

Uso Eficiente de la Energía en Edificios Habitacionales. Mejoramiento Térmico de Muros de Albañilería de Ladrillos Cerámicos. El Caso de Chile

Autores: **Waldo Bustamante***, **Ariel Bobadilla****, **Benjamin Navarrete***, **Gerardo Saelzer**** y **Sergio Vidal***

* Escuela de Construcción Civil.

Pontificia Universidad Católica de Chile.

** Departamento de Ciencias de la Construcción. Universidad del Bío Bío.

emails: wbustama@uc.cl, abobadil@ubiobio.cl, bnava@uc.cl, graelzer@ubiobio.cl, svidal@uc.cl

Fecha de recepción : 24/08/05

Fecha de aceptación : 12/09/05

Energy Efficient Use in Residential Buildings. Ceramic Brick Walls Thermal Improvement. The Case of Chile

Resumen

Este artículo presenta los resultados de la simulación de la demanda por calefacción en edificios habitacionales bajo régimen dinámico, cuando se utiliza en la ejecución de los muros de la envolvente ladrillos térmicamente mejorados. Un análisis numérico previo entregó como resultado una disminución del 20% de la transmitancia térmica de muros fabricados con ladrillos en los que se había modificado la geometría de sus perforaciones. Estos resultados fueron contrastados experimentalmente mediante ensayos de muros en una cámara de guarda. Los ladrillos fueron fabricados por una industria de Santiago de Chile, la que introdujo los cambios tecnológicos propuestos. La simulación realizada determinó que el uso de este tipo de ladrillos en edificios habitacionales permite un ahorro anual en calefacción entre un 4 y 13%. La simulación consideró diferentes tipos de climas y viviendas. Este artículo muestra en detalle los resultados mencionados, demostrando que es posible mejorar la calidad térmica de las viviendas sin incrementar los costos significativamente.

Cada año, alrededor de 100.000 viviendas se construyen en Chile. Más del 40% de estas casas se construyen con muros de albañilería de ladrillo prensado. En el país, las empresas del sector están preocupadas por el tema del mejoramiento de la calidad térmica de las viviendas, debido a que podría significar que los costos de construcción se incrementen.

Palabras clave: ladrillos cerámicos; estándar térmico de ladrillos.

Abstract

The paper presents simulation results in order to estimate residential buildings heating demand under dynamic conditions, when using thermally improved perforated brick walls. Previous numerical analysis in perforated ceramic bricks showed a 20% decrease in the U value, when the brick geometry of perforations were redesigned. These results are being contrasted with experimental measurements by means of a guarded hot box. After proposing this ceramic brick redesign, a manufacturing industry of Santiago (Chile) has already fabricated this type of bricks introducing the indicated technological innovation. Simulations supposing the use of this type of brick in wall residential buildings showed an annual energy saving between 4 and a 13%. These simulations considered different types of climates and dwellings. Paper will show details of the mentioned results anticipating for the country a better thermal quality of the houses without cost increasing.

Each year, around 100000 houses are built in Chile. More than 40% of these houses are constructed with perforated bricks. In the country, the private construction sector is firmly against the improvement of the thermal quality of buildings if it implies construction cost increasing.

Key words: ceramic bricks; brick thermal performance.

I.- INTRODUCCIÓN

En marzo de 2000 entró en vigencia la primera etapa de la reglamentación térmica de edificios en Chile (MINVU, 1999). Esta iniciativa fue impulsada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, como parte de una política orientada a mejorar la calidad de vida de la población. La primera etapa establece disposiciones para los complejos de techumbre; fija los valores de pérdida de calor unitaria máxima por zona climática en que se divide el país. La segunda etapa, que entrará en vigencia en el año 2006, regulará las exigencias de aislación térmica de muros, ventanas y pisos de edificios habitacionales. En una tercera etapa, a desarrollar e implementar en el mediano plazo, se fijarán requisitos de comportamiento global y de eficiencia energética al edificio.

La elaboración de la propuesta para la segunda etapa de la reglamentación térmica, sacó a la luz un problema de fondo que pone hoy en riesgo la aplicabilidad misma de la reglamentación térmica: la deficiente aislación térmica de gran parte del parque de viviendas en Chile y la necesidad de introducir modificaciones a los sistemas constructivos más utilizados en el país. En particular a la construcción en albañilería de ladrillo cerámico y de hormigón, la cual no se encuentra tecnológicamente preparada para enfrentar una reglamentación térmica. Los estándares de calidad térmica de muros de este tipo de construcción en el país son insuficientes para atender las exigencias reglamentarias en gran parte del territorio nacional, situación que afecta en Chile actualmente la com-

petitividad de la industria del ladrillo y del cemento.

La industria de la construcción en Chile deberá resolver el desafío de modificar los sistemas constructivos en albañilería y hormigón, toda vez que técnica y económicamente sea impracticable su reemplazo. Según antecedentes del Instituto Nacional de Estadísticas, INE, entre los años 1994 y 1998 el 41,1% de las viviendas construidas utilizaron ladrillos cerámicos en la confección de muros y en el 8,7% ladrillos combinados con otros materiales. Otros tipos de muro fueron confeccionados en hormigón (25,8%), madera (12,4%) y bloques de mortero de cemento (5,8%) (INE, 1999).

Evaluaciones experimentales de las propiedades térmicas de muros de albañilería de ladrillo realizados en el Laboratorio de Física de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío arrojaron valores U entre 2,0 y 2,5 $W/m^2 K$. Estándares de aislación térmica que son considerados precarios, atendidas las necesidades del uso óptimo y mínimo de energía en los edificios y los requerimientos de protección térmica que propone la segunda etapa de la reglamentación térmica. Los valores establecidos son menores a $U = 2,0 W/m^2 K$ en 5 de las 7 zonas climáticas del país definidas por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Las 7 zonas climáticas concentran la mayor parte de la población del país.

De acuerdo a la decisión del Ministerio mencionado, se necesitará desarrollar soluciones de “refuerzo térmico” que

conllevarán la incorporación de otras tecnologías y materiales: ladrillos cerámicos de baja conductividad térmica; distintos revestimientos térmicos aplicables a muros, dobles muros, etc. Situación que se traduce en otras faenas y costos adicionales que evidentemente replantean la viabilidad técnica y económica de la construcción en albañilería y hormigón.

La necesidad de introducir cambios en los actuales sistemas constructivos en albañilería motivó el desarrollo del Proyecto FONDEF D01-I1161, que ejecutaron la Universidad del Bío-Bío, la Pontificia Universidad Católica de Chile, la Université Catholique de Louvain y un grupo de empresas locales, con financiamiento de las empresas y el Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico, FONDEF. El objetivo de dicho proyecto fue desarrollar tecnologías constructivas para mejorar el comportamiento higrotérmico de la construcción local en albañilería de ladrillo y hormigón. Buscó desarrollar e introducir en el sector innovaciones en materiales y en el diseño térmico de muros de albañilería y hormigón para mejorar estándares de calidad de este tipo de soluciones en el país.

En el contexto de dicho proyecto, este artículo presenta los resultados alcanzados en el trabajo de diseño térmico de ladrillos cerámicos con apoyo de técnicas experimentales y numéricas. Se incluyen además resultados de un catastro y evaluación térmica de muros locales; estudio experimental de base, realizado para conocer el nivel de calidad térmica del parque de mu-

ros y decidir estrategias de desarrollo y optimización.

II.- ESTUDIO Y EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS MUROS DE LADRILLOS CERÁMICOS

En el contexto del Proyecto FONDEF se realizó un estudio experimental a objeto de conocer la calidad térmica del parque de soluciones para muros de albañilería de ladrillo cerámico de uso perimetral, en la edificación nacional. El trabajo se desarrolla en tres fases:

Fase 1: Identificación del universo de soluciones y selección de muestra

Trabajo de tipo descriptivo que se basa en antecedentes sobre obras de edificación en Chile del Instituto Nacional de Estadística; expedientes de permisos de edificación y estudios del Instituto de la Construcción referidos a tipologías constructivas, desarrollados como parte de los estudios de base conducentes a la elaboración de la segunda fase de la reglamentación térmica; y antecedentes de mercado y de la industria del ladrillo en Chile.

Fase 2: Evaluaciones térmicas

Trabajo experimental a través del cual se mide la calidad térmica de los muros, mediante la determinación de sus coeficientes U ($W/m^2 K$) y; la calidad térmica de los ladrillos a través del coeficiente de conductividad térmica equivalente λ_{eq} ($W/m K$). Se utiliza en ambas determinaciones el método absoluto de la cámara térmica descrito en la Norma ASTM (American Society for Testing and Materials, 1997).

El trabajo de confección de muros y desarrollo de pruebas se realizó en el Laboratorio de Física de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío.

Fase 3: Determinación de la calidad térmica del parque

Trabajo analítico apoyado en técnicas estadísticas, a través del cual se pondera globalmente la calidad térmica del parque de soluciones para muros en albañilería de ladrillo cerámico de uso perimetral en la edificación nacional, y deciden las estrategias de mejoramiento y optimización, en atención del potencial de mejoramiento térmico que posee el parque y la magnitud de los cambios que es necesario introducir.

II.1.-CATASTRO Y MUESTRA

El catastro identificó un universo de 105 soluciones para muros de albañilería presentes en el parque nacional, conjunto que resultó de la combinación de distintos modelos de muros y materiales deducidos de la revisión de expedientes de permisos de edificación en el país. Del universo objetivo se seleccionó un conjunto de 30 soluciones para muros de albañilería, conjunto muestral estadísticamente representativo del 96% de las soluciones para materiales y muros sujetos de estudio presente en el parque nacional. El criterio de selección principal fue la participación relativa de los distintos tipos de materiales en el mercado de la industria.

El conjunto está formado principalmente por manufacturas de las dos industrias del ladrillo más importantes del país, que en conjunto cubren el 85% del mercado

nacional de ladrillos hechos a máquina; manufacturas de una industria de tamaño menor y manufacturas de un productor artesanal. La muestra se constituyó en base a 10 tipos de ladrillos y 30 tipos de muros de albañilería de ladrillos. Los distintos tipos de ladrillos tienen 14 cm de espesor, 29 cm de largo y altura variable entre 7 y 14 cm. El mortero de pega tiene 2 cm de espesor y se confecciona en dosis normales de arena-cemento.

II.2.- AISLACIÓN TÉRMICA DE LOS MATERIALES EXISTENTES

Los resultados experimentales más relevantes son los siguientes:

La aislación térmica de los distintos tipos de muro que consideró la muestra representativa varía entre 1,84 y 2,48 ($W/m^2 K$). Por otro lado, al considerar la frecuencia relativa de cada una de las soluciones en el universo, se obtiene como transmitancia térmica global ponderada para el parque de muros de albañilería de ladrillos, la media de 2,27 ($W/m^2 K$), que se mueve dentro del rango 2,17 – 2,38 ($W/m^2 K$) con un 95% de confianza.

La conductividad térmica equivalente, λ_{eq} ($W/m K$) de los distintos ladrillos locales hechos a máquina varía entre 0,297 y 0,475 ($W/m K$), con un valor medio en torno a 0,394 ($W/m K$); y el ladrillo macizo artesanal de referencia arrojó un valor λ_{eq} 0,490 ($W/m K$).

Se observó una dispersión importante de esta característica dentro de las distintas manufacturas locales, la cual se atribuye en mayor parte a la morfología particular de los ladrillos (% de huecos, tamaño de huecos y distribución de ellos en el cuer-

po del ladrillo) y en menor proporción de acuerdo a los resultados obtenidos a las características termo resistentes de las arcillas, las que poseen propiedades relativamente similares para el gran grueso de las manufacturas locales.

La evaluación experimental confirmó cuantitativamente la hipótesis del bajo poder aislante de las albañilerías nacionales, en relación a los requerimientos de protección térmica que propone la reglamentación térmica de edificios que se estudia aplicar en Chile. La aislación térmica global del parque es baja y presenta dispersiones de la característica en torno a un 35% en todo el dominio analizado.

Finalmente, el trabajo en esta etapa define un conjunto de estrategias de mejoramiento térmico del parque de muros. Estas se formulan considerando las referencias de calidad actual y las deseadas en atención a los requerimientos de aislación térmica que propone la reglamentación. Estrategias que se desarrollan a través de cuatro líneas de investigación específicas: la primera postula innovaciones en la morfología de los ladrillos; la segunda, innovación en la formulación de la pasta cerámica; la tercera, innovaciones en el diseño térmico de los muros; y la cuarta, innovaciones en las características térmicas de los morteros de estucos y de pega.

Este artículo da cuenta de los avances obtenidos a la fecha en la línea de mejoramiento térmico de ladrillos cerámicos vía innovaciones en su morfología. Trabajo que se desarrolla en conjunto con una industria de ladrillos local y que se explica a continuación.

III.- DISEÑO DE LADRILLOS TÉRMICAMENTE MEJORADOS

La línea de trabajo del mencionado proyecto FONDEF se enfocó al mejoramiento de las propiedades térmicas del ladrillo cerámico a través de la innovación en su morfología.

III.1.- CARACTERÍSTICAS DE LOS LADRILLOS FABRICADOS EN LA ACTUALIDAD.

Del catastro y evaluación de ladrillos y muros se concluye que el diseño de los ladrillos es determinado fundamentalmente por factores técnicos de tipo estructural e hídrico, factores económicos relativos al uso de material arcilloso principalmente, otros relacionados con la modulación arquitectónica de muros y, de manera importante, por las restricciones que imponen los procesos de fabricación industrial. Estos factores y otros se encuentran incorporados en la NCh 169 Of. 2001, la cual establece los requisitos que deben cumplir los ladrillos cerámicos de fabricación industrial en Chile. Prácticamente el 100% de la producción industrial de ladrillos cerámicos tiene 14

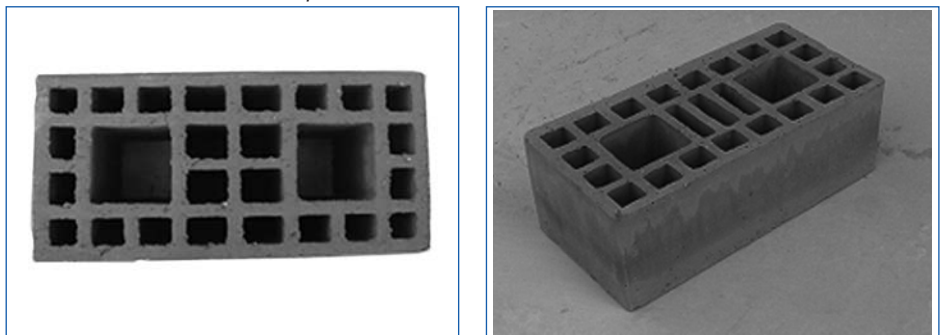
cm de ancho y 29 cm de largo. La altura de las distintas manufacturas varía entre 7 y 14 cm; el porcentaje de huecos entre un 41,2 y 67,4%, las densidades aparentes entre 0,78 y 1,00 ton/m³; y la conductividad térmica equivalente entre 0,290 y 0,490 (W/m K).

Los alvéolos y tabiques en prácticamente la totalidad de las manufacturas de ladrillos locales conforman geometrías ortogonales simples con un número importante de conexiones transversales rectas que funcionan bien estructuralmente pero que debilitan térmicamente el ladrillo. Estas conexiones actúan en la práctica como puentes térmicos que reducen el trayecto del flujo por conducción a prácticamente el espesor del ladrillo; situación que explica en gran parte el bajo poder aislante de los ladrillos locales. Ver diseño de los ladrillos cerámicos más fabricados en Chile en la Figura 1.

III.2.- DISEÑO MORFOLÓGICO PROPUESTO

La propuesta del nuevo diseño morfológico se basa en dos conceptos básicos, principalmente orientados hacia:

Figura 1:
Tipos de Ladrillos Fabricados en Chile



a) Generar en el ladrillo el mínimo de puentes térmicos: esto es, lograr una geometría que permita estructurar el ladrillo con el mínimo de tabiques transversales y el máximo de tabiques longitudinales, de tal modo de incorporar el porcentaje de huecos permitido en pequeñas cavidades.

b) Generar en el ladrillo la máxima trayectoria térmica: es decir, diseñar los tabiques transversales con una geometría tal que el flujo de calor por conducción sea obligado a un recorrido mayor al espesor real del ladrillo.

Basado en los conceptos arriba indicados e incluyendo las restricciones geométricas impuestas por la norma NCh 169 Of. 2001 respecto de espesores mínimos de los tabiques y cáscaras, porcentajes de huecos y áreas máximas y mínimas de los alvéolos, y específicamente las condicionantes del proceso de fabricación de la empresa comprometida con la producción a escala industrial, se desarrolló un nuevo tipo de ladrillo, el que se puede observar en la Figura 2. En la Figura 2 a se muestra la versión del nuevo ladrillo para aplicaciones no estructurales y en la Figura 2 b se muestra la versión para aplicaciones

estructurales. En ambas Figuras se puede observar la trayectoria térmica. Estos diseños fueron ajustados finalmente mediante modelación numérica.

IV.- MODELACIÓN NUMÉRICA DE LOS LADRILLOS

El flujo de calor fue modelado numéricamente en cada una de las versiones preliminares desarrolladas. El propósito de este ejercicio fue ajustar los diseños y predecir las características térmicas de los ladrillos, antes de proceder a su fabricación a escala industrial. Los parámetros aplicados fueron ajustados mediante un análisis previo de soluciones ya existentes y estudios disponibles de morfología y propiedades térmicas.

El flujo de calor fue modelado bajo condiciones estáticas, considerando los siguientes mecanismos de transferencia:

Material sólido: conducción a través del material sólido (arcilla $\lambda = 0,5 \text{ W/m K}$).

Cavidades vacías: radiación y conducción a través de los huecos y alvéolos, considerando $\lambda = 0,025 \text{ W/m K}$ para la conductividad térmica del aire y un rango

entre 0,8 y 0,9 para la emisividad de las paredes de los huecos. La convección no fue considerada debido a que estudios previos han establecido que la transferencia de calor por convección es despreciable cuando las perforaciones son pequeñas (aire quieto) (Lacarrière, B. 2003).

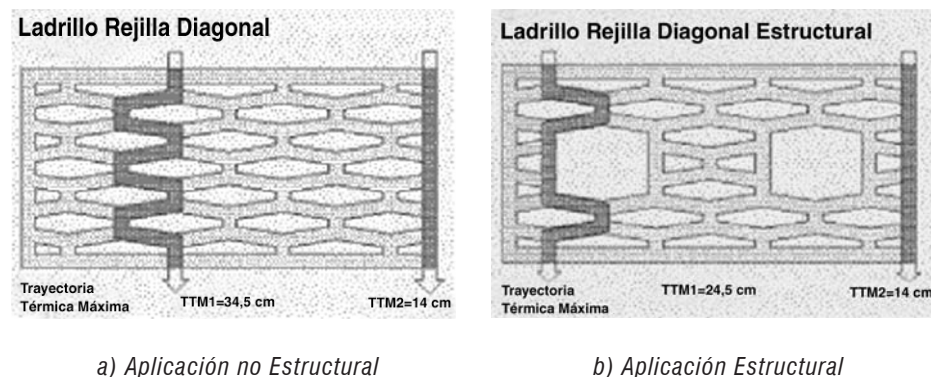
Superficies: convección y radiación en las caras internas y externas del ladrillo. Las temperaturas consideradas fueron: interior 298 K y exterior 274 K, y la resistencia superficial $R_{si} = 0,12 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ para la cara interna y $R_{se} = 0,05 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ para la cara externa, de acuerdo a la norma NCh 853 Of. 91 (Instituto Nacional de Normalización, 1991).

La evaluación se realizó considerando muros de albañilería de 0,14 m de ancho y mortero de pega de 20 mm de espesor, siendo la relación de superficie entre el mortero y el ladrillo de 37%.

La simulación muestra diferencias en la estimación de la transmitancia térmica de muros de alrededor de un 10%, respecto de los ladrillos tradicionales. Los errores son prácticamente inexistentes cuando el modelo se aplica al estudio de muros de ladrillos macizos.

Las diferencias son explicadas por las limitaciones propias del modelo, el cual no considera la posible incorporación de mortero de cemento en las cavidades del ladrillo. La incorporación del mortero de cemento en los huecos es térmicamente más importante que un eventual flujo de aire en las cavidades, de acuerdo a otras experiencias llevadas a cabo en este campo (Ghazi Wakili K.; Ch. Tanner, 2003).

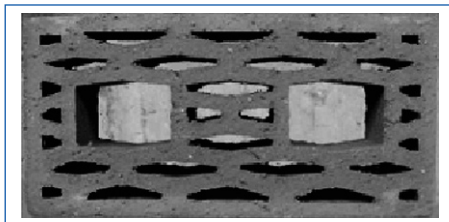
Figura 2:
Desarrollo de Nuevos Ladrillos



El análisis numérico realizado para el nuevo ladrillo, en su versión estructural, para un espesor del mortero de pega de 13 mm, arrojó como resultado una transmitancia térmica del muro igual a 1,70 W/m² K.

La industria de ladrillos PRINCESA, que representa alrededor del 35% del mercado nacional, fabricó el nuevo ladrillo en su versión estructural (ver Figura 3). Los ensayos conducentes a determinar la transmitancia térmica de los muros fabricados con el nuevo ladrillo, se

Figura 3:
Ladrillo Versión Estructural



realizaron en los laboratorios de Física de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío. En la confección de los muros se utilizó un espesor de mortero de pega de 13 mm. El valor de la transmitancia

térmica fue de 1,64 W/m² K, prácticamente similar a la obtenida mediante la simulación numérica.

V.- ESTIMACIÓN DEL AHORRO DE ENERGÍA EN EDIFICIOS

En orden a estudiar el impacto que pueda producir el uso del ladrillo térmicamente mejorado, desarrollado en el marco del proyecto FONDEF, se realizó una simulación para determinar la demanda de energía, para distintas tipologías de vivienda.

Tabla 1:

Características de las Viviendas Analizadas Durante la Simulación y Porcentajes de Energía Ahorrada con los Ladrillos Térmicamente Mejorados

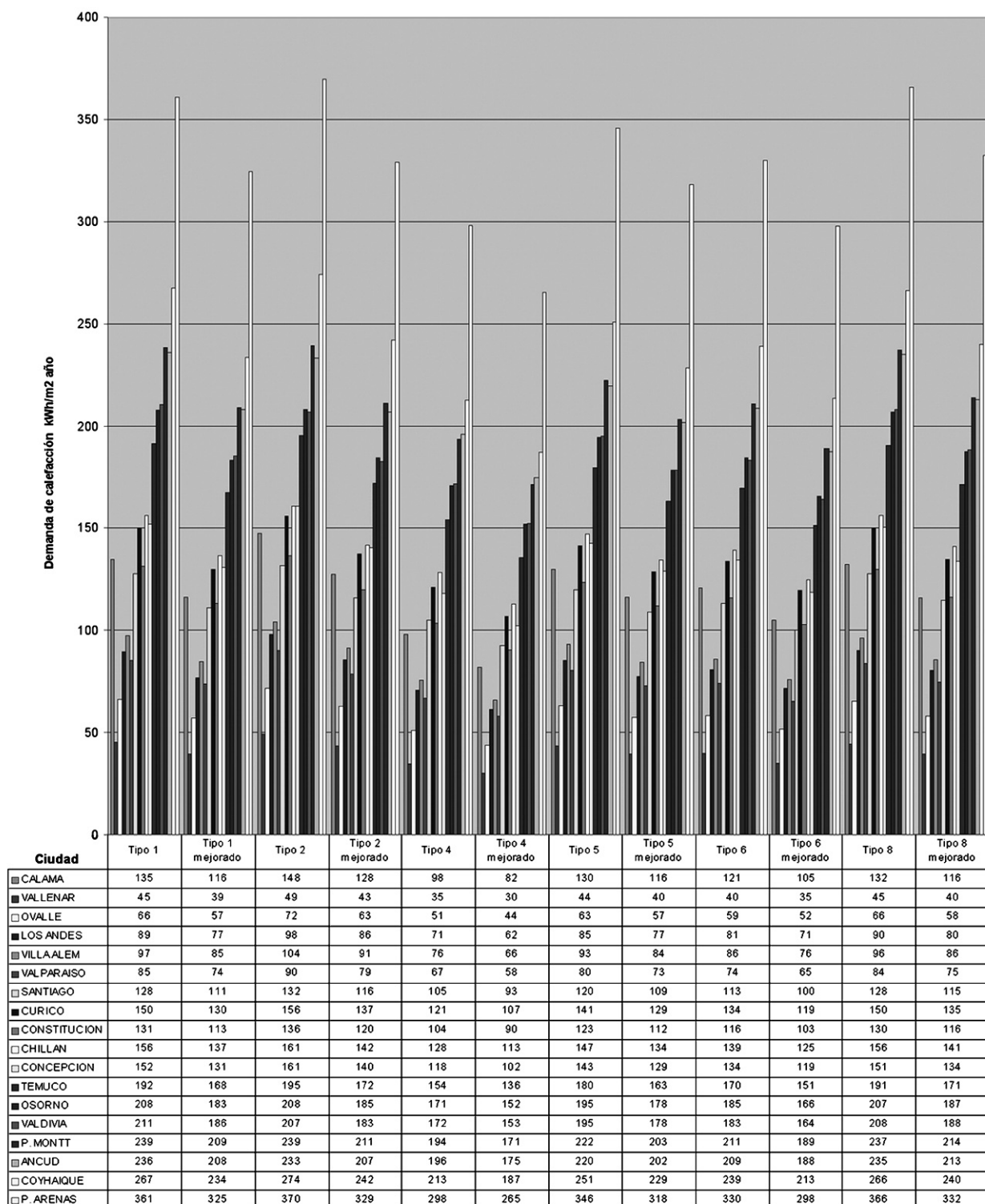
Tipología	Descripción	Nº de Viviendas Período 1994-98 (**)	% Viviendas (**)	Área Piso (**)	% Construcción (**)	% Ahorro Energía (***)
1	Casa 1 piso. Área < 50 m ² . Muros de ladrillo cerámico	91.610	13,9	32,5	7,72	13,3
2	Casa 2 piso < 50 m ² . Muros de ladrillo cerámico	80.871	12,3	40,2	8,31	3,1
4	Departamento. Construcción 3 pisos. Área Depto. < 50 m ² . Muros de ladrillo cerámico	51.177	7,8	42,8	5,41	12,6
5	Casa 1 piso. Área 50 m ² – 100 m ² . Muros de ladrillo cerámico	48.838	7,4	72,0	7,17	9,8
6	Casa 2 pisos. Área 50 m ² – 100 m ² . Muros de ladrillo cerámico	37.415	5,7	81,1	5,6	12,2
8	Casa 2 pisos. Área 50 m ² – 100 m ² . Estructura de madera y muros de ladrillo cerámico	20.250	3,1	74,3	3,35	10,7
11	Casa 2 pisos. Área 50 m ² . Estructura de madera y muros de ladrillo cerámico	12.257	1,9	44,8	1,21	5,9
14	Departamento. Construcción 3 pisos. Área Depto. 50 m ² – 100 m ² . Muros de ladrillo cerámico	9.024	1,4	59,0	1,44	9,7
15	Casa 2 pisos. Área 100 m ² – 140 m ² . Estructura de madera y muros de ladrillo cerámico	7.342	1,1	116,5	2,14	4,0
	Total viviendas con muros de ladrillo cerámico	358.784	54,4		42,35	
	Total viviendas periodo 94 – 98	659.429	100			
	Valor promedio (*)					11,4

(*) Valor promedio considerando el número de viviendas de cada tipología y las condiciones de temperatura de distintas zonas del país.

(**) Fuente: Instituto de la Construcción (2001).

(***) Elaboración propia.

Figura N° 4:
Demanda de Calefacción para Diferentes Tipologías con Ladrillo Tradicional y Ladrillo Mejorado



La simulación consideró aquellas tipologías que se encuentran definidas en el marco del estudio realizado por el Instituto de la Construcción (2001), para la regulación de los edificios habitacionales que el Ministerio de Vivienda y Urbanismo aplicará en el año 2006. Las características de estas viviendas se muestran en la Tabla 1.

La simulación considera las ganancias internas, las condiciones climáticas de 18 ciudades de Chile y viviendas construidas con ladrillos tradicionales (ver Figura 1) con $U = 2,18 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ y viviendas construidas con el ladrillo térmicamente mejorado, del tipo estructural (ver Figura 3) cuyo valor de transmitancia térmica U es igual a $1,64 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Para las viviendas ejecutadas con ladrillos artesanales tradicionales (ladrillo macizo) se consideró una transmitancia térmica igual a $2,48 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Las condiciones internas para la simulación fueron las siguientes:

Sala de estar, comedor, pasillos, escaleras y cocina:

Día: 7 – 24 horas 20° C

Noche: 0 – 7 horas 17° C

Dormitorios:

Día: 7 – 24 horas 18° C

Noche: 0 – 7 horas 15° C

Baños:

Día y noche: 22° C

Ventilación:

1,0 ach

Como se observa en la Tabla 1, el ahorro de energía cuando se utiliza el nuevo ladrillo térmicamente mejorado en reemplazo del ladrillo existente (ladrillo usado mayoritariamente en las construcciones en Chile) alcanza un valor promedio a nivel país del 11,4%.

La Figura 4 muestra un gráfico con los resultados de la simulación.

VI CONCLUSIONES

Las nuevas disposiciones para edificios en Chile obligarán al mejoramiento de las características térmicas de los muros de albañilería de ladrillo cerámico, en la mayor parte del territorio nacional.

La aislación térmica de los muros de albañilería de ladrillos cerámicos existentes en Chile, varía entre $1,84$ y $2,48 \text{ (W/m}^2 \text{ K)}$. Considerando la participación de diferentes factores, el valor promedio de la aislación térmica de muros es $2,27 \text{ (W/m}^2 \text{ K)}$, valor que oscila entre $2,17$ y $2,38 \text{ (W/m}^2 \text{ K)}$ con una confiabilidad del 95%.

Las innovaciones introducidas en la morfología de los ladrillos cerámicos han permitido mejorar las propiedades térmicas de los muros de albañilería. Los ladrillos fabricados en el marco del presente proyecto, han arrojado un valor de transmitancia térmica, para un espesor de muro igual a $0,14 \text{ m}$, de $1,64 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Otras estrategias de desarrollo para el mejoramiento térmico de los muros de albañilería de ladrillo, deberán enfatizar en las características térmicas de los morteros de pega y de las arcillas.

BIBLIOGRAFÍA

1. MINVU, 1999. Manual de Aplicación Reglamentación Térmica. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile, Santiago, Chile.
2. INE. 1999 Anuario de la Edificación 1994-1998. Instituto Nacional de Estadísticas de Chile INE, Santiago, Chile.
3. Instituto de la Construcción. 2001. Determinación de Tipologías Constructivas Base. 2º etapa de la Reglamentación Térmica. Instituto de la Construcción. Santiago, Chile.
4. American Society for Testing and Materials. 1997 ASTM C1363-97: Standard Test Method for the Thermal Performance of Building Assemblies by Means of Guarded Hot Box.
5. Instituto Nacional de Normalización. 2001. Norma NCh 169, Of. 2001: Construcción. Ladrillos Cerámicos. Clasificación y Requisitos, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile.
6. Lacarriere, B.; Lartigue, B.; Monchoux, F. 2003. Numerical Study of Heat Transfer in a Wall of Vertically Perforated Bricks; Influence of Assembly Method, Energy and Buildings, 35, pp 229-37.
7. Instituto Nacional de Normalización, 1991. Norma NCh 853, Of. 91: Acondicionamiento Térmico – Envolvente Térmica de Edificios – Cálculo de Resistencias y Transmutaciones Térmicas.
8. Ghazi Wakili, K. Ch. Tanner, 2003. U - Value of a Dried Wall Made of Perforated Porous Clay Bricks Hot Box Measurement Versus Numerical Analysis". Energy and Buildings 35 675-80.