



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO  
FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO**

**“EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DEL MEJORAMIENTO TÉRMICO EN  
VIVIENDAS EXISTENTES DE CONSTRUCCIÓN REPETITIVA, MEDIANTE LA  
UTILIZACIÓN DE ESTRATEGIAS PASIVAS: CASO DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE  
TEMUCO”**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y  
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

**AUTOR:** Manuel Bravo Schilling

**PROFESOR GUÍA:** Dr. Gerardo Saelzer Fuica

**CONCEPCION, 2014**



## AGRADECIMIENTOS

A mi profesor guía PhD Gerardo Saelzer y a la profesora MA PhD Maureen Trebilcock de la Universidad del Bío Bío, a quienes les agradezco por su apoyo, orientación, paciencia y comprensión. Adicionalmente agradezco al profesor MA Juan Pablo Cárdenas de la Universidad de la Frontera, por su orientación, apoyo y facilitar los equipos de medición para la presente investigación.

A todos mis colegas y amigos que me escucharon y entregaron su incondicional apoyo, constante ánimo y buenos consejos (casi siempre).

Finalmente, mucha gracias a toda mi familia, que entendió lo importante que era este gran paso, especialmente a Soledad y a mis hijos Tomás y Francisca, que debieron soportar los estudios del papá cuando ellos querían jugar. Sole, sin tu apoyo no habría cumplido este sueño, los amo mucho.

## RESUMEN

El desempeño térmico para las viviendas en Chile, se ha incrementado los últimos años, debido a la incorporación de la nueva reglamentación térmica para las viviendas (año 2000) y por la creación del subsidio de mejoramiento térmico, para las viviendas sociales construidas con anterioridad a la entrada en vigencia de dicha normativa (año 2009). En este escenario, las viviendas no sociales, construidas con anterioridad al año 2000 han quedado excluidas de mejoras térmicas financiadas por subsidios estatales y en su mayoría presentan estándares menores a los exigidos por la normativa térmica chilena. Dentro de este universo, las viviendas de construcción repetitiva representan un alto porcentaje.

Por ello resulta importante analizar la rentabilidad económica de mejoras térmicas con estrategias pasivas, en las viviendas repetitivas, ya que se considera un incentivo relevante al momento de invertir para lograr un mejor desempeño térmico de la vivienda.

Para la determinación y evaluación del consumo de calefacción de la vivienda existente, se utiliza el programa de simulación Design Builder v3.0.0.105 y se contrasta con resultados empíricos, de una vivienda en uso con ocupantes, obteniendo datos de consumo de calefacción, temperaturas, humedad relativa (interior y exterior), CO<sub>2</sub>, infiltraciones (blower door test) e imágenes termográficas. Para el análisis de las soluciones propuestas, se realiza simulación computacional y análisis financiero.

Se demostró que es posible invertir en mejoras térmicas en una vivienda no social, de construcción repetitiva y de ejecución anterior a la entrada en vigencia de la normativa térmica chilena, mediante la aplicación de estrategias pasivas, obteniendo una rentabilidad de la inversión en un período de 8 a 11 años y disminuyendo el gasto energético en calefacción en un promedio de 33,99% en sus 4 diferentes orientaciones respecto de la vivienda existente.

Es posible mejorar significativamente el desempeño de una vivienda repetitiva utilizando estrategias pasivas, no sólo justificado económicamente por el retorno de la inversión al reducir el consumo energético, sino que también al mejorar el confort de los habitantes y la calidad del aire al interior de la vivienda.

**Palabras claves:** Vivienda repetitiva, estrategias pasivas, análisis financiero, eficiencia energética, demanda calefacción, simulación térmica, mejoramiento térmico.



## INDICE

<b>CAPITULO I - Introducción al mejoramiento térmico de viviendas repetitivas en la ciudad de Temuco.....</b>	<b>6</b>
1.1- Planteamiento del problema de investigación.....	6
1.2.- Hipótesis.....	10
1.3.- Objetivos de la investigación.....	10
1.3.1.- Objetivo general.....	11
1.3.2.- Objetivos Específicos.....	11
1.4.- Justificación de la investigación.....	11
<b>CAPITULO II- Marco Teórico.....</b>	<b>13</b>
2.1.- Mejoramiento térmico en viviendas y su rentabilidad.....	13
2.2.- Marco legal.....	14
2.2.1.- Subsidio para acondicionamiento térmico de la vivienda.....	14
2.2.2.- Normativa térmica chilena.....	16
2.2.3.- Método de cálculo chileno NCh853-2007.....	19
2.3.- Marco geográfico climático.....	20
2.3.1.- Clima - Temuco.....	20
2.3.2.- Contaminación – Plan de descontam. atmosférica de Temuco y Padre Las Casas.....	23
2.3.3.- Conceptos bioclimáticos y ambientales.....	24
2.3.3.1.- Arquitectura bioclimática.....	24
2.3.3.2.- Confort térmico.....	24
2.3.3.3.- Factores ambientales y salud.....	26
2.3.4.- Comportamiento térmico.....	27
2.3.4.1.- Flujo de calor.....	27
2.3.4.2.- Convección.....	27
2.3.4.3.- Radiación.....	28
2.3.4.4.- Conducción.....	28
2.3.5.- Estrategias de calefacción.....	28
2.3.5.1.- Estrategias de diseño pasivo.....	29
2.3.5.1.1.- Orientación.....	29



2.3.5.1.2.- Forma .....	<b>31</b>
2.3.5.1.3.-Maximizar ganancias solares.....	<b>31</b>
2.3.5.1.4.- Captación de radiación solar.....	<b>32</b>
2.3.5.1.5.- Acumulación de energía solar.....	<b>33</b>
2.3.5.1.6.- Conservación de energía solar.....	<b>33</b>
2.3.5.1.7- Distribución de energía solar.....	<b>33</b>
2.3.5.1.8.- Disminución de pérdidas térmicas en complejos constructivos cubierta – muros – pisos – ventanas.....	<b>34</b>
2.3.5.1.8.1.- Disminución de infiltraciones.....	<b>34</b>
2.3.5.1.8.2.- Reducción de puentes térmicos.....	<b>35</b>
2.3.6.- Marco financiero.....	<b>36</b>
2.3.6.1.- Alza de los combustibles.....	<b>36</b>
2.3.6.2.- Recuperación de la inversión.....	<b>38</b>
<b>CAPITULO III- Metodología.....</b>	<b>38</b>
3.1.- Metodología- Análisis de gasto energético en calefacción. Método teórico.....	<b>38</b>
3.2.- Metodología- Análisis de gasto energético en calefacción. Método empírico.....	<b>40</b>
3.3.- Metodología- Análisis financiero, relacionado a la mejora térmica.....	<b>42</b>
3.4.- Metodología General- Cuadro resumen.....	<b>43</b>
3.5.-Caracterización de Caso de Estudio.....	<b>45</b>
3.5.1.- Datos Generales.....	<b>45</b>
3.5.2.- Contexto y orientación.....	<b>46</b>
3.5.3.- Descripción de la vivienda base .....	<b>50</b>
<b>CAPITULO IV- Análisis.....</b>	<b>53</b>
4.1.- Análisis Teórico – Determinación de transmitancia térmica vivienda en estudio situación actual, Norma chilena NCh 853.....	<b>53</b>
4.2.- Análisis empírico – Diagnóstico situación actual.....	<b>55</b>
4.2.1.- Medición en terreno de datos de temperatura.....	<b>55</b>
4.2.2.- Medición en terreno de datos de humedad relativa.....	<b>58</b>
4.2.3.- Medición en terreno de datos de CO <sub>2</sub> .....	<b>61</b>
4.2.4.- Medición en terreno de datos de infiltraciones y ventilación.....	<b>63</b>



4.2.5.- Obtención de termografías en terreno.....	65
4.2.6.- Medición de demanda de combustible para calefacción.....	69
4.3.- Simulación Dinámica, Software Design Builder.....	71
4.3.1.- Análisis de la vivienda base (vivienda de referencia que cumple con la normativa chilena) .....	71
4.3.2.- Análisis de la vivienda existente – sin ampliaciones.....	72
4.3.3.- Análisis del caso de estudio – Vivienda existente con ampliaciones.....	73
4.3.4.- Análisis de mejoras térmicas individualmente.....	76
4.3.4.1.- Mejoramiento- Orientación y distribución óptima del loteo.....	76
4.3.4.2.- Mejoramiento transmitancia térmica en ventanas.....	80
4.3.4.3.- Mejoramiento transmitancia térmica de cubierta.....	85
4.3.4.4.- Mejoramiento transmitancia térmica de muros.....	90
4.3.4.4.1.- Mejoramiento transmitancia térmica de muros nivel 1.....	90
4.3.4.4.2.- Mejoramiento transmitancia térmica de muros nivel 2.....	95
4.3.4.5.- Disminución de ventanas que no reciben asoleamiento.....	100
4.3.4.6.- Aumentar ventanas fachada norte.....	105
4.3.4.7.- Eliminar elementos que obstruyen la radiación solar directa sobre ventanas.....	111
4.3.5.- Análisis de mejoras térmicas agrupadas.....	116
4.4.- Resultados y discusión.....	121
<b>CAPITULO V- Conclusiones.....</b>	<b>129</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>141</b>
<b>ANEXOS</b>	



## CAPITULO I – INTRODUCCIÓN AL MEJORAMIENTO TÉRMICO DE VIVIENDAS REPETITIVAS EN LA CIUDAD DE TEMUCO

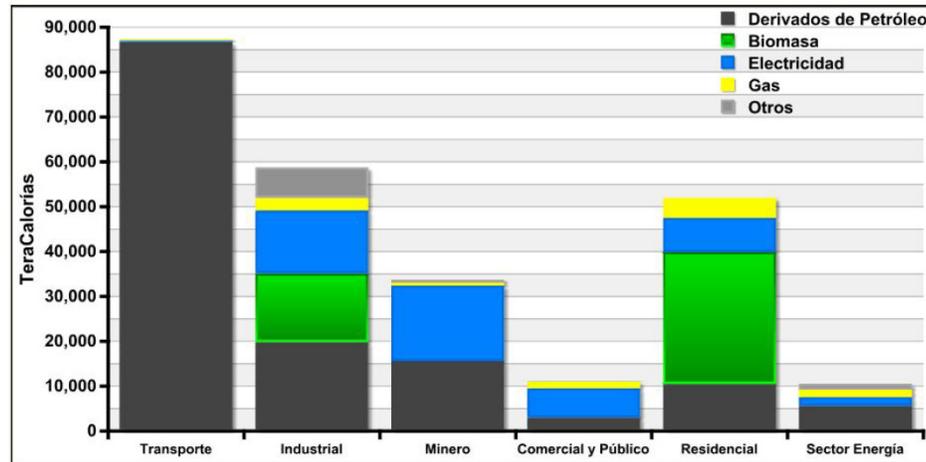
### 1.1- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El gasto energético, consumo de combustibles y las emisiones de gases que producen efecto invernadero han sido temas que han captado la atención del mundo en las últimas décadas, de acuerdo a Romero (2008), Chile debe comprar más del 70% de sus combustibles en el mercado mundial, lo que significa que en materia de seguridad energética necesitamos diversificar la matriz con fuentes confiables que no estén sujetas a situaciones coyunturales específicas, ya sean climáticas, geopolíticas o de otro orden. Según indican Fissore y Colonelli en el proyecto: "Sistema de certificación energética de viviendas MINVU" (2009), **Chile se encuentra en una situación de vulnerabilidad energética** producida por el aumento considerable de los precios internacionales de los combustibles, de los que depende y se abastece a través de la importación. Ha sido intermitente la distribución del gas desde Argentina, el petróleo duplicó su valor los últimos años y Chile es dependiente de la energía hidroeléctrica y consecuentemente de los factores climáticos que la propician. Ello ubica a Chile en un escenario inestable desde el punto de vista energético. Es por ello que la eficiencia energética aparece como una fuente en materia de desarrollo energético sustentable y como un instrumento para combatir el cambio climático, considerando que al disminuir la generación de energía, disminuimos las emisiones de los gases que producen el efecto invernadero. Por otro lado y según lo señala Fissore y Colonelli (2009), **aumentar la eficiencia en el uso de la energía es la mejor alternativa para asegurar el abastecimiento de ésta en forma confiable y económica, permitiendo además contribuir a un futuro saludable y sustentable para los chilenos.**

En Chile y según lo señala la subsecretaria de energía Jimena Bronfman (2010), el **sector residencial representa el 22% del consumo energético nacional** y la temperatura interior promedio de las viviendas es más baja que la exigida por los estándares mundiales, alcanzando los 15,7°C y debiendo ser 20°C, por lo tanto cualquier medida que podamos tomar para mejorar el rendimiento térmico del sector residencial, tendrá un efecto positivo sobre el gasto de energía a nivel nacional. Así mismo, se indica que en Chile *"el sector comercial-público-residencial representa un 25% del consumo final de energía. La mayor fuente energética de este sector es la leña, utilizada en su gran mayoría para cocina y calefacción, la que corresponde a un 47% del consumo energético total, lo que genera problemas*

ambientales y de sostenibilidad en el manejo del recurso. La electricidad y los derivados del petróleo son casi igualmente importantes en la demanda final (23% y 20% respectivamente). El gas natural ha aumentado su importancia, llegando a representar el 9% del consumo final de este sector" (CNE 2008, p22), como se presenta en el gráfico 1.1.

**Gráfico 1.1: Consumo final de energía en Chile (2007)**  
 Fuente: "Política Energética: Nuevos lineamientos". CNE 2008.



El planteamiento del problema deriva de lo indicado en el proyecto Fondef de la UBB "Diseño y aplicación de un sistema de aseguramiento de calidad para obras de construcción habitacional en Chile basado en criterios y estándares de desempeño" (2009), que se refiere a la **mala calidad térmica de la edificación habitacional construida con anterioridad a la entrada en vigencia de la reglamentación térmica del año 2007**. En Chile, el mayor gasto energético por mal comportamiento térmico del parque de vivienda es cercano a los USD 1.000 millones anuales y otras mermas de difícil cuantificación, pero no menos importantes, como son los daños a la salud y a la productividad de las personas resultado de habitar en ambientes incómodos. Esta cifra es equivalente al 0,58% del PIB de Chile en el año 2008 y equivalente al 7,31% del PIB de la Construcción en el año 2008, según cifras del Banco Central de Chile (2011). Según señala Bronfman (2010), **más del 80% de los 4 millones de vivienda existentes en Chile, fueron construidas antes de la entrada en vigencia de la normativa térmica chilena**, por lo que representan un universo importante que no puede ser dejado de lado. Esto deriva en una serie de beneficios que no pasan solamente por la reducción en el consumo de combustibles como leña, gas o parafina, sino principalmente, en la mejora en la calidad de vida de las familias, el aumento de la vida útil de sus construcciones y la descontaminación del entorno ambiental, tanto interior como exterior de la vivienda.

Por otro lado, el mejoramiento térmico para las viviendas en Chile, se ha incrementado los últimos años, debido a la incorporación de la nueva reglamentación térmica, que fija la exigencia mínima en los complejos de techumbre,<sup>1</sup> muros, pisos ventilados y ventanas<sup>2</sup> y por la creación del subsidio de mejoramiento térmico,<sup>3</sup> para las viviendas sociales construidas con anterioridad a la entrada en vigencia de dicha normativa.

En este escenario, las **viviendas no sociales** o cuya tasación superan las 650UF, **construidas con anterioridad al año 2000 han quedado excluidas** de mejoras térmicas por parte de subsidios estatales y en su mayoría presentan estándares menores a los exigidos por la normativa térmica chilena. Por ello resulta importante analizar la rentabilidad económica de tales mejoras, ya que se considera un incentivo relevante a la hora de invertir para lograr un mejor desempeño térmico de la vivienda.

Finalmente, se identifica la dificultad de la rentabilidad de la inversión, ya que en el caso de las viviendas existentes, se debe reemplazar o mejorar una solución deficiente, a diferencia de las viviendas nuevas, en las que la sobreinversión sólo es un diferencial entre una solución básica y una de buena calidad. Es por ello que lograr rentabilidad en la mejora de una vivienda existente es mucho más difícil.

Respecto del tipo de combustible a utilizar, se destaca que *“el uso de leña húmeda y con combustión ineficiente es catalogado como responsable de la contaminación atmosférica de una parte importante de las localidades del sur de Chile, transformándose en un problema de salud pública. Además, genera impacto en la contaminación intradomiciliaria de los hogares que utilizan tecnologías menos avanzadas. Por otra parte, su extracción informal, sin planes de manejo ni consideraciones de sustentabilidad, ha tenido por resultado una presión sobre el bosque nativo.”* (CNE 2008, p73). Debido a la contaminación en la zona de Temuco-Padre Las Casas, la tesis descarta el análisis del uso de la leña como combustible y utiliza la segunda fuente más utilizada para calefacción como lo es el kerosén. Este factor incide en el análisis de la rentabilidad de la inversión debido al alza del precio de los combustibles. *“La evolución de precios de los derivados del petróleo (gasolina, kerosén, diesel y gas licuado) han mostrado en el país tendencias al alza muy significativas. Tomando la Región Metropolitana como referencia, se puede observar que los precios de los cuatro combustibles tuvieron significativas tasas medias anuales de crecimiento durante el período enero 2000 a enero 2008 (de 8% para la gasolina<sup>53</sup>, 12% para el diesel, 14% para el kerosén y 9% para el gas licuado), equivalentes a aumentos reales de*

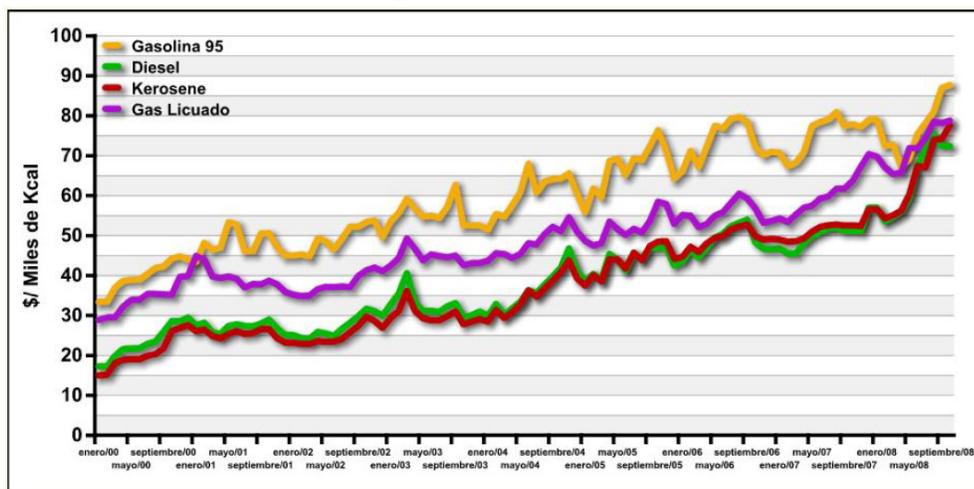
<sup>1</sup> Año 2000

<sup>2</sup> Año 2004

<sup>3</sup> Año 2009

aproximadamente 2, 4, 5 y 3 veces, para gasolina, diesel, kerosén y gas licuado, respectivamente. El fondo de estabilización para precios de los combustibles derivados del petróleo (FEPCO) ha permitido reducir la volatilidad de los precios internos de los combustibles, aislándolos de la volatilidad de corto plazo de los precios internacionales, aunque sin apartarse de la tendencia al alza." (CNE 2008, pp31-32), dicha alza se puede observar en el gráfico 1.2.

**Gráfico 1.2: Evolución de precios Gasolina, Diesel, Gas Licuado y Kerosén en la RM 2000 – 2008**  
 Fuente: "Política Energética: Nuevos lineamientos". CNE 2008.



A pesar de lo mencionado, respecto del alza de los combustibles y como ello debería ser un incentivo a la hora de invertir en mejoras térmicas de las viviendas, se afirma que *“la eficiencia energética no se materializa necesariamente cuando la tecnología está disponible y su incorporación es rentable. Aún cuando lo precios reflejen los costos reales de la energía, esto no es suficiente para la adopción de la eficiencia energética, pues existen importantes fallas de mercado y barreras a su introducción... más aún, incluso con la información necesaria, muchos agentes no incorporan medidas de eficiencia energética pues consideran que los ahorros no justifican la inversión, o exigen a la eficiencia energética períodos de recuperación de capital más cortos o tasas internas de retorno mucho mayores que a las inversiones relacionadas con su negocio. Este desconocimiento, junto a la dificultad para obtener financiamiento para este tipo de inversiones, atentan contra la incorporación del uso eficiente de la energía, privilegiando una menor inversión inicial y no un menor costo total a lo largo del ciclo de vida del producto”*. (CNE 2008, p59), es por ello que en este estudio se le da énfasis a que las mejoras térmicas deben ser económicamente rentables.



Respecto del mejoramiento de viviendas exist., expertos españoles han afirmado que *“el precio de una casa no es sólo el coste de adquisición, sino el de mantenimiento durante su vida útil, por eso cualquier inversión en medidas de ahorro, como la rehabilitación, al final se amortiza”* (Arroyo, R. 2012, p1).

La contribución de la presente Tesis, radica en entregar un estudio real, que demuestre que es rentable invertir en el mejoramiento térmico pasivo de viviendas de construcción repetitiva, que en la actualidad no sólo no cumplen con la actual normativa térmica chilena, sino que por el contrario, poseen graves fallas de construcción y un deficiente desempeño térmico. De esta manera **se busca fomentar la inversión privada individual, en el mejoramiento de sus viviendas** y lograr una reducción del consumo energético en calefacción, lo que toma especial relevancia en sectores con alto nivel de contaminación producto del consumo de leña, como lo es la zona de Temuco-Padre Las Casas.

Se debe entender la eficiencia energética de manera integral, no sólo tomar acciones para proyectar nuevas viviendas, con un bajo consumo, sino que también mejorar las viviendas existentes para disminuir considerablemente su consumo; es decir, abarcar todo el universo de las viviendas, sin desechar ninguna alternativa.

Lo anteriormente indicado demuestra la importancia y el creciente interés en el ahorro energético de las viviendas en Chile. Las preguntas de investigación que surgieron y que se desarrollaron dentro de este trabajo son: ¿Cuál es el nivel de reducción de la demanda energética que se logra en las viviendas sujetos de estudio integrando distintas mejoras pasivas? ¿Cuál es el nivel de retorno de la inversión por mejoramiento térmico considerando modos de uso típicos locales? ¿Cómo se comparan los niveles de reducción de las demandas y los períodos de recuperación de la inversión con criterios locales y/o internacionales al respecto?

## 1.2.- HIPÓTESIS

Se postula como hipótesis lo siguiente:

**“Es posible diseñar mejoras pasivas en el desempeño térmico de una vivienda existente de construcción repetitiva con ocupantes, cuya aplicación permita lograr ahorro del gasto energético mayor a 25%, y retorno de la inversión en un período de menos de 20 años (vida útil de mejoras constructivas)”.**

## 1.3.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio, busca orientar a arquitectos, en el proceso de diseño de mejoramiento térmico para viviendas existentes, ofreciendo información sobre el cambio de la demanda en calefacción y la

rentabilidad económica de las inversiones involucradas en ello, de tal manera que sea posible la masificación del mejoramiento térmico de las viviendas existentes, para que en el largo plazo se logre una reducción del gasto energético en calefacción de dichas viviendas y con ello una disminución del aporte de éstas a la contaminación atmosférica por uso de leña.

### 1.3.1.- OBJETIVO GENERAL

Determinar si se logra un nivel de reducción de la demanda energética mayor a 25% con periodo de retorno de la inversión inferior a 20 años (vida útil de mejoras constructivas), al integrar distintas mejoras pasivas en vivienda existente de construcción repetitiva con ocupantes.

### 1.3.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar si se logra un nivel de reducción de la demanda energética superior al 25%, al integrar distintas alternativas de mejoramiento térmico pasivas en vivienda existente de construcción repetitiva con ocupantes.

Determinar si se logra un retorno de la inversión en menos de 20 años (vida útil de mejoras constructivas), al integrar distintas alternativas de mejoramiento térmico pasivas en vivienda existente de construcción repetitiva, considerando modos de uso típicos locales, las principales tecnologías utilizadas para atender las demandas de calefacción y el escenario más probable de aumento de costo de la energía (5,4% al año).

### 1.4.- JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Las principales **ventajas al reacondicionar una vivienda existente** (Meza et al. 2010), son:

- Logro de un confort térmico para los habitantes de la vivienda.
- Disminución del consumo energético (eficiencia energética).
- Disminución de la ocurrencia de puentes térmicos.
- Disminución del riesgo de condensación en elementos perimetrales.
- Mejora de la calidad del ambiente interior de la vivienda.
- Disminución de enfermedades asociadas a los períodos críticos del invierno.

#### **Amenazas a la salud por sistemas de calefacción utilizados:**

De acuerdo al estudio del Centro Nacional de Medio Ambiente de la Universidad de Chile (2011), desarrolló el estudio "Evaluación de impacto atmosférico de Sistemas de calefacción domiciliaria", en el

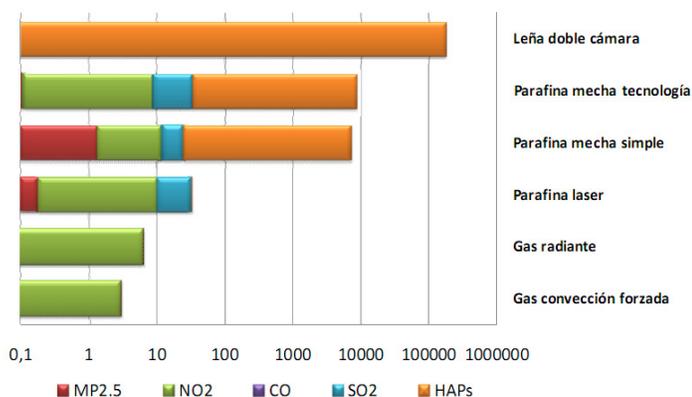
cuál se plantea el indicador Potencial de Impacto Domiciliario (PID), que permite comparar el efecto de las tecnologías de calefacción más utilizadas en Chile, en la calidad del aire intradomiciliario (las estufas a combustión analizadas son: a leña de doble cámara, a gas licuado radiante y licuado convectiva, a parafina mecha simple, mecha tecnología y parafina láser).

La selección de los contaminantes a medir se realizó basándose en los considerados por la OMS, siendo estos: el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), material particulado grueso y fino (MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub>), Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's) en emisiones intradomiciliarias de sistemas de combustión, los que se caracterizan por ser contaminantes que pueden generar un importante daño a la salud en pequeñas concentraciones, dado su efecto acumulativo.

El estudio arrojó que **las mayores emisiones corresponden a estufas a leña de doble cámara. Le siguen, de acuerdo al análisis, las estufas a parafina de mecha simple tradicionales y las modernas versiones de estufa a parafina mecha tecnología. No se registraron emisiones HAP's en estufas a gas radiante. Los HAP's pueden provocar varios tipos de trastornos a largo plazo, tanto a nivel pulmonar como otros tipos de enfermedades, incluso genéticas y reproductivas, datos que son indicados en el gráfico 1.3.**

**Gráfico 1.3: Potencial de Impacto Domiciliario (PID) de Sistema de Combustión.**

**Fuente: "Evaluación de Impacto Atmosférico de Sistemas de Calefacción Domiciliaria". CENMA 2011.**



El estudio, establece como las menos contaminantes a las estufas a gas licuado, mientras que aquellas en base a leña y parafina presentarían comparativamente mayores niveles de emisiones contaminantes e impacto negativo a la calidad del aire. La investigación además concluyó que las estufas de leña y parafina, incluidas las de última tecnología, son los artefactos de calefacción a combustión que emiten más gases contaminantes y generan mayor impacto negativo en la calidad del aire intradomiciliario, generando daños a la salud, según las recomendaciones establecidas por la OMS, la cual da una

alta importancia a contaminantes como los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's) y el Dióxido de Azufre.

Las mayores emisiones de **material particulado tanto MP 10 (causante de irritación en el sistema respiratorio)** como la fracción más fina y peligrosa el **MP 2.5 (capaz de ingresar hasta el sistema circulatorio provocando daños a largo plazo), correspondieron a las estufas a parafina.**

**La mayor emisión de MP 2.5 corresponde a la de tecnología parafina mecha simple seguida por las estufas modernas de parafina láser y parafina mecha tecnología.** Por otra parte, no se registraron emisiones detectables en los artefactos de calefacción de gas licuado

En relación al monóxido de carbono (CO), emisión que puede tener graves efectos nocivos inmediatos de no existir una adecuada ventilación en las habitaciones, la mayor emisión la mostró la estufa a parafina mecha simple, seguida por gas radiante. Aun cuando los niveles medidos resultaron bastante por debajo de lo que se considera como peligroso según la norma chilena y normas internacionales, la recomendación en estos casos es ventilar periódicamente los espacios en los cuales se usan estas estufas.

Con respecto a las emisiones de **óxidos de nitrógeno (NOx) y dióxidos de azufre (SO<sub>2</sub>), compuestos que pueden provocar irritaciones e inflamaciones en el sistema respiratorio, las modernas versiones de estufas de parafina mecha tecnología y parafina láser presentaron las mayores emisiones.** Debido a las bajas emisiones de SO<sub>2</sub> emitidas por el gas licuado y la tecnología a leña, éstas no pudieron ser detectadas por el método de medición.

## CAPITULO II – MARCO TEÓRICO

### 2.1.- MEJORAMIENTO TERMICO EN VIVIENDAS Y SU RENTABILIDAD

Las viviendas de construcción repetitiva analizadas en el presente estudio, fueron emplazadas en distintas orientaciones, sin consideraciones básicas respecto de la ubicación de recintos o de la trayectoria solar, dado que en sus diferentes orientaciones se mantienen sin ningún tipo de cambio constructivo y/o de especificaciones constructivas. Por otro lado, estas viviendas no cumplen con las exigencias mínimas de la Normativa Térmica chilena, generando altos niveles de gastos de calefacción y problemas de confort en sus habitantes.

En estudios recientes se ha logrado demostrar en la zona centro-sur de Chile es posible realizar viviendas nuevas que cumplan con el estándar energético llamado passivhaus, ahorrando



aproximadamente 80% de energía en climatización, en comparación con construcciones que sólo cumplen con la reglamentación térmica vigente en Chile y con una recuperación de la inversión entre 6 y 12 años (Hatt et al., 2012). El estándar passivehaus fue aplicado a proyectos de viviendas nuevas y por ello es que en el caso del presente estudio, analiza mejoras térmicas en viviendas existentes, en uso y con habitantes, es que se espera lograr un ahorro energético, considerando que es importante mantener la rentabilidad de la inversión, buscando ahorros importantes, respecto de la misma viv. que cumpla los estándares de la reglamentación térmica chilena.

En el marco de esta tesis, se crea un estudio detallado tanto en cantidad de mejoras térmicas individuales y sus rentabilidades económicas, como de su posterior agrupamiento de acuerdo a relación de período en que se logra la recuperación de la inversión, para así simular el conjunto de soluciones y su rentabilidad agrupada. Con ello se determina la rentabilidad, el período de recuperación de la inversión y el porcentaje de mejora del gasto energético en calefacción, considerando distintos escenarios del alza de los combustibles. Para mayor precisión de los resultados y considerando que se tratan de mejoras en viviendas existentes con ocupantes y en uso, se validan los datos ingresados al programa de simulación Design Builder 3.0.0.105, con estudios empíricos de temperatura, humedad relativa, CO<sub>2</sub>, infiltraciones y consumo de combustible.

El análisis financiero de las soluciones es de especial relevancia para validar los objetivos de la tesis, bajo ese concepto se destaca que *“Durante los últimos años, los precios de los combustibles fósiles han experimentado un aumento sostenido y una alta volatilidad”* (CNE 2008, p1). Por lo anteriormente indicado, es de suma importancia considerar el alza del combustible, como factor destacado en el momento de evaluar la rentabilidad de las mejoras térmicas que implicaran una disminución de consumo de combustibles en el futuro.

Para lograr una relación entre las distintas estrategias pasivas que se utilizarán en conjunto, se propone la utilización de una relación: ahorro energético en calefacción v/s período de recuperación de la inversión. De esta manera la solución integrada que se proponga, estará relacionando estrategias que poseen similares características al evaluar su aporte térmico y el costo de la inversión.

## 2.2.- MARCO LEGAL

### 2.2.1.- SUBSIDIO PARA ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO DE LA VIVIENDA

**Para viviendas sociales:** De acuerdo a lo indicado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, el subsidio para acondicionamiento térmico de la vivienda permite reacondicionar térmicamente viviendas sociales

o cuya tasación no supere las 650 UF, pertenecientes a familias que cuentan con máximo de 13.484 puntos en su Ficha de Protección Social. El subsidio, corresponde a Proyectos de Habitabilidad del Título II del Programa de Protección del Patrimonio Familiar.

Este subsidio permite mejorar la aislación térmica, permitiendo que las familias beneficiadas accedan a ahorros en calefacción y que disminuyan los efectos de condensación al interior de las viviendas. Con este subsidio se obtiene el doble del monto indicado en el Título II del Programa de Protección al Patrimonio Familiar (PPPF). El monto máximo que se puede obtener es de 100, 110, 120 ó 130 UF, de acuerdo a la comuna en la que se ubique la vivienda y los postulantes deben aportar un ahorro mínimo de 3 UF.

El subsidio está dirigido a familias en situación de vulnerabilidad social y de grupos emergentes (con máximo 13.484 puntos en su Ficha de Protección Social -FPS-), propietarias o asignatarias de una vivienda social o cuyo valor de tasación no supere las 650 UF, construida por el Estado o por el sector privado con o sin subsidio habitacional y localizada en zonas urbanas o rurales.

**Para viviendas clase media:** Este subsidio compone uno de los ejes estructurales del "Plan de Descontaminación Ambiental de las comunas de Temuco y Padre las Casas" cuyo objetivo primordial es acondicionar térmicamente las viviendas del parque habitacional existente dentro de la Macro Zona poniente de la comuna de Temuco. Este polígono se ha definido como *Javiera Carrera* y presenta los mayores índices de Contaminación ambiental dado el alto nivel de emisiones MP10 (Material Particulado) producto de calefacción en base a leña. Los límites del polígono se pueden ver en la figura 2.1. y el loteo en estudio no alcanza a quedar dentro de dichos límites por una distancia de 60m.



**Figura 2.1: Polígono subsidio clase media y ubicación de loteo en estudio (Zona Temuco Poniente).**  
 Fuente: Elaboración propia con datos de Google Earth y Serviu Araucanía.



El subsidio Térmico del Macro Sector Javiera Carrera es de 100 UF. El subsidio es un cofinanciamiento para envolver en un 100% térmicamente la vivienda; por tanto el ahorro que deberá contar el postulante lo establecerá cada proyecto.

El monto del ahorro o aporte al cofinanciamiento del proyecto, será el que resulte del costo de mejorar térmicamente la vivienda, sobre las 100 UF y que estará determinado por la superficie de la envolvente de la vivienda. Por lo tanto, éste valor puede ser de 1 UF hasta un valor que resulte de la evaluación económica, luego de realizada la medición de superficie de la envolvente (cubierta y muros) de la vivienda. (se estima promedio de 40UF, en sector a intervenir)

El proyecto formulado debe considerar la mejora total de la envolvente de la vivienda en un 100%, dando cumplimiento a lo señalado en el artículo 4.1.10 de O.G.U.C. En cuanto a los parámetros establecidos para el acondicionamiento térmico de la vivienda, es decir:

- Complejo de Techumbre.
- Complejo de muros.
- Piso ventilado, si existe.

### **2.2.2.- NORMATIVA TÉRMICA CHILENA**

Chile es el primer país de Latinoamérica que ha incorporado en su reglamento de construcción exigencias de acondicionamiento térmico para todas las viviendas, en el marco de una política de mejoramiento de calidad de vida de la población.

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo ha incorporado en los últimos años dos modificaciones a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, denominadas 1° y 2° etapas de Reglamentación Térmica, mediante las cuales se han establecido progresivos requisitos de acondicionamiento térmico a las viviendas.

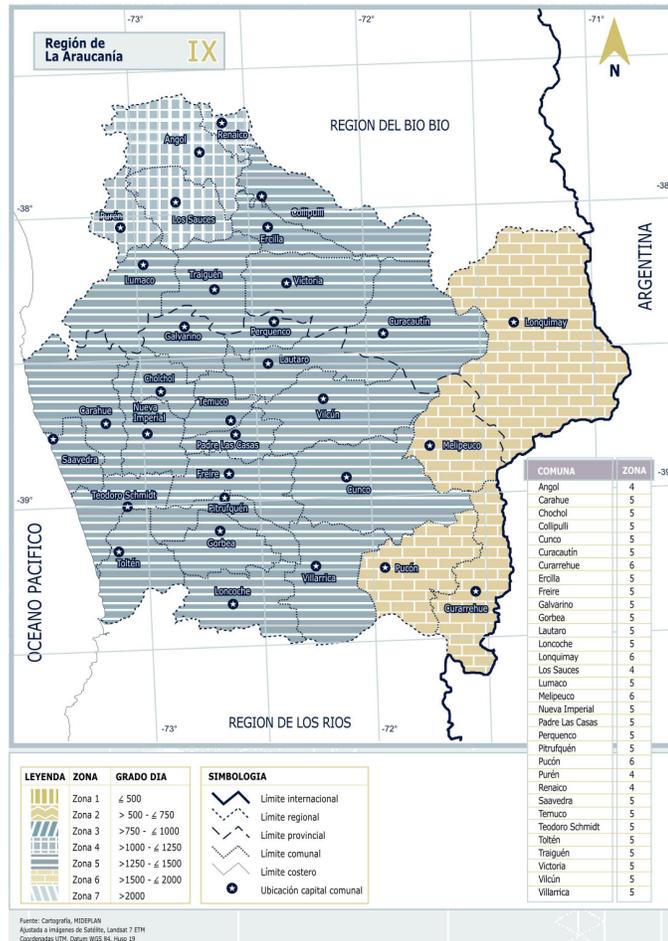
En la primera etapa, del año 2000, se fijan los estándares mínimos para los complejos de techumbre y en la segunda etapa, del año 2007, se fijaron las exigencias térmicas de muros, ventanas y pisos ventilados, según se señala en el Artículo N° 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción.

El programa de reglamentación térmica -definido por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo en el año 1994- contempla tres etapas, quedando por implementar la tercera, la que considera la calificación energética sobre el comportamiento global, cuya implementación voluntaria se encuentra en desarrollo.

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Evaluación técnico-económica del mejoramiento térmico en viviendas existentes de construcción repetitiva, mediante la utilización de estrategias pasivas: Caso de estudio en la ciudad de Temuco"  
 Manuel Bravo Schilling



**ZONIFICACIÓN TÉRMICA – TEMUCO:** A la ciudad de Temuco, le corresponde la **zona 5**, de acuerdo a lo indicado en el Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica de Chile, que es complementario a lo indicado en el artículo 4.1.10 de la O.G.U.C., como se puede ver en la figura 2.2.



**Figura 2.2: Zonificación Térmica, Novena Región (Temuco).**  
**Fuente: Manual de Reglamentación Térmica chilena - Minvu**

**REQUISITOS PARA ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS (VENTANAS, TECHUMBRE, MUROS Y PISOS VENTILADOS):** De acuerdo a lo que se indica en el Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica (2006), los complejos de techumbres, muros perimetrales y pisos inferiores ventilados, entendidos como elementos que constituyen la envolvente de la vivienda, deberán tener una transmitancia térmica “U” igual o menor, o una resistencia térmica total “Rt” igual o superior, a la señalada para la zona que le corresponda al proyecto de arquitectura, de acuerdo con los planos de zonificación térmica aprobados por resoluciones del Ministro de Vivienda y Urbanismo y a la tabla 2.1:

**Tabla 2.1: Exigencia térmica de los componentes de la vivienda.**

**Fuente: Manual de Aplicación de reglamentación térmica (2006)**

ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U W/m <sup>2</sup> K	Rt m <sup>2</sup> K/W	U W/m <sup>2</sup> K	Rt m <sup>2</sup> K/W	U W/m <sup>2</sup> K	Rt m <sup>2</sup> K/W
1	0,84	1,19	4,0	0,25	3,60	0,28
2	0,60	1,67	3,0	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,70	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,60	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,50	2,00
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4,00	0,6	1,67	0,32	3,13

**Techumbres:** Se considera complejo de techumbre al conjunto de elementos constructivos que lo conforman, tales como cielo, cubierta, aislación térmica, cadenetas y vigas.

**Muros:** Se considera complejo de muro al conjunto de elementos constructivos que lo conforman y cuyo plano de terminación interior tenga una inclinación de más de 60º sexagesimales, medidos desde la horizontal.

**Pisos Ventilados:** Se considera complejo de piso ventilado al conjunto de elementos constructivos que lo conforman que no están en contacto directo con el terreno. Los planos inclinados inferiores de escaleras o rampas que estén en contacto con el exterior también se considerarán como pisos ventilados.

### CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS EN CHILE

El proyecto Sistema de Certificación Energética de Viviendas, que fue encargado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo - Programa País de Eficiencia Energética y desarrollado por IIT de la Universidad de Concepción. El objetivo del Sistema antes mencionado, es establecer un procedimiento básico para demostrar la eficiencia energética de una vivienda, a través de un sistema de certificación y etiquetado energético. La finalidad de la certificación y el etiquetado de las viviendas es la promoción de la eficiencia energética, mediante información objetiva, que proporcionada por parte de los promotores inmobiliarios, podrá informar a los compradores del comportamiento energética de su vivienda.

Para determinar la calificación energética de las viviendas existentes, se utilizaron las indicaciones de Adelqui Fissore y Paula Colonelli (2009), indicadas en el Sistema de Calificación Energética de Viviendas, pero sin considerar el consumo en iluminación. En dicho sistema, se señalan los objetivos de cada clase de consumo energético, que se detallan en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2: Objetivos de cada clase de vivienda de acuerdo a su consumo energético.**  
**Fuente: Sistema de Calificación Energética de Viviendas (2009)**

Clase	Objetivos
A	Esta clase corresponde a la mayor eficiencia que se pudiera lograr en una vivienda, sin considerar los costos de inversión.
B	Vivienda de alta eficiencia energética.
C	Vivienda Eficiente sin un excesivo costo de inversión. Generalmente no considera termopanel
D	Se obtienen este nivel con pequeñas mejoras a la envolvente
E	Caso Base
F	Viviendas que incluyen aislación en techumbre
G	Viviendas que no incluyen ningún tipo de aislación.

Luego de ello se utiliza la tabla 2.3, que indica la clasificación de la vivienda en estudio, considerando la zonificación térmica de la legislación chilena, donde C se define como el consumo o demanda de la vivienda objeto dividida por el consumo o demanda de la vivienda de referencia y multiplicada por 100. Con ello se determina el consumo energético relacionado a una determinada clasificación, que se indica en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3: Calificación Energética – Indicador de Demanda de Energía.**  
**Fuente: Sistema de Calificación Energética de Viviendas (2009)**

Calificación	Zona Térmica 1 y 2	Zona Térmica 3, 4 y 5	Zona Térmica 6 y 7
A	$C < 30$	$C < 40$	$C < 55$
B	$30 \leq C < 40$	$40 \leq C < 50$	$55 \leq C < 65$
C	$40 \leq C < 55$	$50 \leq C < 65$	$65 \leq C < 85$
D	$55 \leq C < 75$	$65 \leq C < 85$	$85 \leq C < 95$
E	$75 \leq C < 110$	$85 \leq C < 110$	$95 \leq C < 110$
F	$110 \leq C < 135$	$110 \leq C < 135$	$110 \leq C < 135$
G	$135 \leq C <$	$135 \leq C <$	$135 \leq C <$

El certificado propuesto para Chile se compone de tres páginas. La primera página corresponde a la etiqueta y contiene la identificación de la vivienda y los indicadores principales. La segunda página incluye alguna información adicional relativa a la eficiencia energética así como algunos elementos que permiten el control del proceso de certificación por parte del comprador. Finalmente, la tercera página incluye alguna información relevante sobre la certificación.

### 2.2.3.- METODO DE CÁLCULO CHILENO NCh853-2007

Las Normas chilenas (NCh) tienen un carácter voluntario a diferencia de lo indicado en la Ley y Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, que poseen carácter obligatorio.

La NCh 853-2007, "se estudió a través del Comité técnico Aislación Térmica con el propósito de establecer los procedimientos de cálculo para determinar las resistencias y transmitancias térmicas de elementos constructivos, en particular los de la envolvente térmica, tales como muros perimetrales, complejos de techumbre y pisos, y en general, cualquier otro elemento que separe ambientes de

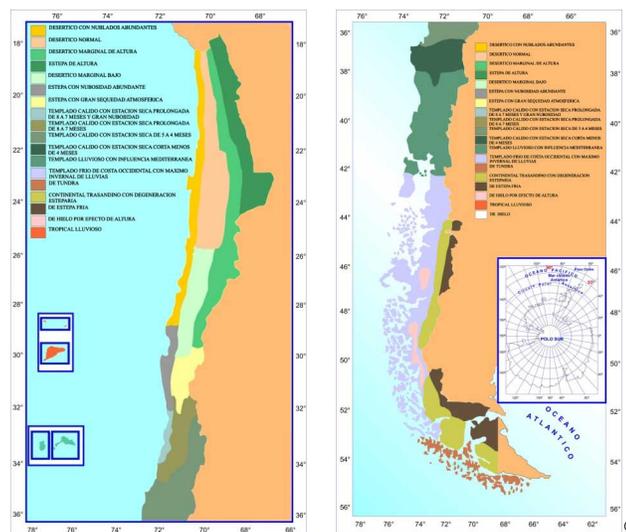
*temperaturas distintas” (NCh853-2007, pIV).* Para la elaboración de la norma NCh853-2007, no se tomó en consideración la Norma Internacional ISO 6946:1996 Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – calculation method para mantener la coherencia con la Reglamentación Nacional, en espera a desarrollar el soporte normativo complementario que permita la correcta aplicación de la norma internacional.

Los procedimientos de cálculo que se establecen en esta norma están basados en el supuesto que el flujo térmico se desarrolla de acuerdo con la ley de Fourier, en régimen estacionario. Los valores determinados según esta norma son útiles para el cálculo de transmisión de calor, potencia de calefacción, refrigeración, energía térmica y aislaciones térmicas de envolventes en la edificación.

### 2.3.- MARCO GEOGRÁFICO Y CLIMÁTICO

#### 2.3.1.- CLIMA - TEMUCO

*“El espectro total de la esfera terrestre abarca desde el rigor de los fríos azules hasta la opresión de los tórridos rojos, solamente los sosegados tintes intermedios pueden asociarse con la vida” (Olgay 2010, p1).* Asimismo, la principal característica climática de Chile, es que a lo largo de su territorio, presenta *“grandes contrastes climáticos: podemos encontrar climas desérticos que se extienden hasta los 29º de latitud sur en la zona norte, en el sector centro sur predominan los climas templados hasta los 38º de latitud sur y finalmente en el sector sur austral se cuenta con la presencia de climas lluviosos y frío” (Dirección Meteorológica de Chile 2008, p7).* Lo anteriormente indicado se puede ver en la figura 2.3.



**Figura 2.3: Clasificación de climas.**  
**Fuente: Dirección Meteorológica de Chile.**

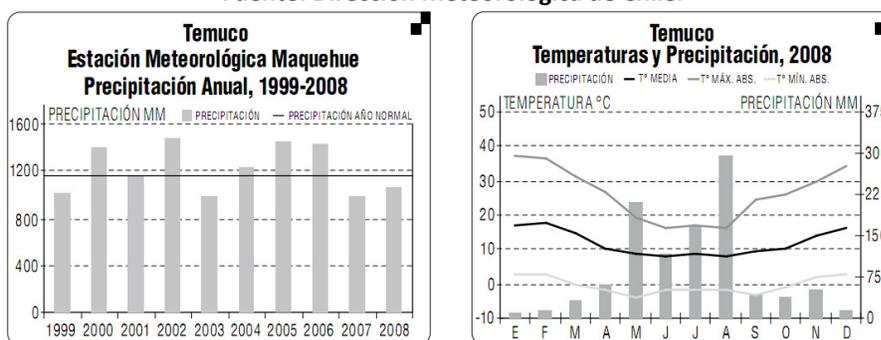
La ciudad de Temuco posee las coordenadas geográficas 38° 45` de latitud sur 72° 38` de longitud oeste, y 114 metros sobre el nivel del mar. El clima y la vegetación imprimen un sello transicional a la región, con sus ríos caudalosos y la profusión de lagos y conos volcánicos nevados. **Predomina un clima templado lluvioso con influencia mediterránea**, cuya característica principal es que las precipitaciones se hacen presentes en todos los meses del año, concentrándose principalmente en el período invernal, siendo enero y febrero meses secos. La amplitud térmica en verano es de casi 15° C, mientras que en invierno se reduce a la mitad, por efecto del aumento en el número de días con nubosidad y precipitaciones.

El valor anual del agua caída, durante el año 2008 fue de 1.050,4 mm, alcanzando su mayor valor en agosto con 294,1 mm, seguido por mayo con 208,6 mm, como se puede ver en la tabla 2.4 y el gráfico 2.1. (Dirección Meteorológica de Chile 2008).

**Tabla 2.4: Precipitaciones y Temperaturas en la ciudad de Temuco. 2008**  
 Fuente: Dirección Meteorológica de Chile.

DATOS CLIMÁTICOS (TEMUCO)													
Meses	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Anual
Precipitación mensual (mm) 2008	10,6	14,7	32,7	60,9	208,6	118,6	167,5	294,1	41,2	35,6	53,8	12,1	1.050,4
Temp. Mín. absoluta mensual (°C) 2008	2,7	2,6	-0,5	-1,5	-4,1	-2,1	-1,8	-1,6	-3,0	-0,9	1,9	2,4	-4,1
Temp. Mín. media mensual (°C) 2008	9,6	9,6	8,1	5,5	4,8	4,9	6,1	5,1	4,0	4,9	7,9	9,3	6,7
Temp. media mensual (°C) 2008	17,1	17,7	14,9	10,4	8,7	7,9	8,6	7,8	9,4	10,5	13,8	16,4	11,9
Temp. Máx. media mensual (°C) 2008	26,7	28,8	25,0	17,7	14,4	12,3	12,0	11,7	17,1	18,1	21,4	25,3	19,2
Temp. Máx. absoluta mensual (°C) 2008	37,3	36,3	31,4	26,5	19,3	16,2	17,3	16,6	24,4	25,8	29,5	33,9	37,3

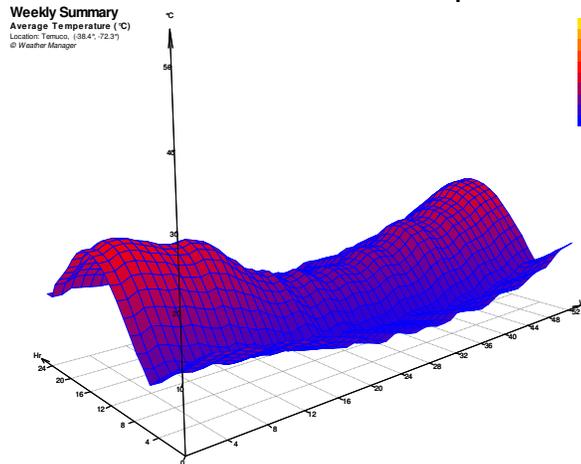
**Gráfico 2.1: Precipitaciones y Temperaturas en la ciudad de Temuco. 2008**  
 Fuente: Dirección Meteorológica de Chile.



La amplitud térmica anual registra valores significativos debido a su lejanía de la costa y su mayor característica de continentalidad. La temperatura media anual es baja y la pluviosidad se concentra notoriamente en invierno y descendiendo levemente en verano, como se puede ver en el gráfico 2.2

**Gráfico 2.2: Gráfico de temperaturas de la ciudad de Temuco**

Fuente: Weather tool con datos obtenidos por Meteonorm.

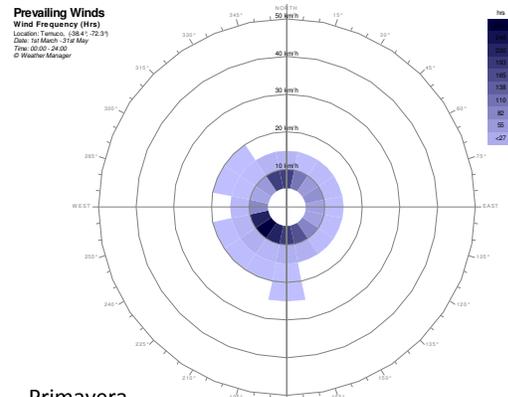


En cuanto a los vientos predominantes de la ciudad de Temuco, éstos poseen baja velocidad y se concentran desde el norte en los meses de invierno y desde el sur-poniente en los meses de verano, como se indica en el gráfico 2.3.

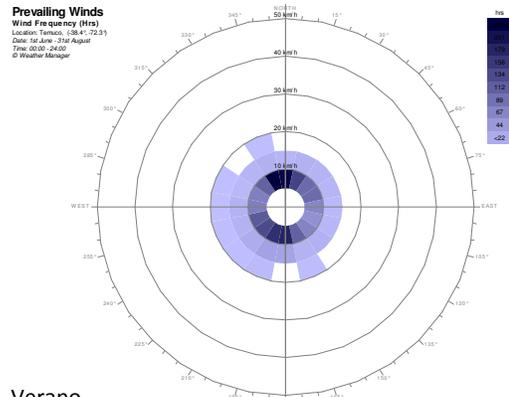
**Gráfico 2.3: vientos predominantes por estación del año en la ciudad de Temuco.**

Fuente: Programa Weather tool con datos obtenidos por Meteonorm.

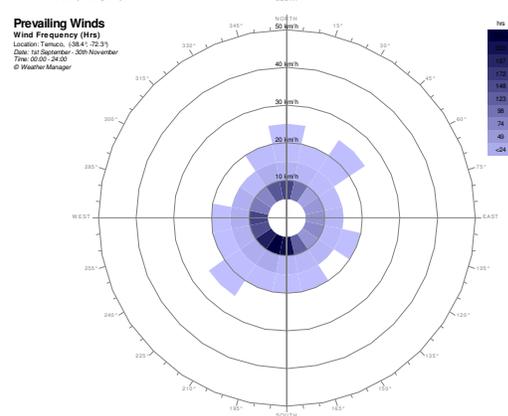
**Otoño**



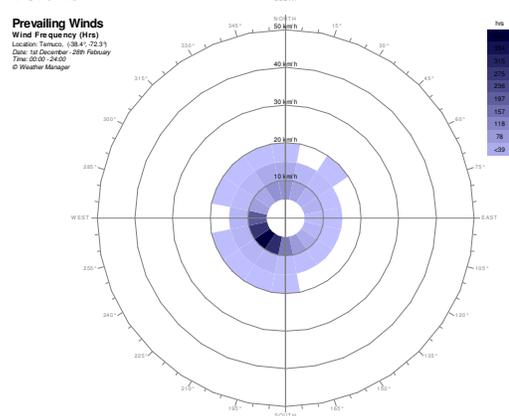
**Invierno**



**Primavera**



**Verano**



### **2.3.2.- CONTAMINACIÓN – PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS**

El estudio se concentra en viviendas de construcción repetitiva que se ubican en la **ciudad de Temuco** (zona 5, según la zonificación térmica chilena), que está **declarada “zona saturada por contaminación”** desde el año 2005. El principal componente que genera la contaminación, es la calefacción utilizando leña húmeda, durante los meses de invierno, por lo que se identifica que disminuir la demanda en calefacción de las viviendas de esta zona, no sólo genera un aporte en el ahorro energético, sino que también en reducir las emisiones de gases contaminantes que produce la combustión de leña (principal combustible para calefacción en la zona). El clima templado lluvioso de Temuco, implica un alto consumo energético en calefacción, que se satisface principalmente con leña o residuos de la industria forestal. En el caso del sector residencial rural y parte del urbano (estratos socioeconómicos bajos), existe también una alta demanda de estos combustibles para cocinar y calentar agua. Las Estadísticas de la Comisión Nacional de Energía indican que entre 1980y 2008 el consumo de leña y sus derivados se triplicaron, pasando de 7 a 20 millones de metros cúbicos anuales y un 67% proviene de bosques nativos. Cerca del 100% de los hogares del sector residencial rural consumen leña, mientras que en el sector residencial urbano de Temuco, el porcentaje representa el 69% de las viviendas. En Temuco, el 92,7% del material particulado grueso MP10, proviene de la leña. La causa principal de esta contaminación se debe a viviendas mal aisladas, humedad de la leña, equipos de combustión obsoletos y malos hábitos del consumidor (Castro y Roa, 2011)

#### **Plan de Descontaminación Atmosférica de Temuco y Padre Las Casas**

Este instrumento tiene como objetivo, recuperar los niveles señalados en las normas primarias y/o secundarias de calidad ambiental de una zona saturada y su cumplimiento es de carácter obligatorio en la zona saturada. Las principales medidas para disminuir emisiones son las siguientes:

- Mejoramiento de calidad de la leña (utilización de leña seca): Durante la combustión de leña se generan altas emisiones de material particulado MP10, ya que no existe una buena combustión, debido al alto porcentaje de humedad de la leña que adicionalmente provoca que el calor generado se utilice para evaporar el agua y no generar calor al interior de la vivienda que es lo que se espera.
- Mejoramiento tecnológico de calefactores a leña: Muchos de los calefactores que se encuentran en uso en la zona, no cumplen con los requerimientos técnicos para llevar a cabo una buena combustión, lo cual también provoca altas emisiones de material particulado MP10.



- Mejoramiento energético de la vivienda: Debido a la precariedad de la aislación térmica de las viviendas de la zona, provoca fugas de calor, aumentándola demanda de leña para calefacción.
- Difusión y educación a consumidores de leña: Existe falta de sensibilización y mayor compromiso de la ciudadanía, respecto del problema. El plan de descontaminación pretende fomentar y promover la información para lograr una ciudadanía responsable, informada y sensible que implemente las acciones en conjunto para descontaminar el aire (Castro y Roa, 2011).

### **2.3.3.- CONCEPTOS BIOCLIMÁTICOS Y AMBIENTALES**

A lo largo del tiempo, el hombre ha buscado satisfacer dos necesidades humanas básicas: La protección ante los elementos y la provisión de un espacio dotado de una atmósfera favorable para el recogimiento espiritual. El diseño de la vivienda refleja las diferentes soluciones adoptadas en cada período frente al problema de proveer de un entorno pequeño controlado, dentro del amplio espacio natural, generalmente castigado por factores adversos tales como el frío, el calor, el viento, las lluvias y el sol (Olgay 2010)

#### **2.3.3.1.- ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA**

La arquitectura bioclimática se refiere a una ideología aplicada a todo el espectro de la arquitectura y pretende conseguir que todos los objetos resultantes se adecuen a su entorno desde los orígenes de su concepción. El elemento arquitectónico que se diseñe de esta manera, se integrará en el lugar adaptándose física y climáticamente a su entorno, referido a materiales, colores, soluciones constructivas, etc. Y por otro lado también serán valorados desde una perspectiva de ahorro de energía y de adaptación al medioambiente, y todo ello sin dejar de lado exigencias estéticas, funcionales o de cualquier otra índole, a tener en cuenta en cualquier creación arquitectónica.

La arquitectura bioclimática será entonces un proceso continuo y cíclico, desde el inicio proyectual de la idea, su ejecución física durante la obra y el transcurso de su vida útil. Se infiere que no existe un prototipo de vivienda bioclimática, los modelos a seguir son tan diversos como los que se pueden plantear en una arquitectura convencional acorde al lugar y al medioambiente que imposibilita adoptar la misma solución con condiciones geográficas diferentes (Campos y Galán 2007).

#### **2.3.3.2.- CONFORT TÉRMICO**

Se entiende por confort térmico, la sensación de agrado de un individuo en un recinto interior y cada persona posee una apreciación diferente respecto de las condiciones confortables de un determinado



espacio. Se define como *“la condición de la mente que expresa satisfacción del ambiente térmico y es determinada mediante evaluación subjetiva”* (Ashrae, 2010)

El límite superior de la temperatura que puede soportar el hombre, se da en el punto de insolación, producto del exceso de radiación solar y el límite mínimo se encuentra en el punto de congelación. La temperatura ideal del aire, debe encontrarse a mitad de camino entre estos dos extremos. El ser humano, con una temperatura corporal media de 37°C, al buscar condiciones térmicas favorables, escoge intuitivamente aquellas áreas en las cuales la temperatura se encuentra entre el frío que puede tolerar sin estar demasiado incómodo y el punto que le permita adaptarse al calor, sin que sus sistemas circulatorios y de secreción tengan que realizar un esfuerzo excesivo (Olgay, 2010).

Científicos americanos han intentado establecer una medición psicológica, combinando los efectos de la temperatura, de la humedad y del movimiento del aire, denominada escala de temperatura efectiva. Posteriormente se mejoró la escala basándose en la temperatura media de la piel. Todo ello sirvió como base para la definición de la zona de confort. Dicha zona varía según los individuos, los tipos de vestido y la naturaleza de la actividad que se realiza. Asimismo depende del sexo, en general, las mujeres prefieren una temperatura efectiva un grado más elevada que los hombres y por otro lado las personas mayores de 40 años prefieren una temperatura un grado más elevada que los menores de esa edad (Olgay, 2010).

Según lo señalado por (Hatt et al., 2012), la sensación de confort térmico de las personas, depende de las condiciones de equilibrio entre el cuerpo del individuo y el medio ambiente en que se encuentra y depende de los siguientes aspectos:

#### Aspectos Físicos:

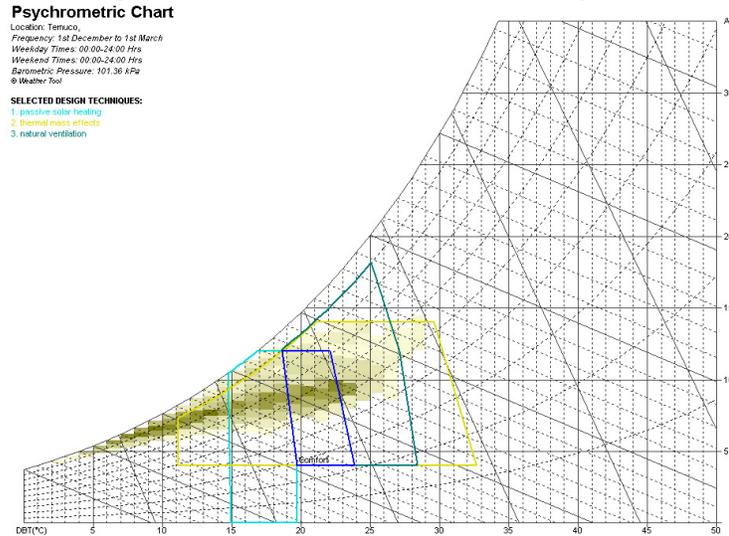
- a- Temperatura del aire
- b- Temperatura superficial de los elementos que se encuentran alrededor
- c- Humedad relativa del aire
- d- Movimiento del aire en contacto con la piel del individuo
- e- Transmitancia térmica de la vestimenta del individuo

#### Aspectos Fisiológicos:

- a- Tamaño y peso del individuo
- b- Generación de calor del propio cuerpo humano, producto de su metabolismo.

**Gráfico 2.4: Abaco psicrométrico de la ciudad de Temuco.**

**Fuente: Programa Weather tool con datos obtenidos por Meteonorm.**



Como se plantea en (ACHEE, 2012), la zona de confort se define por un rango de temperatura y humedad relativa del aire, dentro de las que el ser humano se encuentra en condiciones de confort aceptables. Los diagramas psicrométricos expresan la relación entre la zona de confort y las temperaturas medias del clima en cuestión, de manera de facilitar la definición de estrategias de diseño pasivo apropiadas. En el gráfico 2.4 se determina que las temperaturas mensuales de la ciudad de Temuco se encuentran bajo, dentro y levemente sobre la zona de confort definida para ese clima, que oscila entre 18°C y 24°C, dependiendo de la humedad relativa del momento de medición, por lo que las estrategias de diseño pasivo apropiadas para este clima, por lo que las estrategias de diseño pasivo apropiadas para este clima son el aprovechamiento de la energía solar pasiva en invierno, uso de masa térmica en invierno y verano, y la ventilación natural en verano. Éstas son estrategias generales, ya que las características de uso y el emplazamiento específico de la edificación permitirán definir las estrategias precisas.

### 2.3.3.3.- FACTORES AMBIENTALES Y SALUD

El CO<sub>2</sub> es un gas incoloro e inodoro, clasificado como un gas asfixiante, ya que al ser 1,5 veces más denso que el aire, tiende a desplazar el oxígeno contenido en el aire del lugar.

El CO<sub>2</sub> se encuentra normalmente en la atmósfera entre 300-700ppm. La inhalación de este gas produce efectos fisiológicos en el Sistema Nervioso Central, Sistema respiratorio y sistema cardiovascular.

Los síntomas asociados al sistema nervioso central (SNC) presentados a exposiciones de concentraciones bajas de CO<sub>2</sub> suelen ser: somnolencia, fatiga, narcosis y depresión del SNC. Con la exposición a altas concentraciones de CO<sub>2</sub> (30%) los efectos producidos en el SNC son convulsiones y coma.

Los síntomas más comunes presentados en el sistema respiratorio por la exposición a CO<sub>2</sub> consisten en respiración corta, acidosis y disnea (falta de aire)

Los efectos cardiovasculares se presentan generalmente como alta presión, vasodilatación y aumento en el ritmo cardíaco. La vasodilatación cerebral y periférica generalmente comienza con síntomas de sudoración y dolor de cabeza. Los signos y síntomas asociados a la exposición de bajas concentraciones de CO<sub>2</sub> son repentinos y reversibles, los cuales aparecen segundos después de la exposición.

La Administración Seguridad y Salud en el Trabajo / Occupational Safety and Health Administration (OSHA) y el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional / National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), ambas de E.E.U.U., recomiendan que el valor medio de **exposición para el CO<sub>2</sub> al que debe estar expuesto un empleado en su lugar de trabajo sea de <5000 ppm** en un turno de 8 horas. Por otro lado la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado / American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), recomienda en sus guías, que las **concentraciones de CO<sub>2</sub> deben ser menores a 1000ppm**, para asegurar una buena ventilación del ambiente interior y asegurar la salud y el bienestar de las personas presentes (Flores 2008).

## 2.3.4.- COMPORTAMIENTO TÉRMICO

### 2.3.4.1.- FLUJO DE CALOR

Según lo indicado por D'Alencon (2008), El flujo de calor se produce en una combinación de radiación, convección y conducción. En las tres formas de transmisión de calor, la magnitud del flujo depende de las diferencias de temperaturas entre los puntos o superficies considerados. La diferencia de temperatura se consigna convencionalmente en grados Kelvin (K).

### 2.3.4.2.- CONVECCIÓN

La convección es un proceso de transmisión de calor en que un fluido – gas o líquido – traslada el calor de un punto a otro. El movimiento dentro del fluido que traslada el calor es conocido como corrientes de convección.

### 2.3.4.3.-RADIACIÓN

El calor en forma de radiación es energía en tránsito en forma de radiación electromagnética, desde una superficie más caliente a una más fría. La cantidad de radiación es inversamente proporcional a su longitud de onda – a onda más corta mayor contenido de energía -. Los objetos a temperaturas relativamente bajas irradian en onda larga, mientras que objetos muy calientes, como el sol, lo hacen en ondas cortas.

### 2.3.4.4.- CONDUCCIÓN

El calor se transmite por conducción cuando dos elementos a diferentes temperaturas se tocan. La tasa de transferencia depende de la diferencia de temperatura, la superficie del área de contacto – o sección del cuerpo a través del cual se da la conducción – y de la conductividad – la propiedad de conducir calor a través de su masa – del material a menor temperatura.

La conductividad térmica,  $\lambda$ , según se define en NCh853 (2008), es la cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras. Se expresa en  $W/(m^2 \times K)$ .

### 2.3.5.- ESTRATEGIAS DE CALEFACCIÓN

Según lo señalado por Baizas (2008), el manejo de las energías y fluidos necesario para conseguir una condición de confort térmico puede provenir de dos tipos genéricos de sistemas:

- **Sistemas pasivos** que no necesitan del aporte de electricidad o combustibles y se generan en la forma y propiedades constructivas de los espacios edificados (y las membranas que los rodean) y en el manejo de la vegetación dentro y alrededor de ellos.
- **Sistemas activos** que dependen de máquinas que usan electricidad o combustibles para obtener condiciones ambientales. Tales máquinas por definición (según principio de la termodinámica) nunca alcanzan un rendimiento de un 100% del potencial energético del combustible y por lo tanto disipan energía térmica y a veces otro tipo de contaminantes a la atmósfera.

Un punto cada vez más importante cuando se trata del manejo de las energías y fluidos es el de la sustentabilidad. Existe hoy una conciencia creciente de un hábitat planetario en que cada acción particular que tenga que ver con energías o fluidos afecta a toda la biósfera. Esto nos ser extremadamente cuidadosos en el trabajo de dichos elementos.

Tal cuidado implica:

- Eficiencia energética.
- Fomento del uso de sistemas pasivos (vale decir aquellos que no usan energías artificiales).
- Fomento del uso de energías y materiales cuya renovación no afecte negativamente el ambiente (energías y materiales sustentables).
- Disminución del consumo de agua potable.
- No contaminación tanto en fase de uso de los edificios como en su fase de construcción.

### 2.3.5.1.- ESTRATEGIAS DE DISEÑO PASIVO

Así como indica Bronfman (2010), las **mayores oportunidades de reducir los consumos por concepto de calefacción se encuentran en elementos pasivos**, especialmente en techos, muros, pisos y ventanas. El incremento de las ganancias solares pasivas en conjunto con el mejoramiento térmico de la envolvente, disminuirá el consumo en calefacción de las viviendas, el costo de mantención, alargará su vida útil y mejorará la calidad de vida, salud, habitabilidad y confort de sus habitantes.

#### 2.3.5.1.1.- ORIENTACIÓN

La vida del hombre primitivo estaba condicionada por el ciclo solar y muchos grupos rendían honores a la salida del sol, orientando sus edificios más importantes hacia sus rayos. Posteriormente, el hombre dejó de actuar respecto del sol como símbolo, interesándose más por sus efectos terapéuticos y psicológicos. Vitrubio reconoce el emplazamiento salubre como el principal atributo de una ciudad. El problema de la orientación en las edificaciones abarca numerosos factores como la topografía local, las exigencias de privacidad, los placeres que proporcionan las vistas, la reducción del ruido y los factores climáticos referentes al viento y a la radiación solar. Una parte muy importante de la labor arquitectónica consiste en la determinación de la posición del edificio para el aprovechamiento máximo de los beneficios térmicos que brinda la radiación solar (Olgay 2010).

En el cálculo de las intensidades solares, se reconocen los siguientes criterios relevantes:

- 1- Para conseguir las mejores condiciones de vida (calor en invierno y fresco en verano), las fachadas principales de un edificio deben orientarse al sur (norte en el hemisferio sur).
- 2- Las fachadas orientadas a sureste y a suroeste (Noreste y noroeste en el hemisferio sur) ofrecen la ventaja de un asoleo regular, pero son más frías en invierno y más calientes en verano que las que dan al sur (norte en el hemisferio sur).

3- Las exposiciones al este y al oeste son más calientes en verano que las que dan al sur, sureste y suroeste (norte, noreste y noroeste en el hemisferio sur). (Marboutin 1931).

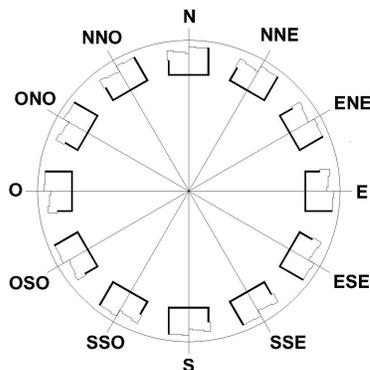
Numerosas teorías prefieren una orientación sur (norte en el hemisferio sur), porque esta orientación proporciona una mayor cantidad de radiación durante el solsticio de invierno y la menor durante el solsticio de verano, sin embargo, dichas teorías no tienen en cuenta las variaciones diarias de temperatura que resaltan la necesidad de radiación solar por la mañana y lo desfavorable de su presencia por la tarde (Olgay 2010)

#### SOL-AIRE

La orientación óptima implica reconocer que la temperatura del aire y la radiación solar actúan conjuntamente para producir la sensación única de calor en el cuerpo humano, dicha relación se denomina sol-aire. Al utilizar radiación solar, deben considerarse sus impactos térmicos en relación a la convección del calor y al efecto total para mantener los niveles de temperatura cercanos a la zona de confort. (Olgay 2010).

El estudio se realiza en un loteo que se ubica en una ciudad con condiciones frías, como lo es la ciudad de Temuco. En condiciones frías la radiación solar adicional es positiva, por lo que es recomendable emplazar las construcciones en la orientación más conveniente para que pueda recibir la mayor radiación posible (Olgay 2010).

En la figura 2.4 se indica, en forma de diagrama, la variedad de orientaciones y su denominación, considerando su exposición al sol. En las latitudes septentrionales generalmente el aire es frío y existe una gran necesidad de calor procedente del sol. Es por ello que las construcciones deben orientarse para recibir una máxima cantidad de radiación durante todo el año; es decir, hacia la orientación norte. (Olgay 2010).



**Figura 2.4: Diagrama explicativo de las orientaciones de las viviendas de acuerdo a su exposición al sol.**

**Fuente: Elaboración propia, de acuerdo a información en Olgay 2010.**

### 2.3.5.1.2.- FORMA

La forma óptima se define como aquella que gana el mínimo de calor en verano y pierde el mínimo de calor en invierno. La forma de la vivienda debe variar de acuerdo con la región en que se encuentre. En las regiones templadas<sup>4</sup>, donde la variación de temperatura permite el diseño de plantas más flexibles, la forma alargada a lo largo de un eje este-oeste, resulta ser la más apropiada. (Olgay 2010)

La forma de una construcción influye de manera directa en la demanda en calefacción, a través de la superficie de la envolvente y el volumen. A mayor superficie, mayor capacidad para intercambiar calor entre el interior y el exterior de la vivienda. El volumen de la construcción está directamente relacionada con la capacidad para almacenar energía: a mayor volumen, mayor capacidad para almacenar calor (López, 2011).

### 2.3.5.1.3.- MAXIMIZAR GANANCIAS SOLARES

*“La radiación solar es uno de los medios naturales más importantes que facilitan el proceso de calefacción de las viviendas” (Olgay 2010, p34)* La radiación solar que atraviesa la atmósfera se dispersa debido a las partículas en suspensión y a las moléculas del aire, se refleja difusamente en las nubes y vuelve al espacio exterior. Antes de alcanzar el suelo, la radiación solar disminuye debido a la existencia de impurezas en el aire y a que parte de la misma es absorbida por algunos constituyentes atmosféricos, como dióxido de carbono, vapor de agua y ozono. Al mediodía, cuando el sol se encuentra en el punto más vertical, y por lo tanto a menor distancia, la cantidad de energía recibida será mayor (Olgay 2010). Las ganancias solares  $Q_s$  son flujos de calor adicionales generados en el edificio por el sol. Esto ocurre directamente a través de las ventanas o indirectamente a través de los elementos opacos. En el caso de los elementos opacos, el sol actúa calentando las superficies expuestas y aumentando así el flujo de calor a través del espesor del elemento.

- **Ganancias indirectas:** a través de los elementos opacos, son algo más complejas dado que la radiación solar directa actúa primero aumentando la temperatura de la superficie exterior del elemento. La temperatura resultante se llama temperatura sol-aire. Como esto incrementa la componente  $\Delta T$  de la ganancia por conducción  $Q_c$  el flujo de calor por conducción aumenta.
- Con el fin de aislar las ganancias indirectas es conveniente manejar la temperatura exterior incrementada por la radiación solar, diferenciada de la temperatura ambiente.

<sup>4</sup> Temuco posee clima templado lluvioso.



La absorción superficial del elemento es una función del color y del material y representa la cantidad de radiación solar que efectivamente es absorbida por la superficie.

Así como lo indica D'Alencon (2008), en climas fríos **es posible usar la energía disponible por radiación solar para la calefacción** de los recintos. Un primer paso es la multiplicación de las ganancias energéticas de la radiación. Sin embargo, esto suele no ser suficiente si no existen otros recursos complementarios para acumular la energía recibida, para distribuirla dentro de los recintos homogéneamente o con adecuación de usos, y si no evitamos perderla una vez admitida, acumulada o distribuida. Así, se pueden distinguir cuatro estrategias de calefacción: de captación, de acumulación, de distribución y de conservación.

#### 2.3.5.1.4.- CAPTACIÓN DE RADIACIÓN SOLAR

Se distinguen tres estrategias de ganancia térmica por radiación solar:

- **Ganancia directa:** A través de elementos transparentes, la radiación solar entra directamente al espacio, en donde calienta las masas térmicas expuestas. Una parte de la radiación incidente atraviesa la superficie vidriada, una es absorbida por el vidrio y otra parte es reflejada.

La orientación e inclinación de la superficie vidriada respecto del ángulo de incidencia del sol son factores principales para controlar las ganancias por radiación directa. La orientación norte permite mayores ganancias en invierno al mismo tiempo que mejor control en verano. Las orientaciones poniente y norponiente, que suma a la insolación el calor acumulado durante el día, pueden presentar sobrecalentamiento en verano, por lo que es conveniente considerar protecciones como complemento. También las superficies vidriadas con inclinaciones cercanas a la horizontal suelen presentar sobrecalentamiento en verano, por su inclinación favorable al sol estival.

- **Ganancia indirecta:** A través de elementos opacos, el sol calienta una masa térmica y a continuación el calor es traspasado al espacio habitable. La energía no se transmite directamente, sino una parte se absorbe en el espesor del cerramiento y re-irradia, y el resto es reflejado. Las superficies opacas y oscuras tienen mejores propiedades para absorber la radiación. La masa del muro y su capacidad de acumular energía son usados como un mecanismo para evitar el sobrecalentamiento durante el día, calor que se entrega durante la noche, cuando las temperaturas en el exterior bajan, con lo que resultan moderadas en el interior. La demora en acumular el calor y re-irradiarlo se conoce como inercia térmica.

- **Efecto invernadero** – ganancia local: Es un caso especial de ganancias por radiación directa, en el que se busca multiplicar la ganancia por radiación solar en un recinto cerrándolo principalmente con cristales. La radiación solar incidente, de onda corta, atraviesa el cristal y es absorbida por los elementos opacos que re-irradian en onda larga. La energía en onda larga no puede atravesar el cristal para salir al exterior, y aunque se producen pérdidas considerables por conducción a través de la envolvente de cristal, la temperatura aumenta gracias a la radiación atrapada.

#### 2.3.5.1.5.- ACUMULACIÓN DE ENERGÍA SOLAR

Se basa en la capacidad de las masas de acumular calor que reciben por radiación y que se difunde a través de ellas por conducción. La difusión de la energía en la masa evita que la superficie que recibe directamente la radiación se sobrecaliente en tanto el calor se acumula en ella. Los materiales con mucha masa, como el hormigón, las albañilerías macizas o el agua se absorben y entregan calor con relativa lentitud. Los materiales de menor masa o con propiedades aislantes, como la madera o las fibras minerales, no tienen capacidad de acumular calor pues lo conducen muy pobremente y carecen de masa. La acumulación se puede dar usando masas específicamente dedicadas a ellos, como agua o piedras separadas de los recintos, que actúan independientemente de la envolvente como acumuladores conectados al recinto a través de conductos de aire movido con ventiladores

#### 2.3.5.1.6.- CONSERVACIÓN DE ENERGÍA SOLAR

Persigue la reducción de las pérdidas de calor a través de la envolvente. Estas pérdidas se dan en varias formas, todas una combinación de conducción radiación y convección; son dependientes de la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior y de la resistencia de los elementos que componen la envolvente. La forma más evidente de conservar energía es mejorando la resistencia térmica de la envolvente, especificando o agregando materiales con buenas propiedades de aislamiento térmico. Sin embargo otras condiciones de diseño pueden ser muy relevantes: el diseño de un volumen compacto, el mejoramiento o protección de los paños vidriados, la reducción de las pérdidas por infiltración y el control de puentes térmicos contribuyen también significativamente

#### 2.3.5.1.7.- DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA SOLAR

La distribución del calor obtenido a través de ganancias por radiación u otras, también es una estrategia para el acondicionamiento en climas fríos. La distribución natural se produce en base a radiación y convección, que son las formas en que se entrega la energía acumulada desde una masa, muro u otro a

un recinto habitado. La convección se da cuando existe una diferencia de temperatura entre el recinto y un cuerpo más caliente; la radiación - de onda larga – se da cuando la superficie de un objeto está más caliente que la de los objetos inmediatos.

La convección en el interior del recinto es otra forma frecuente de distribución de calor a considerar, especialmente en recintos de mayor altura, en que las diferencias de temperatura que activan la circulación son mayores. Este flujo puede ser controlado o interrumpido abriendo o cerrando puertas, ventanas o tabiques, en caso de que produzcan flujos indeseados.

- Inercia térmica: Una estrategia de distribución especialmente adecuada a las diferencias de temperatura entre día y noche de los climas continentales es la inercia térmica, que se define como la demora que tiene la energía absorbida por una masa en ser entregada. La magnitud de la inercia térmica, medida en horas, depende de la masa del elemento y de la conductividad del material. Un muro de mucha inercia térmica – 8-10hrs – entrega durante la noche el calor que ha acumulado durante el día.

#### **2.3.5.1.8.- DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS TÉRMICAS EN COMPLEJOS CONSTRUCTIVOS**

##### **CUBIERTA- MUROS – PISOS – VENTANAS**

**Los intercambios de calor y humedad entre el edificio y su medio ambiente se producen a través de la envolvente de un edificio**, de acuerdo a D'Alencon (2008) y la envolvente de la vivienda se puede definir como la superficie o volumen exterior del edificio expuesto a las condiciones de la intemperie. Incluye muros, cubierta, ventanas y suelo. Su definición no es obvia y a menudo no es correctamente considerada en el diseño: involucra un espesor, no una mera superficie, que es susceptible de tratamiento arquitectónico: entretechos, doubles techos, invernaderos, sombreaderos.

##### **2.3.5.1.8.1.- DISMINUCIÓN DE INFILTRACIONES**

El aire exterior que se introduce en el interior del edificio se utiliza para diluir y eliminar los contaminantes del aire interior. Esto hace que la energía necesaria para acondicionar el aire exterior a las necesidades térmicas del interior del local sea una parte considerable del total de la energía demandada. Las infiltraciones se definen, como el aire exterior que penetra en el interior de un local a través de grietas (crack) y otras aberturas que no han sido colocadas intencionadamente en la envolvente del local. Las infiltraciones también se conocen como fugas de aire que se introducen en el



edificio. Así como la ventilación natural, se produce por diferencias de presión interior/exterior debido al efecto del viento y la diferencia de temperatura interior/exterior. (Odrizola, 2008)

Las renovaciones de aire se definen como la sustitución del aire del interior del local por aire exterior. Esto supone intercambiar aire sucio interior por aire limpio exterior, pero también implica, generalmente, una pérdida de energía, ya que el aire exterior normalmente no estará a la misma temperatura que el aire interior. La renovación de aire se puede realizar por ventilación o por infiltración. A partir de la definición de las infiltraciones, podemos decir que ayudan a renovar el aire interior del edificio, pero ocurren de manera no intencionada y por lo tanto, de forma incontrolada. Esto significa que debido a los mecanismos que lo impulsan, más acentuada será cuando mayor sea la incidencia del viento y la diferencia de temperatura interior/exterior. Por lo que en climas en los que los inviernos son muy fríos y los veranos muy calientes las infiltraciones son mayores. Es evidente que cuanto mayor es el aire infiltrado al interior del edificio, mayor será el discomfort causado. (Odrizola, 2008). Las cargas térmicas ocasionadas por las infiltraciones indeseadas de aire a través de la envolvente de los edificios, determinan parte importante de la demanda energética para su acondicionamiento térmico. Las infiltraciones, que siempre significan fugas de calor, dependen, fundamentalmente, de las propiedades de permeabilidad al aire de los elementos que conforman la envolvente. Característica del parque de construcciones de Chile prácticamente desconocida, no regulada ni controlada. Estudios experimentales, demuestran que los niveles de infiltración de construcciones nacionales exceden en entre 2 y 10 veces los niveles máximos aceptables en países europeos. Situación que explica los moderados avances en materia de reducción de energía destinada al acondicionamiento térmico de edificios que se consiguen actualmente. Pone en serio riesgo además la eficacia y rentabilidad de las estrategias que se están utilizando en Chile para mejorar la eficiencia energética de los edificios.

No existe en Chile actualmente ninguna disposición orientada a la regulación y control de las pérdidas térmicas derivadas de las infiltraciones de aire. En consecuencia, una componente importante de la demanda energética de los edificios, que en algunos casos puede llegar a representar el 60% de ésta, como demuestran estudios exploratorios, está fuera de control en Chile actualmente. (Bobadilla y Veas. 2010)

### **2.3.5.1.8.2.- REDUCCIÓN DE PUENTES TÉRMICOS**

Se considera la presencia de un puente térmico cuando un elemento constructivo que relaciona un recinto interior con el exterior, posee una parte de él que permite el traspaso de flujo de calor mayor al

que se transmite por el resto del elemento constructivo. Pueden generar un mayor gasto energético en calefacción, además de una serie de patologías, que son muy difíciles de reparar.

*“Los problemas derivados por las pérdidas de calor; condensaciones superficiales; aparición de moho y deterioro de las estructuras son los efectos más comunes de verificar en terreno, sin embargo los indirectos tienen que ver con problemas de salud de los usuarios y los costos derivados de la mantención y pérdida de energía.” (Bobadilla y Muñoz 2011, p3)*

Los puentes térmicos más comunes se presentan en encuentros de elementos constructivos, en esquinas y en vanos de puertas y ventanas.

El adecuado tratamiento y/o eliminación de los puentes térmicos, puede significar ahorros cercanos al 10% del consumo energético en calefacción de una construcción.

## **2.3.6.- MARCO FINANCIERO**

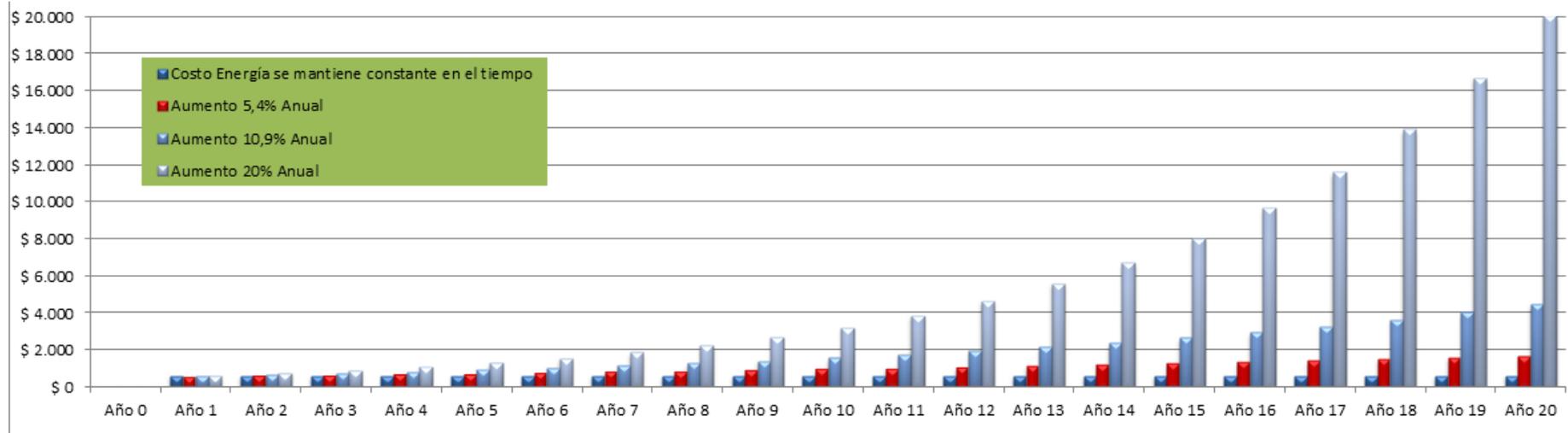
### **2.3.6.1.- ALZA DE LOS COMBUSTIBLES**

Para determinar el alza del valor del combustible, *“se deben considerar diferentes escenarios de aumento de los costos de energía. Las variaciones están basadas en estimaciones de algunos de los economistas más importantes a nivel mundial, las cuales tienden a identificar el **precio del petróleo** a mediano plazo. En todo caso, aunque se trate de la opinión de los mayores expertos internacionales, siguen siendo sólo estimaciones. Se proponen 4 escenarios que van de mayor a menor tasa de aumento del costo de la energía.*

*El primer escenario corresponde a un escenario optimista y poco probable, el cual resulta de suponer que el costo de la energía se mantiene constante en el tiempo. El segundo escenario, corresponde al escenario más probable. Este se obtiene asumiendo un aumento del costo de la energía de 5.4% al año. El tercer escenario corresponde a un escenario considerando un aumento del costo de la energía de 10.9% al año. Este se obtiene como las predicciones más pesimistas de los especialistas. El cuarto escenario, corresponde a una tasa de aumento de costo de la energía aún mayor que el mayor aumento previsto por los especialistas (20% anual). Luego, no es necesario incentivar para que se realicen medidas de eficiencia energética por sobre este estándar, ya que es muy poco probable que se sean rentables a mediano plazo. Si bien es cierto, no se impedirá que se siga aumentando la eficiencia por sobre estos estándares, tampoco se incentivará para que estos se sobrepasen. La razón principal de esto es que como los recursos siempre son escasos (base fundamental de la teoría económica), se debe orientar a que se gasten estos recursos en las medidas que tengan un mayor impacto en la eficiencia energética”. (Fissore A., Colonelli P. 2009, p25).*

En la tabla 2.5 y gráfico 2.5, se presenta el análisis de aumento de costo de combustible (kerosen) durante los próximos 20 años, considerando los 4 escenarios mencionados.

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Evaluación técnico-económica del mejoramiento térmico en viviendas existentes de construcción repetitiva, mediante la utilización de estrategias pasivas: Caso de estudio en la ciudad de Temuco"  
 Manuel Bravo Schilling



**Tabla 2.5: Escenarios de variación del costo de combustible (kerosen)**  
 Fuente: Elaboración propia.

VARIACIÓN DE COSTOS DE COMBUSTIBLES																					
Escenarios de costo de la energía	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Costo Energía se mantiene constante en el tiempo	\$ 0	\$ 628	\$ 628	\$ 628	\$ 628	\$ 628	\$ 628	\$ 628	\$ 628	\$ 628	\$ 628	\$ 628	\$ 628	\$ 628	\$ 628	\$ 628	\$ 628	\$ 628	\$ 628	\$ 628	\$ 628
Aumento 5,4% Anual	\$ 0	\$ 628	\$ 662	\$ 698	\$ 735	\$ 775	\$ 817	\$ 861	\$ 907	\$ 956	\$ 1.008	\$ 1.063	\$ 1.120	\$ 1.180	\$ 1.244	\$ 1.311	\$ 1.382	\$ 1.457	\$ 1.536	\$ 1.618	\$ 1.706
Aumento 10,9% Anual	\$ 0	\$ 628	\$ 696	\$ 772	\$ 857	\$ 950	\$ 1.053	\$ 1.168	\$ 1.296	\$ 1.437	\$ 1.593	\$ 1.767	\$ 1.960	\$ 2.173	\$ 2.410	\$ 2.673	\$ 2.964	\$ 3.287	\$ 3.646	\$ 4.043	\$ 4.484
Aumento 20% Anual	\$ 0	\$ 628	\$ 754	\$ 904	\$ 1.085	\$ 1.302	\$ 1.563	\$ 1.875	\$ 2.250	\$ 2.700	\$ 3.240	\$ 3.888	\$ 4.666	\$ 5.599	\$ 6.719	\$ 8.063	\$ 9.676	\$ 11.611	\$ 13.933	\$ 16.719	\$ 20.063

\*Valor del kerosen en Temuco, durante el estudio: \$628 (07 Agosto 2013)

\*\*UF 07 Agosto 2013: \$22.980

**Gráfico 2.5: Escenarios de variación del costo de combustible (kerosen)**  
 Fuente: Elaboración propia.



### 2.3.6.2.- RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Es posible considerar soluciones que incorporan el uso inteligente de energías, considerando parámetros de comparación objetivos y relevantes que poseen una relación con el comportamiento de dicha inversión en el mediano y largo plazo, considerando los siguientes aspectos:

- Rentabilidad, considerada como el plazo de amortización de la inversión con una determinada tasa de descuento y aplicado a los ahorros energéticos potenciales y sus correspondientes costos de inversión.
- Eficiencia Energética, considerada como la capacidad de generar una temperatura de confort en el tiempo, al interior de la vivienda, al menor costo posible.
- Costo de inversión, considerado como el valor de cada una de las estrategias de mejoramiento térmico de la vivienda.
- Tasa de descuento, considerada como tasa de interés utilizada para calcular el valor presente de un importe futuro. Compensación por invertir; es la remuneración que recibe, o espera recibir el inversor por su decisión de invertir.

## CAPITULO III – METODOLOGÍA

### 3.1.- METODOLOGÍA - ANÁLISIS DE GASTO ENERGÉTICO EN CALEFACCIÓN. MÉTODO TEÓRICO

Para el desarrollo de la presente Tesis, se consideran los índices de consumo energético en calefacción, indicados en el "Sistema de Calificación Energética de Viviendas" del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, aplicados a una vivienda existente de construcción en serie con ocupantes, ubicada en la ciudad de Temuco.

Esta investigación busca realizar un diagnóstico lo más cercano a la realidad; es decir, realizado con programas de simulación térmica dinámica, con variables incorporadas, previamente validadas con los parámetros obtenidos producto de mediciones en terreno (temperatura, humedad relativa, consumo de combustible, CO<sub>2</sub>, infiltraciones e imágenes termográficas).

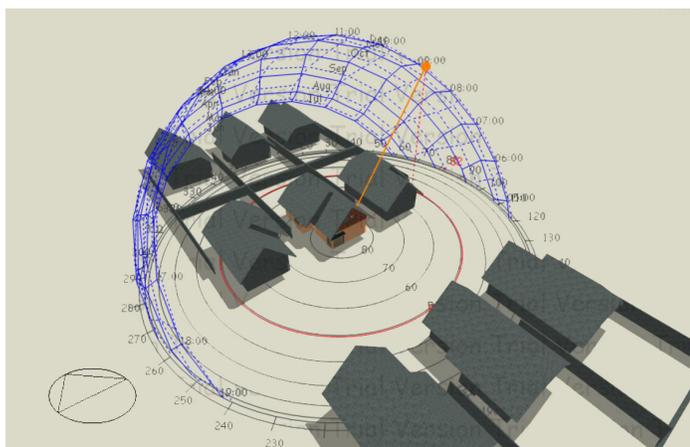
Para la determinación del gasto energético en calefacción se utilizó simulación computacional, porque *"La climatización pasiva y el uso pasivo de la energía solar exigen una optimización compleja de todos los elementos constructivos de una vivienda en su interacción con las condiciones de clima y de uso, que herramientas tradicionales de cálculo y diseño no pueden ofrecer"* (Müller 2000).

**Simulación térmica:** Antes de los años 60 sólo existían métodos simplificados de cálculo manual, para determinar el consumo energético de las construcciones. Usualmente se utilizaba el método de grados día para estimar el consumo energético, pero estos métodos no consideraban o despreciaban el

impacto de factores importantes como la masa térmica. En la actualidad, los programas de simulaciones térmicas son ampliamente conocidos y validados, ya que sus resultados representan la realidad con una exactitud suficiente, para el diseño o la certificación energética de edificaciones (Hatt, 2012).

Se Utilizará el programa de simulación térmica dinámica Design Builder para determinar las demandas térmicas, que utiliza el motor de simulación Energyplus, desarrollado por el Departamento de Energía de E.E.U.U. (DOE: Department of Energy, Estados Unidos), para realizar los cálculos energéticos.

Se realizará un estudio paramétrico sobre el comportamiento térmico de la vivienda repetitiva de 145,91 m<sup>2</sup>, en sus 4 diferentes orientaciones y emplazada en la ciudad de Temuco. La simulación del comportamiento térmico, se realizó con el programa Design Builder V3.0.0.105<sup>5</sup> y la fuente meteorológica para obtener los datos climáticos de la ciudad de Temuco, fue el software Meteonorm 5.1. Para mayor precisión de la simulación, se modeló la vivienda a analizar y todas las viviendas que la rodean y la afectan térmicamente al generar conos de sombra sobre la vivienda objetivo, como se observa en la figura 3.1.



**Figura 3.1: Visualización de la vivienda objeto y cono de sombra de su contexto inmediato**  
**Fuente: Elaboración propia con programa Design Builder v3.0.0.105.**

Con el análisis del gasto energético en calefacción, se busca determinar lo siguiente:

- Determinar la demanda en calefacción de una vivienda repetitiva en la ciudad de Temuco, en sus distintas orientaciones.
- Determinar la influencia de la orientación de la vivienda repetitiva, en el consumo de calefacción tanto en la vivienda existente, como en la vivienda con estrategias pasivas de mejoramiento térmico.

<sup>5</sup> El programa Design Builder utiliza el motor de simulación Energyplus, desarrollado por el Departamento de Energía de E.E.U.U., para realizar los cálculos energéticos.



- Determinar el gasto energético en calefacción de la vivienda en sus distintas orientaciones, pero cumpliendo con los estándares mínimos exigidos en la normativa térmica chilena.
- Determinar si es posible mejorar una vivienda, utilizando estrategias pasivas combinadas.
- Determinar la relación entre el consumo de kerosén (estufa laser sin extracción de gases al exterior) y el nivel de CO<sub>2</sub> al interior de la vivienda.

Se analizarán diversas estrategias pasivas de mejoramiento térmico, en las 4 distintas orientaciones de la vivienda, como por ejemplo:

- Mejorar transmitancia térmica de ventanas y sus marcos.
- Mejorar transmitancia térmica de complejo de muros perimetrales.
- Mejorar transmitancia térmica de complejo de cubierta
- Disminución de ventanas con orientación sur.
- Aumentar ventanas de cubierta con orientación norte.
- Aumentar ventanas en fachada norte.

Debido a que el cambio de uno de los factores, altera el comportamiento térmico de la vivienda en un sentido (porcentaje de mejora térmica), pero al analizar el comportamiento de un grupo de estrategias, genera un cambio distinto en el comportamiento térmico de la vivienda (el porcentaje de mejora térmica de un conjunto de estrategias es menor que la suma del porcentaje de mejora térmica de cada una de las estrategias), por ello en una primera etapa se analizarán todas las estrategias por separado, para determinar la mejora térmica de cada una, luego se analiza el período de recuperación de la inversión de cada estrategia. Finalmente se agrupan las estrategias con similar período de recuperación de la inversión (es decir una relación equivalente de costo-beneficio), para analizar cada conjunto y determinar ahora el período de recuperación de la inversión de las estrategias agrupadas. **El conjunto de estrategias ideal para el presente estudio, será el que genere una mejora térmica mayor y que posea una recuperación de la inversión en un período menor.**

### 3.2.- METODOLOGÍA- ANÁLISIS DE GASTO ENERGÉTICO EN CALEFACCIÓN. MÉTODO EMPÍRICO

Se evaluará el comportamiento térmico y la calidad ambiental interior de la vivienda con calefacción programada para mantener constante la temperatura de confort en el interior de la vivienda con ocupantes, durante el período de medición.

Para comprobar que la vivienda se mantiene en temperatura de confort, se monitoreará la temperatura mediante la instalación de 3 data loggers en el nivel 1 y 3 data loggers en el nivel 2 de la vivienda.

Finalmente se instalará un data logger en el exterior de la vivienda, para obtener la referencia de las temperaturas ambientales exteriores de la vivienda.

Para generar la energía necesaria para lograr la temperatura de confort interior, se utilizarán 2 estufas laser de kerosen con termostato programado y cada una se instalará en un nivel de la vivienda. Diariamente se medirá el consumo individual de kerosen de las estufas.

Para monitorear la calidad ambiental interior, se utilizará la información entregada por los data loggers que también medirán la temperatura. Adicionalmente se instalará un medidor de CO<sub>2</sub> en el segundo nivel de la vivienda, ya que es el lugar donde se encuentran los dormitorios.

Para determinar la demanda energética de la vivienda para mantener durante un año la temperatura de confort, se compararán los resultados de consumo de kerosen obtenidos durante 1 semana de junio, con los resultados mensuales obtenidos en la simulación ejecutada con los datos obtenidos mediante métodos empíricos. Si los datos obtenidos empíricamente coinciden con los datos de la simulación, se deberá extrapolar el consumo de la vivienda durante la semana de estudio, a un año completo.

Para completar el diagnóstico del comportamiento y calidad constructiva de la vivienda en estudio, se medirá el nivel de infiltraciones (Blower Door Test) y se realizarán termografías, para determinar si existen puentes térmicos considerables.

Los parámetros utilizados para validar las simulaciones, son los obtenidos en el monitoreo de la vivienda, de tal manera que los resultados sean comparables y posibiliten su uso.

Los parámetros obtenidos en el monitoreo y posteriormente utilizados en la simulación térmica dinámica, son los que se indican en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1: Parámetro de monitoreo y simulación**  
 Fuente: Elaboración propia.

PARÁMETROS	MONITOREO	SIMULACIÓN DINÁMICA
Calefacción	20°C	20°C
Ocupación	0,03 personas/m <sup>2</sup>	0,03 personas/m <sup>2</sup>
Superficie ocupada	124,4 m <sup>2</sup>	124,4 m <sup>2</sup>
Superficie desocupada	18,3 m <sup>2</sup>	18,3 m <sup>2</sup>
Ganancias internas por equipos eléctricos	6 W/ m <sup>2</sup>	6 W/ m <sup>2</sup>
Ganancias internas por equipos de iluminación	5 W/ m <sup>2</sup>	5 W/ m <sup>2</sup>
Infiltraciones	1,41 AC/h	1,41 AC/h

Se validan los resultados de la simulación dinámica, mediante la comparación de sus resultados con la demanda energética determinada en el caso de estudio, obtenida en el monitoreo en terreno. Luego de ello, se utilizan los parámetros validados, para realizar la simulación dinámica de los distintos modelos de mejoras térmicas, para analizar las distintas variables y su relación con la posible disminución de la demanda energética de calefacción.

### 3.3.- METODOLOGÍA - ANÁLISIS FINANCIERO, RELACIONADO A LA MEJORA TÉRMICA

Una inversión en la mejora de la eficiencia energética siempre debe compararse sólo con los gastos en energía que ocurren sin una medida de mejora. Una inversión en la eficiencia es rentable sólo si el ahorro en gastos futuros es más alto que la adquisición de energía sin la eficiencia energética. Esto es cierto, incluso si las inversiones en otras áreas logran una mayor rentabilidad, y si se considera para los gastos de capital un préstamo – generalmente un crédito hipotecario. En caso de falta de liquidez, hay un problema de financiación, pero esto no tiene relación con la rentabilidad económica. (Hatt, et al., 2012).

El método más adecuado y comúnmente utilizado para evaluar lo antes señalado, es el valor actual neto (VAN), donde todos los flujos de caja futuros se descuentan a la actualidad y se suman. VAN es un método estándar para evaluar proyectos a largo plazo. El criterio comúnmente utilizado de comparación es el periodo de recuperación de la inversión dinámico, que determina el tiempo necesario para recuperar una inversión de capital, incluyendo los intereses con la tasa de descuento de retorno (es el costo de oportunidad del inversionista). Se denomina el método de cálculo de amortización de una inversión como cálculo pay-off.

Dentro del estudio se propone que el análisis financiero se cruce con las propuestas individuales de mejoramiento térmico. Para la validación de las soluciones térmicas propuestas en cada uno de los complejos constructivos, se utiliza un proceso de prueba y error. Se simula cada una de las alternativas de solución y luego se valida de acuerdo al período de recuperación de la inversión de la estrategia pasiva por sí sola. Luego se realiza el mismo procedimiento con el conjunto de alternativas de solución<sup>6</sup>, agrupadas de acuerdo al período de recuperación de la inversión, para determinar el período de recuperación de la inversión del grupo completo de soluciones, que por sí solas poseían similar relación: ahorro energético en calefacción / período de recuperación de la inversión. De esta manera no será

<sup>6</sup> Por ej. un conjunto: aislación cubierta x, aislación muros y, ventanas z.

arbitraria la forma de agrupar las soluciones, sino que será coherente con lo que se busca relacionar: el factor energético con el factor económico.

Dado que el cambio de uno de los factores, altera el resto de los factores, se espera que a pesar de que un conjunto de soluciones posea un período de recuperación de la inversión similar, cuando se analice el conjunto de soluciones, obviamente el consumo energético sea menor y que el período de rentabilización de la inversión se incremente.

Con el análisis financiero, se busca determinar lo siguiente:

- Determinar el costo de ejecución de las distintas estrategias pasivas – inversión en construcción.
- Determinar rentabilidad económica y período de recuperación del capital (PRC) de las distintas estrategias pasivas.

### 3.4.- METODOLOGÍA GENERAL – CUADRO RESUMEN

Las etapas de investigación consideradas son las siguientes:

1. Determinar la transmitancia térmica de los distintos elementos constructivos, de acuerdo a Norma chilena NCh853.
2. Determinar condiciones efectivas de la vivienda en estudio, con ocupantes. Realizar mediciones durante el mes de junio (1 semana), para determinar:
  - i. Si la Temperatura durante el período de medición, se mantuvo dentro del rango de confort (Data loggers)
  - ii. Si la Humedad Relativa durante el período de medición, se mantuvo dentro del rango de confort (Data loggers)
  - iii. Niveles de CO<sub>2</sub> durante el período de medición (Medidor de CO<sub>2</sub>)
  - iv. Nivel de infiltraciones (Blower Door Test)
  - v. Realizar termografías para evaluar la calidad de la vivienda existente y determinar los puntos de pérdida de calor por puentes térmicos (Cámara termográfica)
  - vi. Consumo de combustible durante período de análisis (Consumo kerosen)
3. Determinar la calificación energética para satisfacer requerimientos de calefacción de la vivienda existente en condiciones normales de funcionamiento y ocupación, mediante:
  - a. Simulación dinámica detallada multizona de la vivienda base (vivienda de referencia que cumple con la normativa chilena): Utilización de programa Design Builder



- b. Simulación dinámica detallada multizona de la vivienda existente- sin ampliaciones:  
Utilización de programa Design Builder
  - c. Simulación dinámica detallada multizona del caso de estudio vivienda existente- con ampliaciones: Utilización de programa Design Builder
4. Identificar alternativas pasivas susceptibles de ser utilizadas.
5. Evaluación Técnica por estrategias de mejoramiento separadas: Analizar y simular las diversas alternativas pasivas de intervención en la vivienda de manera individual, para determinar la reducción de consumo energético mediante la aplicación de cada una de ellas y su rentabilidad. Utilización programa Design Builder.
6. Evaluar económicamente las diversas alternativas de intervención para determinar la rentabilidad de ellas en los siguientes escenarios:
  - a. Suponer que el costo de la energía se mantiene constante en el tiempo.
  - b. Asumiendo un aumento del costo de la energía de 5,4% al año. Escenario más probable.
  - c. Aumento del costo de la energía de 10,9% al año. Predicciones pesimistas de los especialistas.
  - d. Aumento de costo de la energía aún mayor que el mayor aumento previsto por los especialistas. 20% anual.
7. Evaluación Técnica por estrategias de mejoramiento agrupadas: Analizar y simular las diversas alternativas pasivas de intervención en la vivienda de manera agrupada, para determinar la reducción de consumo energético mediante la aplicación de un conjunto de ellas, agrupadas de acuerdo a su relación costo beneficio. Utilización programa Design Builder.

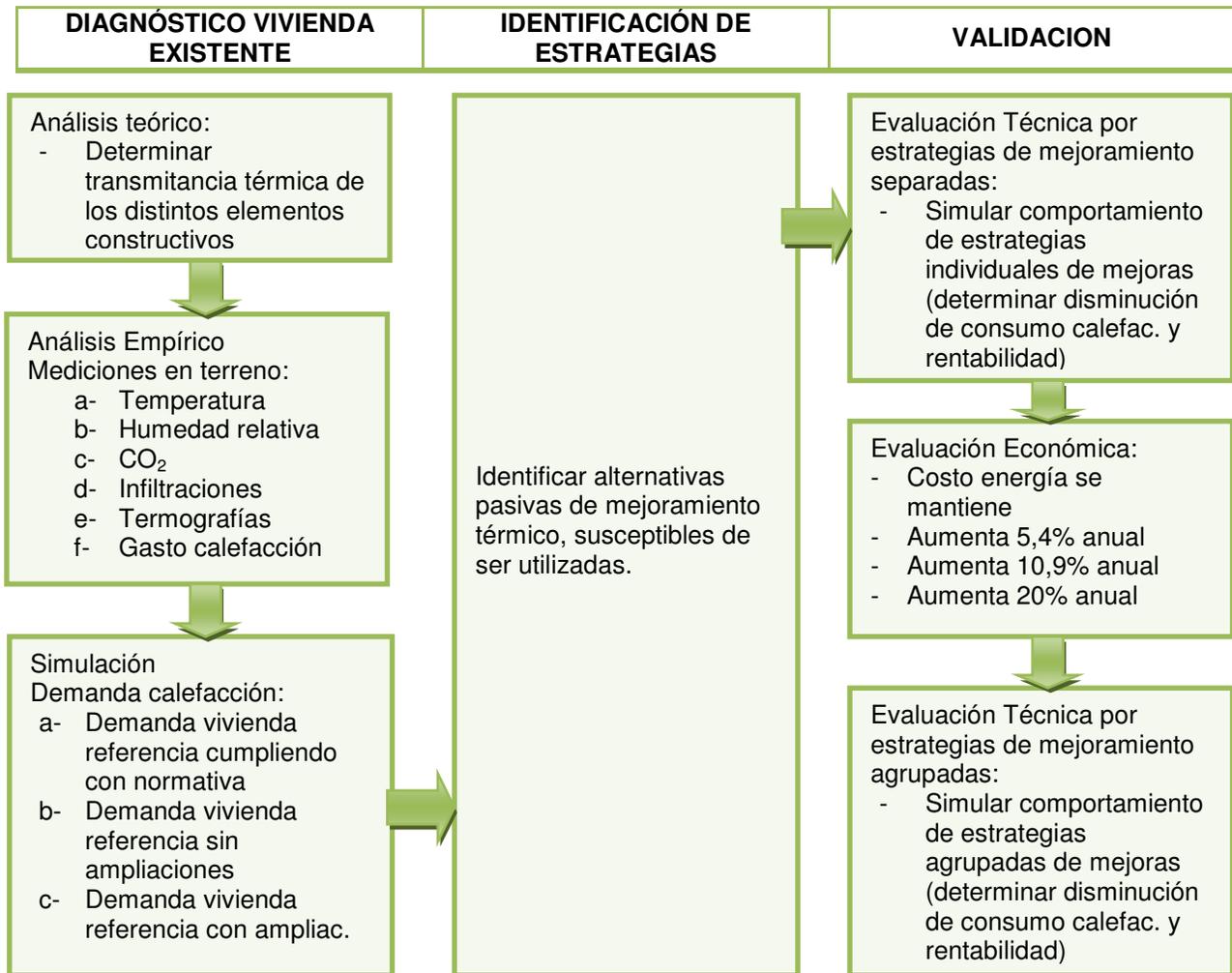


Figura 3.2: Esquema metodológico de la investigación

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.- CARACTERIZACIÓN DE CASO DE ESTUDIO

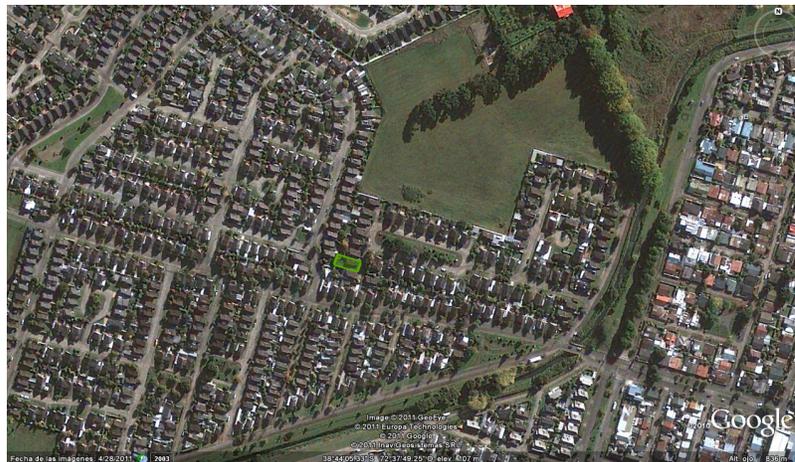
#### 3.5.1.- DATOS GENERALES

Para el tema de estudio se analizó una vivienda unifamiliar existente y en uso, de una superficie de 145,91m<sup>2</sup> y construida el año 1992, con anterioridad a la entrada en vigencia de la normativa térmica, por lo que es de deficiente comportamiento térmico, que cumplía con lo exigido por la normativa en el momento de su construcción. Es una vivienda de construcción en serie, ejecutada en albañilería en el nivel 1 y estructura de madera en nivel 2 y cubierta, de la cual se han construido una gran cantidad de unidades en el sur de Chile (Se ha repetido el modelo en las ciudades de Temuco, Valdivia, Chillán, Concepción, etc.), por lo que los criterios y resultados de la Tesis, podrían significar un importante motor

de cambio para un considerable número de viviendas (obviamente ajustando el modelo a los distintos climas y orientaciones).

### 3.5.2.- CONTEXTO Y ORIENTACIÓN

El loteo en que se emplaza la vivienda base en estudio, se ha replicado en distintas ciudades del sur de Chile, como por ejemplo Temuco, Valdivia, Chillán, Concepción, etc. Sólo en la ciudad de Temuco el loteo en que se emplaza la vivienda en estudio, denominado “Lomas de Mirasur” considera 11 etapas con un total de 320 viviendas de construcción repetitiva, como se puede observar en las figuras 3.3 y 3.4.



**Figura 3.3: Emplazamiento vivienda en estudio – Temuco, Loteo Lomas de Mirasur**

Fuente: Google Earth



**Figura 3.4: Emplazamiento vivienda en estudio – Pasaje La Cumbre Oriente**

Fuente: Google Earth

La vivienda en estudio se emplaza en un loteo de características homogéneas entre las distintas unidades, como se puede ver en las figuras 3.5, 3.6 y 3.7. El entorno inmediato de la vivienda en estudio, son viviendas de similares características, como se puede ver en la figura 3.6.

Las viviendas han sufrido ampliaciones y se encuentran especialmente ubicadas en los espacios libres entre viviendas, para ampliación de cocina en un costado y para ampliación de estacionamiento cubierto en el costado contrario, al igual que las ampliaciones que posee la vivienda en estudio.



**Figura 3.5: Entorno inmediato, Loteo Lomas de Mirasur**  
**Fuente: Elaboración propia**



**Figura 3.6: Entorno inmediato, Loteo Lomas de Mirasur**  
**Fuente: Elaboración propia**

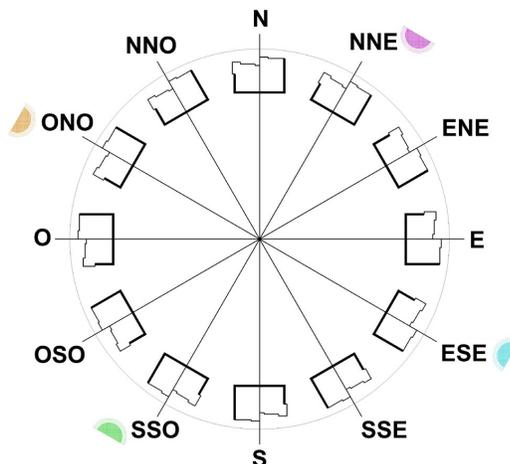


**Figura 3.7: Entorno inmediato, Loteo Lomas de Mirasur**

**Fuente: Elaboración propia**

En la figura 3.8, se presenta en forma de diagrama, la variedad de orientaciones, haciendo rotar un polígono que representa la edificación, según intervalos de 30°. De acuerdo a ello, el loteo posee las siguientes orientaciones:

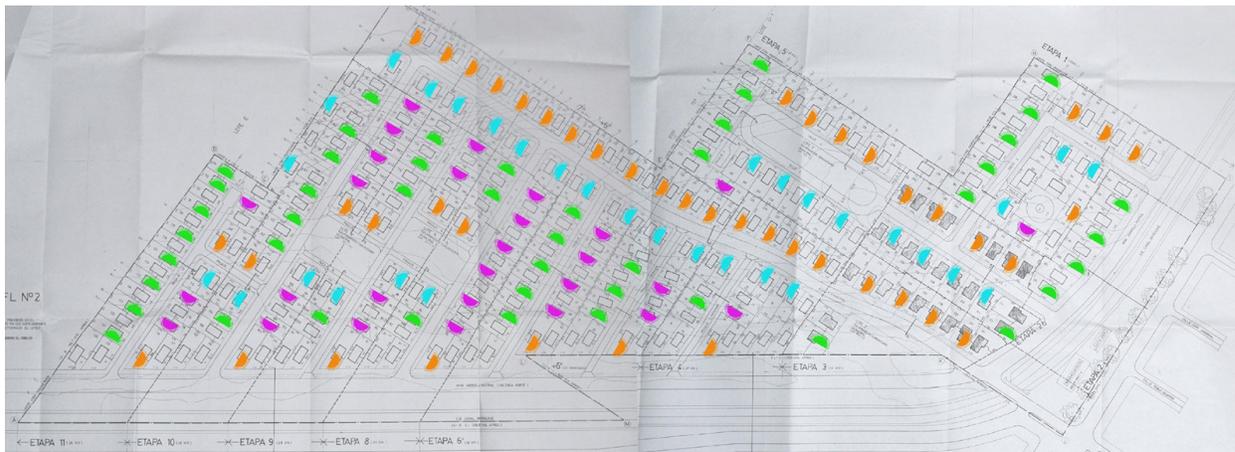
- Oriente, Nororiente (ONO): 45 viviendas.
- Sur, Suroriente (SSO): 46 viviendas.
- Norte, noreste (NNE): 28 viviendas.
- Este, sureste (ESE): 42 viviendas.



**Figura 3.8: Diagrama explicativo de las orientaciones utilizadas en la evaluación. En colores se destacan las orientaciones aplicadas en el loteo en estudio**

**Fuente: Elaboración propia.**

El loteo posee 320 viviendas, con 2 diseños, 161 viviendas con igual distribución al caso en estudio y 159 viviendas con planta reflejada y se emplazan en cuatro diferentes orientaciones, sin considerar la orientación solar óptima, como se puede ver en la figura 3.9.



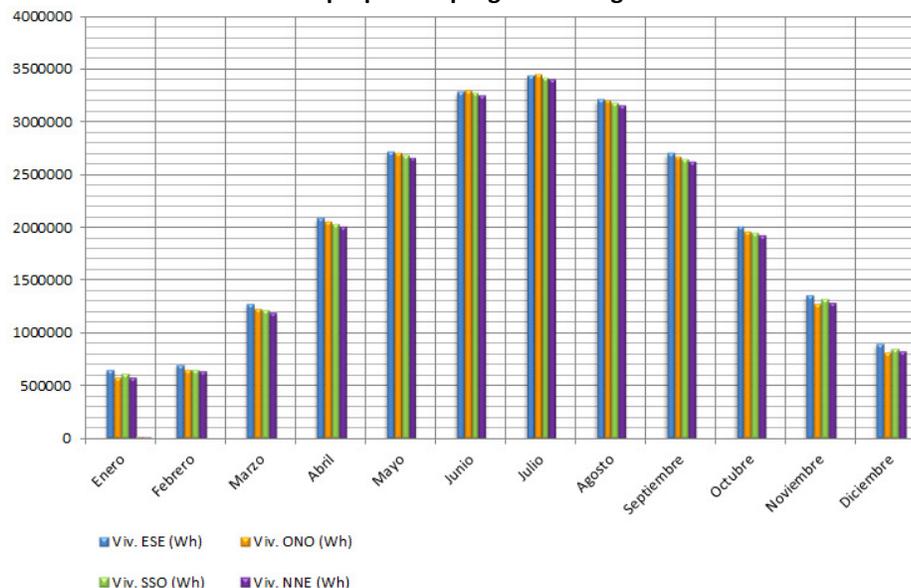
**Figura 3.9: Plano de Loteo Lomas de Mirasur. En colores se destacan las orientaciones de las viviendas**  
**Fuente: Plano ubicado en Dirección de Obras Municipales de Temuco**

El consumo en calefacción de las 161 viviendas, indicadas anteriormente, se puede ver en la tabla 3.2 y gráfico 3.1. Se aprecia que entre la vivienda mejor y peor orientada del loteo, existe una diferencia de consumo en calefacción de 3,35%. Por otro lado, al diseñar el loteo, se consideraron 42 viviendas en la orientación más desfavorable y sólo 28 unidades en la mejor orientación.

**Tabla 3.2: Demanda energética mensual en calefacción de las viviendas existentes en el loteo**  
**Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

DEMANDA ENERGÉTICA MENSUAL EN CALEFACCIÓN VIV. LOTEO EXISTENTE (Design Builder v3.0.0.105)				
Meses	Viv. ESE (Wh)	Viv. ONO (Wh)	Viv. SSO (Wh)	Viv. NNE (Wh)
Enero	651.035	574.923	611.392	580.110
Febrero	699.623	650.724	650.850	636.209
Marzo	1.277.645	1.221.094	1.216.610	1.185.914
Abril	2.084.207	2.053.645	2.029.167	2.000.783
Mayo	2.709.822	2.705.227	2.676.727	2.660.017
Junio	3.276.466	3.292.675	3.264.300	3.245.824
Julio	3.432.834	3.441.258	3.413.517	3.396.146
Agosto	3.210.228	3.201.881	3.169.858	3.150.942
Septiembre	2.699.849	2.668.537	2.644.497	2.623.453
Octubre	2.007.535	1.953.716	1.949.827	1.927.595
Noviembre	1.353.507	1.274.841	1.316.300	1.280.005
Diciembre	896.110	817.191	854.541	823.140
<b>TOTAL</b>	<b>24.298.861</b>	<b>23.855.712</b>	<b>23.797.586</b>	<b>23.510.138</b>
<b>Consumo total por unidad de sup.</b>	<b>166.533</b>	<b>163.496</b>	<b>163.098</b>	<b>161.128</b>
<b>Comparación</b>	103,35%	101,47%	101,22%	100,00%
<b>Reducción</b>	3,35%	1,47%	1,22%	0%
<b>Unidades por orientación</b>	42	45	46	28
<b>Consumo anual por orientación</b>	1.020.552.162	1.073.507.040	1.094.688.956	658.283.864
<b>Consumo anual 161 viviendas</b>	<b>3.847.032.022</b>			

**Gráfico 3.1: Demanda energética mensual en calef., de las viviendas existentes en el loteo**  
**Fuente: Elaboración propia con programa Design Builder v3.0.0.105.**



### 3.5.3.- DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA BASE

Se analiza una vivienda unifamiliar existente y en uso, de 145,91 m<sup>2</sup>, construida el año 1992, con anterioridad a la entrada en vigencia de la normativa térmica. La vivienda se puede observar en las figuras 3.10 y 3.11.

Es una vivienda de construcción en serie, ejecutada en albañilería en el nivel 1 y estructura de madera en nivel 2 y cubierta. Se utiliza esta vivienda base, por poseer facilidades de realizar las pruebas necesarias para el estudio y por ser representativa del conjunto debido a que posee ampliaciones en los sectores libres entre la vivienda en estudio y las viviendas vecinas en ambos costados. Ampliaciones en el sector de cocina y cubierta en estacionamiento, al igual que la mayoría de viviendas del loteo.



**Figura 3.10: Vivienda Base. Vista Oriente**  
**Fuente: Elaboración propia**

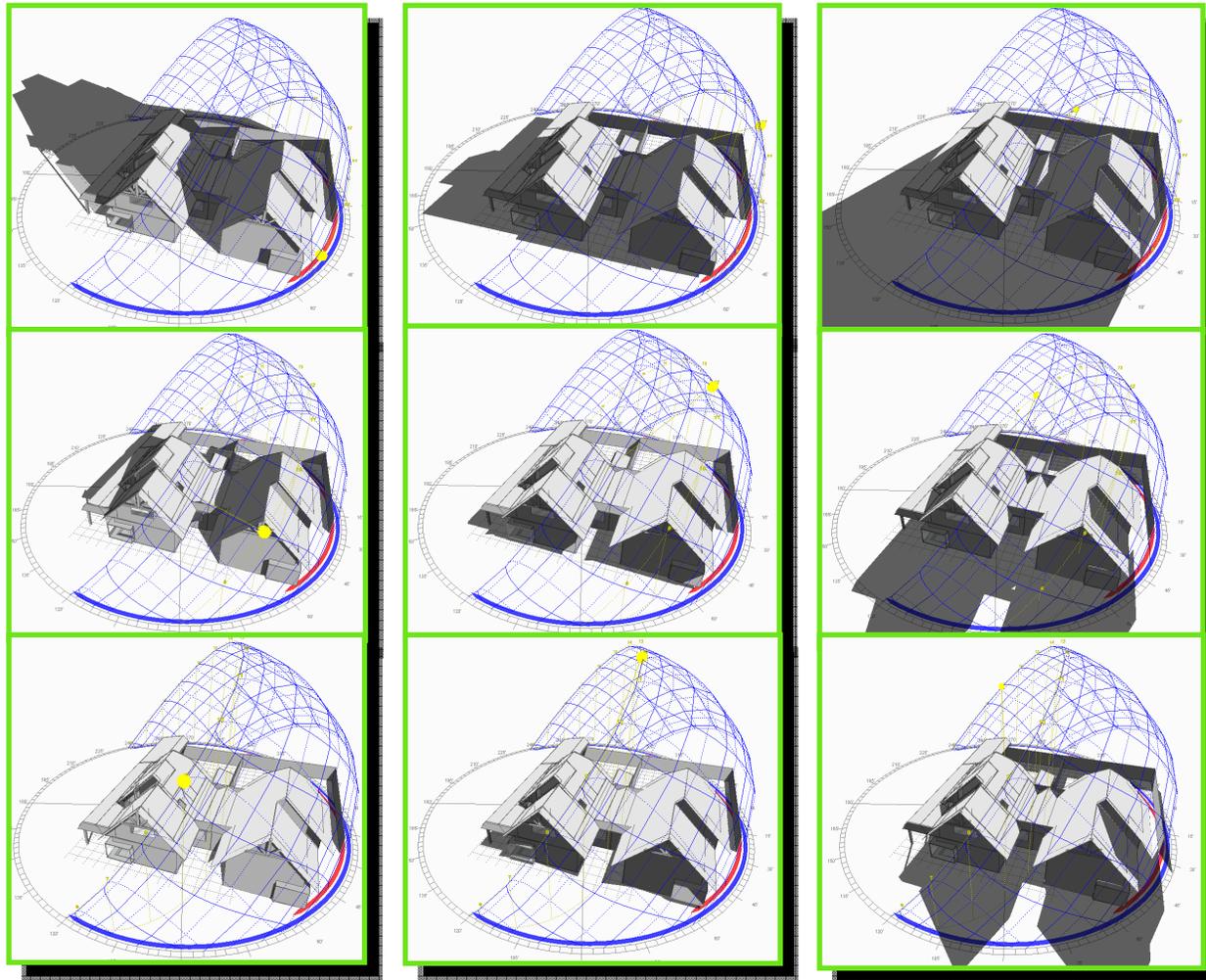


**Figura 3.11: Vivienda Base. Vista Poniente**  
**Fuente: Elaboración propia**

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
"Evaluación técnico-económica del mejoramiento térmico en viviendas existentes de construcción repetitiva, mediante la utilización de estrategias pasivas: Caso de estudio en la ciudad de Temuco"  
Manuel Bravo Schilling



### MATRIZ 3x3, VISTA NOR-ORIENTE



21 de Junio  
9:00-12:00-17:00

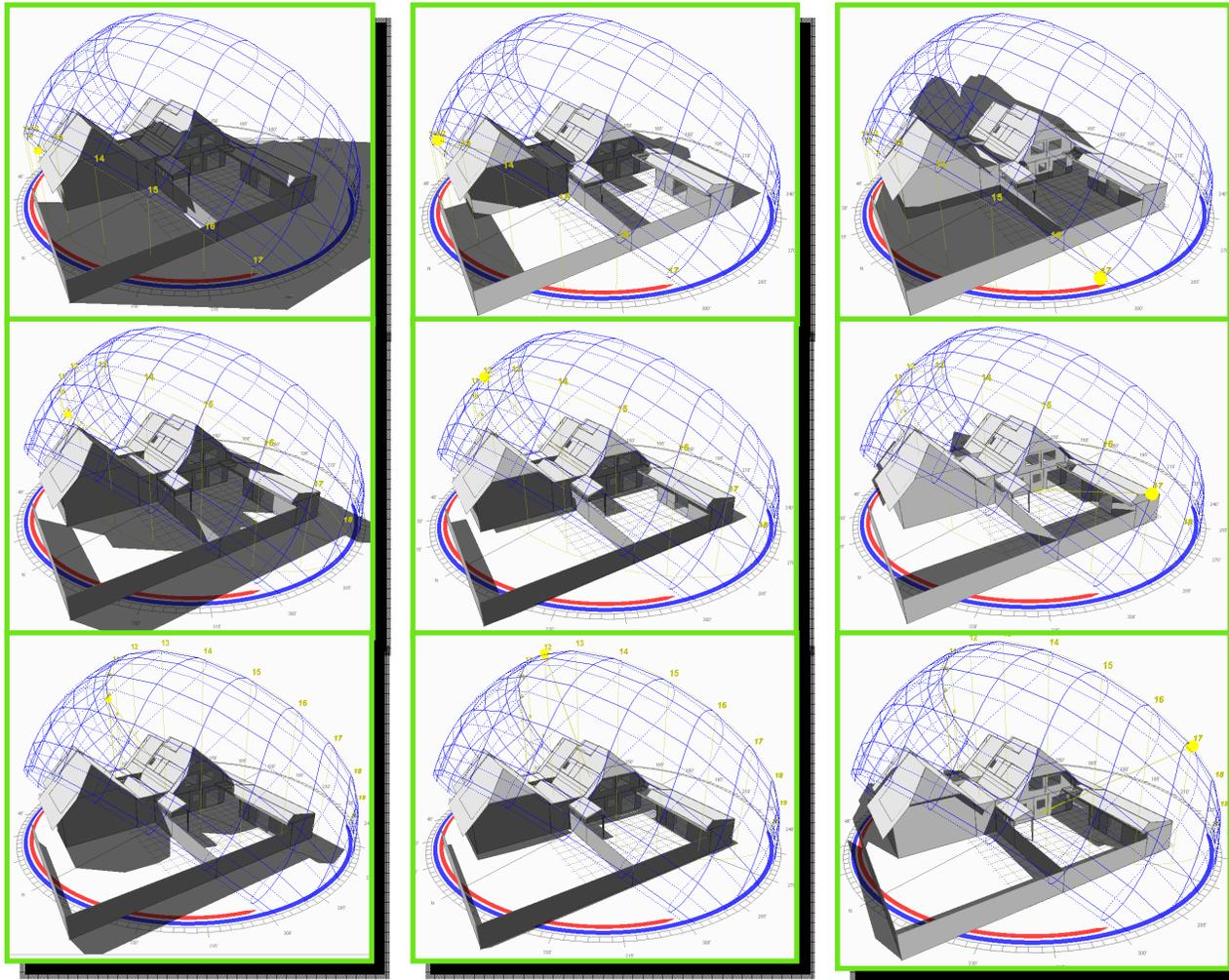
21 de Marzo / Sept.  
9:00-12:00-17:00

21 de Diciembre  
9:00-12:00-17:00

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
"Evaluación técnico-económica del mejoramiento térmico en viviendas existentes de construcción repetitiva, mediante la utilización de estrategias pasivas: Caso de estudio en la ciudad de Temuco"  
Manuel Bravo Schilling



### MATRIZ 3x3, VISTA NOR-PONIENTE



21 de Junio  
9:00-12:00-17:00

21 de Marzo / Sept.  
9:00-12:00-17:00

21 de Diciembre  
9:00-12:00-17:00

## CAPITULO IV – ANÁLISIS

### 4.1.- ANÁLISIS TEÓRICO – DETERMINACIÓN DE TRANSMITANCIA TÉRMICA VIVIENDA EN ESTUDIO SITUACIÓN ACTUAL, NORMA CHILENA NCh 853

Para determinar la transmitancia térmica de los distintos complejos constructivos, se utilizan las distintas fórmulas, indicadas en la NCh 853.

#### TRANSMITANCIA TÉRMICA MUROS ALBAÑILERÍA

Los muros exteriores del nivel 1, de acuerdo a las Especificaciones Técnicas de las viviendas, que se adjuntan en anexo A, se componen según lo indicado en figura 2.19 y el detalle es el siguiente:

**Albañilería Prensada:** Se consultan muros de albañilería de ladrillo prensado de 29x14x10cms pegados con mortero 1:3 con Sika o similar. El espesor del mortero no será inferior a 1cm ni superior a 2cm. Los huecos de los ladrillos destinados a recibir las enfierraduras se rellenarán totalmente con el mismo mortero. Las canterías serán retapadas.

**Concreto Armado:** Se consultan vigas, dinteles y losas de hormigón armado, de acuerdo a planos de cálculo.

**Estucos Exteriores:** Las albañilerías serán revestidas con mortero cemento-arena 1:3 con hidrófugo incorporado. Se terminarán con mortero proyectado con molinete.

**Estucos Interiores:** Todas las albañilerías y los hormigones se estucarán con mortero de cemento y arena 1:4 a grano perdido. El espesor del mortero no será superior a 2cm.

**R muro albañilería, sit. actual = 0,38 m<sup>2</sup>K/W**

**U muro albañilería, sit. actual = 2,63 W/m<sup>2</sup>KW**

(El procedimiento de cálculo de transmitancia térmica, se encuentra detallado en el Anexo B)

#### TRANSMITANCIA TÉRMICA MUROS TABIQUERÍA

Los tabiques exteriores del nivel 2, de acuerdo a las Especificaciones Técnicas de las viviendas, que se adjuntan en anexo A, se componen según lo indicado en figura 2.21 y el detalle es el siguiente:

**Tabiques de Madera:** Los tabiques de 2º piso y la estructura de los frontones serán de pino dimensionado de 2" x 3", las soleras y los pies derechos, y de 1½" x 3" las cadenetas. La fijación de las soleras se hará con anclajes de fierro de 6mm, empotrados en radier y en losa. Las caras de contacto con hormigón se protegerán con carbonileo.

Volcanita Interior: Los tabiques interiores, se revestirán con planchas de volcanita de 10mm, las que se rematarán con junta invisible.

Aislación: En los tabiques perimetrales del 2º piso se colocarán planchas de poliestireno expandido de 50mm de espesor.

Frontones de madera: De acuerdo a planos los frontones se revestirán con piezas de madera nativa de ¾" tinglada, las que se colocarán sobre una capa de fieltro #10.

**R tabique, sit. actual = 1,67 m<sup>2</sup>K/W**

**U tabique, sit. actual = 0,59 W/m<sup>2</sup>KW**

(El procedimiento de cálculo de transmitancia térmica, se encuentra detallado en el Anexo B)

### TRANSMITANCIA TÉRMICA CUBIERTA

El complejo de cubierta, de acuerdo a las Especificaciones Técnicas de las viviendas, que se adjuntan en anexo A, se compone según lo indicado en figura 2.23 y el detalle es el siguiente:

Estructura de Techumbre: Se consultan paneles prefabricados de pino o tijerales de diseño y escuadrías indicadas en plano de cálculo.

Cubierta de Tejuela: Se consultan tejuelas de alerce colocadas sobre costaneras de pino impregnado o madera nativa de 1 ½" x 2"

Cielos Volcanita: Todos los cielos del 2º piso serán revestidos con volcanita de 10mm, canto rebajado. Se rematarán con junta invisible.

Aislación: Bajo cubierta se colocarán planchas de poliestireno expandido de 50mm de espesor.

El complejo de techumbre se compone de 2 tramos que poseen distinta conductividad, por lo que se debe determinar el U de cada tramo y luego ponderarlo para determinar la conductividad de la cubierta.

**R cubierta, sit. actual = 1,68 m<sup>2</sup>K/W**

**U cubierta, sit. actual = 0,59 W/m<sup>2</sup>KW**

(El procedimiento de cálculo de transmitancia térmica, se encuentra detallado en el Anexo B)

De acuerdo a lo indicado en tabla 4.1, se puede observar que los muros perimetrales del nivel 1 de la vivienda están muy por debajo de la exigencia de acondicionamiento térmico vigente (señalada en el art. 4.1.10 de la O.G.U. y C.), considerando que después del 4 de Enero de 2007 se solicita una Transmitancia Térmica (U) igual o menor a 1,6 W/m<sup>2</sup>K y el caso en estudio posee un permiso de edificación de fecha 24 de Marzo de 1992, con una Transmitancia Térmica (U) de 2,63 W/m<sup>2</sup>K ; es decir, un 64,37% sobre el máximo permitido en la actualidad para el complejo de muros. En cuanto a la

tabiquería perimetral del nivel 2, se puede indicar que cumplen ampliamente con lo exigido por la O.G.U. y C., debido a la incorporación de 50mm de poliestireno expandido.

La Techumbre no cumple con la normativa térmica vigente, ya que la Transmitancia Térmica (U) es un 78,78% sobre el máximo permitido en la actualidad para el complejo de techumbre.

**Tabla 4.1: Resumen de cumplimiento térmico para zona 5 - Temuco**  
 Fuente: Elaboración propia, combinada con lo exigido en art. 4.1.10 de la O.G.U.y C.

ZONA 5	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U	Rt	U	Rt	U	Rt
	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup> K/w	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup> K/w	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup> K/w
<b>EXIGIDO</b>	0,33	3,03	1,6	0,63	0,50	2,00
<b>PROYECTADO</b> (Situación Actual)	<b>0,59</b>	1,68	<b>2,63</b> 0,59	0,38 1,67	No considera	No considera

#### 4.2.- ANÁLISIS EMPÍRICO – DIAGNÓSTICO SITUACIÓN ACTUAL

Para lograr la temperatura de confort durante el período de análisis, se utilizaron 2 estufas de parafina láser con programación de temperatura, presentes en el mercado chileno. Las estufas se separaron en cada nivel de la vivienda y se ubicaron en un sector central de las respectivas plantas.

Las estufas permanecieron prendidas sin detención durante todo el periodo de medición (12.07.2011 – 18.07.2011, 7 días). Se programaron para lograr una temperatura de confort de 20°C.

Durante el periodo de medición, la vivienda se mantuvo en su uso cotidiano, con la presencia de 3 adultos y 1 niño de 1 año. 2 de los adultos poseen jornada de trabajo de 8:00 a 18:00 hrs (horario en el que no se encuentran en la vivienda) con almuerzo en el hogar de 14:30 a 15:15hrs. El tercer adulto realiza labores de cuidado del niño y se encuentra en la vivienda entre 8:00 y 19:00hrs. Durante el fin de semana sólo permanecen en horario continuo, 2 adultos y 1 niño.

El periodo de medición presentó días nublados y con lluvia, con temperaturas exteriores que oscilaron entre los 2,6 °C y 14,7°C. La obtención de datos se logró mediante los protocolos de la Universidad de la Frontera, que proporcionó los equipos de medición (excepto las estufas) con la colaboración y apoyo del profesor Juan Pablo Cárdenas.

##### 4.2.1.- MEDICIÓN EN TERRENO DE DATOS DE TEMPERATURA.

Para obtener los datos de temperatura y confirmar que se logró mantener dentro del rango de confort (17,5°C-22,5°C), durante el período de medición (12.07.2011 – 18.07.2011, 7 días), se utilizaron 7 data logger inalámbricos, Modelo PCE-HT71 de PCE Group (precisión +-1°C), proporcionados por la

Universidad de la Frontera, como se pueden observar en las figuras 4.1 y 4.2. Los data logger se programaron para captura de datos cada 30 min.

3 data logger se ubicaron en el nivel 1 (living-comedor, estar y cocina), otros 3 se ubicaron en el nivel 2 (en los 3 dormitorios) y en el exterior (a la sombra y protegido de la lluvia, se dispuso 1 data logger, que proporcionó los datos de temperatura exterior, para comparación, como se puede ver en las figuras 4.3 y 4.4.



Figura 4.1: Data Logger: Modelo PCE-HT71 de PCE Group



Figura 4.2: Ubicación de data logger en Living-comedor N1-1

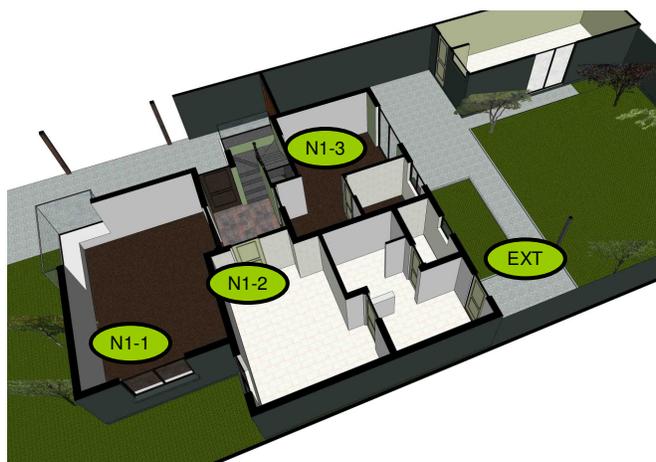


Figura 4.3: Ubicación Data Logger en planta nivel 1.  
 Fuente: Elaboración propia en sketchup.



Figura 4.4: Ubicación Data Logger en planta nivel 2.  
 Fuente: Elaboración propia en sketchup.

### Resultados Obtenidos

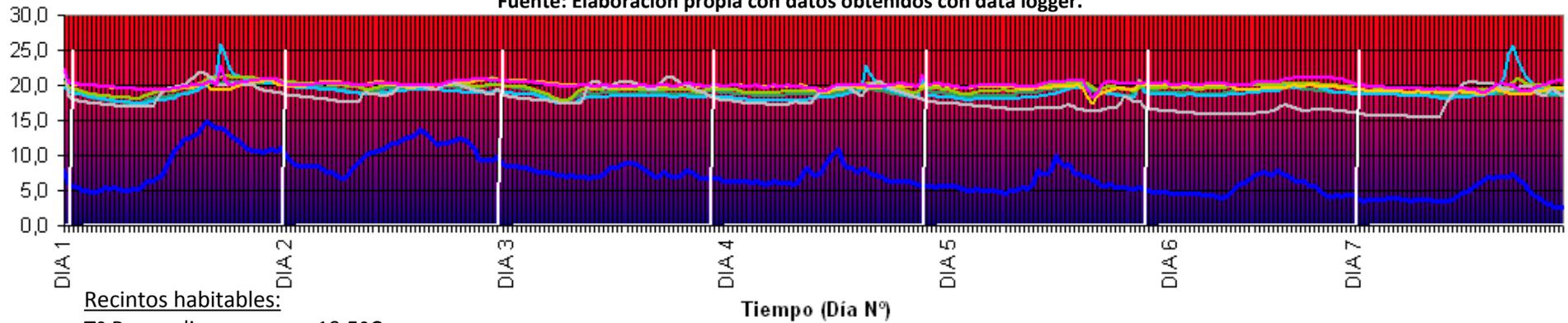
Los resultados de temperaturas interiores y exteriores, medidos con data logger, se pueden observar a continuación y en el gráfico 4.1. El detalle de todos los datos obtenidos, se puede ver en anexo C.

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Evaluación técnico-económica del mejoramiento térmico en viviendas existentes de construcción repetitiva, mediante la utilización de estrategias pasivas: Caso de estudio en la ciudad de Temuco"  
 Manuel Bravo Schilling



**Gráfico 4.1: Medición de temperaturas interiores y exteriores durante semana de estudio.**

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos con data logger.



Recintos habitables:

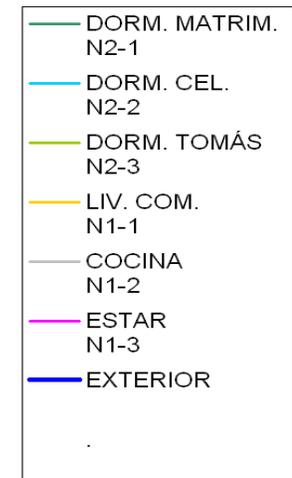
Tº Promedio: 19,5°C  
 Tº Mínima medida: 17,4°C (Dormitorio Matrimonial N2-1)  
 Tº Máxima medida: 25,9°C (Dormitorio celeste N2-2)  
 99,20% de mediciones dentro de rango de confort 17,5°C - 22,5°C.  
 0,8% de mediciones supera el rango de confort.

Recinto no habitables (cocina N1-2):

Tº Promedio: 18,1°C  
 Tº Mínima medida: 15,4°C  
 Tº Máxima medida: 22,3°C  
 57,36% de mediciones dentro de rango de confort 17,5°C - 22,5°C.  
 1,22% de mediciones supera el rango de confort.  
 41,41% de mediciones están bajo el rango de confort.

Exterior:

Tº Promedio: 7,1°C  
 Tº Mínima medida: 2,6 °C  
 Tº Máxima medida: 14,7°C  
 0% de mediciones dentro de rango de confort 17,5 °C – 22,5°C.  
 100% de mediciones están bajo el rango de confort.



#### 4.2.2.- MEDICIÓN EN TERRENO DE DATOS DE HUMEDAD RELATIVA.

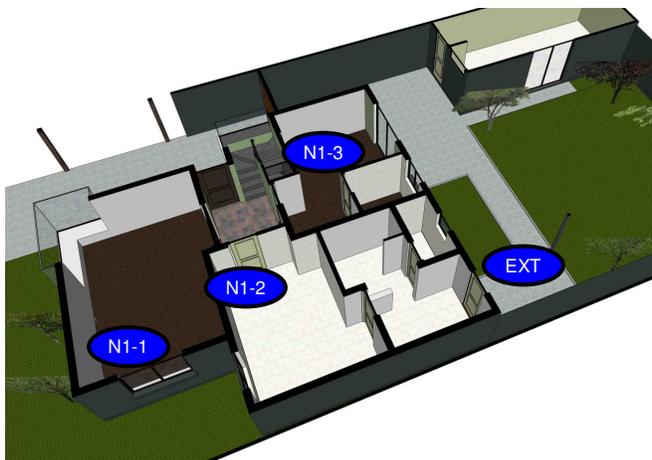
Para obtener los datos de humedad relativa y confirmar que se logró mantener dentro del rango de confort (23%-90%), durante el período de medición (12.07.2011 – 18.07.2011, 7 días), se utilizaron 7 data logger inalámbricos, Modelo PCE-HT71 de PCE Group (precisión  $\pm 0,1\%$ ), proporcionados por la Universidad de la Frontera, como se pueden observar en las figuras 4.5 y 4.6. Los data logger se programaron para captura de datos cada 30 min. 3 data logger se ubicaron en el nivel 1 (living-comedor, estar y cocina), otros 3 se ubicaron en el nivel 2 (en los 3 dormitorios) y en el exterior (a la sombra y protegido de la lluvia, se dispuso 1 data logger, que proporcionó los datos de humedad relativa exterior, para comparación, como se puede ver en las figuras 4.7 y 4.8.



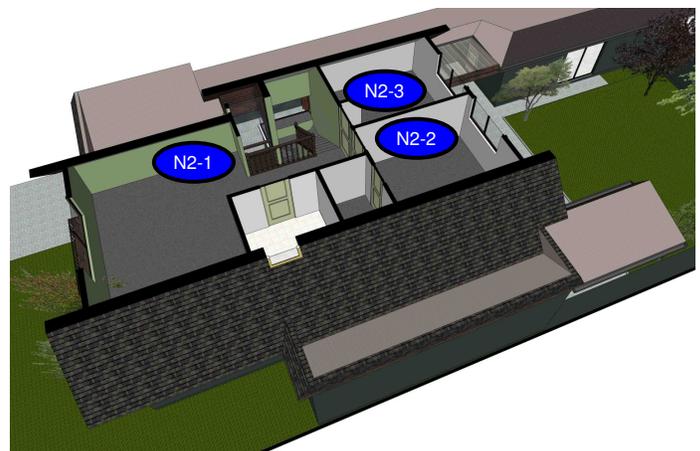
Figura 4.5: Data Logger: Modelo PCE-HT71 de PCE Group



Figura 4.6: Ubicación de data logger en Dormitorio Tomás N2-3.



● Figura 4.7: Ubicación Data Logger en planta nivel 1.  
 Fuente: Elaboración propia en sketchup.



● Figura 4.8: Ubicación Data Logger en planta nivel 2.  
 Fuente: Elaboración propia en sketchup.



Los resultados de humedad relativa interior y exterior, medidos con data logger, se pueden observar a continuación y en el gráfico 4.2. El detalle de todos los datos obtenidos, se puede ver en anexo D.

Recintos habitables:

Humedad relativa Promedio: 68,5%  
 Humedad relativa Mínima medida: 56,8% (Dormitorio celeste N2-2)  
 Humedad relativa Máxima medida: 76,9% (Dormitorio celeste N2-2)  
 100% de mediciones dentro de rango de confort 23% - 90%

Recinto no habitables (cocina):

Humedad relativa Promedio: 65,6%  
 Humedad relativa Mínima medida: 56,5°C  
 Humedad relativa Máxima medida: 77,7°C  
 100% de mediciones dentro de rango de confort 23% - 90%

Exterior:

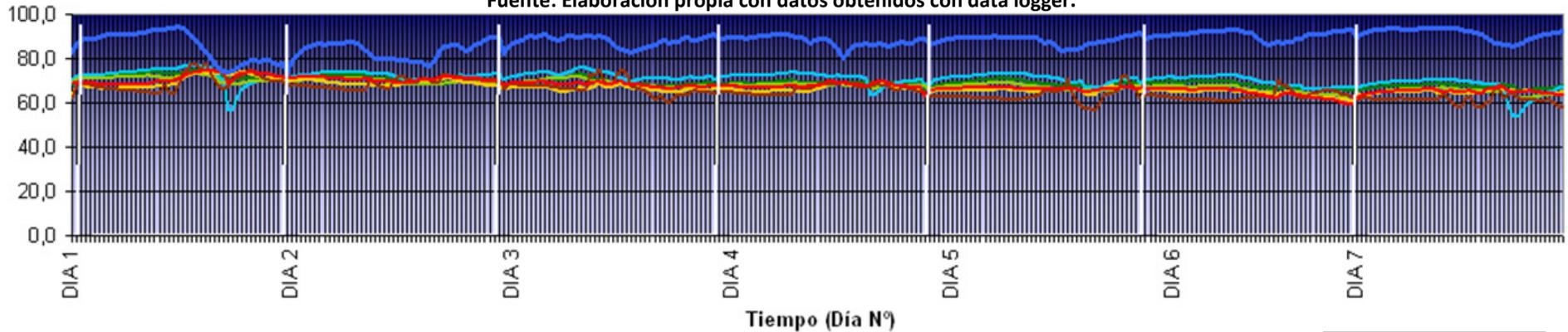
Humedad relativa Promedio: 87,9%  
 Humedad relativa Mínima medida: 74,0%  
 Humedad relativa Máxima medida: 94,2%  
 64,12% de mediciones dentro de rango de confort 23% - 90%  
 35,88% de mediciones están sobre el rango de confort.

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Evaluación técnico-económica del mejoramiento térmico en viviendas existentes de construcción repetitiva, mediante la utilización de estrategias pasivas: Caso de estudio en la ciudad de Temuco"  
 Manuel Bravo Schilling



**Gráfico 4.2: Medición de humedad relativa interior y exterior durante semana de estudio.**

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos con data logger.



Los resultados de humedad relativa interior y exterior, medidos con data logger, se pueden observar a continuación y en el gráfico 2.8. El detalle de todos los datos obtenidos, se puede ver en anexo D.

Recintos habitables:

Humedad relativa Promedio: 68,5%  
 Humedad relativa Mínima medida: 56,8% (Dormitorio celeste N2-2)  
 Humedad relativa Máxima medida: 76,9% (Dormitorio celeste N2-2)

100% de mediciones dentro de rango de confort 23% - 90%

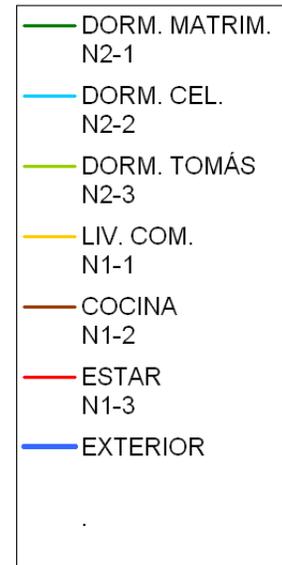
Recinto no habitables (cocina):

Humedad relativa Promedio: 65,6%  
 Humedad relativa Mínima medida: 56,5°C  
 Humedad relativa Máxima medida: 77,7°C

100% de mediciones dentro de rango de confort 23% - 90%

Exterior:

Humedad relativa Promedio: 87,9%  
 Humedad relativa Mínima medida: 74,0%  
 Humedad relativa Máxima medida: 94,2%  
 64,12% de mediciones dentro de rango de confort 23% - 90%  
 35,88% de mediciones están sobre el rango de confort.



#### 4.2.3.- MEDICIÓN EN TERRENO DE DATOS DE CO<sub>2</sub>.

Para obtener los datos de CO<sub>2</sub> y confirmar que se logró mantener dentro del rango de un ambiente saludable, durante el período de medición (12.07.2011 – 18.07.2011, 7 días), se utilizó 1 sensor de CO<sub>2</sub>, Modelo CDL 210 de Wöhler (precisión +50ppm), proporcionados por la Universidad de la Frontera, como se pueden observar en las figuras 4.9 y 4.10. El sensor de CO<sub>2</sub> se programó para captura de datos cada 30 min. El medidor de CO<sub>2</sub> se ubicó en el nivel 2 (ver figura 4.12), en un sector central respecto de las habitaciones de la vivienda (a no más de 4m de la habitación más alejada).

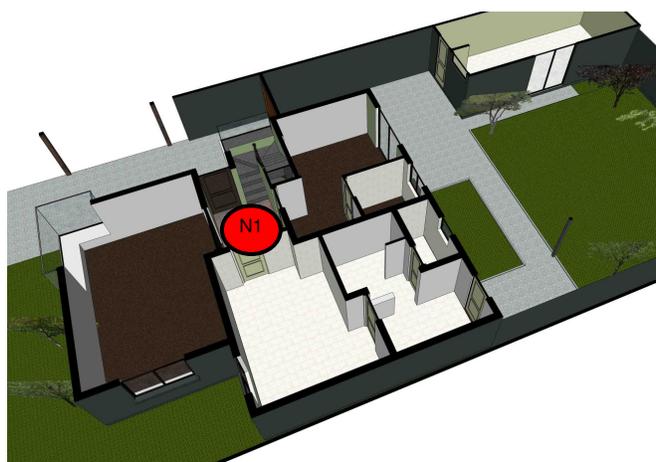
Por la alta concentración de CO<sub>2</sub> (se midieron 9.000ppm en pruebas preliminares), la medición fue capturada utilizando una ventilación constante, al abrir 2cm la ventana del baño del nivel 2 y las ventanas de los dormitorios del nivel 2 y así evitar daños a la salud durante el período de medición.



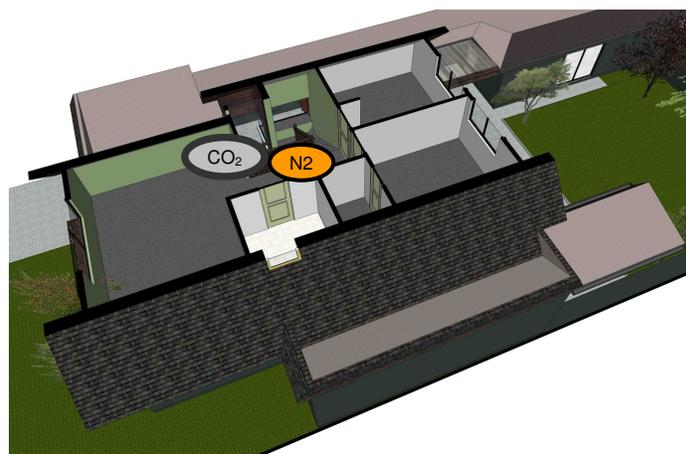
Figura 4.9: Sensor de CO<sub>2</sub>: Modelo CDL 210 de Wöhler.



Figura 4.10: Ubicación de sensor de CO<sub>2</sub> en nivel 2.



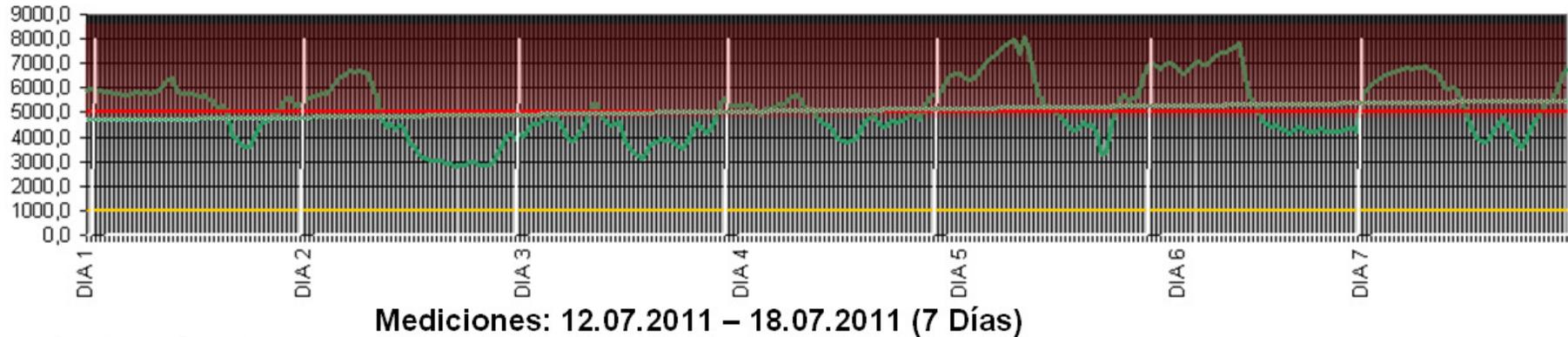
● Figura 4.11: Ubicación estufa kerosen laser en planta nivel 1.  
 Fuente: Elaboración propia en sketchup.



● Figura 4.12: Ubicación estufa kerosen laser en planta nivel 2 y Ubicación sensor de CO<sub>2</sub>  
 Fuente: Elaboración propia en sketchup.

**Gráfico 4.3: Medición de CO<sub>2</sub> en el nivel 2 de la vivienda, durante semana de estudio.**

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos con sensor de CO<sub>2</sub>.**



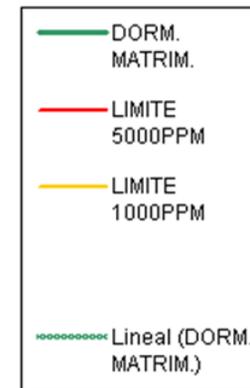
**Resultados Obtenidos**

Los resultados de CO<sub>2</sub>, obtenidos con sensor DCL210 de Wöhler, se pueden observar a continuación y en el gráfico 4.3.

El detalle de todos los datos obtenidos, se puede ver en anexo E.

Dormitorio Matrimonial N2-1:

CO<sub>2</sub> Promedio: 5.144ppm  
 CO<sub>2</sub> Mínimo: 2.921ppm  
 CO<sub>2</sub> Máximo: 8.061ppm



Se observa una línea de tendencia ascendente en el transcurso de la semana de medición.

El 50,92% de las mediciones superan el límite máximo de 5.000ppm.

Altas y peligrosas concentraciones de CO<sub>2</sub>. En promedio sobrepasan hasta las normas internacionales menos exigentes (ASHRAE).

El 100% de las mediciones superan el límite máximo de CO<sub>2</sub> de 1.000ppm, que corresponde a las normas más exigentes (OSHA y NIOSH).

#### 4.2.4.- MEDICIÓN EN TERRENO DE DATOS DE INFILTRACIONES Y VENTILACIONES.

Para obtener los datos de infiltraciones de la vivienda y área efectiva equivalente de ventilación durante el período de medición de datos en terreno, se utilizó el **método de presurización por medio de ventilador** (Blower Door Test), su ensayo se define mediante la Norma UNE-EN 13829:2000. Este método consiste en la presurización del edificio y en la medición del caudal de aire necesario para obtener la diferencia de presión interior / exterior resultante. El equipamiento necesario es un ventilador de velocidad variable que se utiliza para establecer la diferencia de presión interior / exterior y un sistema para medir la diferencia de presiones interior / exterior.

Se utilizó el equipo de medición de infiltraciones (Blower Door Test), Modelo 2000 Standard de Retrotec (precisión +-1 a 2 %), proporcionados por la Universidad de la Frontera, como se pueden observar en las figuras 4.13 a 4.16.

Para realizar la medición, se preparó la vivienda. Para ello es necesario que todas las puertas interiores de la vivienda, permanezcan abiertas durante la medición, y que todas las ventanas y puertas exteriores permanezcan cerradas, así como los conductos de ventilación. El dispositivo puerta-ventilador se ubica en la puerta exterior, la cual cierra de forma estanca. Una vez que la envolvente está preparada, se acciona el ventilador y se registran el caudal de aire impulsado o extraído por el mismo, para las diferencias de presión definidas.

Las mediciones se realizaron el día 20 de Noviembre de 2011 a las 12:00hrs.

El medidor de presión exterior (figura 4.13), se ubicó en el sector de estacionamiento, el sensor de presión interior y renovaciones de aire hora, se ubicó en el sector hall de acceso y la puerta sellada con ventilador incorporado se ubicó en la puerta de acceso principal de la vivienda (figura 4.14 a la 4.16). Para la medición se abrieron todas las puertas del interior de la vivienda. Para la medición de infiltraciones se mantuvo todo el exterior cerrado y para la medición del área efectiva equivalente durante el período de calefacción de la vivienda (12.07.2011 – 18.07.2011, 7 días), se abrieron 2cm, las ventanas del baño nivel 2, Dormitorio Matrimonial N2-1, Dormitorio celeste N2-2 y Dormitorio Tomás N2-3, como se puede ver en la imagen 3.29.



Figura 4.13

Figura 4.14

Figura 4.15

Figura 4.16:

Medición de infiltraciones, con medidor modelo 2000 Estándar de Retrotec

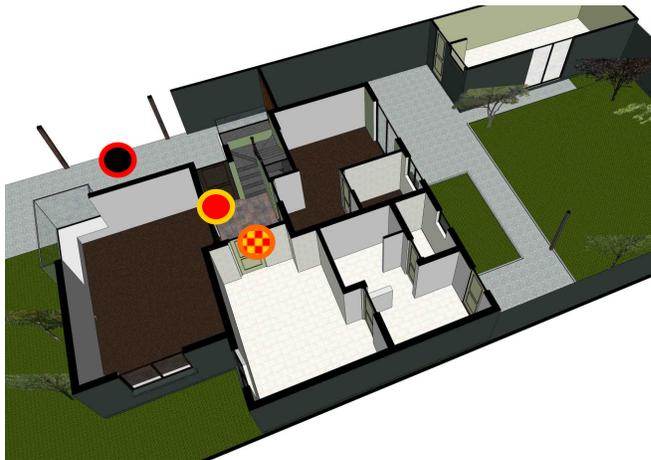


Figura 4.17:

- Ubicación sensor de presión exterior
- Ubicación sensor de presión int. Y renov. Aire hora
- Ubicación puerta sellada c/ventilador incorporado

Fuente: Elaboración propia en sketchup.

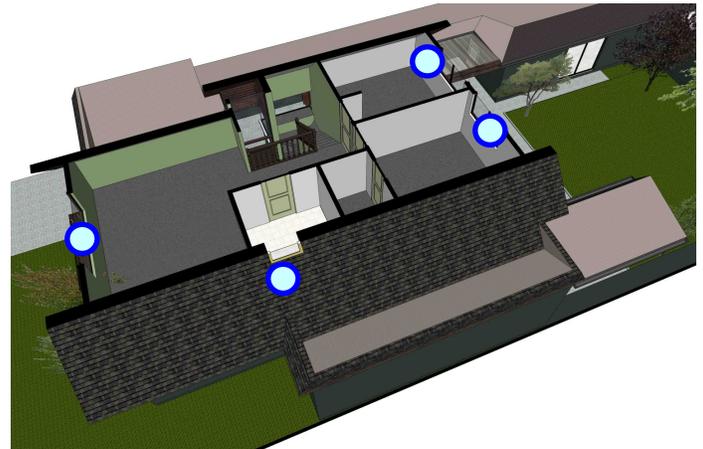


Figura 4.18:

- Ubicación ventanas c/apertura 2cm (sólo al medir ventilación)

## Resultados Obtenidos

### Medición de infiltraciones

$ACH_N = 1,41$  (Renovaciones de Aire Hora) a 4Pa (Pascales)

EFLA= 526,5cm<sup>2</sup> (área efectiva equivalente)

### Medición de ventilación utilizada de manera constante

Con ventilación parcial en baño N2 + Dormitorio Matrimonial N2-1 + Dormitorio celeste N2-2 +

Dormitorio Tomás N2-3 (2cm c/u)

$ACHN = 2,24$  (renov. Aire hora) a 4Pa (Pascales)

EFLA= 831,5cm<sup>2</sup> (área efectiva equivalente) y descontados el EFLA de 526,5 cm<sup>2</sup>, correspondiente a infiltraciones, obtenemos que la ventilación de la vivienda a 4 Pa era un área efectiva equivalente de 305,0 cm<sup>2</sup>.

## 4.2.5.- OBTENCIÓN DE TERMOGRAFÍAS EN TERRENO.

Para confirmar si la vivienda presentaba importantes puentes térmicos, se tomaron termografías. Se utilizó una cámara térmica, Modelo Thermal image TiR de Fluke (precisión +- 2°C de lectura), proporcionada por la Universidad de la Frontera, como se pueden observar en las figuras 4.19 y 4.20.



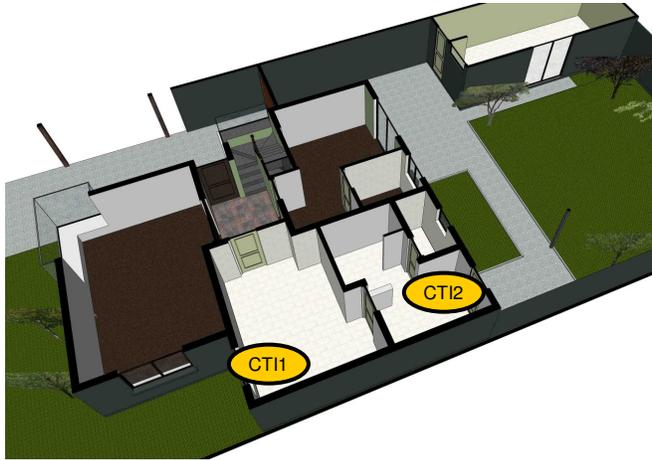
Figura 4.19: Cámara térmica: Modelo Thermal image TiR de Fluke.



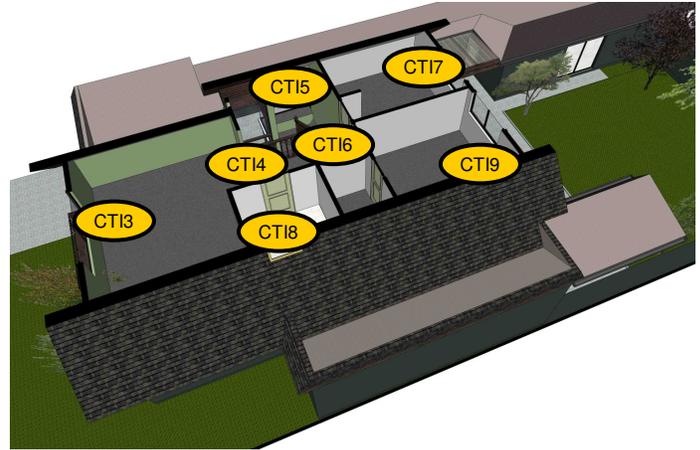
Figura 4.20: Captura termográfica en dormitorio Tomás N2-3.

### CAPTURAS TÉRMICAS INTERIORES

Las capturas térmicas interiores se realizaron el día 20 de Noviembre de 2011, con una temperatura interior de 22°C, y exterior de 15°C. Se realizaron capturas térmicas en los distintos recintos de la vivienda (ver figuras 4.21 y 4.22) y en los distintos componentes constructivos que poseen mayor posibilidad de poseer puentes térmicos, debido a sus materiales y disposición constructiva.

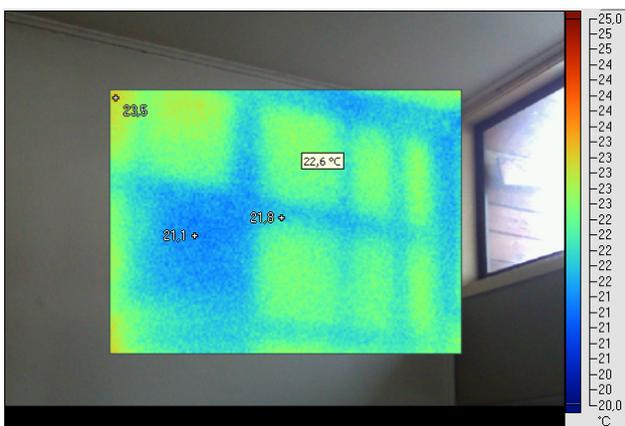


● **Figura 4.21:**  
Ubicación capturas cámara térmica interiores Nivel 1.

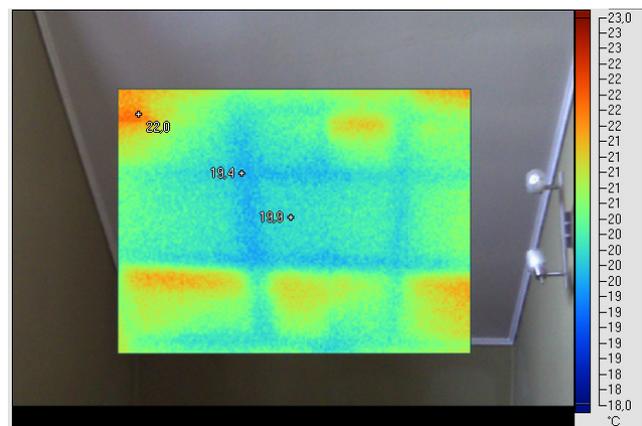


● **Figura 4.22:**  
Ubicación capturas cámara térmica interiores Nivel 2.

En las figuras 4.23 a 4.26 se presentan algunas de las termografías obtenidas en el interior de la vivienda. La totalidad de las termografías y sus detalles de captura, se encuentran en anexo F.



**Figura 4.23:** Captura cámara térmica interior 004 CT14.



**Figura 4.24:** Captura cámara térmica interior 005 CT15.

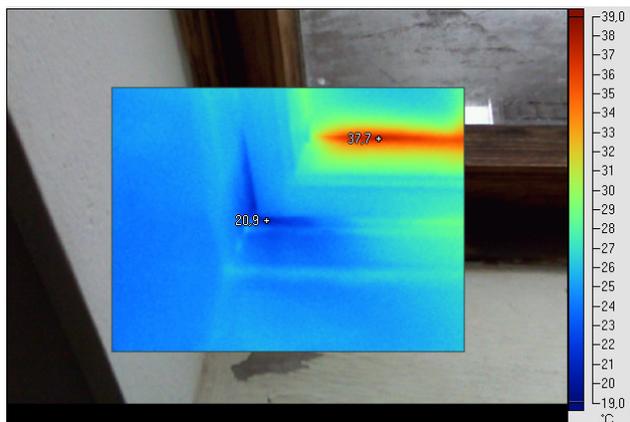


Figura 4.25: Captura cámara térmica interior 008 CT18.

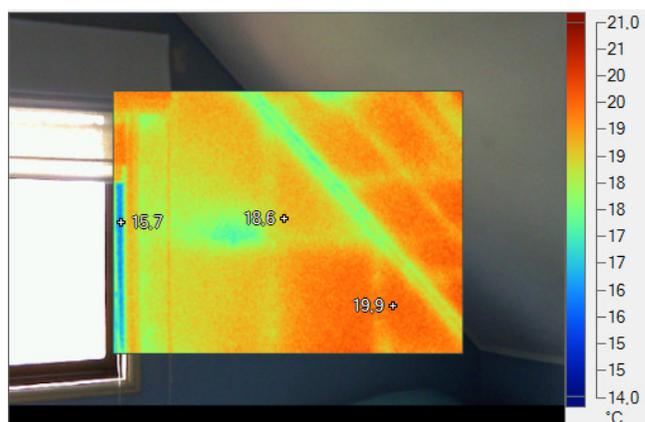


Figura 4.26: Captura cámara térmica interior 009 CT19.

### CAPTURAS TÉRMICAS EXTERIORES

Las capturas térmicas exteriores se realizaron el día 01 de Agosto de 2012, con una temperatura interior de 22°C, y exterior de 9°C. Se realizaron capturas térmicas por el perímetro de la vivienda.

En las figuras 4.27 a 4.30, se presentan algunas de las termografías obtenidas en el exterior de la vivienda. La totalidad de las termografías y sus detalles de captura, se encuentran en anexo F.

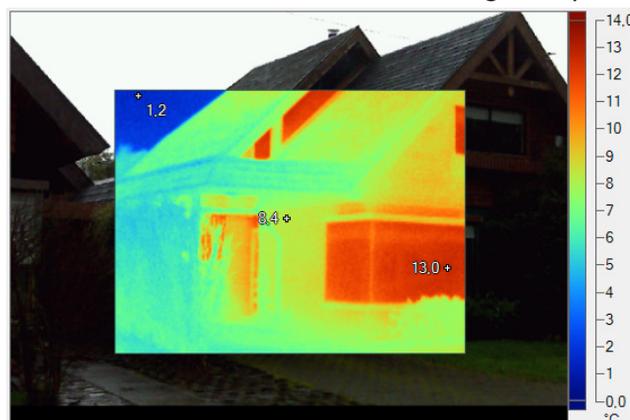


Figura 4.27: Captura cámara térmica exterior 001 CTE1.

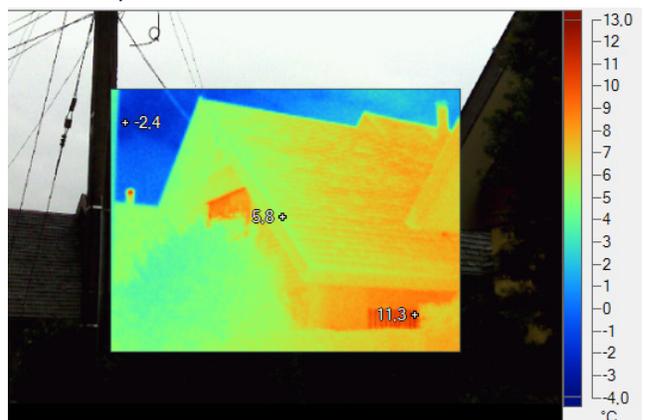


Figura 4.28: Captura cámara térmica exterior 005 CTE5.

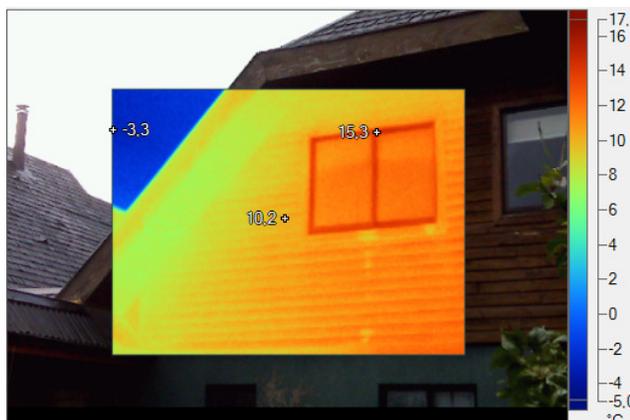


Figura 4.29: Captura cámara térmica exterior 008 CTE8.



Figura 4.30: Captura cámara térmica exterior 011 CTE11.



## **Resultados Obtenidos**

### Ventanas de aluminio

En las termografías interiores, las ventanas de aluminio presentaron temperaturas que oscilaban entre los 15,7 y 23,5°C, coincidiendo los casos de menor temperatura con ventanas que en el momento de captura se encontraban en un cono de sombra y las que presentaban mayor temperatura se encontraban con radiación solar directa; es decir, los marcos de aluminio presentan muy baja inercia térmica y por ello se aprecian como un puente térmico significativo en el complejo de ventanas. En las termografías exteriores, las ventanas de aluminio presentan las mayores temperaturas exteriores, representadas por un color rojo intenso, lo que significa que presentan muy alta transmitancia térmica U y por ello, es un punto significativo de pérdida de calor interior.

### Cristales

Los resultados obtenidos de los cristales, no son válidos, debido que la cámara térmica no los captura correctamente y lo que se grafica es la temperatura de lo que está reflejado en el cristal, tal como si fuera un espejo, pero de las características térmicas.

### Muros Albañilería – Nivel 1

Presentaron temperaturas entre los 15,1 y 19,6°C, sin importar la presencia de radiación solar sobre ellos. Se aprecia que debido a que la vivienda posee en el nivel 1, una envolvente compuesta por muros de albañilería confinada realizada con ladrillos prensados, estucada por ambas caras, le otorga una inercia térmica importante y por ello, estos muros a pesar de tomar las termografías alrededor de las 13:00hrs. Con una temperatura de 22°C, el resultado es una temperatura menor debido a que se puede inferir que a esa hora sigue liberando el frío que capturaron durante la noche.

### Muros Tabiquería Madera – Nivel 2

Presentaron temperaturas entre los 16,3 y 20,9°C, dependiendo si habían estado expuestos a radiación solar directa. Se apreció un contraste, producto de la diferencia de transmitancia térmica U entre los tramos de estructura soportante y los tramos con aislación, presenta puentes térmicos esperados, de acuerdo al modelo constructivo (aislación interrumpida por los pies derechos y cadenetes). El compuesto de muros perimetrales de nivel 2 posee una menor inercia térmica y menor transmitancia térmica que los muros del nivel 1, por ello presentan mayores temperaturas que los muros del nivel 1.

### Cubierta

Presentaron temperaturas que oscilaron entre los 16,5 y 23,5°C, evidenciando claramente la estructura que la conforma; es decir, se puede inferir que no se dispuso de aislación pareja en toda la cubierta o que se instaló el poliestireno con gran separación respecto de la estructura de madera.

Es la más alta generación de puentes térmicos en la vivienda. Por ello la transmitancia térmica del componente techumbre, difiere entre lo obtenido por método de cálculo y la realidad que se logra al observar en las termografías.

#### 4.2.6.- MEDICIÓN DE DEMANDA DE COMBUSTIBLE PARA CALEFACCIÓN

Para obtener los datos de consumo de combustible para mantener una temperatura dentro del rango de confort, se midió diariamente, a las 22:00hrs. de cada día de medición, durante todo el período (12.07.2011 – 18.07.2011, 7 días).

Se utilizaron 2 estufas láser a parafina / kerosene:

- Nivel 1: Estufa láser a parafina modelo LC-41 de Toyotomi (4,1kW), ver figura 3.42.
- Nivel 2: Estufa láser a parafina modelo MFHK 540 de Mademsa (2,3kW), ver figura 3.43.

Por otro lado se debe considerar que las dos estufas no poseen extracción de gases al exterior y por ello no sólo generan gases nocivos que quedan al interior de la vivienda, sino que también logran un 100% de aprovechamiento del combustible.

La ubicación de ambas estufas, se puede ver en las figuras 4.33 y 4.34.



Figura 4.31: Estufa laser kerosen Nivel 1, Modelo LC-41 de Toyotomi (4,1 kW)



Figura 4.32: Estufa laser kerosen Nivel 2, Modelo MFHK 540 de Mademsa (2,3kW)

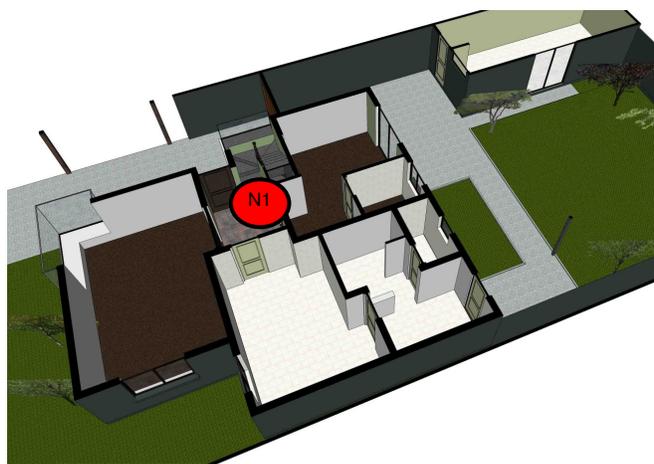


Figura 4.33:  
 ● Ubicación estufa laser kerosen Nivel 1.



Figura 4.34:  
 ● Ubicación estufa laser kerosen Nivel 2.

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



### Resultados Obtenidos

Los resultados de medición de consumo de combustible, se pueden observar a continuación y en el gráfico 4.4.

#### Estufa N1

Consumo día Promedio keros.: 8.391 ml = 80,4 kWh\* = \$5.269 día\*\* = 0,229 UF día\*\*

#### Estufa N2

Consumo día Promedio keros.: 2.100 ml = 20,1 kWh\* = \$1.318 día\*\* = 0,057 UF día\*\*

#### Total

Consumo día Promedio keros.: 10.491 ml = 100,5 kWh\* = \$6.587 día\*\* = 0,286 UF día\*\*

Entonces:

Consumo mes de Julio: 325.221ml = 3.115,5 kWh\* = \$204.238 mes julio\*\* = 8,887 UF mes\*\* julio

\* 1 kWh es equivalente aproximadamente al calor que entregan 105 ml de kerosene, cuando se queman completamente sin que los gases producidos se condensen (Jahnke 2009).

Equivalencia

1kW = 1.000W = 859,8 kcal/h

105ml kerosene = 1 kW/h

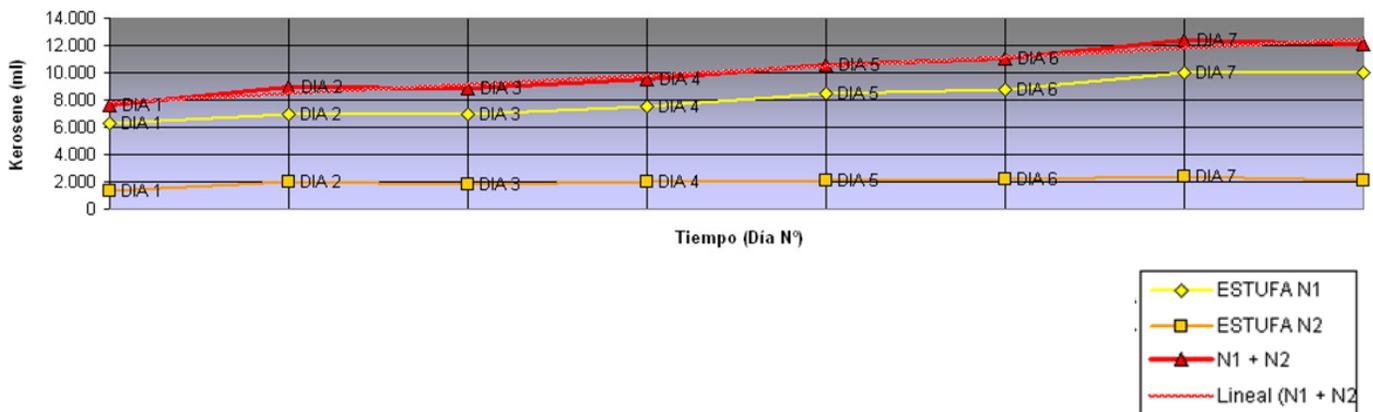
1.000ml kerosene = 9,58 kW/h

\*\*Valor del kerosene en Temuco el día 07.08.2013 (UF: \$22.980)

1lt= \$628 = 0,027UF

Gráfico 4.4: Medición de consumo de combustible de la vivienda, durante semana de estudio

Fuente: Elaboración propia.



### 4.3.- SIMULACIÓN DINÁMICA, SOFTWARE DESIGN BUILDER

#### 4.3.1.- ANÁLISIS DE LA VIVIENDA BASE (Vivienda de referencia que cumple con la normativa chilena)

Como se indica en el punto 2.2.2., para obtener la calificación energética de una vivienda, se debe comparar el consumo de la vivienda objeto con el consumo o demanda de la vivienda de referencia, que cumple con lo mínimo exigido por la normativa térmica chilena. Para tales efectos se utilizó el software Design Builder v3.0.0.105.

A continuación, en las figuras 4.35 a 4.36, se presentan visualizaciones de la vivienda en estudio emplazada en el contexto natural de loteo, con otras viviendas en su entorno, que afectan el desempeño térmico de la vivienda en estudio.



**Figura 4.35: Visualización Vivienda Existente Orientación ESTE – 21 de diciembre 9:00AM.**  
**Fuente: Elaboración propia con programa Design Builder v3.0.0.105.**



**Figura 4.36: Visualización Vivienda Existente Orientación ESTE – 21 de junio 9:00AM.**  
**Fuente: Elaboración propia con programa Design Builder v3.0.0.105.**

Debido a lo anteriormente expuesto, se evaluó la vivienda base (que cumple con lo exigido con la normativa chilena) y se obtuvieron los resultados en sus 4 diferentes orientaciones, indicados en la tabla 4.2 (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



**Tabla 4.2: Demanda energética anual en calefacción vivienda base normativa en sus 4 diferentes orientaciones**  
**Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

DEMANDA ENERGÉTICA ANUAL EN CALEFACCIÓN VIV. BASE NORMATIVA (Design Builder v3.0.0.105)				
	Demanda Calefacción Viv. Norm. ESTE	Demanda Calefacción Viv. Norm. OESTE	Demanda Calefacción Viv. Norm. SUR	Demanda Calefacción Viv. Norm. PONIENTE
<b>Consumo anual</b>	<b>21.225.720 Wh</b>	<b>20.787.727 Wh</b>	<b>20.142.541 Wh</b>	<b>19.829.419 Wh</b>
<b>Consumo total por unidad de sup.</b>	<b>145.471 Wh/m<sup>2</sup>año</b>	<b>142.470 Wh/m<sup>2</sup>año</b>	<b>138.048 Wh/m<sup>2</sup>año</b>	<b>135.902 Wh/m<sup>2</sup>año</b>
<b>COMPARACIÓN</b>	107,04%	104,83%	101,58%	100,00%
<b>Reducción</b>	7,04%	4,83%	1,58%	0%

Los resultados indicados en la tabla 2.7 y gráfico 2.11, fijan la demanda energética base, que equivale a la clasificación térmica **E**, de la certificación energética de la vivienda.

#### 4.3.2.- ANÁLISIS DE LA VIVIENDA EXISTENTE – SIN AMPLIACIONES

Para determinar la demanda en calefacción anual de la vivienda existente, se utilizó el programa Design Builder v3.0.0.105. y para determinar la clase energética de la vivienda, se utiliza el Sistema de Evaluación Energética de Viviendas, descrito en el punto 2.2.2.

Mediante lo anteriormente expuesto, se obtuvieron los resultados para la vivienda existente en sus 4 diferentes orientaciones, indicados en la tabla 4.3 (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.3: Demanda energética anual en calefacción vivienda existente en sus 4 diferentes orientaciones**  
**Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

DEMANDA ENERGÉTICA ANUAL EN CALEFACCIÓN VIV. EXISTENTE (Design Builder v3.0.0.105)				
	Demanda Calefacción Viv. Existente ESTE	Demanda Calefacción Viv. Existente OESTE	Demanda Calefacción Viv. Existente SUR	Demanda Calefacción Viv. Exist. NORTE
<b>Consumo anual</b>	<b>24.784.585 Wh</b>	<b>24.342.800 Wh</b>	<b>23.721.490 Wh</b>	<b>23.391.362 Wh</b>
<b>Consumo total por unidad de sup.</b>	<b>169.862 Wh/m<sup>2</sup>año</b>	<b>166.834 Wh/m<sup>2</sup>año</b>	<b>162.576 Wh/m<sup>2</sup>año</b>	<b>160.314 Wh/m<sup>2</sup>año</b>
<b>COMPARACIÓN</b>	105,96%	104,07%	101,41%	100,00%
<b>Reducción</b>	5,96%	4,07%	1,41%	0%
<b>C</b>	116,77	117,10	117,77	117,96
<b>Calific. Térmica</b>	<b>F</b>	<b>F</b>	<b>F</b>	<b>F</b>

Considerando la fórmula de medición de calificación térmica indicada en el punto 2.2.2., y a la evaluación de la vivienda base, indicada en el punto 4.3.1, se obtiene que la vivienda existente de construcción repetitiva en estudio, en sus 4 diferentes orientaciones, poseen una demanda energética en calefacción que las clasifica en **categoría F**.

Según el Sistema de Evaluación Energética de Viviendas, descrito en el punto 2.2.2, el certificado de la vivienda existente sin ampliaciones y en sus 4 distintas orientaciones es la que se presenta en los certificados que están en las figuras 4.37 a 4.40:

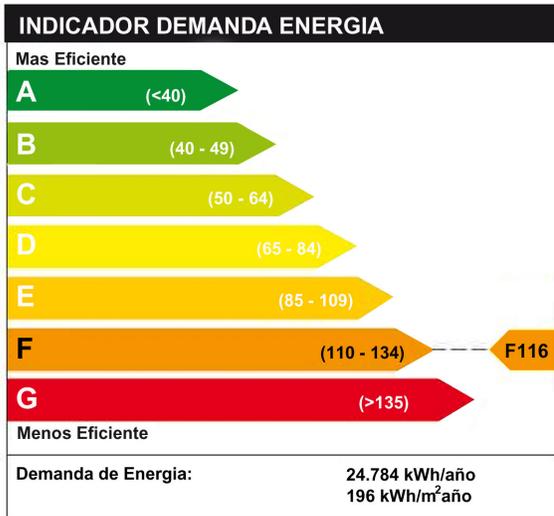


Figura 4.37: Calificación energética Vivienda Existente sin Ampliaciones Orientación ESTE.

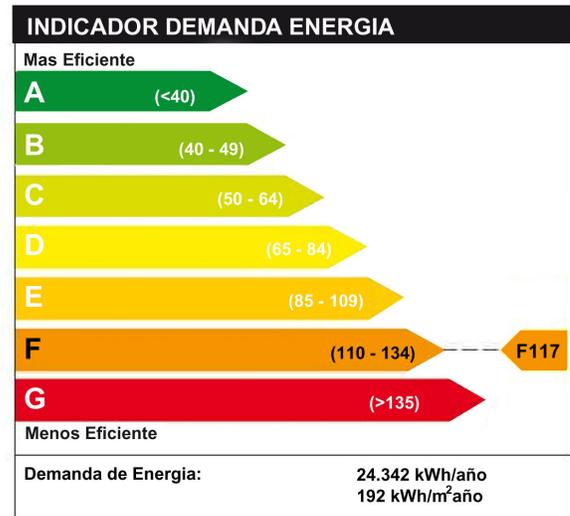


Figura 4.38: Calificación energética Vivienda Existente sin Ampliaciones Orientación OESTE.

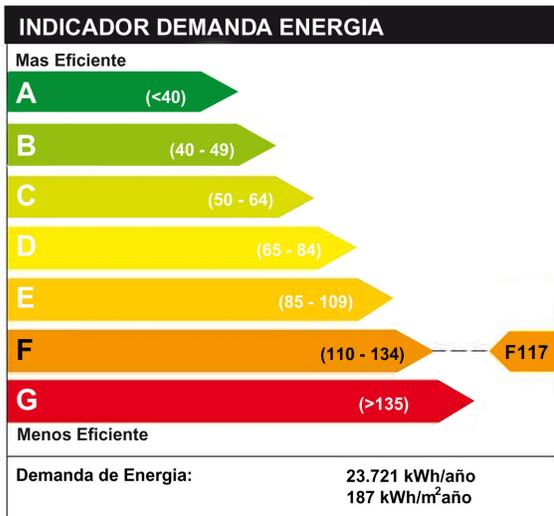


Figura 4.39: Calificación energética Vivienda Existente sin Ampliaciones Orientación SUR.

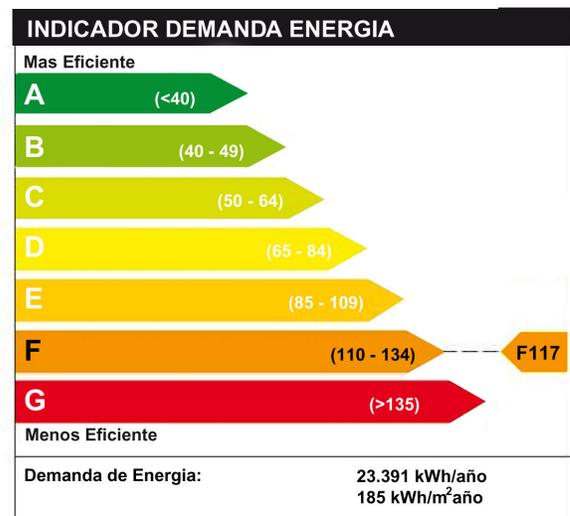


Figura 4.40: Calificación energética Vivienda Existente sin Ampliaciones Orientación NORTE.

La vivienda existente, posee **categoría F** en sus 4 diferentes orientaciones. La demanda en calefacción varía entre 16,77% y 17,96% más que la vivienda base que cumple de manera mínima con lo que exige la normativa térmica chilena.

#### 4.3.3.- ANÁLISIS DEL CASO EN ESTUDIO - VIVIENDA EXISTENTE CON AMPLIACIONES

Para determinar la demanda en calefacción anual de la vivienda existente con ampliaciones, se utilizó el mismo método del punto 4.3.2., pero aplicado a las dimensiones reales de la vivienda en estudio, como se puede observar en las figuras 4.41 y 4.42.

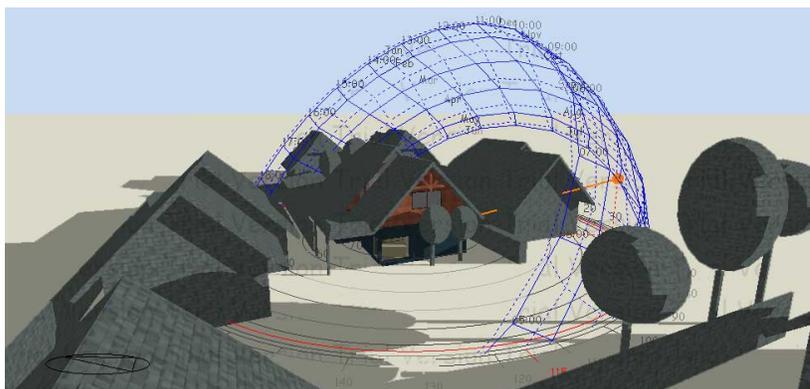


Figura 4.41: Visualización Vivienda Existente con Ampliaciones – 21 de junio 9:00AM.  
 Fuente: Elaboración propia con programa Design Builder v3.0.0.105.

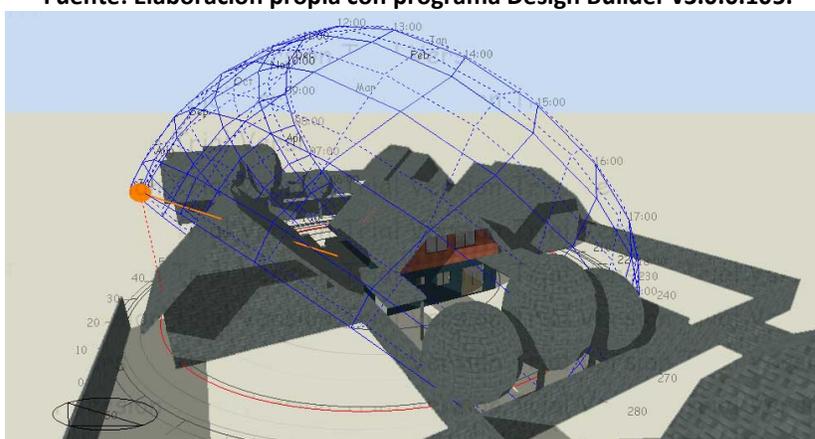


Figura 4.42: Visualización Vivienda Existente con Ampliaciones – 21 de junio 12:00AM.  
 Fuente: Elaboración propia con programa Design Builder v3.0.0.105.

Se obtuvieron los resultados indicados en la tabla 4.4 (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

Tabla 4.4: Demanda energética anual en calefacción vivienda SUR, Base Normativa / Existente / Ampliada  
 Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder

DEMANDA ENERGÉTICA ANUAL EN CALEFACCIÓN VIV. EXISTENTE CON AMPLIACIÓN			
	Demanda Calefacción Viv. Base Normativa SUR	Demanda Calefacción Viv. Existente SUR	Demanda Calefacción Viv. Existente SUR AMPLIADA
Consumo anual	20.142.541 Wh	23.721.490 Wh	24.606.872 Wh
Consumo total por unidad de sup.	126.309 Wh/m <sup>2</sup> año	162.576 Wh/m <sup>2</sup> año	154.304 Wh/m <sup>2</sup> año
COMPARACIÓN	100,00%	117,77%	122,16%
Reducción		17,77%	22,16%
C	100,00	117,77	122,16
Calific. Térmica	E	F	F

Se puede apreciar que las viviendas en estudio con y sin ampliaciones, poseen un consumo en calefacción, un 22,16% y 17,77% mayores que la misma vivienda base que cumple con lo mínimo exigido por la normativa térmica chilena.

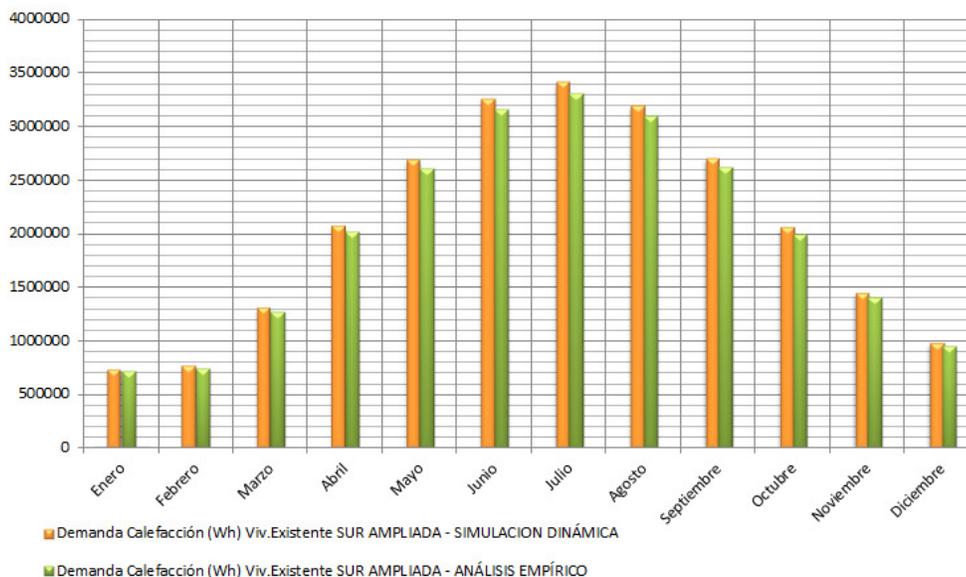
Si comparamos los resultados obtenidos por la simulación dinámica de la vivienda existente ampliada, que determinó un gasto en calefacción durante el mes de junio de 3.256.530 Wh, con los datos obtenidos de forma empírica, con la que se midió un consumo de 3.115.500 Wh durante el mismo mes de junio, se puede inferir que la simulación indica un consumo de un 3,20% sobre el consumo medido en terreno; es decir, con un error menor al 5%, se puede considerar que los datos medidos en terreno y los datos ingresados en la simulación, se encuentran validados.

Si extrapolamos la diferencia porcentual de la medición del mes de junio, para el resto del año, se obtienen los datos indicados en la tabla 4.5 y gráfico 4.5.

**Tabla 4.5: Demanda mensual en calefacción vivienda SUR AMPLIADA, Simulación Dinámica / Análisis Empírico**  
**Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder y en terreno**

DEMANDA ENERGÉTICA MENSUAL EN CALEFACCIÓN VIV. EXISTENTE CON AMPLIACIÓN		
Meses	Demanda Calefacción (Wh) Viv. Existente SUR AMPLIADA - SIMULACION DINÁMICA	Demanda Calefacción (Wh) Viv. Existente SUR AMPLIADA - ANÁLISIS EMPÍRICO
Enero	736.485	713.636
Febrero	764.541	740.822
Marzo	1.309.785	1.269.150
Abril	2.073.978	2.009.635
Mayo	2.686.707	2.603.355
Junio	<b>3.256.530</b>	<b>3.155.500</b>
Julio	3.409.958	3.304.168
Agosto	3.190.957	3.091.961
Septiembre	2.701.257	2.617.453
Octubre	2.055.114	1.991.356
Noviembre	1.443.225	1.398.451
Diciembre	979.807	949.410
<b>Consumo anual</b>	<b>24.608.344</b>	<b>23.844.897</b>
<b>Consumo total por unidad de sup.</b>	<b>154.313</b>	<b>149.526</b>
<b>COMPARACIÓN</b>	103,20%	100,00%
<b>Diferencia</b>	3,20%	0,00%

**Gráfico 4.5: Demanda mensual en calefacción viv. SUR AMPLIADA, Simulación Dinámica / Análisis Empírico**  
**Fuente: Elaboración propia con programa Design Builder v3.0.0.105.**



#### 4.3.4.- ANÁLISIS DE MEJORAS TÉRMICAS INDIVIDUALMENTE

##### 4.3.4.1.- MEJORAMIENTO – ORIENTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DEL LOTE O

###### DIAGNOSTICO A:

Alto consumo energético, producto de orientación de viviendas y distribución de ellas en el terreno, sin considerar la trayectoria solar.

A pesar que el estudio se concentra en un loteo existente, en el que obviamente no se puede alterar la orientación de las viviendas o su distribución en el terreno, de todas maneras se evalúa la situación actual y la situación mejorada, para determinar y cuantificar la disminución de consumo energético en calefacción que el loteo entero habría presentado si se hubieran considerado en el diseño, los factores de orientación óptima y disminuir el cono de sombra entre viviendas.

###### ESTRATEGIA A:

A1- Cambiar orientación de las viviendas.

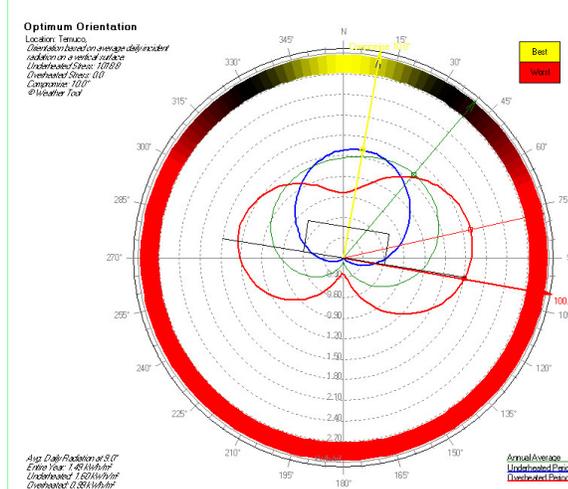
A2- Cambiar orientación de viviendas + cambiar la relación de distribución de los lotes y sus viviendas para disminuir el cono de sombra que se genera entre viviendas.

A3- Mantener orientación de las viviendas y sólo cambiar la distribución de los lotes para maximizar la radiación solar incidente sobre la vivienda sin alterar la superficie del lote.

###### Orientación de las Viviendas

El programa Weather Tool, posee una herramienta para determinar la orientación óptima de una vivienda, considerando el promedio diario de radiación solar incidente en superficies verticales para un

clima, en este caso se utilizó para determinar la mejor orientación en la zona de Temuco. De acuerdo a este análisis se determina que orientación óptima de la construcción es de 10,0° hacia el oriente, tomados desde el norte del emplazamiento de la edificación y de esta manera se logrará una ganancia solar directa equivalente a 1,49 kWh/m<sup>2</sup> al año, como se puede ver en la figura 4.43.

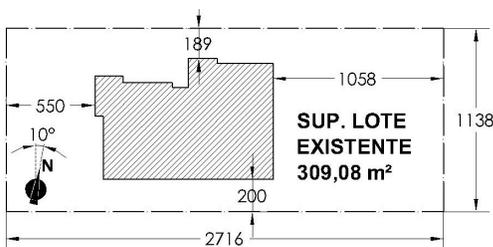


**Figura 4.43: Orientación óptima en la ciudad de Temuco. 10° Norte, noreste.**

Fuente: Elaboración propia con programa Weather Tool.

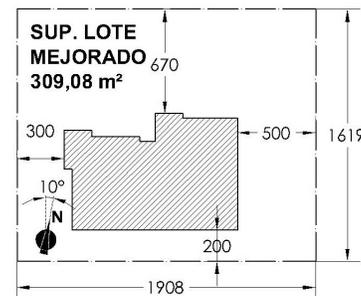
### Distribución de los lotes

Para maximizar la incidencia de radiación solar sobre la vivienda, se plantea disminuir el cono de sombra que genera una casa sobre otra, mediante una nueva distribución, considerando la misma superficie de lotes, pero con distintas medidas en ancho y largo para mantener la mayor distancia hacia los deslindes en que las construcciones vecinas proyectan sombra sobre la vivienda en estudio., como se puede ver en las figuras 4.44 y 4.45.



**Figura 4.44: Distrib. de lotes situación exist.**

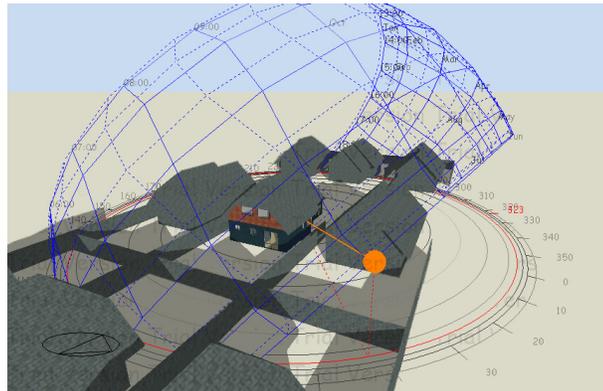
Fuente: Elaboración propia.



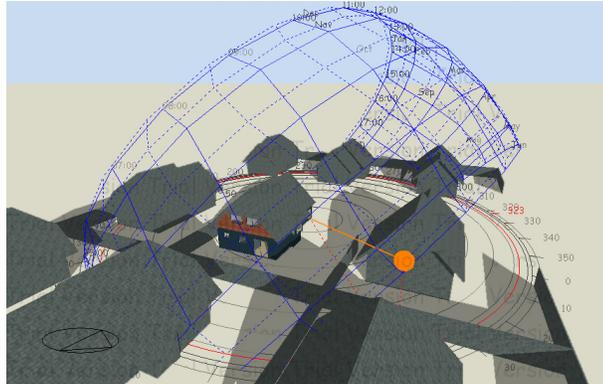
**Figura 4.45: Distrib. de lotes situac. mejorada.**

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.46 y 4.48 se muestra la situación existente y la situación de distribución de loteo mejorada, en la que se puede apreciar que la obstrucción solar entre viviendas, disminuye notablemente, durante el solsticio de invierno a las 9:00 AM (21 de Junio).

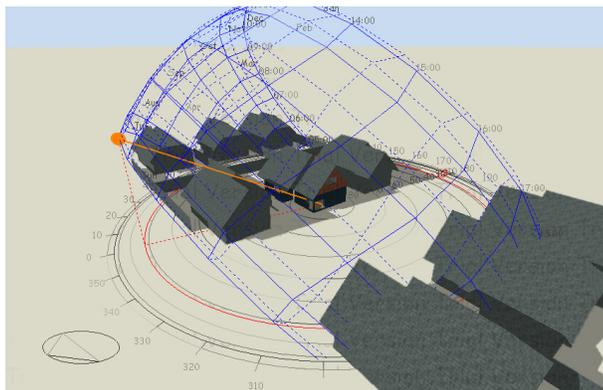


**Figura 4.46: Asoleamiento distribución de lotes situación existente. 21 de Junio 9:00AM**  
**Fuente: Elaboración propia, con programa Design Builder.**



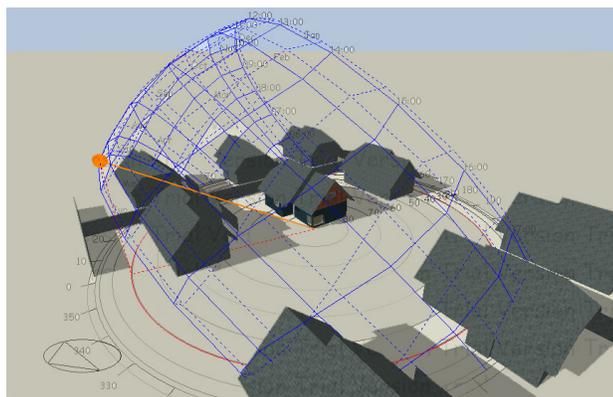
**Figura 4.47: Asoleamiento distribución de lotes situación mejorada. 21 de Junio 9:00AM**  
**Fuente: Elaboración propia, con programa Design Builder.**

En la figura 4.48 y 4.49 se muestra la situación existente y la situación de distribución de loteo mejorada, sin alterar la superficie de los lotes, en la que se puede apreciar que la obstrucción solar entre viviendas, disminuye notablemente, durante el solsticio de invierno a las 12:00 AM (21 de Junio).



**Figura 4.48: Asoleamiento distribución de lotes situación existente. 21 de Junio 12:00AM**  
**Fuente: Elaboración propia, con programa Design Builder.**

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



**Figura 4.49: Asoleamiento distribución de lotes situación mejorada. 21 de Junio 12:00AM**  
**Fuente: Elaboración propia, con programa Design Builder.**

En la tabla 4.6, se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias A1, A2 y para las viviendas del loteo en sus diferentes orientaciones (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.6: Demanda energética anual en calef. estrategia A, con mejoramiento en orientación y distrib. de lotes**  
**Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. Orientación óptima ESTRATEGIA A1	Demanda Calef. Viv. Orient. óptima + distrib. ESTRAT. A2	Viv. ESTE + distribución ESTRAT. A3	Viv. OESTE + distribución ESTRAT. A3	Viv. SUR + distribución ESTRAT. A3	Viv. NORTE + distribución ESTRAT. A3
<b>Consumo anual</b>	<b>23.352.705 Wh</b>	<b>23.301.597 Wh</b>	<b>24.522.512 Wh</b>	<b>24.112.110 Wh</b>	<b>23.658.408 Wh</b>	<b>23.316.374 Wh</b>
<b>Consumo total por unidad de sup.</b>	<b>160.049 Wh/m<sup>2</sup>año</b>	<b>159.698 Wh/m<sup>2</sup>año</b>	<b>168.066 Wh/m<sup>2</sup>año</b>	<b>165.253 Wh/m<sup>2</sup>año</b>	<b>162.144 Wh/m<sup>2</sup>año</b>	<b>159.800 Wh/m<sup>2</sup>año</b>
<b>Comparación</b>	<b>100,22%</b>	<b>100,00%</b>	<b>105,24%</b>	<b>103,48%</b>	<b>101,53%</b>	<b>100,06%</b>
<b>Adición</b>	<b>0,22%</b>		<b>5,24%</b>	<b>3,48%</b>	<b>1,53%</b>	<b>0,06%</b>
<b>C</b>			<b>115,53</b>	<b>115,99</b>	<b>117,45</b>	<b>117,58</b>
<b>Calific. Térmica</b>			<b>F</b>	<b>F</b>	<b>F</b>	<b>F</b>

La vivienda con la peor orientación y distribución, es la vivienda ESTE y posee una demanda de calefacción de 169,86 kWh/m<sup>2</sup> año lo que significa un 6,13% de mayor consumo que la situación de orientación óptima (160,04 kWh/m<sup>2</sup> año) y un **6,36% mayor consumo** que la situación combinada de orientación óptima y distribución de los lotes disminuyendo el cono de sombra de viviendas vecinas, cambiando las proporciones de los deslindes de cada lote sin alterar su superficie (159,69 kWh/m<sup>2</sup> año).

**Gráfico 4.6: Demanda energética anual en calef. estrategia A, con mejoram. en orientación y distrib. de lotes**  
**Fuente: Elaboración propia con programa Design Builder v3.0.0.105.**



Entre el loteo existente y el loteo mejorado (orientación óptima y distribución del loteo), existe un ahorro en el conjunto de 161 viviendas, de 95.474,9 kWh al año; y si consideramos que:

1kW = 1.000W = 859,8 kcal/h

105ml kerosene = 1 kW/h

1.000ml kerosene = 9,58 kW/h

\*\*Valor del kerosene en Temuco el día 07.08.2013 (UF: \$22.980)

1lt= \$628 = 0,027UF

Entonces: 9,58 kW/h = 0,027 UF

Por lo tanto 95.474,9kWh al año = 269,08 UF

Entonces se puede plantear que se habría ahorrado 269,08 UF al año, lo que significa en 21 años de antigüedad del loteo, un total de 5.650 UF que se podrían haber ahorrado, sólo por cambio de orientación y distribución de los 161 lotes.

#### 4.3.4.2.- MEJORAMIENTO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA DE VENTANAS

##### DIAGNOSTICO B:

Alta Transmitancia térmica de ventanas. Si bien, las ventanas cumplen con el porcentaje solicitado en la normativa térmica chilena, la transmitancia térmica U es muy alta con 6,257 W/m<sup>2</sup>K y a ello se suma el mal desempeño de los marcos de aluminio con un U de 5,880 W/m<sup>2</sup>K.

##### ESTRATEGIA B:

B1- Cambiar cristales simples por vidrio termopanel 6 + 6mm y cámara de aire 13mm (termop. aire U= 2,708 W/m<sup>2</sup>K marco aluminio U= 5,880 W/m<sup>2</sup>K). En las 4 orientaciones se cambian 32,45 m<sup>2</sup> de vidrio simple por termopanel con cámara de aire.

B2- Cambiar cristales simples por vidrio termopanel 6 + 6mm y cámara de aire 13mm (termop. argón U= 2,708 W/m<sup>2</sup>K marco PVC, U= 3,476 W/m<sup>2</sup>K). En las 4 orientaciones se cambian 32,45 m<sup>2</sup> de vidrio simple por termopanel con argón.

B3- Vidrios termopanel con argón + cambiar marcos de aluminio por marco de PVC (termop. argón U= 2,549 W/m<sup>2</sup>K marco aluminio U= 3,476 W/m<sup>2</sup>K). En las 4 orientaciones se cambian los marcos de 32,45 m<sup>2</sup> de ventanas con marcos de aluminio.

En la tabla 4.7 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias B1, B2, B3 en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda ESTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



**Tabla 4.7: Demanda energética anual en calefacción vivienda ESTE con mejoramiento en ventanas**

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder

	Demanda Calef. Viv. ESTE Sit. Actual	Mejoramiento: Termop. sin Argón + Marcos Alum.	Mejoramiento: Termop. sin Argón + PVC	Mejoramiento: Termop. con Argón + Marcos PVC
Consumo anual	24.784.585 Wh	22.009.805 Wh	21.921.997 Wh	21.733.093 Wh
Consumo total por unidad de sup.	169.862 Wh/m <sup>2</sup> año	150.845 Wh/m <sup>2</sup> año	150.243 Wh/m <sup>2</sup> año	148.949 Wh/m <sup>2</sup> año
Comparación	100,00%	88,80%	88,45%	87,69%
Reducción	0%	-11,20%	-11,55%	-12,31%
C	116,77	103,69	103,28	102,39
Calific. Térmica	F	E	E	E

En el anexo H, se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento de ventanas para la vivienda ESTE.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.8 se presenta a una síntesis de las estrategias B1, B2 y B3 (mejoramiento ventanas), en orientación ESTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.8: Resumen Técnico-Económico Vivienda Este, Ventanas**

Fuente: Elaboración propia

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8%	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría de la vivienda / Certificación	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Costo energía > 5,4% anual	Total (kWh)	Por m2		
Situación Actual	0	0	0	0	0	0	x	24.784	169,8	F	La vivienda existente consume un 16,77% más que la viv. base normativa
Estrategia B1 (termop.)	3.562	155,02	\$182.969	7,962 UF	-847	-36,88	X	22.009	150,8	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia B2 (termop. + PVC)	4.118	179,23	\$195.490	8,506 UF	-1.218	-53,01	X	21.819	149,5	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia B3 (termop. c/argón + PVC)	4.777	207,88	\$201.215	8,756 UF	-1.791	-77,96	X	21.733	148,9	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)

\*\*Valor del kerosene en Temuco el día 07.08.2013 (UF: \$22.980). 1lt= \$628 = 0,027UF

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.9 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias B1, B2, B3 en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda OESTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.9: Demanda energética anual en calefacción viv. OESTE con mejoramiento en ventanas**

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder

	Demanda Calef. Viv. OESTE Sit. Actual	Mejoramiento: Termop. sin Argón + Marcos Alum.	Mejoramiento: Termop. sin Argón + Marcos PVC	Mejoramiento: Termop. con Argón + Marcos PVC
Consumo anual	24.342.800 Wh	21.639.099 Wh	21.551.404 Wh	21.360.389 Wh
Consumo total por unidad de sup.	166.834 Wh/m <sup>2</sup> año	148.304 Wh/m <sup>2</sup> año	147.703 Wh/m <sup>2</sup> año	146.394 Wh/m <sup>2</sup> año
Comparación	100,00%	88,89%	88,53%	87,75%
Reducción	0%	-11,11%	-11,47%	-12,25%
C	117,10	104,10	103,67	102,75
Calific. Térmica	F	E	E	E

En el anexo H, se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento de ventanas para la vivienda OESTE.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.10 se presenta a una síntesis de las estrategias B1, B2 y B3 (mejoramiento ventanas), en orientación OESTE, para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.10: Resumen Técnico-Económico Vivienda Oeste, Ventanas**

Fuente: Elaboración propia

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8% Costo energía > 5,4% anual	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría de la vivienda / Certificación	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF		Total (kWh)	Por m2		
Situación Actual	0	0	0	0	0	0	x	24.342	166,8	F	La vivienda existente consume un 17,10% más que la viv. base normativa
Estrategia B1 (termop.)	3.562	155,02	\$178.282	7,758 UF	-917	-39,91	X	21.639	148,3	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia B2 (termop. + PVC)	4.118	179,23	\$190.917	8,307 UF	-1.286	-55,96	X	21.447	146,9	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia B3 (termop. c/argón + PVC)	4.777	207,88	\$196.660	8,601 UF	-1.859	-80,90	X	21.360	146,3	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)

\*\*Valor del kerosene en Temuco el día 07.08.2013 (UF: \$22.980). 1lt= \$628 = 0,027UF

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.11 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias B1, B2, B3 en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda SUR (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.11: Demanda energética anual en calefacción viv. SUR con mejoramiento en ventanas**

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder

	Demanda Calef. Viv. SUR Sit. Actual	Mejoramiento: Termop. sin Argón + Marcos Alum.	Mejoramiento: Termop. sin Argón + Marcos PVC	Mejoramiento: Termop. con Argón + Marcos PVC
Consumo anual	23.721.490 Wh	21.114.536 Wh	21.026.578 Wh	20.832.767 Wh
Consumo total por unidad de sup.	162.576 Wh/m <sup>2</sup> año	144.709 Wh/m <sup>2</sup> año	144.106 Wh/m <sup>2</sup> año	142.778 Wh/m <sup>2</sup> año
Comparación	100,00%	89,01%	88,64%	87,82%
Reducción	0%	-10,99%	-11,36%	-12,18%
C	117,77	104,83	104,39	103,43
Calific. Térmica	F	E	E	E

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento de ventanas para la vivienda SUR.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.12 se presenta a una síntesis de las estrategias B1, B2 y B3 (mejoramiento ventanas), en orientación SUR para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.12: Resumen Técnico-Económico Vivienda Sur, Ventanas**

Fuente: Elaboración propia

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8% Costo energía > 5,4% anual	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría de la vivienda / Certificación	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF		Total (kWh)	Por m2		
Situación Actual	0	0	0	0	0	0	X	23.721	162,5	F	La vivienda existente consume un 17,77% más que la viv. base normativa
Estrategia B1 (termop.)	3.562	155,02	\$171.903	7,480 UF	-1.011	-44,03	X	21.114	144,7	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia B2 (termop. + PVC)	4.118	179,23	\$184.757	8,039 UF	-1.377	-59,94	X	20.919	143,3	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia B3 (termop. c/argón + PVC)	4.777	207,88	\$190.482	8,289 UF	-1.950	-84,89	X	20.832	142,7	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)

\*\*Valor del kerosene en Temuco el día 07.08.2013 (UF: \$22.980). 1lt= \$628 = 0,027UF

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.13 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias B1, B2, B3 en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda NORTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.13: Demanda energética anual en calefacción viv. NORTE con mejoramiento en ventanas**

**Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. NORTE Sit. Actual	Mejoramiento: Termop. sin Argón + Marcos Alum.	Mejoramiento: Termop. sin Argón + Marcos PVC	Mejoramiento: Termop. con Argón + Marcos PVC
Consumo anual	23.391.362 Wh	21.114.536 Wh	21.026.578 Wh	20.521.058 Wh
Consumo total por unidad de sup.	160.314 Wh/m <sup>2</sup> año	144.709 Wh/m <sup>2</sup> año	144.106 Wh/m <sup>2</sup> año	140.642 Wh/m <sup>2</sup> año
Comparación	100,00%	88,95%	88,57%	87,73%
Reducción	0%	-11,05%	-11,43%	-12,27%
C	117,96	104,92	104,48	103,49
Calific. Térmica	F	E	E	E

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento de ventanas para la vivienda NORTE.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.14 se presenta a una síntesis de las estrategias B1, B2 y B3 (mejoramiento ventanas), en orientación NORTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.14: Resumen Técnico-Económico Vivienda Norte, Ventanas**

**Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8% Costo energía > 5,4% anual	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría de la vivienda / Certificación	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF		Total (kWh)	Por m2		
Situación Actual	0	0	0	0	0	0	x	23.391	160,3	F	La vivienda existente consume un 17,96% más que la viv. base normativa
Estrategia B1 (termop.)	3.562	155,02	\$170.512	7,420 UF	-1.032	-44,93	X	20.805	142,5	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia B2 (termop. + PVC)	4.118	179,23	\$183.520	7,986 UF	-1.395	-60,74	X	20.608	141,2	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia B3 (termop. c/argón + PVC)	4.777	207,88	\$190.482	8,289 UF	-1.950	-84,89	X	20.832	142,7	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)

\*\*Valor del kerosene en Temuco el día 07.08.2013 (UF: \$22.980). 1lt= \$628 = 0,027UF

#### 4.3.4.3.- MEJORAMIENTO TRANSMITANCIA TÉRMICA DE CUBIERTA

##### DIAGNOSTICO C:

Alta Transmitancia térmica de cubierta. Según cálculo teórico, posee una transmitancia térmica U de 0,59 W/m<sup>2</sup>K, pero en las imágenes térmicas de cubierta, se aprecia mala instalación de aislación en algunos sectores de la cubierta, como se puede ver en la figura 4.50. Por lo anteriormente indicado, para realizar las simulaciones se estima que la transmitancia térmica U, aumenta un 10%; es decir, de 0,59 a 0,65 W/m<sup>2</sup>K

Adicionalmente se debe considerar que ambos valores son elevados, respecto a la transmitancia térmica U de 0,33 W/m<sup>2</sup>K, que la normativa chilena acepta para cubierta en la zona 5.

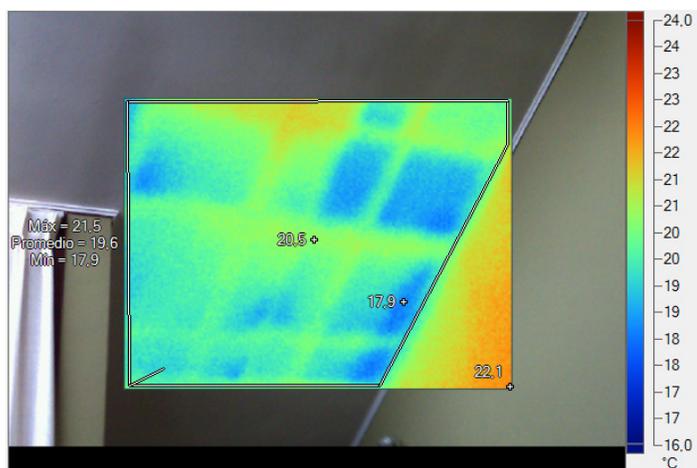


Figura 4.50: Captura cámara térmica interior 005 CTI5 – Escalera.

##### ESTRATEGIA C:

- C1- Aumento de aislación en cubierta. Utilización de poliestireno expandido **20mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 0,65 a 0,48 W/m<sup>2</sup>K).
- C2- Aumento de aislación en cubierta. Utilización de poliestireno expandido **50mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 0,65 a 0,35 W/m<sup>2</sup>K).
- C3- Aumento de aislación en cubierta. Utilización de poliestireno expandido **80mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 0,65 a 0,28 W/m<sup>2</sup>K).
- C4- Aumento de aislación en cubierta. Utilización de poliestireno expandido **110mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 0,65 a 0,23 W/m<sup>2</sup>K).
- C5- Aumento de aislación en cubierta. Utilización de poliestireno expandido **140mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 0,65 a 0,19 W/m<sup>2</sup>K).
- C6- Aumento de aislación en cubierta. Utilización de poliestireno expandido **170mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 0,65 a 0,17 W/m<sup>2</sup>K).
- C7- Aumento de aislación en cubierta. Utilización de poliestireno expandido **200mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 0,65 a 0,15 W/m<sup>2</sup>K).

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.15 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias C1, C2, C3, C4, C5, C6 y C7, en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda ESTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.15: Demanda anual en calef. viv. ESTE con mejoram. transmitancia térmica en cubierta. Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. ESTE Sit. Actual	Mejoramiento: Pol.Exp.20mm	Mejoramiento: Pol.Exp.50mm	Mejoramiento: Pol.Exp.80mm	Mejoramiento: Pol.Exp.110mm	Mejoramiento: Pol.Exp.140mm	Mejoramiento: Pol.Exp.170mm	Mejoramiento: Pol.Exp.200mm
Consumo anual (Wh)	24.784.585	24.339.186	24.067.697	23.910.570	23.789.468	23.709.173	23.649.298	23.233.503
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	169.862	166.810	164.949	163.872	163.042	162.492	162.081	159.232
Comparación	100,00%	98,20%	97,11%	96,47%	95,98%	95,66%	95,42%	93,74%
Reducción		-1,80%	-2,89%	-3,53%	-4,02%	-4,34%	-4,58%	-6,26%
C	116,77	114,67	113,39	112,65	112,08	111,70	111,42	109,46
Calific. Térmica	F	F	F	F	F	F	F	E

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento de transmitancia térmica de cubierta para la vivienda ESTE.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.16 se presenta a una síntesis de las estrategias C1, C2, C3, C4, C5, C6 y C7 (mejoramiento transmitancia térmica cubierta), en orientación ESTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.16: Resumen Técnico-Económico Vivienda Este, Cubierta. Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8%	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría vivienda	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Costo energía > 5,4% año	Total kWh	Por m2		
Situación Actual	0	0	0	0	0	0	x	24.784	169,8	F	La vivienda existente consume un 16,77% más que la viv. base normativa
Estrategia C1 (poliest.20mm)	1.270	55,20	\$29.370	1,28 UF	-982	-42,74	X	24.339	166,8	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C2 (poliest.50mm)	1.350	58,78	\$47.272	2,06 UF	-886	-38,59	X	24.067	164,9	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C3 (poliest.80mm)	1.661	72,31	\$57.633	2,51 UF	-1.095	-47,69	X	23.910	163,8	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C4 (poliest.110mm)	2.130	85,84	\$65.618	2,86 UF	-1.328	-57,81	X	23.789	163,0	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C5 (poliest.140mm)	2.058	89,59	\$70.913	3,09 UF	-1.362	-59,30	X	23.709	162,4	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C6 (poliest.170mm)	2.312	100,64	\$74.861	3,26 UF	-1.577	-68,66	X	23.649	162,0	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C7 (poliest.200mm)	2.393	104,13	\$102.278	4,45 UF	-1.388	-60,44	X	23.233	159,2	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.17 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias C1, C2, C3, C4, C5, C6 y C7, en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda OESTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.17: Demanda anual en calef. viv. OESTE con mejoram. transmitancia térmica en cubierta. Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. Oeste Sit. Actual	Mejoramiento: Pol.Exp.20mm	Mejoramiento: Pol.Exp.50mm	Mejoramiento: Pol.Exp.80mm	Mejoramiento: Pol.Exp.110mm	Mejoramiento: Pol.Exp.140mm	Mejoramiento: Pol.Exp.170mm	Mejoramiento: Pol.Exp.200mm
Consumo anual (Wh)	24.342.800	23.904.243	23.631.857	23.465.354	23.353.301	23.272.776	23.212.078	23.165.408
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	166.834	163.829	161.962	160.821	160.053	159.501	159.085	158.765
Comparación	100,00%	98,20%	97,08%	96,40%	95,94%	95,60%	95,36%	95,16%
Reducción		-1,80%	-2,92%	-3,60%	-4,06%	-4,40%	-4,64%	-4,84%
C	117,10	114,99	113,68	112,88	112,34	111,95	111,66	111,44
Calific. Térmica	F	F	F	F	F	F	F	F

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento de transmitancia térmica de cubierta para la vivienda OESTE.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.18 se presenta a una síntesis de las estrategias C1, C2, C3, C4, C5, C6 y C7 (mejoramiento transmitancia térmica cubierta), en orientación OESTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.18: Resumen Técnico-Económico Vivienda Oeste, Cubierta. Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8%	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría vivienda	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Costo energía > 5,4% año	Total kWh	Por m2		
Situación Actual	0	0	0	0	0	0	x	24.342	166,8	F	La vivienda existente consume un 17,10% más que la viv. base normativa
Estrategia C1 (poliest.20mm)	1.270	55,20	\$28.918	1,26 UF	-967	-44,1	X	23.904	163,8	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C2 (poliest.50mm)	1.350	58,78	\$46.880	2,04 UF	-803	-36,6	X	23.631	161,9	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C3 (poliest.80mm)	1.661	72,31	\$57.859	2,52 UF	-985	-44,9	X	23.465	160,8	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C4 (poliest.110mm)	2.130	85,84	\$65.248	2,84 UF	-1.217	-55,5	X	23.353	160,0	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C5 (poliest.140mm)	2.058	89,59	\$70.557	3,07 UF	-1.236	-56,4	X	23.272	159,5	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C6 (poliest.170mm)	2.312	100,64	\$74.560	3,24 UF	-1.454	-66,3	X	23.212	159,0	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C7 (poliest.200mm)	2.393	104,13	\$77.637	3,38 UF	-1.498	-68,3	X	23.165	158,7	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.19 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias C1, C2, C3, C4, C5, C6 y C7, en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda SUR (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.19: Demanda anual en calef. viv. SUR con mejoram. transmitancia térmica en cubierta. Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. Oriente Sit. Actual	Mejoramiento: Pol.Exp.20mm	Mejoramiento: Pol.Exp.50mm	Mejoramiento: Pol.Exp.80mm	Mejoramiento: Pol.Exp.110mm	Mejoramiento: Pol.Exp.140mm	Mejoramiento: Pol.Exp.170mm	Mejoramiento: Pol.Exp.200mm
Consumo anual (Wh)	23.721.490	23.291.450	23.018.325	22.851.180	22.738.548	22.657.682	22.596.963	22.550.026
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	162.576	159.629	157.757	156.611	155.840	155.285	154.869	154.548
Comparación	100,00%	98,19%	97,04%	96,33%	95,86%	95,52%	95,26%	95,06%
Reducción		-1,81%	-2,96%	-3,67%	-4,14%	-4,48%	-4,74%	-4,94%
C	117,77	115,63	114,28	113,45	112,89	112,49	112,19	111,95
Calific. Térmica	F	F	F	F	F	F	F	F

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento de transmitancia térmica de cubierta para la vivienda SUR.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.20 se presenta a una síntesis de las estrategias C1, C2, C3, C4, C5, C6 y C7 (mejoramiento transmitancia térmica cubierta), en orientación SUR para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.20: Resumen Técnico-Económico Vivienda Sur, Cubierta. Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8%	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría vivienda	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Costo energía > 5,4% año	Total kWh	Por m2		
Situación Actual	0	0	0	0	0	0	x	24.721	162,5	F	La vivienda existente consume un 17,77% más que la viv. base normativa
Estrategia C1 (poliest.20mm)	1.270	55,20	\$28.357	1,23 UF	-849	-36,98	X	23.291	159,6	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C2 (poliest.50mm)	1.350	58,78	\$46.367	2,02 UF	-662	-28,85	X	23.018	157,7	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C3 (poliest.80mm)	1.661	72,31	\$57.388	2,50 UF	-810	-35,26	X	22.851	156,6	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C4 (poliest.110mm)	2.130	85,84	\$64.815	2,82 UF	-1.010	-43,99	X	22.738	155,8	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C5 (poliest.140mm)	2.058	89,59	\$70.147	3,05 UF	-1.018	-44,31	X	22.657	155,2	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C6 (poliest.170mm)	2.312	100,64	\$74.151	3,23 UF	-1.212	-52,77	X	22.596	154,8	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C7 (poliest.200mm)	2.393	104,13	\$77.246	3,36 UF	-1.247	-54,27	X	22.550	154,5	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.21 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias C1, C2, C3, C4, C5, C6 y C7, en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda NORTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.21: Demanda anual en calef. viv. NORTE con mejoram. transmitancia térmica en cubierta. Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. Norte Sit. Actual	Mejoramiento: Pol.Exp.20mm	Mejoramiento: Pol.Exp.50mm	Mejoramiento: Pol.Exp.80mm	Mejoramiento: Pol.Exp.110mm	Mejoramiento: Pol.Exp.140mm	Mejoramiento: Pol.Exp.170mm	Mejoramiento: Pol.Exp.200mm
Consumo anual (Wh)	23.391.362	22.939.498	22.666.499	22.499.257	22.386.446	22.305.672	22.245.034	22.197.690
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	160.314	157.217	155.346	154.200	153.426	152.873	152.457	152.133
Comparación	100,00%	98,07%	96,90%	96,19%	95,70%	95,36%	95,10%	94,90%
Reducción		-1,93%	-3,10%	-3,81%	-4,30%	-4,64%	-4,90%	-5,10%
C	117,96	115,68	114,31	113,46	112,90	112,49	112,18	111,94
Calific. Térmica	F	F	F	F	F	F	F	F

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento de transmitancia térmica de cubierta para la vivienda NORTE.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.22 se presenta a una síntesis de las estrategias C1, C2, C3, C4, C5, C6 y C7 (mejoramiento transmitancia térmica cubierta), en orientación NORTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.22: Resumen Técnico-Económico Vivienda Norte, Cubierta. Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8%	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría vivienda	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Costo energía > 5,4% año	Total kWh	Por m2		
Situación Actual	0	0	0	0	0	0	x	23.391	160,3	F	La vivienda existente consume un 17,96% más que la viv. base normativa
Estrategia C1 (poliest.20mm)	1.270	55,20	\$29.796	1,30 UF	-828	-36,05	X	22.939	157,2	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C2 (poliest.50mm)	1.350	58,78	\$47.797	2,08 UF	-641	-27,93	X	22.666	155,3	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C3 (poliest.80mm)	1.661	72,31	\$58.825	2,56 UF	-788	-34,33	X	22.499	154,2	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C4 (poliest.110mm)	2.130	85,84	\$66.264	2,88 UF	-989	-43,06	X	22.386	153,4	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C5 (poliest.140mm)	2.058	89,59	\$71.590	3,12 UF	-996	-43,37	X	22.305	152,8	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C6 (poliest.170mm)	2.312	100,64	\$75.589	3,29 UF	-1.191	-51,84	X	22.245	152,4	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia C7 (poliest.200mm)	2.393	104,13	\$78.711	3,43 UF	-1.225	-53,32	X	22.197	152,1	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)

#### 4.3.4.4.- MEJORAMIENTO TRANSMITANCIA TÉRMICA DE MUROS

DIAGNOSTICO D+E: Alta transmitancia térmica de muros perimetrales. Nivel 1 U 2,63 W/m<sup>2</sup>K (No cumple con lo exigido por OGUC 1,6 W/m<sup>2</sup>K). Nivel 2 U 0,59 W/m<sup>2</sup>K

ESTRATEGIA D+E:

Incorporar envolvente térmica en el perímetro del nivel 1 y 2.

Mejora la transmitancia térmica del complejo de muros.



Figura 4.51: Caso en estudio- situación existente  
 Fuente: Elaboración propia con Sketchup



Figura 4.52: Caso en estudio- situación propuesta, mejoramiento térmico muros  
 Fuente: Elaboración propia con Sketchup

##### 4.3.4.4.1.- MEJORAMIENTO TRANSMITANCIA TÉRMICA DE MUROS NIVEL 1

ESTRATEGIA D:

- D1- Aumento de aislación en muros nivel 1. Utilización de poliestireno expandido **20mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 2,63 a 1,13 W/m<sup>2</sup>K).
- D2- Aumento de aislación en muros nivel 1. Utilización de poliestireno expandido **50mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 2,63 a 0,61 W/m<sup>2</sup>K).
- D3- Aumento de aislación en muros nivel 1. Utilización de poliestireno expandido **80mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 2,63 a 0,42 W/m<sup>2</sup>K).
- D4- Aumento de aislación en muros nivel 1. Utilización de poliestireno expandido **110mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 2,63 a 0,31 W/m<sup>2</sup>K).
- D5- Aumento de aislación en muros nivel 1. Utilización de poliestireno expandido **140mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 2,63 a 0,25 W/m<sup>2</sup>K).
- D6- Aumento de aislación en muros nivel 1. Utilización de poliestireno expandido **170mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 2,63 a 0,21 W/m<sup>2</sup>K).
- D7- Aumento de aislación en muros nivel 1. Utilización de poliestireno expandido **200mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 2,63 a 0,18 W/m<sup>2</sup>K).

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.23 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias D1, D2, D3, D4, D5, D6 y D7, en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda ESTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.23: Demanda anual en calef. viv. ESTE con mejoram. transmitancia térmica en muros Nivel 1. Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. ESTE Sit. Actual	Mejoramiento: Pol.Exp.20mm	Mejoramiento: Pol.Exp.50mm	Mejoramiento: Pol.Exp.80mm	Mejoramiento: Pol.Exp.110mm	Mejoramiento: Pol.Exp.140mm	Mejoramiento: Pol.Exp.170mm	Mejoramiento: Pol.Exp.200mm
Consumo anual (Wh)	24.784.585	21.505.272	20.199.289	19.704.258	19.443.143	19.280.783	19.170.605	19.091.056
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	169.862	147.387	138.437	135.044	133.254	132.142	131.387	130.841
Comparación	100,00%	86,77%	81,50%	79,50%	78,45%	77,79%	77,35%	77,03%
Reducción		-13,23%	-18,50%	-20,50%	-21,55%	-22,21%	-22,65%	-22,97%
C	116,77	101,32	95,16	92,83	91,60	90,84	90,32	89,94
Calific. Térmica	F	E	E	E	E	E	E	E

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento de transmitancia térmica de muros Nivel 1 para la vivienda ESTE.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.24 se presenta a una síntesis de las estrategias D1, D2, D3, D4, D5, D6 y D7 (mejoramiento transmitancia térmica muros Nivel 1), en orientación ESTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.24: Resumen Técnico-Económico Vivienda Este, Muros Nivel 1. Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8%	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría vivienda	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Costo energía > 5,4% año	Total kWh	Por m2		
Situación Actual	0	0	0	0	0	0	x	24.784	169,8	F	La vivienda existente consume un 16,77% más que la viv. base normativa
Estrategia D1 (poliest.20mm)	1.848	80,43	\$216.238	9,41 UF	1.360	59,18	11	21.505	147,3	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. el año 11 (ver anexo H)
Estrategia D2 (poliest.50mm)	1.910	83,12	\$302.354	13,16 UF	2.575	112,09	8	20.199	138,4	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 8 (ver anexo H)
Estrategia D3 (poliest.80mm)	2.065	89,89	\$334.997	14,58 UF	2.904	126,40	8	19.704	135,0	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 8 (ver anexo H)
Estrategia D4 (poliest.110mm)	2.073	90,22	\$352.215	15,33 UF	3.152	137,18	7	19.443	133,2	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 7 (ver anexo H)
Estrategia D5 (poliest.140mm)	2.139	93,11	\$362.921	15,79 UF	3.244	141,21	7	19.280	132,1	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 7 (ver anexo H)
Estrategia D6 (poliest.170mm)	2.177	94,75	\$370.186	16,11 UF	3.315	144,26	7	19.170	131,3	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 7 (ver anexo H)
Estrategia D7 (poliest.200mm)	2.239	97,44	\$375.431	16,34 UF	3.331	144,95	7	19.091	130,8	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 7 (ver anexo H)

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.25 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias D1, D2, D3, D4, D5, D6 y D7, en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda OESTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.25: Demanda anual en calef. viv. OESTE con mejoram. transmitancia térmica en muros Nivel 1. Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. OESTE Sit. Actual	Mejoramiento: Pol.Exp.20mm	Mejoramiento: Pol.Exp.50mm	Mejoramiento: Pol.Exp.80mm	Mejoramiento: Pol.Exp.110mm	Mejoramiento: Pol.Exp.140mm	Mejoramiento: Pol.Exp.170mm	Mejoramiento: Pol.Exp.200mm
Consumo anual (Wh)	24.342.800	21.078.970	19.788.895	19.301.316	19.044.626	18.885.547	18.777.091	18.699.321
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	166.834	144.466	135.624	132.282	130.523	129.433	128.690	128.157
Comparación	100,00%	86,59%	81,29%	79,29%	78,24%	77,58%	77,14%	76,82%
Reducción		-13,41%	-18,71%	-20,71%	-21,76%	-22,42%	-22,86%	-23,18%
C	117,10	101,40	95,20	92,85	91,61	90,85	90,33	89,95
Calific. Térmica	F	E	E	E	E	E	E	E

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento de transmitancia térmica de muros Nivel 1 para la vivienda OESTE.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.26 se presenta a una síntesis de las estrategias D1, D2, D3, D4, D5, D6 y D7 (mejoramiento transmitancia térmica muros Nivel 1), en orientación OESTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.26: Resumen Técnico-Económico Vivienda Oeste, Muros Nivel 1. Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8%	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría vivienda	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Costo energía > 5,4% año	Total kWh	Por m2		
Situación Actual	0	0	0	0	0	0	x	24.342	166,8	F	La vivienda existente consume un 17,10% más que la viv. base normativa
Estrategia D1 (poliest.20mm)	1.848	80,43	\$215.217	9,37 UF	1.360	58,52	11	21.078	144,4	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. el año 11 (ver anexo H)
Estrategia D2 (poliest.50mm)	1.910	83,12	\$300.284	13,07 UF	2.545	110,76	8	19.788	135,6	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 8 (ver anexo H)
Estrategia D3 (poliest.80mm)	2.065	89,89	\$332.435	14,47 UF	2.866	124,74	8	19.301	132,2	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 8 (ver anexo H)
Estrategia D4 (poliest.110mm)	2.073	90,22	\$349.362	15,20 UF	3.110	135,34	7	19.044	130,5	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 7 (ver anexo H)
Estrategia D5 (poliest.140mm)	2.139	93,11	\$359.851	15,66 UF	3.119	139,23	7	18.885	129,4	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 7 (ver anexo H)
Estrategia D6 (poliest.170mm)	2.177	94,75	\$367.003	15,97 UF	3.267	142,20	7	18.777	128,6	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 7 (ver anexo H)
Estrategia D7 (poliest.200mm)	2.239	97,44	\$372.131	16,19 UF	3.282	142,82	7	18.699	128,1	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 7 (ver anexo H)

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.27 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias D1, D2, D3, D4, D5, D6 y D7, en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda SUR (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.27: Demanda anual en calef. viv. SUR con mejoram. transmitancia térmica en muros Nivel 1. Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. SUR Sit. Actual	Mejoramiento: Pol.Exp.20mm	Mejoramiento: Pol.Exp.50mm	Mejoramiento: Pol.Exp.80mm	Mejoramiento: Pol.Exp.110mm	Mejoramiento: Pol.Exp.140mm	Mejoramiento: Pol.Exp.170mm	Mejoramiento: Pol.Exp.200mm
Consumo anual (Wh)	23.721.490	20.427.072	19.117.688	18.620.469	18.358.953	18.196.588	18.087.088	18.007.186
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	162.576	139.998	131.024	127.616	125.824	124.711	123.961	123.413
Comparación	100,00%	86,11%	80,59%	78,50%	77,39%	76,71%	76,25%	75,91%
Reducción		-13,89%	-19,41%	-21,50%	-22,61%	-23,29%	-23,75%	-24,09%
C	117,77	101,41	94,91	92,44	91,15	90,34	89,80	89,40
Calific. Térmica	F	E	E	E	E	E	E	E

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento de transmitancia térmica de muros Nivel 1 para la vivienda SUR.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.28 se presenta a una síntesis de las estrategias D1, D2, D3, D4, D5, D6 y D7 (mejoramiento transmitancia térmica muros Nivel 1), en orientación SUR para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.28: Resumen Técnico-Económico Vivienda Sur, Muros Nivel 1. Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8%	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría vivienda	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Costo energía > 5,4% año	Total kWh	Por m2		
Situación Actual	0	0	0	0	0	0	x	23.721	162,5	F	La vivienda existente consume un 17,77% más que la viv. base normativa
Estrategia D1 (poliest.20mm)	1.848	80,43	\$217.234	9,45 UF	1.374	59,83	11	20.427	139,9	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. el año 11 (ver anexo H)
Estrategia D2 (poliest.50mm)	1.910	83,12	\$303.575	13,21 UF	2.594	112,88	8	19.117	131,0	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 8 (ver anexo H)
Estrategia D3 (poliest.80mm)	2.065	89,89	\$336.361	14,64 UF	2.924	127,28	8	18.620	127,6	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 8 (ver anexo H)
Estrategia D4 (poliest.110mm)	2.073	90,22	\$353.606	15,39 UF	3.173	138,08	7	18.358	125,8	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 7 (ver anexo H)
Estrategia D5 (poliest.140mm)	2.139	93,11	\$364.312	15,85 UF	3.265	142,11	7	18.196	124,7	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 7 (ver anexo H)
Estrategia D6 (poliest.170mm)	2.177	94,75	\$371.532	16,17 UF	3.334	145,13	7	18.087	123,9	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 7 (ver anexo H)
Estrategia D7 (poliest.200mm)	2.239	97,44	\$376.801	16,40 UF	3.351	145,84	7	18.007	123,4	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 7 (ver anexo H)

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.29 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias D1, D2, D3, D4, D5, D6 y D7, en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda NORTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.29: Demanda anual en calef. viv. NORTE con mejoram. transmitancia térmica en muros Nivel 1. Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. Norte Sit. Actual	Mejoramiento: Pol.Exp.20mm	Mejoramiento: Pol.Exp.50mm	Mejoramiento: Pol.Exp.80mm	Mejoramiento: Pol.Exp.110mm	Mejoramiento: Pol.Exp.140mm	Mejoramiento: Pol.Exp.170mm	Mejoramiento: Pol.Exp.200mm
Consumo anual (Wh)	23.391.362	20.091.805	18.789.538	18.296.356	18.036.304	17.875.531	17.766.726	17.688.261
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	160.314	137.700	128.775	125.395	123.613	122.511	121.765	121.227
Comparación	100,00%	85,89%	80,33%	78,22%	77,11%	76,42%	75,95%	75,62%
Reducción		-14,11%	-19,67%	-21,78%	-22,89%	-23,58%	-24,05%	-24,38%
C	117,96	101,32	94,76	92,27	90,96	90,15	89,60	89,20
Calific. Térmica	F	E	E	E	E	E	E	E

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento de transmitancia térmica de muros Nivel 1 para la vivienda NORTE.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.30 se presenta a una síntesis de las estrategias D1, D2, D3, D4, D5, D6 y D7 (mejoramiento transmitancia térmica muros Nivel 1), en orientación NORTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.30: Resumen Técnico-Económico Vivienda Norte, Muros Nivel 1. Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8%	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría vivienda	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Costo energía > 5,4% año	Total kWh	Por m2		
Situación Actual	0	0	0	0	0	0	x	23.391	160,3	F	La vivienda existente consume un 17,96% más que la viv. base normativa
Estrategia D1 (poliest.20mm)	1.848	80,43	\$217.573	9,47 UF	1.379	60,04	11	20.091	137,7	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. el año 11 (ver anexo H)
Estrategia D2 (poliest.50mm)	1.910	83,12	\$303.444	13,20 UF	2.592	112,80	8	18.789	128,7	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 8 (ver anexo H)
Estrategia D3 (poliest.80mm)	2.065	89,89	\$335.965	14,62 UF	2.918	127,02	8	18.296	125,3	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 8 (ver anexo H)
Estrategia D4 (poliest.110mm)	2.073	90,22	\$353.113	15,37 UF	3.165	137,76	7	18.036	123,6	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 7 (ver anexo H)
Estrategia D5 (poliest.140mm)	2.139	93,11	\$363.714	15,83 UF	3.256	141,72	7	17.875	122,5	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 7 (ver anexo H)
Estrategia D6 (poliest.170mm)	2.177	94,75	\$370.888	16,14 UF	3.325	144,71	7	17.766	121,7	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 7 (ver anexo H)
Estrategia D7 (poliest.200mm)	2.239	97,44	\$376.062	16,36 UF	3.340	145,36	7	17.688	121,2	E	La vivienda mejorada no logra recuperar la inv. El año 7 (ver anexo H)

#### 4.3.4.4.2.- MEJORAMIENTO TRANSMITANCIA TÉRMICA DE MUROS NIVEL 2

##### ESTRATEGIA E:

E1- Aumento de aislación en muros nivel 2. Utilización de poliestireno expandido **20mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 0,59 a 0,44 W/m<sup>2</sup>K).

E2- Aumento de aislación en muros nivel 2. Utilización de poliestireno expandido **50mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 0,59 a 0,31 W/m<sup>2</sup>K).

E3- Aumento de aislación en muros nivel 2. Utilización de poliestireno expandido **80mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 0,59 a 0,25 W/m<sup>2</sup>K).

E4- Aumento de aislación en muros nivel 2. Utilización de poliestireno expandido **110mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 0,59 a 0,20 W/m<sup>2</sup>K).

E5- Aumento de aislación en muros nivel 2. Utilización de poliestireno expandido **140mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 0,59 a 0,17 W/m<sup>2</sup>K).

E6- Aumento de aislación en muros nivel 2. Utilización de poliestireno expandido **170mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 0,59 a 0,15 W/m<sup>2</sup>K).

E7- Aumento de aislación en muros nivel 2. Utilización de poliestireno expandido **200mm** densidad 15 Kg/m<sup>3</sup> (U disminuye de 0,59 a 0,13 W/m<sup>2</sup>K).

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.31 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias E1, E2, E3, E4, E5, E6 y E7, en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda ESTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.31: Demanda anual en calef. viv. ESTE con mejoram. transmitancia térmica en muros Nivel 2. Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. (Wh) Viv. ESTE Sit. Actual	Mejoramiento: Pol.Exp.20mm	Mejoramiento: Pol.Exp.50mm	Mejoramiento: Pol.Exp.80mm	Mejoramiento: Pol.Exp.110mm	Mejoramiento: Pol.Exp.140mm	Mejoramiento: Pol.Exp.170mm	Mejoramiento: Pol.Exp.200mm
Consumo anual (Wh)	24.784.585	24.775.980	24.768.432	24.763.896	24.760.862	24.758.691	24.757.056	24.755.842
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	169.862	169.803	169.751	169.720	169.700	169.685	169.673	169.665
Comparación	100,00%	99,97%	99,93%	99,92%	99,90%	99,90%	99,89%	99,88%
Reducción	0%	-0,03%	-0,07%	-0,08%	-0,10%	-0,10%	-0,11%	-0,12%
C	116,77	116,73	116,69	116,67	116,65	116,64	116,64	116,63
Calific. Térmica	F	F	F	F	F	F	F	F

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento de transmitancia térmica de muros Nivel 2 para la vivienda ESTE.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.32 se presenta a una síntesis de las estrategias E1, E2, E3, E4, E5, E6 y E7 (mejoramiento transmitancia térmica muros Nivel 2), en orientación ESTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.32: Resumen Técnico-Económico Vivienda Este, Muros Nivel 2. Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8% Costo energía > 5,4% año	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría vivienda	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF		Total kWh	Por m2		
Situación Actual	0	0	0	0	0	0	x	24.784	169,8	F	La vivienda existente consume un 16,77% más que la viv. base normativa
Estrategia E1 (poliest.20mm)	663	28,85	\$567	0,02 UF	-654	-28,49	X	24.775	169,8	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E2 (poliest.50mm)	705	30,68	\$1.065	0,05 UF	-689	-30,00	X	24.768	169,7	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E3 (poliest.80mm)	867	37,74	\$1.364	0,06 UF	-847	-36,86	X	24.763	169,7	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E4 (poliest.110mm)	1.029	44,80	\$1.564	0,07 UF	-1.006	-43,79	X	24.760	169,7	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E5 (poliest.140mm)	1.074	46,76	\$1.707	0,07 UF	-1.049	-45,66	X	24.758	169,6	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E6 (poliest.170mm)	1.207	52,52	\$1.815	0,08 UF	-1.180	-51,36	X	24.757	169,6	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E7 (poliest.200mm)	1.249	54,35	\$1.895	0,08 UF	-1.220	-53,13	X	24.755	169,6	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.33 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias E1, E2, E3, E4, E5, E6 y E7, en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda OESTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.33: Demanda anual en calef. viv. OESTE con mejoram. transmitancia térmica en muros Nivel 2. Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. OESTE Sit. Actual	Mejoramiento: Pol.Exp.20mm	Mejoramiento: Pol.Exp.50mm	Mejoramiento: Pol.Exp.80mm	Mejoramiento: Pol.Exp.110mm	Mejoramiento: Pol.Exp.140mm	Mejoramiento: Pol.Exp.170mm	Mejoramiento: Pol.Exp.200mm
Consumo anual (Wh)	24.342.800	24.334.316	24.326.871	24.322.392	24.319.403	24.317.267	24.315.669	24.314.426
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	166.834	166.776	166.725	166.694	166.674	166.659	166.648	166.640
Comparación	100,00%	99,97%	99,93%	99,92%	99,90%	99,90%	99,89%	99,88%
Reducción		-0,03%	-0,07%	-0,08%	-0,10%	-0,10%	-0,11%	-0,12%
C	117,10	117,06	117,03	117,00	116,99	116,98	116,97	116,97
Calific. Térmica	F	F	F	F	F	F	F	F

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento de transmitancia térmica de muros Nivel 2 para la vivienda OESTE.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.35 se presenta una síntesis de las estrategias E1, E2, E3, E4, E5, E6 y E7 (mejoramiento transmitancia térmica muros Nivel 2), en orientación OESTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.35: Resumen Técnico-Económico Vivienda Oeste, Muros Nivel 2. Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8% Costo energía > 5,4% año	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría vivienda	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF		Total kWh	Por m2		
Situación Actual	0	0	0	0	0	0	x	24.342	166,8	F	La vivienda existente consume un 17,10% más que la viv. base normativa
Estrategia E1 (poliest.20mm)	663	28,85	\$559	0,02 UF	-654	-28,50	X	24.334	166,7	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E2 (poliest.50mm)	705	30,68	\$1.050	0,05 UF	-689	-30,00	X	24.326	166,7	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E3 (poliest.80mm)	867	37,74	\$1.346	0,06 UF	-847	-36,87	X	24.322	166,6	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E4 (poliest.110mm)	1.029	44,80	\$1.543	0,07 UF	-1.006	-43,81	X	24.319	166,6	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E5 (poliest.140mm)	1.074	46,76	\$1.684	0,07 UF	-1.049	-45,68	X	24.317	166,6	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E6 (poliest.170mm)	1.207	52,52	\$1.789	0,08 UF	-1.180	-51,37	X	24.315	166,6	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E7 (poliest.200mm)	1.249	54,35	\$1.871	0,08 UF	-1.221	-53,15	X	24.314	166,6	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.36 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias E1, E2, E3, E4, E5, E6 y E7, en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda SUR (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.36: Demanda anual en calef. viv. SUR con mejoram. transmitancia térmica en muros Nivel 2. Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. SUR Sit. Actual	Mejoramiento: Pol.Exp.20mm	Mejoramiento: Pol.Exp.50mm	Mejoramiento: Pol.Exp.80mm	Mejoramiento: Pol.Exp.110mm	Mejoramiento: Pol.Exp.140mm	Mejoramiento: Pol.Exp.170mm	Mejoramiento: Pol.Exp.200mm
Consumo anual (Wh)	23.721.490	23.712.965	23.705.462	23.700.932	23.697.915	23.695.762	23.694.143	23.692.904
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	162.576	162.518	162.466	162.435	162.415	162.400	162.389	162.380
Comparación	100,00%	99,96%	99,93%	99,91%	99,90%	99,89%	99,88%	99,88%
Reducción	0%	-0,04%	-0,07%	-0,09%	-0,10%	-0,11%	-0,12%	-0,12%
C	117,77	117,73	117,69	117,67	117,65	117,64	117,63	117,63
Calific. Térmica	F	F	F	F	F	F	F	F

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento de transmitancia térmica de muros Nivel 2 para la vivienda SUR.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.37 se presenta una síntesis de las estrategias E1, E2, E3, E4, E5, E6 y E7 (mejoramiento transmitancia térmica muros Nivel 2), en orientación SUR para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.37: Resumen Técnico-Económico Vivienda Sur, Muros Nivel 2. Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8% Costo energía > 5,4% año	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría vivienda	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF		Total kWh	Por m2		
Situación Actual	0	0	0	0	0	0	x	23.721	162,5	F	La vivienda existente consume un 17,77% más que la viv. base normativa
Estrategia E1 (poliest.20mm)	663	28,85	\$562	0,02 UF	-654	-28,49	X	23.712	162,5	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E2 (poliest.50mm)	705	30,68	\$1.057	0,05 UF	-689	-30,00	X	23.705	162,4	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E3 (poliest.80mm)	867	37,74	\$1.356	0,06 UF	-847	-36,8	X	23.700	162,4	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E4 (poliest.110mm)	1.029	44,80	\$1.555	0,07 UF	-1.006	-43,80	X	23.697	162,4	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E5 (poliest.140mm)	1.074	46,76	\$1.697	0,07 UF	-1.049	-45,67	X	23.695	162,4	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E6 (poliest.170mm)	1.207	52,52	\$1.803	0,08 UF	-1.180	-51,36	X	23.694	162,3	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E7 (poliest.200mm)	1.249	54,35	\$1.885	0,08 UF	-1.221	-53,14	X	23.692	162,3	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.38 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias E1, E2, E3, E4, E5, E6 y E7, en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda NORTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.38: Demanda anual en calef. viv. NORTE con mejoram. transmitancia térmica en muros Nivel 2. Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. Norte Sit. Actual	Mejoramiento: Pol.Exp.20mm	Mejoramiento: Pol.Exp.50mm	Mejoramiento: Pol.Exp.80mm	Mejoramiento: Pol.Exp.110mm	Mejoramiento: Pol.Exp.140mm	Mejoramiento: Pol.Exp.170mm	Mejoramiento: Pol.Exp.200mm
Consumo anual (Wh)	23.391.362	23.382.846	23.374.978	23.370.418	23.367.510	23.365.383	23.363.771	23.362.519
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	160.314	160.255	160.201	160.170	160.150	160.136	160.125	160.116
Comparación	100,00%	99,96%	99,93%	99,91%	99,90%	99,89%	99,88%	99,88%
Reducción		-0,04%	-0,07%	-0,09%	-0,10%	-0,11%	-0,12%	-0,12%
C	117,96	117,92	117,88	117,86	117,84	117,83	117,82	117,82
Calific. Térmica	F	F	F	F	F	F	F	F

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento de transmitancia térmica de muros Nivel 2 para la vivienda NORTE.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.39 se presenta una síntesis de las estrategias E1, E2, E3, E4, E5, E6 y E7 (mejoramiento transmitancia térmica muros Nivel 2), en orientación NORTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.39: Resumen Técnico-Económico Vivienda Norte, Muros Nivel 2. Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8%	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría vivienda	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Costo energía > 5,4% año	Total kWh	Por m2		
Situación Actual	0	0	0	0	0	0	x	23.391	160,3	F	La vivienda existente consume un 17,96% más que la viv. base normativa
Estrategia E1 (poliest.20mm)	663	28,85	\$562	0,02 UF	-654	-28,49	X	23.382	160,2	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E2 (poliest.50mm)	705	30,68	\$1.080	0,05 UF	-689	-29,99	X	23.374	160,2	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E3 (poliest.80mm)	867	37,74	\$1.381	0,06 UF	-846	-36,85	X	23.370	160,1	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E4 (poliest.110mm)	1.029	44,80	\$1.573	0,07 UF	-1.006	-43,79	X	23.367	160,1	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E5 (poliest.140mm)	1.074	46,76	\$1.713	0,07 UF	-1.049	-45,66	X	23.365	160,1	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E6 (poliest.170mm)	1.207	52,52	\$1.819	0,08 UF	-1.180	-51,35	X	23.363	160,1	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)
Estrategia E7 (poliest.200mm)	1.249	54,35	\$1.902	0,08 UF	-1.220	-53,13	X	23.362	160,1	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)

#### 4.3.4.5.- DISMINUCIÓN DE VENTANAS QUE NO RECIBEN ASOLEAMIENTO

DIAGNOSTICO F:

Pérdida de calor, por exceso de ventanas con orientación sur.

ESTRATEGIA F:

Reducción de superficie de ventanas con orientación sur o sin exposición solar – Minimizar las pérdidas térmicas por conducción, como se puede ver en las figuras 4.53 y 4.54.



**Figura 4.53: Caso en estudio- situación existente**  
 Fuente: Elaboración propia con Sketchup



**Figura 4.54: Caso en estudio- situación propuesta, disminución ventanas fachada sur**  
 Fuente: Elaboración propia con Sketchup

F VIVIENDA ESTE – Disminución de una superficie de 6,749 m<sup>2</sup> de ventanas en fachada sur y en fachada oriente, en sector no expuesto a radiación solar.

F VIVIENDA OESTE – Disminución de una superficie de 5,635 m<sup>2</sup> de ventanas en fachada sur y en fachada poniente, en sector no expuesto a radiación solar.

F VIVIENDA SUR – Disminución de una superficie de 5,624 m<sup>2</sup> de ventanas en fachada sur y en sectores no expuesto a radiación solar.

F VIVIENDA NORTE – Disminución de una superficie de 5,519 m<sup>2</sup> de ventanas en fachada sur y en sectores no expuesto a radiación solar.

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.40 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para la estrategia F, en comparación con el consumo en calefacción de la situación actual de la vivienda ESTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.40: Demanda anual en calef. viv. ESTE c/disminuc. ventanas que reciben baja radiac. solar**

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder

	Demanda Calef. Viv. Este Sit. Actual	Demanda Calef. Viv. ESTE c/disminución de ventanas sin sol
Consumo anual (Wh)	24.784.585	24.204.849
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	169.862	165.889
COMPARACIÓN	100,00%	97,66%
Diferencia		-2,34%
C	116,77	114,04
Calific. Térmica	F	F

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de la estrategia de disminución de ventanas que reciben baja radiación solar directa para la vivienda ESTE.

### VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO)

En la tabla 4.41 se presenta a una síntesis de la estrategia F (disminución de ventanas que reciben baja radiación solar directa), en orientación ESTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.41: Resumen Técnico-Económico Vivienda Este, con disminución de ventanas que reciben baja radiación solar directa**

Fuente: Elaboración propia

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Recuper. Invers. Tasa 8% anual	Consumo energía en calef. (kWh)		Categoría de la vivienda / Certificación	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Energía > 5,4%	Total	Por m2		
<b>Situación Actual</b>	0	0	0	0	0	0	X	24.784	169,8	F	La vivienda exist. consume 16,77% más que la viv. base normativa
<b>Estrategia F</b>	313	13,66	\$38.228	1,66 UF	-253	-11,02	10	24.204	165,88	F	<b>La vivienda mejorada logra recuperar la inversión en el año 10 (ver anexo H)</b>

\*\*Valor del kerosene en Temuco el día 07.08.2013 (UF: \$22.980)

1lt= \$628 = 0,027UF

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.42 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para la estrategia F, en comparación con el consumo en calefacción de la situación actual de la vivienda OESTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.42: Demanda anual en calef. viv. OESTE c/disminuc. ventanas que reciben baja radiac. solar**

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder.

	Demanda Calef. Viv. Oeste Sit. Actual	Demanda Calefacción Viv. Oeste c/disminución de ventanas sin sol
<b>Consumo anual (Wh)</b>	<b>24.342.800</b>	<b>24.189.774</b>
<b>Consumo total por unidad de sup. (Wh/m<sup>2</sup> año)</b>	<b>166.834</b>	<b>165.786</b>
<b>COMPARACIÓN</b>	100,00%	99,37%
<b>Diferencia</b>		-0,63%
<b>C</b>	117,10	116,37
<b>Calific. Térmica</b>	<b>F</b>	<b>F</b>

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de la estrategia de disminución de ventanas que reciben baja radiación solar directa para la vivienda OESTE.

### VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO)

En la tabla 4.43 se presenta a una síntesis de la estrategia F (disminución de ventanas que reciben baja radiación solar directa), en orientación OESTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.43: Resumen Técnico-Económico Vivienda Oeste, con disminución de ventanas que reciben baja radiación solar directa**

Fuente: Elaboración propia

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Recuper. Invers. Tasa 8% anual	Consumo energía en calef. (kWh)		Categoría de la vivienda / Certificación	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Energía > 5,4%	Total	Por m2		
<b>Situación Actual</b>	0	0	0	0	0	0	X	24.342	166,83	F	La vivienda exist. consume 17,10% más que la viv. base normativa
<b>Estrategia F</b>	210	9,14	\$10.091	0,43 UF	-60	-2,63	X	24.189	165,78	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)

\*\*Valor del kerosene en Temuco el día 07.08.2013 (UF: \$22.980)

1lt= \$628 = 0,027UF

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.44 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para la estrategia F, en comparación con el consumo en calefacción de la situación actual de la vivienda SUR (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.44: Demanda anual calef. viv. SUR c/disminuc. ventanas que reciben baja radiac. solar**  
**Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. Sur Sit. Actual	Demanda Calefacción Viv. Sur c/disminución de ventanas sin sol
<b>Consumo anual (Wh)</b>	<b>23.721.490</b>	<b>23.332.214</b>
<b>Consumo total por unidad de sup. (Wh/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>162.576</b>	<b>159.908</b>
<b>COMPARACIÓN</b>	100,00%	98,36%
<b>Diferencia</b>		-1,64%
<b>C</b>	117,77	115,84
<b>Calific. Térmica</b>	<b>F</b>	<b>F</b>

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de la estrategia de disminución de ventanas que reciben baja radiación solar directa para la vivienda SUR.

### VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO)

En la tabla 4.45 se presenta a una síntesis de la estrategia F (disminución de ventanas que reciben baja radiación solar directa), en orientación SUR para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.45: Resumen Técnico-Económico Vivienda Sur, con disminución de ventanas que reciben baja radiación solar directa**  
**Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Recuper. Invers. Tasa 8% anual	Consumo energía en calef. (kWh)		Categoría de la vivienda / Certificación	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Energía > 5,4%	Total	Por m2		
<b>Situación Actual</b>	0	0	0	0	0	0	X	23.721	162,57	F	La vivienda exist. consume 17,77% más que la viv. base normativa
<b>Estrategia F</b>	278	12,09	\$25.669	1,11 UF	102	4,47	14	23.332	159,90	F	La vivienda mejorada logra recuperar la inversión en el año 14 (ver anexo H)

\*\*Valor del kerosene en Temuco el día 07.08.2013 (UF: \$22.980)

1lt= \$628 = 0,027UF

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.46 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para la estrategia F, en comparación con el consumo en calefacción de la situación actual de la vivienda NORTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.46: Demanda anual calef. viv. NORTE c/disminuc. ventanas que reciben baja radiac. solar**  
**Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. Norte Sit. Actual	Demanda Calefacción Viv. Norte c/disminución de ventanas sin sol
Consumo anual (Wh)	23.391.362	23.064.392
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	160.314	158.073
COMPARACIÓN	100,00%	98,60%
Diferencia		-1,40%
C	117,96	116,31
Calific. Térmica	F	F

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de la estrategia de disminución de ventanas que reciben baja radiación solar directa para la viv. NORTE.

### VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO)

En la tabla 4.47 se presenta a una síntesis de la estrategia F (disminución de ventanas que reciben baja radiación solar directa), en orientación NORTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.47: Resumen Técnico-Económico Vivienda Norte, con disminución de ventanas que reciben baja radiación solar directa**  
**Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Recuper. Invers. Tasa 8% anual	Consumo energía en calef. (kWh)		Categoría de la vivienda / Certificación	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Energía > 5,4%	Total	Por m2		
<b>Situación Actual</b>	0	0	0	0	0	0	X	23.391	160,31	F	La vivienda exist. consume 17,77% más que la viv. base normativa
<b>Estrategia F</b>	272	11,85	\$21.560	0,93 UF	47	2,06	17	23.064	158,07	F	<b>La vivienda mejorada logra recuperar la inversión en el año 17 (ver anexo H)</b>

\*\*Valor del kerosene en Temuco el día 07.08.2013 (UF: \$22.980)

1lt= \$628 = 0,027UF

#### 4.3.4.6.- AUMENTAR VENTANAS FACHADA NORTE

##### DIAGNÓSTICO G:

Bajas ganancias térmicas pasivas, provenientes de radiación solar.

##### ESTRATEGIA G:

Aumentar ventanas en cubierta con orientación norte.

Permitir mayor penetración de la radiación solar en invierno y maximizar ganancias solares pasivas, como se puede ver en las figuras 4.55 a 4.58.

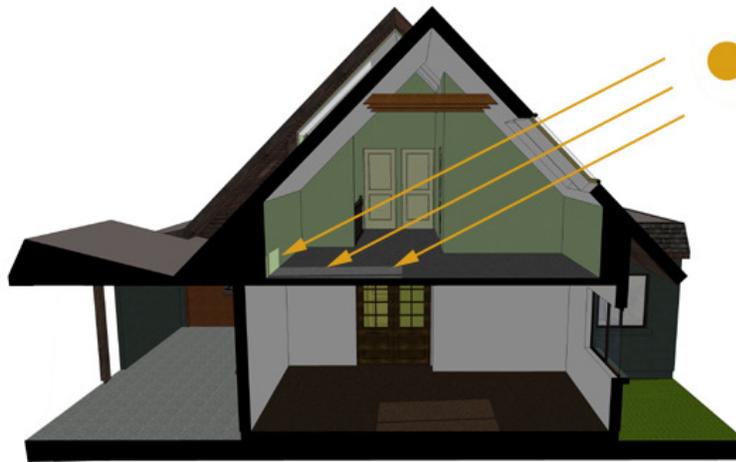


Figura 4.55: Modelo virtual de sombras proyectadas en Corte. Vivienda Sur, 21Junio 12:00hrs. Dormitorio Matrimonial N2-1.



Figura 4.56: Modelo virtual de sombras proyectadas en Corte. Vivienda Sur, 21Junio 12:00hrs. Hall Nivel 2.

G VIVIENDA ESTE – Generar nuevas ventanas en fachada norte con una superficie de 3,36 m<sup>2</sup> en nivel 1 y 1,28 m<sup>2</sup> en nivel 2; es decir, un total de 4,64 m<sup>2</sup> de ventanas.

G VIVIENDA OESTE – Generar nuevas ventanas en fachada norte con una superficie de 3,10 m<sup>2</sup> en nivel 1 y 1,83 m<sup>2</sup> en nivel 2; es decir, un total de 4,93 m<sup>2</sup> de ventanas.

G VIVIENDA SUR – Generar nuevas ventanas en fachada norte con una superficie de 1,40 m<sup>2</sup> en nivel 1 y 6,39 m<sup>2</sup> en nivel 2 (ventanas de techo); es decir, un total de 7,79 m<sup>2</sup> de ventanas.

G VIVIENDA NORTE – Generar nuevas ventanas en fachada norte con una superficie de 5,08 m<sup>2</sup> en nivel 1 y 6,38 m<sup>2</sup> en nivel 2 (ventanas de techo); es decir, un total de 11,46 m<sup>2</sup> de ventanas.



**Figura 4.57: Caso en estudio- situación existente**  
 Fuente: Elaboración propia con Sketchup



**Figura 4.58: Caso en estudio- situación propuesta, aumentar ventanas fachada norte**  
 Fuente: Elaboración propia con Sketchup

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.48 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para la estrategia G, en comparación con el consumo en calefacción de la situación actual de la vivienda ESTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.48: Demanda anual en calef. viv. ESTE c/incremento de ventanas**  
**Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. Este Sit. Actual	Demanda Calefacción Viv. ESTE c/incremento de ventanas de fachada norte
Consumo anual (Wh)	24.784.585	24.435.910
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	169.862	167,472
COMPARACIÓN	100,00%	98,59%
Diferencia		-1,41%
C	116,77	115,12
Calific. Térmica	F	F

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de la estrategia de incremento de ventanas en fachada que recibe alta radiación solar directa para la viv. ESTE.

### VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO)

En la tabla 4.49 se presenta a una síntesis de la estrategia G (disminución de ventanas que reciben baja radiación solar directa), en orientación ESTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.49: Resumen Técnico-Económico Vivienda Este, con incremento de ventanas que reciben alta radiación solar directa**  
**Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Recuper. Invers. Tasa 8% anual	Consumo energía en calef. (kWh)		Categoría de la vivienda / Certificación	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Energía > 5,4%	Total	Por m2		
<b>Situación Actual</b>	0	0	0	0	0	0	X	24.784	169,86	F	La vivienda exist. consume 16,77% más que la viv. base normativa
<b>Estrategia G</b>	328	14,30	\$22.992	1,00 UF	12	0,54	20	24.435	167,47	F	<b>La vivienda mejorada logra recuperar la inversión en el año 20 (ver anexo H)</b>

\*\*Valor del kerosene en Temuco el día 07.08.2013 (UF: \$22.980)  
 1lt= \$628 = 0,027UF

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.50 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para la estrategia G, en comparación con el consumo en calefacción de la situación actual de la vivienda OESTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.50: Demanda anual en calef. viv. OESTE c/incremento de ventanas**

**Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. Oeste Sit. Actual	Demanda Calefacción Viv. Oeste c/aumento de ventanas con sol
<b>Consumo anual (Wh)</b>	<b>24.342.800</b>	<b>23.943.595</b>
<b>Consumo total por unidad de sup. (Wh/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>166.834</b>	<b>164.098</b>
<b>COMPARACIÓN</b>	100,00%	98,36%
<b>Diferencia</b>		-1,64%
<b>C</b>	117,10	115,18
<b>Calific. Térmica</b>	<b>F</b>	<b>F</b>

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de la estrategia de incremento de ventanas en fachada que recibe alta radiación solar directa para la vivienda OESTE.

### VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO)

En la tabla 4.51 se presenta a una síntesis de la estrategia G (disminución de ventanas que reciben baja radiación solar directa), en orientación OESTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.51: Resumen Técnico-Económico Vivienda Oeste, con incremento de ventanas que reciben alta radiación solar directa**

**Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Recuper. Invers. Tasa 8% anual	Consumo energía en calef. (kWh)		Categoría de la vivienda / Certificación	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF		Energía > 5,4%	Total		
<b>Situación Actual</b>	0	0	0	0	0	0	X	24.342	166,83	F	La vivienda exist. consume 17,10% más que la viv. base normativa
<b>Estrategia G</b>	369	16,06	\$26.324	1,14 UF	21	0,93	19	23.943	164,09	F	La vivienda mejorada logra recuperar la inversión en el año 19 (ver anexo H)

\*\*Valor del kerosene en Temuco el día 07.08.2013 (UF: \$22.980)

1lt= \$628 = 0,027UF

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.52 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para la estrategia G, en comparación con el consumo en calefacción de la situación actual de la vivienda SUR (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.52: Demanda anual en calef. viv. SUR c/incremento de ventanas**  
**Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. Sur Sit. Actual	Demanda Calefacción Viv. Sur c/aumento de ventanas norte
<b>Consumo anual (Wh)</b>	<b>23.721.490</b>	<b>22.051.068</b>
<b>Consumo total por unidad de sup. (Wh/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>162.576</b>	<b>151.128</b>
<b>COMPARACIÓN</b>	100,00%	92,96%
<b>Diferencia</b>		-7,04%
<b>C</b>	117,77	109,48
<b>Calific. Térmica</b>	<b>F</b>	<b>E</b>

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de la estrategia de incremento de ventanas en fachada que recibe alta radiación solar directa para la vivienda SUR.

### VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO)

En la tabla 4.53 se presenta a una síntesis de la estrategia G (disminución de ventanas que reciben baja radiación solar directa), en orientación SUR para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.53: Resumen Técnico-Económico Vivienda Sur, con incremento de ventanas que reciben alta radiación solar directa**  
**Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Recuper. Invers. Tasa 8% anual	Consumo energía en calef. (kWh)		Categoría de la vivienda / Certificación	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Energía > 5,4%	Total	Por m2		
<b>Situación Actual</b>	0	0	0	0	0	0	X	23.721	162,57	F	La vivienda exist. consume 17,77% más que la viv. base normativa
<b>Estrategia G</b>	1.588	69,10	\$110.148	4,79 UF	46	2,01	20	23.943	164,09	F	La vivienda mejorada logra recuperar la inversión en el año 20 (ver anexo H)

\*\*Valor del kerosene en Temuco el día 07.08.2013 (UF: \$22.980)

1lt= \$628 = 0,027UF

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.54 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para la estrategia G, en comparación con el consumo en calefacción de la situación actual de la vivienda NORTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.54: Demanda anual en calef. viv. NORTE c/incremento de ventanas**

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder

	Demanda Calef. (Wh) Viv. Norte Sit. Actual	Demanda Calefacción (Wh) Viv. Norte c/aumento de ventanas norte
Consumo anual (Wh)	23.391.362	21.856.580
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	160.314	149.795
COMPARACIÓN	100,00%	93,44%
Diferencia		-7,04%
C	117,96	110,22
Calific. Térmica	F	E

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de la estrategia de incremento de ventanas en fachada que recibe alta radiación solar directa para la vivienda NORTE.

### VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO)

A En la tabla 4.55 se presenta a una síntesis de la estrategia G (disminución de ventanas que reciben baja radiación solar directa), en orientación NORTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.55: Resumen Técnico-Económico Vivienda Norte, con incremento de ventanas que reciben alta radiación solar directa**

Fuente: Elaboración propia

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Recuper. Invers. Tasa 8% anual	Consumo energía en calef. (kWh)		Categoría de la vivienda / Certificación	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Energía > 5,4%	Total	Por m2		
<b>Situación Actual</b>	0	0	0	0	0	0	X	23.391	160,31	F	La vivienda exist. consume 17,77% más que la viv. base normativa
<b>Estrategia G</b>	1.841	80,13	\$101.204	4,40 UF	-339	-14,78	X	21.856	149,79	F	<b>La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)</b>

\*\*Valor del kerosene en Temuco el día 07.08.2013 (UF: \$22.980)

1lt= \$628 = 0,027UF

#### **4.3.4.7.- ELIMINAR ELEMENTOS QUE OBSTRUYEN LA RADIACIÓN SOLAR DIRECTA SOBRE VENTANAS.**

DIAGNÓSTICO H:

Bajas ganancias térmicas pasivas, provenientes de radiación solar.

ESTRATEGIA H:

Eliminar elementos arquitectónicos (aleros) que obstruyen la radiación solar directa sobre ventanas.

Permitir mayor penetración de la radiación solar en invierno y maximizar ganancias solares pasivas.

Ejemplos arquitectónicos de viviendas sin aleros, que poseen bajo consumo energético se pueden ver en las figuras 4.59 y 4.60.



**Figura 4.59: Casa en El Escorial, España**  
Arquitecto: Luca Lancini



**Figura 4.60: Casa W, Gräfenberg, Alemania**  
Arquitecto: Markus Gentner

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.56 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para la estrategia H, en comparación con el consumo en calefacción de la situación actual de la vivienda ESTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.56: Demanda anual calef. viv. ESTE c/eliminac. elementos que obstruyen la radiación solar**

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder

	Demanda Calef. Viv. Este Sit. Actual	Demanda Calefacción Viv. Este c/diminución aleros
<b>Consumo anual (Wh)</b>	<b>24.784.585</b>	<b>24.120.770</b>
<b>Consumo total por unidad de sup. (Wh/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>169.862</b>	<b>165.313</b>
<b>COMPARACIÓN</b>	100,00%	97,32%
<b>Diferencia</b>		-2,68%
<b>C</b>	116,77	113,64
<b>Calific. Térmica</b>	<b>F</b>	<b>F</b>

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de la estrategia de eliminación de elementos arquitectónicos que obstruyan la radiación solar directa sobre ventanas para la vivienda ESTE.

### VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO)

En la tabla 4.57 se presenta a una síntesis de la estrategia H (eliminación de elementos que obstruyen la radiación solar sobre ventanas), en orientación ESTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.57: Resumen Técnico-Económico Vivienda Este, con eliminación de elementos que obstruyen la radiación solar sobre ventanas**

Fuente: Elaboración propia

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Recuper. Invers. Tasa 8% anual	Consumo energía en calef. (kWh)		Categoría de la vivienda / Certificación	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Energía > 5,4%	Total	Por m2		
<b>Situación Actual</b>	0	0	0	0	0	0	X	24.784	169,86	F	La vivienda exist. consume 16,77% más que la viv. base normativa
<b>Estrategia H</b>	1.005	43,76	\$43.772	1,90 UF	-356	-15,50	X	24.120	165,31	F	La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)

\*\*Valor del kerosene en Temuco el día 07.08.2013 (UF: \$22.980)

1lt= \$628 = 0,027UF

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.58 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para la estrategia H, en comparación con el consumo en calefacción de la situación actual de la vivienda OESTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.58: Demanda anual calef. viv. OESTE c/eliminac. elementos que obstruyen la radiac. Solar**

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder

	Demanda Calef. Viv. Oeste Sit. Actual	Demanda Calefacción Viv. Oeste c/disminución aleros
<b>Consumo anual (Wh)</b>	<b>24.342.800</b>	<b>23.554.679</b>
<b>Consumo total por unidad de sup. (Wh/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>166.834</b>	<b>161.433</b>
<b>COMPARACIÓN</b>	100,00%	96,76%
<b>Diferencia</b>		-3,24%
<b>C</b>	117,10	113,31
<b>Calific. Térmica</b>	<b>F</b>	<b>F</b>

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de la estrategia de eliminación de elementos arquitectónicos que obstruyan la radiación solar directa sobre ventanas para la vivienda OESTE.

### VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO)

A En la tabla 4.59 se presenta a una síntesis de la estrategia H (eliminación de elementos que obstruyen la radiación solar sobre ventanas), en orientación OESTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.59: Resumen Técnico-Económico Vivienda Oeste, con eliminación de elementos que obstruyen la radiación solar sobre ventanas**

Fuente: Elaboración propia

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Recuper. Invers. Tasa 8% anual	Consumo energía en calef. (kWh)		Categoría de la vivienda / Certificación	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Energía > 5,4%	Total	Por m2		
<b>Situación Actual</b>	0	0	0	0	0	0	X	24.342	166,83	F	La vivienda exist. consume 17,10% más que la viv. base normativa
<b>Estrategia H</b>	1.005	43,76	\$51.969	2,26 UF	-234	-10,20	X	23.554	161,43	F	<b>La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)</b>

\*\*Valor del kerosene en Temuco el día 07.08.2013 (UF: \$22.980)

1lt= \$628 = 0,027UF

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.60 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para la estrategia H, en comparación con el consumo en calefacción de la situación actual de la vivienda SUR (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.60: Demanda anual calef. viv. SUR c/eliminac. elementos que obstruyen la radiac. solar**

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder

	Demanda Calef. (Wh) Viv. Sur Sit. Actual	Demanda Calefacción (Wh) Viv. Sur c/disminución aleros
Consumo anual (Wh)	23.721.490	22.776.044
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	162.576	156.097
COMPARACIÓN	100,00%	96,01%
Diferencia		-3,99%
C	117,77	113,07
Calific. Térmica	F	F

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de la estrategia de eliminación de elementos arquitectónicos que obstruyan la radiación solar directa sobre ventanas para la vivienda SUR.

### VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO)

A En la tabla 4.61 se presenta a una síntesis de la estrategia H (eliminación de elementos que obstruyen la radiación solar sobre ventanas), en orientación SUR para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.61: Resumen Técnico-Económico Vivienda Sur, con eliminación de elementos que obstruyen la radiación solar sobre ventanas**

Fuente: Elaboración propia

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Recuper. Invers. Tasa 8% anual	Consumo energía en calef. (kWh)		Categoría de la vivienda / Certificación	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Energía > 5,4%	Total	Por m2		
<b>Situación Actual</b>	0	0	0	0	0	0	X	23.721	162,57	F	La vivienda exist. consume 17,77% más que la viv. base normativa
<b>Estrategia H</b>	1.005	43,76	\$62.343	2,71 UF	-80	-5,51	X	22.776	156,09	F	<b>La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)</b>

\*\*Valor del kerosene en Temuco el día 07.08.2013 (UF: \$22.980)

1lt= \$628 = 0,027UF

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.62 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para la estrategia H, en comparación con el consumo en calefacción de la situación actual de la vivienda NORTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.62: Demanda anual calef. viv. NORTE c/eliminac. elementos que obstruyen la radiac. solar**  
**Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. Norte Sit. Actual	Demanda Calefacción Viv. Norte c/disminución aleros
<b>Consumo anual (Wh)</b>	<b>23.391.362</b>	<b>22.548.079</b>
<b>Consumo total por unidad de sup. (Wh/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>160.314</b>	<b>154.534</b>
<b>COMPARACIÓN</b>	100,00%	96,39%
<b>Diferencia</b>		-3,61%
<b>C</b>	117,96	113,71
<b>Calific. Térmica</b>	<b>F</b>	<b>F</b>

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de la estrategia de eliminación de elementos arquitectónicos que obstruyan la radiación solar directa sobre ventanas para la vivienda NORTE.

### VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO)

A En la tabla 4.63 se presenta a una síntesis de la estrategia H (eliminación de elementos que obstruyen la radiación solar sobre ventanas), en orientación NORTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.63: Resumen Técnico-Económico Vivienda Norte, con eliminación de elementos que obstruyen la radiación solar sobre ventanas**  
**Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Recuper. Invers. Tasa 8% anual	Consumo energía en calef. (kWh)		Categoría de la vivienda / Certificación	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF	Energía > 5,4%	Total	Por m2		
<b>Situación Actual</b>	0	0	0	0	0	0	X	23.391	160,31	F	La vivienda exist. consume 17,96% más que la viv. base normativa
<b>Estrategia H</b>	1.005	43,76	\$55.606	2,41 UF	-180	-7,86	X	22.548	154,53	F	<b>La vivienda mejorada no logra recuperar la inversión (ver anexo H)</b>

\*\*Valor del kerosene en Temuco el día 07.08.2013 (UF: \$22.980)  
 1lt= \$628 = 0,027UF

#### 4.3.5.- ANÁLISIS DE MEJORAS TÉRMICAS AGRUPADAS

Luego de modelar y evaluar económicamente la rentabilidad de cada una de las estrategias de mejora térmica, aplicadas de manera individual a la vivienda en sus distintas orientaciones, se obtuvo que las estrategias rentables considerando la condición de aumento del valor del combustible en un 5,4% anual, son las siguientes:

- Incorporar envolvente térmica (poliestireno expandido 200mm) en los muros perimetrales del nivel 1
- Disminuir vanos con orientación sur o sin incidencia de radiación solar directa.
- Aumentar vanos con orientación norte.

El resto de las estrategias analizadas no lograron obtener un retorno de la inversión en menos de 20 años, ya que sus costos eran elevados, como el caso de mejoramiento de las ventanas o porque la demanda energética en calefacción no disminuía de manera considerable, como en el caso de aumentar la aislación térmica de cubierta y de muros perimetrales del nivel 2.

En el caso de los tabiques perimetrales del nivel 2, se considera que no era considerable la disminución de la demanda, ya que los tabiques existentes, cuentan con una aislación de poliestireno expandido de 50mm y además su superficie es proporcionalmente menor que la superficie de muros de nivel 1 y de cubierta.

En el caso de las mejoras de aislación térmica en cubierta, se considera que no es significativa, ya que en la actualidad la vivienda posee una aislación de 50mm, por lo tanto al mejorarla con 200mm de poliestireno expandido, sólo genera una mejora cercana entre 4,84 y 6,26% dependiendo de la orientación de la vivienda.

Finalmente, se plantea la utilización de estrategias combinadas con los siguientes criterios:

ESTRATEGIA I1 – Combinación de estrategias rentables de manera individual.

ESTRATEGIA I2 – Combinación de estrategias rentables de manera individual más estrategias que son rentables, considerando el aporte del estado, mediante el subsidio de mejoramiento térmico para viviendas de clase media (100UF)

ESTRATEGIA I3 – Combinación de todas las estrategias analizadas, sin importar la rentabilidad de ellas.

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.64 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias I1, I2 e I3 en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda ESTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.64: Demanda anual en calef. viv. ESTE con mejoram. Combinado. Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. ESTE Sit. Actual	Mejoramiento: Combinado Rentable	Mejoramiento: Combinado rentable c/subsidio	Mejoramiento: Combinado de todas las estrategias
Consumo anual (Wh)	24.784.585	18.124.889	14.617.564	13.213.344
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	169.862	124.220	100.182	90.558
Comparación	100,00%	73,13%	58,98%	53,31%
Reducción	0%	-26,87%	-41,02%	-46,69%
C	116,77	85,39	68,87	62,25
Calific. Térmica	F	E	D	C

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento combinado para la vivienda ESTE.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.65 se presenta a una síntesis de las estrategias I1, I2 e I3 (mejoramiento combinado), en orientación ESTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.65: Resumen Técnico-Económico Vivienda Este, Mejoramiento combinado. Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8%	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría vivienda	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF		Costo energía > 5,4% año	Total kWh		
Situación Actual	0	0	0	0	0	0	x	24.784	169,8	F	La vivienda existente consume un 16,77% más que la viv. base normativa
Estrategia I1 (estrategias rentables combinadas)	2.881	125,40	\$439,140	19,10 UF	3.633	158,12	8	18.124	124,2	E	La vivienda mejorada logra una categoría E, con recuperación de la inversión en el año 8. (ver anexo H)
Estrategia I2 (estrat.comb.rent.c /subsidio)	8.836 (-2.298)	384,55 (-100UF)	\$670.413	29,17 UF	3.407	148,30	13	14.617	100,18	D	La vivienda mejorada logra una categoría D, con recuperación de la inversión en el año 13. (contando con subsidio de mejoramiento térmico clase media (ver anexo H)
Estrategia I3 (todas las estrategias)	12.305	535,47	\$736.008	33,20 UF	-984	-42,83	X	13.213	90,55	C	La vivienda mejorada que logra una categoría C, no recupera la inversión dentro de 20 años, si no es favorecida por el subsidio de mejoramiento térmico. (ver anexo H)

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.66 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias I1, I2 e I3 en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda OESTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.66: Demanda anual en calef. viv. OESTE con mejoram. Combinado. Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. OESTE Sit. Actual	Mejoramiento: Combinado Rentable	Mejoramiento: Combinado rentable c/subsidio	Mejoramiento: Combinado de todas las estrategias
Consumo anual (Wh)	24.342.800	18.240.446	14.822.863	13.251.837
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	166.834	125.012	101.589	90.822
Comparación	100,00%	74,93%	60,89%	54,44%
Reducción		-25,07%	-39,11%	-45,56%
C	117,10	87,75	71,31	63,75
Calific. Térmica	F	E	D	C

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento combinado para la vivienda OESTE.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.67 se presenta a una síntesis de las estrategias I1, I2 e I3 (mejoramiento combinado), en orientación OESTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.67: Resumen Técnico-Económico Vivienda Oeste, Mejoramiento combinado. Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8%	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría vivienda	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF		Costo energía > 5,4% año	Total kWh		
Situación Actual	0	0	0	0	0	0	x	24.342	166,8	F	La vivienda existente consume un 17,10% más que la viv. base normativa
Estrategia I1 (estrategias rentables combinadas)	2.818	122,63	\$402,389	17,51 UF	3.151	137,16	9	18.240	125,0	E	La vivienda mejorada logra una categoría E, con recuperación de la inversión en el año 9. (ver anexo H)
Estrategia I2 (estrat.comb.rent.c/subsidio)	8.773 (-2.298)	381,76 (-100UF)	\$627.745	27,31 UF	2.838	123,51	13	14.822	101,58	D	La vivienda mejorada logra una categoría D, con recuperación de la inversión en el año 13. (contando con subsidio de mejoramiento térmico clase media (ver anexo H)
Estrategia I3 (todas las estrategias)	12.241	532,70	\$731.338	31,82 UF	-1.390	-60,52	X	13.251	90,82	C	La vivienda mejorada que logra una categoría C, no recupera la inversión dentro de 20 años, si no es favorecida por el subsidio de mejoramiento térmico. (ver anexo H)

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.68 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias I1, I2 e I3 en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda SUR (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.68: Demanda anual en calef. viv. SUR con mejoram. Combinado. Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. SUR Sit. Actual	Mejoramiento: Combinado Rentable	Mejoramiento: Combinado rentable c/subsidio	Mejoramiento: Combinado de todas las estrategias
Consumo anual (Wh)	23.721.490	15.650.090	12.342.987	10.966.941
Consumo total por unidad de sup. (Wh/m <sup>2</sup> año)	162.576	107.259	84.593	75.162
Comparación	100,00%	65,97%	52,03%	46,23%
Reducción		-34,03%	-47,97%	-53,77%
C	117,77	77,70	61,28	54,45
Calific. Térmica	F	D	C	C

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento combinado para la vivienda SUR.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.69 se presenta a una síntesis de las estrategias I1, I2 e I3 (mejoramiento combinado), en orientación SUR para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.69: Resumen Técnico-Económico Vivienda Sur, Mejoramiento combinado. Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8%	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría vivienda	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF		Costo energía > 5,4% año	Total kWh		
Situación Actual	0	0	0	0	0	0	x	23.721	162,57	F	La vivienda existente consume un 17,77% más que la viv. base normativa
Estrategia I1 (estrategias rentables combinadas)	4.104	178,63	\$532.228	23,16 UF	3.791	165,00	10	15.650	107,25	D	La vivienda mejorada logra una categoría D, con recuperación de la inversión en el año 10. (ver anexo H)
Estrategia I2 (estrat.comb.rent.c/subsidio)	10.060 (-2.298)	437,78 (-100UF)	\$750.298	32,65 UF	3.369	146,64	13	12.342	84,59	C	La vivienda mejorada logra una categoría C, con recuperación de la inversión en el año 13. (contando con subsidio de mejoramiento térmico clase media (ver anexo H)
Estrategia I3 (todas las estrategias)	13.528	588,70	\$841.035	36,59 UF	-1.049	-45,68	X	10.966	75,16	C	La vivienda mejorada que logra una categoría C, no recupera la inversión dentro de 20 años, si no es favorecida por el subsidio de mejoramiento térmico. (ver anexo H)

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.70 se muestra el detalle de los resultados de la simulación para las estrategias I1, I2 e I3 en comparación con el consumo en calefacción de la vivienda NORTE (resultados detallados de manera mensual y gráfico, se encuentran en anexo G).

**Tabla 4.70: Demanda anual en calef. viv. NORTE con mejoram. Combinado. Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

	Demanda Calef. Viv. NORTE Sit. Actual	Mejoramiento: Combinado Rentable	Mejoramiento: Combinado rentable c/subsidio	Mejoramiento: Combinado de todas las estrategias
<b>Consumo anual (Wh)</b>	<b>23.391.362</b>	<b>16.032.140</b>	<b>12.409.782</b>	<b>11.499.153</b>
<b>Consumo total por unidad de sup. (Wh/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>160.314</b>	<b>109.877</b>	<b>85.051</b>	<b>78.810</b>
<b>Comparación</b>	100,00%	68,54%	53,05%	49,16%
<b>Reducción</b>		-31,46%	-46,95%	-50,84%
<b>C</b>	117,96	80,85	62,58	57,99
<b>Calific. Térmica</b>	<b>F</b>	<b>D</b>	<b>C</b>	<b>C</b>

En el anexo H se indica la síntesis del análisis técnico económico y el detalle del VAN de cada una de las estrategias de mejoramiento combinado para la vivienda NORTE.

**VALIDACIÓN (COMPARACIÓN COSTO-BENEFICIO):** En la tabla 4.71 se presenta a una síntesis de las estrategias I1, I2 e I3 (mejoramiento combinado), en orientación NORTE para determinar el periodo de recuperación de la inversión.

**Tabla 4.71: Resumen Técnico-Económico Vivienda Norte, Mejoramiento combinado. Fuente: Elaboración propia**

	Costo de Inversión		Ahorro Energético Anual		VAN Ahorro acumulado 20 años		Período recup. Inversión. Tasa 8% Costo energía > 5,4% año	Consumo de calef. de la vivienda		Categoría vivienda	Observaciones
	M\$	UF	\$	UF	M\$	UF		Total kWh	Por m2		
<b>Situación Actual</b>	0	0	0	0	0	0	x	23.391	160,31	F	La vivienda existente consume un 17,96% más que la viv. base normativa
<b>Estrategia I1 (estrategias rentables combinadas)</b>	4.352	189,41	\$485.267	21,11 UF	2.847	123,89	11	16.032	109,87	D	La vivienda mejorada logra una categoría D, con recuperación de la inversión en el año 11. (ver anexo H)
<b>Estrategia I2 (estrat.comb.rent.c/subsidio)</b>	10.308 (-2.298)	448,56 (-100UF)	\$724.125	31,51 UF	2.733	118,95	14	12.409	85,05	C	La vivienda mejorada logra una categoría C, con recuperación de la inversión en el año 14. (contando con subsidio de mejoramiento térmico clase media)
<b>Estrategia I3 (todas las estrategias)</b>	13.776	599,49	\$784.172	34,12 UF	-2.141	-93,19	X	11.499	78,81	C	La vivienda mejorada que logra una categoría C, no recupera la inversión dentro de 20 años, si no es favorecida por el subsidio de mejoramiento térmico. (ver anexo H)

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



#### 4.4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 4.72 y gráfico 4.7 se indica la síntesis del análisis técnico económico de cada una de las estrategias analizadas para la vivienda ESTE.

**Tabla 4.72: Síntesis Análisis Técnico Económico vivienda ESTE – Todas las estrategias aplicadas**  
**Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

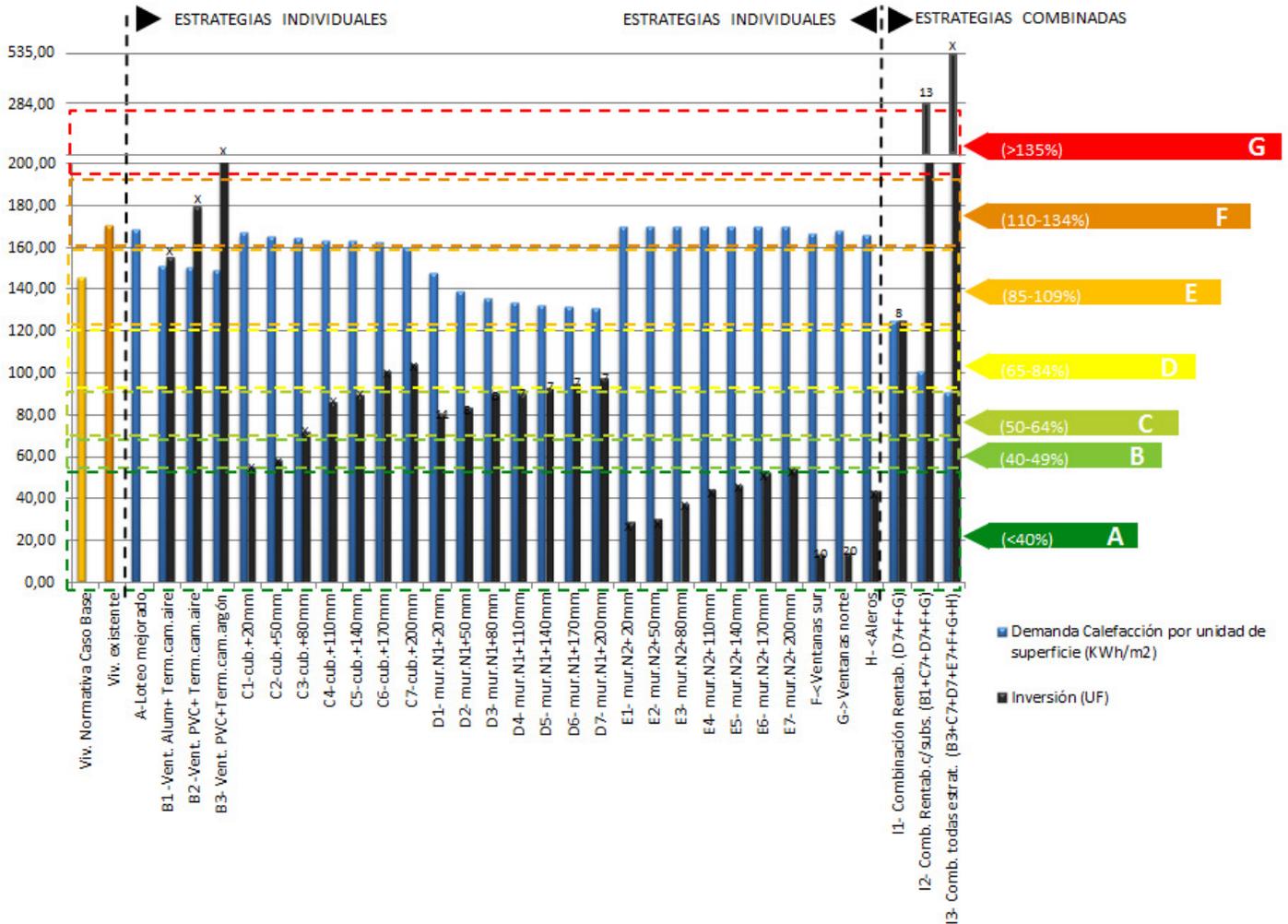
CUADRO RESUMEN VIVIENDA ESTE					
Estrategias	Demanda Calefacción por unidad de superficie (KWh/m2)	Inversión (UF)	Rentabilidad c/alza comb. 5,4% anual (año)	Calificación Térmica	Calificación Térmica
Viv. Normativa Caso Base	145,47			100%	E
Viv. existente	169,86			116,77	F
A-Loteo mejorado	168,07	No considera	No se considera	115,53	F
B1 -Vent. Alum+ Term.cam.aire	150,85	155,02	x	103,69	E
B2 -Vent. PVC+ Term.cam.aire	150,24	179,23	x	103,28	E
B3- Vent. PVC+Term.cam.argón	148,95	207,88	x	102,39	E
C1-cub.+20mm	166,81	55,20	x	116,77	F
C2-cub.+50mm	164,95	58,78	x	114,67	F
C3-cub.+80mm	163,87	72,31	x	112,65	F
C4-cub.+110mm	163,04	85,84	x	112,08	F
C5-cub.+140mm	162,49	89,59	x	111,70	F
C6-cub.+170mm	162,08	100,64	x	111,42	F
C7-cub.+200mm	159,23	104,13	x	109,46	E
D1- mur.N1+20mm	147,39	80,43	11	101,32	E
D2- mur.N1+50mm	138,44	83,12	8	95,16	E
D3- mur.N1+80mm	135,04	89,89	8	92,83	E
D4- mur.N1+110mm	133,25	90,22	7	91,60	E
D5- mur.N1+140mm	132,14	93,11	7	90,84	E
D6- mur.N1+170mm	131,39	94,75	7	90,32	E
D7- mur.N1+200mm	130,84	97,44	7	89,94	E
E1- mur.N2+20mm	169,80	28,85	x	116,73	F
E2- mur.N2+50mm	169,75	30,68	x	116,69	F
E3- mur.N2+80mm	169,72	37,74	x	116,67	F
E4- mur.N2+110mm	169,70	44,80	x	116,65	F
E5- mur.N2+140mm	169,68	46,70	x	116,64	F
E6- mur.N2+170mm	169,67	52,50	x	116,64	F
E7- mur.N2+200mm	169,67	54,30	x	116,63	F
F-<Ventanas sur	165,89	13,66	10	114,04	F
G->Ventanas norte	167,47	14,30	20	115,12	F
H- <Aleros	165,31	43,76	x	113,64	F
I1- Combinación Rentab. (D7+F+G)	124,22	125,40	8	85,39	E
I2- Comb. Rentab.c/subs. (B1+C7+D7+F+G)	100,18	284,55	13	68,87	D
I3- Comb. todas estrat. (B3+C7+D7+E7+F+G+H)	90,56	535,47	x	62,25	C

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



**Gráfico 4.7: Resultados Técnico-Económico de todas las estrategias analizadas para la Vivienda Este.**

Fuente: Elaboración propia



Las distintas estrategias analizadas, para el mejoramiento térmico de la vivienda ESTE, demuestran que la vivienda existente posee categoría F, que en este caso, significa que consume un 16,77% más energía que la vivienda base normativa y que con la aplicación combinada de estrategias de bajo costo que generan un mejoramiento térmico significativo y que son rentables, considerando un aumento del costo del combustibles de 5,4% anual, la vivienda puede lograr una calificación E, equivalente a un 85,39% del consumo de la vivienda base normativa.

Por otro lado, si se considera el aporte del subsidio de mejoramiento térmico (100UF), se pueden incorporar otras estrategias de mayor costo y con ello se puede lograr que la vivienda logre categoría D, que corresponde a un 68,87% del consumo de la vivienda base.

Finalmente se analiza la opción combinada de todas las estrategias analizadas y con ello se lograría un desempeño térmico categoría C, con un 62,25% del consumo de la vivienda base normativa. Esta última alternativa no es rentable y sólo lograría una rentabilidad en el largo plazo si también se considerara el aporte del subsidio de mejoramiento térmico.

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.73 y gráfico 4.8 se indica la síntesis del análisis técnico económico de cada una de las estrategias analizadas para la vivienda OESTE.

**Tabla 4.73: Síntesis Análisis Técnico Económico vivienda OESTE – Todas las estrategias aplicadas**

**Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

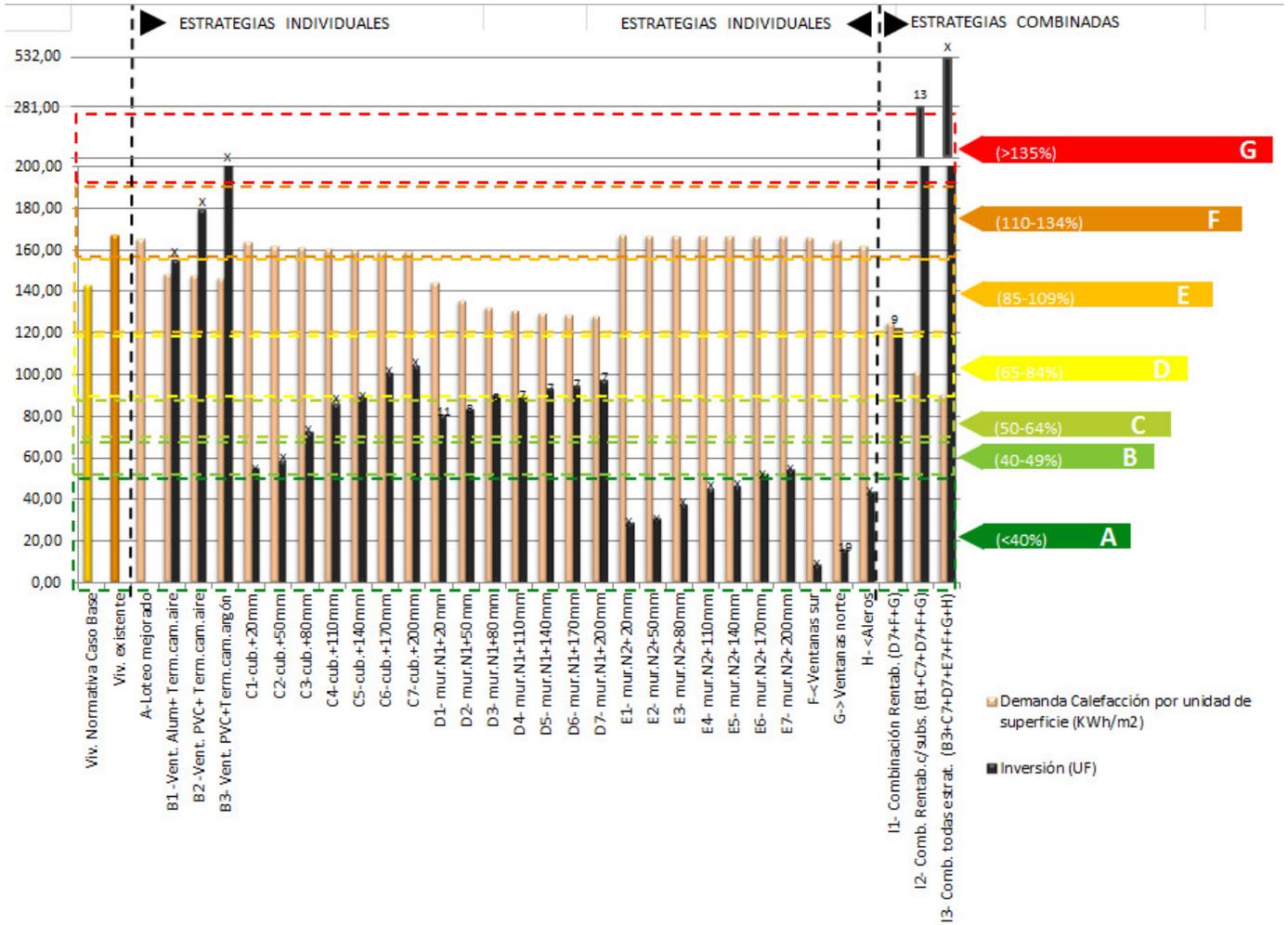
CUADRO RESUMEN VIVIENDA OESTE					
Estrategias	Demanda Calefacción por unidad de superficie (KWh/m2)	Inversión (UF)	Rentabilidad c/alza comb. 5,4% anual (año)	Calificación Térmica	Calificación Térmica
Viv. Normativa Caso Base	142,47			100%	E
Viv. existente	166,83			117,10	F
A-Loteo mejorado	165,25	No considera	No se considera	115,99	F
B1 -Vent. Alum+ Term.cam.aire	148,30	155,02	x	104,10	E
B2 -Vent. PVC+ Term.cam.aire	147,70	179,23	x	103,67	E
B3- Vent. PVC+Term.cam.argón	146,39	207,88	x	102,75	E
C1-cub.+20mm	163,83	55,20	x	114,99	F
C2-cub.+50mm	161,96	58,78	x	113,68	F
C3-cub.+80mm	160,82	72,31	x	112,88	F
C4-cub.+110mm	160,05	85,84	x	112,34	F
C5-cub.+140mm	159,50	89,59	x	111,95	F
C6-cub.+170mm	159,08	100,64	x	111,66	F
C7-cub.+200mm	158,77	104,13	x	111,44	F
D1- mur.N1+20mm	144,47	80,43	11	101,40	E
D2- mur.N1+50mm	135,62	83,12	8	95,20	E
D3- mur.N1+80mm	132,28	89,89	8	92,85	E
D4- mur.N1+110mm	130,52	90,22	7	91,61	E
D5- mur.N1+140mm	129,43	93,11	7	90,85	E
D6- mur.N1+170mm	128,69	94,75	7	90,33	E
D7- mur.N1+200mm	128,16	97,44	7	89,95	E
E1- mur.N2+20mm	166,78	28,85	x	117,06	F
E2- mur.N2+50mm	166,73	30,68	x	117,03	F
E3- mur.N2+80mm	166,69	37,74	x	117,00	F
E4- mur.N2+110mm	166,67	44,80	x	116,99	F
E5- mur.N2+140mm	166,66	46,76	x	116,98	F
E6- mur.N2+170mm	166,65	52,52	x	116,97	F
E7- mur.N2+200mm	166,64	54,35	x	116,97	F
F-<Ventanas sur	165,79	9,14	x	116,37	F
G->Ventanas norte	164,10	16,06	19	115,18	F
H-<Aleros	161,43	43,76	x	113,31	F
I1- Combinación Rentab. (D7+F+G)	125,01	122,64	9	87,75	E
I2- Comb. Rentab.c/subs. (B1+C7+D7+F+G)	101,59	281,79	13	71,31	D
I3- Comb. todas estrat. (B3+C7+D7+E7+F+G+H)	90,82	532,71	x	63,75	C

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



**Gráfico 4.8: Resultados Técnico-Económico de todas las estrategias analizadas para la Viv. Oeste.**

Fuente: Elaboración propia



Las distintas estrategias analizadas, para el mejoramiento térmico de la vivienda OESTE, demuestran que la vivienda existente posee categoría F, que en este caso, significa que consume un 17,10% más energía que la vivienda base normativa y que con la aplicación combinada de estrategias de bajo costo que generan un mejoramiento térmico significativo y que son rentables, considerando un aumento del costo del combustibles de 5,4% anual, la vivienda puede lograr una calificación E, equivalente a un 87,75% del consumo de la vivienda base normativa.

Por otro lado, si se considera el aporte del subsidio de mejoramiento térmico (100UF), se pueden incorporar otras estrategias de mayor costo y con ello se puede lograr que la vivienda logre categoría D, que corresponde a un 71,31% del consumo de la vivienda base.

Finalmente se analiza la opción combinada de todas las estrategias analizadas y con ello se lograría un desempeño térmico categoría C, con un 63,75% del consumo de la vivienda base normativa. Esta última alternativa no es rentable y sólo lograría una rentabilidad en el largo plazo si también se considerara el aporte del subsidio de mejoramiento térmico.

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.74 y gráfico 4.9 se indica la síntesis del análisis técnico económico de cada una de las estrategias analizadas para la vivienda SUR.

**Tabla 4.74: Síntesis Análisis Técnico Económico vivienda SUR – Todas las estrategias aplicadas**

**Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

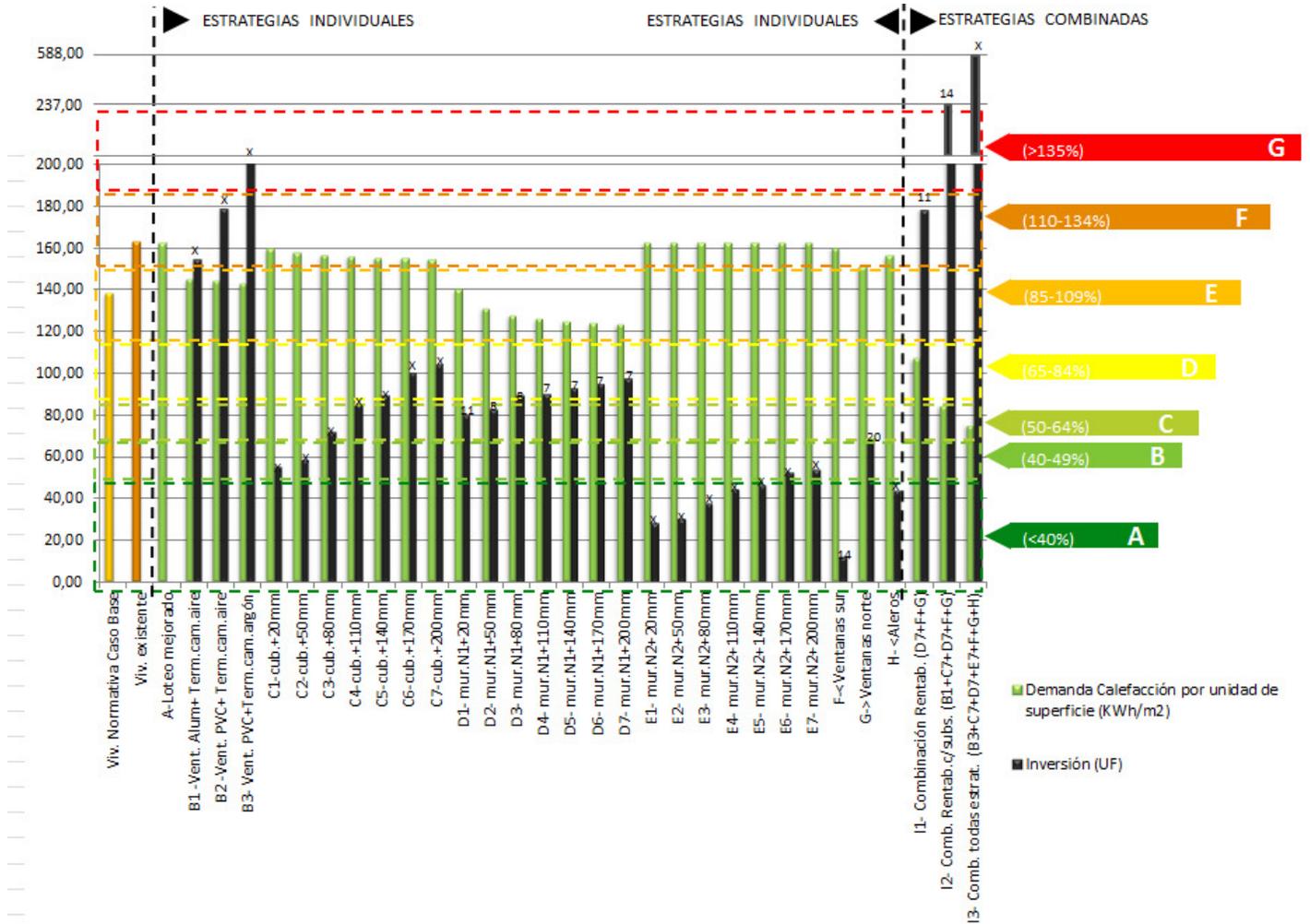
CUADRO RESUMEN VIVIENDA SUR					
Estrategias	Demanda Calefacción por unidad de superficie (KWh/m2)	Inversión (UF)	Rentabilidad c/alza comb. 5,4% anual (año)	Calificación Térmica	Calificación Térmica
Viv. Normativa Caso Base	138,05			100%	E
Viv. existente	162,58			117,77	F
A-Loteo mejorado	162,14	No considera	No se considera	117,45	F
B1 -Vent. Alum+ Term.cam.aire	144,71	155,02	x	104,83	E
B2 -Vent. PVC+ Term.cam.aire	144,11	179,23	x	104,39	E
B3- Vent. PVC+Term.cam.argón	142,78	207,88	x	103,43	E
C1-cub.+20mm	159,63	55,20	x	115,63	F
C2-cub.+50mm	157,76	58,78	x	114,28	F
C3-cub.+80mm	156,61	72,31	x	113,45	F
C4-cub.+110mm	155,84	85,84	x	112,89	F
C5-cub.+140mm	155,29	89,59	x	112,49	F
C6-cub.+170mm	154,87	100,64	x	112,19	F
C7-cub.+200mm	154,55	104,13	x	111,95	F
D1- mur.N1+20mm	140,00	80,43	11	101,41	E
D2- mur.N1+50mm	131,02	83,12	8	94,91	E
D3- mur.N1+80mm	127,62	89,89	8	92,44	E
D4- mur.N1+110mm	125,82	90,22	7	91,15	E
D5- mur.N1+140mm	124,71	93,11	7	90,34	E
D6- mur.N1+170mm	123,96	94,75	7	89,80	E
D7- mur.N1+200mm	123,41	97,44	7	89,40	E
E1- mur.N2+20mm	162,52	28,85	x	117,73	F
E2- mur.N2+50mm	162,47	30,68	x	117,69	F
E3- mur.N2+80mm	162,44	37,74	x	117,67	F
E4- mur.N2+110mm	162,41	44,80	x	117,65	F
E5- mur.N2+140mm	162,40	46,76	x	117,64	F
E6- mur.N2+170mm	162,39	52,52	x	117,63	F
E7- mur.N2+200mm	162,38	54,35	x	117,63	F
F-<Ventanas sur	159,91	12,09	14	115,84	F
G->Ventanas norte	151,13	69,10	20	109,48	E
H-<Aleros	156,10	43,76	x	113,07	F
I1- Combinación Rentab. (D7+F+G)	107,26	178,63	11	77,70	D
I2- Comb. Rentab.c/subs. (B1+C7+D7+F+G)	84,59	237,78	14	61,28	C
I3- Comb. todas estrat. (B3+C7+D7+E7+F+G+H)	75,16	588,70	x	54,45	C

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



**Gráfico 4.9: Resultados Técnico-Económico de todas las estrategias analizadas para la Viv. Sur.**

Fuente: Elaboración propia



Las distintas estrategias analizadas, para el mejoramiento térmico de la vivienda SUR, demuestran que la vivienda existente posee categoría F, que en este caso, significa que consume un 17,77% más energía que la vivienda base normativa y que con la aplicación combinada de estrategias de bajo costo que generan un mejoramiento térmico significativo y que son rentables, considerando un aumento del costo del combustibles de 5,4% anual, la vivienda puede lograr una calificación D, equivalente a un 77,70% del consumo de la vivienda base normativa.

Por otro lado, si se considera el aporte del subsidio de mejoramiento térmico (100UF), se pueden incorporar otras estrategias de mayor costo y con ello se puede lograr que la vivienda logre categoría C, que corresponde a un 61,28% del consumo de la vivienda base.

Finalmente se analiza la opción combinada de todas las estrategias analizadas y con ello se lograría un desempeño térmico categoría C, con un 54,45% del consumo de la vivienda base normativa. Esta última alternativa no es rentable y sólo lograría una rentabilidad en el largo plazo si también se considerara el aporte del subsidio de mejoramiento térmico.

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



En la tabla 4.75 y gráfico 4.10 se indica la síntesis del análisis técnico económico de cada una de las estrategias analizadas para la vivienda NORTE.

**Tabla 4.75: Síntesis Análisis Técnico Económico vivienda NORTE – Todas las estrategias aplicadas**

**Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos con Design Builder**

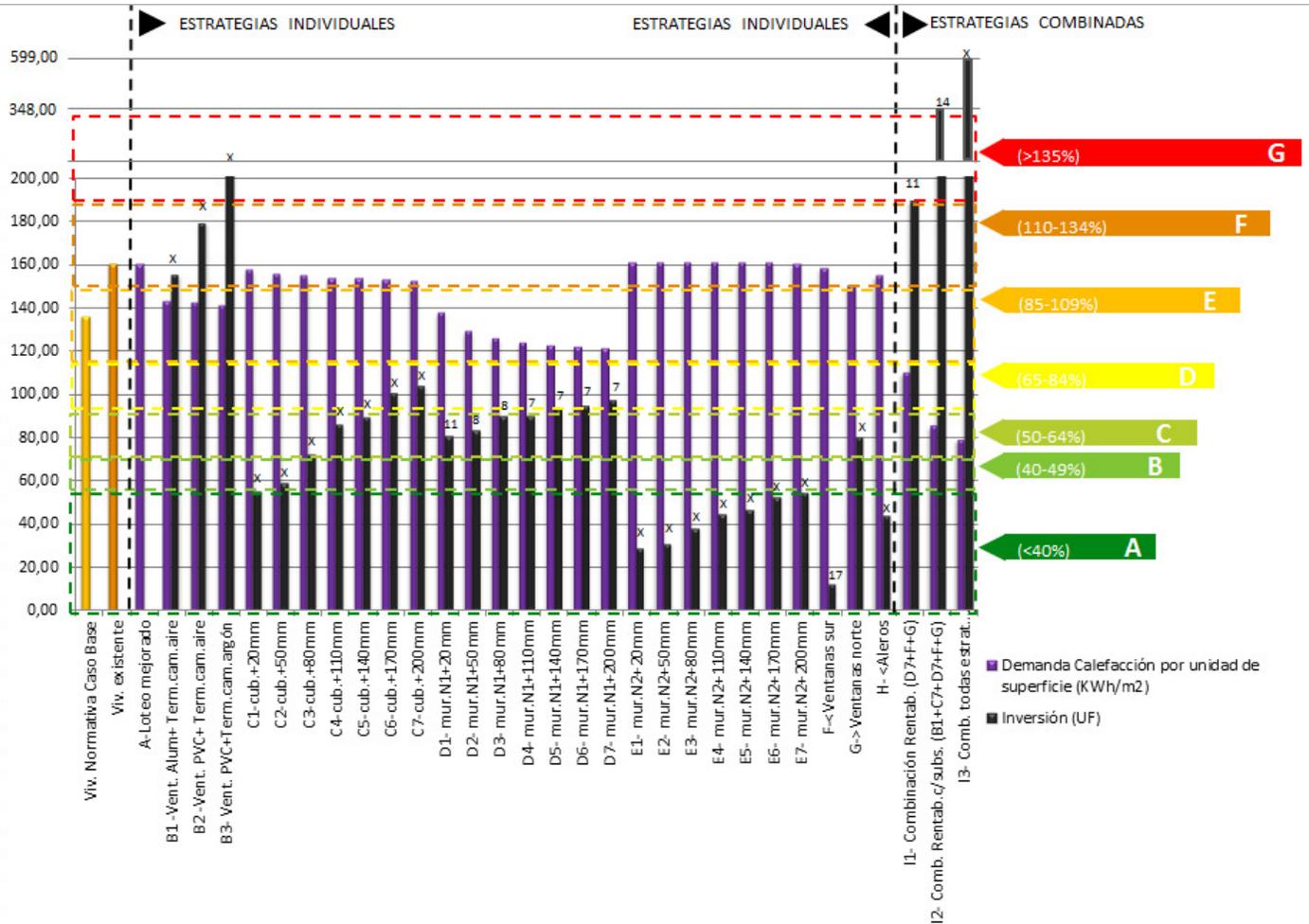
CUADRO RESUMEN VIVIENDA NORTE					
Estrategias	Demanda Calefacción por unidad de superficie (KWh/m2)	Inversión (UF)	Rentabilidad c/alza comb. 5,4% anual (año)	Calificación Térmica	Calificación Térmica
Viv. Normativa Caso Base	135,90			100%	E
Viv. existente	160,31			117,96	F
A-Loteo mejorado	159,80	No considera	No se considera	117,58	F
B1 -Vent. Alum+ Term.cam.aire	142,59	155,02	x	104,92	E
B2 -Vent. PVC+ Term.cam.aire	141,99	179,23	x	104,48	E
B3- Vent. PVC+Term.cam.argón	140,64	207,88	x	103,49	E
C1-cub.+20mm	157,22	55,20	x	115,68	F
C2-cub.+50mm	155,35	58,78	x	114,31	F
C3-cub.+80mm	154,20	72,31	x	113,46	F
C4-cub.+110mm	153,43	85,84	x	112,90	F
C5-cub.+140mm	152,87	89,59	x	112,49	F
C6-cub.+170mm	152,46	100,64	x	112,18	F
C7-cub.+200mm	152,13	104,13	x	111,94	F
D1- mur.N1+20mm	137,70	80,43	11	101,32	E
D2- mur.N1+50mm	128,77	83,12	8	94,76	E
D3- mur.N1+80mm	125,39	89,89	8	92,27	E
D4- mur.N1+110mm	123,61	90,22	7	90,96	E
D5- mur.N1+140mm	122,51	93,11	7	90,15	E
D6- mur.N1+170mm	121,76	94,75	7	89,60	E
D7- mur.N1+200mm	121,23	97,44	7	89,20	E
E1- mur.N2+20mm	160,26	28,85	x	117,92	F
E2- mur.N2+50mm	160,20	30,68	x	117,88	F
E3- mur.N2+80mm	160,17	37,74	x	117,86	F
E4- mur.N2+110mm	160,15	44,80	x	117,84	F
E5- mur.N2+140mm	160,14	46,76	x	117,83	F
E6- mur.N2+170mm	160,12	52,52	x	117,82	F
E7- mur.N2+200mm	160,12	54,35	x	117,82	F
F-<Ventanas sur	158,07	11,85	17	116,31	F
G->Ventanas norte	149,79	80,13	x	110,22	F
H-<Aleros	154,53	43,76	x	113,71	F
I1- Combinación Rentab. (D7+F+G)	109,88	189,42	11	80,85	D
I2- Comb. Rentab.c/subs. (B1+C7+D7+F+G)	85,05	348,57	14	62,58	C
I3- Comb. todas estrat. (B3+C7+D7+E7+F+G+H)	78,81	599,49	x	57,99	C

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



**Gráfico 4.10: Resultados Técnico-Económico de todas las estrategias analizadas para la Viv. Norte.**

Fuente: Elaboración propia



Las distintas estrategias analizadas, para el mejoramiento térmico de la vivienda NORTE, demuestran que la vivienda existente posee categoría F, que en este caso, significa que consume un 17,96% más energía que la vivienda base normativa y que con la aplicación combinada de estrategias de bajo costo que generan un mejoramiento térmico significativo y que son rentables, considerando un aumento del costo del combustibles de 5,4% anual, la vivienda puede lograr una calificación D, equivalente a un 80,85% del consumo de la vivienda base normativa.

Por otro lado, si se considera el aporte del subsidio de mejoramiento térmico (100UF), se pueden incorporar otras estrategias de mayor costo y con ello se puede lograr que la vivienda logre categoría C, que corresponde a un 62,58% del consumo de la vivienda base.

Finalmente se analiza la opción combinada de todas las estrategias analizadas y con ello se lograría un desempeño térmico categoría C, con un 57,99% del consumo de la vivienda base normativa. Esta última alternativa no es rentable y sólo lograría una rentabilidad en el largo plazo si también se considerara el aporte del subsidio de mejoramiento térmico.

## CAPITULO V – CONCLUSIONES

### CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

El presente trabajo es de especial interés en la ciudad de Temuco, considerando que la contaminación en la ciudades de Temuco y Padre Las Casas, el presente año han llegado a niveles elevados que provocaron que las autoridades decretaran preemergencia en reiteradas ocasiones del presente año. Esta situación ha significado que se prohibiera la utilización de calefacción mediante la utilización de leña, sin importar si se trata de leña seca certificada. Es por ello que el presente estudio es de especial relevancia, ya que en el diagnóstico empírico, se utilizó una de los sistemas de calefacción alternativos que poseen la segunda mayor utilización en las viviendas, como lo es el kerosene.

Por otro lado el mejoramiento térmico de las viviendas existentes provocará una mejora en la calidad del aire exterior y una reducción en los índices de contaminación en la ciudad, que también generará una mejora en las condiciones de la salud de los habitantes de la ciudad.

### CONTAMINACIÓN INTRADOMICILIARIA

Durante la realización empírica de medición de consumo de combustible en la vivienda de construcción repetitiva con ocupantes, se logró confirmar la relación entre el descenso de la temperatura ambiental exterior, que significa un mayor consumo de kerosene y que con ello, **umenta la cantidad de CO<sub>2</sub> al interior de la vivienda, llegando a niveles superiores a 5.000 ppm**, como se puede ver en las líneas de tendencia de los gráficos 5.1, 5.2 y 5.3.

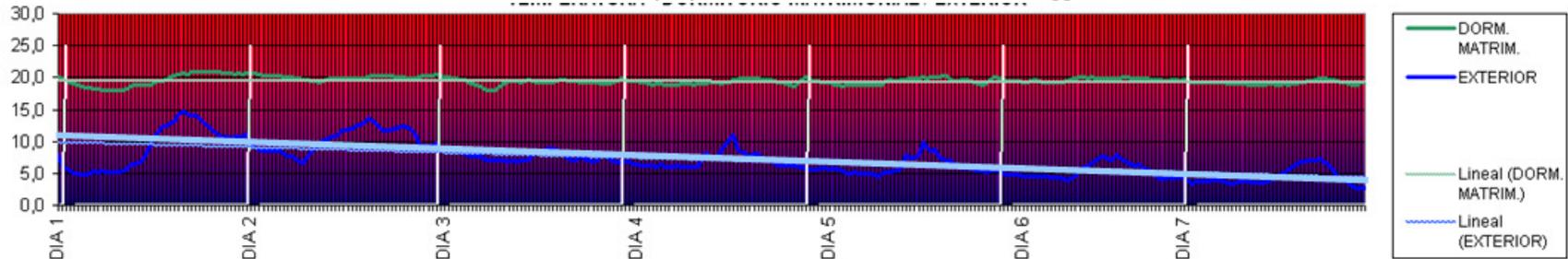
El nivel de CO<sub>2</sub> al interior de la vivienda es extremadamente alto, llegando a límites peligrosos para la salud, por lo que se estima que cualquier intervención de mejora térmica no sólo implicará una reducción en el consumo energético y con ello un menor gasto y rentabilidad económica de la inversión, sino que además se considera que dicha reducción provocará una mejora en la calidad del aire al interior de la vivienda y una mejora en la salud de los habitantes que en este estudio no se mide efectivamente, pero que se considera es una rentabilidad mucho mayor que la económica.

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
 "Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist. de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
 Manuel Bravo Schilling



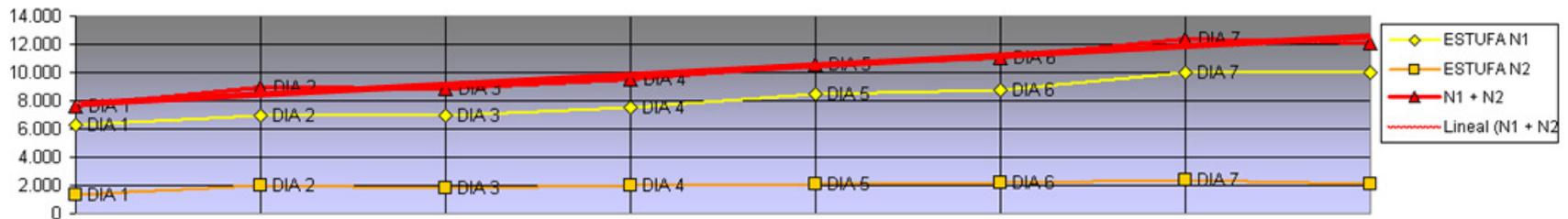
**Gráfico 5.1: Medición de temperatura exterior e interior (dormitorio matrimonial), durante semana de estudio**

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos con data logger.



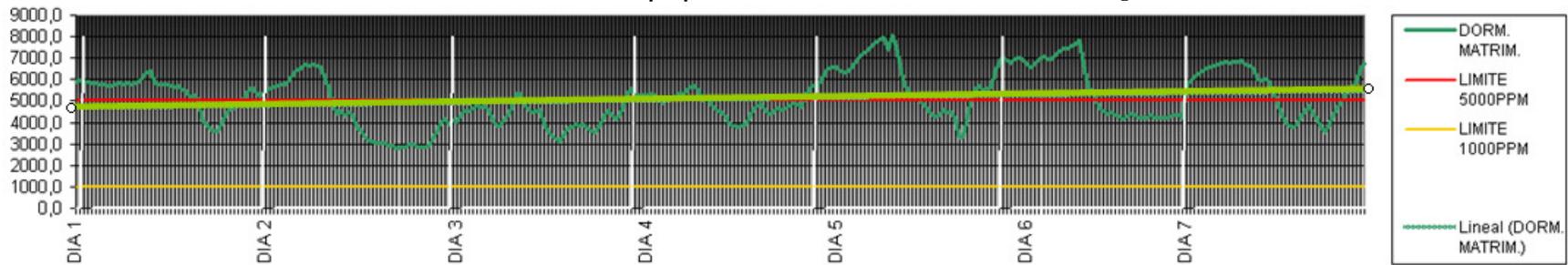
**Gráfico 5.2: Medición de consumo de combustible de la vivienda, durante semana de estudio**

Fuente: Elaboración propia.



**Gráfico 5.3: Medición de CO<sub>2</sub> en el nivel 2 de la vivienda, durante semana de estudio.**

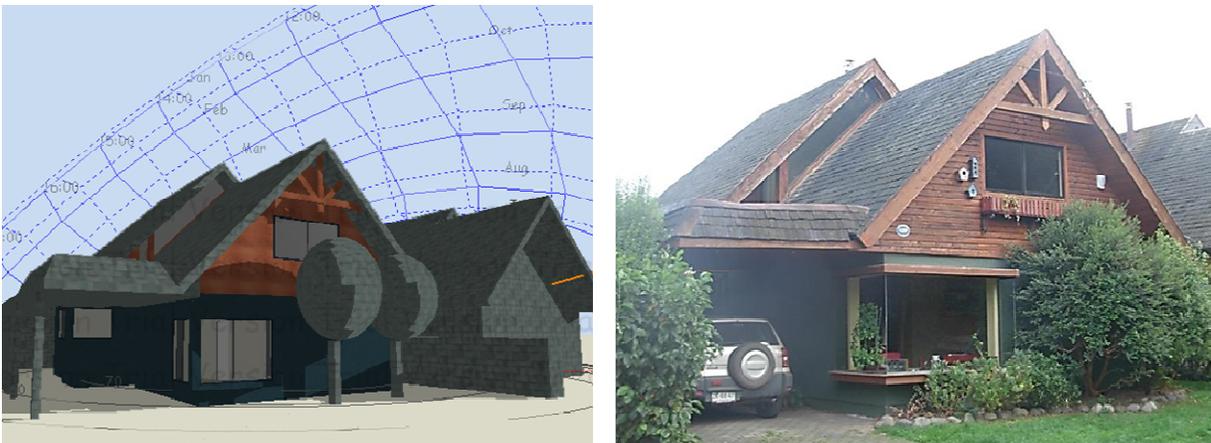
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos con medidor de CO<sub>2</sub>.



## ANÁLISIS EMPÍRICO Y SIMULACIONES

Los resultados obtenidos mediante un diagnóstico completo realizado, que consiste en la medición empírica de consumo energético, infiltraciones, termografías y contaminación intradomiciliaria, que posteriormente se utilizaron para incorporar en el programa de simulación energética, logran respaldar los cálculos de consumo en calefacción obtenidos mediante las simulaciones térmicas dinámicas. **Los resultados empíricos y la simulación térmica sólo poseen una diferencia de 3,2%**, por lo que se considera una exactitud aceptable para validar las evaluaciones de las viviendas existentes en sus distintas orientaciones y sus respectivas estrategias de mejoramiento térmico. Este paso es de especial relevancia en el estudio, ya que al validar la evaluación energética inicial, se considera que las simulaciones de mejoras térmicas son confiables, ya que se utiliza la misma configuración y programa para la evaluación del desempeño de las estrategias de mejoramiento térmico.

Se demuestra que las viviendas del loteo en estudio posee un deficiente comportamiento térmico en comparación con la normativa vigente. La vivienda existente posee en promedio un 17,39% mayor gasto en calefacción, que la vivienda base normativa. La vivienda existente y la vivienda modelada en simulador, se pueden ver en figura 5.1.



**Figura 5.1: Vivienda modelada en simulador y vivienda existente**  
 Fuente: Elaboración propia

## MEJORAMIENTO: ORIENTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DE LOTEOS

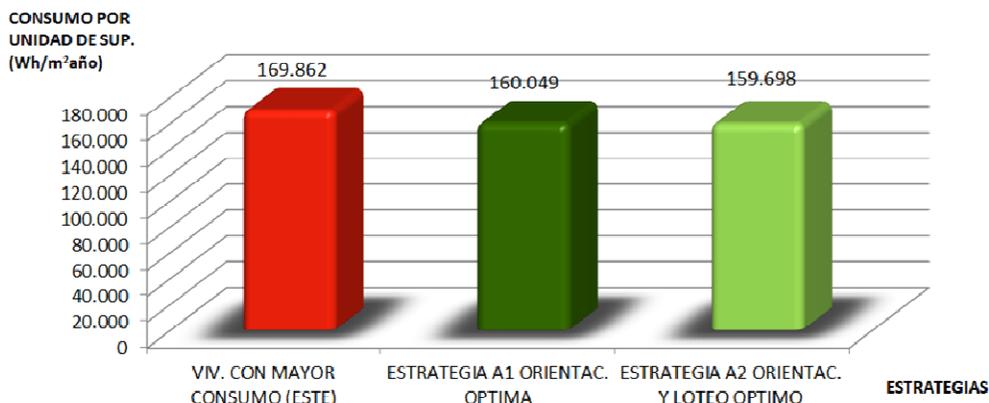
Con el presente estudio se evidencian los errores, en cuanto al consumo energético, de los loteos que utilizan un solo diseño de vivienda y es emplazado en distintas orientaciones sin considerar la trayectoria solar, los conos de sombra y otras variables que determinan el desempeño energético. En el caso estudiado se determina una **diferencia de 5,24% entre las viviendas existentes con mayor y menor**

**desempeño térmico, provocado por el cambio de orientación y mejoramiento de distribución de lotes sin afectar su superficie, señalado en gráficos 5.4 y 5.5.**

**Gráfico 5.4: Demanda de calefacción de Estrategias Orientac. Óptima y loteo óptimo**

Fuente: Elaboración propia

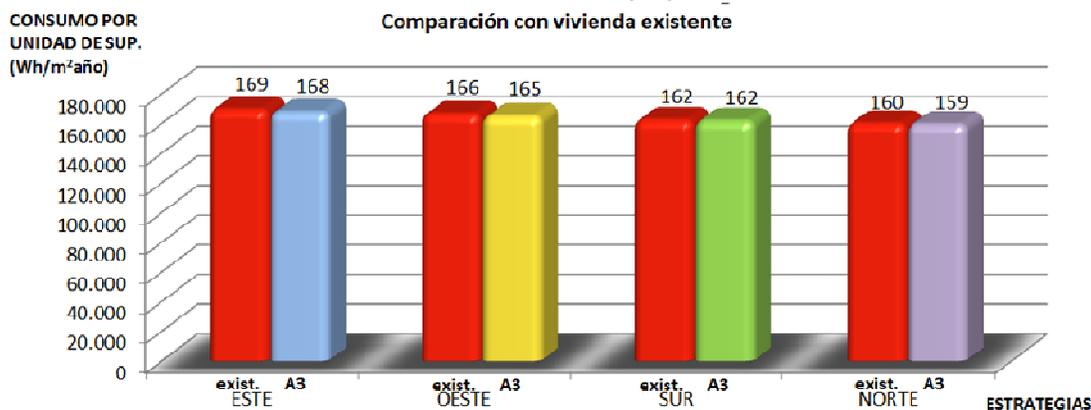
Comparación con vivienda mayor consumo (ESTE)



**Gráfico 5.5: Demanda de calefacción de Estrategia Loteo óptimo**

Fuente: Elaboración propia

Comparación con vivienda existente



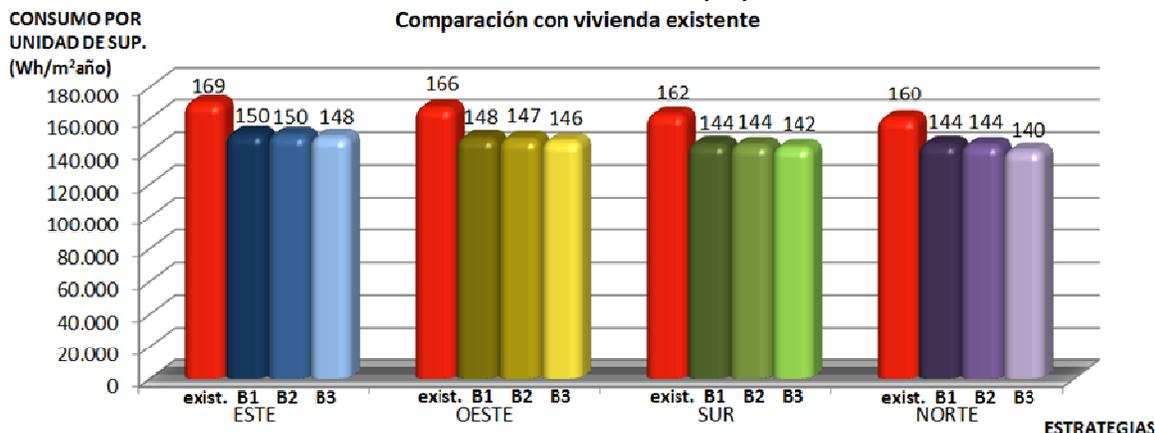
### MEJORAMIENTO: TRANSMITANCIA TÉRMICA DE VENTANAS

Con el mejoramiento en el complejo de ventanas, utilizando termopanel, termopanel + PVC y termopanel + argón + PVC, se lograron ahorros energéticos entre **10,99% y 12,31%**, sin lograr en ninguno de los casos un retorno de la inversión en menos de **20 años**, debido a su gran costo de inversión inicial, se indica en gráfico 5.6. De todas maneras es considerable el aporte en la disminución de la demanda energética, por lo que se considera como una de las alternativas a utilizar en la opción combinada con subsidio de mejoramiento térmico.

**Gráfico 5.6: Demanda de calefacción de Estrategia Mejoramiento ventanas**

Fuente: Elaboración propia

Comparación con vivienda existente



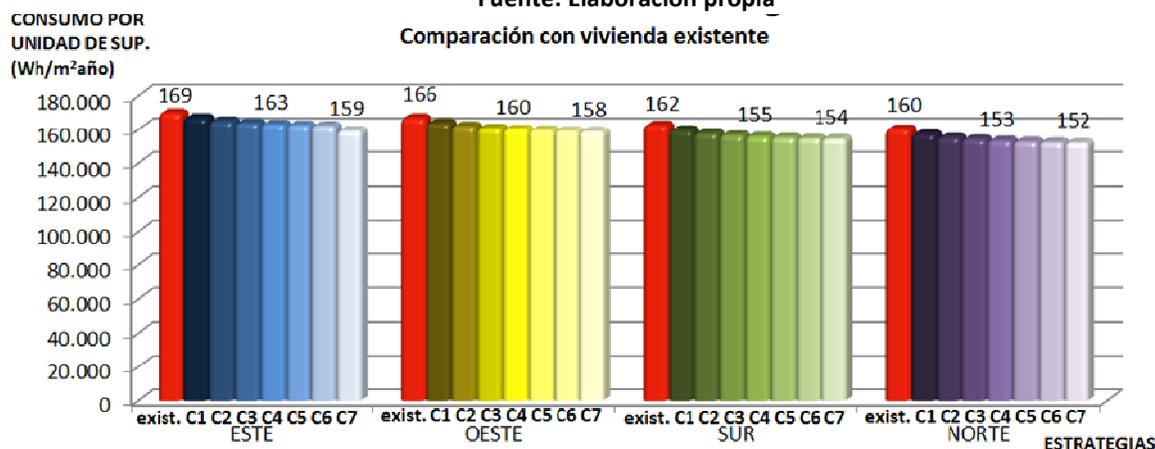
**MEJORAMIENTO: TRANSMITANCIA TÉRMICA DE CUBIERTAS**

La cubierta actual no cumple con el valor U exigido por la O.G.U.C., para la zona 5, ya que posee un U de 0,65 W/m2K y la exigencia para Temuco es de 0,33 W/m2K. Al simular las estrategias de mejoramiento térmico de cubierta con la incorporación de poliestireno, se determina que logran ahorros entre 1,8% y 6,26%, **sin lograr en ninguno de los casos un retorno de la inversión en menos de 20 años**, debido a su gran costo de inversión inicial (ya que se considera el recambio del revestimiento interior de cielos) y el bajo porcentaje de ahorro energético. Se indica en gráfico 5.7. De todas maneras no es despreciable el aporte en la disminución de la demanda energética, por lo que se considera como una de las alternativas a utilizar en la opción combinada con subsidio de mejoramiento térmico.

**Gráfico 5.7: Demanda de calefacción de Estrategia Mejoramiento cubierta**

Fuente: Elaboración propia

Comparación con vivienda existente

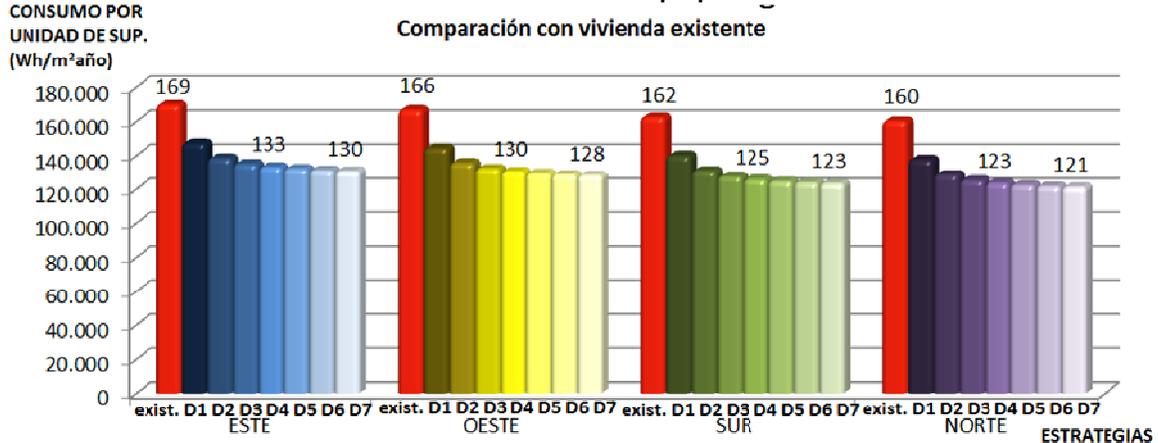


## MEJORAMIENTO: TRANSMITANCIA TÉRMICA DE MUROS NIVEL 1

Los muros de albañilería confinada del nivel 1 no cumplen con el valor U exigido por la O.G.U.C., para la zona 5, ya que posee un U de 2,63 W/m<sup>2</sup>K y la exigencia para Temuco es de 1,6 W/m<sup>2</sup>K. Al simular las estrategias de mejoramiento de muros del nivel 1, con la incorporación de poliestireno, se determina que logran ahorros entre 13,23% y 24,38%, **con un retorno de la inversión máximo de 7 años para el caso de poliestireno de 200mm**, debido a su bajo costo de inversión inicial y el alto porcentaje de ahorro energético. Se indica en gráfico 5.8. Es la estrategia que se recomienda en primera opción debido a su relación rentabilidad / beneficio térmico.

Gráfico 5.8: Demanda de calefacción de Estrategia mejoramiento muros nivel 1

Fuente: Elaboración propia

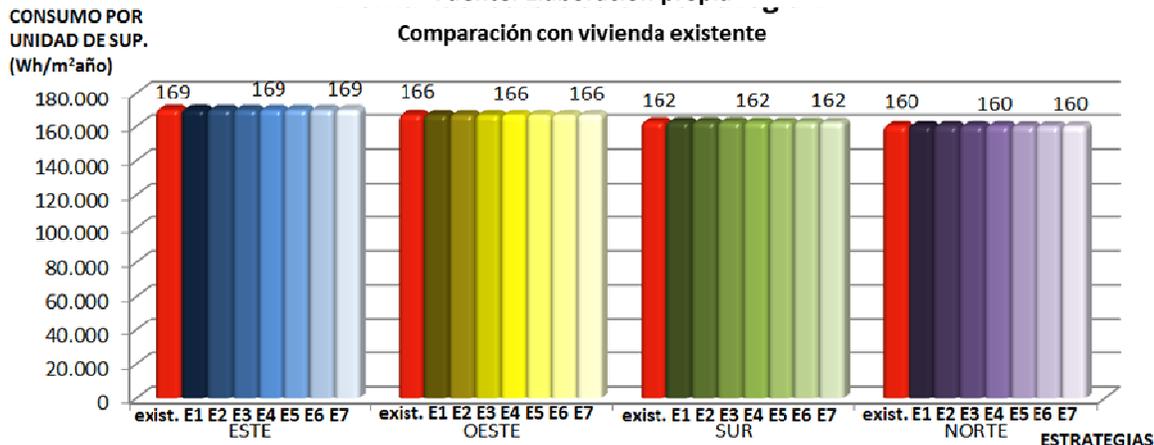


## MEJORAMIENTO: TRANSMITANCIA TÉRMICA DE MUROS NIVEL 2

Los muros de tabiquería de madera del nivel 2 cumplen con el valor U exigido por la O.G.U.C., para la zona 5, ya que posee un U de 0,59 W/m<sup>2</sup>K y la exigencia para Temuco es de 1,6 W/m<sup>2</sup>K. Al simular las estrategias de mejoramiento de muros del nivel 2, con la incorporación de poliestireno, se determina que logran ahorros entre 0,03% y 0,12%, **sin lograr en ninguno de los casos un retorno de la inversión en menos de 20 años**, debido a su gran costo de inversión inicial (ya que se considera el recambio del revestimiento interior de los tabiques) y el bajo porcentaje de ahorro energético, ya que el nivel 2 al ser amansardado posee baja superficie de tabiques y alta superficie de cubierta. Se indica en gráfico 5.9. De todas maneras se considera como una de las alternativas a utilizar en la opción combinada de mejoramiento térmico que no logra ser rentable.

**Gráfico 5.9: Demanda de calefacción de Estrategia mejoramiento muros nivel 2**

Fuente: Elaboración propia

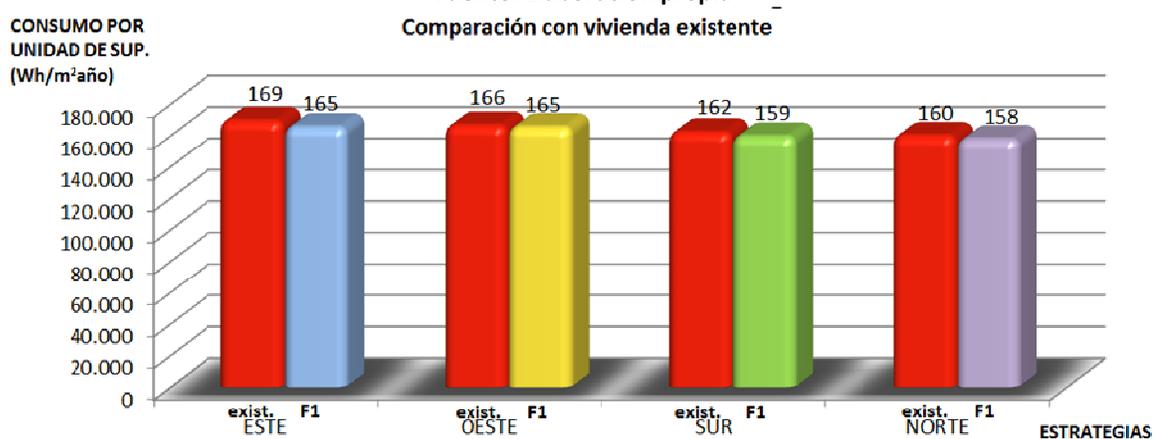


**MEJORAMIENTO: DISMINUCIÓN DE SUPERFICIE DE VENTANAS CON ORIENTACIÓN SUR**

Con la reducción de superficie de ventanas con orientación sur o sin exposición solar, para minimizar las pérdidas térmicas, se lograron ahorros energéticos entre 0,63% y 2,34%, con un retorno de la inversión mínimo de 10 años para el caso de la vivienda Este, 14 años en vivienda Sur y 17 años en la vivienda Norte, debido a su bajo costo de inversión inicial. Se indica en gráfico 5.10. Pero no se logró recuperar la inversión en la vivienda Oeste, debido que no se lograba reducir considerablemente las la superficie de ventanas sur, debido a que en esa orientación, correspondían a ventanas de dormitorios y sala de estar.

**Gráfico 5.10: Demanda de calefacción de Estrategia mejoramiento disminución ventanas sur**

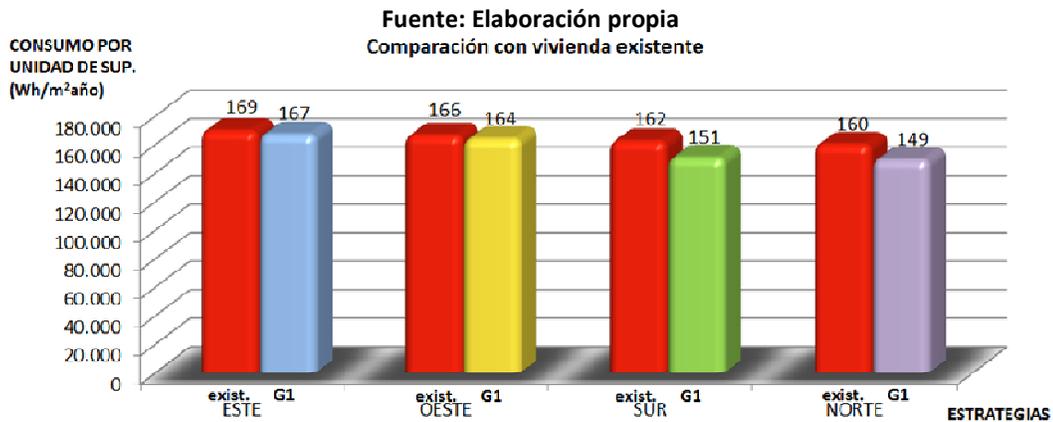
Fuente: Elaboración propia



### MEJORAMIENTO: AUMENTAR SUPERFICIE DE VENTANAS CON ORIENTACIÓN NORTE

Con el aumento de ganancias térmicas pasivas debido al aumento de ventanas con orientación norte, se lograron ahorros energéticos entre 1,41% y 7,04%, con un retorno de la inversión de 20 años para el caso de la vivienda Este y Sury 19 años en vivienda, debido a su bajo costo de inversión inicial. Se indica en gráfico 5.11. Pero no se logró recuperar la inversión en la vivienda Norte, debido que algunas de las ventanas ampliadas en nivel 1, poseían algunas obstrucciones por aleros.

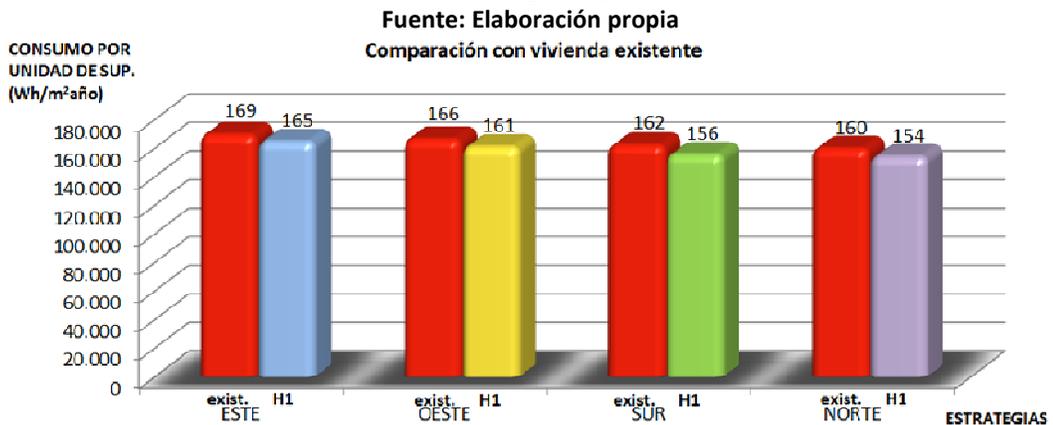
Gráfico 5.11: Demanda de calefacción de Estrategia mejoramiento aumentar ventanas sur



### MEJORAMIENTO: ELIMINACIÓN DE ALEROS

Con el aumento de ganancias térmicas pasivas debido a la eliminaciones de elementos arquitectónicos que obstruyen ganancias solares, como lo son los aleros, se lograron ahorros energéticos entre 2,68% y 3,99%, sin lograr en ninguno de los casos un retorno de la inversión en menos de 20 años, debido a su alto costo de inversión inicial. Se indica en gráfico 5.12. De todas maneras se considera como una de las alternativas a utilizar en la opción combinada de mejoramiento térmico que no logra ser rentable.

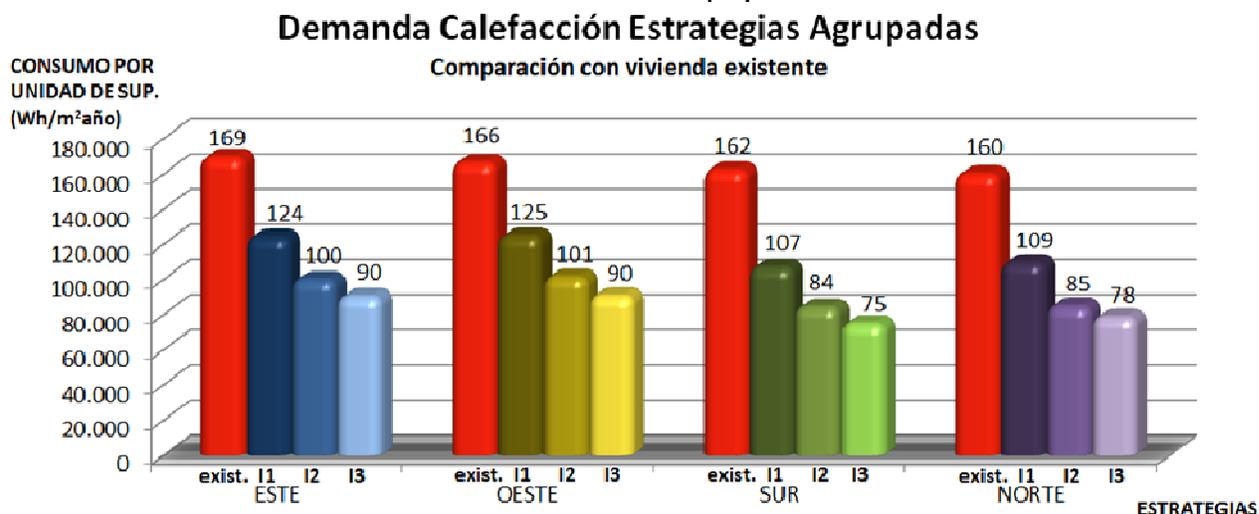
Gráfico 5.12: Demanda de calefacción de Estrategia mejoramiento eliminar obstrucciones solares



### ESTRATEGIAS COMBINADAS – RENTABLE SIN SUBSIDIO

Se analizaron estrategias que poseen una relación similar de costo beneficio, que se simplifica en el período de rentabilidad. Dentro de estas estrategias se consideran el mejoramiento térmico de muros de albañilería (nivel 1) con poliestireno 200mm + reducción de ventanas sur (sin posibilidad de ganancias solares) + ampliación de ventanas norte (maximizar ganancias solares). Se logró confirmar la hipótesis respecto de lograr un ahorro energético mayor a 25% y retorno de la inversión en menos de 20 años. Fue logrado en las 4 orientaciones, **mediante la aplicación de las estrategias combinadas, con un ahorro entre 25,07% y 34,03%, equivalente a categorías D y E, dependiendo de cada orientación. Logrando una rentabilidad de la inversión de entre 8 y 11 años, sin considerar el aporte del subsidio térmico, señalado en gráfico 5.13.**

Gráfico 5.13: Demanda de calefacción de Estrategias Agrupadas  
 Fuente: Elaboración propia



### ESTRATEGIAS COMBINADAS – RENTABLE CON SUBSIDIO

A las estrategias mencionadas en el punto anterior, se suman las estrategias con menor rentabilidad y de alta incidencia en el mejoramiento térmico, como lo son cambio por ventanas aluminio con termopanel + mejoramiento de cubierta con poliestireno 200mm. Se demuestra que para lograr desempeños energéticos considerables, que logren que las viviendas en sus distintas orientaciones tengan un consumo energético correspondiente a categorías C y D, sólo sería rentable en menos de 20 años si se considera el aporte del subsidio de mejoramiento térmico para la clase media con un **ahorro entre un 39,11% y 47,97% en comparación con la vivienda existente**, señalado en gráfico 5.13.

### ESTRATEGIAS COMBINADAS – NO RENTABLE

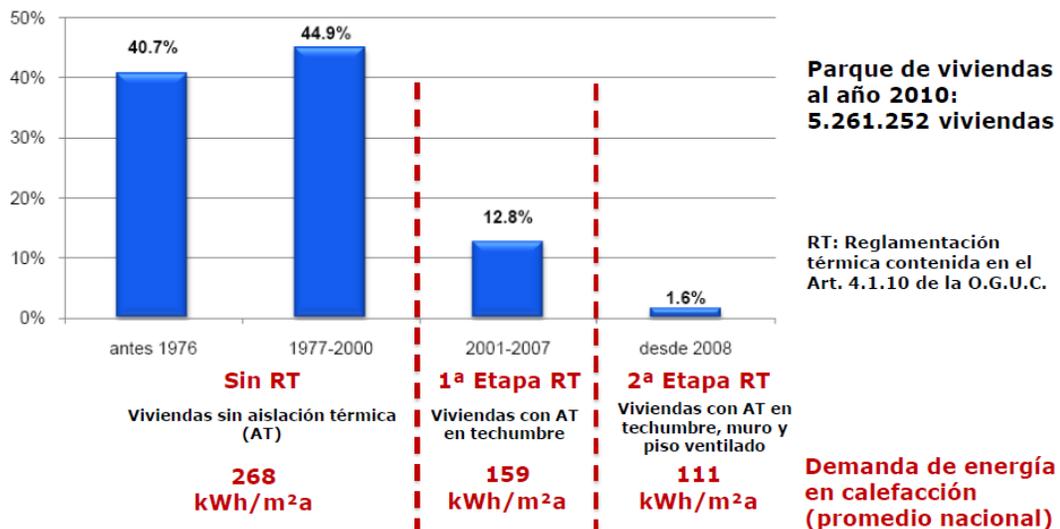
A las estrategias indicadas en los dos puntos anteriores, se les incorpora ventanas PVC con termopanel y cámara de argón + Mejoramientos de muros nivel 2 con poliestireno de 200mm + eliminación de aleros. El mejor desempeño logrado, se demostró que no era rentable en menos de 20 años logrando un consumo energético correspondiente a categoría C y un ahorro entre un 45,57% y 53,77%, señalado en gráfico 5.13.

### REELEVANCIA ENERGÉTICA A NIVEL NACIONAL

Se confirma la importancia significativa que se produciría con el mejoramiento térmico de las viviendas construidas antes del año 2000, que representan el 85,6% (40,7%+44,9%) de las viviendas chilenas, que poseen una demanda energética señalada en el gráfico 5.14, con un universo de aplicación de 5.261.252 viviendas en el país. Considerando dicha cantidad de viviendas y que es posible lograr en las viviendas analizadas, un ahorro de 33,99% de gasto energético, considerando el aporte del subsidio térmico, es posible indicar que es fundamental para el país, realizar mejoras en las viviendas existentes con anterioridad a la normativa térmica actual.

**Gráfico 5.14: Consumo de energía residencial**

**Fuente: Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile.**



Con el presente estudio se identifica que para generar un incentivo real para un incremento significativo del comportamiento térmico de las viviendas existentes, construidas con anterioridad a la entrada en vigencia de la normativa térmica chilena, se debe contar con la extensión del subsidio térmico para la clase media.

## SUBSIDIO DE MEJORAMIENTO TÉRMICO

En la actualidad y como se presente en este estudio, **el subsidio sólo es aplicable a las viviendas ubicadas en el sector más contaminado de Temuco, situación que se considera un error**, ya que por un lado la contaminación que se encuentra en ese sector, proviene de otras zonas de la ciudad producto de los vientos predominantes en invierno y no de la contaminación que se produce solamente en esa zona y por otro lado el objetivo que se busca con el subsidio es disminuir el consumo energético de “todas las viviendas de la ciudad”, incluidas las existentes, para disminuir la contaminación de la ciudad, que a mi juicio no se logrará si no se extiende dicho incentivo a todas las zonas de la ciudad que aportan a la contaminación y no sólo al sector más crítico.

## UNA NUEVA MIRADA

Como señala Minguet (2010), innovar y reinventar la arquitectura existente para adaptarla al cambio climático que está sufriendo nuestro entorno, y a la vez solucionar los problemas de espacio para vivir que genera el movimiento de las personas, es una de las preocupaciones actuales de nuestro planeta. El terreno para construir nuevos edificios es cada vez más escaso y por ello se busca la rehabilitación, la renovación o la reconversión de construcciones existentes en otras nuevas más sustentables, más ecológicas, en definitiva, más amigables con el medio ambiente.



**Figura 5.1: Imagen virtual vivienda repetitiva con estrategias pasivas de mejoramiento térmico**  
**Fuente: Elaboración propia**

Tesis – Magister Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética / Universidad del Bío Bío  
"Simulación y evaluación técnico-económica de alternativas de mejoramiento térmico en viv. exist.  
de const. repetitiva, en la ciudad de Temuco, mediante la utilización de estrategias pasivas"  
Manuel Bravo Schilling



**Figura 5.2: Imagen virtual vivienda repetitiva con estrategias pasivas de mejoramiento térmico.  
Fuente: Elaboración propia**



**Figura 5.3: Imagen virtual vivienda repetitiva con estrategias pasivas de mejoramiento térmico.  
Fuente: Elaboración propia**



## BIBLIOGRAFIA

- AChEE, AGENCIA CHILENA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, CITEC UBB. GEEeduc, Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educativos. Concepción; 2012. 355p.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, Inc. Ansi/Ashrae55-2010, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, EUA. 2010.
- AVELLANER J. Análisis Estadístico de Superficies Reflectantes no Ideales, a Efectos de Conocer la Distribución Espacial de la Energía Solar Reflejada; 1999.
- BANCO CENTRAL DE CHILE. Cuentas Nacionales de Chile 2003-2010; 2011.
- BOBADILLA, A., MUÑOZ, C. Simulación y evaluación de puentes térmicos; 2011.
- BOBADILLA, A., VEAS, L. Establecimiento de clases de infiltración aceptable de edificios para Chile; 2010.
- BRONFMAN J. Discurso Lanzamiento Manual Técnico Reacondicionamiento Térmico Vivienda en Uso; 2010.
- BURBERRY, P. Ahorro de Energía; 1983.
- CASTRO, A., ROA, D. Envolturas térmicas en condominios sociales existentes, en la comuna de Temuco, asociado a la adquisición de subsidio para acondicionamiento térmico de la vivienda; 2011. 48p
- CENDRA J. Simulación del Comportamiento Térmico de Edificios: Estudio de las Presentaciones del Código Passim. Aplicación al Conjunto Bioclimático de Begues; 1993.
- CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (CENMA) UNIVERSIDAD DE CHILE. Evaluación de Impacto Atmosférico de Sistemas de Calefacción Domiciliaria; 2011.
- COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (CNE). Política Energética: Nuevos lineamientos; 2008.
- COSTA S. Casas Ecológicas; 2007.
- D'ALENCON R., ROMERO A, BAIXAS J. Acondicionamientos; 2008.
- DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE. Chile, guía climática práctica. Santiago, DGAC. 117p.
- DONOSO S. Análisis Técnico – Económico en Mejoras de Eficiencia Energética para Viviendas de precio entre 1000-3000 UF; 2009.
- F.K.G. Renovar para habitar; 2008.
- FERNÁNDEZ A., ARREBOLA V., LAFFÓN B. Modelización del Flujo de Calor por Radiación Solar en una Habitación; 2007.
- FISSORE A., COLONELLI P. Proyecto: Sistema de certificación energética de viviendas MINVU; 2009.
- FRITZ A., UBILLA M. Construcción, Montaje y Aplicación del Muro Envoltivo; 2007.
- HATT, T., SAELZER, G, HEMPEL, R., SCHWANER, K. El estándar "passivehaus" en el centro-sur de Chile; 2012.
- JAHNKE E. Evaluación Económica de Alternativas de Calefacción; 2009.
- LIPSETT, T., FLORES, J. Determinación de las concentraciones de dióxido de carbono en salones de escuelas elementales del distrito escolar de caguas II; 2008.
- LONG N., PLESS S., JUDKOFF R., TORCELLINI P. Evaluation of the Low – Energy Design Process and Energy Performance of the Zion National Park Visitor Center; 2006.
- LÓPEZ, J., BETANCOURT, J. Certificación energética en vivienda financiadas con subsidio fondo solidario; 2011. 73p



- MANUAL DE APLICACIÓN REGLAMENTACIÓN TÉRMICA; 2006.
- MARBOUTIN, F. L'Actinometre et l'orientation des rues et des facades, la technique sanitaire et municipale. 1931.
- MARTÍN N., FERNÁNDEZ I. La Envoltura Fotovoltaica en la Arquitectura; 2007.
- MEZA L., PARRA C. Manual Técnico Reacondicionamiento Térmico Vivienda en Uso; 2010.
- MINGUET, J. Eco Rehabilitación; 2010.
- MÜLLER E. Estudios paramétricos con simulaciones térmicas para viviendas con climatización pasiva en la zona central de Chile; 2000.
- NORMA CHILENA OFICIAL NCh853. Acondicionamiento térmico – envoltura térmica de edificios – cálculo de resistencias y transmitancias térmicas; 2007.
- O.G.U.C. (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones); 2011.
- ODRIOZOLA, M. Cálculo y medida de infiltraciones de aire en edificios. País Vasco. 2008.
- OLGAY, V. Arquitectura y clima, Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona, Gustavo Gili 2010. 203p
- ROJAS A. Energy Efficiency Influence on Building Value According to Present Cost Value Method; 2006.
- SALAVERRY M. Inercia Térmica: Influencia de la Masa de Muros en el Comportamiento Térmico de Viviendas Sociales; 2008.
- SAMI V. Passive Solar on the Blue Ridge; 2008.
- SARMIENTO P. Energía Solar en Arquitectura y Construcción; 2007.
- TORCELLINI P., PLESS S., JUDKOFF R., CRAWLEY D. Solar Technologies & the Building Envelope; 2007.
- VÁSQUEZ C. El Vidrio Arquitectura y Técnica; 2006.
- VILLALOBOS R. Arquitectura y Clima; 2004.
- VILLALOBOS, R., CAMPOS, M., GALAN, A. Análisis térmico edificio bienestar estudiantil UBB Campus Concepción; 2007.
- VILLALOBOS R., NÚÑEZ R., OLGUÍN C., ROJAS Y. Análisis Térmico Edificio Diseño Industrial Universidad del Bío-Bío Campus Concepción; 2008.
- VILLALOBOS, R., SCHMIDT, D. Arquitecturas del Sur 034 – Sustentabilidad; 2008.
- VILLANUEVA J. Estudio de Aprovechamiento Energético en Viviendas Habitacionales DFL-2 para Tres Zonas Climáticas de Chile; 2009.
- CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO (CDT) CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCION. Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile; 2010.
- <http://diario.latercera.com/2011/07/22/01/contenido/pais/31-77296-9-estufas-emiten-contaminantes-por-sobre-recomendacion-de-la-oms.shtml>
- <http://freemeteo.com>
- <http://www.minvu.cl>
- <http://www.plataformaarquitectura.cl/2012/02/22/arquitectura-obsoleta-energeticamente-es-posible-la-rehabilitacion-sustentable/#more-138818>
- <http://www.serviaraucania.cl>
- <http://www.sii.cl/pagina/valores/dolar/dolar2008.htm>
- <http://www.territorioverde.cl>