

Simplified life cycle assessment applied to structural insulated panels homes

Análisis de ciclo de vida simplificado aplicado a viviendas de paneles SIP (structural insulated panels)

Juan Pablo Cárdenas^{1*}, Edmundo Muñoz**, Cristian Riquelme*, Francisco Hidalgo*

* Universidad de la Frontera, Temuco. CHILE

** Universidad Andrés Bello, Santiago. CHILE

Fecha de Recepción: 30/10/2014

Fecha de Aceptación: 25/03/2015

PAG 33-38

Abstract

As environmental issues become increasingly important, the buildings have focused on energy efficiency and energy needed for the construction and production of material. This research shows a simplified life cycle analysis study of operational and embodied energy of four new houses located in Temuco - Chile, structured with SIP (Structural insulated panel), in order to quantify the energy at each stage of this construction system. To obtain embodied energy were used two international databases in order to quantify the energy of each material, and the energy contained in the process relating with structure SIP was determined through measures in a company specializing in SIP construction. For the operational energy, computational models were carried out with Design Builder software, and this energy was projected at 50 years lifespan. The analysis of the data obtained show that the energy contained by construction processes represents about 1.7% of embodied energy, while the total embodied energy represents 11% of the total life cycle energy of houses, the remaining 89% represents the energy of occupation. On the other hand, we observe that SIP houses generate figures close to 60% savings in energy demand, compared to a masonry houses commonly built in this city.

Keywords: Construction materials, environmental assessment, embodied energy, operational building energy, life cycle assessment

Resumen

A medida que los asuntos ambientales se vuelven más importantes, las construcciones se han enfocado en su eficiencia energética y la energía necesaria para construir y producir los materiales. Esta investigación muestra un estudio de Análisis de Ciclo de Vida simplificado de energía operacional y energía contenida de cuatro viviendas nuevas ubicadas en Temuco, Chile, estructuradas con paneles SIP (Structural insulated panel) para cuantificar la energía en cada etapa de este sistema de construcción. Para obtener la energía contenida, fueron utilizadas dos bases de datos internacionales para cuantificar la energía de cada material y se determinó la energía contenida en el proceso relacionado a la estructura de paneles SIP a través de mediciones en una compañía especializada en construcción de paneles SIP. Para la energía operacional, se llevaron a cabo modelos computacionales con el software Design Builder y se proyectó esta energía con una vida útil de 50 años. El análisis de la información obtenida muestra que la energía contenida por procesos de construcción representa cerca del 1.7% de la energía contenida y mientras que el total de energía contenida representa el 11% de la energía del ciclo de vida total de las viviendas, el remanente 89% representa la energía de operación. Por otro lado, observamos que las viviendas con paneles SIP generan cifras cercanas al 60% en ahorro en demanda energética, comparadas a las viviendas de mampostería estructural normalmente construidas en esta ciudad.

Palabras claves: Materiales de construcción, evaluación ambiental, energía contenida, energía operacional, análisis de ciclo de vida

1. Introducción

La construcción de edificios juega un rol fundamental en el medioambiente. Es un gran consumidor de recursos naturales y genera una enorme cantidad de desechos. Es también un importante usuario de energía no renovable y un emisor de gases causantes del efecto invernadero y otros desechos en estado gaseoso (Zabalza Bribián, Aranda Usón, y Scarpellini, 2009).

El sector de la construcción contribuye en gran medida a la carga ambiental global de las actividades humanas: por ejemplo, cerca del 40% del consumo energético total en Europa corresponde a este sector. De acuerdo a la información entregada por el Worldwatch Institute, la construcción de edificios consume el 40% de roca, arena y gravilla, además del 25% de madera y 16% del agua utilizada anualmente en el mundo (Arena y de Rosa, 2003). El área de la construcción (es decir, incluyendo producción y transporte de materiales de construcción) en los países de la OCDE consume del 25% al 40% de la energía total utilizada (e incluso en algunos países puede alcanzar el 50%) (Asif, Muneer y Kelley, 2007).

1. Introduction

Buildings' construction has a major determining role on the environment. It is a major consumer of land and raw materials and generates a great amount of waste. It is also a significant user of non renewable energy and an emitter of greenhouse gases and other gaseous wastes (Zabalza Bribián, Aranda Usón, & Scarpellini, 2009).

The building sector contributes largely in the global environmental load of human activities: for instance, around 40% of the total energy consumption in Europe corresponds to this sector. According to data from the Worldwatch Institute, the construction of buildings consumes 40% of the stone, sand and gravel, 25% of the timber and 16% of the water used annually in the world (Arena & de Rosa, 2003). The building and construction sector (i.e. including production and transport of building materials) in OECD countries consumes from 25% to 40% of the total energy used (as much as 50% in some countries) (Asif, Muneer, & Kelley, 2007).

¹ Autor de correspondencia / Corresponding author:

Departamento de Ingeniería en Obras Civiles, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile

E-mail: juanpablo.cardenas@ufrontera.cl



Debido a que se utilizan materiales globales tales como cemento, aluminio, concreto y PVC, los costos energéticos y el impacto ambiental aumentan diariamente. Naturalmente, la solución es volver a sus orígenes al sector de la construcción, utilizar materiales locales con bajos costos energéticos y un bajo impacto ambiental.

Por otro lado, muchos estudios han demostrado que la energía operacional representa la principal etapa de la energía total utilizada en viviendas durante un ciclo de vida asumido de 50 años siendo aproximadamente 85–95% del uso energético total (Thormark, 2002). También representa un gran objetivo a mejorar y la mayoría de las políticas ambientales lo abordan. Existe una clara interacción entre todas las etapas de la vida de un edificio: por ejemplo, si se invierte menos en la fase de construcción (utilizando, por ejemplo, una mala aislación), la inversión necesaria para uso y mantenimiento aumentará. Entonces, la pregunta es la siguiente: ¿es mejor invertir en la construcción antes que en uso y mantenimiento? La aplicación de una metodología global tal como el LCA nos permitirá contestar esta pregunta dado que esta metodología puede analizar el impacto ambiental global durante la vida útil de un edificio (Zabalza Bribián et al., 2009).

Sin embargo, existen muchas metodologías propuestas en artículos que tienen el objetivo de superar los prejuicios existentes de los arquitectos e ingenieros sobre la complejidad del LCA, debido a las dificultades para entender y aplicar los resultados y el vínculo poco definido en relación a las aplicaciones de certificación energética. En Chile, la metodología LCA aplicada al sector de la construcción es un tema nuevo y nuestro trabajo está aún enfocado en incorporar el concepto de energía contenida.

2. Discusión y desarrollo

2.1 Metodología

Objetivo y alcance

El objetivo de este estudio fue comparar diferentes viviendas disponibles hoy en día en el mercado de la construcción en la ciudad de Temuco, Chile, de acuerdo a su energía contenida y operacional.

Energía

Debido a la falta de inventario en Chile y a que la metodología LCA aplicada al sector de la construcción es aún incipiente, el análisis se simplificó al cálculo de energía en la fase de construcción como resultado de la energía en cada material utilizado en la vivienda a través de dos bases de datos: Inventory of Carbon & Energy (Geoff Hammond & Craig Jones, 2008) y New Zealand Building Embodied Energy Coefficients materials database (Alcorn, 1998).

Para determinar la energía contenida en el proceso de construcción, se llevó a cabo un levantamiento de datos en la etapa de ensamble de un conjunto de módulos y viviendas de paneles SIP.

Además, la energía operacional fue calculada como necesaria para mantener la comodidad térmica y la iluminación en la vivienda, diseñado a cincuenta años. El objetivo de este estudio es generar una primera aproximación al asunto energético, un concepto no tratado por las compañías constructoras quienes están incorporando nuevos criterios de eficiencia energética pero enfocada solamente en la etapa de ocupación.

Because global materials such as cement, aluminium, concrete and PVC are used, the energy costs and environmental impact increasing daily. Naturally, one solution is come back to building sector begin, local materials use with low energy costs and low environmental impact.

On the other hand, several studies have shown that operational energy accounts for the main amount of total energy use in dwellings during an assumed service life of 50 years and it is approximately 85–95% of the total energy use (Thormark, 2002). It also represents a major target for improvement, and is generally addressed by most environmental policies. There is a clear interaction between all the stages of a building's life: for example, if less is invested in the construction phase (e.g. using poor insulation), the investment needed for use and main-tenance will increase. So the question is: is it better to invest in construction rather than in use and maintenance ?. The application of a global methodology such as LCA will allow us to answer this question, since this methodology can assess the global environmental impact during the life span of a building (Zabalza Bribián et al., 2009).

However, there are many methodologies proposed in papers with aims to overcome the existing prejudices of architects and engineers about LCA complexity, the difficulties in understanding and applying the results and the loose link with the energy certification applications. In Chile, the LCA methodology applied on building sector it is a new subject and our work it is focused in incorporate embodied energy concept still.

2. Discussion and development

2.1 Methodology

Goal and scope

The aim of this study was to compare different dwellings available on the building market today in the city of Temuco, Chile, according to their embodied and occupational energy.

Energy

Due to lack of inventory in Chile and that the methodology of life cycle assessment applied to the building sector is still incipient, the analysis was simplified to the calculation of energy in the construction phase as a result of the energy in each material used in the dwelling through two databases: Inventory of Carbon & Energy (Geoff Hammond & Craig Jones, 2008), and New Zealand Building Embodied Energy Coefficients materials database (Alcorn, 1998).

In order to determine the energy contained in the building process we conducted a survey of data from an assembly of modules and SIP panel housing.

Moreover occupational energy was calculated as necessary to maintain thermal comfort and lighting in the home, designed to fifty years. This study aims to generate a first approximation to the energy issue, a concept not addressed by the construction companies who are incorporating new energy efficiency criteria but only focused on the stage of occupancy.



Este concepto también está destinado a ver la importancia de considerar todas las etapas de ciclo de vida de la construcción de viviendas para avanzar hacia una construcción sustentable y certificable.

Evaluación del impacto- Emisiones de CO₂

La emisión de gases de efecto invernadero (GEI) se determinó de forma separada en las dos etapas del ciclo de vida. Para la primera etapa, se determinó el CO₂ equivalente asociado con el contenido energético y para la segunda etapa, se determinó la emisión de CO₂ desde la etapa de ocupación asociada con el combustible empleado.

Obtener el CO₂ equivalente fue similar a obtener la energía. La base de datos utilizada para la determinación de CO₂ equivalente tiene los valores de emisiones de CO₂ en kilogramos de CO₂ equivalentes por unidad de material. A diferencia de la determinación de energía en este caso, la determinación de CO₂ equivalente se lleva a cabo con una sola base de datos de Inventory of Carbon & Energy. Este estudio se basa en la información generada a partir de la energía, realizando cambios a los factores de emisión desde Inglaterra, relacionados a emisiones de combustible utilizado en el proceso que es sólo una primera aproximación y no representa necesariamente la realidad de Chile.

La emisión del proceso de construcción se midió cuantificando la energía de los procesos y el factor de emisión de la fuente de combustible utilizada.

La emisión de la fase de ocupación fue generada desde el software de simulación térmica DesignBuilder®. El cálculo de CO₂ equivalente se asoció al consumo energético de HVAC (climatización) y la electricidad para la iluminación calculada por el software. Por consiguiente, el software identificó un factor para cada combustible que contiene el monto de CO₂ equivalente emitido por unidad de energía consumida (kg CO₂eq/kWh), por lo que este factor multiplicado por el consumo energético de las viviendas entrega las emisiones anuales de CO₂. Los factores presentados por el software para el consumo energético en Chile fueron:

- » Electricidad : 0.685 kg CO₂eq/kWh
- » Diesel : 0.273 kg CO₂eq/kWh
- » LPG y NG : 0.195 kg CO₂eq/kWh

3. Resultados y discusión

La Tabla 1 que se muestra abajo presenta los resultados de cuatro viviendas construidas con paneles SIP. Las primeras dos viviendas son clasificadas como comunes en el sur de Chile, mientras que las viviendas 3 y 4 son modulares.

This form is also meant to see the importance of considering all lifecycle stages of housing construction to move towards a sustainable and certifiable.

Impact assessment- CO₂ emissions

The emission of greenhouse gas (GHG) was determined separately in the two life cycle stages. For the first stage the equivalent CO₂ associated with the energy content was determined and for the second stage, the emission of CO₂ from the stage of occupation associated with the fuel employed.

Obtaining the equivalent CO₂ was similar to obtaining the energy. The database used for the determination of CO₂ equivalent has the values of CO₂ emissions in kg of CO₂ eq per unit of material. Unlike the energy determination in this case the determination of CO₂ equivalent is done with a single database from the Inventory of Carbon & Energy. This study is based on data generated from the energy, making changes to emission factors from England, related to emissions from fuel used in the process, which is only a first approximation and does not necessarily represent the reality of Chile.

The emission of construction process was measured by quantifying the energy of the processes and the emission factor of the fuel source used.

The emission from the occupation phase was generated from the thermal simulation software DesignBuilder®. The calculation of CO₂ eq was associated with energy consumption of HVAC (heating and cooling) and electricity for lighting calculated by the software. Thus, the software identified a factor for each fuel, which contains the amount of CO₂ eq emitted per unit of energy consumed (kg CO₂eq/kWh), so this factor by multiplying the energy consumption of housing delivers annual CO₂ emissions. The factors presented by the software for energy consumption in Chile were:

- » *Electricity : 0.685 kg CO₂eq/kWh*
- » *Diesel : 0.273 kg CO₂eq/kWh*
- » *LPG y NG: 0.195 kg CO₂eq/kWh*

3. Results and discussion

Below, Table 1 shown the results of four homes built with SIP, the first two houses are a typology common in southern Chile, while houses 3 and 4 are modular.



Tabla 1. Energía en cada etapa por vivienda
Table 1. Energy at each stage by house

	Área/Area [m ²]	Contenida/Embodied	Proceso de construcción/Construction process			Operación/Operation
		Materiales/Materials [kWh]	Electricidad/Electric [kWh]	Gasolina/Gas [kWh]	Diesel [kWh]	Calefacción/Heating [kWh/50yr]
Vivienda 1/House 1	75.0	46914.7	625.0	84.8	22.9	438450
Vivienda 2/House 2	60.0	39421.6	500.4	67.8	8.1	368265
Vivienda 3/House 3	35.0	17221.0	291.3	39.6	11.5	155340
Vivienda 4/House 4	50.0	23066.9	417.0	56.5	11.5	233740

Al comparar los resultados para cada vivienda, se observa que la energía contenida de materiales utilizados representa un promedio de 98.3% en la pre-ocupación y la energía asociada con los procesos de construcción representa aproximadamente un 2% de esta etapa. La energía total de la pre-ocupación en promedio es equivalente a 5.4 años de energía térmica en la fase de ocupación. Esto se explica por el bajo nivel de requerimientos todavía presentes en las normas chilenas, con rangos de energía operacional entre 89-123 kWh/m²/anuales.

La energía total proyectada a 50 años de vida útil varía entre 172900 – 486097 kWh en un resultado promedio de 298947 kWh, donde la energía contenida en los materiales está en un promedio de 11% aproximadamente de la energía total. De igual forma, la energía utilizada por etapa se muestra en la Figura 1.

Comparing the results for each dwelling is observed that embodied energy of materials used represents an average 98.3% in the pre occupancy and the energy associated with the construction processes only about 2%. The total energy of the pre occupation on average is equivalent to 5.4 years of heating energy in the phase of occupation, this is explained by the low level of requirements still present in the regulations of Chile, with occupational energy ranges between 89-123 kWh/m²/year.

The total energy projected at 50 years of service life varies between 172900 – 486097 kWh, in an average result of 298947 kWh, where the embodied energy in the materials is on average 11% approximately of the total energy. Likewise, the energy used by stage is shown in Figure 1.

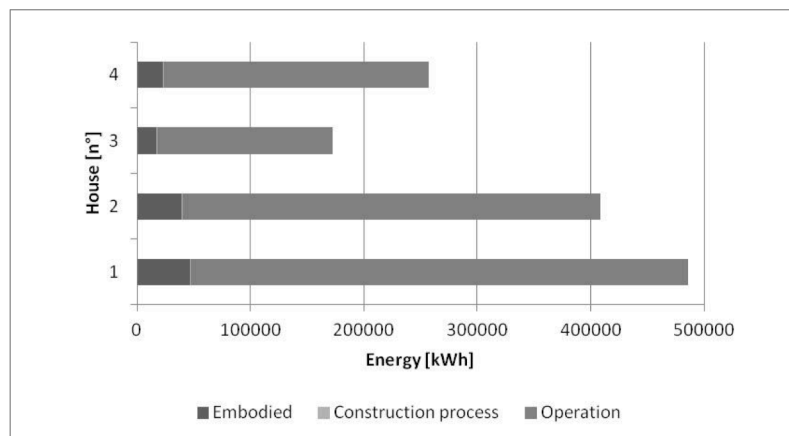


Figura 1. Energía en cada etapa por vivienda proyectada a 50 años de vida útil
Figure 1. Energy at each stage by house projected at 50 years of service life

La Figura 2 muestra, en términos generales, la disminución de la demanda energética térmica normalizada anual asociada con la nueva norma térmica aplicada en el país, pero también se observa la diferencia a un estándar de referencia como el passivhaus.

Figure 2 shows in general terms the decrease of the normalized heating energy demand per year associated with the new thermal regulation applied in the country, but also observe their distance a reference like the passive house standard.



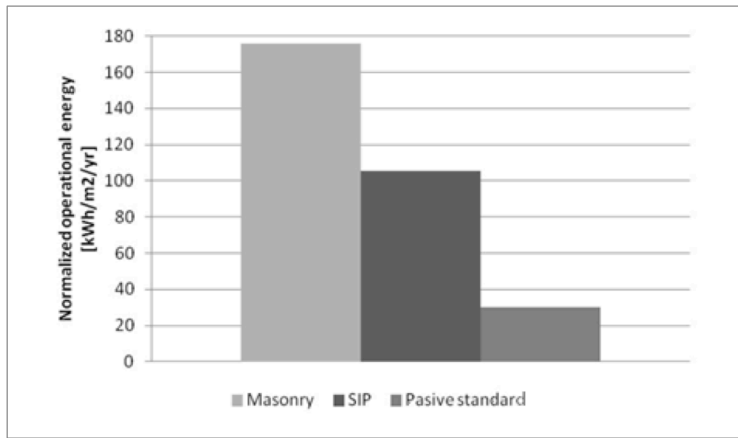


Figura 2. Energía Operacional por sistema de construcción
Figure 2. Operational Energy by building system

También es importante notar que la energía contenida en los materiales de las viviendas con paneles SIP con menor demanda energética operacional es al menos 20% de la energía promedio contenida en una vivienda de mampostería estructural (Cárdenas, Muñoz y Fuentes, 2011).

Se presentan las emisiones para referencia en la Tabla 2 y la Figura 3. Sin embargo, es claro que el resultado depende directamente de los factores de emisión del país en el cual se desarrolló el inventario. No obstante, sólo se utilizó para ver el peso de las emisiones en la etapa operacional.

It is also important to note that housing sip with fewer occupational energy demand, the energy contained in the materials in this comparison is at least 20% average energy contained in a masonry housing (Cárdenas, Muñoz, & Fuentes, 2011).

Emissions are presented for reference in Table 2 and Figure 3. However it is clear that the result depends directly on the emission factors of the country in which the inventory was developed, however we only used in order to see the weight of emissions in operational stage.

Tabla 2. Emisiones en cada etapa por vivienda
Table 2. Emission at each stage by house

	Área/Area [m ²]	Contenida/Embodied	Construcciones/Constructions	Operación/Operation
		Materiales/Materials [kg CO ₂ eq]	Proceso/Process [kg CO ₂ eq]	Calefacción/Heating [kg CO ₂ eq/yr]
Vivienda 1/House 1	75.0	12748.4	364.2	523491.0
Vivienda 2/House 2	60.0	12079.2	269.3	457086.0
Vivienda 3/House 3	35.0	5372.6	174.6	222993.5
Vivienda 4/House 4	50.0	6462.0	237.5	282701.9

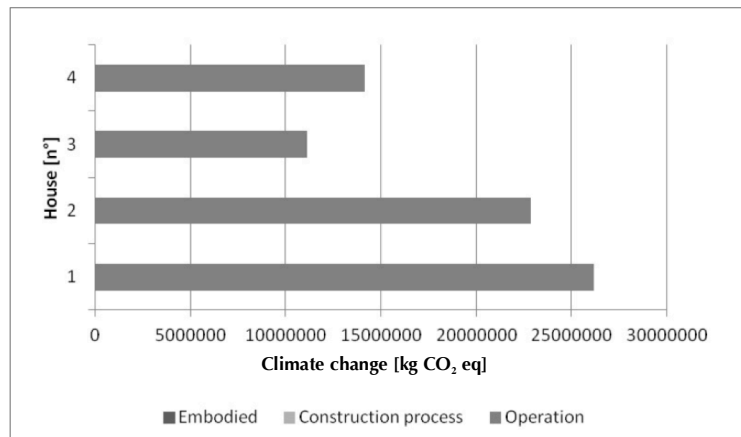


Figura 3. Emisiones en categoría cambio climático por vivienda proyectadas a 50 años de vida útil
Figure 3. Emissions energy by house projected at 50 years of service life

4. Conclusión

La etapa operacional es la fase principal del ciclo de vida en términos de demanda energética. En este sentido, la cantidad de energía en las viviendas y módulos representa un promedio de 5.4 años de demanda energética respecto a la energía operacional calculada sobre 50 años.

La energía contenida es en promedio sólo 11% de toda la energía en el ciclo de vida de las viviendas; el 89% restante está destinado a energía operacional.

En términos de energía, los procesos de construcción representan un impacto insignificante. La cantidad de energía contenido en los procesos de construcción, transporte, carga y descarga, es cerca del 2% del promedio total de energía contenida en los materiales de las viviendas y módulos.

4. Conclusion

The operation stage is the main phase of life cycle in terms of energy demand. In this sense, the amount of energy in homes and modules represents an average of 5.4 years energy demand in respect of operational energy calculated over 50 years.

Embodied energy is on average only 11% of the all the energy in the life cycle of housing, remaining 89% goes to the energy of operational.

In terms of energy, the construction processes represent a negligible impact. The amount of energy contained in the processes of construction, transport, loading and unloading, is about 2% from the average total energy contained in the materials of the houses and modules.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero de DIUFRO Project DI09-0083, Determinación del Comportamiento Energético de Viviendas en Temuco, Universidad de La Frontera, Chile.

5. Acknowledgements

Authors thank the financial support of DIUFRO Project DI09-0083, Determinación del Comportamiento Energético de Viviendas en Temuco, Universidad de La Frontera, Chile.

6. Referencias/References

- Alcorn A. (1998)**, NEW ZEALAND BUILDING MATERIALS EMBODIED ENERGY COEFFICIENTS DATABASE Volume II: Coefficients. Centre for Building Performance Research.
- Arena A., and de Rosa C. (2003)**, Life cycle assessment of energy and environmental implications of the implementation of conservation technologies in school buildings in Mendoza—Argentina. *Building and Environment*, 38(2), 359–368. doi:10.1016/S0360-1323(02)00056-2
- Asif M., Muneer T. and Kelley R. (2007)**, Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. *Building and Environment*, 42(3), 1391–1394. doi:10.1016/j.buildenv.2005.11.023
- Cárdenas J. P., Muñoz E. and Fuentes F. (2011)**, Operational and Embodied Energy in three houses. In *International Life Cycle Assessment Conference in Latin-America*.
- Geoff Hammond and Craig Jones (2008)**, *Inventory of Carbon & Energy V1.6a*.
- Thormark C. (2002)**, A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. *Building and Environment*, 37, 429 – 435.
- Zabalza Bribián I., Aranda Usón A. and Scarpellini S. (2009)**, Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment*, 44(12), 2510–2520. doi:10.1016/j.buildenv.2009.05.001

