

Evaluación del desempeño energético y análisis de LCC de la aplicación de la CEV y NTM11 en el mejoramiento de la envolvente para la eficiencia energética de viviendas

Caso Estudio: vivienda unifamiliar en Coronel, Chile

Autor: Pedro Valenzuela Salazar

Arquitecto, Universidad del Bío Bío

pavalenzuelasalazar@gmail.com

Profesor Guía: Ariel Bobadilla Moreno

Ing.Civil Mecánico, M.Sc y PhD Universidad Católica Lovaina

Resumen

El sector residencial es uno de los principales consumidores de energía, la creciente conciencia e interés en fomentar la eficiencia energética en las edificaciones es imprescindible para revertir este panorama. El presente estudio aborda esta problemática a través de una evaluación del desempeño energético y un análisis económico basado en la metodología costo ciclo de vida (LCC). Las distintas alternativas de mejoramiento de la envolvente, su calificación energética y la aplicación de la NTM11 con nuevas exigencias de transmitancia térmica. En primer lugar se seleccionan estrategias para mejorar la envolvente del caso estudio, se simulan y se determinan a través del sistema de calificación energética de viviendas su grado de influencia y su repercusión en el desempeño como también mediante un análisis de costos de ciclo de vida identificando como la mejor solución la alternativa H3, al obtener una mejor calificación energética y recuperando la inversión en una plazo de 5 años. El análisis de costo de ciclo de vida es una metodología de gran utilidad para representar de manera objetiva los beneficios económicos, energéticos y ambientales de la eficiencia energética, y contribuye a la hora de la toma de decisiones en el proceso de diseño del proyecto.

Palabras Claves: Norma técnica Minvu (NTM11); Calificación Energética Viviendas (CEV); Análisis de Costos de Ciclo de Vida (LCC).

Abstract

The residential sector is one of the main energy consumers, the growing awareness and interest in promoting energy efficiency in buildings is essential to reverse this scenario. The present study addresses this problem through an evaluation of energy performance and an economic analysis based on the methodology Life Cycle Cost (LCC). The different alternatives for improving the envelope, its energy rating and the application of the NTM11 with new requirements of thermal transmittance. In the first place, strategies are selected to improve the envelop of the study case, are simulated and determined through the home energy rating system, their degree of influence and their impact on performance as well as a life cycle cost analysis, identified as the best solution to the H3 alternative, by obtaining a better energy rating and recovering the investment within 5 years. Life cycle cost analysis is a highly useful methodology to objectively represent the economic, energy and environmental benefits of energy efficiency and contributes to the decision-making process in the project design.

Keywords: Minvu technical standard (NTM11); Residential Energy Rating (CEV); Life Cycle Cost analysis (LCC).

1. Introducción

La demanda y el consumo energético en los últimos 40 años se ha duplicado a nivel mundial, entre los factores de aumento está el crecimiento económico, el incremento de la capacidad productiva de los países, el mayor tamaño del sector de transporte y un aumento de la población mundial.(Ministerio de Energía, 2015).

Dentro de este panorama el sector de la construcción tiene un gran impacto social, medioambiental y económico. Uno de los principales productos de esta industria está reflejado en la fase de operación de los edificios, durante su ciclo de vida. (Zuo and Zhao , 2014).

Un ejemplo es que los edificios residenciales en Europa, son responsables del consumo 40% de energía y del 36% de las emisiones de CO₂ en la atmósfera. (EU 2010) por este motivo son necesarias las medidas para reducir estos impactos en el sector de la construcción.(Carpio et al.,2014).

En nuestro país esta realidad es muy similar, el 33% de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) son generadas por el sector residencial - público - comercial, ligado íntegramente a edificaciones. (Ministerio del Medio Ambiente, 2011). Se estima que la demanda energética en nuestro país, crecerá un 4,9% anual hasta el año 2020. (Estudio Mercado EE en Chile, 2010).

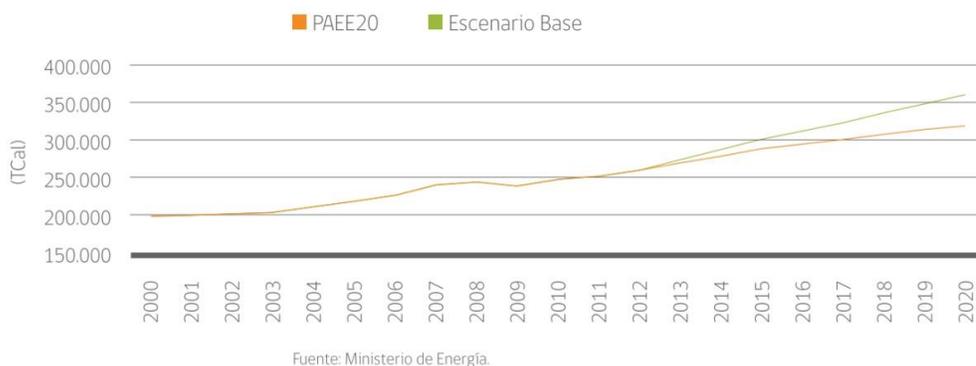
La leña es fuente energética de un intensivo uso en calefacción, llevando a numerosas ciudades del centro-sur hayan sido decretadas como zonas saturadas de contaminación. Su bajo precio y una razón cultural, hacen de este combustible irremplazable, por lo que constituye un problema que debe ser enfrentado con una mirada sistémica. (Ministerio de Energía 2014). Para combatir esta realidad, la Eficiencia Energética es un recurso inevitable dentro de toda planificación en el sector energético. (Bustamante W., Rozas Y., Cepeda R., Encinas F.,2009).

Según la Agencia Internacional de Energía (AIE), entre 1974 y 2010, la Eficiencia Energética fue la mayor fuente de energía en un subconjunto de 11 países de la AIE, evitando el consumo de 32 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Tep) (Ministerio de Energía, 2014).

Las primeras medidas concretas para el fomento de la eficiencia energética impulsadas por Chile se dieron el año 2005, en donde fue creado el Programa País de Eficiencia Energética (PPEE), el año 2010 fue creada una nueva institucionalidad: El Ministerio de Energía, que entre sus divisiones cuenta con la División de Eficiencia Energética, y el PPEE da paso a la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), fundación de derecho privado, cuyo objetivo es promover, fortalecer y consolidar el uso eficiente de la energía y ser el ejecutor de las políticas públicas en este sentido. (Ministerio de Energía, 2012).

La Política Energética 2050, adopta un compromiso decidido en la eficiencia energética e impulsarla como una política pública de suma importancia en la búsqueda de una reducción del consumo y de desacople entre crecimiento y demanda energética. Una de las metas para el 2050 es alcanzar que el 100% de las edificaciones nuevas cuenten con estándares OCDE, de construcción eficiente y que cuenten con sistema de control y gestión inteligente de la energía.(Ministerio de Energía, 2015).

Fig. 1: Proyección Consumo Energía al 2020 (Fuente: Ministerio de Energía)



2. Aspectos Generales

La normativa en materia de eficiencia energética también ha ido evolucionando, a partir del 1996, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) se comenzó la implementación del art. 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) comenzando con exigencias para el complejo de techumbre el año 2000 y para muros, ventanas y pisos ventilados el año 2007, que hasta el día de hoy sigue vigente.

En el año 2009 un estudio “Certificación Energética de Viviendas” desarrollado por la Universidad de Concepción y la Fundación Chile, se generó la primera versión de lo que es hoy es el sistema de Calificación Energética de Viviendas (CEV).

El año 2011 se entregaron las primeras etiquetas de la marcha blanca del sistema y el año 2013 se entregó la primera etiqueta oficial, con el procedimiento actual completo.

Los nuevos planes de acción del Estado, buscan promover edificios con alto estándar de eficiencia energética, revisando y ampliando los requisitos mínimos exigidos en la reglamentación vigente. La Norma Técnica MINVU 11, y el Código de Construcción Sustentable para Viviendas son claros ejemplos de la tendencia en el sector de la construcción.

Las diversas iniciativas de Eficiencia Energética, provenientes del sector público como privado han implicado grandes y acelerados cambios en la sector de la construcción, por lo que los profesionales del sector se han enfrentado a un panorama en donde la búsqueda de edificaciones más eficientes y sustentables es cada vez más demandado.(Trebilcock, 2011).

En este plano y desde el año 2000, el número de métodos de evaluación de eficiencia energética de los edificios se han multiplicado considerablemente. El primer sistema que apareció en el año 1990, fue BREEAM (BRE Environmental Assessment Method), pero LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) es de mayor implantación en el mundo.(Macías and García Navarro, 2010).

El uso de éstos métodos de calificación y certificación en nuestro país van incrementando su presencia en el mercado inmobiliario, existiendo un aumento desde un 7% el 2007 a un 12,3% al año 2014 (CDT (Corporación de Desarrollo Tecnológico), 2015).

Desde el año 2009, el MINVU junto al Ministerio de Energía han implementado el Sistema Calificación Energética de Viviendas, que mide objetivamente el comportamiento energético de una vivienda, determina demanda y consumos energéticos

La aplicación de medidas de eficiencia energética, para reducir la demanda y consumos en viviendas supone una inversión que se relaciona directamente con el ahorro energético que se obtiene y para que las medidas sean rentables económicamente, el ahorro en costos en energía debe ser mayor que la inversión en un determinado plazo. El éxito de un edificio eficiente radica en tener en cuenta desde la concepción del proyecto esta relación y la gestión empresarial. (García-Navarro, González-Díaz, and Valdivieso 2014)

Esto es aún más relevante en las viviendas sociales, en donde los costos de construcción son siempre limitados. En nuestro país, el porcentaje de personas en situación de pobreza alcanza el 14,4% de la población total en el año 2013 (Ministerio de Desarrollo Social 2015). Esto unido, a que en este tipo de viviendas existe un nulo gasto económico en calefacción, debido a los bajos ingresos que poseen estas familias (Wegertseder et al. 2014, 37). Este tipo de pobreza es producto de una combinación de bajos ingresos y altos costos de energía, además de la ausencia de eficiencia energética y/o mala calidad de la envolvente térmica de la vivienda (Hong et al., 2009).

El impacto más importante de una vivienda social, es que presente un mayor estándar de su calidad ambiental interior y que estará directamente relacionado con la disminución de problemas de salud de las personas (Bustamante W., Rozas Y., Cepeda R., Encinas F. 2009).

Para reducir los consumos y demandas energéticas y por ende, una mejor calificación energética, se necesita conocer cual estrategia de diseño pasivo y/o activo (o ambas) es la que más influye en una determinada zona geográfica a la hora de diseñar un proyecto de vivienda, siendo de gran ayuda para los profesionales del área construcción (arquitectos, constructores e inversionistas) para ser guiados en el proceso de toma de decisiones y valorar la adopción de estas estrategias de diseño, su costo económico y sus correspondientes ahorros energéticos, bajo un punto de vista ambiental y económico. (Navarro, Diaz, and Rodriguez, 2013).

La incorporación de atributos de eficiencia energética, supone un sobre costo en la inversión. Pero un Proyecto eficiente energéticamente puede ser desarrollado en el marco de presupuestos convencionales, variando su costo entre -0,42% y 12,5%, siendo el mayor valor asociado a un edificio cero energía. (The U.S. Green Building Council 2013).

El estudio The Business Case for Green Building entrega cifras que apoyan la inversión en edificios sustentables, estos generan ahorros económicos en mantención y operación del edificio, consiguiendo una reducción de 30% de consumo de energía (The U.S. Green Building Council, 2013).

Este panorama resulta interesante para los profesionales del área y los usuarios, en un ejercicio de largo aliento para los profesionales presentar proyectos eficientes energéticamente y para los usuarios generar ahorros en los consumos energéticos por calefacción. (Escorcía et al., 2012).

Para lograr una calificación de 5 estrellas y 6 estrellas en el sistema GBCA (Green Building Council of Australia Green Star) se necesita una inversión extra del 4% y el 10% respectivamente. Sin embargo el costo de no implementar la eficiencia energética es alto, al

considerar el costo del comercio de las emisiones de carbono y los altos precios de la energía. El ahorro de los gastos energéticos durante las etapas de funcionamiento y mantenimientos de los edificios ayudarán a compensar la inversión inicial de la implementación de estrategias de eficiencia energética. (Zuo and Zhao, 2014).

La obtención de una alta calificación energética no siempre es proporcional al monto de inversión, aunque siempre es necesario realizar una inversión económica. (García-Navarro, González-Díaz, and Valdivieso, 2014).

Al momento de usar este Sistema de Calificación de Vivienda, existen parámetros que influyen determinantemente y que corresponden a las estrategias de diseño pasivas y de los sistemas activos que se incluyen en determinado proyecto. Las estrategias de diseño pasivo, según lo señalan varios autores, deben ser aplicadas en forma combinada para la mejora de la eficiencia energética de la vivienda. (Suárez and Frago, 2016).

Este estudio evaluará el impacto del desempeño energético de las estrategias de mejoramiento, a partir de un caso de estudio base, y se establecerá la influencia en la determinación de su calificación energética. Posteriormente se analizará y evaluará el impacto del desempeño energético de valores U de envolvente que exige NTM 11 en el sistema CEV y en la eficiencia energética de la vivienda. Finalmente se realizará una evaluación financiera, a través de Análisis Costo Ciclo de Vida de las soluciones propuestas, estableciendo la relación costo-efectiva, según la inversión inicial y los ahorros energéticos en el ciclo de vida del edificio, calificación energética y retorno de inversión.

3. Metodología

Se tomará como caso de estudio un Proyecto Vivienda Social ubicado en la ciudad de Coronel describiendo sus características, para posteriormente someterlo al sistema de Calificación Energética de Vivienda, a través del Programa de cálculo para la calificación otorgándole una Pre-calificación.

La caracterización de la vivienda del centro sur de Chile se destaca por la presencia de edificaciones residenciales aisladas (35%) y pareadas (50%); que poseen mayormente un nivel (40%) y dos niveles (40%) (García and González 2014). Según (Escorcía et al. 2012) señala a través de una revisión en 22 ciudades del centro sur de Chile, una alta concentración de envolventes verticales en muros de albañilería en primer nivel (88%) y tabiquerías de metal o madera en el segundo.

Por lo tanto, el caso de estudio es una vivienda social representativa y que durante los últimos años han sufrido de las fluctuaciones de precios en el mercado del gas y electricidad, provocando inestabilidades en el presupuesto familiar del sector más vulnerable. Son estas personas en su mayoría las que habitan este tipo de viviendas que no fueron construidas con objetivos de calidad energético-ambiental, sino con objetivos de satisfacer la necesidad de vivienda para personas que carecían de ella. (Wegertseder et al. 2014)

Se establecerán estrategias de diseño pasivo, para elevar el mejoramiento del estándar del caso base, estableciendo parámetros de: orientación, mejoramiento envolvente, mejoramiento Ventanas, porcentaje de ventanas según orientación, determinando para cada una de ellas variables, las que por separado, se determinará su demanda energética en calefacción, a través de

planilla cálculo estático determinado su grado de influencia de cada una de ellas en la eficiencia energética de la vivienda.

Estableciendo las estrategias más influyentes se combinarán en 4 opciones de mejoramiento.

Para determinar consumos y ahorros energéticos de los casos de estudio, se hará uso de software de simulación energética Design Builder_{TM}. Este software es uno de los más completos, debido a su mayor nivel de detalle en la modelación, descripción de equipamientos, horarios, archivos climáticos y diversidad de análisis.(García-Alvarado et al. 2014). También se destaca por la capacidad de modelación 3D, exportar e importar desde el formato AutoCAD, entregar cálculos térmicos rápidos y de poseer una interfaz gráfica fácil de utilizar. (Muñoz and Soto 2014)

Se evaluará el costo de inversión inicial y su Costo de Ciclo de Vida, de acuerdo a metodología planteada por la norma ASTM E917/2013.

Obtención de una calificación para cada solución y determinar cuál o cuáles son las que poseen una mayor relación costo-beneficio, tomando como parámetro consumo, ahorros energéticos, costo ciclo de vida y retorno de inversión.

4. Calificación Energética Viviendas: CEV

Según la Green Building Council Chile (GBCChile), señalan que el uso de sistemas de calificación y certificación de edificios en Chile prevén una tendencia al alza en el mercado. Los sistemas usados a nivel nacional son LEED, Certificación de Edificio Sustentable (CES) y la Calificación Energética de Viviendas. También de manera incipiente se están utilizando otras certificaciones internacionales como son Passivhaus y DGNB System.

Estos sistemas se diferencian en la cantidad de criterios o categorías que evalúan, de los más usados en Chile, se pueden agrupar en:

Mono criterio: considera una sola categoría, que evalúan del desempeño energético del edificio. Energy Star, Passivhaus, Calificación Energética Viviendas (CEV)

El Sistema de Calificación Energética de Viviendas (CEV) forma parte de Política Energética y de la Estrategia de Construcción Sustentable, cuyo objetivo es alcanzar ahorros en el consumo requerido para calefacción, iluminación y uso de agua caliente durante la fase de operación del ciclo de vida de la vivienda. Se define como la determinación de su eficiencia energética a través de un informe de Evaluación Energética y una Etiqueta de Eficiencia Energética” (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, MINVU 2013).

“La calificación energética de una vivienda consistirá en la determinación de su eficiencia energética a través de un informe de Evaluación Energética y una Etiqueta de Eficiencia Energética, la que se determinará en 7 niveles que se expresarán desde la letra A, que se asignará a aquellas viviendas de mayor eficiencia, hasta la letra G, para aquellas de menor eficiencia” (Ministerio de Vivienda y Urbanismo MINVU 2013).

La metodología aprobada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) corresponde a un cálculo estático de la demanda y consumo de energía denominado “Procedimiento Oficial

Sistema Calificación Energética de Viviendas en Chile, v1.0z”, el cual se usará para la evaluación de la vivienda caso base y de las alternativas de mejoramiento.

5. Norma Técnica Minvu 11 (NTM11)

Esta norma se genera a partir del estudio “Propuesta de Actualización de la Reglamentación Térmica, artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones” con el fin de elevar los estándares de eficiencia energéticas de las edificaciones. Se aplicará para todas las edificaciones y así cumplir con el objetivo de otorgar confort higrotérmico a los usuarios de éstas.(Bustamante, 2014).

Entre las principales actualizaciones son los nuevos valores para “U” transmitancia térmica para la envolvente. En la figura 2 se muestran Valores “U” para elementos opacos y piso

Fig. 2: Exigencia NTM11: Acondicionado Térmico Elementos Opacos (Fuente: NTM 011/2 2014)

Zona Térmica	Complejo de techumbre		Complejo de muro		Complejo de piso		Complejo de puerta	
	U	Rt	U	Rt	U	Rt	U	Rt
	W/(m²K)	(m²K)/W	W/(m²K)	(m²K)/W	W/(m²K)	(m²K)/W	W/(m²K)	(m²K)/W
A	0,84	1,19	2,10	0,48	3,60	0,28	---	---
B	0,47	2,13	0,50	2,00	0,70	1,43	1,00	1,00
C	0,47	2,13	0,80	1,25	0,87	1,15	1,20	0,83
D	0,38	2,63	0,60	1,67	0,70	1,43	1,20	0,83
E	0,33	3,03	0,50	2,00	0,60	1,67	1,00	1,00
F	0,28	3,57	0,45	2,22	0,50	2,00	1,00	1,00
G	0,25	4,00	0,30	3,33	0,32	3,13	1,00	1,00
H	0,28	3,57	0,40	2,50	0,39	2,56	0,80	1,25
I	0,25	4,00	0,35	2,86	0,32	3,13	0,80	1,25

Zona Térmica	Piso sobre el terreno	
	R100	
	[(m²K)/W]*100	
A	-	
B	45	
C	45	
D	45	
E	45	
F	91	
G	91	
H	91	
I	91	

En esta norma, además exigen porcentajes máximo de superficie de ventanas por orientación para edificaciones de uso residencial, como lo muestra la figura 3.

Fig. 3: Exigencia NTM11: Porcentaje máximo de superficie de complejo de ventanas por orientación en edificios de uso residencial (Fuente: NTM 011/2 2014)

ZONA TÉRMICA	U > 3,6 W/(m²K)				3,6 ≥ U > 2,4 W/(m²K)				U ≤ 2,4 W/(m²K)			
	N	S	O-P	POND	N	S	O-P	POND	N	S	O-P	POND
A	70%	45%	60%	30%	90%	65%	80%	40%	100%	100%	100%	-
B	30%	10%	25%	12%	85%	40%	65%	32%	95%	60%	85%	40%
C	40%	15%	35%	15%	80%	50%	60%	30%	95%	65%	85%	40%
D	25%	10%	15%	10%	70%	30%	60%	27%	90%	50%	80%	37%
E	0%	0%	0%	-	70%	25%	55%	25%	90%	45%	80%	37%
F	0%	0%	0%	-	60%	20%	37%	20%	85%	40%	75%	35%
G	0%	0%	0%	-	35%	10%	20%	10%	65%	20%	35%	20%
H	0%	0%	0%	-	55%	15%	30%	15%	75%	25%	60%	27%
I	0%	0%	0%	-	35%	10%	20%	10%	65%	20%	35%	20%

6. Presentación Caso Estudio

6.1 Antecedentes Climáticos Caso Estudio

Según la zonificación climática habitacional de la NCh 1079 Of. 2008, Coronel se ubica en la zona 6 SL: Zona Sur Litoral. Según la NTM11, el caso estudio se ubica en Zona Térmica E.

Se caracteriza por tener un clima marítimo-lluvioso, con inviernos largos, un suelo y ambiente salinos y húmedos, además de una temperatura templada a fría.

La temperatura media anual es de 13,2°C y una precipitación anual de 1.259 mm al año. El mes más seco es el mes de enero con 21 mm, mientras el mes con mayores precipitaciones es junio con 247 mm. El mes más caluroso del año es Enero con 17,6 °C y el más frío es Julio con 9,7 °C. Vientos moderados de predominancia sur-oeste, y se combina viento norte con precipitaciones. Promedio anual de 6m/s. (Bustamante W., Rozas Y., Cepeda R., Encinas F. 2009).

6.2 Antecedentes Constructivos Caso Estudio

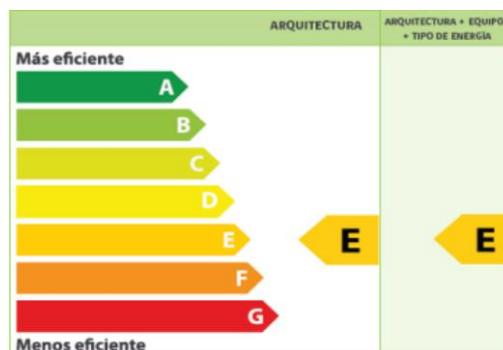
La vivienda forma parte de un proyecto habitacional, de bloques de edificios y viviendas de dos niveles.

La vivienda es pareada de dos niveles, en primer nivel es albañilería reforzada con elementos de hormigón armado, en segundo nivel tabiquería y techumbre en estructura de acero galvanizado.

Tabla 1: Características Caso base (Fuente: Elaboración Propia)

U Techumbre (W/m2K)	0,38
U Muro 1° Nivel (W/m2K)	1,7
U Muro 2° Nivel (W/m2K)	1,154
U Piso Contacto con Terreno (kl(W/Km))	1,4
Materialidad Muros	
1° nivel	Albañilería
Materialidad Muros	
2° nivel	Metalcon
Superficie Total	46,88 m2
U Ventana (W/m2K)	5,8
Habitantes	4
Meses Uso Calefacción	12
Sistema Clima	Estufa a Gas
COP Sistema Clima	0,62

Fig. 4: Precalificación Caso Estudio (Fuente: Elaboración Propia)

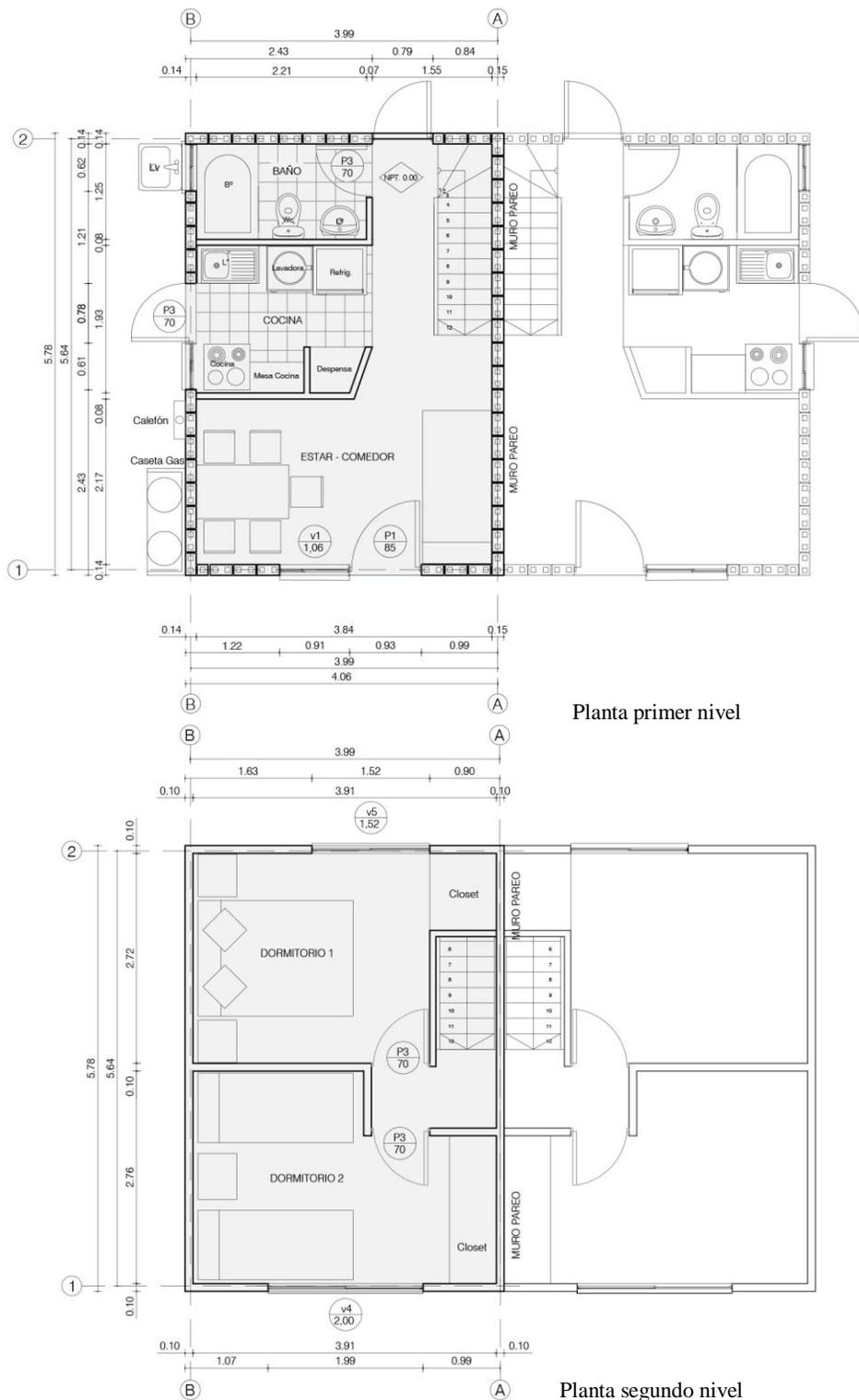


Envolvente Caso Estudio

Techumbre	Cerchas acero galvanizado, cubierta fibrocemento y cielo placa yeso cartón 10 mm y lana mineral de 100 mm
Muro 1° Nivel	Muro albañilería con ladrillo a máquina con estuco térmico una cara 1cm
Muro 2° Nivel	Tabique Acero Galvanizado, placa OSB 9,5 mm y poliestireno expandido 40 mm
Piso Contacto con terreno	Sin aislación
Ventana	Ventana aluminio vidrio simple

Evaluando el caso de estudio que será nuestro caso base, se obtiene mediante planilla de cálculo CEV, calificación Energética letra E, lo cual refleja el cumplimiento del artículo 4.1.10. de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

Fig. 5: Planimetría Vivienda Caso Estudio (Fuente: Elaboración Propia)



6.3 Determinación de Estrategias de Mejoramiento

Las estrategias deben otorgarle a la vivienda un buen comportamiento térmico durante los diferentes períodos del año, por lo tanto las estrategias usadas deberán adaptables y compatibles entre sí, teniendo como objetivo final el confort térmico durante todo el año. Por lo tanto las estrategias elegidas, deben ser efectivas y sin afectar el comportamiento térmico de la vivienda en períodos en que esta estrategia no aplica. (Bustamante W., Rozas Y., Cepeda R., Encinas F., 2009).

Se establecerán estrategias de diseño pasivo, para elevar el mejoramiento del estándar del caso base, estableciendo parámetros de: Orientación, Mejoramiento Envoltente, Mejoramiento Ventanas, Porcentaje de Ventanas según orientación, determinando para cada una de ellas variables que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2: Variables Estrategias de Mejoramiento (Fuente: Elaboración Propia)

Mejoramiento Envoltente	Caso Base Envoltente 1 Envoltente2
Mejoramiento Ventanas	Ventana Aluminio DVH 6 Ventana PVC DVH 9
% Porcentaje de Ventanas	Caso Base Disminución hasta 25 Fachada Sur y Aumento hasta 70% en Fachada Norte
Orientación	Caso Base Sur Orientación Norte Orientación Este-Oeste

6.3.1 Mejoramiento Térmico Envoltente

Al mejorar la envoltente en muros, con aumentos de espesor del aislamiento se generan una mejora energética a lo referente de demanda de calefacción, del orden de 13% hasta un espesor de 7 cm (Suárez and Fragosó, 2016)

En el estudio realizado por (Wegertseder et al., 2014) en donde aplica a la envoltente el estándar Passivhaus, se logran conseguir ahorros considerables (80% respecto a vivienda original) se muestra además que la mayor pérdida de energía se da por la composición de los muros perimetrales y las ventanas, demostrando que son los primeros elementos a los que se le deben plantear mejoras.

Para determinar mejoras en la envoltente se tomarán soluciones constructivas existentes en Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico (MINVU, 2015) teniendo en cuenta la facilidad constructiva y que son las más comunes en el mercado. Primeramente se identifican soluciones para muros de albañilería y luego para tabiquerías. De esta forma se establecen dos soluciones constructivas en donde se diferencian su inversión inicial y por las diferencias del espesor del aislante. En la tabla 3 se observan las soluciones que se someterán a evaluación.

Tabla 3: Caracterización Mejoramientos Envolverte y Valores Transmitancia Térmica (Fuente: Elaboración Propia)

	Envolverte 1	Envolverte 2
U Techumbre	Cerchas acero galvanizado, cubierta fibrocemento y cielo placa yeso cartón 10 mm y lana mineral de 100 mm	Cerchas acero galvanizado, cubierta fibrocemento y cielo placa yeso cartón 10 mm y lana mineral de 120 mm
U Muro 1° Nivel	Albañilería y placa yeso-cartón con placa adherida de poliestireno expandido de espesor 30 mm por el interior	Albañilería y aislacion exterior de poliestireno expandido de alta densidad de 50 mm (Sistema EIFS)
U Muro 2° Nivel	Tabique Acero Galvanizado, placa OSB 9,5 mm y lana mineral de 60 mm	Tabique Acero Galvanizado, placa OSB 9,5 mm y lana mineral de 60 mm
Piso Contacto con terreno	Poliestireno expandido alta densidad 30 mm	Poliestireno expandido alta densidad 50 mm
Ventana	Ventana aluminio DVH 6	Ventana PVC DVH 9

	H1	H2	H3	H4
U Techumbre (W/m2K)	0,38	0,38	0,32	0,32
U Muro 1° Nivel (W/m2K)	1,25	1,25	0,5	0,5
U Muro 2° Nivel (W/m2K)	0,4	0,4	0,4	0,4
U Piso Contacto con Terreno (kl(W/Km))	1,2	1,2	1	1
U Ventana (W/m2K)	3,58	3,58	2,97	2,97
U Puerta (W/m2K)	2,39	2,39	1,00	1,00
Sistema Clima	Estufa a Pellets	Estufa a Gas	Estufa a Pellets	Estufa a Gas
COP Sistema Clima	0,65	0,62	0,65	0,62

La envolvente 2 cumple con los requerimientos de la NTM11, en lo referente a valores de transmitancia térmica en techumbre, muros, piso, ventanas y puertas.

Si bien, el caso de estudio presenta como Sistema de calefacción Estufa a Gas, se evaluará también en el sistema de Calificación Energética, el uso de la leña para calefacción. Ésta es un fuente energética es de uso masivo en el sur de Chile, llevando a diversas ciudades a ser decretadas como zonas saturadas por contaminación. Su bajo precio y una razón cultural, hacen de este combustible irremplazable, por lo que constituye un problema que debe ser enfrentado con una mirada sistémica. (Ministerio de Energía 2014)

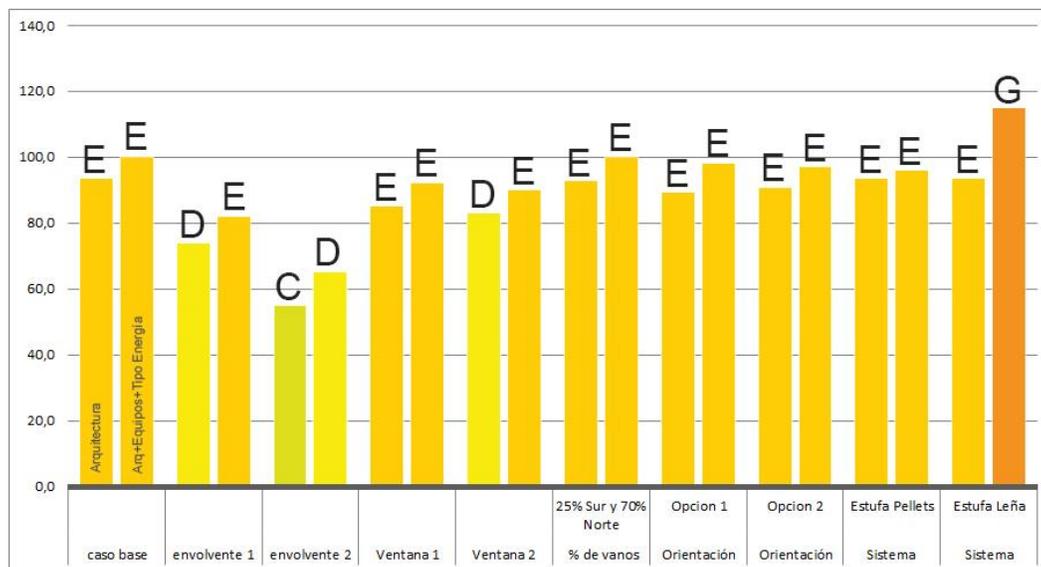
7. Evaluación del Impacto del Desempeño Energético de las Estrategias de Mejoramiento en el CEV-MINVU.

En la Figura 5 se muestra la calificación energética Arquitectura y calificación energética Arquitectura+Equipos+TiposEnergía, para cada estrategia de mejoramiento teniendo como referente nuestro Caso base, en donde se va agregando por separado cada ítem de mejoramiento y su impacto en la calificación.

Se observa que el mayor impacto en cuanto a cambios de calificación, se logra con la estrategia de mejoramiento de la envolvente térmica, consiguiendo una mejor calificación energética llegando a la letra D en el caso de la envolvente 1 y letra C en la caso de Envolverte 2. El

segundo en importancia la representa la Ventana 2 cambiando a letra D, con solo mejorar la carpintería de las ventanas.

Fig. 6: Coeficiente C: Calificación Energética Estrategias de Mejoramiento (Fuente: Elaboración Propia)



En menor medida la estrategia de % de vanos y orientación tiene poca influencia en el aumento de la calificación energética de la vivienda.

El Sistema de Calificación castiga el uso de la leña, al poseer un bajo nivel de eficiencia con respecto a otros sistemas de calefacción, como resultado se califica con letra G.

Las estrategias por sí solas no cambian significativamente la calificación, por lo que la unión de las estrategias de diseño y los sistemas activos es fundamental para conseguir la mayor eficiencia energética de la vivienda. (Suárez and Fragoso 2016)

Tomando una mirada multidimensional, se definirán las alternativas de mejoramiento mezclando estrategias de diseño y sistemas de calefacción.

8. Determinación de Alternativas de Mejora

Se combinarán estrategias según los mayores impactos en la calificación según la evaluación anteriormente realizada.

En la tabla 4 se muestra la combinación de dichas estrategias y sistemas de calefacción.

La alternativa H3 y H4 cumplen con la NTM 11.

Se toma como alternativa la estufa de pellets como el energético más económico después de la leña y además presenta bajas emisiones contaminantes. (Ministerio del Medio Ambiente 2016)

Tabla 4: Alternativas de Mejoramiento (Fuente: Elaboración Propia)

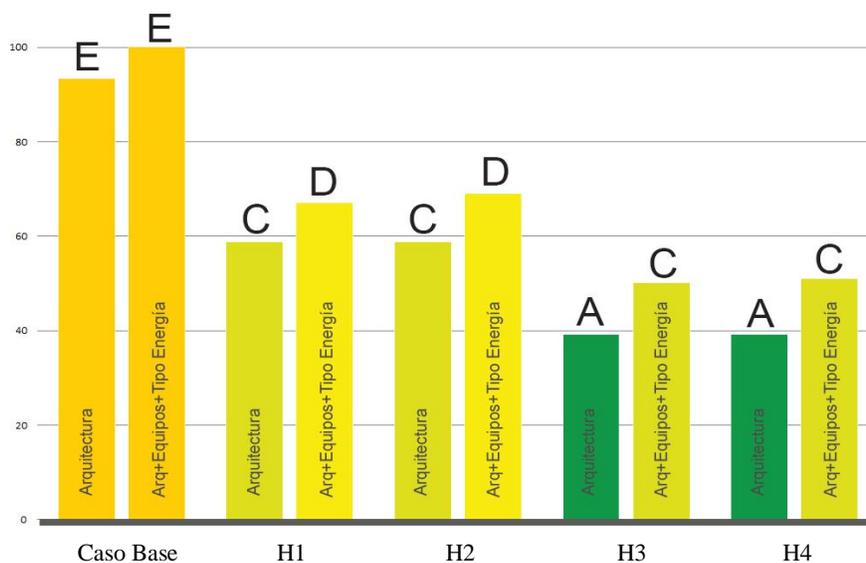
	H1	H2	H3	H4
U Techumbre (W/m2K)	0,38	0,38	0,32	0,32
U Muro 1° Nivel (W/m2K)	1,25	1,25	0,5	0,5
U Muro 2° Nivel (W/m2K)	0,4	0,4	0,4	0,4
U Piso Contacto con Terreno (kl(W/Km))	1,2	1,2	1	1
U Ventana (W/m2K)	3,58	3,58	2,97	2,97
U Puerta (W/m2K)	2,39	2,39	1,00	1,00
Sistema Clima	Estufa a Pellets	Estufa a Gas	Estufa a Pellets	Estufa a Gas
COP Sistema Clima	0,65	0,62	0,65	0,62

9. Evaluación de desempeño energético Alternativas de Mejoramiento

9.1 Evaluación CEV/MINVU

La fig. 10 se muestra que las alternativas de mejoramiento logran un buen resultado, ya que se consiguen una mejor calificación energética. La alternativa H3 y H4 logran las mejores calificaciones con medidas de carácter pasivo. Se pone en evidencia el impacto positivo de la nueva normativa en el desempeño energético de las edificaciones.

Fig. 7: Coeficiente C: Calificación Energética Estrategias de Mejoramiento (Fuente: Elaboración Propia)



10. Análisis Económico

10.1 Proceso de Simulación

Para evaluar y conseguir consumos y ahorros energéticos por calefacción de las alternativas de mejoramiento se utilizará software de simulación energética Design BuilderTM, que incorpora Energy PlusTM como herramienta de cálculo.

Tabla 5: Parámetros de Simulación (Fuente: Elaboración Propia)

Habitantes	4
Meses Uso Calefacción	12
COP Equipo Calefacción Gas	0,62
COP Equipo Calefacción Pellets	0,65
Horario Operación	LaV 07-09hr y 16-23hrs SaD 10-12hr y 17-24hrs
T° Confort	21 °C

En la Fig. 8 y 9 se muestran los consumos de energía y porcentaje de ahorro en calefacción.



Fig. 8: Consumo Energéticos por Calefacción kWh/m2año

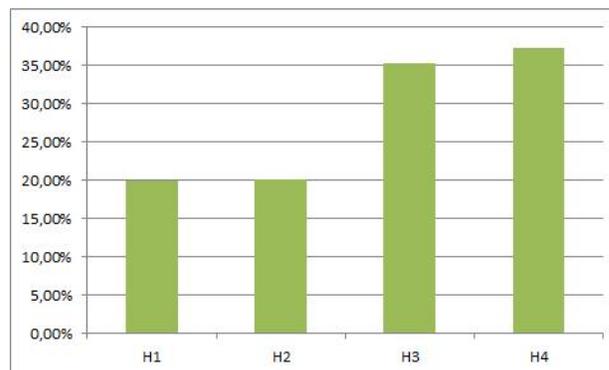


Fig. 9: Porcentaje Ahorro Alternativas Mejoramiento

Los consumos de energía por calefacción se ven disminuidos en un 35% para el caso de la alternativa H3 y en un 20% para el caso H1.

En todos los casos se logra disminuir los consumos, por lo que las alternativas de mejoramiento cumplen con el objetivo del aumentar la eficiencia energética de la vivienda.

10.2 Análisis de Costos Ciclo de vida

El análisis de costo de ciclo de vida se realiza mediante metodología planteada por la norma ASTM E917 (2013) y la UNE-EN 15549 para el procedimiento de evaluación económica de los sistemas energéticos de la vivienda.

En la tabla 6 se detallan los supuestos para el desarrollo del análisis, según investigación realizado por (Muñoz and Soto 2014).

Para cada alternativa se determinan su costo total de inversión inicial, tomando como referencia valores de proyectos ejecutados por EGIS municipal con un 20% de utilidades y 8% de gastos

generales. Para determinar los costos de mantención durante la vida útil de los equipos de calefacción se consultaron a los fabricantes su valor y los períodos de ejecución.

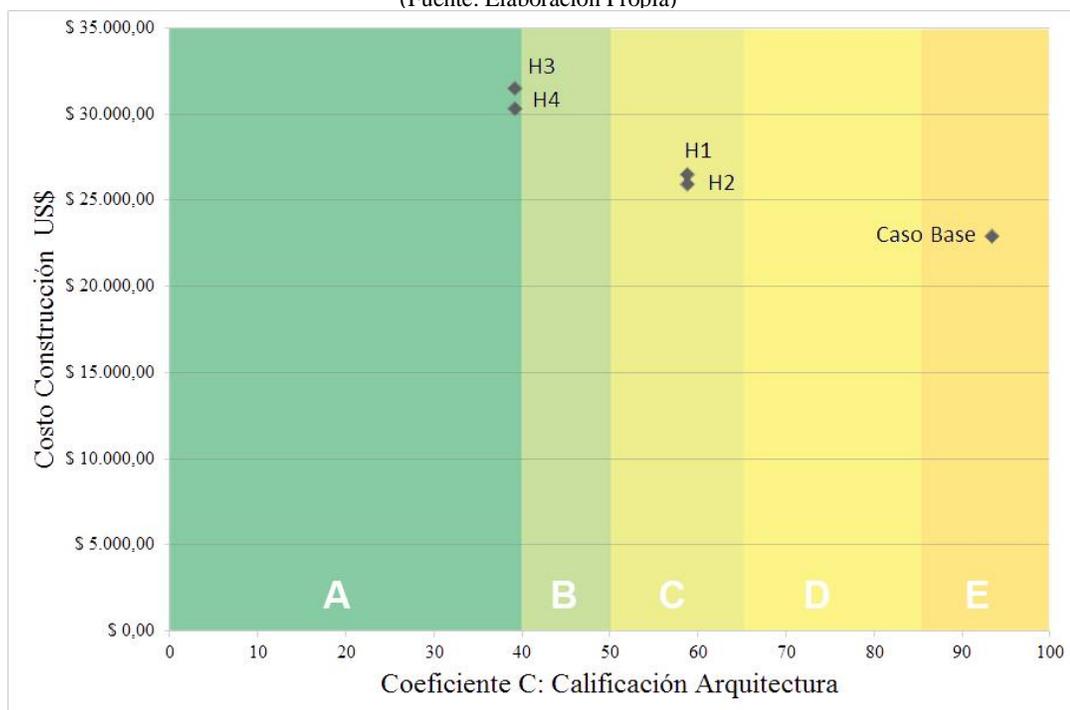
Tabla 6: Fundamentos Análisis Costo Ciclo de Vida
(Fuente: Elaboración Propia)

Tasa de descuento	6%
Ciclo de vida de estudio	25 años
Tasa Escalamiento	
Combustibles	Gas Natural 5% Pellets 1,1%
Inflación	No se considera
Valor de reventa	Envolvente 1 : Aumento 15% de la inversión Envolvente 2 : Aumento 50% de la inversión

La tasa de escalamiento y costos de energía (kWh) de combustibles, provienen del Proyecto de "Servicio de Evaluación de la Rentabilidad Social de Incorporación de Eficiencia Energética en Edificios Públicos, CITEC Universidad del Bío-Bío, en donde se establecen estos valores según zona climática. Es relevante establecer estos valores mediante fuentes confiables ya que de todos los factores considerados dentro del análisis de costo de ciclo de vida, las tasas de escalamiento en los combustibles resultan ser el punto más relevante a la hora de definir el costo de ciclo de vida final (Muñoz and Soto 2014).

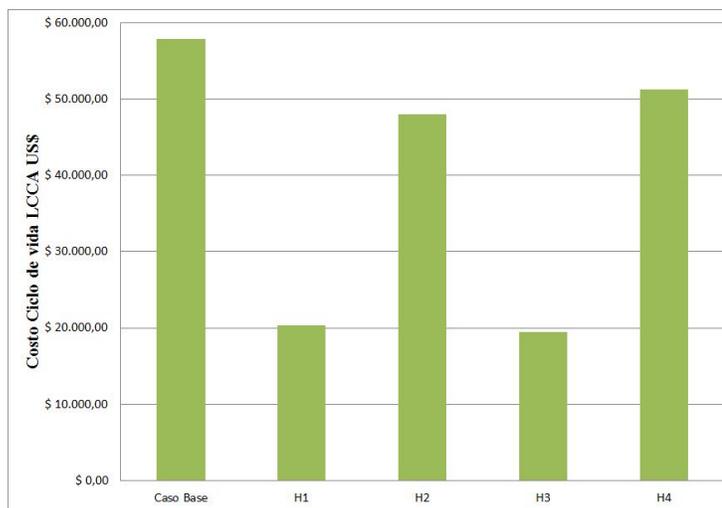
11. Resultados: Discusión

Fig. 10: Costo Construcción (US\$) Alternativas Mejoramiento v/s Calificación Energética
(Fuente: Elaboración Propia)



En la figura 10 se muestra que la alternativa H1 consigue calificación letra C con un incremento de inversión del 16%, mientras que la alternativa H3 alcanza calificación letra A incrementado un 37% la inversión de construcción. Al momento de analizar las inversiones iniciales, la alternativa H3 y la alternativa H4 que presentan un mayor incremento, logran mejor calificación energética. La aplicación de la NTM 11 en valores U de la envolvente genera pasar de letra E a letra A, consiguiendo un elevado nivel de eficiencia energética de la vivienda.

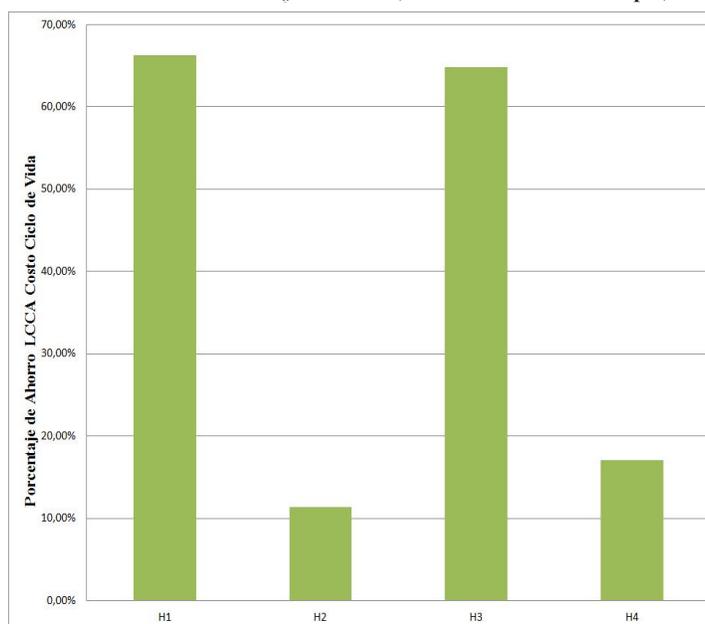
Fig. 11: Costo Ciclo de Vida (LCCA) US\$ Alternativas Mejoramiento vs Caso Base



Desde el punto de vista financiero y luego del resultado del análisis de costos del ciclo de vida de la vivienda, la alternativa H3 es la alternativa que posee una mejor relación costo-beneficio, seguida muy de cerca por la alternativa H1.

En la figura 11 se evidencia que la alternativa H2 y la alternativa H4 no son una opción costo-efectiva, esto debido a que estas alternativas usan el mismo sistema de calefacción a gas y el ahorro en el consumo de calefacción no es significativo a lo largo del período de estudio del ciclo de vida.

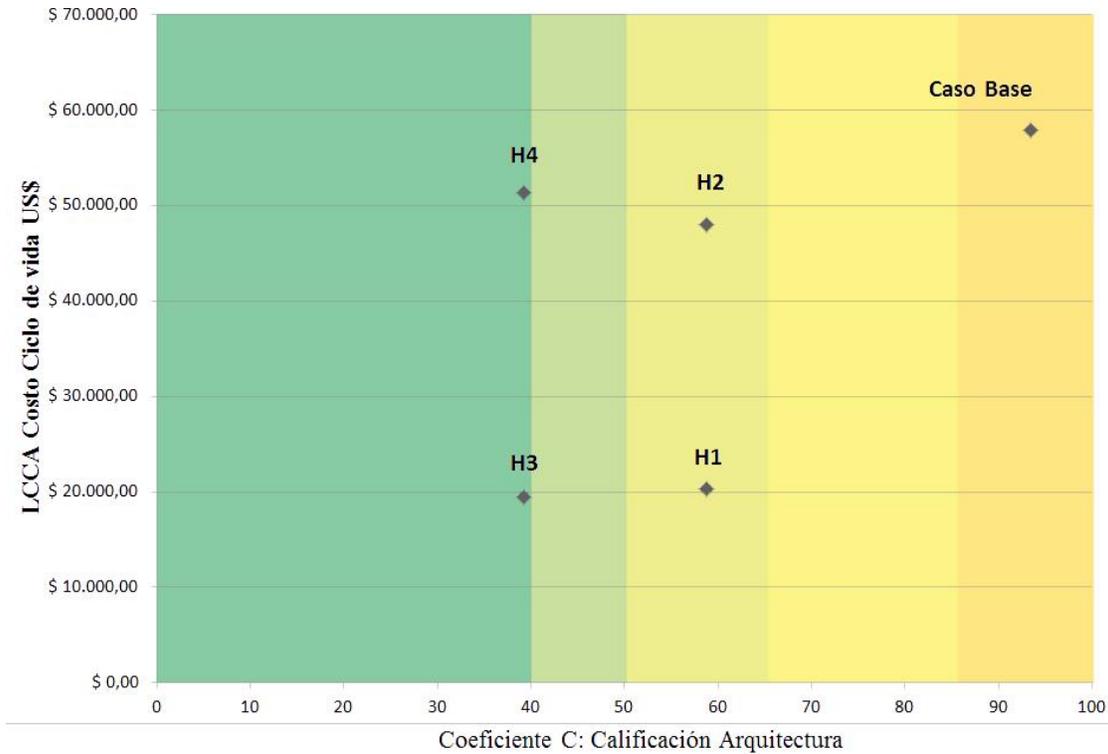
Fig. 12: Porcentaje Ahorro Costo Ciclo de Vida (LCCA) Alternativas Mejoramiento (Fuente: Elaboración Propia)



La alternativa H1 Y H3 son las con mayor relación costo-beneficio, que se explica por el cambio del combustible de calefacción, en donde el pellet tiene una menor tasa de escalamiento, como también los ahorros que se generan en calefacción. No obstante en la alternativa H1 la inversión inicial es un 43% menor a la inversión de la alternativa H3, aunque la alternativa H3 consigue la máxima calificación energética A de la vivienda.

Aunque la alternativa H1 también logra una buena calificación energética, lo que demuestra que no siempre una gran inversión inicial conlleva a conseguir mayores ahorros a lo largo de la vida útil de la vivienda.

Fig. 13: Costo Ciclo de Vida (US\$) Alternativas Mejoramiento v/s Calificación Energética
(Fuente: Elaboración Propia)



12. Conclusiones

En el presente estudio se identificaron las principales estrategias de diseño pasivo para las viviendas dentro de un contexto climático, técnico-constructivo. El mejoramiento de la envolvente en muros, techumbre y piso, las características técnicas y los porcentajes de superficie con respecto a la orientación de las ventanas se constituyen en unas de las medidas fundamentales a la hora de buscar la eficiencia energética de la vivienda.

En el marco de la Calificación Energética y a través de la planilla de cálculo oficial CEV se logró determinar que el mayor impacto de las estrategias de diseño pasivo está representado en el mejoramiento de la envolvente térmica. En el caso de la envolvente 1 se mejora la calificación a letra D y la envolvente 2 se llega a calificación letra C.

En el caso del mejoramiento de ventanas termo-panel, la ventana PVC DVH9 su influencia logra mejorar la calificación de E a D

El porcentaje de ventanas y su orientación no tienen un mayor impacto en la calificación ya que no se observan mejoramientos de calificación energética.

El impacto de la NTM 11 en el sistema CEV es notorio y eleva los estándares de los desempeños energéticos de la vivienda. Las alternativas H3 y H4 son las que se alcanzan los mayores saltos de calificación, al pasar de letra E a letra A, sustentado en menores demandas energéticas y mayores ahorros energéticos en torno al 35%.

Por ello es indispensable la puesta en marcha de esta nueva normativa en nuestro país, para cumplir las metas en cuanto a reducir los consumos energéticos en el sector residencial a nivel nacional.

Desde el punto de vista del costo de ciclo de vida, la inversión en la envolvente trae un enorme impacto en los ahorros energéticos en calefacción. Para el caso de H1 y H3, se llega a lograr un ahorro en torno al 65% a lo largo de los 25 años del estudio, siendo la mejor pero por poco margen la alternativa H3. Pero tomando en cuenta la inversión inicial, la alternativa H1 resulta más atractiva en cuanto a inversión.

Este importante ahorro se logra por el uso de pellets como combustible, el cual es el más económico y eficiente después de la leña. Por lo que se convierte en una opción rentable para el sur de Chile, en donde el uso de la leña ha generado episodios de emergencia ambiental, y la búsqueda de fuentes energéticas de bajas emisiones es imprescindible para el cambio del panorama actual de nuestras ciudades.

Se abre la oportunidad de medir y estudiar otros elementos de la vivienda que mejoran la eficiencia energética, como por ejemplo los sistemas clima y agua caliente sanitaria en donde se incorporen energías renovables, y que tienen gran repercusión en la calificación energética de la vivienda.

El sistema de Calificación Energética de Viviendas Nuevas impulsado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo en conjunto con el Ministerio de Energía es una herramienta que debe ser difundida con mayor fuerza por parte de las autoridades a los usuarios, sector de la construcción, inmobiliarias y profesionales del área, con el fin de disminuir el consumo energético del sector residencial y cumplir las metas autoimpuestas por el Gobierno. La decisión de darle un carácter obligatorio a la certificación debe ser asumida cuanto antes, y que a través de este estudio, queda demostrado los grandes beneficios en cuanto al ahorro energético en la vida útil de la vivienda.

Aplicar y privilegiar estrategias de diseño pasivo, en cuanto a los mejoramientos de envolvente térmica, generará grandes mejoramientos en la calificación energética y menores costos energéticos en el ciclo de vida del edificio. En este sentido la NTM11 es fundamental su incorporación en la legislación vigente, para generar altos estándares de eficiencia energética en las viviendas y cumplir las metas de ahorro energético que se ha impuesto nuestro país.

La implementación de la metodología de análisis de costo de ciclo de vida en el proceso de diseño y evaluación de los proyectos residenciales es de gran utilidad para demostrar de forma clara los beneficios de la inversión económica en la eficiencia energética, durante la vida útil de la vivienda.

13. Bibliografía

- Bustamante, Waldo. 2014. “Anteproyecto de Norma NTM 011/2 2014. Requisitos Y Mecanismos de Acreditación Para Acondicionamiento Ambiental de Las Edificaciones. Parte 2: Comportamiento Higrotérmico.”
- Bustamante W., Rozas Y., Cepeda R., Encinas F., Martínez P. 2009. *Guía de Diseño Para La Eficiencia Energética En La Vivienda Social*. Santiago: Ministerio de Vivienda y Urbanismo División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional y Programa País de Eficiencia Energética(CNE).
- Carpio, M. et al. 2014. “Energy Rating for Green Buildings in Europe.” In *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, , 381–94.
- CDT (Corporación de Desarrollo Tecnológico). 2015. *Guía Desarrollo Sustentable de Proyectos Inmobiliarios*. <http://www.ukrstat.gov.ua/express/expr2015/06/147.zip>.
- Escorcia, O. et al. 2012. “Mejoramientos de Envolvente Para La Eficiencia Energética de Viviendas En El Centro-Sur de Chile.” *Informes de la Construcción* 64(0): 563–74.
- EU. 2010. “Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings (Recast).” *Official Journal of the European Union*: 13–35.
- García-Alvarado, R et al. 2014. “Características Relevantes de La Simulación Energética de Viviendas Unifamiliares.” *Informes de la Construcción* 66(533): e005.
- García-Navarro, J., M. J. González-Díaz, and M. Valdivieso. 2014. “«Estudio Precost&e»: Evaluación de Los Costes Constructivos Y Consumos Energéticos Derivados de La Calificación Energética En Un Edificio de Viviendas Situado En Madrid.” *Informes de la Construcción* 66(535): e026. <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/3482/3909>.
- García, Rodrigo, and Alex González. 2014. “Condiciones de Forma Y Desempeño Energético de Viviendas Unifamiliares Form Conditions and Energy Performance of Single-Family Housing in Resumen.” *Revista INVI* 28(80): 111–41.
- Hong, Sung H et al. 2009. “A Field Study of Thermal Comfort in Low-Income Dwellings in England before and after Energy Efficient Refurbishment.”
- Macías, M., and J. García Navarro. 2010. “Metodología Y Herramienta VERDE Para La Evaluación de La Sostenibilidad En Edificios.” *Informes de la Construcción* 62(517): 87–100. <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/811/896> (December 28, 2014).
- Ministerio de Desarrollo Social. 2015. *Informe de Desarrollo Social 2015*. <http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/pdf/upload/IDS2.pdf>.
- Ministerio de Energía. 2012. “Plan de Acción de Eficiencia Energética.”
- Ministerio de Energía. 2014. “Agenda de Energía.” : 132.
- Ministerio de Energía. 2015. *Energía 2050, Política Energética de Chile*.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo MINVU. 2013. “Manual de Procedimiento Para La Calificación Energética de Viviendas En Chile.”

- Ministerio del Medio Ambiente. 2011. *Informe Del Estado Del Medio Ambiente En Chile. Resumen Ejecutivo*. http://www.mma.gob.cl/1304/articulos-52016_resumen_ejecutivo2011.pdf.
- Ministerio del Medio Ambiente. 2016. “Guía de Calefacción Sustentable 2016.”
- MINVU. 2015. “Código de Construcción Sustentable Para Viviendas, Chile.” <http://csustentable.minvu.cl/wp-content/uploads/2015/09/Codigo-de-Construccion-Sustentable-Segunda-Version-Borrador.pdf>.
- Muñoz, Jorge, and Jaime Soto. 2014. “Evaluación de Mejoramiento de Muros Mediante Simulación Energética Y Análisis de LCC Para Viviendas de Construcción Frecuente En Chile.” *Hábitat Sustentable* 5: 24–43.
- Navarro, Justo Garcia, María Jesus Gonzalez Diaz, and Marta Valdivieso Rodriguez. 2013. “Costes de Construcción Y Consumos de Energía En La Rehabilitación Energética de Un Edificio de Viviendas Situado En Madrid (España).” *Revista de la Construcción* 12(3): 67–75.
- Programa País de Eficiencia Energética. 2010. *Estudio de Mercado de Eficiencia Energética En Chile*.
- Suárez, R., and J. Fragoso. 2016. “Estrategias Pasivas de Optimización Energética de La Vivienda Social En Clima Mediterráneo.” *Informes de la Construcción* 68(541): e136. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84962294388&partnerID=tZOtx3y1>.
- The U.S. Green Building Council. 2013. “The Business Case for Green Building.” : 124. <http://www.worldgbc.org/activities/business-case/>.
- Trebilcock, M. 2011. “Percepción de Barreras a La Incorporación de Criterios de Eficiencia Energética En Las Edificaciones.” *Revista de la Construcción* 10(1): 4–14.
- Wegertseder, Paulina et al. 2014. “Barreras Y Oportunidades Observadas En La Incorporación de Estándares de Alta Eficiencia Energética En La Vivienda Social Chilena Barriers and Opportunities Observed in the Incorporation of High Energy Efficiency Standards in Chilean Social Housing.” *Arquitectura y Urbanismo* 15(3): 37–49.
- Zuo, Jian, and Zhen Yu Zhao. 2014. “Green Building Research-Current Status and Future Agenda: A Review.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30: 271–81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.021>.