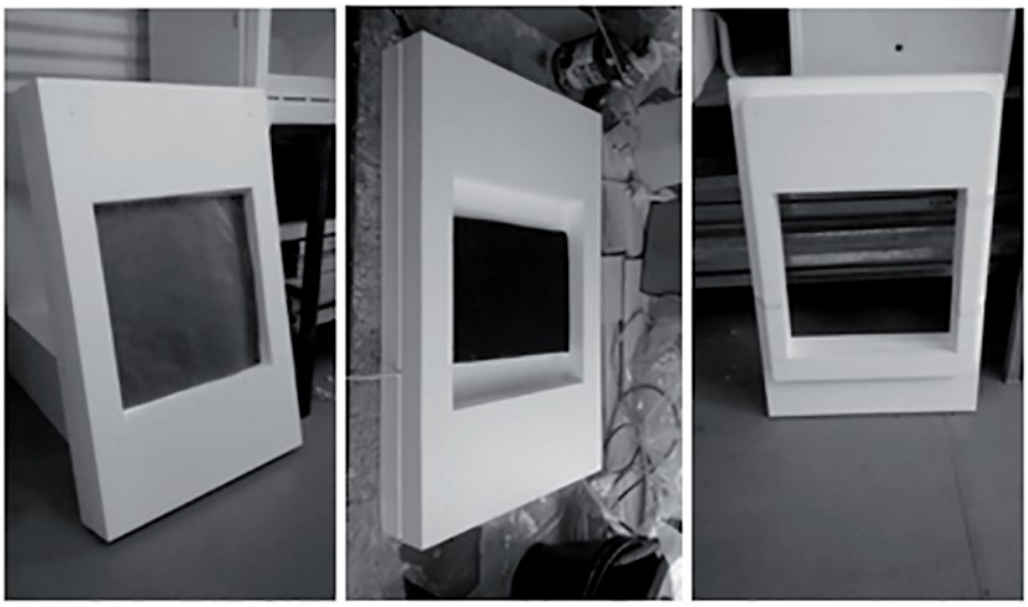


Figura 67. Unidad calefactora, cobertura de chapa de cobre y bastidor de sostén de la probeta.



Figura 68. Sistema de medición completo, unidad calefactora y unidad enfriadora, encastre de las placas de EPS.

en la cara fría y otra en la cara caliente; dos en el aire en contacto con la probeta: una del lado frío y otra del lado caliente; y una en el interior de la probeta. Además se empleó un sensor de flujo de calor, del tipo conocido como Heat Flow Sensor (HFS) marca CONCEPT ENGINEERING, modelo F-005-T-3. Se midió el flujo de calor sobre el baricentro de la probeta, del lado caliente. La adquisición de los datos se realizó mediante un equipo de ocho canales marca OMEGA OM-CP-OCTTEMP Data Logger. El mismo permite la exportación de los datos tanto en unidades de temperatura (°C), utilizada en las termocuplas; como de tensión (mV) para la medición del flujo de calor.

Como material aislante para la estructura calada de guarda de la probeta (anillos de guarda), se utiliza poliestireno expandido de alta densidad, minimizando las pérdidas térmicas hacia el exterior. Estos anillos se confeccionaron en espesores de 50, 100 y 200 mm y se colocan consecutivamente con amarre mecánico, combinándolos en función al espesor de la probeta a medir.

Para el cálculo de la transmitancia térmica se utiliza la siguiente fórmula:

$$K= Q/\Delta T$$

Dónde:

Q= calor intercambiado (W/m2) medido con el sensor de flujo térmico;

K= transmitancia térmica del elemento (W/m2°K);

ΔT= diferencia de temperatura entre ambas caras de la probeta (°K) utilizando las mediciones de temperatura registradas en los adquisidores de datos. Se toma la temperatura superficial.

Y la conductividad se obtiene de

$$\lambda = K \times e$$

Dónde:

K: transmitancia térmica del elemento (W/m2°K);

λ : conductividad térmica en W/m°K

e: espesor de la probeta (m)

Como primera instancia, se realizó una prueba testigo de calibración utilizando como probeta una placa de poliestireno expandido de densidad 20 kg/m^3 y 5 cm de espesor. Una vez verificada la calibración del equipo, se procedió ensayar las muestras.

La medición de los elementos muro se realizó colocando la probeta en sentido vertical a 90° respecto del suelo (simulando la condición de flujo horizontal). En cuanto a la medición del elemento techo si bien su ubicación natural es horizontal u oblicua, en este caso también se midió en forma vertical dado que el sistema frigorífico de la cara fría del sistema no permite cambios de posición. De todos modos, al tratarse de un ensayo de conductividad térmica de los materiales constitutivos del sistema

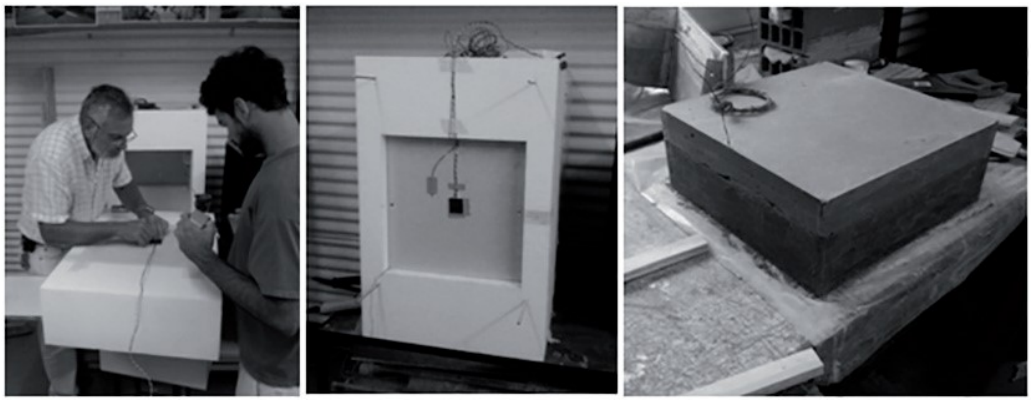


Figura 69. Colocación de sensores, termocuplas y sensor de flujo, ejemplo de probeta de 40 cm x 40 cm, para evaluar su comportamiento.

techo, la posición de la probeta en un sistema compacto como el utilizado no afecta mayormente los resultados.

En función de lo expresado hasta el momento en este capítulo, se muestran los resultados obtenidos del ensayo de las quince probetas construidas siguiendo los principios constructivos de cada sistema.

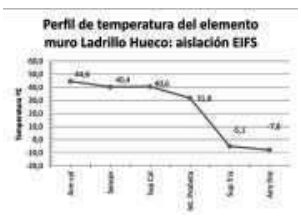
5.4. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE LOS SISTEMAS

Para exponer los resultados obtenidos se presentan los perfiles térmicos promedio de cada una de las capas del sistema constructivo una vez llegado al estado estacionario. De esta manera se puede observar donde se producen los saltos térmicos y evaluar cómo trabaja la masa térmica de cada sistema en cuanto a la acumulación de calor. Por otro lado, se muestran los resultados experimentales obtenidos de la transmitancia térmica de cada sistema.

5.4.1. Resultados del elemento muro

Para el caso del **muro de ladrillo hueco no portante revocado de 0,22 m**, el Cuadro 6 muestra los ensayos para el elemento base y las mejoras (probeta 1).

Con respecto a los resultados se observan diferencias lógicas entre los valores teóricos y experimentales dado que las diferentes

Muro de ladrillo hueco no portante revocado de 0.22 m		
		
p.1. Sin aislación térmica	**p.1.a.** 5 cm EPS	**p.1.c.** 7,5 cm lana de vidrio
K Experimental: 1,86 W/m² °C	**K Experimental: 0,68 W/m² °C**	**K Experimental: 0,37 W/m² °C**
K Teórico: 1,60 W/m² °C	K Teórico: 0,48 W/m² °C	K Teórico: 0,39 W/m² °C

Cuadro 6. Comparación de la curva de temperaturas de un muro de ladrillo hueco sin aislar y con dos estrategias de reciclado.

tecnologías y su materialización presentan desajustes entre la teoría y la praxis. La probeta **p.1.a.(EPS)** registra la mayor diferencia dado que en este caso los materiales rígidos aplicados a probetas reducidas admiten mayores riesgos en cuanto a filtraciones intra-probeta en este caso en contornos. En el caso de la **probeta p.1.c. (lana de vidrio)**, la mayor adaptabilidad en la colocación del material aislante minimiza la dinámica de pérdidas intra-probeta, fundamentalmente en los contornos de la misma.

En cuanto a las mejoras propuestas, se observa en ambos casos una significativa mejora en los niveles de aislación térmica, reduciendo sustantivamente las pérdidas por envolvente.

Con relación a la curva de temperaturas, se observa que en el caso de la aislación externa con EIFS (**p.1.a.**), el muro queda incorporado al espacio interior y participa con su masa como inerciador térmico, aportando estabilidad térmica al ambiente.

Para el **muro de ladrillo común macizo de 0,22m de espesor** (probeta 2), los ensayos se muestran en el Cuadro 7.

Para este caso, los resultados experimentales de la probeta 2 (ladrillos comunes) también presentan diferencias entre los valores teóricos y experimentales. Cabe adevertir en este caso que

Muro de ladrillo común macizo de 0.22 m		
		
p.2. Sin aislación térmica	**p.2.a.** 5 cm EPS exterior	**p.2.c.** 7,5 cm lana de vidrio interior
K Experimental: 3,13 W/m² °C	**K Experimental: 1,09 W/m² °C**	**K Experimental: 0,41 W/m² °C**
K Teórico: 2,37 W/m² °C	K Teórico: 0,53 W/m² °C	K Teórico: 0,43 W/m² °C

Cuadro 7. Comparación de la curva de temperaturas de un muro de ladrillo común sin aislar y con dos estrategias de reciclado.

la variabilidad en estos materiales de factura artesanal es mayor, dado que dependen de múltiples factores (tipo de tierras, mezcla, cocción, etc). Por ejemplo, el nivel de cocción de los ladrillos, genera variaciones significativas en su resistencia térmica, situación que se visualiza en el valor teórico y experimental de la probeta base. También se observa, al igual que en el caso anterior, una diferencia entre la aplicación de mejoras con materiales rígidos (**p.2.a. EPS**) y adaptables (**p.2.b. lana de vidrio**) adjudicable a los problemas de montaje en un caso respecto al otro en probetas reducidas.

Con respecto a las mejoras alcanzadas, se observa en ambos casos una reducción sustantiva en cuanto a las pérdidas térmicas por muros, mejorando así la eficiencia de la envolvente.

En cuanto a las temperaturas registradas, se aprecia que en el caso de la aislación externa con EIFS (**p.2.a.**), el muro alcanza niveles térmicos más estables respecto a los ladrillos huecos, y su participación como inerciador térmico, aporta una gran estabilidad al ambiente.

5.4.2. Resultados del elemento cubierta

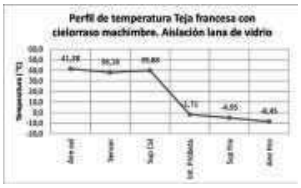
En el caso de la **cubierta chapa ondulada galvanizada,** el Cuadro 8 muestra un techo base (**probeta 4**) y sus respectivas mejoras (**p.4.a. EPS** y **p.4.c. lana de vidrio** respectivamente).

Cubierta de chapa odulada galvanizada		
		
p.4. Con cielorraso suspendido sin aislación térmica	**p.4.a.** Con 5 cm EPS	**p.4.c.** Con 7,5 cm lana de vidrio
K Experimental: 2,18 W/m² °C	**K Experimental: 1,08 W/m² °C**	**K Experimental: 0,40 W/m² °C**
K Teórico: 2,60 W/m² °C	K Teórico: 0,55 W/m² °C	K Teórico: 0,44 W/m² °C

Cuadro 8. Comparación de la curva de temperaturas de una cubierta de chapa ondulada galvanizada sin aislar y con dos estrategias de reciclado.

Teniendo en cuenta las consideraciones previas en cuanto a las diferencias entre la teoría y la praxis, en este caso se observa que el elemento experimental ha sido más aislante que los valores teóricos. Esto se puede atribuir a la escala de las probetas y su situación de contorno restringido muy diferente a un techo real expuesto. Por otro lado, los elementos constitutivos tales como clavaderas generan discontinuidades, y tienen un nivel de influencia en el comportamiento térmico que no es contemplado en cualquier cálculo teórico. Finalmente, al incorporar las mejoras, nuevamente en este caso la lana de vidrio se adapta mucho mejor al espacio que queda entre la estructura y la chapa. Los resultados son muy similares a la situación teórica, demostrando mayor capacidad aislante de este espesor de lana de vidrio, respecto del EPS.

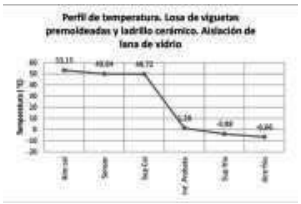
Para las cubiertas de **teja francesa roja** (**probeta 5**), en el Cuadro 9 muestra el elemento base (**p.5**) y con las propuestas de mejoras (**p.5.a. EPS** y **p.5.c. lana de vidrio**).

Cubierta de teja francesa		
		
p.5. Con cielorraso suspendido sin aislación térmica	**p.5.a.** Con 5 cm EPS	**p.5.c.** Con 7,5 cm lana de vidrio
K Experimental: 2,5 W/m² °C	**K Experimental: 1,6 W/m² °C**	**K Experimental: 0,43 W/m² °C**
K Teórico: 4,28 W/m² °C	K Teórico: 0,60 W/m² °C	K Teórico: 0,46 W/m² °C

Cuadro 9. Comparación de la curva de temperaturas de una cubierta de teja francesa sin aislar y con dos estrategias de reciclado.

Los resultados experimentales en la cubierta de tejas no han sido satisfactorios, ya que se observa en principio que este tipo de tecnologías presenta una significativa variabilidad respecto a la discontinuidad del sistema en cuanto a ensamble e infiltraciones. Esta situación magnifica las diferencias entre los valores teóricos y los ensayados fundamentalmente en la probeta base y en la aislada térmicamente con material rígido (EPS). Nuevamente el aislamiento con lana de vidrio presenta mejores prestaciones en cuanto a su capacidad aislante como a su adaptabilidad en la colocación minimizando las infiltraciones intra-probeta y de contorno. Los resultados en este caso son similares a los registrados en el caso cubierta de chapa ondulada.

Por último, la **cubierta de losa con viguetas premoldeadas y ladrillo cerámico** (**probeta** 7) se muestra en el Cuadro 10, incluyendo las propuestas de mejoramiento con cielorraso aplicado con EPS; y cielorraso suspendido con aislación de lana de vidrio.

Cubierta de viguetas premoldeadas y ladrillo cerámico		
		
p.4. Con cielorraso aplicado sin aislación térmica	**p.4.a.** Con cielorraso aplicado y 5 cm de EPS exterior	**p.4.c.** Con cielorraso suspendido y 7,5 cm de lana de vidrio interior
K Experimental: 1,59 W/m² °C	**K Experimental: 0,77 W/m² °C**	**K Experimental: 0,36 W/m² °C**
K Teórico: 1,74 W/m² °C	K Teórico: 0,49 W/m² °C	K Teórico: 0,40 W/m² °C

Cuadro 10. Comparación de la curva de temperaturas de una cubierta de losa de viguetas premoldeadas y ladrillo cerámico sin aislar y con dos estrategias de reciclado.

En el caso de cubiertas premoldeadas, en general se presenta un comportamiento aceptable entre los valores de transmitancia teóricos y los ensayados. En cuanto a las mejoras planteadas, las reducciones en el K son significativas principalmente en la probeta con cielorraso suspendido. La aplicación de dichas medidas, a diferencia de los casos anteriores, son de sencilla resolución dado que se pueden aplicar y adosar sin modificar su conformación original.

5.5. SÍNTESIS Y REFLEXIONES DEL CAPÍTULO 5

El desarrollo de este capítulo ha permitido constatar que los cálculos teóricos de la capacidad de aislamiento térmico de un sistema constructivo difieren en algunos casos con la situación real, marcando diferencias tangibles entre la teoría y la praxis.

Entre los factores que influyen podemos mencionar la morfología de las probetas, que si bien se construyeron a escala 1:1 en cuanto a los espesores, su geometría respecto a las otras dos dimensiones se limitaban a la geometría del sistema de refrigeración (0.40 x 0.40 m), lo que puede afectar las situaciones de contorno en cuanto a discontinuidades de los materiales, su adaptabilidad y estanqueidad fundamentalmente en los casos que incluyen aislaciones rígidas. Otro factor responde a la calidad de algunos materiales cuya factura es artesanal (ladrillos comunes), generando un arco diverso de características termo-físicas. También podemos mencionar la diversidad de componentes que configuran una tecnología como es el caso de las cubiertas de chapa o teja, cuyo cálculo teórico no contempla las discontinuidades del sistema (clavaderas, tejas, etc.).

Sin embargo, más allá de estas situaciones particulares, el ensayo experimental de los elementos constructivos ha permitido avanzar en el conocimiento del comportamiento térmico real de los sistemas tradicionales que se encontraban ya analizados y estudiados en diversas normas y catálogos. La implementación de mejoras para cada tecnología permitió establecer criterios de reciclado y evaluar su eficiencia a partir de las mejoras en los valores termo-físicos, registradas en laboratorio. Por ejemplo, la implementación de lana de vidrio como material aislante, registró mejoras significativas al respecto, pero fundamentalmente presento una gran adaptabilidad y versatilidad en cuanto a su colocación.

En definitiva, podemos afirmar en la praxis que la aplicación de medidas de eficiencia energética en los componentes de la

envolvente implica importantes reducciones en cuanto a las pérdidas térmicas por la envolvente.