

Humedad por condensación, un problema recurrente en viviendas sociales*

Patricia Martínez / Wadir Urquieta

Escuela de Ingeniería de la Construcción, Universidad de Valparaíso

Pedro Sarmiento

Departamento de Mecánica, Universidad Técnica Federico Santa María

Resumen

En Chile, la construcción de viviendas sociales para reducir el déficit habitacional del país responde sólo a factores cuantitativos y deja en segundo plano los factores cualitativos que mejoran las condiciones de habitabilidad y el confort interior de las viviendas, entre los cuales se cuentan aspectos como aislamiento térmico, ventilación, control de humedad y del vapor interior, asoleamiento, por mencionar algunos, que afectan la calidad de vida de los moradores. La presente investigación se propuso determinar los factores que afectan el bienestar de las personas al interior de las viviendas sociales evaluando el fenómeno de condensación mediante mediciones en terreno y aplicación de encuestas a los habitantes. Posteriormente se analizaron los datos, se obtuvieron las conclusiones y se propusieron mecanismos de acción. El trabajo realizado permitió concluir que el fenómeno de condensación es un problema recurrente en las viviendas sociales, y que las causas principales son la alta humedad relativa del aire ambiente interior debido a malos hábitos de los usuarios, y las bajas temperaturas superficiales de muros y cielos con respecto a la temperatura de aire interior.

Abstract

In Chile, the construction of social houses for the reduction of housing deficit only responds to quantitative criteria and leaves aside the qualitative facts that improve the habitability and inner comfort, namely, thermal isolation, ventilation, humidity and inner steams control, sun exposure, etc., all of which affect the quality of life. This research postulates the factors affecting people's comfort in houses, by evaluating the phenomena of condensation with terrain measures, and with the help of polls among inhabitants. This data was analyzed, the conclusions were made and some solving actions were proposed. This work allowed us to establish the recurrence of condensation in social housing, which has as its main causes the relative humidity of the inner air due to bad habits of inhabitants, and the low superficial temperature of walls and ceilings with respect to the temperature of the inner air.

La humedad por condensación en las viviendas es causa y efecto de la generación de procesos orgánicos que atentan contra el bienestar o confort de los usuarios, deteriorando los materiales componentes de la vivienda y comprometiendo la salud de sus moradores.

La humedad en la vivienda tiene distintos orígenes y diferentes formas de aparición, según su ubicación y procedencia: de construcción, del suelo, atmosférica, de condensación y accidental (Bravo, 1987). Estas manifestaciones originan problemas de salud o incomodidad en las personas, daños y lesiones en la vivienda, favoreciendo el desarrollo de procesos patológicos tales como las eflorescencias en muros y pisos, la aparición de gérmenes que contaminan el ambiente, la corrosión y pudrición de elementos metálicos y de madera, así como la disminución del aislamiento térmico de la envolvente (Lotersztain, 1970).

De las diferentes formas de aparición de humedad, la condensación es un problema recurrente en viviendas sociales, fenómeno que se manifiesta a su vez de dos formas: si se produce en las superficies interiores de los muros se denomina condensación superficial (INN, 1987), y si ocurre dentro del mismo se denomina condensación intersticial (INN, 1988). En este artículo se aborda la primera de ellas, es decir, la condensación de tipo superficial.

*La presente investigación se realizó gracias al apoyo de los profesores Pedro Sarmiento y Nina Hormazábal, investigadores del Proyecto Fondef D0011039.

Descriptores:

Humedad; Condensación; Temperatura de superficie y punto de rocío; Vapor de agua al interior de la vivienda; Aislamiento térmico de la vivienda social

Básicamente, la humedad por condensación se produce a partir de masas de aire cargadas de vapor al interior de una vivienda que, al contacto con superficies frías, reducen su temperatura hasta el punto de rocío (Urquieta, 2004). Para calcular la temperatura o *punto de rocío* se debe relacionar la presión de saturación, la presión de vapor y la temperatura del aire interior. ASHRAE (1993) relaciona las 3 variables mencionadas a través de la siguiente fórmula:

$$T_{PR} = 6,54 + 14,526 \times \alpha + 0,7389 \times \alpha^2 + 0,09486 \times \alpha^3 + 0,4569 \times (P_v)^{0,1984} \quad (1)$$

Donde

- T_{PR} : Temperatura del punto de rocío (°C)
- α : Logaritmo natural de la presión de vapor
- P_v : Presión de vapor (Kpa)

En general, en una vivienda se presenta el fenómeno de condensación si la temperatura de rocío (T_{PR}), es mayor a la temperatura de superficie interior de la envolvente (T_{si}). En otras palabras, cuando $T_{PR} > T_{\text{si}}$.

Metodología experimental

El conjunto habitacional elegido para la realización de la investigación fue Las Palmas Chilenas I, de Viña del Mar, formado por 700 viviendas distribuidas en 19 bloques de 5 pisos cada uno (tipología C) y todos orientados en eje norte - sur. Para efectos del estudio se realizaron mediciones en 6 viviendas de la misma materialidad y con una superficie promedio de 46 m². Las viviendas sociales estudiadas fueron identificadas con un número correlativo, de 1 a 6. Las viviendas 1 a 4 corresponden a viviendas habitadas y las viviendas 5 y 6 se encuentran deshabitadas. La identificación de las viviendas, su estado y sus características, se presentan en el cuadro 1.

La finalidad de realizar los registros en condiciones habitada y deshabitada responde a conocer la influencia de la envolvente de la vivienda y cuánto influyó la presencia de los habitantes en relación con la generación de

vapor de agua al interior de la misma. En resumen, el estudio consideró dos aspectos para la evaluación: los hábitos de los usuarios y factores ambientales: temperatura superficial interior, temperatura ambiente y humedad relativa.

Para la evaluación del fenómeno de condensación en viviendas sociales se consideró en el plan de trabajo la utilización de dos instrumentos metodológicos, los que una vez aplicados y analizados fueron comparados entre sí. Los dos instrumentos metodológicos fueron encuestas y mediciones en terreno.

La encuesta diseñada y aplicada a los moradores de las viviendas consideró 30 preguntas y tuvo por objetivo determinar los hábitos o costumbres que poseen los habitantes y que inciden en la generación de vapor de agua al interior de las viviendas.

Por otro lado, para determinar el grado o porcentaje de condensación al interior de las viviendas, fue necesario registrar datos de temperatura ambiente, temperatura de superficie interna y humedad relativa. Para obtener las mediciones se utilizaron *Dataloggers*, que son microprocesadores de alta precisión con amplia memoria que permiten almacenar los datos adquiridos, además de registrar las fechas y horas de la toma de datos (ver figura 1). Las mediciones comenzaron el 1º de julio del 2003 a las 00:00 horas y concluyeron el 31 del mismo mes a las 24:00 horas. Los datos fueron registrados cada 1 hora, obteniendo un total de de mediciones de 745 horas por vivienda.

Resultados y discusiones

Las viviendas sociales en Chile regularmente carecen de aislación térmica en la envolvente, aspecto que potencia el riesgo de condensación, llevándolo a la condición de elevado (Sarmiento y Hormazábal, 2003).

Las causas de aparición del fenómeno de condensación se refieren a dos factores primordiales: bajas temperaturas de las superficies con respecto a la temperatura del aire interior, que depende del aislamiento térmico de la envolvente, y alta humedad relativa del aire ambiente interior.

Cuadro 1
Identificación de viviendas sociales estudiadas

Identificación de viviendas	V-1	V-2	V-3	V-4	V-5	V-6
Orientación de ventanas	Oriente	Poniente	Poniente	Poniente	Poniente	Poniente
Ubicación de vivienda (piso)	1	1	5	5	1	5
Número de habitantes	4	3	4	3	0	0

Humedad relativa

La humedad relativa debe estar dentro de ciertos límites para mantener un ambiente confortable e higiénico, en un rango entre 40% y 70% para que las condiciones de habitabilidad sean aceptables (INN, 1987). Una humedad relativa que sobrepase 70% implica un riesgo de formación de condensación, es decir, puede o no generarse el fenómeno, pero lo que sí ocurre es la aparición de hongos al interior de la vivienda, aspecto que atenta contra la salud de los habitantes.

Al comparar el gráfico 1 (Vivienda 1) y el gráfico 2 (Vivienda 5), correspondientes a una vivienda habitada y a una deshabitada, respectivamente, se aprecia claramente que en la primera de las figuras el 70% de humedad

relativa fue sobrepasada durante la mayoría de las horas de medición (durante 569 horas de las 745 de registro, vale decir, en 76,4% del período medido). Mientras que del análisis del gráfico 2 se desprende que durante las 745 mediciones sólo hubo 100 horas de humedad relativa por encima de 70%, es decir, 13,4% del período medido, por lo tanto, la vivienda 5 posee menor riesgo de condensación que la vivienda 1.

El comportamiento de la humedad relativa interior de las restantes viviendas fue similar, es decir, mayor humedad interior en las viviendas habitadas. El cuadro 2 resume el porcentaje de humedad relativa registrado en cada vivienda y permite observar la notable diferencia del porcentaje de humedad durante las 745 horas de medición.

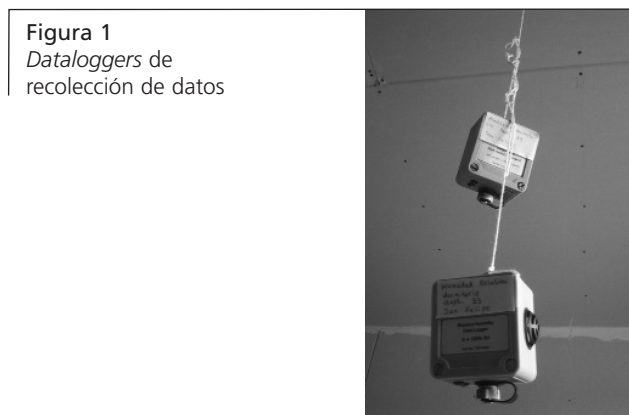


Figura 1
Dataloggers de recolección de datos

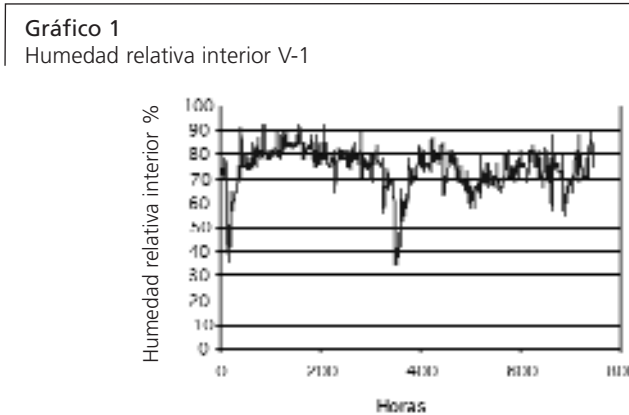


Gráfico 1
Humedad relativa interior V-1

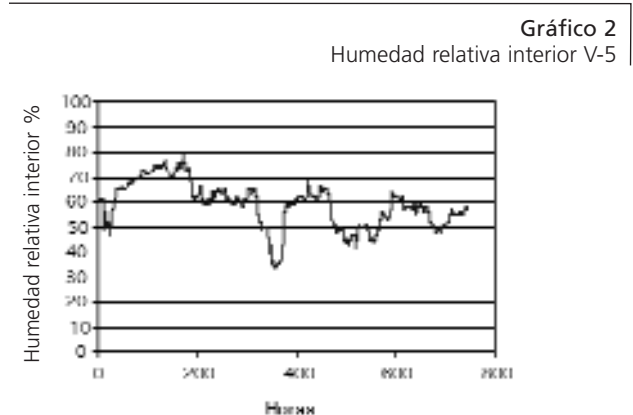


Gráfico 2
Humedad relativa interior V-5

Cuadro 2
Resumen de humedad relativa (HR)

Identificación	Estado	Horas de HR > 70%	% de horas HR > 70%
V-1	Habitada	569	76,4
V-2	Habitada	684	91,8
V-3	Habitada	653	87,7
V-4	Habitada	302	40,5
V-5	Deshabitada	100	13,4
V-6	Deshabitada	186	30,0

La gran diferencia en los porcentajes radica en las fuentes de humedad que son producidas por los usuarios al interior de las viviendas, como el lavado de platos con agua caliente, la cocción de alimentos, las duchas, factores todos productores de vapor de agua, y además por un mal uso de la vivienda debido, por ejemplo, a secar la ropa dentro de las habitaciones, al uso de recipientes con agua sobre estufas y, sobre todo, por una mala o nula ventilación de los ambientes interiores.

Temperatura de rocío y grado de condensación

Como se indicó más arriba, cuando la temperatura de rocío (T_{PR}) sobrepasa a la temperatura de superficie de los muros (T_{su}), se produce el llamado *fenómeno de condensación superficial*. El incremento de la humedad relativa interior (HR) genera un alza de la temperatura de rocío aumentando el riesgo de condensación, ya que ésta puede sobrepasar a la temperatura de superficie. Los gráficos 3a y 3b, ambos de la vivienda 1, muestran los registros de temperatura de superficie y temperatura de rocío versus las 745 horas de medición.

Si se observa el gráfico de humedad relativa de la vivienda 1 (gráfico 1) y el gráfico que refleja la temperatura de rocío de la misma vivienda (gráfico 3a), se aprecia la similitud que existe entre ambas curvas, de donde se desprende que la temperatura de rocío está influenciada mayormente por la humedad relativa interior, con lo cual se explican los descensos que se producen en la curva de temperatura de rocío del gráfico en cuestión. Esta alza de humedad relativa, y por ende de la temperatura de rocío, ocurre en las horas del día en que la vivienda se encuentra con mayor actividad productora de vapor de agua, como lo es el período de cocción de alimentos y de secado de ropa al interior de la vivienda, por mencionar algunos.

El gráfico 4a muestra las curvas de temperatura de muro y temperatura de rocío de la vivienda 2, donde se observa que la temperatura de rocío se mantuvo al borde de la temperatura de superficie de la pared interior, concretando condensación sólo en ocasiones puntuales.

Esta vivienda, durante las 745 horas de registro, tuvo presente el fenómeno de condensación en 38 horas, por lo que se habla de 5,1% de condensación durante el mes de medición. Al analizar los datos se

Gráfico 3a
Temperatura superficie y rocío V-1

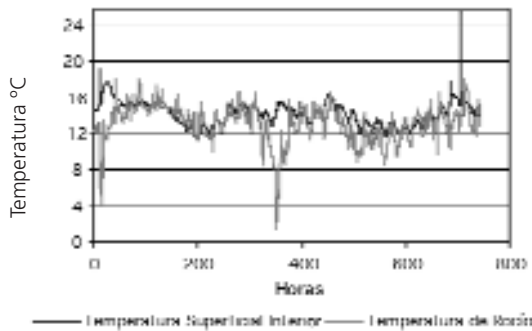


Gráfico 4a

Temperatura superficie y rocío V-2 durante el cual se concentró la mayoría de los períodos de condensación

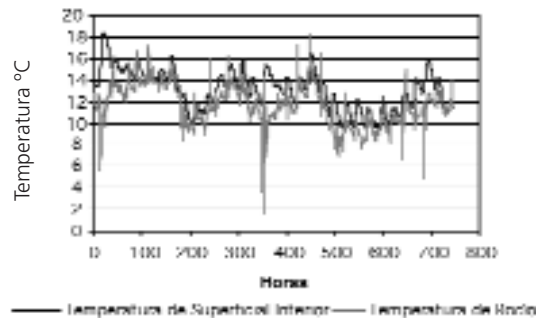
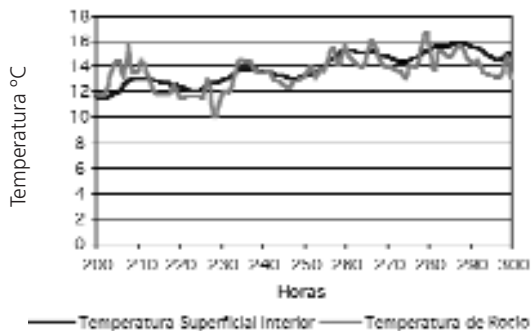


Gráfico 3b
Temperatura superficie y rocío durante las horas 200 a 300 en V-1



Nota:
Es posible observar que el fenómeno de condensación se presentó constante en la vivienda 1 durante los 31 días de registro, ya que la temperatura de rocío sobrepasó a la temperatura de superficie de muro durante 203 horas.

encontró un alza notoria y decisiva en la curva de temperatura de rocío entre las 12:00 y 15:00 horas durante todo el mes de medición.

Los gráficos 4b y 4c muestran la condensación que se produjo en la vivienda, entre las 12:00 y 15:00 horas durante los días 4, 5, 20 y 21 de julio, precisamente horario en el que se realiza el almuerzo en esta vivienda, según información entregada por los propios usuarios, y durante el cual se concentró la mayoría de los períodos de condensación.

Al observar los trazados de los gráficos 4b y 4c se aprecia claramente la secuencia durante las mediciones, al ascender bruscamente la temperatura de rocío entre los horarios señalados para luego mantenerse al límite con la temperatura de superficie interior.

Una de las fuentes generadoras de vapor de agua en una vivienda es sin duda la cocción de alimentos, el hervir agua en teteras y el recalentamiento de comidas, actividades que comúnmente se realizan al mediodía continuando hacia la tarde. Ese vapor de agua eleva la humedad relativa interior y con ella se eleva la temperatura de rocío, sobrepasando la temperatura de superficie y originando el fenómeno de condensación.

El gráfico 5a muestra las variaciones de la temperatura superficial interior y temperatura o punto de rocío de la vivienda 3. En él se aprecia que la temperatura de rocío se mantuvo al límite de la temperatura de la pared o superficie, logrando sobrepasar la temperatura del muro interior sólo en casos puntuales.

La vivienda 3, de 745 horas de medición tuvo 43 horas en las que se presentó el fenómeno de condensación, alcanzando 5,8%. Del análisis se extrajo que de las 43 mediciones que indicaron condensación, 28 de ellas se registraron entre los días 26 y 27 de julio, entre las horas 600 y 650 (en el gráfico 5b), esto es que más de 65% de condensación se produjo durante 2 días. No se cuenta con la información necesaria y precisa que dé respuesta a lo sucedido durante esos dos días, pero se puede deducir que, durante ese período, la actividad o el uso de la vivienda ya sea a través de la generación de vapor de agua, por calefacción inadecuada, o debido a la cocción de alimentos o excesivo número de personas en la vivienda, entre otras causas, fue suficiente para generar más de la mitad de la condensación que se produjo durante todo el mes de medición.

Gráfico 4b
Temperatura superficie y rocío durante los días 4 y 5 de julio en V-2

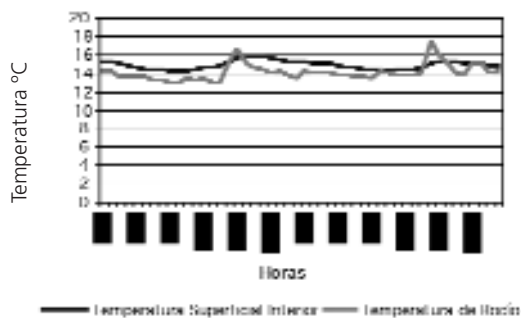


Gráfico 5a
Temperatura superficie y rocío V-3

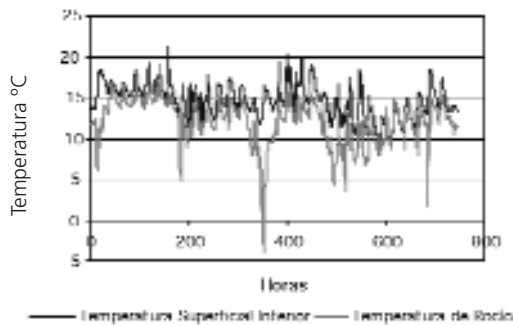
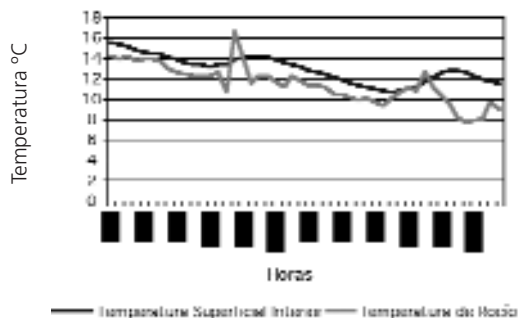


Gráfico 4c
Temperatura superficie y rocío durante los días 20 y 21 de julio en V-2



Esta vivienda también marcó una clara tendencia al alza de la temperatura de rocío en determinados horarios, contraria a la vivienda 2, donde el alza del punto de rocío se produjo al mediodía. Esta vivienda tuvo incrementos del punto de rocío alrededor de las 21:00 horas, tal como se aprecia en el gráfico 5c.

El aumento de la temperatura de rocío se debió a la realización de comidas durante el periodo nocturno, contraria a la vivienda anterior, donde la cocción de alimentos se realizaba al mediodía continuando hacia la tarde. Por lo anterior, alrededor de las 21:00 horas existió en la vivienda una cantidad de vapor adicional que influyó en el comportamiento de la humedad relativa interior, lo que produjo un incremento de la temperatura de rocío, la cual sobrepasa a la de superficie, en el horario señalado, y en forma continua.

Para finalizar el análisis de las viviendas habitadas se presenta el gráfico 6 que refleja el comportamiento de la temperatura superficial interior y la temperatura de rocío de la vivienda 4.

En la figura se aprecia claramente la diferencia entre la vivienda 4 y las viviendas anteriores en relación con las curvas de temperatura que indican condensación en las viviendas. A simple vista, sin análisis alguno, se deduce que el grado de condensación en la vivienda 4 fue mínimo ya que la temperatura de rocío sobrepasa a la de superficie sólo en dos oportunidades.

Las dos mediciones que indicaron presencia del fenómeno en la vivienda 4 se originaron a las 14:00 horas, lo que permite deducir que el fenómeno de condensación se produjo por un exceso de vapor de agua debido a la cocción de alimentos y quizás por una nula ventilación del recinto que recibió el vapor generado.

El análisis de datos de la vivienda 4 indicó que sólo se produjo 0,3% de condensación a lo largo del estudio. Este bajo índice de condensación concuerda con el análisis de la encuesta, ya que ésta indicó que la vivienda 4 sería la que menos grado de condensación tendría debido a las reducidas fuentes de generación de vapor de agua y al buen hábito de los habitantes de renovar todo el día el aire interior. Estas dos variables, renovación de

Gráfico 5b
Temperatura superficie y rocío durante las horas 600 a 700 en V-3

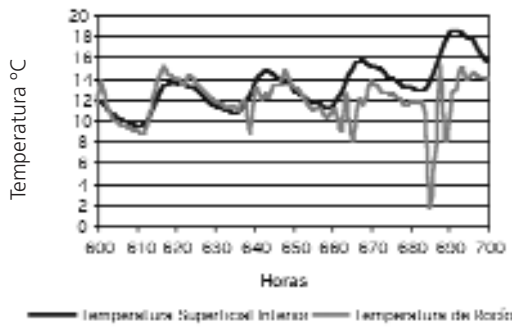


Gráfico 6
Temperatura superficie y rocío V-4

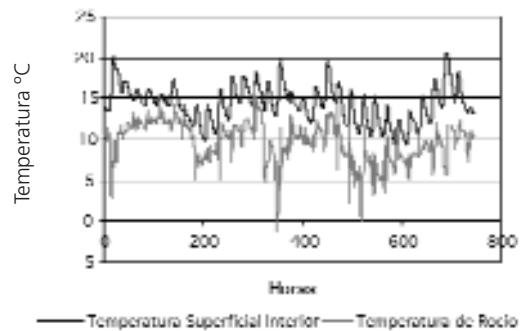
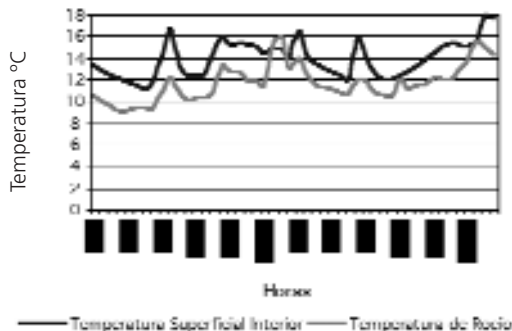


Gráfico 5c
Temperatura superficie y rocío durante los días 16 y 17 de julio en V-3



aire y reducidas fuentes de generación de vapor, permitieron mantener buenos índices de humedad relativa interior y no incrementaron la temperatura de rocío, evitando así el riesgo de condensación al interior de la vivienda.

A continuación se presenta el análisis de las viviendas 5 y 6 (gráficos 7 y 8) en lo que respecta a temperaturas de superficie y temperaturas de rocío, para evaluar si se produce el fenómeno de condensación en viviendas deshabitadas.

Claramente las variaciones diarias que presentaron las temperaturas de superficie y de rocío indican que no existió condensación en las viviendas 5 y 6. Al no haber fuentes generadoras de vapor de agua que alteren la humedad relativa interior, la temperatura de rocío se mantuvo siempre bajo la temperatura de superficie interior de la pared más desfavorable y que comunica con el exterior, logrando así que el riesgo de condensación fuese nulo.

Finalmente en el cuadro 3 se presenta un resumen del comportamiento de las viviendas analizadas o grado de condensación al interior de cada vivienda, indicando las horas de presencia del fenómeno durante la medición junto con sus respectivos porcentajes.

Conclusiones

El fenómeno de condensación superficial tiene su origen en el cambio de estado del vapor de agua contenido en el aire que se encuentra en las viviendas, pasando del estado gaseoso al estado líquido sobre las superficies interiores de los muros. Al haber una generación excesiva de vapor de agua al interior de las viviendas, y si los elementos que forman parte de la envolvente no están suficientemente aislados desde el punto de vista térmico de modo de evitar que sus superficies interiores tengan temperaturas inferiores al punto de rocío del aire, comienza el conocido fenómeno de condensación superficial.

La investigación permitió concluir que el fenómeno de condensación es un problema recurrente en las viviendas sociales, y que las causas principales son la alta humedad relativa del aire ambiente interior y las bajas temperaturas superficiales de muros y cielos con respecto a la temperatura del aire interior.

De acuerdo al análisis de encuestas y mediciones en terreno, los dos factores mencionados anteriormente —alta humedad relativa interior y temperaturas superfi-

Gráfico 7
Temperatura superficie y rocío V-5

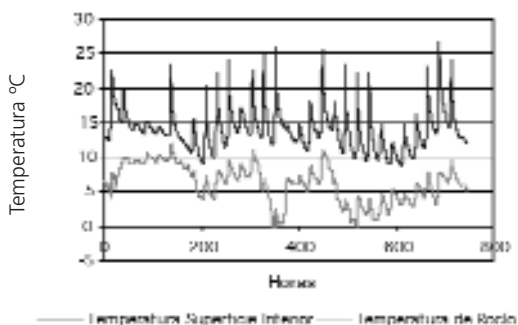
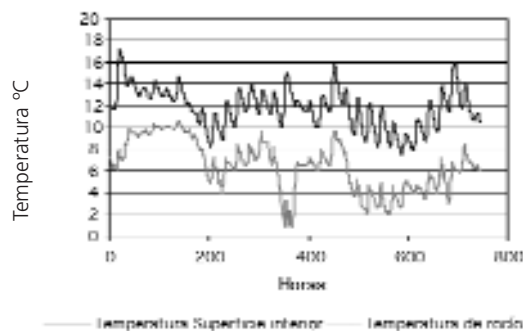


Gráfico 8
Gráfico 8. Temperatura superficie y rocío V-6



Cuadro 3
Resumen de grado de condensación

Identificación	Estado	Horas de condensación	% de horas condensación
V-1	Habitada	203	27,2
V-2	Habitada	38	5,1
V-3	Habitada	43	5,8
V-4	Habitada	2	0,3
V-5	Deshabitada	0	0
V-6	Deshabitada	0	0

ciales bajas— se originan principalmente por el excesivo vapor de agua al interior de las viviendas proveniente de calefacción inadecuada, cocción de alimentos, recalentamiento de comidas, duchas, secado de ropa, respiración y transpiración de los habitantes, entre otros factores, y se ven acentuados por una insuficiente renovación de aire de los ambientes interiores. Esto se comprueba al observar en las viviendas la diferencia en cuanto a las horas de condensación, lo que permitió concluir —junto con las encuestas— que los malos hábitos de vida de los moradores, en cuanto a la realización de actividades adicionales que generan vapor de agua, así como la nula renovación de aire provocan la aparición del fenómeno de condensación al interior de las viviendas. Tal diferencia fue notoria entre la vivienda 1 y 4, donde los adecuados hábitos de las personas que habitan esta última vivienda evitaron la aparición del fenómeno.

De los resultados de las mediciones en terreno y las encuestas se desprende la directa relación que existe entre la producción de vapor al interior de las viviendas, la deficiente renovación de aire y el fenómeno de condensación. Para la eliminación del vapor producido, principal causante del fenómeno, el sistema más eficiente y económico es la ventilación, que además cumple con la función de proveer aire fresco para cubrir la necesidad de respiración.

Por lo tanto, es asertivo decir que la cantidad de vapor de agua contenido en el ambiente interior es el factor más importante en la formación de las condensaciones. Estadísticamente, la suma de las fuentes normales (respiración y transpiración) y adicionales de producción de vapor al interior de una vivienda (calefacción, lavado y secado de ropa, duchas, entre otras) llegan a representar 11,42 litros de agua al día en un hogar donde habitan 4 personas. Las fuentes normales, transpiración y respiración, representan 50,4% del total de producción de vapor, contra 49,6% producido por fuentes adicionales (Bravo, 1987). La inadecuada o escasa renovación de aire

que permita la evacuación de la humedad relativa interior favorece que el fenómeno de condensación sea un problema recurrente en viviendas sociales.

En una vivienda, las fuentes normales causadas por la respiración y transpiración de las personas no pueden ser eliminadas, sin embargo, sí se puede controlar en gran parte el vapor producido por las fuentes adicionales que derivan de las actividades cotidianas de los usuarios, principalmente en baños y cocinas.

Vale recordar que otra causa del fenómeno de condensación es la baja resistencia térmica de los elementos de la envolvente, ya que la pérdida de calor en invierno depende de la resistencia térmica total. Cuanto menor este valor, mayor será la pérdida de calor y, en consecuencia, la temperatura superficial interior será también menor, incrementándose su diferencia con la temperatura del aire interior. En tales condiciones, es grande el riesgo de que la temperatura superficial alcance la temperatura de rocío y se produzca condensación. La acción preventiva consiste en evitar la pérdida de calor o disminuir el intercambio de calor entre el exterior (bajas temperaturas) y el interior (altas temperaturas). Esto se consigue de manera pasiva, incrementando la aislación térmica de la envolvente.

Las actuales viviendas sociales que se construyen en Chile poseen esencialmente muros de ladrillo y hormigón y carecen de aislación térmica, lo que implica valores de temperatura de superficies bajas con respecto a la temperatura del ambiente interior. Este aspecto debe ser analizado y considerado como factor importante al decidir sobre la materialidad de las viviendas sociales en Chile, entre otros aspectos, como son el tamaño de las viviendas con relación al número de habitantes que en ellas residen, variable no considerada en este estudio.

Todos los puntos antes abordados son esenciales y deben ser considerados como indicadores de la calidad de vida de las personas.

Referencias bibliográficas

ASHRAE (1993) *Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta G. A., Estados Unidos.

Bravo, L. (1987) *La humedad*. Facultad de Arquitectura, Universidad de Valparaíso. Valparaíso, Chile.

INN-Instituto Nacional de Normalización (1987) «NCh 1973 Of.87, Acondicionamiento térmico – Aislación térmica – Cálculo del aislamiento térmico para disminuir o eliminar el riesgo de condensación superficial». Instituto Nacional de Normalización, Chile.

INN-Instituto Nacional de Normalización (1988) «NCh 1980 Of.88, Acondicionamiento térmico – Aislación térmica – Determinación de la ocurrencia de condensaciones intersticiales». Instituto Nacional de Normalización, Chile.

Lotersztain, I. (1970) *Condensación de humedad en viviendas*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires, Argentina.

Sarmiento, P. y Hormazábal, N. (2003) «Habitabilidad térmica en las viviendas básicas de la zona central de Chile, a la luz de los resultados preliminares del proyecto Fondef D0011039», *Boletín Instituto de la Vivienda*.