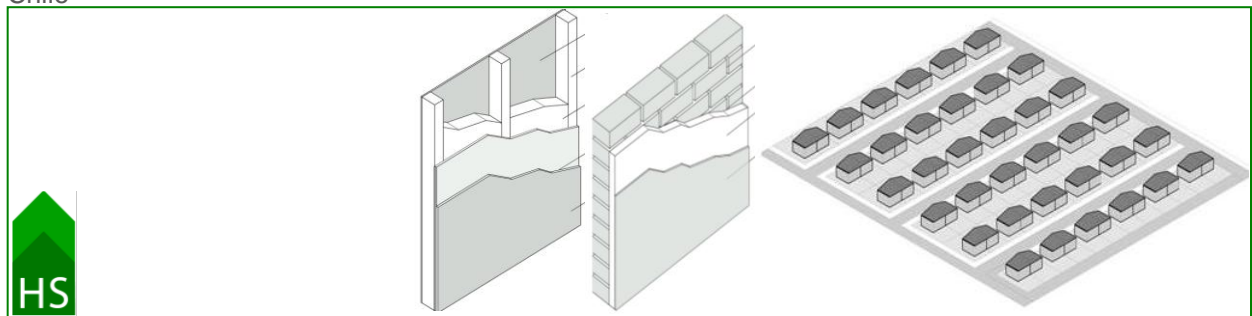


Incidence of Form and Envelope
in Thermal Behavior of
Dwellings in the Centre-south of
Chile

Incidencia de la Forma y Envolvente en el Desempeño Térmico de las Viviendas del Centro-Sur de Chile



Flavio Celis Damico flavio.celis@uah.es

Depto. de Arquitectura – Universidad de Alcalá de Henares

Olavo Escorcía Oyola oescorciao@unal.edu.co

Escuela de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Nacional

Muriel Díaz Cisternas prof.fisch@egs-plan.de

Depto. Diseño y Teoría de la Arquitectura – Universidad del Bío – Bío

Rodrigo García Alvarado rgarcia@ubiobio.cl

Depto. Diseño y Teoría de la Arquitectura – Universidad del Bío – Bío

Ernesto Echeverría Valiente ernesto.echeverria@uah.es

Depto. de Arquitectura – Universidad de Alcalá de Henares



Incidencia de la Forma y Envolverte en el Desempeño Térmico de las Viviendas del Centro-Sur de Chile

Incidence of Form and Envelope in Thermal Behavior of Dwellings in the Centre-south of Chile

Flavio Celis Damico ^(a), Olavo Escorcía Oyola ^(b), Muriel Díaz Cisternas ^(c), Rodrigo García Alvarado ^(d), Ernesto Echeverría Valiente ^(e)

^(a) Depto. de Arquitectura – Universidad de Alcalá de Henares – España – email: flavio.celis@uah.es

^(b) Escuela de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Nacional – Colombia – email: oescorciao@unal.edu.co

^(c) Depto. Diseño y Teoría de la Arquitectura, Universidad del Bío – Bío – Chile – email: muriel.diaz@antakori.com

^(d) Depto. Diseño y Teoría de la Arquitectura, Universidad del Bío – Bío – Chile – email: rgarcia@ubiobio.cl

^(e) Depto. de Arquitectura – Universidad de Alcalá de Henares – España – email: ernesto.echeverria@uah.es

RESUMEN

Palabras Claves

Vivienda

Eficiencia Energética

Análisis Climático

Centro-Sur de Chile

Reconstrucción Post Terremoto

Este artículo analiza la situación de la vivienda en Chile desde el punto de vista de la eficiencia energética con el fin de proponer mejoras aplicables, en particular en los programas de reconstrucción habitacional post terremoto 2010. El estudio se centra en el centro sur del país, entre la región del Maule y la región de la Araucanía, la zona más afectada por el sismo. Se presentan las condiciones climáticas, aspectos morfológicos y constructivos, para identificar posibles mejoras de eficiencia energética. A partir de este análisis se advierten características del diseño arquitectónico de las viviendas, especialmente de agrupamiento y materialidad de la envolvente que inciden significativamente en su desempeño energético. Se expone una evaluación simple de los costos asociados a los mejoramientos de la envolvente propuestos. Concluyendo que una construcción más eficiente es determinada por un correcto análisis de las condiciones climáticas para la demanda energética correspondiente e identificando formas más adecuadas y calidad de la envolvente. Se constata que modificaciones en el diseño arquitectónico de la vivienda, su emplazamiento y configuración son relevantes en el camino hacia la eficiencia energética.

ABSTRACT

Key Words

Housing

Energy –Efficiency

This paper analyses the housing situation in Chile according to energy efficiency, in order to propose improvements, in particular for reconstruction housing programmes post-earthquake of 2010. The study is targeted to the central-south zone of the country, between

Climate Analysis
South-Center of Chile
Earthquake Reconstruction

Maule and Araucanía region; which has been mostly affected by the seismic activity. It reviews climatic conditions, as well as shape and constructive features, in order to identify feasible improvements for energy efficiency. Based on that analysis, it states some housing design properties, in particular related to arrangements and envelope materials with great incidence on the environmental performance. A simple assessment of the costs associated to these improvements is made. The work concludes that a more efficient construction is determined by the correct analysis of climatic conditions for the energy requirements, to identify proper shapes and a quality of envelope. It demonstrates that modifications of housing design, location and construction can be significant in the way to energy efficiency.

1. Introducción

El sismo del 27 de Febrero de 2010 afectó numerosas construcciones en la zona del centro-sur de Chile, en particular viviendas pareadas y aisladas que se extienden en las periferias de las principales ciudades. Esta organización es producto de la intensa dinámica privada, que beneficia a los sectores populares con subsidios financieros, lo que ha permitido satisfacer las demandas residenciales del país, pero generando desregulación del suelo y falta de servicios urbanos. Respecto de la calidad de las viviendas, se puede constatar que el tamaño, los acabados y las densidades son similares entre las viviendas subsidiadas y las de clase media-alta, de igual modo que los campamentos de aquellos que se quedaron sin hogar por el terremoto. También los programas de reconstrucción habitacional desarrollan mayormente estas mismas viviendas individuales en extensión.

Este desarrollo urbano en baja densidad, fruto en parte del crecimiento económico, de la presión inmobiliaria y de la evidente necesidad de cubrir la demanda habitacional de la población más desfavorecida, posee debilidades desde el punto de vista ambiental. En Chile, la edificación residencial representa una cuarta parte del consumo total de energía (Fig.1) con lo que una reducción significativa en la demanda energética de dicho sector tendría un importante impacto económico y ecológico en el conjunto del país. Si a ello se le suma el hecho de que el país carece de recursos en materia de hidrocarburos y gas natural y por ende importa gran parte de su energía, se hace evidente la necesidad de repensar la edificación en relación a dicha demanda.

Chile enfrenta el reto energético mediante

dos estrategias paralelas, la primera, aumentando la capacidad instalada del país y la segunda, reduciendo la creciente demanda energética. En el área habitacional, mediante la implementación de la Reglamentación Térmica que divide el país en 7 zonas y está programada en tres etapas; la primera regula las techumbres desde el año 2000; la segunda condiciona muros, ventanas y pisos ventilados desde el 2007; y la tercera etapa pretende culminar con la certificación energética. En ese escenario, mejorar la envolvente de la vivienda encabeza la lista de requerimientos para limitar la demanda energética.

■ Transporte ■ Industria ■ Minería ■ Comercial ■ Residencial ■ Público

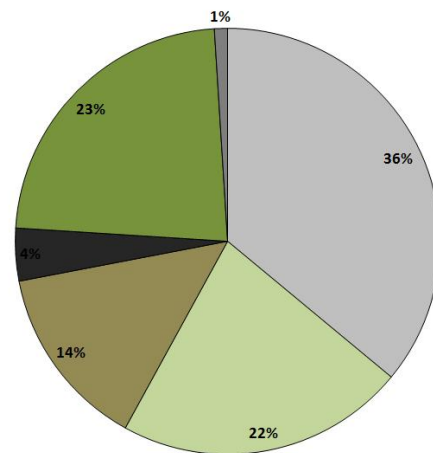


Figura 1: Consumo Energético por sector. Fuente: CNE, 2008.
Figure 1: Energy Consumption by sector. Source: CNE, 2008.

El presente artículo, enmarcado en el proyecto “*Diseño Integrado para la Reconstrucción de Viviendas Energéticamente Eficientes*”, desarrollado por la Universidad del Bío-Bío y la Agencia Chilena de Eficiencia Energética, con el apoyo de Conicyt-Chile, expone avances iniciales en los aspectos

arquitectónicos y constructivos que inciden en el desempeño energético de este parque habitacional. Identificando en particular condiciones morfológicas y materiales. Realizando una evaluación simple de estas características en relación a las tipologías frecuentes y planteando recomendaciones.

2. Situación geográfica y condiciones de distribución de la población

En la zona centro sur de Chile se encuentran las regiones del Maule, Bio-Bio y Araucanía. Estas regiones fueron las más afectadas por el terremoto y tsunami del 27 de febrero de 2010, y se identifican como una zona de oportunidad para plantear procesos de innovación en la construcción y rehabilitación de viviendas, al ser regiones priorizadas en los planes de reconstrucción (MINVU, 2010). Según la reglamentación vigente estas regiones abarcan 5 zonas térmicas, con una marcada diferenciación horizontal en orden a la latitud, con la única salvedad de la zona cordillerana. Esta división establecida por la normativa está basada en el concepto de los grados día de calefacción y parece insuficiente, en relación a la normativa NCH1079.Of2008 (Fig.2), que propone mayores diferencias, especialmente en lo referido a una mayor distinción climática entre litoral, centro y cordillera, combinando diferencias de latitud con orográficas, de proximidad al mar y altitud.

La distribución de la población en las regiones de estudio revela tanto la tendencia a la agrupación en ciudades, como la distribución tipológica de las viviendas, con una abrumadora mayoría de edificaciones unifamiliares. Por regiones, el Maule tiene 15 ciudades las que concentran un 57,9% de la población total de la región y que concentran un 56,8% de las viviendas. La región del Biobío tiene 35 ciudades que concentran un 77,1 % de la población total regional con un 74,4% de las viviendas de la región (INE, 2011). La región de la Araucanía tiene 20 ciudades que concentran un 59,8 % de la población total regional y un 56,8% de las viviendas de la región. Por zonas térmicas según la reglamentación, la mayoría de la población se concentra en la zona 4 y, en menor medida, en la 5, siendo la zona 3 (norte del Maule) y la cordillerana residuales en cuanto a población. Por tanto, las acciones estratégicas de mejora de la edificación residencial deberían concentrarse, fundamentalmente, en las viviendas unifamiliares de los núcleos urbanos de la zona 4, y en menor medida, de la 5, ya que una reducción del

consumo energético en dicho ámbito tendría un efecto multiplicador y de fuerte impacto por la densidad de población.

3. Análisis climático

Para establecer algunas recomendaciones precisas de acción y estrategia de diseño arquitectónico, se han utilizado los climogramas de Givoni, estudiados en los lugares señalados anteriormente. La carta de Givoni se basa en un índice de tensión térmica (ITS), que delimita una zona de bienestar. Este método contempla las características de la construcción como modificadoras de las condiciones del clima exterior, para alcanzar los niveles de confort en el interior de las edificaciones. Combina una triple entrada con temperaturas de bulbo seco, la tensión parcial del vapor de agua y la humedad relativa. Se delimitan varias áreas, cuyas características indican la conveniencia de utilizar unas determinadas estrategias de diseño en la edificación. En aquellas en las que se superponen distintas estrategias, se puede usar acciones combinadas. Las acciones se consideran superpuestas, de tal modo que un buen aprovechamiento pasivo, aunque insuficiente en sí mismo, disminuye el coste de energía destinado a calefacción activa.

En los climogramas utilizados, se ha usado el mismo estándar que el desarrollado en investigaciones análogas en otras latitudes (Luxan et al., 1996). Aunque la normativa chilena contempla estándares de confort más bajos (15C° como temperatura mínima), se considera utilizar un estándar de confort más universalmente aceptado y definido en el propio climograma, tanto como medida de comparación, como por considerar que el paulatino aumento de la calidad de vida y de la demanda de bienestar apuntarán en esta dirección. El estudio se ha realizado utilizando los datos climáticos obtenidos de los observatorios en los lugares estudiados, con medias de máximas y mínimas en cada mes.

3.1 Región del Maule:

La región presenta tres zonas bien diferenciadas climáticamente. La mayor parte de la población se distribuye en la zona costera (minoritaria) y en la central (mayoritaria), siendo la zona andina prácticamente testimonial en cuanto a ocupación. En el caso de la zona central, las condiciones de confort podrían alcanzarse

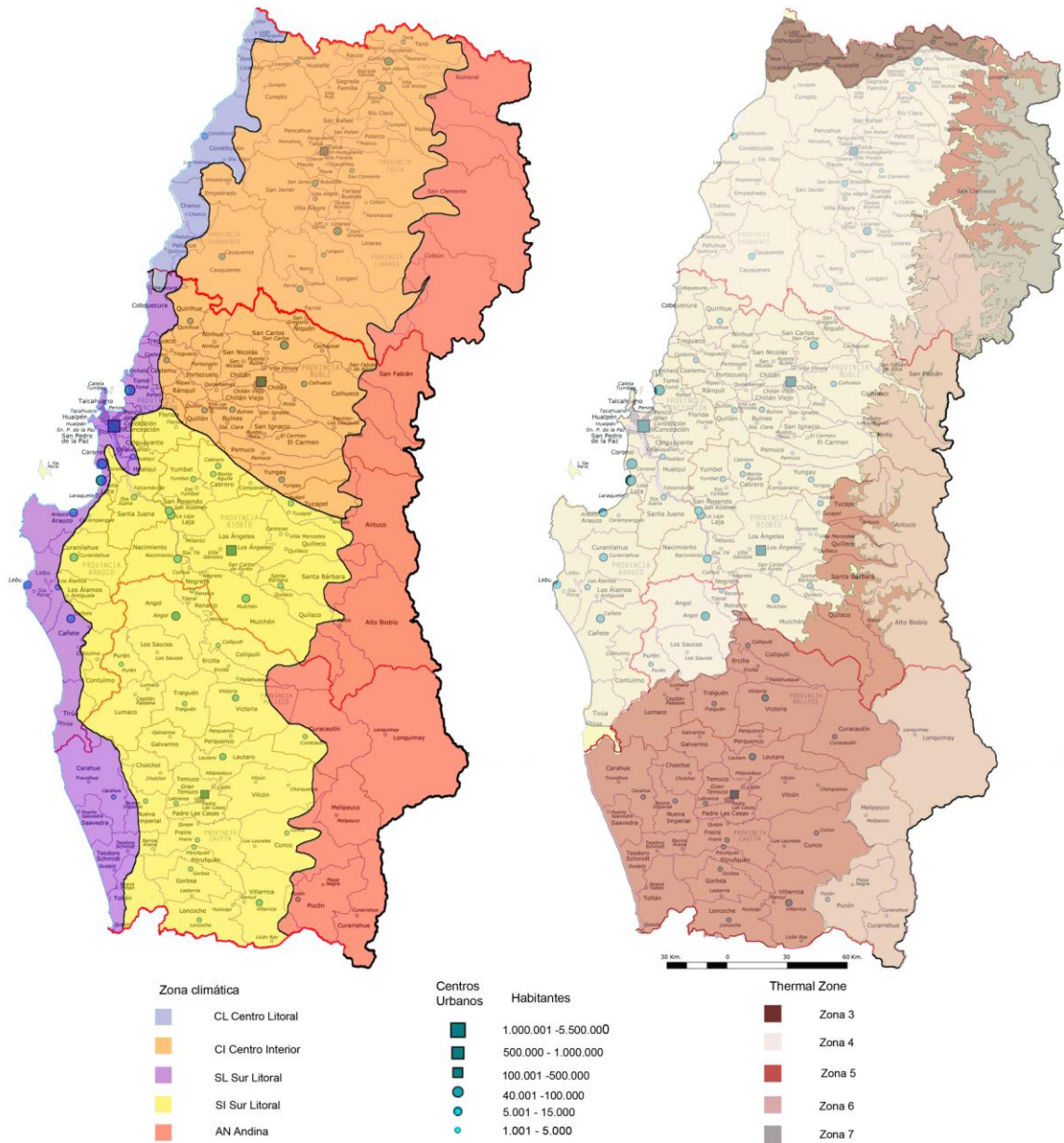


Figura 2: Zonas climáticas y zonas térmicas para las regiones de estudio. Fuente: Minvu, 2010
Figure 2: Climatic and thermal zoning for the study region. Source: Minvu, 2010

básicamente mediante captación de radiación solar y acumulación en masa térmica. Sólo los valores más extremos invernales necesitan de un apoyo externo de calefacción, al igual que los estivales, que podrían resolverse mediante ventilación y protección de huecos. En la zona costera, dada la mitigación por efecto del mar, incluso estas condiciones extremas podrían asumirse, siempre y cuando se mitigara la humedad en el interior de las edificaciones.

3.2 Región del Bio-Bio:

Se constata aquí también la existencia de tres zonas climáticas diferenciadas, aunque en este caso la costa está mucho más poblada que la zona central, y se encuentra muy concentrada. La zona andina es prácticamente testimonial. En el caso de la zona central, las condiciones de confort podrían alcanzarse básicamente mediante captación de radiación solar y acumulación en masa térmica, teniendo cuidado con los sobrecalentamientos puntuales en verano,

protegiendo vanos, evitando ganancias solares directas e introduciendo ventilación en las horas más extremas. Los valores mínimos invernales necesitan de un apoyo externo de calefacción. En la zona costera, la mitigación por efecto del mar se considera sólo en los meses estivales, dado que en los meses invernales es necesario mitigar la humedad, para lo que también es necesario complementar las ganancias solares con algún sistema de calefacción activa.

3.3. Región de la Araucanía

La región presenta tres zonas diferenciadas climáticamente, aunque la población se agrupa principalmente en el área central. La población de la zona cordillerana se concentra en Pucón-Villarrica. En ambas zonas el clima es bastante extremo, con mayores oscilaciones en Temuco, que además presenta problemas de humedad en invierno. En ambos casos los problemas son de pérdida de confort por frío, más extremos y de mayor duración anual en la zona cordillerana, donde se necesita calefacción todo el año, incluso en verano. En la zona central, gran parte de las demandas por frío pueden ser resueltas con ganancias solares directas.

Del análisis realizado sobre las áreas de mayor población, y que se consideran significativos al abarcar un ámbito replicable, y aunque no se hayan considerado los factores de corrección necesarios derivadas de los microclimas locales, pueden ya desprenderse algunas consideraciones:

- Pueden considerarse tres grandes condiciones climáticas ligadas a zonas geográficas concretas: costa, centro y cordillera. La latitud influye en la corrección de la respuesta, en cuanto a extremar las condiciones de frío según se desciende y se desplaza hacia la cordillera. En todas las situaciones, el problema de confort surge siempre de las necesidades de obtener calor, y en muchos casos de protegerse frente a la humedad, cuando no de disminuirla.

- No existen problemas de refrigeración, salvo los que pueda generar la mala práctica arquitectónica. Bastaría con proteger los vanos de la radiación y evitar acumular el mismo, o bien desfasar la acumulación unas 8 horas, para conseguir buenas condiciones de confort en verano, especialmente en las zonas centrales.

- Los problemas derivados de la necesidad de obtener calor, pueden ser resueltos, durante la mayor parte del año, mediante ganancias solares

directas y acumulación inercial de la misma. Salvo en las zonas de cordillera, donde es necesario un apoyo activo de calefacción durante todo el año, en el resto de zonas climáticas bastarían apoyos puntuales de calefacción activa entre mayo y septiembre, que podrían ser en baja temperatura, si fueran apoyados por la parte pasiva.

En cualquier caso, es necesario disponer prácticamente en todas las situaciones, de un sistema de calefacción de apoyo en las puntas de menor temperatura. El diseño y las especificidades de dicho sistema se consideran importantes a la hora de disminuir el gasto energético, con lo que se recomienda el estudio específico integrado de aquellos más adecuados, en costes de energía, mantenimiento y uso.

4. Parque habitacional

El mayor número de viviendas existentes en la región de estudio corresponde a viviendas unifamiliares, con porcentajes que rondan el 90% de la superficie construida en las tres regiones, la mayoría son viviendas aisladas o pareadas de uno o dos pisos. La tendencia actual es continuar las construcciones en baja densidad, de una o dos plantas, frente a la vivienda colectiva.

Diversos estudios tipológicos se han realizado para determinar teóricamente la relación entre densidad, agrupación y demanda energética (Fitzgerald et al, 2007). En general se determina que, a menor densidad, la demanda energética por unidad de vivienda aumenta, debido a las mayores pérdidas de transmisión por unidad de volumen. Si a ello se le suman las pérdidas producidas por costes ambientales en ocupación del territorio, por el incremento de longitud en las redes de abastecimiento, por el incremento de costes en transporte debido al incremento de las distancias (al que hay que sumar una mayor ineficiencia por el mayor uso del transporte privado frente al colectivo), se obtiene un panorama bastante desolador en cuanto a la estrategia global frente a la sostenibilidad en el territorio de estudio.

Con respecto a las cuestiones morfológicas, no existe normativa o reglamentación con respecto a la orientación de las edificaciones, su coeficiente de forma, factor solar, porcentaje de obstrucciones u otras características determinantes a la hora de posicionarse de un modo más eficiente para minimizar pérdidas y maximizar ganancias energéticas. La distribución de las urbanizaciones y de los bloques de

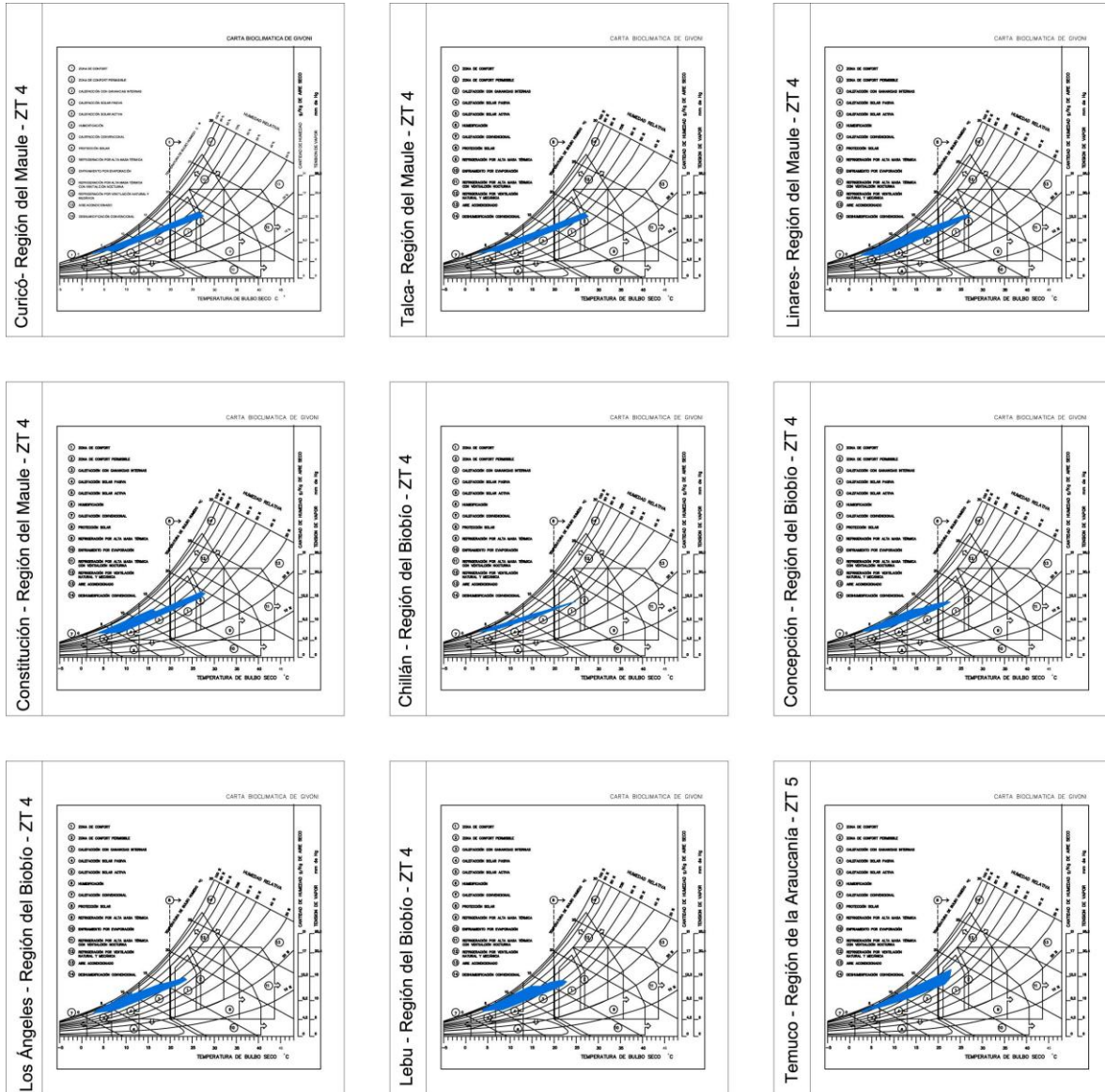


Figura 3: Climogramas. Fuente: elaboración propia.
Figure 3: Givoni bioclimatic Charts. Source: Own Elaboration.

apartamentos parece que vienen consignadas más por la necesidad de maximizar la rentabilidad del terreno, que por otro tipo de cuestiones intrínsecas a la práctica arquitectónica, y mucho menos a la sostenibilidad. Llama la atención en dicho sentido que estas cuestiones, como las referidas al correcto asoleo de la edificación, sí estaban contenidas, en el plan urbanístico de Concepción de los años '60 (Goycoolea, 2011), mientras que en la actual han desaparecido.

De los datos de los permisos de edificación de la municipalidad de Concepción (Observatorio urbano, 2011) se puede advertir que el 41,1% de las viviendas se construyeron con ladrillo como

único material en muros y el 25,8% se construyeron en hormigón armado (principalmente edificios en altura). Otros tipos de muros fueron ladrillos combinados con madera (8,7%), madera (12,4%) y bloques de mortero cemento (5,8%). El resto corresponde a otros materiales u otro tipo de combinaciones. El sistema constructivo más habitual es el formado por muros portantes de albañilería de ladrillo confinado entre pilares y cadenas de hormigón, con losa de hormigón. En las viviendas unifamiliares de dos alturas, el segundo piso suele realizarse con estructura de madera. A falta de datos sobre los aislamientos y las carpinterías, convendría deducir que ambos se han realizado

con los mínimos establecidos por las normativas en vigor en cada momento. Los datos sobre la tipología constructiva no distingue la posición del aislamiento dentro del muro ni la composición de forjados y cubiertas, pero la práctica habitual en rehabilitación térmica es el aislamiento por el interior, y en construcción nueva, la colocación de un mortero térmico de 1cm. al exterior, o la introducción del aislamiento en el interior de tabiquería de madera.

Por otra parte se realizaron entrevistas a técnicos municipales, los que expusieron que el control del cumplimiento de la reglamentación térmica es muy precario, tanto a nivel de proyecto (basta presentar una declaración de intenciones, pero no una memoria de cálculo), como a nivel de obra ejecutada.

5. Análisis morfológico

Para revisar comparativamente el comportamiento térmico de la vivienda en baja densidad, se han realizado algunas simulaciones esquemáticas (con el programa CASAnova, versión 3.3.08., de la Universidad de Siegen), que deberán comprobarse con mayor precisión, pero que sirven de orientación general. Se partió de una vivienda tipo de 90m² en dos plantas, situada en Concepción, con una distribución tradicional, techumbre a dos aguas y una relación de ventana en fachada de un 30% al norte y de un 20% al sur. En las fachadas este y oeste se despreció el porcentaje de vanos, puesto que en muchas de las viviendas visitadas se comprobó que se eliminan los vanos en los muros medianeros laterales, para permitir adosamiento. Esta elección permite además simular adosamientos sin cambiar los parámetros de comparación.

Se consideró una construcción con valores de transmitancia propuestos por la Reglamentación Térmica para la zona 4. Se utilizó una planta cuadrada y rectangular de 6,7 m. Se realizaron variaciones respecto de los parámetros constructivos para averiguar la mejora producida al incrementar los valores de transmitancia en muros y pisos, el tipo de ventana, y construcción, con o sin masa térmica. Para ello, se utilizó una vivienda mejorada aplicando los parámetros del Código Técnico Español, utilizando valores intermedios correspondientes a las zonas C y D. En este último caso, se consideró exclusivamente los 10 cm. primeros de masa del material efectivo en contacto con el ambiente interior, despreciando la masa existente hacia el exterior a partir del

aislamiento. Todos los casos se estudiaron para una posición norte-sur con respecto al eje de fachada.

En relación con el método de análisis, puede inferirse que de la aplicación estricta de la norma obtiene unos resultados deficientes de comportamiento energético. Independientemente de la fiabilidad asignada al programa utilizado, menos preciso que otros (Bustamante, 2009), hay que resaltar que dicha desviación es constante. En todo caso, aunque los valores obtenidos no pueden tomarse como absolutos, son indicativos, y pueden relacionarse entre sí con respecto al modelo de partida, una relación que puede tomarse como más fiable.

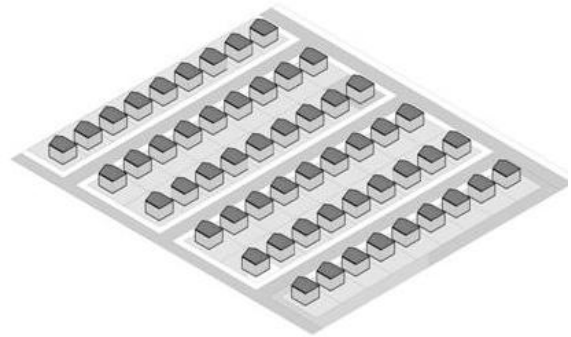
Al considerar la envolvente, se pueden lograr ahorros de hasta un 44% al preferir una vivienda en hilera continua y un 23% al preferir una vivienda pareada. Estos datos solo consideran el agrupamiento como factor. El siguiente factor determinante es la mejora de materialidad de la envolvente, considerando un mayor aislamiento, sin incremento de la masa térmica, se obtiene una disminución del consumo del orden de un 39% aunque en este caso, las mejoras son inversamente proporcionales al adosamiento, es decir, en el caso de las viviendas adosadas, esta diferencia se reduce a un 33%. La mejora de la masa térmica influye en el rendimiento aproximadamente en un 50% respecto de la vivienda que cumple con la reglamentación. Este dato se revela fundamental, puesto que es algo no incluido en la norma. A iguales valores de transmitancia de muro, no son iguales las respuestas dependiendo de donde se sitúen los aislamientos y la masa del edificio.

La última mejora analizada se refiere a las ganancias solares, aunque para que éstas sean significativas, es necesario previamente disponer de masa térmica al interior. Las simulaciones demuestran que la ausencia de masa térmica, aunque se incremente la captación solar, sólo produce mayores diferencias en la oscilación de la temperatura interior, pero no ganancias acumulables. Incorporando masa térmica, y aumentando la superficie de ventana captora, se obtienen mejoras variables, pero significativas. En el caso de las viviendas aisladas, se obtiene un 63%, mientras que en el caso de las viviendas pareadas se amplían a un 62 a 72%, dependiendo si es pareado (menos diferencias) o adosado por ambas medianeras (más eficiente).

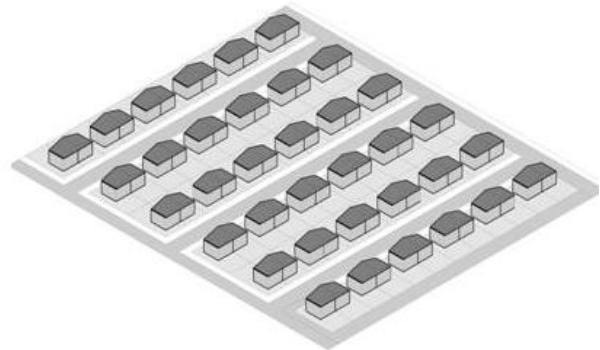
Tabla 1: Composición constructiva de las soluciones analizadas. Fuente: Elaboración Propia
Table 1: Constructive composition of the analyzed solution. Fuente: Own Elaboration

| | Valor U MUROS (W/m ² °C) | Valor U VENTANAS (W/m ² °C) | % VANOS NORTE | % VANOS SUR | MASA INTERIOR (10cm) |
|---------------------------------------|-------------------------------------|--|---------------|-------------|----------------------|
| Vivienda según norma | 1,7 | 5,8 | 30 | 20 | No |
| Vivienda mejorada | 0,8 | 3 | 30 | 20 | No |
| Con masa térmica | 0,8 | 3 | 30 | 20 | Si |
| Optimización de vanos al norte | 0,8 | 3 | - | 10 | Si |

| | Kwh/m ² año |
|--------------------------------|------------------------|
| Vivienda según norma | 143 |
| Vivienda mejorada | 87 |
| Con masa térmica | 71 |
| Optimización de Vanos al Norte | 54 |



| | Kwh/m ² año |
|--------------------------------|------------------------|
| Vivienda según norma | 111 |
| Vivienda mejorada | 71 |
| Con masa térmica | 55 |
| Optimización de Vanos al Norte | 42 |



| | Kwh/m ² año |
|--------------------------------|------------------------|
| Vivienda según norma | 81 |
| Vivienda mejorada | 55 |
| Con masa térmica | 38 |
| Optimización de Vanos al Norte | 29 |

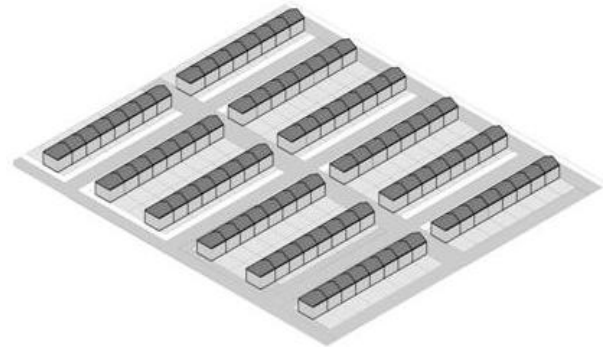


Figura 4: Análisis de comportamiento térmico según agrupación de viviendas. Fuente: Elaboración Propia
Figure 4: Thermal behaviour analysis according to dwelling grouping. Source: Own Elaboration

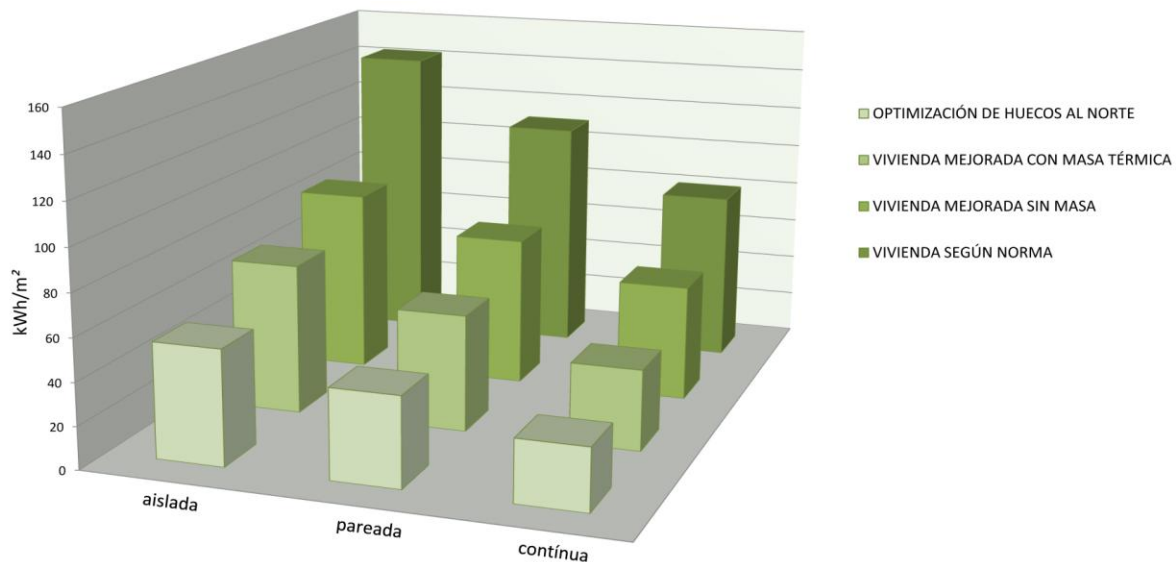


Figura 5: Consumo energético para calefacción para los tres tipos de agrupamiento y mejoramiento de la envolvente. Fuente: Elaboración Propia

Figure 5: Energy consumption for heating for the three grouping and envelope improvement typologies. Source: Own Elaboration.

Para que las ganancias solares sean significativas, es necesario obtener una captación sobre el 20% de la superficie útil construida, independientemente de su adosamiento. A mayores superficies, aunque aumentan las ganancias, estas no son tan significativas, dado que también se incrementan las pérdidas por transmisión a través de los vanos, además de descompensaciones por sobrecalentamiento en los meses estivales. Una posible solución pasa por proteger los vanos en verano, pero las ganancias efectivas, aunque aumente la superficie, no resultan tan significativas al contrarrestarse con las pérdidas. En este caso, convendría realizar estudios más detallados.

Podrían optimizarse más las ganancias considerando captación en cubierta mediante lucernarios, una opción muy ventajosa y factible en las tipologías de vivienda unifamiliar, aunque conviene tener en cuenta que la radiación recibida en cubierta en invierno, entre 57° y 90° de inclinación, representa sólo el 20% de la radiación total recibida entre 27° y 57° de inclinación (Romero, 2008), con lo que los lucernarios deberán orientarse e inclinarse de modo adecuado para poder recibir radiación suficiente y efectiva.

6. Análisis de Envolvente

La composición de la superficie perimetral de una vivienda (muros exteriores, vanos, techumbre

y pisos), es un factor decisivo para la eficiencia energética, por lo que fueron objeto de revisión específica en las tres regiones de estudio. Para evaluar sus características térmicas se seleccionó una muestra de 22 ciudades representativas por mayor población, pertenecientes a tres zonas térmicas (4, 5 y 6), según la reglamentación.

Del comportamiento térmico no se tienen comprobaciones experimentales en la zona, por tanto las demandas de calefacción, iluminación y agua caliente sanitaria, estarían por estadísticas en un rango promedio anual de 192 kWh/m²-año (según IIT, 2009). Otros estudios (Bustamante, 2009) indican demandas para las regiones de estudio, en viviendas pareada de dos pisos, de alrededor de 110 kWh/m² año.

Para la revisión del comportamiento energético y eventuales mejoramientos, se seleccionan ocho muestras de viviendas que reiteran envolventes predominantes en las 22 poblaciones visitadas. Se encuentra, coincidente con la simplificación de los climas, uniformidad de soluciones constructivas y materiales encontradas. Una mayoría en muros de albañilería (87,5%) en primer piso y paneles ligeros sobre estructura en madera o metal, en el segundo, otras (12,5%) en paneles de hormigón con poliestireno y fibrocemento entre marcos metálicos. Las techumbres son similares, con estructura en madera y cubiertas de planchas delgadas en metal (Zinc). En las ventanas se usa generalizadamente vidrio sencillo, de 3 mm, y

marco en aluminio. Los pisos son habitualmente radier de hormigón sobre el terreno sin aislación, aspecto no regulado en la RT.

La evaluación se centra en la zona metropolitana del Gran Concepción, representativa en tamaño de población respecto a toda la zona de estudio, presentando los mayores daños por el 27F y por la cobertura de la zonificación térmico-climática. Se revisó el comportamiento energético de la envolvente predominante, calificando su desempeño frente a la demanda de calefacción, proponiendo mejoramientos y estimando los costos correspondientes para establecer estrategias de retorno de la inversión. Realizando simulaciones simplificadas con el programa Ecotect para dimensionar el comportamiento energético de la envolvente modelando una vivienda social de $\pm 50 \text{ m}^2$, con la envolvente predominante y ajustado a los programas de reconstrucción.

El análisis del desempeño energético se desarrolló comparando parámetros de aislación térmica de muros de fachada, de techumbres y ventanas, otros no normados (aislación térmica sobre terreno, aislación térmica de puente, aislación ponderada vertical y cambios de aire por infiltración) utilizando valores límites de estudios para la certificación de desempeños en la zona (CITEC, UBB).

El primer escenario (E1 en Fig. 6) de mejoramiento tuvo como objetivo alcanzar un ahorro del 20% de la demanda, $\pm 80 \text{ kWh/m}^2$ año, incluyendo además las aislaciones requeridas, realizadas al interior de la vivienda, ventanas en PVC, doble vidriado hermético: $3,6 \text{ W/m}^2\text{K} \geq U > 2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Un segundo escenario (E2 en Fig.7) fijó el ahorro energético en un 50% respecto al caso base ($\pm 50 \text{ kWh/m}^2$ año), correspondiendo mejorar sustancialmente la envolvente de la vivienda, muros, techumbre, aplicando un sistema de aislación externa, sobrepuesto a la envolvente tipo "promuro" (EIFS), disminuyendo molestias de intervención en ocupantes. La calidad térmica de ventanas igual al E1 (Fig.6). Ambos casos estiman costos de mejoramiento.

Los mejoramientos comparativos, son mayores en E2 por la disminución del porcentaje de área de puente térmico al aislar exteriormente. En ambos casos, se muestra la baja capacidad térmica de la envolvente en pisos ya que estos no fueron intervenidos. Aunque se comprueba su incidencia (25% en E1), sugiriendo la aislación de

pisos sobre terreno. Se califica la capacidad para limitar demanda de energía por calefacción según caso base (Fig.7) Hay una relación directa con el poder aislante de la envolvente, si bien se advierte la necesidad de atender el nivel de infiltraciones de aire, dada la influencia de los cambios de aire, en las simulaciones.

Los costos de los mejoramientos calculados en Unidades de Fomento (UF), y comparados con los subsidios actuales para acondicionamiento térmico, son en E1 de 85 UF y en E2 de 120 UF (UF es la moneda reajutable de acuerdo con la inflación en Chile). Estos valores llevados a dólares son aproximadamente de 4000 USD para el caso E1 y 5670 USD en el caso E2. El cálculo de los consumos para calefacción en UF se realizó con combustibles tradicionalmente empleados en las regiones de estudio. Los resultados permiten comparar la diferencia de costos, mayor en gas licuado que en leña, lo cual anima a su uso, asociado también a la tradición cultural y a la imagen de calor que la leña representa en zonas climáticas más frías, en detrimento del medio ambiente (Fig.8)

Por eso, para estimar los posibles ahorros, se realizaron escenarios de amortización del acondicionamiento térmico sólo a partir de consumos por gas licuado, y un régimen de calefacción permanente durante todo el año (Fig.9)

Los resultados dan un ahorro mensual de 0,79 UF, en E1 o de 1,25 UF en E2. La decisión final sobre un escenario u otro, debe incluir el análisis de vida útil de la vivienda y lo que representa el costo/beneficio tanto para el usuario, como para la demanda energética del país. Así mismo la efectividad de los subsidios comprometidos, frente a desempeños energéticos, considerando como alternativa la participación de Empresas de Servicios Energéticos capacitadas para amortizar la inversión inicial.

En el cuadro síntesis (Tabla 2) muestran los resultados del mejoramiento térmico de la envolvente vertical en los dos escenarios contemplados y el retorno de la inversión en 15 años, con ahorros estimados por consumo de calefacción con gas licuado durante un año. En los dos escenarios es posible amortizar los costos con los ahorros de consumo por mes de combustible, hipótesis a revisar posteriormente en una monitorización.

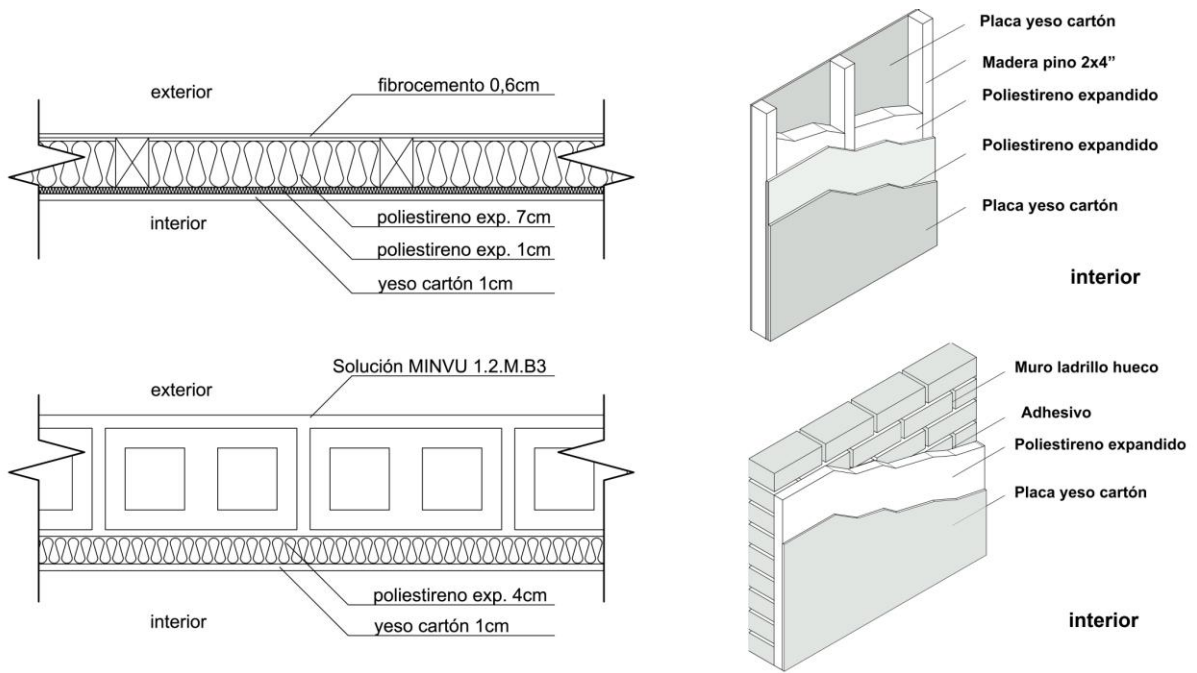


Figura 6: Escenario 1. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 6: Setting 1. Source: Own Elaboration.

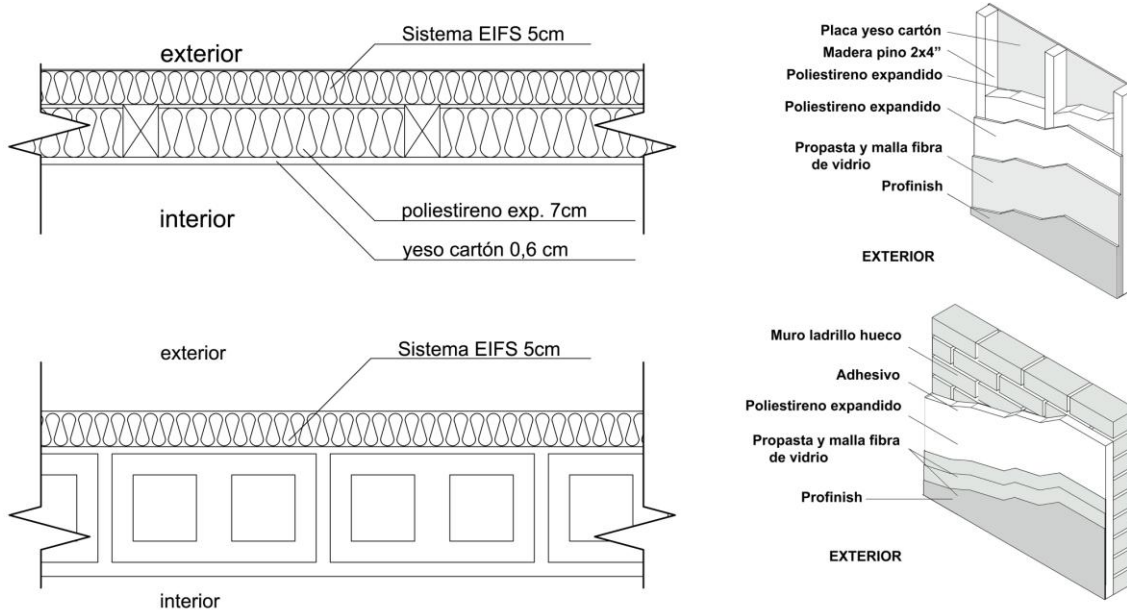


Figura 7: Escenario 2. Fuente: Elaboración Propia.
Figure 7: Setting 2. Source: Own Elaboration.

| Escenario | Consumo Anual Kwh/m ² año | Gas Licuado (Costo UF/año) | Leña (Costo UF/año) |
|-------------|--------------------------------------|----------------------------|---------------------|
| Línea Base | 110,0 | 24,7 | 8,3 |
| Escenario 1 | 80,0 | 15,2 | 6,0 |
| Escenario 2 | 50,0 | 9,7 | 3,8 |

UF: Unidades de fomento, valor monetario variable por reajuste diario utilizado como referencia financiero en Chile

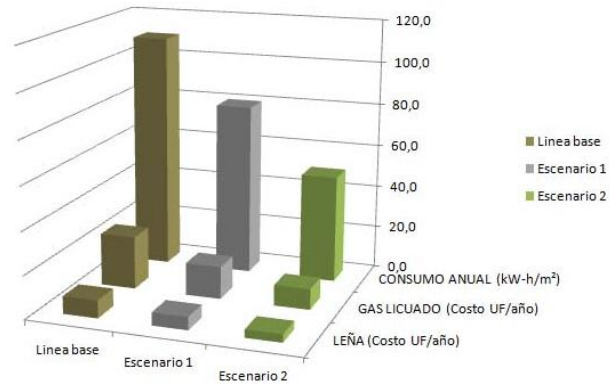


Figura 8: Consumos energéticos por calefacción. Fuente: Elaboración Propia
Figure 8: Heating energy consumption. Source: Own Elaboration.

| Escenario | Gas Licuado (Costo UF/año) | Ahorro (UF/año) | Ahorro (UF/mes) |
|-------------|----------------------------|-----------------|-----------------|
| Línea Base | 24,7 | 0,0 | 0,0 |
| Escenario 1 | 15,2 | 9,5 | 0,79 |
| Escenario 2 | 9,7 | 15,0 | 1,25 |

UF: Unidades de fomento, valor monetario variable por reajuste diario utilizado como referencia financiero en Chile

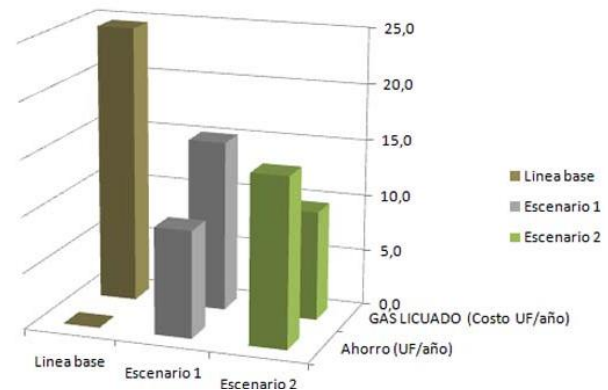


Figura 9: Ahorros por consumo de combustible. Fuente: Elaboración Propia
Figure 9: Money savings on fuel. Source: Own Elaboration

Tabla 2: Cuadro de síntesis de resultados de mejoramiento térmico y retorno de la inversión en UF. Fuente: elaboración Propia
Table 2: Summary table of results of the thermal improvement and return on investment in UF. Source: Own Elaboration.

| Escenario | Demanda Energética Kwh/m ² año | Calificación Desempeño | Costo Mejoramiento Envoltente (CME) Vivienda Social (VS) | Consumo Gas Licuado en UF/mes | Ahorro Consumo Gas Licuado en UF/mes | Cuota Crédito Mejoramiento UF/mes (5,4% anual a 15 años) | Balance Económico Ahorro - Cuota - Crédito |
|-----------|---|------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------------|--|--|
| 0 | 110 | E (base) | 0 | 2,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 80 | C (buena) | ±85 UF | 1,26 | 0,79 | 0,68 | 0,11 |
| 2 | 50 | A (excelente) | ±120 UF | 0,81 | 1,25 | 0,97 | 0,28 |

5. Conclusiones

Las viviendas de la zona centro-sur de Chile se caracterizan por una morfología similar, constituida mayormente por construcciones aisladas de uno y dos pisos, entre 60 a 140 m², ejecutadas en albañilería reforzada en primer nivel y tabiquería de madera en el segundo y techumbre. La zona presenta un clima templado cuyos requerimientos energéticos son

sustancialmente de calefacción, donde la vivienda tiene una participación del 22% del consumo energético nacional. El terremoto del 27 de Febrero del 2010 afectó una cantidad relevante de las viviendas, que están siendo reconstruidas en condiciones similares a las existentes. Aplicando una regulación constructiva, que a partir del año 2007 considera una zonificación climática del país para definir algunas condiciones de envoltente que mejoren su desempeño térmico. En relación con normativas españolas

similares, los valores de transmitancia exigidas son significativamente inferiores y no contempla aspectos de captación solar que podrían contribuir a su eficiencia energética, como también de distribución de la masa térmica y aislamiento.

Comparando condiciones de volumetría, adosamiento, orientación, materialidad de la envolvente vertical y cantidad de vanos en algunos modelos similares de vivienda en esta zona, se advierten fundamentalmente la incidencia de la agrupación y envolvente. De lo cual se pueden derivar algunas recomendaciones de diseño y construcción. Promoviendo disposiciones volumétricas más continuas, como también incrementando los valores de transmitancia, ponderados según la posición del aislamiento y de la masa térmica. Por otra parte, sería bueno introducir normativas que relacionen el soleamiento con la superficie captora, impidiendo orientaciones imposibles de recibir soleamiento suficiente (unas 4 horas) en un porcentaje determinado de superficie de captación relacionada con la superficie de planta a norte o compensado con aberturas en la cubierta. Considerando un mayor control de la transmitancia en vidrios.

Sugiriendo además aumentar el área de ventanas captoras a norte, al menos hasta un 20% de la superficie construida. A partir de ese porcentaje, es necesario proteger los vanos frente a la radiación solar en los meses no invernales. Las ganancias solares pueden conseguirse directamente de la correcta orientación del edificio, de su adecuada distribución y compacidad, y de los sistemas de captación, fundamentalmente de la relación entre radiación incidente, superficie de captura, superficie útil, capacidad de almacenamiento (inercia térmica) y pérdidas por transmisión (aislamiento). Considerando el porcentaje de días nublados o de disminución de la radiación incidente en los meses más fríos, para compensar las pérdidas con mayor captación. Podría optimizarse la radiación por cubierta, teniendo en cuenta la inclinación, muy penalizada en invierno a partir de los 57° de inclinación.

La distribución de la masa térmica y del aislamiento es determinante a la hora de conseguir ganancias solares acumulables. En condiciones de necesidad de captar calor, como es el caso, parecen recomendables aislamiento al exterior y masa al interior, protegiendo los vanos para evitar sobrecalentamientos. Una solución de compromiso pasaría por situar el aislamiento en

una posición intermedia, mediante doble muro. Armonizar medidas de diseño y construcción con acciones de análisis y control de desempeños, pueden contribuir a un mejoramiento efectivo. La declaración de cumplimiento de diseñadores acompañada de asesorías técnicas del diseño, monitorización y encuestas post-ocupación o etiquetado del gasto energético, garantizarían metas consecuentes a la calidad del diseño y la ejecución alcanzadas.

Evaluación de dos escenarios de mejoramiento de envolvente, en relación a un caso base, permiten identificar estrategias efectivas de disminución de consumo energético, alcanzables en programas estatales de construcción y rehabilitación de viviendas. Aumentando la transmitancia de la envolvente presenta una reducción significativa en consumos energéticos (hasta un 50%: alcanzando 50KWh/m² año). Las simulaciones efectuadas demuestran también la necesidad de complementar la reglamentación con aislación térmica de pisos no ventilados, de puente térmico, ponderada vertical y cambios de aire por infiltración. Las estrategias de mejoramiento sugeridas de envolventes de viviendas existentes por revestimientos exteriores aislados (EIFS) implican un menor impacto en la ejecución. Se señalan ahorros por consumos de combustible con gas, desestimulando al empleo de la leña y se sugieren tres alternativas de retorno de la inversión a contrastar experimentalmente.

Esta revisión y sugerencias de eficiencia energética de las viviendas en el centro-sur de Chile, revela requerimientos específicos y acciones factibles de ejecutar sobre el parque habitacional existente y los programas de reconstrucción en curso. Evidenciando especialmente condiciones de agrupación, captación solar y materialidad de la envolvente vertical, para alcanzar un mejoramiento significativo de la calidad ambiental en las viviendas.

Agradecimientos

El presente artículo fue escrito en el marco del proyecto MEL 81100003 "Diseño Integrado para la Reconstrucción de Viviendas Energéticamente Eficientes" 2011-2012, desarrollado por la Universidad del Bío Bío y la agencia Chilena de eficiencia energética con fondos aportados por CONICYT-Chile

Referencias Bibliográficas

Bustamante, W. (2009). *Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social*. Santiago de Chile: MINVU y Programa País de Eficiencia Energética.

Comisión nacional de energía de Chile (CNE). (2008). *Consumo porcentual por sectores de energía secundaria en Chile. Promedio año 1998 al 2007*. En Eficiencia energética en vivienda: un desafío posible Recuperado 02 de diciembre 2011, de: <http://vinculosconlasociedad.uc.cl/documentos/12615031554666.pdf>

E. Fitzgerald, A. McNicholl, R. Alcock Y J. Owen Lewis. (2007). *Un Vitruvio ecológico*. Barcelona, España: Gustavo Gili.

Goycoolea Infante, R. (2011). Plan Regulador 1960-1980. Remembranzas personales en su cincuenta aniversario. *Arquitecturas del Sur*, 38, p.p. 24-37.

Instituto de investigaciones Tecnológicas y Asistencia Técnica, (IIT) Universidad de Concepción. (2009) *Sistema de Certificación Energética de Viviendas*. Recuperado 7 de noviembre 2011, de: [http://barriosustentablecoronel.cl/pdf/sistema_de_certificacion_energetica_de_viviendas.pdf

Instituto nacional de estadística, Gobierno de Chile.(2011). *Demografía de ciudades, pueblos Aldeas*

y Caseríos. Recuperado 18 de junio 2011, de: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/demografia_y_vitales/demografia/demografia.php. Consulta 18 junio 2011.

Instituto nacional de normalización. (1979). *Norma NCh1079.Of1979. Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico*.

Luxan, M., Celis F., Da Casa F., Echeverría E. (1996). *Arquitectura y clima en Andalucía, manual de diseño*. Sevilla: Junta de Andalucía.

Ministerio de la vivienda y urbanismo. (2010) *Estado de situación del sector*. Recuperado 8 de noviembre 2011, de: <http://www.gobiernodechile.cl/cuenta-publica-2010/ministerio-de-vivienda-y-urbanismo/cuenta-sectorial/>

Observatorio urbano. (2011). *Parque habitacional, viviendas tipo casa, departamento, precaria*. Recuperado 18 de junio 2011, de: http://www.observatoriourbano.cl/indurb/pre_indicadores.asp.

Romero H. 2008. Irradiancia solar en territorios de la República de Chile. CNE / PNUD / UTFSM. Santiago.

Recibido: 05|08|2012
Aceptado: 29|10|2012