

## **AUDITORIA ENERGÉTICA DE UNA VIVIENDA SOCIAL EN CLIMAS FRÍOS Y COMPARACIÓN DE PÉRDIDAS TÉRMICAS POR INFILTRACIÓN Y TRANSMISIÓN**

**M. Andersen<sup>1</sup>, A. Hernandez<sup>2</sup>, C. A. Discoli<sup>3</sup>.**

Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC) Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU), Universidad Nacional de La Plata (UNLP) Calle 47 N°162, La Plata. C.P. 1900 – Provincia de Buenos Aires Tel. 0221-4236587/90 interno 207.

Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO, UNSa – CONICET) 1 Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa) Av. Bolivia 5150, A4400FVY, Salta, Argentina. Tel. 54-0387-4255579 – Fax 54-0387-4255489.

E-mail: [micaela\\_andersen@hotmail.com](mailto:micaela_andersen@hotmail.com); [alejohher65@gmail.com](mailto:alejohher65@gmail.com); [discoli@rocketmail.com](mailto:discoli@rocketmail.com).

*Recibido 25/07/17, aceptado 26/09/17*

**RESUMEN:** Este trabajo está orientado a evaluar el comportamiento energético-ambiental de una vivienda social con alta representatividad en la edificación construida en la ciudad de San Carlos de Bariloche, con el objeto de minimizar la demanda de energía en el sector residencial en el marco de un plan masivo de reciclado edilicio urbano. Para tal fin se analizó el comportamiento energético de una vivienda tipo a través de la medición de temperaturas y humedad; evaluación experimental de los niveles de infiltración de aire; y detección de puntos críticos relacionados con pérdidas térmicas, visualizadas por medio de cámara termográfica. Se identificaron valores de hermeticidad del aire similares a los registrados en la región, si comparamos por ejemplo los determinados por la línea base definida en viviendas en Chile. Dichos valores, a su vez son 4.1 veces mayor a los permitidos por las normas en países europeos con similares características climáticas.

**Palabras clave:** Auditoría energética, hermeticidad, comportamiento del usuario y termografía.

### **INTRODUCCION**

Diversos estudios han analizado, identificado y clasificado las características constructivas, energéticas y térmicas de viviendas unifamiliares y multifamiliares de la Argentina, aplicando criterios tipológicos (Rodríguez, Martini y Discoli, 2012; Rosenfeld y Czajkowski, 1992). En ellos se ha detallado que las características de las viviendas representativas no cumplen con los niveles mínimos de habitabilidad establecidos por Norma IRAM 11.605. La falta de aislaciones térmicas en la envolvente, el comportamiento de los usuarios, y el uso masivo de calefactores de baja eficiencia (Juanicó y González, 2008), explicarían los altos consumos. Otros autores también encontraron muy altos consumos de gas natural en calefacción en viviendas en diferentes regiones tales como La Plata (Czajkowski et al., 2003; Vagge, Czajkowski y Filippín, 2008), La Pampa (Filippín, Flores Larsen y López Gay, 2008), Río Grande (Díaz y Czajkowski, 2006) y Comodoro Rivadavia (Mercado, Esteves y Filippín, 2008). En todos los casos, se verificó la ausencia de aislaciones térmicas en los componentes de la envolvente. Los antecedentes evidencian una problemática recurrente, independientemente del clima en el que se emplazan las viviendas, justificando en consecuencia un potencial de mejora de hasta 75% en reducción del consumo (Filippín, 2005).

<sup>1</sup> Becaria Interna Doctoral CONICET.

<sup>2</sup> Investigador en el Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO, UNSa – CONICET)

<sup>3</sup> Investigador Independiente CONICET

La secretaría de Energía estimó en el año 2010 que, en el caso del gas natural, el mayor consumo se destina a la calefacción de los hogares, y luego al calentamiento de agua (calefones y termo tanques). Ambos consumos representaban aproximadamente el 90% de la demanda del recurso en el sector. Posteriormente otro lado, en el año 2016 el Gobierno Nacional decidió aplicar un aumento tarifario del gas natural de red en un promedio del 203% de lo facturado en el mismo bimestre del año anterior para la categoría residencial, con topes de hasta un 400%. En los próximos años se prevé aplicar revisiones semestrales, con el objeto de arribar a un nivel de subsidios cero<sup>4</sup> en el año 2022. Los exponenciales aumentos, junto con la alta dependencia del combustible en el sector, principalmente en el período invernal, plantean un panorama alarmante a la hora de mantener las condiciones de confort y habitabilidad requeridas en las viviendas. Esta situación genera un problema socio-energético preocupante, principalmente en las zonas con climas rigurosos como son las zonas bioclimáticas frías y muy frías (IRAM 11603, 1996).

Teniendo en cuenta el escenario actual, se advierte que el sector residencial posee un gran potencial de ahorro energético, manteniendo una buena habitabilidad, por lo cual se considera prioritario analizar estrategias para minimizar la demanda relacionada con el consumo, principalmente de fuentes fósiles, así como reducir sus consecuencias ambientales. Para ello, se considera prioritario mejorar la eficiencia de la envolvente de la edificación existente, promoviendo la conservación de la energía y el uso eficiente del recurso, con niveles normados de habitabilidad.

El trabajo se desarrolla en el marco de una tesis doctoral<sup>5</sup> denominada “Evaluación de técnicas de reacondicionamiento de la edificación residencial existente en climas fríos; caso de estudio: Ciudad de San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina”. Teniendo en cuenta los antecedentes y el contexto socio-energético/tarifario actual, el estudio se focaliza en un universo representativo de viviendas “tipo” de la región y tecnologías difundidas en el proceso de construcción. Para ello se analizó en trabajos previos el parque edilicio definiendo e identificando viviendas tipo, tecnologías y su evolución en diferentes cortes históricos (Andersen et al., 2016).

#### *Caso de estudio*

El estudio se realizó en la localidad de San Carlos de Bariloche, la segunda ciudad con mayor población de la región patagónica según el censo 2010. Según la clasificación bio-ambiental de la República Argentina de la Norma IRAM 11603, está ubicada en la zona IV “Muy fría”, con 3.475 GD18°C. El área urbana de Bariloche aloja aproximadamente a 120.000 habitantes, en unas 40.123 viviendas (INDEC, 2010). Según estudios llevados a cabo en el grupo de investigación, 83% de las viviendas son privadas; el 70% no comparten medianeras; y el 48% tienen dos pisos. El material predominante usado en paredes es de ladrillo cerámico hueco sin aislación térmica, cuya tecnología representa al 41% de los hogares. También se determinó que las viviendas que más consumen por metro cuadrado son aquellas expuestas y de menor tamaño (Andersen et al., 2016), siendo los requerimientos energéticos anuales de 196 GJ/año (4800 m<sup>3</sup> de gas y 2300 kWh eléctrico) para una vivienda promedio de 99,7 m<sup>2</sup> principalmente para calefacción (González, Crivelli y Gortari, 2006).

Del total de la edificación de S. C de Bariloche, el 12% corresponden a viviendas sociales construidas por planes FONAVI desde el año 1975, con una presencia de 3991 viviendas tipológicamente similares. Dada su representatividad tipológica y tecnológica, su análisis permitirá inferir mejoras tecnológicas que aporten al ahorro energético del sector residencial.

El trabajo aborda un análisis integral del comportamiento de una vivienda del “Barrio 645 viviendas” en su estado actual implementando un monitoreo termo-energéticos durante el período invernal. Se profundiza en el conocimiento relativo a las infiltraciones reales; y se realiza un estudio pormenorizado de la percepción de los residentes en cuanto al uso de la vivienda. De esta manera se podría pre dimensionar el potencial de ahorro real y eficiencia energética respecto a las medidas de

---

<sup>4</sup> Boletín Oficial, resolución 212 07/10/2016. Ministro de Energía, Juan José Aranguren

<sup>5</sup> Andersen, M. Tesis doctoral CONICET. Tema: “Evaluación de técnicas de reacondicionamiento de la edificación residencial existente en climas fríos; caso de estudio: Ciudad de San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina”.

mejoramiento en las tecnologías de la envolvente y su materialidad, así como entender y repensar sus modos de ocupación; minimizando de esta manera las demandas energéticas requeridas.



Figura 1: Ubicación geográfica de la vivienda estudiada en la ciudad de San Carlos de Bariloche, Barrio 645 Viviendas.

El emplazamiento del barrio presenta una emergencia energética de gran magnitud, dado que no cuenta con acceso a la red gas natural por no estar finalizadas las obras del Gasoducto Cordillerano que abastece a toda la localidad. Para subsanar el problema, la provincia de Río Negro entrega 4 Cilindros gratuitos de gas propano de 45 kg de manera mensual, siendo el costo de esta solución provisoria más de 2 millones de pesos por mes (Diario ANB), situación que se mantendrá al menos hasta fines del 2017. Por el otro lado, en el estudio de campo se verifica que la tipología seleccionada para su análisis corresponde a una de las tres tipologías de mayor representatividad entre las viviendas sociales. Esta característica hace que dicho análisis permita obtener resultados con un alto nivel de representatividad y puedan ser replicados en un parque edilicio mayor.

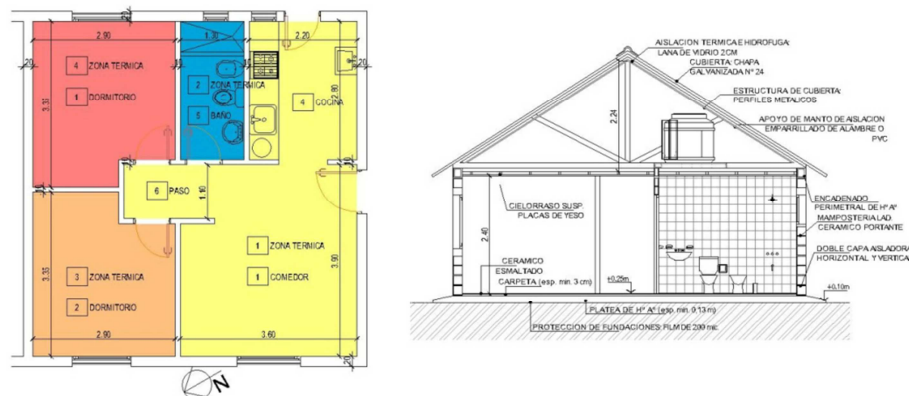


Figura 2: Planta de arquitectura de la vivienda junto con corte crítico.

En la Figura 2 se observa la planta y el corte de la vivienda seleccionada que se encuentra apareada por la medianera Este. Posee una superficie cubierta de 50 m<sup>2</sup> de planta, con dos dormitorios, un baño, una cocina y un living comedor. El volumen es de 163.2 m<sup>3</sup>, y se destacan su reducido Índice de compacidad (Mascaró, 1983) de 35 %; su alto Factor de exposición (Czajkowski y Gómez, 1994) de 0.82. Estos indicadores generales afectan negativamente el confort térmico, dado su alto nivel de disipación térmica, influenciando fuertemente el consumo energético de la vivienda. La envolvente vertical es de ladrillo hueco de 0.18 m de espesor sin aislación; el piso está conformado por una estructura resistente de platea de hormigón, carpeta de nivelación y piso cerámico; y la cubierta está compuesta de una estructura liviana de acero, chapa aluminizada de perfil sinusoidal, lana de vidrio de 2,5 cm de espesor, ático ventilado y cielorraso suspendido de placa de roca de yeso de 1cm de espesor.

La vivienda posee dos equipos de calefacción, un tiro balanceado de 5000 Kcal/h en el living comedor y un tiro balanceado de 3500 Kcal/h en el dormitorio orientado al SO. Estos son utilizados durante 10 meses en el año y luego se mantienen en piloto, verificando un consumo para calefacción de 2293Kwh mensuales. Teniendo en cuenta que la provincia provee 4 tubos de 45 kg por mes a cada vivienda, independientemente de la demanda, no existe un registro veraz respecto al consumo y la disponibilidad de energía para otros usos tales como agua sanitaria y cocción.

En la Tabla 1 se expresan los valores de transmitancia térmica de la envolvente y su relación con los valores admisibles (IRAM 116051,1996). Se observa que los elementos de cubierta y de muro están por debajo del nivel propuesto por la norma, salvo algunas excepciones. Se realiza el cálculo de Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor (IRAM 11604, 1996) con renovaciones de aire por hora “n” igual a 2. Se observa que el valor G del edificio es 1.6 veces superior al  $G_{adm}$ . Esto implica una baja habitabilidad y justifica una alta demanda de insumos energéticos para mantener niveles básicos de confort térmico.

	K (I)		Transmitancia admisible (W/m2K)(2)			S		V (m3)	Qt (w/Km3)	Gviv(3) (w/Km3)	Gadm (w/Km3)
			A	B	C						
C1	1,6	Kcal/hm2K	<=0,26	>0,26<=0,67	>0,67<=1	61,6	m2	163	2,08	2,78	1,72
M1	1,54	Kcal/hm2K				82,7	m2				
M2	1,5	Kcal/hm2K				1,9	m2				
M3	1,38	Kcal/hm2K	<=0,3	>0,3<=0,8	>0,8<=1,39	8,1	m2				
M4	1,54	Kcal/hm2K				16,9	m2				
Vn	5,44	Kcal/hm2K				5,4	m2				
Pn	0,54	Kcal/hm2K				2,7	m2				
Piso	1,48	Kcal/h.m K				28,4	m				

Tabla 1: Valores de transmitancia térmica de cada elemento de la envolvente térmica del estado base, las perdidas térmicas por transmisión que representan y su relación con el Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor.

Los aspectos enunciados fundamentan la necesidad de implementar un análisis termo-energético exhaustivo de la vivienda a los efectos de dimensionar las potencialidades de mejoramiento de la eficiencia energética de la misma

## METODOLOGÍA

A través del relevamiento y de mediciones físicas se buscó obtener información de carácter cuantitativo y cualitativo respecto al comportamiento de los elementos constructivos y las condiciones ambientales mediante el uso de instrumental específico (Tabla 2). Se evaluó el estado base de la vivienda social, con el objeto de proyectar escenarios de comportamiento térmico a partir de la situación real, verificando y ajustando diferencias entre los locales que la compone y sus parámetros.

Se realizó una recopilación de las características constructivas, equipamiento y ocupación, implementando una encuesta detallada<sup>6</sup> y una entrevista personal. Esto permitió recabar aspectos relacionados con la percepción térmica; los horarios y actividades que se desarrollan en la vivienda; así como establecer las preferencias de usos de los espacios, junto con la recopilación de facturas de los servicios energéticos de energía eléctrica. En cuanto al monitoreo físico, se evaluó la temperatura exterior e interior, y humedad relativa en tres habitaciones (con Stations Data Loggers U12-012 HOBO desde el 26 de agosto al 22 de septiembre de 2016). Se corroboró la utilización de los materiales descriptos en la planimetría. Por otro lado, se realizaron ensayos de: i. Perdidas térmicas superficiales a través de imágenes termo gráficas utilizando una cámara FLIR C2, para la identificación de puentes térmicos y para hacer visibles los flujos de aire e filtraciones<sup>7</sup>; ii. Relevamientos de temperaturas en superficies de materiales expuestos (muros, carpinterías y pisos) utilizando un termómetro infrarrojo tipo K LUTRON modelo TM-909; iii. Relevamientos de humedad en superficies y puentes térmicos utilizando un medidor de humedad superficial DELMHORST BD-2100; iv. Nivel base de infiltraciones de aire a través de la utilización del equipo y software del Minneapolis Blower Door System Modelo 3; y v. se analizó de forma cualitativa los posibles puntos de infiltraciones de aire a través de la medición puntuales de temperatura y velocidad del aire utilizando un anemómetro de hilo caliente LUTRON modelo AM-4202.

<sup>6</sup> [http://www.e-encuesta.com/r/QDHRvq\\_2SM70buF3EDcy8g/](http://www.e-encuesta.com/r/QDHRvq_2SM70buF3EDcy8g/)

<sup>7</sup> Para realizar dicho ensayo, la vivienda fue calefaccionada con una estufa a gas con tiro balanceado varias horas antes de realizar las fotografías. La diferencias de temperatura interior exterior era de 20°C.

Exigencia	Parámetros/Indicador	Técnica /Procedimiento
Hermeticidad	Intercambios de aire por hora(ACH) a 50 Pa (1/h)	Determinación de hermeticidad mediante presurización con un ventilador (test blowerdoor) según ISO 6781:1883 modificada
Calidad del aire	Concentración de CO2, C ( ppm)	Monitorización de concentraciones de CO2 con Monitor portátil de CO2 marca Lutron modelo GC-2028
Confort higrotérmico	Temperatura del aire, Ta (°C)	Monitorización higrotérmica según protocolo definido con:Equipo HOBO Data Logger U12-012
	Humedad relativa del aire, HR (%)	Monitorización higrotérmica según protocolo definido con: equipo HOBO Data Logger U12-012
	Temperatura superficial exterior, Tse (°C)	Termómetro infrarrojo tipo K LUTRON modelo TM-909
	Temperatura superficial interior, Tsi (°C)	Termómetro infrarrojo tipo K LUTRON modelo TM-909
Confort lumínico	Niveles de iluminancia, I ( Lux)	Monitorización de iluminancia según protocolo definido con Data Logger U12-012
Termografía.	Temperatura superficial interior y exterior a través de imagen infrarroja	Cámara FLIR C2 y procedimiento de mediciones según la norma ISO 6781:1883 modificada
Ubicación en planta de instrumental:		

Tabla 2: Mediciones realizadas e instrumentos utilizados.

## RESULTADOS DE AUDITORÍA

### Entrevista.

El propietario de 34 años estuvo presente en su casa 65 horas en la semana y 48 horas el fin de semana. Cuando se le consultó en cuanto al confort interior en temporada invernal, él consideró que el ambiente era “cálido”, y que preferiría que se mantuviese “igual”; también percibía que era “húmedo”. En cuanto al movimiento de aire observaba “corrientes” y la calidad del mismo era “muy buena”. En cuanto a sus opiniones para la época estival, él consideraba que el ambiente era “cálido” y que lo preferiría un poco más frío. En cuanto a la humedad relativa, consideraba que la vivienda era seca; que el aire se encontraba quieto (sin corrientes), y que la calidad del aire era neutral.

### Registro de temperaturas y humedades.

Del monitoreo realizado en la vivienda en el período del 30/08 al 22/09 del año 2016 se obtuvieron las temperaturas y humedades relativas tanto de los locales principales (living comedor y dormitorio principal), como las exteriores. En base a las temperaturas exteriores se calculó un rango de confort. En figura 3 se observan las temperaturas y humedades registradas cada 15 minutos en dos locales interiores (living y dormitorio), el exterior y el rango de confort estimado para las temperaturas exteriores según el método de cálculo Thermal Neutrality Temperature que establece una banda de confort en función a la siguiente ecuación:

$$T(n) = 17.6 + 0.31 * Text \quad (1)$$

Los resultados del monitoreo indican que la temperatura media de la vivienda, bajo ocupación y uso intensivo se encuentra alrededor de los 26 y 28°C, con temperaturas promedio exteriores de 7.13°C. Se observan picos de temperatura interior de hasta 32°C, con muy bajas humedades relativas de entre 15% y 40%. Si bien se entiende que el concepto de confort es muy amplio y subjetivo, siendo ésta una sensación compleja, dependiente por un lado de la sensibilidad de cada persona, así como de la actividad que desarrolla a partir de factores físicos, fisiológicos, sociológicos y psicológicos, en donde el cuerpo humano se siente cómodo y en equilibrio con su entorno, podemos observar que las temperaturas registradas en los espacios interiores son superiores en 8.6°C y 6.5 °C a la temperatura de confort calculada. Analizando las curvas se pueden observar caídas abruptas de temperatura, producto probablemente a una abertura de ventana para refrescar. Del registro de temperaturas sumado a la simple observación del usuario que se encuentra vestido en un alto porcentaje del tiempo con remera o camisa, se puede inferir que hay un sobre consumo producto del uso.

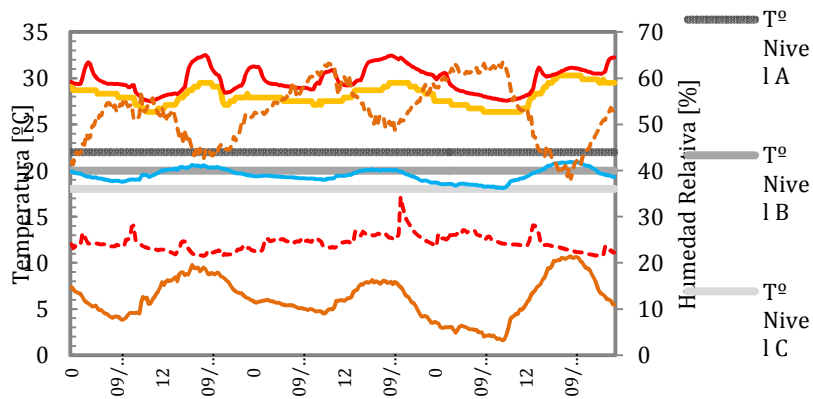


Figura 3: Temperaturas y Humedades relativas relevadas en período 03/09 al 05/09 del año 2016 tanto interiores como exteriores y rango de confort en relación a temperaturas exteriores reales por Thermal Neutrality Temperature<sup>8</sup> y niveles admisibles por normas IRAM.

#### Hermeticidad al aire.

El método consiste en generar una diferencia de presión constante entre el interior y el exterior del edificio u/o recinto mediante el quipo Blower Door (Figura 4). Este es un ventilador dispuesto en un bastidor puerta que reemplaza a una de las puertas de acceso del recinto al momento de hacer las pruebas. Bajo condiciones de régimen se determina el caudal de aire, la presión diferencial, las temperaturas de entrada y salida y la velocidad de aire exterior. Información que es tomada y procesada por el equipo mediante un software. De este modo y con los datos que entrega el equipo, se construyen las características de caudal versus presión diferencial de la construcción, y mediante un software específico se determinan los coeficientes de permeabilidad al aire propios de la construcción.



Figura 4: Equipo Standard Model 3 Minneapolis en funcionamiento realizando el ensayo de presurización en la puerta de ingreso a la vivienda.

Para realizar el ensayo se cubrieron las dos rejillas de ventilación de la cocina con un film de polietileno de 100 micrones. Del ensayo a 50 Pascales se obtuvo:

V50: Flujo de Aire Airflow (m <sup>3</sup> /h)	2001.4 (+/- 0.1 %)	n50: Air Changes per Hour (1/h)	11.9
w50: m <sup>3</sup> /(h*m <sup>2</sup> Floor Area)	46.1	Volume: (m <sup>3</sup> )	163
Floor Area: (m <sup>2</sup> )	44.8	Surface Area: (m <sup>2</sup> )	195.9
Inside Temperature: (°C)	28	Outside Temperature:(°C)	8.1
Wind Class:	0 Calm	Air Leakage Coefficient (CL)	213,63
Exponent (n)	0,57162		

Tabla 3: Valores obtenidos por ensayo de presurización.

<sup>8</sup> Thermal Analysis, Comfort bands, Autodesk Ecotect Analysis 2011

Según se observa en la figura 5, el valor promedio de cambios de aire por hora en el local a 50 P.a. (n50) registrado en los ensayos de despresurización es de  $11.9 \text{ h}^{-1}$ . Se contrasta éste valor con los valores expuestos en la Línea base de hermeticidad al aire promedio según materialidad predominante en la envolvente para la edificación habitacional en Chile (Bobadilla, 2014) y se obtiene que el valor n50 para una vivienda similar es cercano al registrado en la vivienda ( $11.8 \text{ h}^{-1}$ ). Si a este valor se lo contrasta con exigencias de hermeticidad de países con similares características climáticas a la región analizada (clima muy frío) como lo es Suecia, Alemania, Austria, Eslovenia y Noruega el valor límite máximo es de  $3 \text{ h}^{-1}$  para viviendas con ventilación natural, representando el 23% del valor registrado en la vivienda auditada.

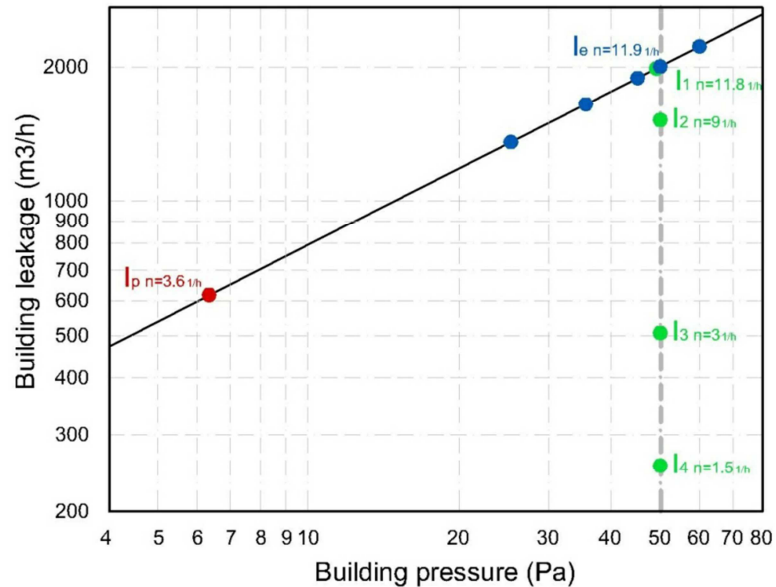


Figura 4: Curva de infiltración de la vivienda. Puntos azules: mediciones obtenidas, a 50 Pa equivalente a 11.9 Vol/h. Punto rojo: infiltración de la vivienda en m³/h a 6.35 Pa, presión de viento promedio para la localidad. Puntos verdes: I1= Vivienda en Albañilería de Ladrillo chilena, I2= Vivienda de hormigón, I3= Valor máximo de infiltración normado para una vivienda c/ventilación natural en Alemania y Austria, I4= Valor máximo de infiltración normado para una vivienda c/ventilación mecánica en Alemania y Austria.

*Identificación de puntos críticos de pérdidas térmicas por transmisión e infiltración.*

Con respecto a la identificación de las principales fuentes de fugas, se realizó una inspección térmica en el interior de la construcción con presión negativa y se realizaron dos ensayos:

Por un lado, se posicionó el anemómetro de hilo caliente LUTRON en bordes de carpinterías, puertas, encuentros entre cielorrasos y muros, en juntas entre paneles del cielorraso, encuentros con muros y piso. Se registraron mayores velocidades de aire y bajas temperaturas durante el ensayo en encuentros rendijas entre los distintos elementos que componen la envolvente de la vivienda en el siguiente orden:

1. Puerta – Piso
2. Paño carpintería – marco
3. Cielorraso – muro

Las mediciones con el anemómetro comprobaron que la corriente de aire entre dichos elementos llegaba a 6,44 m/seg, una velocidad muy alta teniendo en cuenta que se consideran “fuertes” a aquellos valores que superan los 2 m/seg. Estas falencias también se detectaron de manera cualitativa en los ensayos de termografía infrarroja, donde se observaron patrones característicos. En la figura 6 se visualiza, por ejemplo, cómo en los ángulos inferiores de la puerta de la cocina se infiltra el aire exterior a baja temperatura, y recorre una superficie significativa de piso y lo enfría.

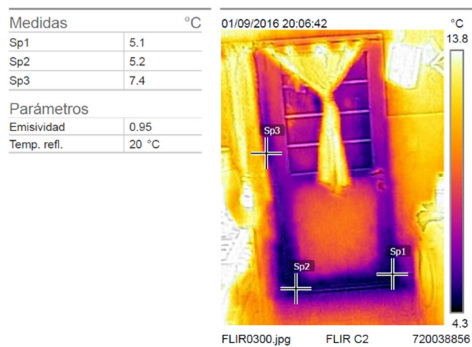


Figura 6: Mientras se realizaba en análisis de infiltraciones, se tomaron imágenes térmicas de las carpinterías. Se observa en la imagen un punto crítico de infiltración de aire desde el exterior en los puntos Sp1 y Sp2.

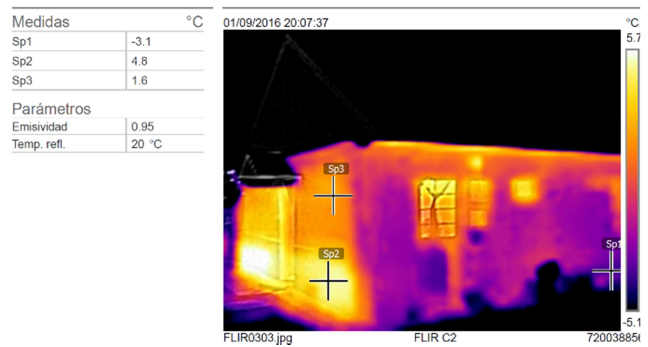


Figura 7: Imagen termográfica cara Sur.

La imagen de la figura 7 fue tomada en la fachada Sur de la vivienda. Se observa una muy baja temperatura en la parte media e inferior de los muros producto de la nula ganancia solar que recibe durante el día. Se aprecia un contraste considerable entre el muro de la fachada y los vanos. Se reconocen con claridad los diferentes elementos constructivos. Se observa una falta de homogeneidad en los componentes ciegos observando altas temperaturas en las carpinterías y puerta de la cocina, y luego en el alero de la cornisa se observa una línea clara, representando una determinante fuga de calor.

Con respecto a los muros y encuentros con veredas exteriores se observa en la figura 8 la transferencia de calor que se produce por la ausencia de aislamiento térmico, por conducción simple del material. En piso, las temperaturas aparentes registran valores de 6.2°C, a 2.8°C, y finalmente llegan a temperaturas cercanas a la del suelo de -2.7°C. Se evidencia la fuerte continuidad de la platea extendida unos 40cm desde el filo del muro exterior, generando un fuerte puente térmico en todo el perímetro de la vivienda. Se observa una significativa transferencia de calor por la banquina, producto probablemente de un problema de humedad por capilaridad del suelo hacia el muro, ya que no hay ningún tipo de barrera hidrófuga a nivel de fundaciones.

Para completar el análisis entre el encuentro muro-piso se realizó una simulación de puentes térmicos a través de la utilización del Software Therm 7.4. En la figura 8 también se observa la transferencia de energía desde el interior hacia el exterior. Se identifica el punto de mayor transferencia de energía en el encuentro de la platea con la vereda perimetral, con un valor de 356W/m<sup>2</sup>. La transferencia es excesiva tanto en las juntas de revoques (136.5W/m<sup>2</sup>) y en los ladrillos cerámicos huecos (92.6W/m<sup>2</sup>), todos sitios con alto riesgo de condensación (Figura 10).

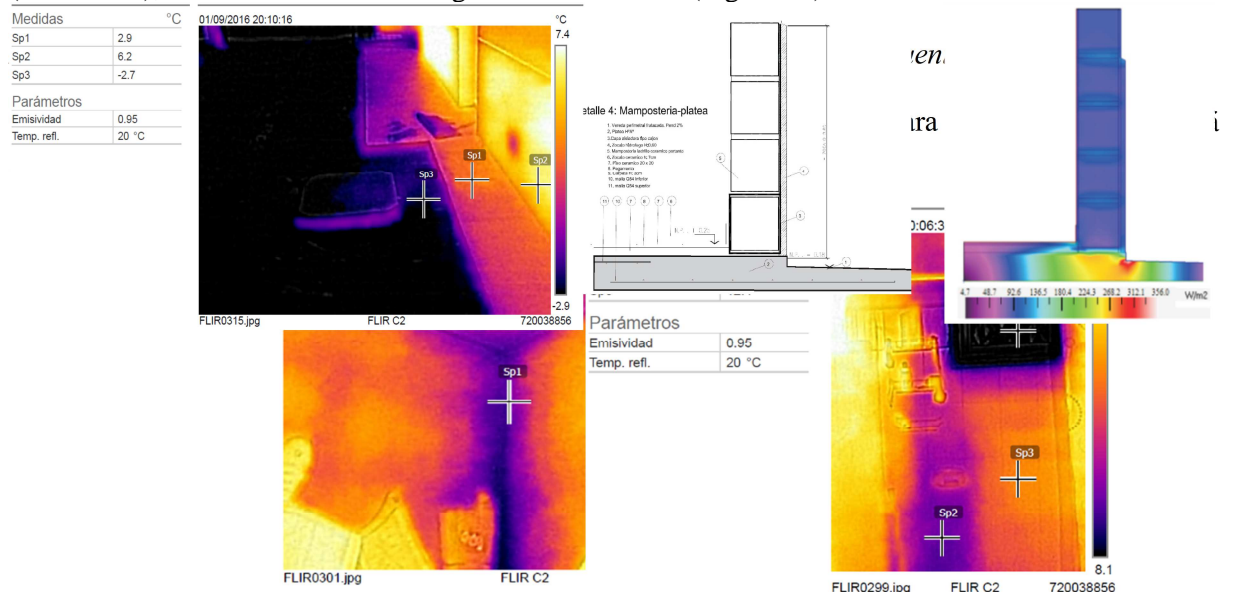




Figura 9: Imágenes térmicas de puntos críticos en el interior de la vivienda. Izq: esquina superior del dormitorio (cubierta/paredes). Der: Puente térmico por la columna de hormigón sin aislación térmica.

## PÉRDIDAS TÉRMICAS DE LA VIVIENDA EN ESTADO BASE

Teniendo en cuenta el relevamiento y las verificaciones paramétricas técnicas, de uso y físico-constructivas de la vivienda se evaluó el estado base de la vivienda, a los efectos de contar con una situación de referencia y a partir de ella proyectar escenarios de comportamiento térmico. Se analizaron las pérdidas energéticas producidas por infiltración al aire junto con las de transmisión a través de paredes, techos, pisos y aberturas, que se producen por la diferencia de temperatura existente entre el local a calefaccionar.

*Pérdidas térmicas por transmisión:*

$$Q_t = ((\sum K_m S_m + \sum K_v S_v + \sum K_r S_r + P_{er} P_r) * \Delta T) / 1000 = [Kw] \quad (2)$$

S = superficie neta (material homogéneo) del paramento [m<sup>2</sup>]

K = Transmitancia térmica [Kcal/h.m<sup>2</sup>K]

$\Delta T$  = Diferencial de temperatura interior exterior [C°]

V = volumen de aire al interior de la vivienda [m<sup>3</sup>]

*Pérdidas térmicas por infiltración:*

$$Q_v = ((\rho * c_{p \text{ aire}} * n * V * \Delta T) / 1000) = [Kw] \quad (3)$$

$\rho$  = densidad del aire = 1.13 [kg m<sup>-3</sup>]

$c_{p \text{ aire}}$  = calor específico del aire = 1005.79

$\Delta T$  = Diferencial de temperatura interior exterior

V = volumen de aire al interior de la vivienda [m<sup>3</sup>]

n = Cantidad de renovaciones de aire por hora

Para llegar a un valor n específico del edificio auditado, se analizó la presión que generan los vientos predominantes (con sus velocidades y direcciones) sobre la vivienda utilizando la siguiente ecuación:

$$AP_w = 0.5 * C_p * \rho * U^2 \quad (4)$$

AP = presión inducida por el viento [Pa]

$C_p$  = coeficiente de presión <sup>9</sup>[adimensional]

$\rho$  = Densidad del aire [Kg./m<sup>3</sup>]

U = Velocidad del viento a la altura de referencia, usualmente tomada como la altura del edificio [m/s]

<sup>9</sup> El coeficiente de presión ( $C_p$ ) es un parámetro empírico y adimensional que toma en cuenta los cambios en la presión inducida por el viento causada por la influencia de las obstrucciones del entorno sobre las características del viento local prevaleciente. Su valor está influenciado por un gran rango de parámetros, y aunque es prácticamente imposible considerarlos a todos en su compleja variación, ya que cambia en relación a la dirección del viento, orientación del edificio y topografía y rugosidad del terreno en la dirección del viento, diversos estudios experimentales se han realizado para determinarlo en circunstancias puntuales. Para el cálculo del  $C_p$  del caso se utilizó la tabla de  $C_p$  para un edificio expuesto de relación entre largo y ancho 2:1 a 45° de inclinación del viento desarrollada por el AIVC (Air Infiltration & Ventilation Center), obteniéndose un  $C_p$  promediado de 0.137.

Los valores de viento fueron tomados de las Estadísticas Climatológicas 1951 - 1980 Serie B Nro 6 para la localidad de Bariloche, de la Fuerza Aérea Argentina Comando de regiones Aéreas. Se obtuvo que el viento proviene en un 45% del año del oeste y el promedio de velocidad anual es de 11.6Km/h, a esa velocidad se le realizó la corrección ya que en los aeropuertos se obtiene la medida a 10m sobre el suelo y en éste caso se considera a 3m:

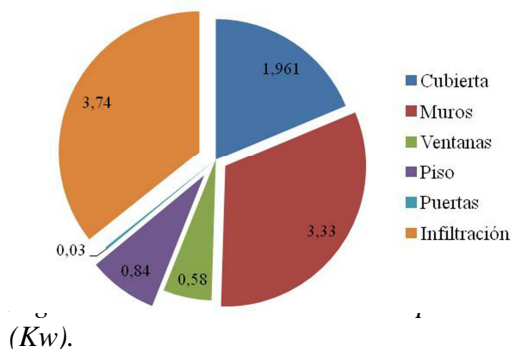
$$v(z) = v(z_0) \left[ \frac{z}{z_0} \right]^\alpha \tag{5}$$

$v(z)$  = velocidad del viento a una altura  $z$  [m/s] = 3m  
 $v(z_0)$  = velocidad del viento a una altura de referencia [m/s] = 10m  
 $\alpha$  = exponente que depende del terreno (Edificio expuesto = 0.17)<sup>10</sup>

Se obtuvo que la velocidad a altura del edificio promedio es de 9.1Km/h, representando una presión de viento de 6.35 Pascales, significando 3.6 renovaciones aire por hora, como se encuentra expuesto en la curva de infiltración de la vivienda en la figura 4.

Mediante el cálculo anterior se puede observar que las pérdidas por infiltración tienen una fuerte presencia en las pérdidas totales en la vivienda, representando el 35.7% de las pérdidas totales, valor cercano a la pérdida por transmisión de muros (31.8%).

Se realizó el análisis termo-energético basándose en el procedimiento establecido por la Norma IRAM 11.604 para el cálculo del coeficiente volumétrico  $G$  de pérdidas de calor, modificando el valor de las renovaciones "N" de 2 propuesto por la norma, con el valor obtenido por auditoría y se lo contrasta con los valores máximos admisibles ( $G_{adm}$ ) fijados para una vivienda con requerimientos de calefacción de 3.475 GD (temperatura base = 18°C). Se obtiene que el  $G$  de la vivienda equivale a 3.35 w/Km<sup>3</sup>, superior en un doble al admisible para la localidad de 1.72 w/Km<sup>3</sup>. En la figura 10 se observa el porcentaje de pérdida la energía a través de los diferentes componentes de la envolvente.



misión e infiltración.  $Q_{indv}$ : pérdidas térmicas individuales

Aun tomando en cuenta el hecho de que se está manejando datos teóricos de transmisión de los materiales (es muy difícil que toda la envolvente posea la misma transmitancia térmica). Los valores obtenidos nos permiten determinar que para mejorar el desempeño térmico del local no se debería sólo incrementar la aislación térmica sino controlar las pérdidas por infiltración. Para ello es indispensable utilizar materiales que favorezcan la hermeticidad del recinto y realizar un estricto control de ejecución de obra para reducir la mayor cantidad de resquicios y grietas donde pueda haber fugas de aire. Mejorando la resistencia térmica de la envolvente y hermetizando la vivienda se lograría mantener el aire acondicionado en el interior por períodos más largos y disminuir el consumo de energía en calefacción.

<sup>10</sup> Extraído de la tabla 5.1, pag.54, Ventilación natural de edificios, fundamentación y métodos de cálculo para aplicación de ingenieros y arquitectos, E. Yarke.

## CONCLUSIONES

El trabajo adoptó una tipología social considerada representativa del parque construido de S. C. de Bariloche. A partir de cuantificar su presencia en el parque residencial existente se seleccionó un caso para realizar un análisis detallado del comportamiento energético ambiental. El mismo está orientado a minimizar la demanda de energía en el sector residencial a partir de la implementación de estrategias que mejoren la eficiencia de la envolvente, en el marco de un plan masivo de reciclado edilicio urbano.

A partir de las mediciones y encuesta se evaluaron los puntos críticos en cuanto a pérdidas térmicas de la envolvente, los consumos y el comportamiento de los usuarios. Los resultados del monitoreo indicaron que la temperatura media de la vivienda, bajo ocupación y uso intensivo de calefacción (dos calefactores tiro balanceado), se encuentra alrededor de los 26 y 28 °C, con temperatura promedio exterior de 7.13°C. Dichos valores son muy superiores a los niveles de temperatura y confort propuestos tanto por normas IRAM, como por la banda de confort calculada por Thermal Neutrality Temperature. También se ha observado una baja estabilidad térmica en algunos ambientes, influenciados principalmente por hábitos asociados a aperturas e ventanas para refrescamiento en simultáneo con el uso de estufas. Estas acciones son determinantes a los efectos de ajustar comportamientos, ya que son concluyentes para la identificación de medidas que aporten eficazmente a las estrategias de eficiencia y reciclado energético en viviendas emplazadas en climas fríos. Se comprende que es indispensable que las futuras propuestas de mejoramiento, consideren los aspectos técnicos basados en estrategias aplicadas a los diferentes elementos constructivos o equipos de acondicionamiento; y los aspectos relacionados con los hábitos, requiriendo en consecuencia un planteo integral que incluya capacitación en cuanto al correcto uso de la vivienda.

Con respecto a las infiltraciones de aire, los valores registrados en la vivienda son similares a los obtenidos en viviendas de la misma materialidad en el sur de Chile; y siendo 4 veces mayor a los permitidos en países desarrollados con climas similares a la región patagónica.

En función de las diferencias detectadas entre las renovaciones de aire obtenidas en el ensayo del edificio tipo y la determinada por Norma IRAM 11.605 para el cálculo del  $G_{adm}$ , debemos reflexionar respecto a la necesidad de considerar a este parámetro con mayor precaución, dado que representa un fuerte impacto en el balance energético de los edificios. El caso analizado constituye un clásico ejemplo de tipología social, cuya patología se ve agravada ante la rigurosidad del clima respecto a otras zonas del país. La elección equívoca de los materiales y componentes, en el marco de un sistema contractivo habitual pero ineficiente con fuertes falencias respecto a la hermeticidad al aire, nos lleva a un deterioro en la calidad y eficiencia del ambiente construido. Tanto es así que puede plantearse a modo de hipótesis que los ejemplos de vivienda social construidos en climas fríos constituyen un claro ejemplo de ineficiencia energética, baja habitabilidad, y alto consumo en detrimento de las consecuencias ambientales y económicas. Si bien estos temas hoy día se encuentran instalados en la agenda colectiva de la sociedad, existe un gran desconocimiento a nivel profesional.

## REFERENCIAS

- Andersen, M., Martini, I., Díscoli, C.A. y Gaspari, J. (2016) Energy consumption and dwelling characteristics in households typology in the city of S. C. De San Carlos De Bariloche, Argentina. CESB16 Prague Sustainable Renovation of Existing Building Stock, pp. 25-32.
- Bobadilla, A., Figueroa, R., Díaz, M., Vargas, G., Arriagada, R., Espinoza, R. (en prensa). Establecimiento de línea base de infiltraciones de aire para la limitación de la demanda energética en edificios residenciales existentes. El caso de Chile. Informes de la Construcción.
- Díaz C., Czajkowski J. (2006). Auditorías energéticas en viviendas de interés social en Río Grande, Tierra del Fuego. AVERMA 10, 07.33-07.38
- Juanicó L., González A.D. (2008). Thermal efficiency of natural gas balanced-flue space heaters: measurements for commercial devices. Energy and Buildings 40, 1067-1073

- Kronvall, J. (1980). Correlating Pressurization and Infiltration Rate Data-Tests of a Heuristic Model. Lund Institute of Technology, Division of Building Technology, Lund, Sweden.
- Mercado V., Esteves A., Filippín C. (2008). Estrategias bioclimáticas en viviendas de índole social en Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina. AVERMA 12, 05.129-05.136
- Norma IRAM 11601, 11603, 11604 y 11605. Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Aislamiento térmico de edificios.
- Rodríguez, L., Martini, I., & Díscoli, C. (2012). Metodologías para el análisis del reciclado edilicio residencial orientado a la eficiencia energética: índice de elasticidad energético-económico. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 14, 05-51.
- Sherman, M. H. (1987). Estimation of infiltration from leakage and climate indicators. Energy and Buildings, 10(1), 81-86.
- Yarke, E., & Mermet, A. G. (2005). Ventilación natural de edificios. Ed. Nobuko, Buenos Aires, Argentina, 1ª edición, pp. 33- 36.

## **ABSTRACT**

The technology, the thermal and energetic behavior of a dwelling of the "645 housing" neighborhood, developed by the Institute of Planning and Promotion of the Housing (IPPV) located in the city of S.C. de Bariloche, are described. This neighborhood presents a major energy emergency, since the houses are located in the bio-environmental zone IV (very cold bioclimatic zone) and are not connected to the natural gas network due to the unfinished construction of the Cordillerano Gas Pipeline that supplies the whole location. The work allowed completing the panorama of energy performance of real dwellings through the use equipment to measure temperatures and humidity in the dwelling, an experimental characterization of the level of air infiltration using the Blower Door system, with the definition of the most critical thermal losses using thermographic camera. Similar values of airtightness were registered to those recorded in the Chilean baseline infiltration of housing construction, with a value 4.1 times higher than standards permitted by European regulations with analogous climatic characteristics.

**Keywords:** solar Audit, air tightness, user behavior, thermographic image