

RECICLADO ENERGÉTICO DE LA ENVOLVENTE DE VIVIENDA UNIFAMILIAR EN LA PLATA, ARGENTINA.

R. Berardi¹; M. P. Diulio²; G. Reus Neto²; J. Czajkowski³
Laboratorio de Arquitectura y Hábitat Sustentable (LAyHS)
Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU)
Universidad Nacional de La Plata (UNLP)

Calle 47 n°162. Tel: 0221-4236587 interno 255. E-mail: layhs@fau.unlp.edu.ar

Recibido 17/08/14, aceptado 29/09/14

RESUMEN: En el trabajo se presenta el caso de una vivienda unifamiliar localizada en la periferia de la Ciudad de La Plata construida de forma convencional donde el comitente, a pesar de tener un sistema de climatización central, no alcanzaba el confort incluso con elevado consumo de energía. En este contexto decide introducir mejoras progresivas en la envolvente a fin de reducir la demanda de energía y mejorar la calidad ambiental. Posterior a la intervención realizada, se realiza una auditoría energética de invierno en tres etapas: 1) forzando el termostato a 21°C, 2) forzando el termostato a 20°C y 3) dejándolo a demanda del usuario. También se lleva a cabo un monitoreo medioambiental, un análisis de previsiones históricas de uso de la energía, evaluación de la mejora tecnológica realizada y su inversión. Los resultados obtenidos muestran que la vivienda se encuentra durante todo el período dentro de la zona de confort y que el equipo de calefacción se enciende en intervalos de tiempo más largos, de manera que el usuario deja de estar pendiente del equipo, consiguiendo permanecer en confort a menor temperatura de *setpoint*. Conjuntamente, el consumo horario de gas en calefacción se ve reducido. Se concluye que la incidencia que implica la colocación de aislación adicional respecto del costo de la construcción justifica su uso, resolviendo parcialmente la falta de combustibles en nuestro país, reduciendo gastos fijos en la vivienda y otorgando confort térmico a los usuarios.

Palabras clave: eficiencia energética, confort térmico, aislación térmica, EIFS, AuditCad

INTRODUCCIÓN

La deficiencia energética en la Argentina, derivada de la escasa disponibilidad y del elevado consumo, es una problemática que viene incrementándose, principalmente cuando analizamos que en el año de 2013, según la información pública disponible, los gastos de importación de gas natural, licuado y combustibles llegaron a 12.800 millones de dólares y que solamente en el primer semestre de 2014 se importaron aproximadamente cuatro veces más energía que en todo el año de 2013, según Jorge Oviedo⁴.

En este contexto, el conjunto de usuarios compuesto por el sector residencial, el sector comercial y los entes oficiales consumen el 30% del gas natural, y en invierno representan el 60% del consumo de gas (Tanides et al., 2013), (Gil, 2013). Sin embargo, de acuerdo con auditorías energéticas realizadas (Czajkowski et al., 2012) esta fracción elevada de consumo no alcanza a satisfacer las necesidades de confort de los residentes, es decir que tanto los sistemas de climatización como la capacidad de las viviendas de conservar el calor es baja.

Desde el punto de vista medioambiental, social y económico; y también político sería conveniente subsidiar mejoras en la eficiencia térmica de los edificios que continúan subsidiando la energía. Esto se debe a que aislando térmicamente se puede reducir la carga térmica de calefacción hasta un 50% y esto implicaría promover la actividad económica, mejorar el confort, reducir el impacto ambiental y evitar los cortes a otros usuarios (Bourges y Gil, 2014)

Por lo tanto los profesionales de la construcción tienen un amplio campo de trabajo en cuanto al incremento de la eficiencia energética de los edificios, de manera de minimizar la demanda energética, mejorar la calidad de vida de los usuarios y así asumir un rol significativo en la coyuntura internacional.

Desde el sector de la distribución de combustible también muestran intenciones de detectar los sectores de consumo que evidencian un ahorro potencial significativo. Han realizado estudios que intentan modificar los cuadros tarifarios que inciten a reducir el consumo sin afectar a los usuarios de ingresos bajos. Esto se resolvería determinando una línea base de consumo esperado que dependa de los grados días de calefacción de la localidad, y a partir de esta línea se determinan las diferentes categorías (Gil y Prieto, 2013).

¹ Docente FAU - UNLP

² Becaria CONICET

³ Investigador Adjunto CONICET

⁴ Fuente: Jorge Oviedo para La Nación. <http://www.lanacion.com.ar/1714152-energia-en-un-mes-importaron-de-uruguay-mas-que-en-todo-2013> Consultado: 6/8/2014.

En este trabajo se describe la experiencia en una vivienda unifamiliar habitada por 4 integrantes, que por motu propio deciden realizar modificaciones en su modo de habitar de manera de llevar un estilo de vida ambientalmente consciente. Estos cambios tendientes a reducir el impacto que implica la vida actual abarcan diferentes aspectos como la alimentación, la gestión de residuos y el uso racional de los recursos en la vivienda. Para reducir el uso de recursos no renovables deciden invertir en mejorar la envolvente térmica.

Las mejoras realizadas en el edificio, fueron concebidas con el concepto de eficiencia energética progresiva. Entendiendo que la vivienda analizada es una construcción tradicional materializada en el año 2000 con muros de ladrillos cerámicos huecos de 18 cm revocados en ambas caras, cubierta de chapa de zinc y machimbre, y ventanas con marco de chapa y vidrio simple. A pesar de hacer un cuidadoso uso de la energía las facturas durante el período invernal eran muy elevadas, junto a una insatisfacción térmica en el confort; esto llevó a que el propietario decidiera implementar progresivamente mejoras térmicas. Dichas mejoras se propusieron en 3 etapas, a saber:

- Primera etapa. Aislación de los cielorrasos en los sectores de las cubiertas de chapa, mediante lana de vidrio, y placas machihembradas de PVC flexible. Aislación en los muros externos de la zona de dormitorios.
- Segunda etapa. Aislación en el total de la envolvente.
- Tercera etapa. Colocación de doble vidrio en puertas y ventanas.

El objetivo de este trabajo es evaluar desde un enfoque técnico y económico el mejoramiento energético de una vivienda unifamiliar con el fin de alcanzar eficiencia energética progresiva.

Entre otros, en el trabajo se analiza y discute: (I) las características tecno-económicas del reciclado energético edilicio; (II) la valoración del incremento de confort térmico producido por las mejoras realizadas; (III) la cuantificación del ahorro energético luego de la mejora térmica de la envolvente junto al análisis del consumo histórico de gas; (IV) la cuantificación del ahorro generado bajando un grado la temperatura de *set point* del termostato del sistema centralizado de climatización por aire, así como el significado de dicha reducción en la satisfacción del usuario y reflexiones acerca de los primeros efectos de un cambio climático.

METODOLOGÍA

Descripción del reciclado energético

La vivienda se encuentra en Manuel B. Gonnet, partido de La Plata, a una latitud de 34,8° sur y 8 msnm. El clima es templado cálido húmedo, sub zona IIIB. Los veranos son suaves con una temperatura máxima media de 28,5°C e inviernos poco rigurosos, con temperaturas mínimas de 6,7°C. La humedad es alta, entre 71 y 86%. (IRAM, 2012)

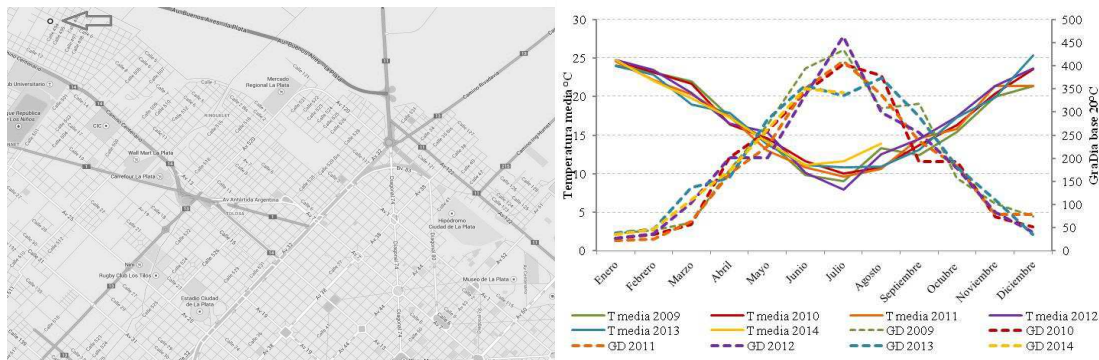


Figura 1: Ubicación de la vivienda respecto de la Ciudad La Plata. Fuente: Google Maps. Accedido 14 de Julio de 2014. Temperatura media y grados día base 20°C reales del sitio obtenidos a 800m. de la vivienda con estación Meteorológica Davis.

La vivienda tiene 175 m², 3 dormitorios, un estudio, estar-comedor, cocina y dependencias. Se implanta en un lote en esquina con un partido arquitectónico en "L" completamente resuelto en planta baja. El entorno es de baja densidad, con viviendas extendidas en planta baja, generalmente despegadas del perímetro del lote. Todos los ambientes, excepto el estudio, reciben sol directo porque sus aberturas están orientadas al noreste y noroeste. La relación entre superficie envolvente (muros y cubierta) y superficie a calefaccionar es 2,47 m²/m², que por ser mayor a 2 m²/m² no puede definirse como compacta (Gelardi y Esteves, 2010).

Las paredes, en su versión original, son de ladrillo cerámico hueco revocado en ambas caras, con un espesor de 21cm, la cubierta es de chapa con 1 cm de lámina de polipropileno aluminizado, y un encapsulado de burbujas de 10mm a modo de aislante térmico y las aberturas son de chapa doblada n°18 con vidrio 5+5.

La mejora en la aislación térmica se realizó en la cubierta de chapa a fines del verano de 2014 y en los muros de la zona de dormitorios, orientados al sudeste a fines del otoño del mismo año.

En el mes de marzo de 2014 se completó la aislación en la cubierta, que consistió en incorporar 10 cm de lana de vidrio en la cara interior, debajo del cielorraso, sostenida por machimbre de PVC flexible.

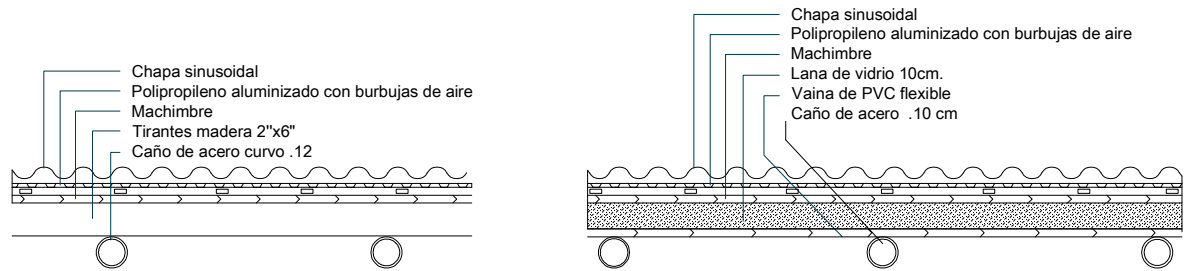


Figura 2: Detalle de techo con y sin aislación.

Para la mampostería exterior se utilizó la técnica conocida como EIFS, que proviene del inglés *Exterior Insulation and Finish System* que significa sistema de aislación y terminación exterior. Consiste en incorporar una capa adicional de aislación térmica de poliestireno expandido (EPS) en la cara exterior de los muros, sujeta con tornillos y arandelas, a la que se le aplica una capa de 8mm de mortero tipo *base coat* "Iggam" que protege y rigidiza la malla de fibra de vidrio de 90 grs/m² y 0.5cm x0.5cm. Luego puede agregarse cualquier tipo de acabado texturado, proyectado o con llana, o pintura.

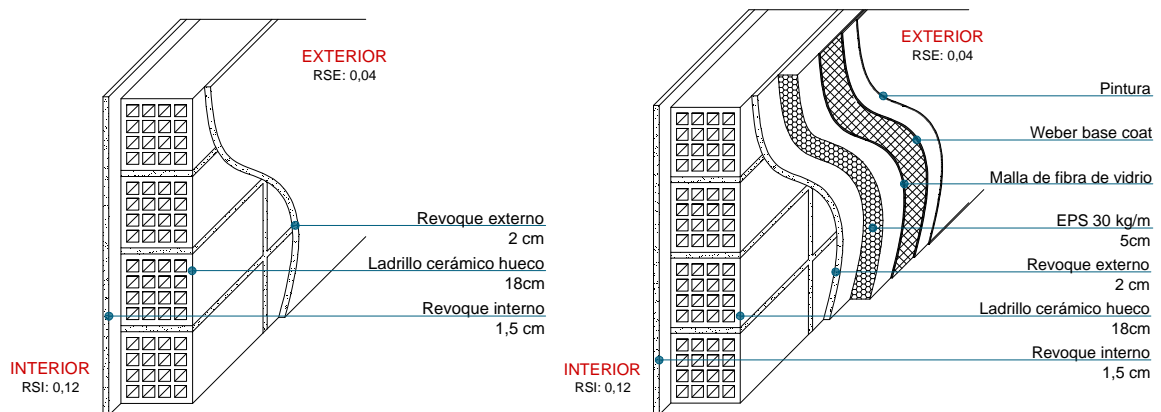


Figura 3: Detalle muro sin y con EIFS.

El conjunto posee buena resistencia mecánica y de acuerdo a la bibliografía su resistencia térmica se verifica aún después de 20 años de colocado (Stazi et al., 2009).

El sistema de climatización es central por aire a gas natural. Consta de un equipo calefactor Goodman de 24000 Kcal/h y una máquina enfriadora Goodman, y el tendido de la cañería de distribución se realiza mediante conductos de chapa a la vista de sección circular con aislación térmica interna.

En cuanto a ocupación, la familia se compone de 4 personas que hacen uso intensivo de la vivienda sábados y domingos mientras que de lunes a viernes la ocupación se reduce en horario escolar y laboral, permaneciendo vacía de 12 a 17hs. La calefacción se enciende a demanda de los usuarios. Generalmente se utiliza 8 horas por día promedio, entre las 19:00hs y las 23:00hs y de 6:00 a 9:00hs en días laborables y de modo más flexible en fines de semana.



Figura 4: Detalle de malla de fibra de vidrio con base coat. Figura 5: Colocación de EPS en la cara este

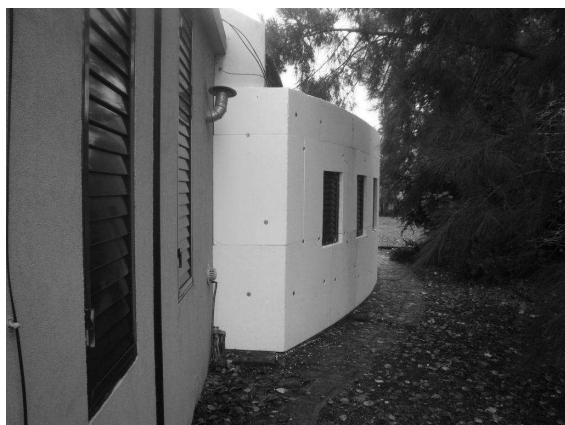


Figura 6: Cara sudeste de recubrimiento de EPS.



Figura 7: Cara noreste de la vivienda con EIFS.

Los paños vidriados orientados al norte están provistos de cortinas de tipo *black out*. Durante el día en invierno se aprovecha la radiación solar como ganancia directa, y por las tardes se cierran para disminuir pérdidas.

La zona diurna de la vivienda es el living, que posee ganancia solar significativa. La zona nocturna tiene las aberturas orientadas hacia el sudeste y al noroeste. La otra zona evaluada de la vivienda es el estudio, con aberturas al sudeste y al sudoeste, que no es frecuentada habitualmente dado que no es confortable térmicamente.

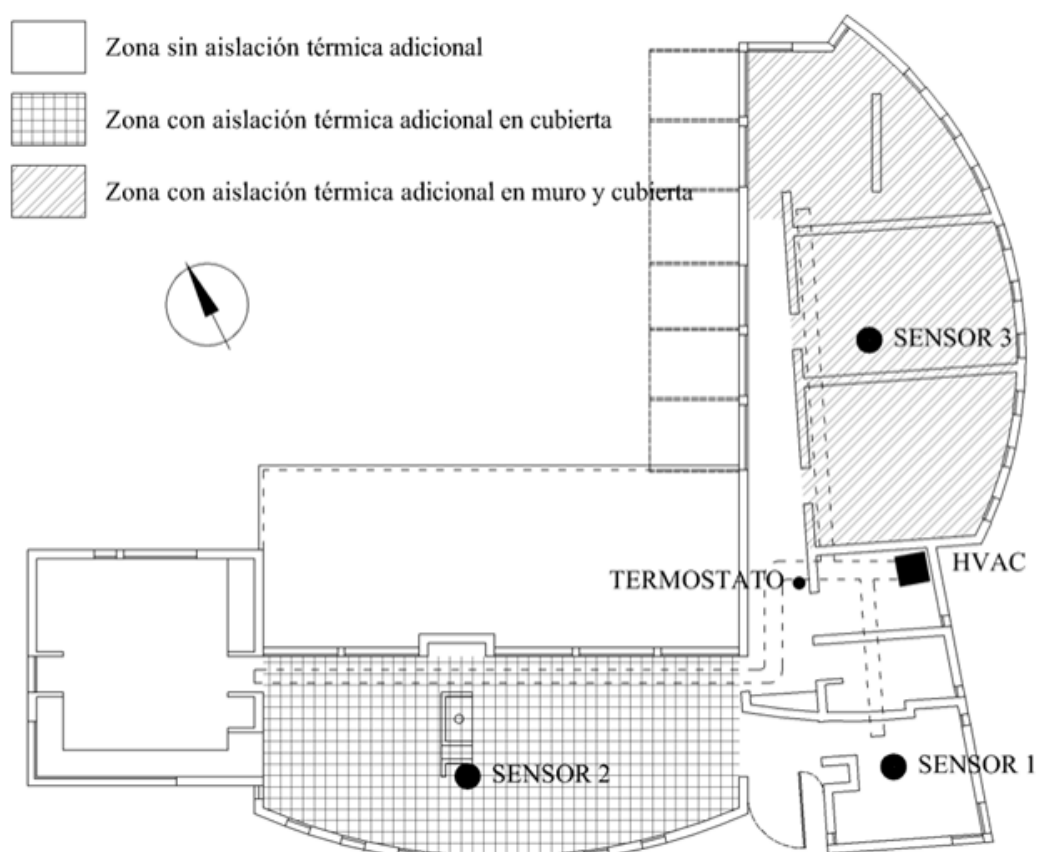


Figura 8: planta de la vivienda donde se sectorizan las diferentes tipos de envoltente, la ubicación de los dataloggers y el sistema de calefacción.

Evaluación del incremento de confort térmico luego del reciclaje.

Se utilizaron 3 *dataloggers* Hobo UX100-003 con 3,5% de precisión para el interior de la vivienda y un sensor de temperatura y humedad relativa exterior HOB0 U23-001 Pro v2, con un rango de -40° a 70°C y RH: 0-100%. La precisión es de $\pm 0.21^{\circ}\text{C}$ entre 0° y 50°C y $\pm 2.5\%$ entre 10% y 90% con resguardo meteorológico como control de la situación climática exterior. Además se utilizó la información de la Estación meteorológica Davis, y los datos de temperaturas medias mensuales, grados días con base 20°C mensuales desde 2008 hasta la actualidad.

El sensor 1 se colocó en el estudio, ubicado al sur de la vivienda, con aberturas orientadas al sudoeste y al sudeste. Es el sector de la vivienda en el que no se han realizado ningún tipo de mejoras a la envoltente. Es una habitación poco utilizada por lo que se desprecian las ganancias térmicas por ocupación. El sensor 2 se colocó en la sala de estar. En este sector de la

vivienda se aisló térmicamente la cubierta con 10 cm. de lana de vidrio. Posee grandes aberturas al noreste protegidas con una pérgola, y una tira de paños fijos con DVH sin protección a modo de claristorio cenital. El sensor 3 ocupó la zona de dormitorios, donde se colocó el EIFS y la aislación en cubierta. Las aberturas están orientadas al sudeste con una tira similar a la del estar de paños fijos con DVH al noroeste. Los sensores fueron programados para registrar datos de temperatura y humedad relativa cada 30 minutos entre el 17 de julio y el 4 de agosto de 2014.

Antes de comenzar la experiencia se colocó el termostato a 21°C. Para registrar el consumo energético se tomó notación del medidor de gas el día 17 de julio a las 00hs y se repitió la operación luego de 5 días. Se cambió la temperatura de *setpoint* a 20°C y se dejaron transcurrir dos días completos hasta que en los tres sensores se observaron temperaturas inferiores a la de base. Una vez restablecido el régimen inicial, comenzó el segundo ciclo de medición. Además dadas las características de la envolvente, el retardo térmico (desfase) de la envolvente opaca se encuentra en un valor comprendido entre 3 y 4 horas (Yañez, 1982, pág. 305). El 24 de julio se registró medidor de gas y nuevamente el 28 de julio a última hora. El último registro se realizó el 4 de agosto para conocer el consumo sin ningún tipo de restricción al termostato.

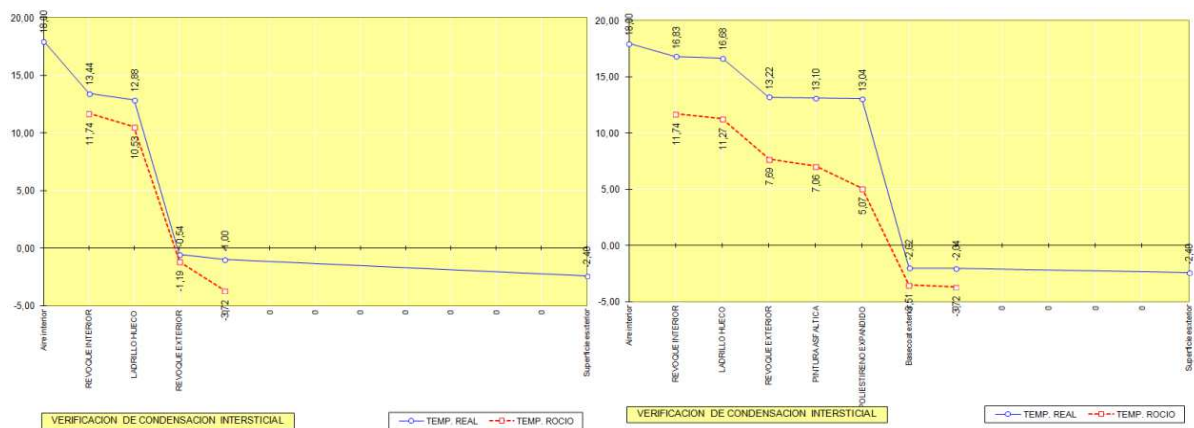


Figura 9: Cálculo de temperatura superficial interior y riesgo de condensación. Fuente: CEEMACON.

Utilizando el programa CEEMACON (Gonzalo et al., 2000) se calculó la verificación del riesgo de condensación intersticial (IRAM 11625), a fin de determinar la temperatura superficial interior en muros. En la figura 9 puede verse el análisis en la solución de muro original y la mejora, donde la temperatura superficial interior pasa de 13,44°C a 16,83°C con la incorporación de 5 cm de EPS en la cara exterior.

Análisis del consumo

A partir de la información de las facturas bimestrales de gas de la vivienda, desde 2009 a 2014, se calculan los consumos mensuales para profundizar en la comprensión del encendido del equipo de calefacción, utilizando un procedimiento que transforma los registros bimestrales en valores mensuales, corrigiendo el desfase entre el período de lectura y la facturación en Figura 10 (Czajkowski et al., 2003).

Se muestran en la figura 10 comparativamente los consumos respecto de seis años estudiados. Se espera que en los próximos años se observe una clara reducción del consumo como resultado de la mejora constructiva.

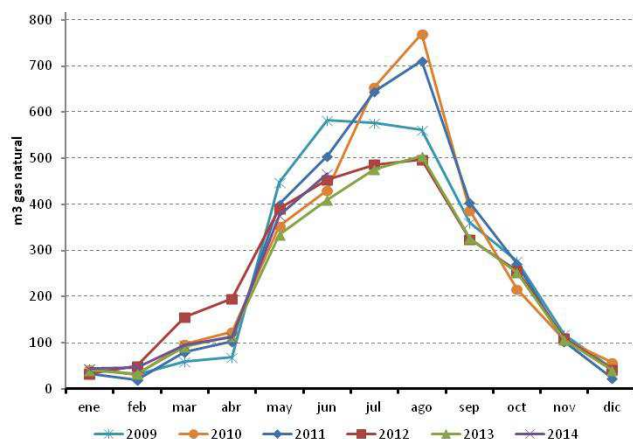


Figura 10 a

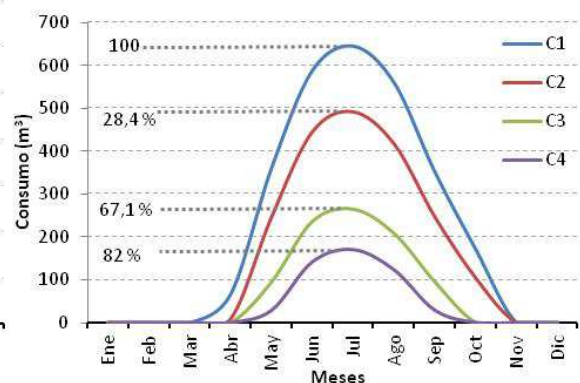


Figura 10 b

a: Evolución del consumo de Gas natural de acuerdo con facturas provistas por la empresa Camuzzi.

b: Consumos estimados mediante AuditCad. C1=construcción pre-existente; C2= C1+ mejoras parciales en muros y techos; C3= C3= mejoras totales en muros y techos; C4= C3 + doble vidriado.

Se modeliza la vivienda mediante el AuditCad (Czajkowski, 1999) con el fin de determinar la carga térmica anual, carga térmica discriminada mensual, consumo potencial de gas natural en calefacción y contrastación con consumos auditados. La modelización se realiza en tres estadios: a) comportamiento energético previo a las mejoras; b) comportamiento energético con las mejoras actuales y c) comportamiento energético con el total de mejoras previstas.

Con el modelo realizado en AuditCad se realiza un balance energético que permite comparar las variaciones de demanda energética según la aislación progresiva de la envolvente.

Habiendo realizado las modelizaciones, como se muestra en la figura 10 b, podemos verificar que la cantidad de m³ de gas necesarios para calefaccionar la vivienda en su estado original es 2890 m³ al año para mantener un *set point* de 20°C. Luego de la intervención que motivó el presente trabajo el consumo estimado se reduce a 2070 m³ al año, es decir, un 28% de ahorro. En caso de culminar con todas las mejoras previstas la demanda será de 520 m³ al año, o un 82% de ahorro.

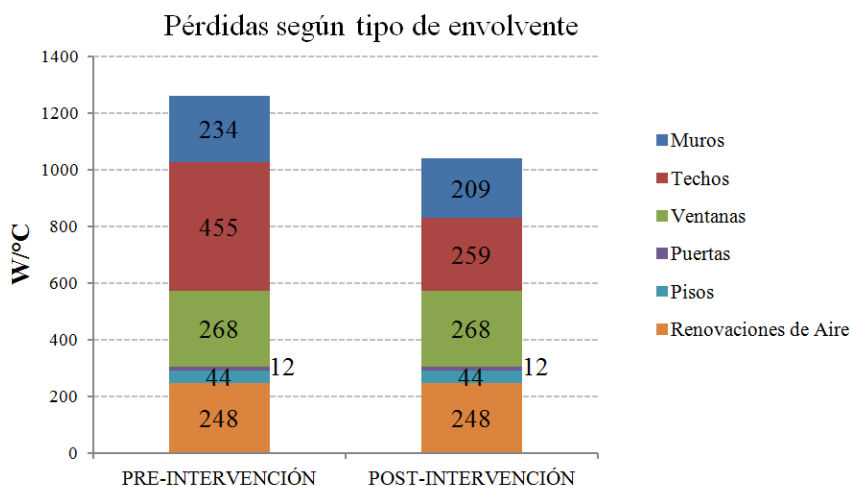


Figura 11: Pérdidas térmicas en la vivienda pre y post intervención según AuditCad.

En la Figura 11 queda evidenciado el efectivo resultado del aislamiento, cuando verificamos que antes de la intervención, las mayores pérdidas térmicas eran responsabilidad de la cubierta, cuyo valor se redujo de 455W/°C a 259W/°C. En los muros, debido a la pequeña superficie intervenida, la reducción es menor, de 25W/°C. Con estas modificaciones las ventanas pasan a representar el mayor porcentaje de pérdidas, siendo este sector la próxima etapa a reciclar.

Calculo del ahorro generado modificando en un grado la temperatura de set point.

Con el objetivo de analizar cómo varía el consumo de energía en calefacción con respecto de la temperatura a la que se fija el termostato de los equipos calefactores se busca verificar la hipótesis de que bajando 1°C el termostato en invierno puede generar ahorros del 10% al 20% del consumo de calefacción. (Gil, 2014)

Para comprobarlo, durante 5 días de la experiencia se fijó el termostato en 21°C, forzando su encendido y modificando la rutina habitual de los usuarios, de climatizar a demanda. Se controló el medidor de gas, y pasados los 5 días se cambió a 20°C y se dejaron transcurrir dos días completos para reiterar el procedimiento. Durante la primera semana con el termostato a 21°C y aplicando la expresión [1] se obtuvo un coeficiente de uso de la energía en gas natural (CUE) igual a 8,47 m³/°C. Durante la segunda semana con el termostato a 20°C se obtuvo un CUE igual a 7,58m³/°C.

Por medio de la ecuación 1 se determina el ahorro:

$$CRUE = \frac{CEP_{m1}/(TT1-TE1) - CEP_{m2}/(TT2-TE2)}{CEP_{m1}/(TT1-TE1)} \times 100 \quad \text{[Ecuación 1]}$$

Donde:

- CRUE= Coeficiente de reducción de uso de energía (%)
- CEPm1= Consumo de energía en el período de medición 1 (m³).
- TT1: Temperatura de termostato en el período de medición 1 (°C).
- TE1: Temperatura exterior media en el período de medición 1 (°C).
- CEPm2: Consumo de energía en el período de medición 2 (m³).
- TT2: Temperatura de termostato en el período de medición 2(°C).
- TE2: Temperatura exterior media en el período de medición 2 (°C).

RESULTADOS

Resultados del reciclaje energético

La inversión realizada en la mejora de la cubierta fue de \$232/m², neto (materiales y mano de obra, excluyendo fletes, honorarios profesionales y cargas sociales). La mejora en la calidad térmica de la envolvente fue del 90%, pasando de un K=3,64 W/m²K en la versión original (chapa pre pintada color, polietileno aluminizado con burbujas de aire y machimbre de 1/2") a un K= 0,37 W/m²K (solución original + 10 cm de lana de vidrio + machimbre de PVC).

La inversión realizada para la mejora térmica de muros fue de \$258/m² neto. El sistema constructivo sufrió una mejora del 70% pasando de tener una transmitancia térmica de 1,50 W/m²K a 0,44 W/m²K con la mejora de EIFS, a partir de la incorporación de 5cm de EPS de 30Kg/m³.

Si se comparan los valores de transmitancia térmica con los máximos admisibles indicados por la Ley 13059/03 y su Decreto reglamentario 1030 de la Provincia de Buenos Aires, que se refiere al conjunto de Normas IRAM sobre acondicionamiento térmico de edificios, para la temperatura exterior de diseño de -2,4°C, se advierte que la cubierta original no alcanza a verificar nivel C, cuyo máximo admisible es 1 W/m²K, y luego de la mejora se acerca al nivel A (K= 0,296 W/m²K). En el caso del muro, la versión original alcanzaba a cumplir el nivel C, y luego de la mejora, también está cerca de alcanzar el nivel A (K= 0,342 W/m²K)

Resultados del análisis de confort térmico luego del reciclaje.

Finalizada la primera etapa de eficiencia energética progresiva de la vivienda, el usuario fijó la temperatura del termostato en 20°C cuando antes era necesario ubicarlo a 24°C. Esta es la primera manifestación positiva del mejoramiento, junto a la reducción de corrientes convectivas *percibidas* por los usuarios; con el ascenso de la temperatura superficial interior de los muros exteriores mejorados térmicamente. La temperatura superficial interior de muros exteriores en sector dormitorios pasó de 13,4°C a 17,8°C tal como se muestra en la figura n° 9.

Esta reducción se corrobora mediante la toma de datos con un termómetro infrarrojo a las 6:00hs, momento del día en el que generalmente ocurren las temperaturas mínimas absolutas. En esta condición, la temperatura superficial interior de los muros con aislación térmica fue de 17°C, siendo que en las paredes sin intervención fue de 11°C. Mientras tanto, la temperatura superficial de la cara exterior de los muros señaló 3°C, mostrando una diferencia de 14°C en el muro intervenido.

La mejora realizada en la vivienda resulta satisfactoria para los usuarios debido a que el calefactor funciona durante menos tiempo. Obviamente esto redundo en la reducción del consumo de gas, pero además mejora el descanso de los habitantes al reducir el ruido que genera a la noche el encendido del equipo.

El climograma de Olgyay de la figura 12 (1963) representa el monitoreo realizado con respecto a las condiciones de confort, y se ve en el ángulo inferior derecho la zona de estudio, bien compacta debido a la poca oscilación que se registra en el sector debido a la falta de uso del local, luego acercándose al centro en celeste la zona de dormitorios, con variaciones del 40% de la humedad relativa pero manteniendo temperaturas entre 18 y 23 en todo el período; y la zona estar, que se ve afectada por la ganancia solar que recibe pasado el mediodía, y gracias a la cual se han registrado momentos de temperatura interior de 36°C, considerada confortable por los usuarios.

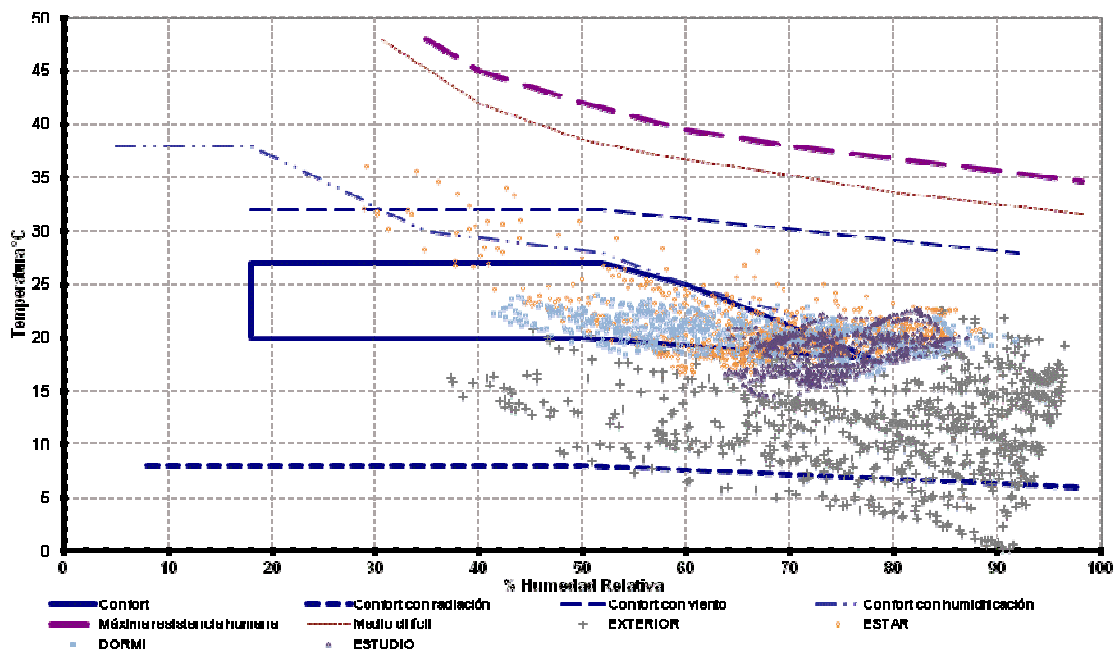


Figura 12: Climograma de Olgyay sobre confort térmico.

En la figura 13 se observa que en la zona de dormitorios y de estar se verifican temperaturas de confort tanto con el termostato a 21°C como a 20°C. Esto no sucede en la zona estudio, en el sector sin mejora térmica de la casa, donde se produce un sensible descenso de la temperatura en el segundo periodo relacionado con una semana con menor temperatura media. Durante el tercer período, el usuario redujo el uso de la calefacción siguiendo sus propias necesidades de confort, regresando a su rutina de uso habitual.

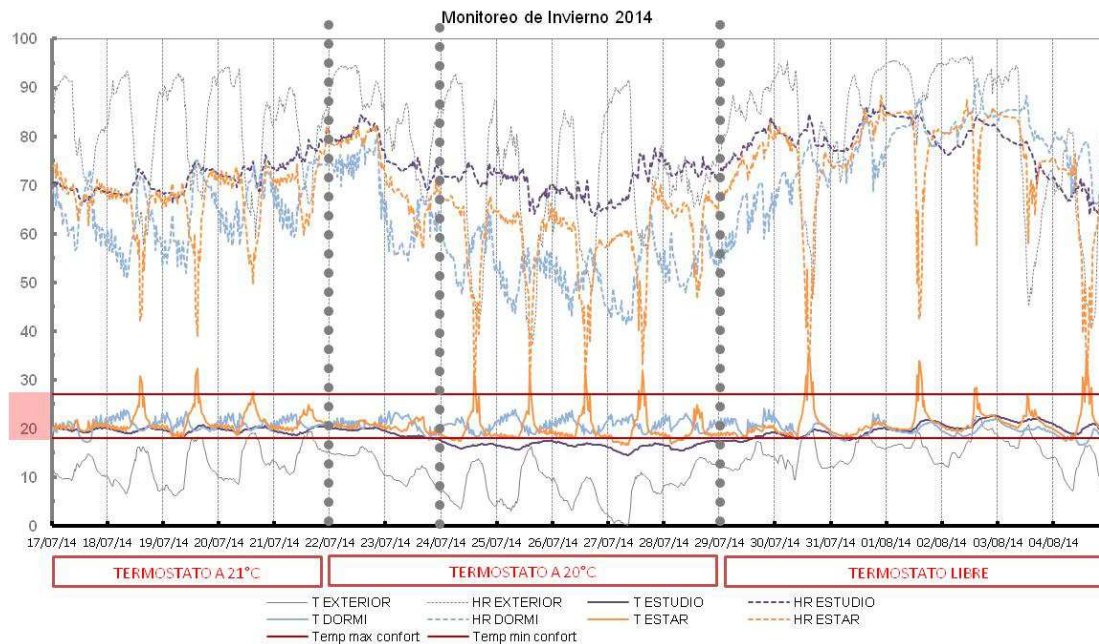


Figura 13: monitoreo higratérmico invernal.

Resultados del análisis del consumo de gas.

Comparando el comportamiento del invierno de 2014 con la mejora térmica con los años anteriores podemos inferir que la factura mostrará en el 4° bimestre un consumo que será inferior, cuestión que no se verifica al presente debido a que en los años anteriores el equipo de climatización se encendía 8 hs/día y para la medición se encendió 24 hs/día. Teniendo en cuenta esta situación y calculando el consumo horario de los 6 años analizados para el mes de julio, podemos ver lo siguiente (ver Tabla 1):

Mes de Julio	GD jul (base 20°C Gonnet)	Consumo (m ³)	Consumo por metro cuadrado en Julio (m ³ /m ²)	Horas funcionamiento (estimado) (h)	Consumo horario (m ³ /h)
2009	434	576,45	3,29	248	2,32
2010	403	655,42	3,75	248	2,64
2011	411	644,29	3,68	248	2,60
2012	464	486,74	2,78	248	1,96
2013	335	476,42	2,72	248	1,92
2014	343	497,16	2,84	744	0,67

Tabla 1: Consumo horario comparado.

En este caso podemos observar que en 2014 el consumo de gas por hora (m³/h) de funcionamiento fue el 35% respecto a igual período del año 2013. Este consumo calculado se basa en los datos facturados que provee Camuzzi Gas Pampeana S.A., suponiendo que los intervalos de corte son los mismos.

Período	Modalidad de uso	Consumo (m ³)	Consumo diario (m ³ /día)	Consumo diario por superficie (m ³ /m ² .día)
Julio 2009 (31 días)	Uso cuidado (8 hs/día)	576,45	18,60	0,106
Julio 2010 (31 días)	Uso cuidado (8 hs/día)	655,42	21,14	0,121
17 al 21 de Julio 2014 (5 días)	Termostato 21°C (24 hs/día)	76,17	15,23	0,087
23 al 28 de Julio de 2014 (5 días)	Termostato fijo a 20°C (24 hs/día)	86,39	17,28	0,099
28 de Julio al 4 de Agosto de 2014 (7 días)	Uso libre del equipo (24 hs/día)	57,25	8,18	0,047

Tabla 2: Consumos del mes de julio comparados en relación a la temperatura de termostato.

En la tabla 2 se resumen los consumos históricos, con los actuales durante el monitoreo. En los años 2009 y 2010, cuando la vivienda no contaba con mejoras térmicas en su envolvente, y haciendo un *uso cuidado* de la energía, es decir, encendiendo el equipo exclusivamente cuando se sentía frío, por la noche, el consumo promedio fue de 19,8 m³/día, o 0,11m³/m².día. Buscando referencias en trabajos realizados en el país encontramos dos localizados en San Luis y La Plata, aunque solo se los toma como referencia sin mayor análisis debido a la disimilaridad en los tipos edilicios y situación climática. En el caso de San Luis corresponde a una vivienda unifamiliar con mejoras térmicas dando un consumo específico de gas natural de 0,024

m³/m².día (Filippín y Follari, 2003) y en departamentos en edificio en altura en casco urbano de La Plata un consumo específico de gas natural de 0.11 a 0.03 m³/m².día (Salveti et al., 2009).

Durante el invierno de 2014 la experiencia planteó 3 escenarios posibles, uno con el termostato fijo en 21°C, otro con el termostato fijo en 20°C y otro dejando el termostato a libre disposición del usuario, es decir, a demanda.

Durante los 5 primeros días, con el equipo de calefacción encendido las 24 horas del día, el consumo de gas total de la vivienda fue de entre 15,23 m³/día, es decir que ya se evidencia una reducción de la demanda de energía para mantener constante una condición de termostato determinada, que por cierto, el usuario considera excesiva de acuerdo a lo que estaba acostumbrado. En el segundo tramo, con termostato fijo a 20°C el consumo diario fue de 17,28 m³/día; y por último, cuando el usuario fijó el termostato a demanda de satisfacción térmica de cada integrante de la familia, el consumo fue de 8,18 m³/día.

Calculo del ahorro generado modificando en un grado la temperatura de set point

Durante los 5 primeros días, con el termostato fijado en 21°C las 24 horas del día, el consumo de gas total de la vivienda fue de 76,18m³/5 días. Pasado el período de dos días de atemperación, los 5 días siguientes con el termostato fijo en 20°C el consumo de gas fue de 86.39m³/5 días. Es decir que el consumo fue un 13% superior. Sin embargo la temperatura media en el primer tramo fue de 12,4°C y en el segundo la media fue de 8°C, es decir que fue considerablemente más fría. Para neutralizar el efecto de las temperaturas exteriores se propone la Ecuación 1 para obtener un índice que pueda permitir ser comparado:

$$CRUE = \frac{76,18m^3/(21^{\circ}C - 12,73^{\circ}C) - 86,39m^3/(20^{\circ}C - 7,97^{\circ}C)}{76,18m^3(21^{\circ}C - 12,4^{\circ}C)} \times 100$$

$$CRUE = \frac{8,856m^3/^{\circ}C - 7,189m^3/^{\circ}C}{8,856m^3/^{\circ}C} \times 100 = 0.188 \times 100 = 18.89\%$$

De esta manera se observa que el coeficiente de reducción de uso de la energía es del 18.89% bajando en 1°C la temperatura de *set point* del termostato, en invierno en la Ciudad de La Plata.

CONCLUSIONES

El trabajo permitió evaluar el comportamiento térmico del reciclado energético de una vivienda en condiciones reales de uso, ubicada en un área suburbana de baja densidad en proceso de consolidación, con viviendas amplias de baja altura, generalmente despegadas del perímetro del lote. Se analizaron tres intervalos de tiempo con diferentes premisas para observar su comportamiento térmico y energético y poder compararlos entre sí y con periodos anteriores.

El tipo de vivienda exenta analizada, de baja compacidad en planta baja, alta exposición al ambiente exterior por falta de arbolado en el predio genera un microclima particular dando como resultado temperaturas más bajas respecto a la estación meteorológica localizada a 800 m de distancia. Sin embargo, esta disposición también tiene ventajas, como la flexibilidad para orientar la vivienda respecto al sol y así optimizar la ganancia solar en invierno. Gracias a la ubicación y orientación de la vivienda, se conjetura que es posible satisfacer gran parte de las necesidades energéticas mediante medidas de diseño solar pasivo. También es factible incorporar energías renovables en agua caliente sanitaria y calefacción. Todo esto indica que en diferentes etapas sucesivas a través del tiempo se puede alcanzar la sustentabilidad progresiva propuesta. Esta cuestión también fue estudiada por otros autores (Verbeek & Hens, 2005) quienes afirman que las medidas de ahorro energético pueden implementarse en diferentes etapas e independientemente una de otra, y proponen una jerarquía de acuerdo con la eficacia de las medidas: 1. aislación del techo; 2. aislación del piso, si fuera posible acceder; 3. mejora térmica en el comportamiento de los vidrios, casi siempre deben reemplazarse los marcos; 4. mejora en la eficiencia energética de los sistemas de climatización; 5. energías renovables.

De acuerdo con lo observado en la realización de este trabajo, podemos concluir que la mejora realizada mediante el sistema EIFS es efectiva, rápida en su ejecución, y una excelente alternativa para mejorar una vivienda post facto. Si el costo de la construcción hoy en nuestro país según la Cámara Argentina de la Construcción es de \$10.052/m² y la inversión para realizar la mejora es de \$252/m² de muro exterior, es decir, el 2,52 % es claramente asumible por el usuario, respecto del beneficio que otorga.

A partir de la mejor resistencia térmica de la envolvente el usuario mejoró el confort térmico independientemente del sistema de calefacción, que trabaja a menor temperatura de termostato y durante menos tiempo. La vivienda deja de ser ergo-dependiente para ser habitable con la ganancia solar que el partido arquitectónico facilita. El modelo realizado con AuditCad y ErgoCad predice un ahorro del 28% en calefacción, dato que puede verificarse parcialmente observando la reducción mostrada en la auditoría energética realizada.

El trabajo permitió corroborar la hipótesis propuesta por el Dr. Salvador Gil (UNSAM-ENARGAS) respecto al importante ahorro, 18,89%, que genera reducir en un grado la temperatura de termostato de 21°C a 20°C. Pero entendemos que sin mejora térmica en la envolvente esto no sería posible ya que en años previos el usuario debía fijar en 24°C el termostato para obtener un confort térmico de baja calidad o insuficiente, con alto consumo de energía específico. Esta salvedad es importante ya que de proponerse a la sociedad la recomendación de bajar un grado el termostato para edificios que cuenten con climatización central, será efectivo con envolventes que cuenten con suficiente nivel de aislamiento térmico a fin de aumentar la temperatura superficial interior en cerramientos opacos y transparentes.

Para esto entendemos debe superarse el Nivel B propuesto por la Norma IRAM 11605 y tender a acercarse al Nivel A.

A pesar de la buena intención de arquitectos y comitentes de realizar una construcción energéticamente eficiente, es el desconocimiento de los profesionales lo que dificulta la ejecución de aislaciones térmicas adicionales, y no el presupuesto económico. Esto debido principalmente a que en la formación de los que poseen la incumbencia en la construcción de edificios (arquitectos, ingenieros y técnicos) no se trata en la currícula de forma obligatoria el uso racional de energía y/o la eficiencia energética edilicia. A esto se suma que a pesar de existir leyes como la 13059/03 en la provincia de Buenos Aires y la 4458/12 en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, estas no se cumplen por desidia de quienes poseen poder de policía (Art. 4 Ley 13059) y por parte de los colegios profesionales que no asumen la responsabilidad de su cumplimiento ante la sociedad.

REFERENCIAS

- Bourges, C., & Gil, S. (2014). Amortización del costo de mejoras en la aislación térmica de las viviendas. *Petrotecnica*, 1 (LV), 72-78.
- Czajkowski, J. (1999). Programa AuditCad para el análisis del comportamiento energético edilicio basado en auditorías energéticas y de confort. *Anais do V Encontro de Conforto no Ambiente Construido*. Gramado: ANTAC.
- Czajkowski, J., Corredera, C., & Saposnik, M. (2003). Análisis de la relación entre demanda de gas natural en calefacción según "Energocad" y consumos reales en viviendas unifamiliares del Gran La Plata. *Avances en energías renovables y medio ambiente*, 7, 7.13-7.17.
- Czajkowski, J., Gómez, A., Vagge, C., Salvetti, B., Marcilese, M., Diulio, M. d., y otros. (2012). Evaluación del confort higrotérmico invernal en viviendas unifamiliares del gran La Plata mediante auditorías. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16, 5.101-5.106.
- Filippín, C., & Follari, J. (2003). Comportamiento termico de un proyecto demostrativo bioclimático en San Luis. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13, 5.69-5.76.
- Gelardi, D., & Esteves, A. (2010). Relación entre la ganancia solar y la calefacción auxiliar para dos tipos de envolvente formal edilicia. *Avances en energías renovables y medio ambiente*, 14.
- Gil, S. (2013). ¿Cómo se distribuye el consumo residencial de gas? Modos de promover un uso más eficiente. *Petrotecnica*, vol LIV, n°6, Diciembre 2013.
- Gil, S., & Prieto, R. (2013). Categorización racional de usuarios residenciales. Herramientas para promover un uso más eficiente del gas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, (págs. 15-24). Tucuman.
- Gonzalo, G., Ledesma, S., Nota, V., & Martínez, C. (2000). Rediseño y actualización del programa computacional para verificación del riesgo de condensación en cerramientos exteriores. *Avances en Energías Revables y Medio Ambiente* 4.
- IRAM. (2012). 11603 Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la Republica Argentina.
- Olgay, V. (1963). *Design with climate*. Princeton: Princeton University Press.
- Salvetti, M. B., Czajkowski, J. D., & Gómez, A. F. (2009). Análisis del comportamiento energético-ambiental en torre de viviendas en La Plata. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13, 5.127-5.133.
- Stazi, F., Di Perna, C., & Munafó, P. (2009). Durability of 20-year-old external insulation and assessment of various types of retrofitting to meet new energy regulations. *Energy and Buildings*(41), 721-731.
- Tanides, G. C., Nicchi, F. G., Lavoria, M. L., & Mazzitelli, A. (2013). Calefacción en el sector residencial argentino: primera modelización y estudio de las consecuencias de la sustitución de bombas de calor en reemplazo de calefactores a gas. *Encuentro Latinoamericano de Uso Racional y Eficiente de la Energía*. Buenos Aires.
- Verbeek, G., & Hens, H. (2005). Energy savings in retrofitted dwellings: economically viable? *Energy and Buildings* (37), 747-754.
- Yañez, G. (1982). *Energía solar, edificación y clima* (Vol. 1). Madrid: MOPU.

ABSTRACT: This paper presents the case of a house, situated in the outskirts of La Plata City. It had been conventionally built with an intensive use of HVAC, but the owner had not been able to reach comfort status. He decided to introduce progressive improvements in the building's envelope in order to reduce energy demand and increase environmental quality. An energy audit was carried out in three stages: 1) thermostat fixed at 21°C, 2) thermostat fixed at 20°C and 3) on user demand. Apart from that, an environmental monitoring was done together with an analysis of historic energy consumption, assessment of technological improvement and investment. Results show that the house is now within the comfort zone through the period elapsed, and the heating equipment turns on at longer intervals. The user stops being aware of the equipment, reaching comfort at lower set point temperatures. Hourly heating gas consumption is reduced. It is concluded that the incidence of thermal insulation respect to the entire building cost justifies its implementation, and thus this partially solves the inefficient use of fuel in our country, reducing fixed costs in the house and providing thermal comfort to the users.