

# Habitabilidad térmica en las viviendas básicas de la zona central de Chile, a la luz de los resultados preliminares del proyecto FONDEF D00I1039 ▶ 1

**Pedro Sarmiento M.  
Nina Hormazábal P.**

En primer lugar se precisan las condiciones de bienestar térmico para la zona climática del país en la cual se realiza el estudio. Se define habitabilidad térmica en cuanto a las condiciones anteriores y a las características de uso de las viviendas. A diferencia de los criterios utilizados en países desarrollados se justifica dicho indicador debido, principalmente, a las condiciones climáticas y de utilización de la vivienda en nuestro país. Se utiliza como metodología la medición de registro de datos y se analizan sus resultados, dando a conocer valores preliminares de habitabilidad térmica de invierno de ocho viviendas y se discuten las perspectivas de su aplicación.

**Palabras claves:** bienestar térmico, habitabilidad, clima, zona central.

First of all, we will introduce the thermal comfort conditions for the climatic zone where the study was carried on. Thermal Habitability will be defined in relation to the specified climatic conditions and the specific characteristics of the housing typology. To measure housing energy consumption Thermal Habitability indicator appears as a different concept of the criteria used in developed nations; climatic conditions and the way housing industry has developed in Chile can justify the use of Thermal Habitability criteria. We will present the methodology used for the measurements collected in the dataloggers and the analysis of the obtained results. We will show the preliminary values for Thermal Habitability for eight residential units taken during wintertime and we will discuss further application of it.

**Key Words:** thermal confort, liveability, climate, central zone.

**1** ◀ Este trabajo ha sido posible gracias al aporte de FONDEF, Proyecto N° D00I1039. En cuyo proyecto están participando: E. Moreno y P. Colonelli de Fundación Chile; E. Haramoto, P. Jirón, L. Goldsack, A. Toro, O. Sepúlveda, I. Zapata, J. Larenas de la Universidad de Chile y H. Noll de la Cámara Chilena de la Construcción.

## ANTECEDENTES GENERALES

El presente artículo deriva del Proyecto FONDEF N° D0011039, titulado: "Determinantes estándares de habitabilidad para mejorar la calidad de la construcción en la vivienda en Chile"; y las consideraciones generales tomadas en cuenta se desarrollan a continuación.

### Bienestar térmico

Como es sabido, el concepto de bienestar térmico, del Inglés, "thermal comfort", se refiere a la sensación de bienestar físico de los seres humanos y que está influenciado por los factores que pasamos a analizar a continuación.

El factor más importante, pero no el único, es la temperatura del aire ambiente que rodea a la persona. En segundo lugar podemos enunciar la humedad relativa del aire ambiente.

En tercer lugar debemos referirnos a la temperatura de las superficies que rodean a la persona. Este último aspecto es importante por el mecanismo de intercambio de energía radiante entre el sujeto y las superficies circundantes.

La velocidad del aire ambiente, el tipo de vestimenta y la actividad realizada por el sujeto también juegan un papel importante en los aspectos analizados.

Para nuestro trabajo hemos utilizado los antecedentes recopilados por ASHRAE (1993).

Puede observarse en el diagrama de bienestar recién aludido, que el área que incluye el bienestar térmico requerido se encuentra a los 65 (°F) ó 18,3 (°C) como mínimo para invierno, si la humedad relativa es de 70 % y de 28,3 (°C) como máximo para verano, si la humedad relativa es de 40 %. Son estos valores los que hemos tomado como referencia, vale decir consideraremos que se cuenta con el bienestar térmico si la temperatura es igual o superior a 18,3 (°C) en invierno e igual o inferior a 28,3 (°C) en verano.

Téngase presente que en este diagrama se considera una velocidad de aire máxima de 25 (ft/min) ó 7,6 (m/min). Más importante aún es que en este diagrama se consideran temperaturas de superficies iguales a las del aire ambiente que se indican en la abscisa.

La situación en nuestro país de envolventes sin aislación trae como consecuencia paredes o cielos fríos en inviernos y cálidos en verano, lo que nos obliga a aclarar esta situación con los registros correspondientes.

Los valores de humedades relativas interiores también será necesario precisarlos para saber a qué atenernos.

Las condiciones climáticas conocidas de nuestro país respecto a la humedad relativa alta en invierno y baja en verano, nos indica probable incidencia secundaria en las temperaturas límites, aspectos que corroboramos más adelante.

Para tomar en consideración el efecto de las temperaturas de superficies hemos precisado el concepto de temperatura operativa, que se expone a continuación.

## Temperatura de superficies

Nos referimos a la de las superficies interiores de la vivienda que rodean al sujeto, tomando así en cuenta el efecto de intercambio por radiación.

Este efecto puede considerarse, según Neufert (1990), por medio de la temperatura operativa, siendo ésta la temperatura media del aire y las superficies circundantes.

El aspecto recién enunciado puede ser importante, pues sabiendo de la realidad constructiva de nuestras viviendas, especialmente la de la vivienda social, donde regularmente las superficies de la envolvente carecen de aislación térmica, lo que implica temperaturas de superficies interiores de intercambio con las personas, de valores inferiores al aire ambiente en invierno. A fin de ser considerada esta realidad, deberemos tomar en cuenta no sólo la temperatura del aire ambiente, sino que corregirla utilizando la temperatura de superficies interiores. El análisis de estos antecedentes nos recomendará el criterio definitivo a seguir.

## Habitabilidad y habitabilidad térmica

El grupo de estudio ha recopilado los diferentes aspectos a considerar en la habitabilidad de una vivienda. Del análisis de estos documentos queda claro que la habitabilidad térmica es uno de los aspectos relevantes de tomar en consideración y es sólo en éste en el cual nos concentraremos en esta presentación.

Proponemos definir habitabilidad térmica como la relación de las horas en que la vivienda entrega las

condiciones de bienestar térmico requerido en relación a las horas totales del período en estudio. Este concepto se podrá entregar en porcentaje y estará referido en nuestro caso a habitabilidad térmica de invierno y verano.

Como ejemplo, una vivienda con una habitabilidad térmica de invierno de 40 % nos estaría indicando que en el período de invierno, del total de 2184 horas, sólo 40 % de ellas entregaría las condiciones del bienestar requerido.

Cabe hacer notar que estos valores serán los primeros objetivos y experimentales determinados en el país y además nos permitirán poder hacer comparaciones legítimas entre viviendas. Con estos resultados podremos determinar también la influencia que ciertas mejoras constructivas tendrían efectivamente en las características de habitabilidad térmica de una vivienda.

Esto último sería una de las tareas a realizar en este proyecto, siendo un aporte al conocimiento y de posibles aplicaciones en el país.

Fissore (2001) ha realizado estudios (de circulación restringida) del comportamiento térmico de viviendas, por medio de modelaciones matemáticas, para el Instituto de la Construcción, en dicho estudio también resultados de interés se han presentado por medio de horas por año en que la vivienda ha tenido un comportamiento determinado.

Este indicador de "habitabilidad térmica" así propuesto, creemos es consecuente con nuestra realidad,

especialmente en lo relativo a la vivienda social o de bajo costo. En ésta, si las condiciones de bienestar no se logran, el usuario sufre las consecuencias, sacrificando en último término la calidad de vida.

Este concepto de habitabilidad térmica, aunque no se ha usado en el país, no es totalmente original, ya que conceptos similares fueron utilizados en la Universidad de California, Berkeley, por Arens (1984).

En los países desarrollados en cambio, si la vivienda no entrega la condición térmica requerida, es el sistema de climatización el que entra a operar para lograrla. En este último caso, la habitabilidad para la vivienda se mide en términos económicos, como por ejemplo la Energía Requerida Anual en (kW-h / m<sup>2</sup> año). Otro indicador de las características térmicas de la vivienda es el Coeficiente Volumétrico de Transmisión de Calor, G, (W / m<sup>3</sup>K), cuyo detalle de cálculo para nuestro país aparece en la Norma Chilena NCh1960.

Es claro que tanto la Energía Requerida Anual, como el Coeficiente Volumétrico de Transmisión de Calor y nuestra Habitabilidad Térmica arriba definida, estarán estrechamente relacionados entre sí.

### **Parámetros para determinación de la habitabilidad térmica e instrumentación**

Del párrafo anterior queda claro que para la obtención de la habitabilidad térmica es necesario contar con registros continuos de temperaturas del aire ambiente interior, de las superficies interiores circundantes y de la humedad relativa de la vivienda en estudio.

La influencia que cada uno de ellos tenga se podrá deducir de los análisis de la información que gradualmente se vaya recopilando.

La selección del instrumental y puesta en marcha de los equipos obedece a los criterios anteriormente expuestos. En este caso se han utilizado dataloggers Gemini de 0,2 (°C) de exactitud para los registros de temperatura y 3 % para los de humedad relativa.

### **Clima**

La Zonificación Climática Habitacional para Chile de la Norma Chilena NCh1079 entrega las referencias necesarias. Las ocho viviendas de este estudio preliminar se encuentran ubicadas en las zonas Central Litoral y Central Interior y en las ciudades de Santiago, San Felipe y San Antonio.

No obstante lo anterior el Proyecto FONDEF elaboró una sectorización más local y específica reconociendo 7 sectores al interior de las dos Regiones en que se realiza este estudio, vale decir la Región V de Valparaíso y la Región Metropolitana. El estudio, según nuestra sectorización, se localiza en los sectores Litoral Sur (LS), Valle Central Medio (VCM) y Valle Central Sur (VCS); y en ellas se ubican las ciudades de San Antonio, San Felipe y Santiago respectivamente.

El clima del sector Litoral Sur corresponde a uno marítimo con inviernos cortos y de lluvias importantes de 4 a 6 meses. El clima de los sectores Valle Central Medio (VCM) y Valle Central Sur (VCS), en cambio, corresponde a uno mediterráneo con insolación intensa en verano, diferenciándose en que en el

primero llueve menos y los extremos térmicos con sus respectivas oscilaciones diarias son más rigurosas que en el segundo.

### **Condiciones y períodos de registro**

Estudios similares a los que nos encontramos abocados se han realizado en viviendas vacías (UTFSM, 1993), ya que el comportamiento humano incluye tantas variables que no sería posible identificar cual de ellas sería la que está influyendo en el fenómeno en estudio.

Si se está midiendo temperatura del aire ambiente por ejemplo y la casa estuviera habitada, no sabríamos en qué medida la temperatura está influenciada por la envolvente y cuánto por el comportamiento de los habitantes, en cuanto a cocinar, lavar, abrir ventanas o utilizar calefacción. Similar incógnita tendríamos al medir temperaturas de superficies de cielo o paredes, o al medir la humedad relativa ambiente.

Todo lo anterior lleva a considerar la conveniencia de realizar los registros para determinar la habitabilidad térmica en viviendas sin sus habitantes, influyendo en la habitabilidad térmica por ahora solamente las características constructivas de la vivienda y el período a registrar. Consideraremos las estaciones extremas, vale decir el invierno y verano.

El día de noche más larga es el solsticio de invierno, en nuestro hemisferio el 21 de Junio, por lo que durante los días anteriores y posteriores a esta fecha las noches se acortan gradualmente. Si estimamos las estaciones de 90 días, es natural entonces afirmar que el invierno

se inicia 45 días antes de esta fecha y termina 45 días posterior a la misma, es decir, el invierno se inicia el 5 de Mayo y termina el 5 de Agosto.

Con criterio similar, si el día más largo en nuestro hemisferio es el 21 de Diciembre, el verano se iniciará el 5 de Noviembre y finalizará el 5 de Febrero.

En estos registros preliminares se han medido temperaturas y humedades relativas del aire ambiente en el living y dormitorio principal y temperaturas de superficie de pared y cielo.

El análisis de los registros obtenidos y que presentamos más adelante aconsejará los criterios a seguir.

### **Características constructivas de las viviendas**

Debido a las características de esta presentación no es posible entregar todo los detalles constructivos. Bástenos decir aquí que las viviendas sociales en Chile responden a una tipología de clasificación normada por el SERVIU. Para este trabajo se escogieron solo viviendas unifamiliar de no más de 52 (m<sup>2</sup>) y se consideraron solo dos tipologías, las que se construyen mayoritariamente en Chile:

Tipología C vivienda en altura, estas viviendas son parte de un edificio de departamentos con varias unidades de diferente superficie, cuya densidad varía dependiendo del proyecto particular. Cada departamento es de 1 piso con 1, 2 y 3 dormitorios respectivamente. Tipología B vivienda pareada en dos pisos. La mayoría de estas viviendas considera los

siguientes espacios como mínimo comedor-estar, cocina-loggia, baño y dormitorios, estos últimos van de uno a 3 máximo, y en ocasiones se entregan con tan solo un dormitorio con los tabiques divisorios instalados y el futuro propietario debe encargarse de instalar otros tabiques para dormitorios proyectados.

Cada bloque de departamentos, el que puede variar de 3 a 5 pisos de altura, y las viviendas pareadas de dos pisos de altura, se estructuran en un sistema constructivo denominado como "albañilería confinada", que consiste en una estructura resistente de pilares, vigas, cadenas y losa de hormigón armado rellena con muros exteriores en albañilería de ladrillo de arcilla de 14 cm. de espesor, generalmente sin revestimiento. Los tabiques interiores son de 7 a 10 cm. de espesor, pueden ser de estructura de madera o metálica, revestidos en planchas de volcánita; estos tabiques son huecos, entre las planchas de volcánita no se instala ningún material de relleno, ni aislación de ningún tipo. Las puertas son de placa de madera, huecas, y las ventanas de marco de aluminio y vidrio simple.

A modo de ilustración, la figura a continuación muestra una planta tipo de tres departamentos de Tipología C-2 dormitorios, vivienda en altura, construido bajo una licitación del SERVIU del año 1999, de un bloque de 3 pisos, del conjunto Raúl Silva Henríquez II ubicado en la Comuna de Cerrillos, Región Metropolitana.



**Figura 1.** Planta de una de las viviendas monitoreadas, (tipo C, Cerrillos, Región Metropolitana).

#### PROCESO DE MEDICION

Según los antecedentes expuestos, los registros para cada una de las ocho viviendas fueron los siguientes:

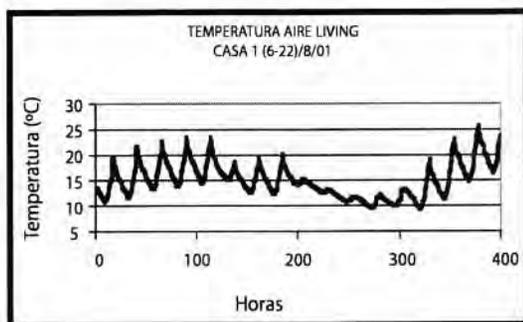
- Temperatura del aire ambiente del living.
- Temperatura del aire ambiente del dormitorio.
- Temperatura de la superficie del cielo del living.
- Temperatura de la superficie de muro de living.
- Humedad relativa del aire del living.
- Humedad relativa del aire del dormitorio.

También se registró la temperatura y humedad relativa del ambiente exterior para algunas viviendas. Esta medición exploratoria, cuyos resultados preliminares acompañamos, se realizó desde el 6 al 22 de agosto de 2001 principalmente. La última fecha varió en algunos casos.

Las instrucciones se dieron para registros horarios, es decir para 24 registros por día. Este número de registros, para el corto período considerado, según los valores a anotar y las viviendas involucradas, hace ascender el manejo a más de 17.000 datos.

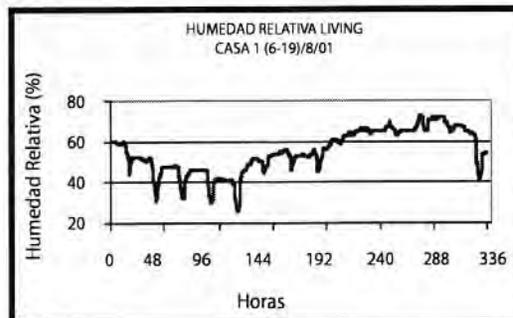
## PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

### Temperaturas y humedades relativas



**Figura 2.** Variación de la temperatura del aire ambiente del living de la casa 1.

La figura 2 adjunta presenta la temperatura del aire ambiente del living de la vivienda 1 durante el período



**Figura 3.** Humedad relativa del aire ambiente del living de la casa 1.

de registro. Puede observarse que hay períodos del día o días enteros en que la temperatura está bajo los 18,3 (°C), vale decir no alcanza a la temperatura mínima de bienestar.

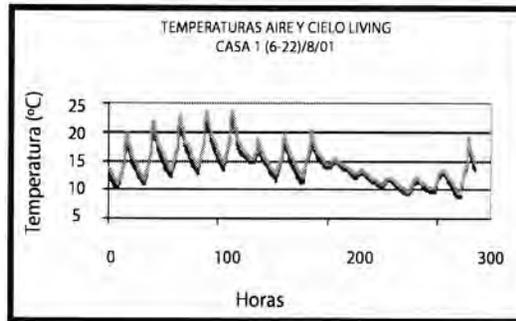
La figura 3 presenta la humedad relativa del aire ambiente del living de la casa 1 durante el período en análisis. Puede observarse que la humedad relativa alcanzó valores cercanos al 70%.

Los gráficos comparativos de humedad relativa de living y dormitorio, que no acompañamos indican clara coincidencia de sus valores.

Con el análisis de las figuras anteriores se puede comprobar que para las condiciones de invierno (aunque los registros se hayan hecho posteriormente al término del invierno) la temperatura del aire ambiente es el factor preponderante en la determinación del bienestar térmico. La humedad relativa no influye, al no sobrepasar los valores observados del 70%.

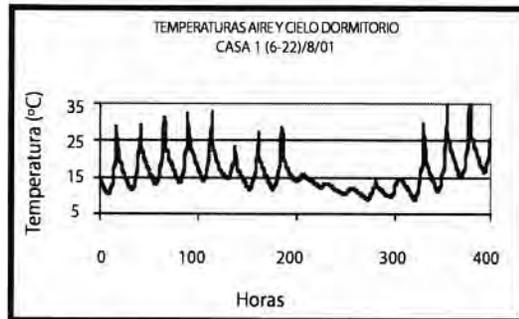
El leve incremento de la temperatura requerida para el bienestar cuando la humedad relativa es inferior al 50% no es considerada, sobre todo tomando en cuenta que en el invierno la baja temperatura no es coincidente en nuestro clima con baja humedad relativa.

### Temperaturas y resultados comparativos



**Figura 4.** Temperaturas comparativas de la superficie del cielo y del aire ambiente del living de la casa 1.

Puede comprobarse la coincidencia en la tendencia de valores de la temperatura del aire ambiente y de la superficie de cielo, aunque siempre la temperatura de la superficie es menor a la del aire ambiente.



**Figura 5.** Temperatura del aire del dormitorio de la casa 1.

Valor medio 15,7 (°C) del aire del dormitorio durante el período en análisis comparándolo con el del aire del living de 15,05 (°C), la diferencia es escasa, por lo que consideraremos sólo la temperatura del aire ambiente del living. Puede justificarse dicho criterio además, al observar la planta de la figura 1.

La temperatura media del cielo del living en cambio, de 13,7 (°C) en relación con la temperatura media del aire ambiente del living de 15,05 (°C) merece un análisis más cuidadoso.

Todo el análisis anterior aconseja en primera instancia considerar la temperatura del aire ambiente y la del techo del living como las más representativas de cada vivienda para las condiciones de invierno.

Los registros de pared no se analizan en esta presentación y tendrán aplicación en los estudios de condensación superficial e intersticial de muros a realizar más adelante.

Por otro lado, la razón de considerar eventualmente las temperaturas de superficie de cielo y no de pared en la habitabilidad térmica se refiere a los factores de forma que intervienen en el intercambio de energía por radiación.

### Habitabilidad térmica

Por todo lo anterior, cuando la temperatura del aire ambiente del living o la media del cielo y aire ambiente del living alcance o sobrepase los 18,3 (°C), consideraremos alcanzado el bienestar térmico mínimo para esa vivienda en invierno.

Determinaremos la habitabilidad térmica, HT, por lo tanto, según el porcentaje de horas de invierno en que la vivienda entrega esas condiciones.

Comprobaremos la diferencia que pueda existir en HT considerando sólo la temperatura del aire ambiente, como también considerando la temperatura del aire ambiente junto a la del cielo.

#### CONCLUSIONES Y RESULTADOS DE HABITABILIDAD TÉRMICA

Los valores obtenidos de Habitabilidad Térmica de las ocho viviendas estudiadas se incluyen en tabla adjunta, según los criterios anteriormente expuestos.

Los valores varían entre 0 a 12,2 % considerando sólo la temperatura del aire ambiente y entre 0 y 9,8 % considerando la temperatura del aire ambiente junto a la de la superficie de cielo.

Cabe hacer notar que es probable que estos valores sean aún menores al considerar el invierno en toda su extensión.

Una regulación futura podrá decidir que valor de habitabilidad es aceptable, ya que no existe un estándar disponible en la actualidad. El criterio, sin embargo, es racional e intuitivamente obvio, de tal manera que se puede utilizar para comparar condiciones de habitabilidad térmica de construcciones diversas o en términos absolutos.

Es pertinente destacar lo sencillo del concepto de habitabilidad térmica y que éste se podrá relacionar con las características constructivas.

Modelaciones matemáticas validadas permitirán en el futuro determinar la HT de diferentes viviendas y en distintas condiciones climáticas. Eventualmente también la HT se podrá relacionar con características deseadas de certificación de viviendas.

Los resultados de la HT para las ocho viviendas estudiadas y con las condiciones climáticas explicadas son las siguientes:

#### Habitabilidad Térmica %

CASA Nº	Considerando sólo t aire	Considerando t aire y t cielo
1	12,2	9,8
2	0,6	0
3	0	0
4	6,2	5,6
5	9,8	8,5
6	5,8	5,8
7	9,5	7,7
8	4,5	4,1

Se puede comprobar que en 6 de las 8 viviendas la HT es un 10 % menor al considerar la temperatura de cielo. Lo anterior haría legítimo utilizar sólo la temperatura del aire ambiente para la determinación de la HT. Cabe hacer notar que los grados-día de calefacción para San Antonio de casa 3 y 4 es de 239 y de San

Felipe de casa 1 y 2 de 247, perteneciendo así ambas localidades a Zona 3, según la Reglamentación Térmica del MINVU.

La diferencia en HT por lo tanto no está influenciada de manera importante por el clima, sino que por posibles aspectos constructivos y de orientación. Lo anterior se puede confirmar al comparar la HT de la casa 1 y 2, ambos en la misma zona climática pero con notoria diferencia en HT.

Tarea importante será desde ya identificar los aspectos arquitectónicos que explican esta situación.

## Reconocimientos

### BIBLIOGRAFIA

**ARENS, EDWARDS; BLYHOLDER, ANDREW; SCHILLER, GAIL** Predicting Thermal Comfort of People in Naturally Ventilated Buildings. En ASHRAE Transactions, V.90, Pt.1, 1984.

**ASHRAE**, Fundamentals, 1993.

**FISSORE, ADELKIS**. Estudio segunda etapa de reglamentación térmica. Instituto de la Construcción. 2001.

**NEUFERT, ERNEST**. Styropor-Handbuch, Wiesbaden, Alemania, 1970.

**UTFSM**, Evaluación Experimental del Programa de Incentivo al Acondicionamiento Térmico, Convenio Municipalidad de la Florida - Universidad Técnica Federico Santa María, 1993.