

# Centro UC de Innovación en Madera

## ESTUDIO COMPARATIVO DE COSTOS DE OPERACIÓN PARA EDIFICACIONES EN CHILE

*8 abril 2020*

*Vicuña Mackenna 4860, Macul, Santiago – Chile / Fono: (56-2) 354 5549 / [contacto@cim.cl](mailto:contacto@cim.cl) / [www.madera.uc.cl](http://www.madera.uc.cl)*

|  |   |
|--|---|
| <b>1. Título del Proyecto.</b><br>Evaluación de desempeño ambiental interior de viviendas en madera y análisis de costos de operación  | <b>2. Cuerpo del informe</b><br>45 planas (incluye portada)             |
| <b>3. Autor(es)</b><br>Felipe Victorero – Sub Director Transferencia CIM<br>Danny Pavez Gallegos – Jefe de Proyectos   | <b>4. Contrato/Orden de Compra</b><br>Convenio transferencia MINVU 2018 |
| <b>5. Nombre y dirección de la organización investigadora</b><br>Nombre: Centro UC de Innovación en Madera (CIM).<br>Dirección: Vicuña Mackenna N° 4860, Macul, Santiago   | <b>6. Fecha del informe</b><br>8 abril 2020                             |
| <b>7. Antecedentes de la Institución Mandante</b><br>Nombre: Ministerio de Vivienda y Urbanismo<br>Dirección: Av. Libertador Bernardo O'Higgins 924, Santiago<br>RUT: 61.801.000-7   | <b>8. Contraparte técnica</b><br>-                                      |
| <b>9. Resumen</b><br><br>El presente informe desarrolla un análisis del costo final durante el periodo de la vida útil de una edificación de distintas soluciones constructivas para las 3 materialidades principalmente usadas en la construcción en Chile (hormigón, albañilería y madera) en edificaciones de viviendas de 1 a 6 pisos. El costo final incluye el costo de construcción, el costo de calefacción y el costo de otros energéticos asociados a la operación de los inmuebles. Esto considera 5 escenarios representativos de las distintas condiciones geográficas y climáticas de Chile.<br><br>En este contexto, la madera presenta en general los mejores resultados considerando el análisis mencionado, siendo casos puntuales donde el ahorro en calefacción de las soluciones en esta materialidad no es relevante en comparación al costo de construcción de otras alternativas y en condiciones climáticas particulares. Enfocándose en la ejecución con los estándares mínimos solicitados por la reglamentación térmica actual, las soluciones en madera presentan en todos los escenarios el mejor desempeño y, por lo tanto, se presentan como la mejor alternativa para el desarrollo de políticas públicas orientadas a reducir sustentablemente el déficit habitacional en Chile. |   |

---

**FELIPE VICTORERO C., MSc**

Sub Director transeferencia

Centro UC de Innovación en Madera

FVC/fvc

“La información contenida en el presente informe constituye el resultado de un estudio realizado por el Centro UC de Innovación en Madera, lo que en ningún caso permite al solicitante afirmar que sus productos han sido certificados por el Centro UC de Innovación en Madera, ni reproducir total o parcialmente el logo o marca, sin la autorización previa y por escrito del Centro UC de Innovación en Madera”

## CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| 1. RESUMEN.....   | 4  |
| 2. INTRODUCCIÓN.....  | 4  |
| 3. METODOLOGÍA.....   | 5  |
| Clima y selección de escenarios .....                               | 5  |
| Reglamentación térmica, tipologías y soluciones constructivas ..... | 7  |
| Evaluación de costos de construcción .....                          | 11 |
| Calefactores y combustibles.....                                    | 12 |
| 4. RESULTADOS .....   | 13 |
| Escenario 1: Clima Árido / BWn (BM) .....                           | 13 |
| Demanda de calefacción y costos de construcción.....                | 14 |
| Escenario 2: Clima Templado / Csb.....                              | 17 |
| Escenario 3: Clima templado húmedo / Csb n's .....                  | 21 |
| Escenario 4: Clima templado frío / Csb n's .....                    | 25 |
| Escenario 5: Clima semiárido / Bsn.....                             | 29 |
| Comparado según nivel de aislamiento.....                           | 33 |
| 5. CONCLUSIONES .....   | 43 |
| REFERENCIAS.....  | 44 |
| ANEXO I: Costos de construcción soluciones constructivas .....      | 45 |

# 1. RESUMEN

El presente informe desarrolla un análisis del costo final durante el periodo de la vida útil de una edificación de distintas soluciones constructivas para las 3 materialidades principalmente usadas en la construcción en Chile (hormigón, albañilería y madera) en edificaciones de viviendas de 1 a 6 pisos. El costo final incluye el costo de construcción, el costo de calefacción y el costo de otros energéticos asociados a la operación de los inmuebles. Esto considera 5 escenarios representativos de las distintas condiciones geográficas y climáticas de Chile.

En este contexto, la madera presenta en general los mejores resultados considerando el análisis mencionado, siendo casos puntuales donde el ahorro en calefacción de las soluciones en esta materialidad no es relevante en comparación al costo de construcción de otras alternativas y en condiciones climáticas particulares. Enfocándose en la ejecución con los estándares mínimos solicitados por la reglamentación térmica actual, las soluciones en madera presentan en todos los escenarios el mejor desempeño y, por lo tanto, se presentan como la mejor alternativa para el desarrollo de políticas públicas orientadas a reducir sustentablemente el déficit habitacional en Chile

## 2. INTRODUCCIÓN

Para 2030 3.000 millones de personas necesitarán acceder a viviendas nuevas en el mundo y especialmente en países en vías de desarrollo. Eso representa a cerca del 40% de la población actual. Dicho de otra manera, desde el 2015 y durante 15 años, se demandarán cerca de 96.000 nuevas viviendas por día en el mundo. Adicionalmente, 100 millones de personas alrededor del mundo actualmente no tienen hogar o viven en condiciones inaceptables de seguridad, salubridad o prosperidad (UN-Habitat, s.f.). Solo en Chile, actualmente el déficit habitacional es cercano al medio millón de viviendas (Observatorio Urbano, 2017), (Cámara Chilena de la Construcción, 2017) sin contar las 46.423 familias viviendo en campamentos, número que viene en aumento desde 2011 (Centro de investigación social TECHO - Chile, 2018). Dentro de este contexto, la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción (AEC, por sus siglas en inglés) presenta grandes desafíos y oportunidades que apuntan a contribuir al desarrollo de ciudades competitivas, socialmente integradas y eficientes en el uso de los recursos.

Por otro lado, según cifras del Ministerio de Energía, en el año 2017, el sector residencial consumió 44.990 Teracalorías, lo que representa un 69,4% del sector comercial, público y residencial y un 15,6% del consumo energético del país. Ello indica la importancia del sector residencial en el consumo nacional de energía (Ministerio de Energía, 2018). Se sabe, por otro lado, que las demandas de calefacción afectan fuertemente dichos consumos y presentan grandes dificultades sobre todo para los sectores más pobres ya que generalmente no cuentan con los recursos para mantener las condiciones interiores de la vivienda dentro de un rango de confort.

Es en este último punto donde la madera se presenta como una solución viable desde el punto de vista económico y medioambiental. Como lo muestra un estudio anterior del Centro UC de Innovación en Madera (CIM, 2019) la construcción en madera en la actualidad se presenta como el segundo material de mayor uso en el país, después del hormigón armado, no obstante, a ello, esta materialidad está prácticamente relegada a su uso solo en edificaciones hasta 2 pisos. Tal como lo señala Canadian Wood Council (2004) la madera es un aislante térmico natural dada su estructura celular que atrapa partículas de aire, resultando ello en baja conductividad térmica.

### 3. METODOLOGÍA

Para el presente estudio se definen tres tipologías arquitectónicas representativas del parque de viviendas en Chile y 9 soluciones constructivas de muro exterior o de envolvente en concordancia con la reglamentación térmica vigente y sistemas comercialmente disponibles en el mercado, además de 3 tipos de vidriados distintos. Fueron tomados en cuenta 5 escenarios climatológicos y contextos de industrialización de la construcción particulares. Estos casos son modelados utilizando la herramienta de modelación térmica dinámica Design Builder versión 6.1.4.007 y su motor de cálculo Energy Plus (Versión 8.9.0.001) considerando los siguientes parámetros:

|                                      |                   |
|--------------------------------------|-------------------|
| Heating (°C)                         | 20,0              |
| Heating set back (°C)                | -50,0             |
| Cooling (°C)                         | 25,0              |
| Cooling set back (°C)                | 50,0              |
| Infiltration (ac/h)                  | 1,5               |
| Occupancy (people/m2) viviendas*     | density caso 0,09 |
| Occupancy (people/m2) departamentos* | density caso 0,06 |

*\* Se definen 4 ocupantes por vivienda, con lo que la densidad de ocupación queda definida como 4 personas / m<sup>2</sup> calefaccionados.*

Así también, se lleva a cabo un análisis económico en función de los requerimientos de calefacción para cada caso, según los parámetros técnicos de equipos comúnmente utilizados en viviendas en cada clima de estudio y considerando costos del combustible. Análisis que permiten evaluar los costos de operación asociados a la calefacción durante la vida útil de la vivienda, siendo para este estudio tomado como base, al menos, 60 años, en este mismo capítulo más adelante se desarrolla la explicación del periodo de tiempo seleccionado. Cada simulación considera el promedio de las 4 orientaciones geográficas principales (Azimut 0°, 90°, 180° y 270°) de manera de descartar los efectos específicos asociados a una orientación en particular.

Se considera que se tomarán todas las medidas necesarias para lograr una hermeticidad al aire en la envolvente. Para las alternativas ejecutadas en madera, se consideran membranas hidrófugas con cintas en encuentros y vanos, además de sellos en juntas para ventanas y puertas. Para las alternativas ejecutadas en albañilería y hormigón, se consideran sellos en juntas para ventanas y puertas.

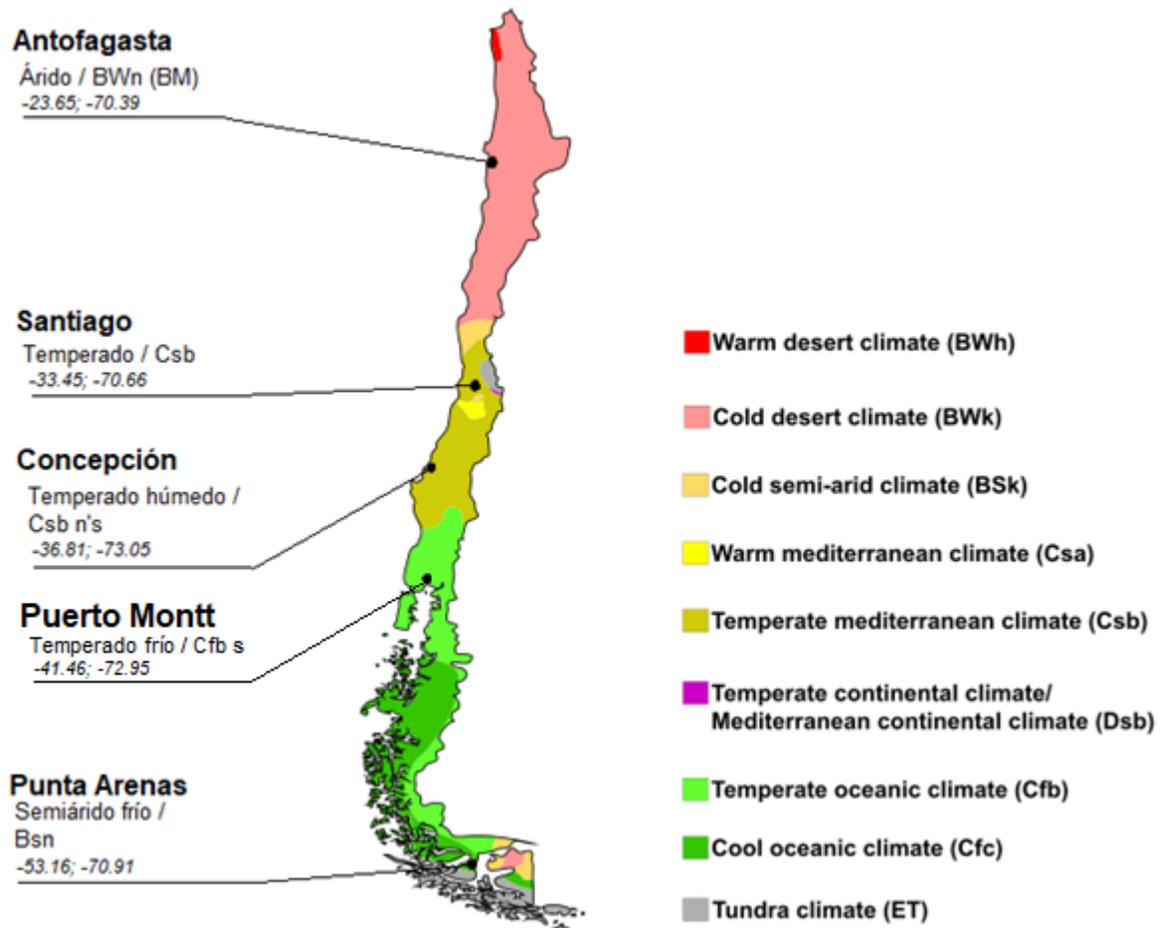
En este punto se recomienda tomar en cuenta lo indicado por diversos autores en cuanto a la dificultad de las construcciones en madera en la actualidad para lograr niveles de infiltración adecuados. Así, por ejemplo, CITEC UBB (2014) indica que para una serie de edificaciones en las cuales se midió el nivel de infiltración los edificios habitacionales mostraban un bajo desempeño de 24,6 ac/h (medidos a 50Pa). Albañilería de ladrillo mostraba 11,8 y hormigón 9 ac/h @ 50Pa. Cualquier esfuerzo de mejorar térmicamente las viviendas podría anularse en caso de altas infiltraciones.

### Clima y selección de escenarios

Chile comprende un variado rango de climas debido a sus características geográficas. Basándonos en la clasificación de Köppen (Delgadillo, Segovia, & Thenoux, 2017), podemos notar que existen al

menos 10 tipos, pasando desde Desértico frío en el norte (BWk, Cold desert) hasta Subpolar oceánico en la zona austral (Cfc, Subpolar oceánico). Ver Ilustración 1:

Ilustración 1: Individualización de climas de estudio



Fuente: Adaptado de (Delgadillo, Segovia, & Thenoux, 2017)

Dada dicha variación de climas, en este trabajo se realizó una zonificación en base a 5 escenarios entendiendo que en cada escenario 1.- se presenta un desarrollo productivo y nivel de industrialización de la construcción relativamente homogéneo, 2.- es identificable una ciudad capital que cuenta con las mejores oportunidades de desarrollo industrial y concentra la mayor cantidad de población y 3.- cuentan con un clima predominante o representativo de una zona geográfica del país. A continuación, se presentan los escenarios:

Tabla 1: Descripción de escenarios

| Escenario | Ciudad capital | Zona geográfica              | Población | Clima / Clasificación de Köppen | Industria maderera y capacidades  | Construcción en madera |
|-----------|----------------|------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| 1         | Antofagasta    | Arica y Parinacota a Atacama | 348.517   | Árido / BWn (BM)                | Sin bosques ni industria maderera | Usada en el pasada, no |

|   |              |                       |           |                            |  |                                    |
|---|--------------|-----------------------|-----------|----------------------------|--|------------------------------------|
|   |              |                       |           |                            |  | en el presente                     |
| 2 | Santiago     | Coquimbo a Maule      | 6.139.087 | Temperado / Csb            | Sin bosques. Algunas manufactureras de alta tecnología | Muy baja presencia                 |
| 3 | Concepción   | Biobío y La Araucanía | 972.714   | Temperado húmedo / Csb n's | Mucha plantación. Manufactureras de mediano tamaño     | Rica tradición                     |
| 4 | Puerto Montt | Los Ríos y Los Lagos  | 238.175   | Temperado frío / Cfb s     | Bosque nativo. Manufactureras de mediano tamaño        | Rica tradición                     |
| 5 | Punta Arenas | Aysén y Magallanes    | 123.403   | Semiárido frío / Bsn       | Bosque nativo. Manufactureras pequeñas                 | Decreciendo en las últimas décadas |

## Reglamentación térmica, tipologías y soluciones constructivas

En Chile, actualmente la regulación térmica indica que debe existir aislación térmica mínima para distintos paramentos, así, para muros, techos y pisos ventilados, existen Transmitancias Térmicas (U) mínimas que cumplir según una zonificación térmica en base a un concepto conocido como grados-día de calefacción especialmente creada para este fin (Se entiende como grado-día la diferencia entre 15°C y la temperatura media de un día siempre que esta sea inferior a 15°C). También se deben respetar superficies vidriadas máximas, dependiendo del tipo de ventana que el proyecto considere. Así, para este estudio, se tomaron en cuenta las siguientes Soluciones constructivas de muro para madera, hormigón y albañilería según cada escenario:

Tabla 2: Soluciones constructivas para cada escenario

|                 | Solución Constructiva con aislación "Mínima" |                  |                                | Solución Constructiva con aislación "Intermedia" |                  |                                | Solución Constructiva con aislación "Ideal" |                  |                                |
|-----------------|--|------------------|--------------------------------|--|------------------|--------------------------------|---|------------------|--------------------------------|
|                 | Muro   | Tipo de vidriado | Transmitancia Térmica "U" muro | Muro   | Tipo de vidriado | Transmitancia Térmica "U" muro | Muro  | Tipo de vidriado | Transmitancia Térmica "U" muro |
| <b>NORTE</b>    | <b>Escenario 1</b>                           |                  |                                |  |                  |                                |   |                  |                                |
| Albañilería     | BM   | SG               | 1,92                           | BMi  | SG               | 1,26                           | BMi   | DG1              | 1,26                           |
| Hormigón armado | RC   | SG               | 3,91                           | RCi  | SG               | 1,88                           | RCi   | DG1              | 1,88                           |
| Madera          | TF1  | SG               | 0,65                           | TF2  | SG               | 0,47                           | TF2   | DG1              | 0,47                           |
| <b>CENTRO</b>   | <b>Escenario 2</b>                           |                  |                                |  |                  |                                |   |                  |                                |
| Albañilería     | BMi  | SG               | 1,26                           | BMi  | DG1              | 1,26                           | BMi   | DG2              | 1,26                           |

|                     |                    |     |      |     |     |      |     |     |      |
|---------------------|--------------------|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|------|
| Hormigón armado     | RCi                | SG  | 1,88 | RCi | DG1 | 1,88 | RCe | DG2 | 0,58 |
| Madera              | TF1                | SG  | 0,65 | TF2 | DG1 | 0,47 | TF2 | DG2 | 0,47 |
| <b>SUR</b>          | <b>Escenario 3</b> |     |      |     |     |      |     |     |      |
| Albañilería         | BMi                | SG  | 1,26 | BMe | DG1 | 0,50 | BMe | DG2 | 0,50 |
| Hormigón armado     | RCi                | SG  | 1,88 | RCe | DG1 | 0,58 | RCe | DG2 | 0,58 |
| Madera              | TF1                | SG  | 0,65 | TF2 | DG1 | 0,47 | TF2 | DG2 | 0,47 |
| <b>PUERTO MONTT</b> | <b>Escenario 4</b> |     |      |     |     |      |     |     |      |
| Albañilería         | BMi                | SG  | 1,26 | BMe | DG1 | 0,50 | BMe | DG2 | 0,50 |
| Hormigón armado     | RCi                | SG  | 1,88 | RCe | DG1 | 0,58 | RCe | DG2 | 0,58 |
| Madera              | TF1                | SG  | 0,65 | TF2 | DG1 | 0,47 | TF2 | DG2 | 0,47 |
| <b>AUSTRAL</b>      | <b>Escenario 5</b> |     |      |     |     |      |     |     |      |
| Albañilería         | BMe                | DG1 | 0,52 | BMe | DG2 | 0,52 | TF3 | DG2 | 0,34 |
| Hormigón armado     | RCe                | DG1 | 0,57 | RCe | DG2 | 0,57 |     |     |      |
| Madera              | TF2                | DG1 | 0,47 | TF2 | DG2 | 0,47 |     |     |      |

Donde cada sigla significa: BM: Albañilería de ladrillo cerámico; BMi: Albañilería de ladrillo cerámico con aislación por el interior (10mm EPS); BMe: Albañilería de ladrillo cerámico con aislación por el exterior (60mm EPS). RC: Hormigón armado; RCi: Hormigón armado con aislación por el interior (10mm EPS); RCe: Hormigón armado con aislación por el exterior (60mm EPS). TF1: Entramado de madera, Pie derecho de 41x90mm con 50mm de Lana de vidrio (11kg/m<sup>3</sup>); TF2: Entramado de madera, Pie derecho de 41x90mm con 80mm de Lana de vidrio (11kg/m<sup>3</sup>); TF3: Entramado de madera, Pie derecho de 41x90mm con 90mm de Lana de vidrio (35kg/m<sup>3</sup>). SG: Vidrio simple e: 8mm; DG1: Doble vidriado hermético, vidrios e: 6mm; espacio e: 6mm; DG2: Doble vidriado hermético, vidrios e: 6mm; espacio e: 13mm

*Ilustración 2: Escantillones de soluciones constructivas para albañilería*

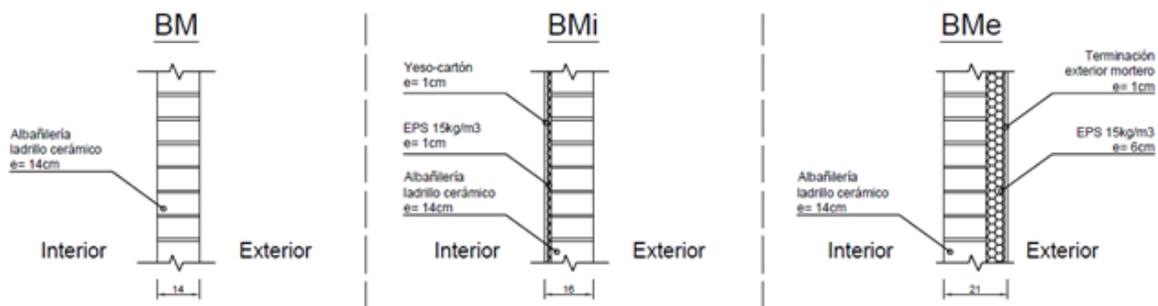


Ilustración 3: Escantillones de soluciones constructivas para hormigón armado

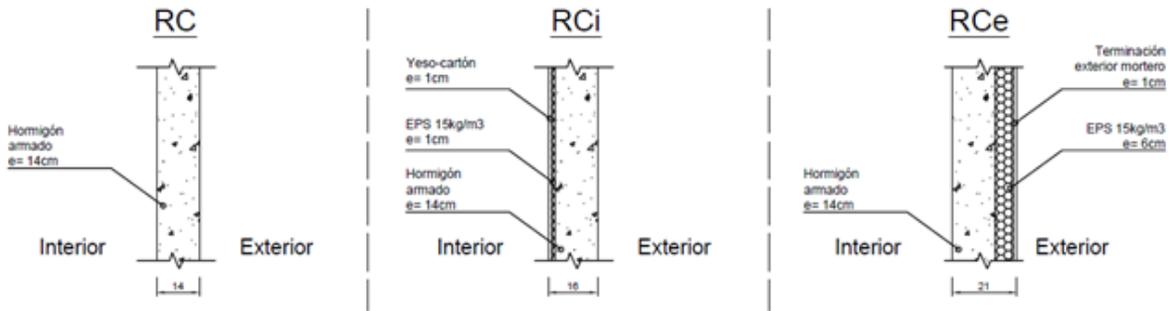
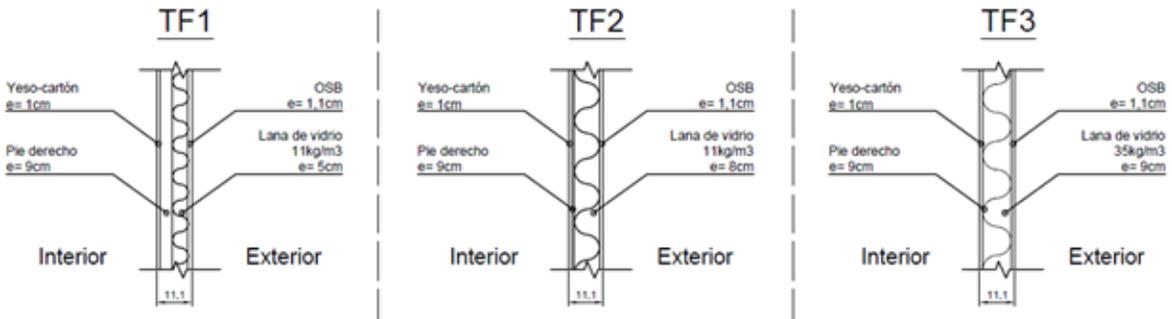


Ilustración 4: Escantillones de soluciones constructivas para madera



Se utilizaron tres tipologías arquitectónicas: 1) Una vivienda unifamiliar de 44,9 m<sup>2</sup> construidos, considerando albañilería de ladrillo cerámico o entramado de madera, 2) Un edificio de 4 pisos con cuatro departamentos de 55,9 m<sup>2</sup> cada uno y un área común de 27,0 m<sup>2</sup> dando un total de 277,8 m<sup>2</sup> 3) Un edificio de 6 pisos con cuatro departamentos de 55,9 m<sup>2</sup> cada uno y un área común de 27,0 m<sup>2</sup> dando un total de 277,8 m<sup>2</sup> por piso. La arquitectura de estas tipologías está basada en la base de datos del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) y desarrollo del CIM UC, asegurándose así su representatividad. A continuación, se presentan planimetrías representativas:

Ilustración 5: Tipología 1, Vivienda unifamiliar de 1 piso

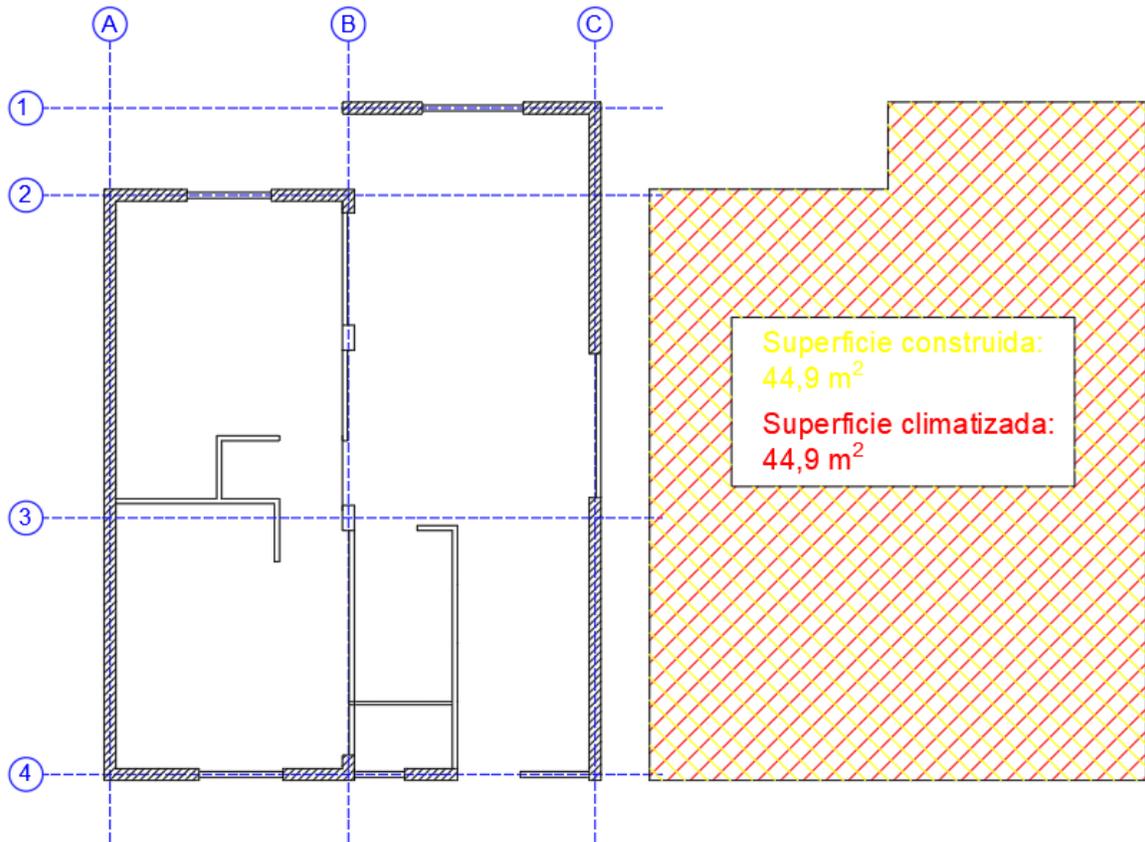
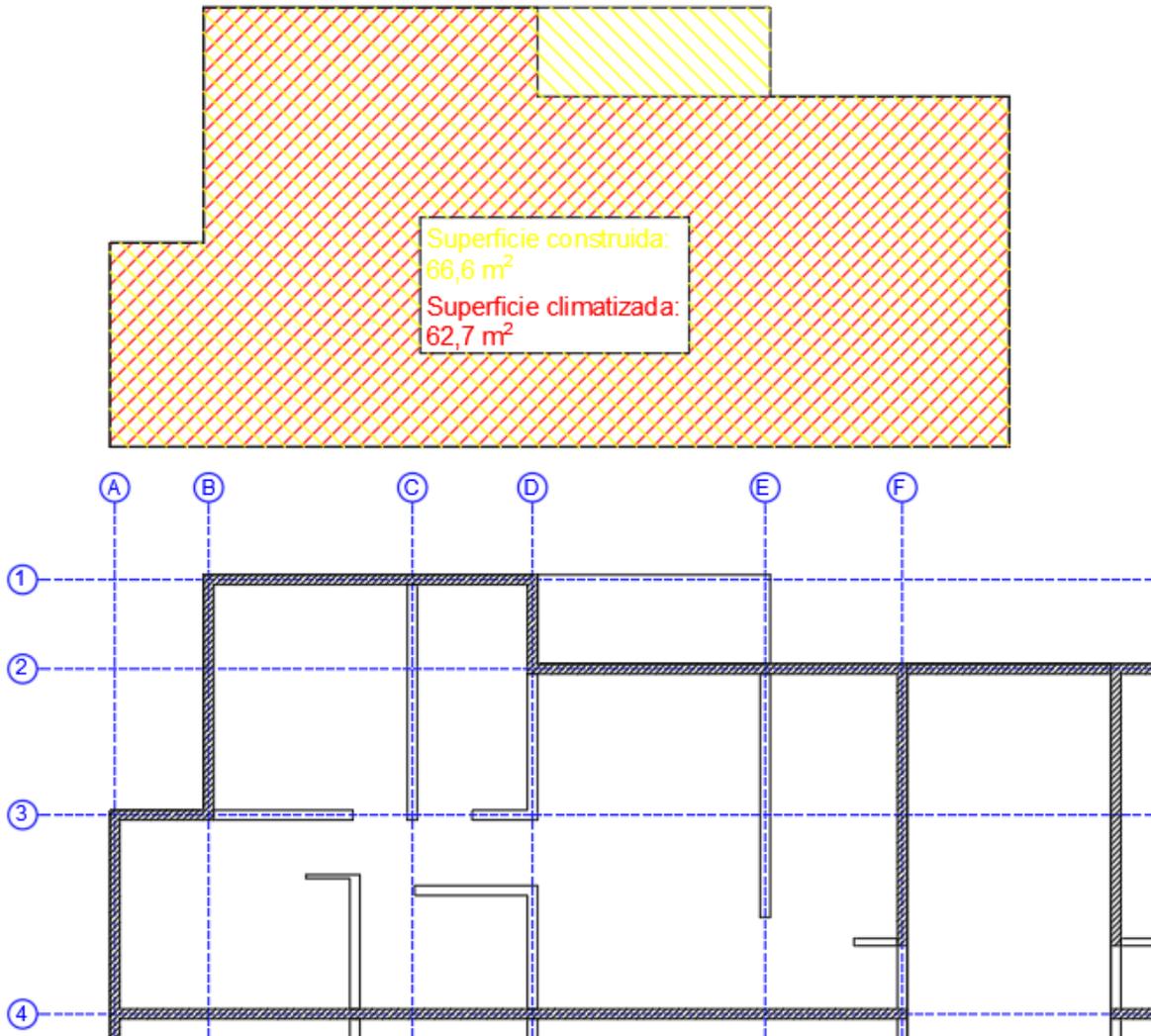


Ilustración 6: Tipología 2 y 3, Edificio 4 y 6 pisos de 4 deptos. por piso. Planimetría de un depto y pasillo.



La tipología 1 consideró radier de hormigón de 7cm más EPS de 4cm para todos los escenarios y techumbre de aluminio con lana de vidrio de 11 kg/m<sup>3</sup> de espesor según localidad.

Las tipologías 2 y 3 consideran en el caso de las soluciones constructivas en madera entrepiso de 20mm de yeso cartón, lana de vidrio de 80cm, 10mm de OSB y una capa de hormigón ligero de 4cm; en el caso de soluciones constructivas en hormigón, una losa de hormigón armado de 17cm

## Evaluación de costos de construcción

El CIM (2019) llevó a cabo un estudio de costos de construcción y estadísticas de edificación. En él se estableció una Matriz de Casos y tipologías arquitectónicas representativas del parque habitacional de Chile entre 1 y 6 pisos. Dicha matriz, estableció costos referenciales para distintas materialidades y zonas geográficas de Chile teniendo en cuenta las capacidades de cada localidad, centros de distribución, mano de obra, requerimientos térmicos y de fuego y, para el caso de la madera, distintos niveles de industrialización (no industrializado, semiindustrializado o industrializado). Además, se consideraron mecánicas de suelo representativas de cada zona. Se llegó a un nivel de análisis entendido generalmente como costo neto. Este corresponde a los costos

directos de construcción, los gastos generales y utilidades. No se consideran otros costos como costo de terreno, proyectistas, arquitectura, permisos, cálculo estructural u otros. De dicho estudio, se adaptan los costos referenciales para uso en el estudio actual. En el Anexo I se presenta un resumen con los costos de construcción de cada Solución Constructiva.

## Calefactores y combustibles

El análisis llevado a cabo consideró un análisis económico y posterior presupuesto usando precios de combustibles representativos de las zonas. Por otro lado, las simulaciones térmicas se llevaron a cabo usando Energy Plus (Versión 8.9.0.001) para determinar las demandas de calefacción anuales.

Se supuso el uso de los siguientes calefactores y valores de energía:

*Tabla 3: Detalles de calefacción*

| Escenario | Tipo de calefactor <sub>1</sub>     | Eficiencia del equipo <sub>2</sub> | Precio del combustible (UF/kWh) <sub>2</sub> |
|-----------|-------------------------------------|------------------------------------|--|
| 1         | Calefactor eléctrico                | 100%                               | 0,0047                                       |
| 2         | Calefactor a gas licuado en balones | 80%                                | 0,0030                                       |
| 3         | Calefactor a leña                   | 68%                                | 0,0016                                       |
| 4         | Calefactor a leña                   | 68%                                | 0,0016                                       |
| 5         | Calefactor a leña                   | 68%                                | 0,0015                                       |

*Fuente: 1. Adaptado de CDT, 2010.*

*2. En base a investigación propia. Considera UF= \$ 28.800*

Comúnmente se considera para análisis de Ciclo de Vida un horizonte de 50 años (Quispe & Cuchí, 2016) ya que en ese periodo en una edificación se utiliza el 75% de la energía que usará a lo largo su ciclo de vida (Kara, y otros, 2003), sin embargo, se hizo un análisis de 60 años ya que para este trabajo se busca analizar el uso de la energía operacional a lo largo de la vida útil de una edificación. La vida útil de una edificación está definida entre 50 y 99 años para edificios residenciales (Hernández Moreno, 2016), considerándose entonces un periodo de 60 años como conservador.

Para cada vivienda, se considera también un costo fijo de consumo en otros energéticos los que incluyen, por ejemplo, agua caliente sanitaria (GN, GLP mayormente), refrigeración de alimentos (electricidad), cocción de alimentos (GN, GLP y electricidad mayormente), iluminación (electricidad), entre otros. Dicho costo fijo fue adaptado en base al estudio de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (2010). También se considera que este monto es fijo independiente de la solución constructiva o arquitectura y solo es función del escenario y ocupación por parte de los usuarios. A continuación, se presentan dichos montos:

*Tabla 4: Monto otros energéticos*

| Escenario | Monto fijo otros energéticos (UF/año) |
|-----------|---------------------------------------|
| 1         | 13,3003                               |
| 2         | 15,9441                               |
| 3         | 16,1610                               |

|   |         |
|---|---------|
| 4 | 16,1610 |
| 5 | 16,1610 |

Fuente: Adaptado de CDT (2010)

## 4. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados en dos formatos. El primero es un gráfico de dispersión para todas las soluciones constructivas por arquitectura y escenario, que contrasta el costo de construcción (UF) con el costo de calefacción anual (UF/año). Dentro de este gráfico, se destaca la alternativa que, luego del análisis con la fórmula más abajo señalada, resulta la más atractiva en términos económicos.

El segundo formato es un gráfico de columnas apiladas y presenta los resultados acumulados, de costos de construcción, costo de calefacción por 60 años y costo de otros energéticos por 60 años para cada una de las soluciones constructivas por escenario.

En este gráfico se indica con una flecha, la alternativa que en términos económicos es la más atractiva.

Estos resultados también están tabulados, según nivel de aislación, en las tablas Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7.

Luego, el Costo Total para cierto escenario y solución constructiva estará dado por la siguiente fórmula:

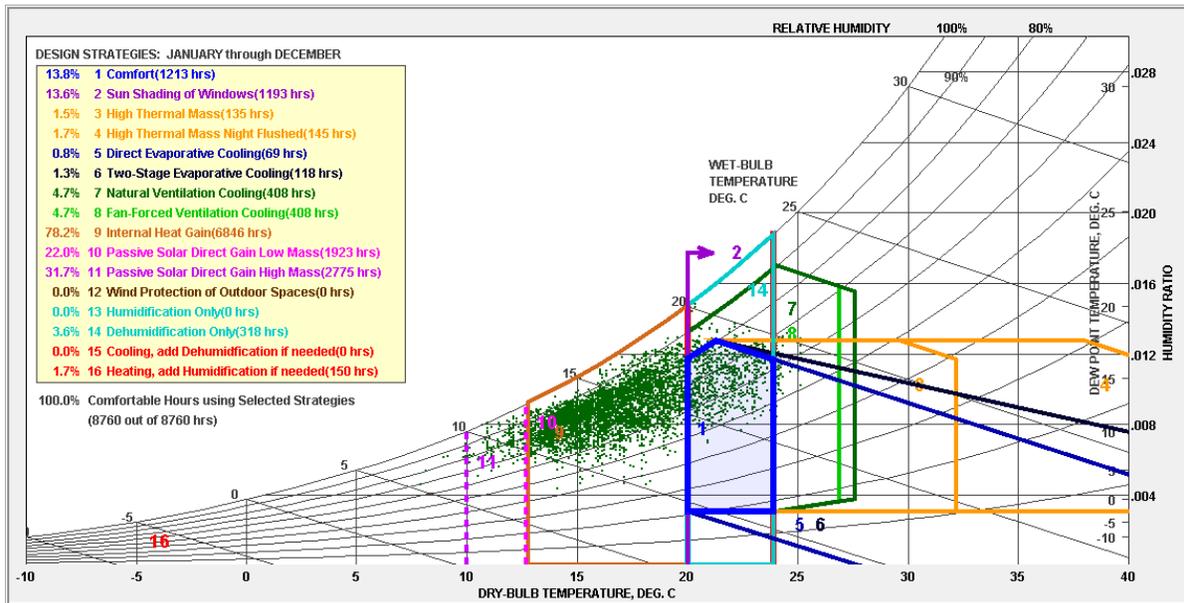
$$\begin{aligned}
 \text{Costo Total (UF)} = & \\
 & \text{Costo Construcción de Solución Constructiva } \left( \frac{\text{UF}}{\text{m}^2} \right) * \text{Superficie construida (m}^2\text{)} \\
 & + \left( \text{Costo calefacción anual } \left( \frac{\text{UF}}{\text{año}} \right) + \text{Costo otros energéticos anual } \left( \frac{\text{UF}}{\text{año}} \right) \right) \\
 & * 60 \text{ (años)}
 \end{aligned}$$

### Escenario 1: Clima Árido / BWn (BM)

Como fue mencionado anteriormente, se hizo un análisis económico en base a precios locales y disponibilidad de industrializadoras de la zona. En el escenario 1, la capital zona es Antofagasta, ciudad de cerca de 350.000 habitantes, con un pasado de construcción en madera asociado a empresas extranjeras y la industria salitrera, aunque en la actualidad se utilice muy poco. Tampoco hay presencia de plantaciones forestales o bosques. Las actividades económicas principales están ligadas a la minería

Tiene un clima Árido / BWn (BM) con temperaturas suaves y estables durante la mayor parte del año. Además, presenta humedad y neblinas matinales producto en algunas zonas conocidas como camanchaca. Este clima implica bajos requerimientos de calefacción y, por lo tanto, bajas demandas y bajo costos asociados a calefacción. A continuación, se presenta un gráfico psicrométrico:

Ilustración 7: Ábaco psicrométrico Antofagasta.



Fuente: Elaboración propia en base a Climate Consultant 6.0

## Demanda de calefacción y costos de construcción

### Tipología 1: Vivienda unifamiliar

Gráfico 1: Costo calefacción anual y costo de construcción. Esc. 1, Tip. 1.

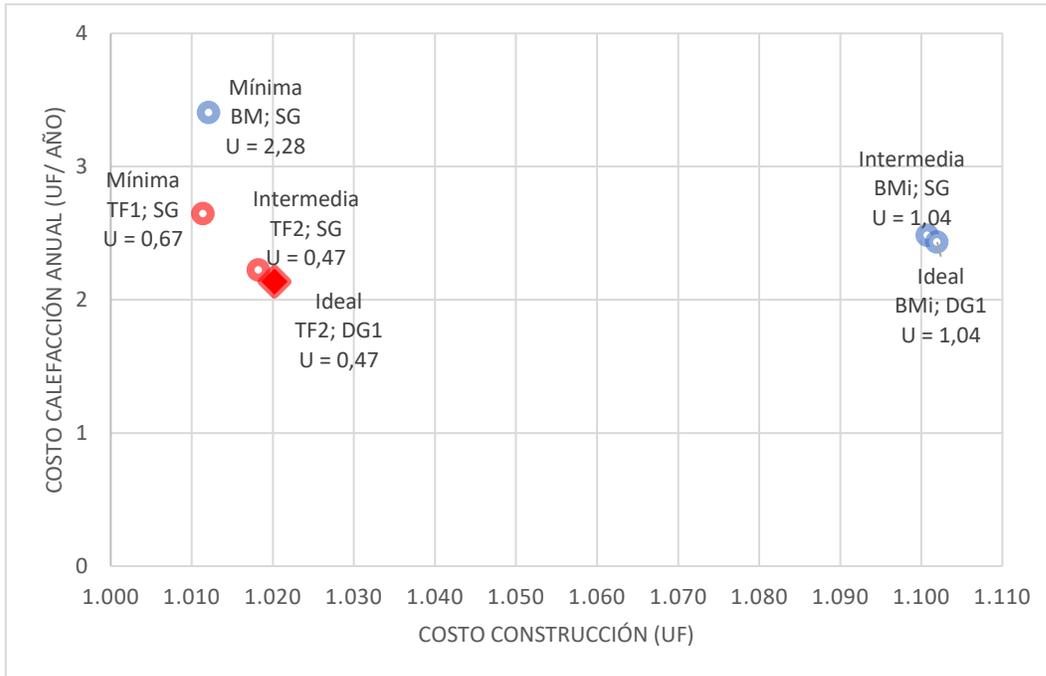
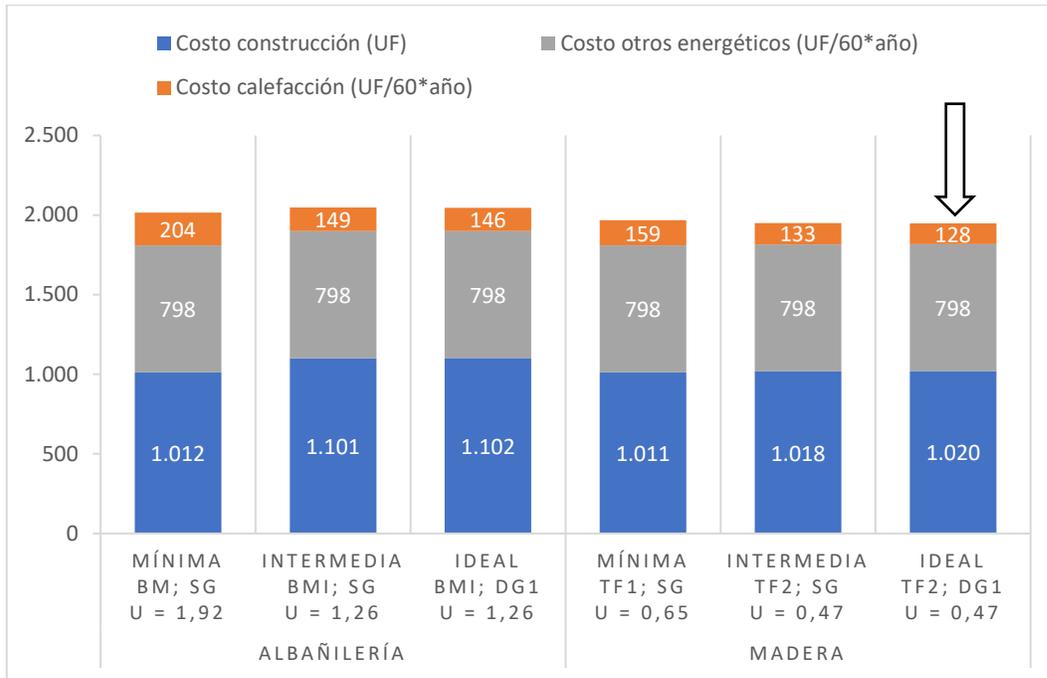


Gráfico 2: Costo acumulado de construcción, calefacción y otros energéticos. Esc. 1, Tip. 1.



### Tipología 2: Edificio de 4 pisos

Gráfico 3: Costo calefacción anual y costo de construcción. Esc. 1, Tip. 2.

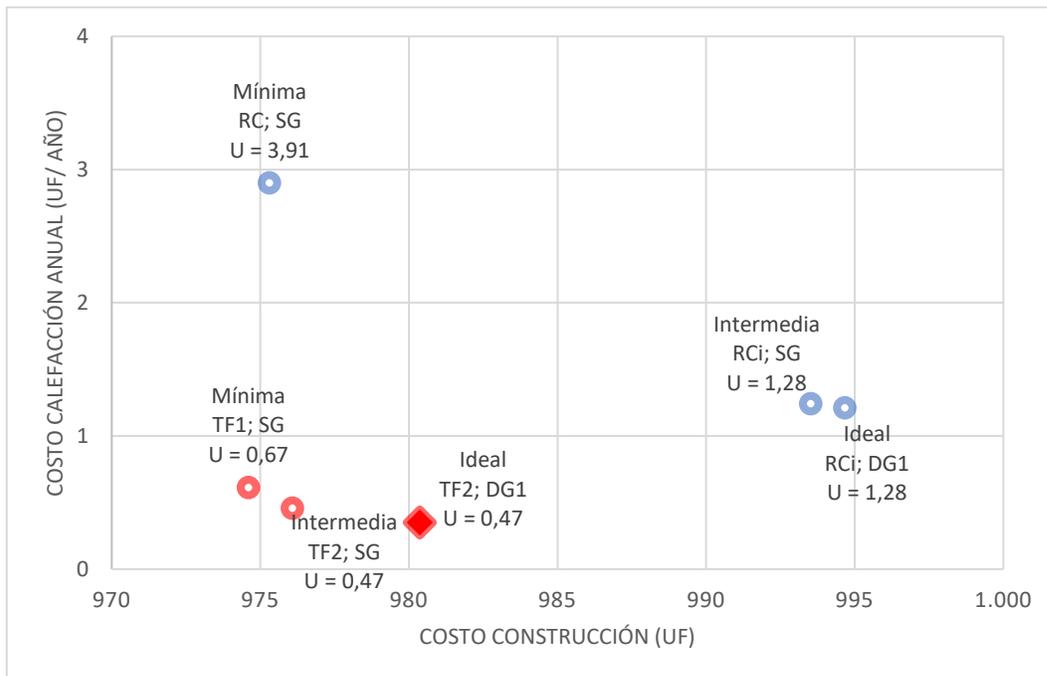
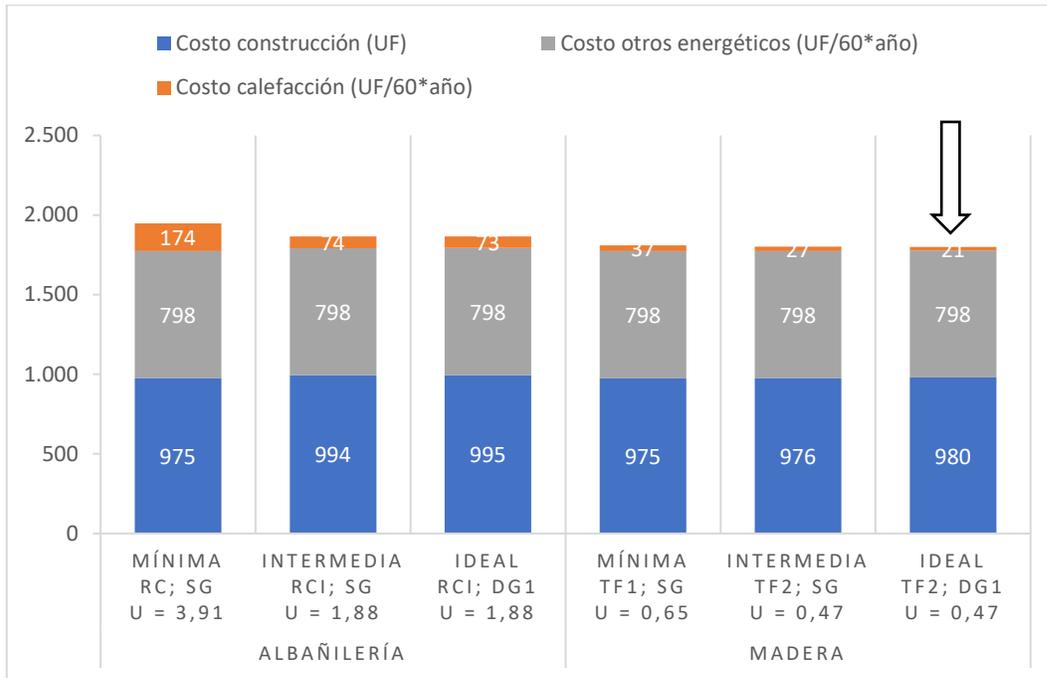


Gráfico 4: Costo acumulado de construcción, calefacción y otros energéticos. Esc. 1, Tip. 2.



Tipología 3: Edificio de 6 pisos:

Gráfico 5: Costo calefacción anual y costo de construcción. Esc. 1, Tip. 3.

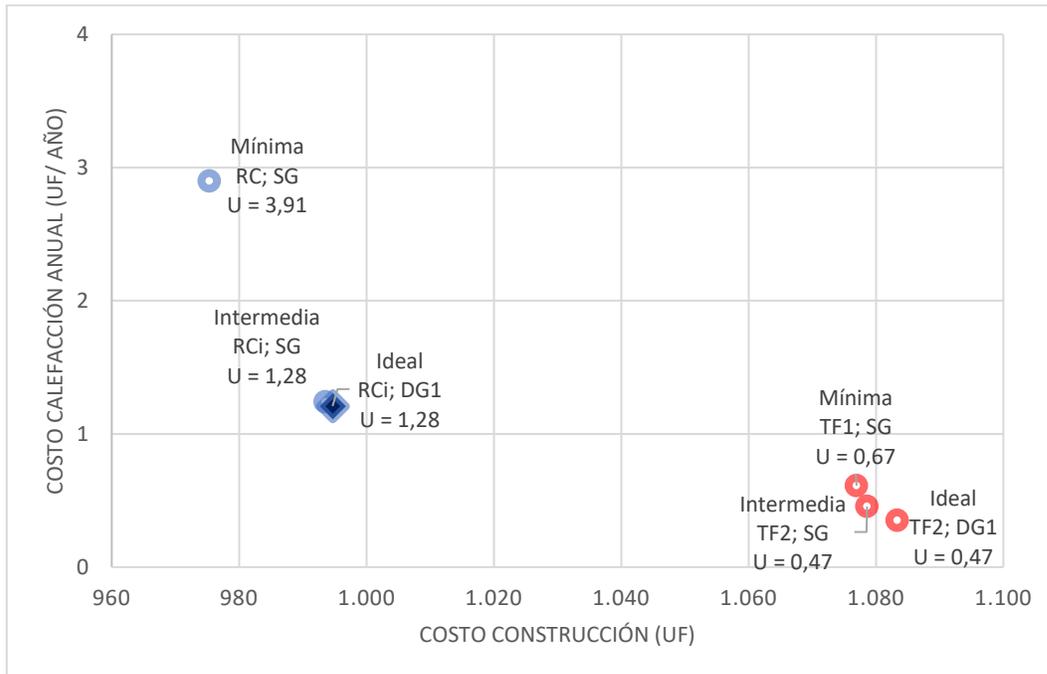
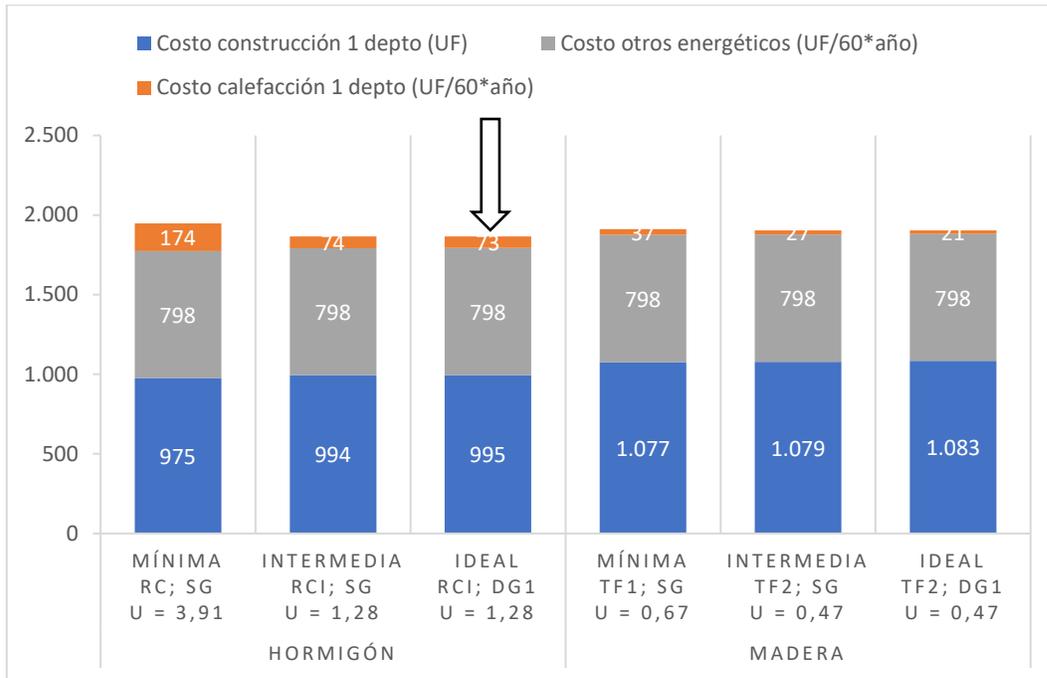


Gráfico 6: Costo acumulado de construcción, calefacción y otros energéticos. Esc. 1, Tip. 3

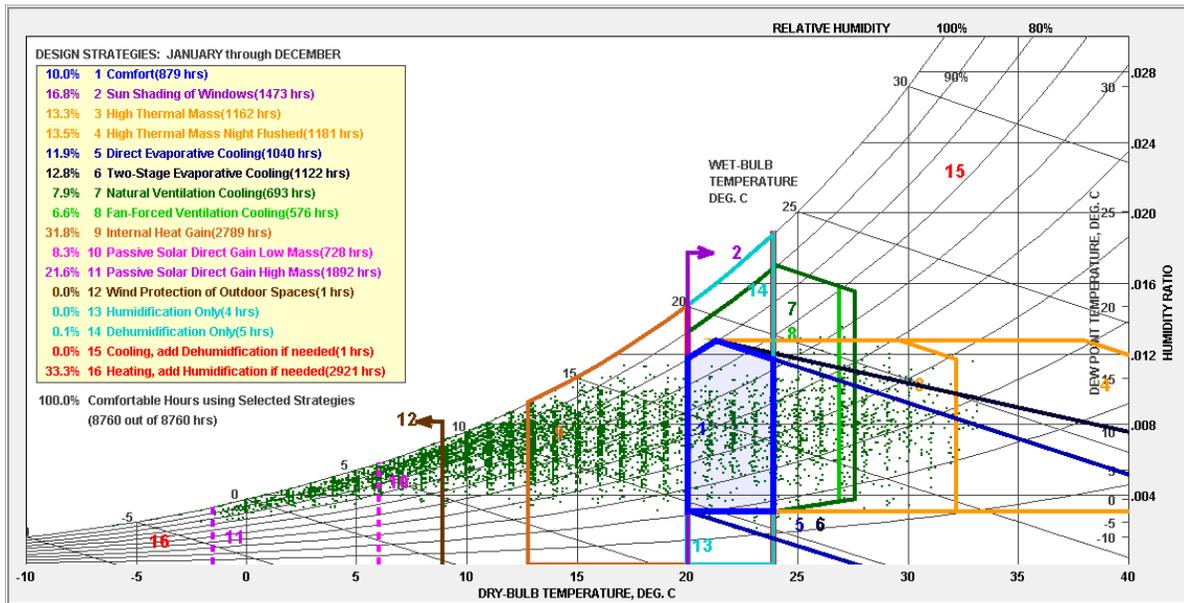


## Escenario 2: Clima Templado / Csb

En el escenario 2, la capital zonal es Santiago, ciudad de cerca de 6.200.000 habitantes y capital política, económica y administrativa de Chile. Se presencia bajo uso de la madera, además de una inexistencia de plantaciones forestales o bosques de consideración. A pesar de lo anterior concentra las plantas de industrialización más modernas y de mayor capacidad en el país. Santiago comúnmente es posicionado como una ciudad líder en Latinoamérica en cuanto a factores sociales, económicos y ambientales, además de ser la más segura.

Tiene un clima Templado / Csb y está ubicado en el valle central de Chile, es decir, entre los cordones montañosos conocidos como Cordillera de la costa y Cordillera de Los Andes. En específico en un llano conocido como Cuenca de Santiago. Se presentan lluvias invernales concentradas principalmente en invierno y estación seca prolongada. Este clima presenta requerimientos de calefacción algo mayores que el escenario 1.

Ilustración 8: Ábaco psicrométrico Santiago.



Fuente: Elaboración propia en base a Climate Consultant 6.0

### Tipología 1: Vivienda unifamiliar

Gráfico 7: Costo calefacción anual y costo de construcción. Esc. 2, Tip. 1.

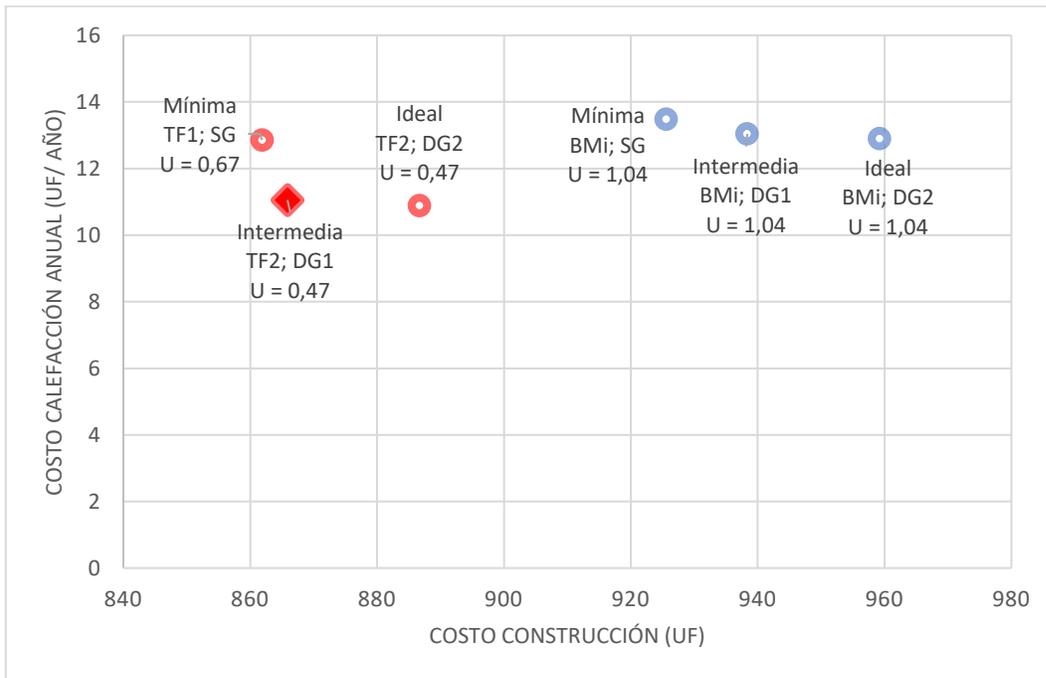
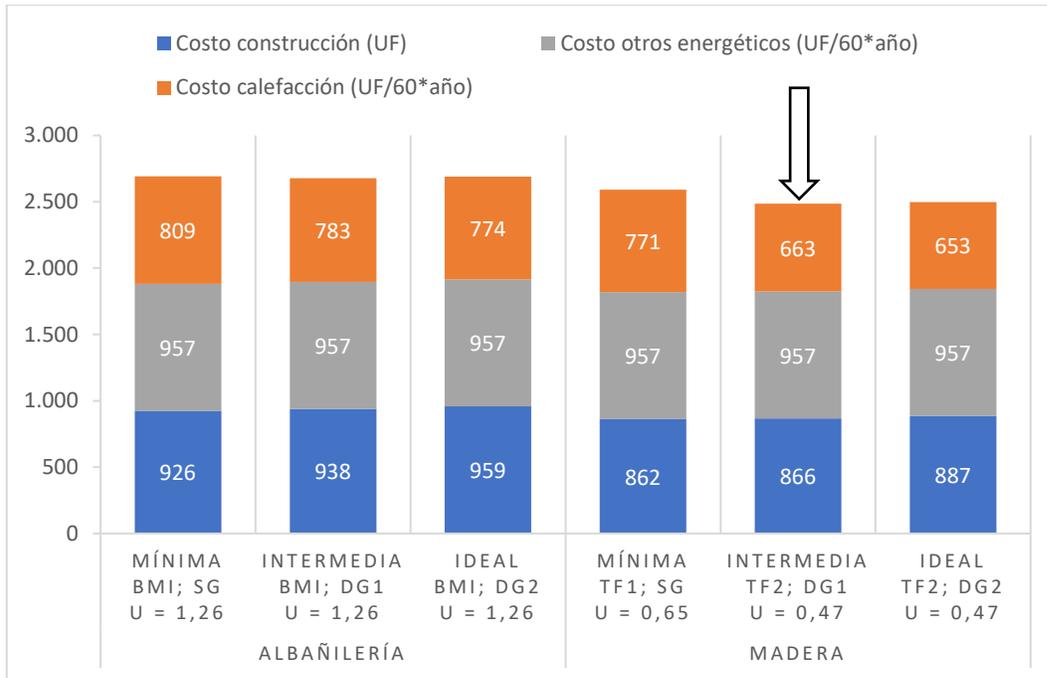


Gráfico 8: Costo acumulado de construcción, calefacción y otros energéticos. Esc. 2, Tip. 1



### Tipología 2: Edificio de 4 pisos

Gráfico 9: Costo calefacción anual y costo de construcción. Esc. 2, Tip. 2.

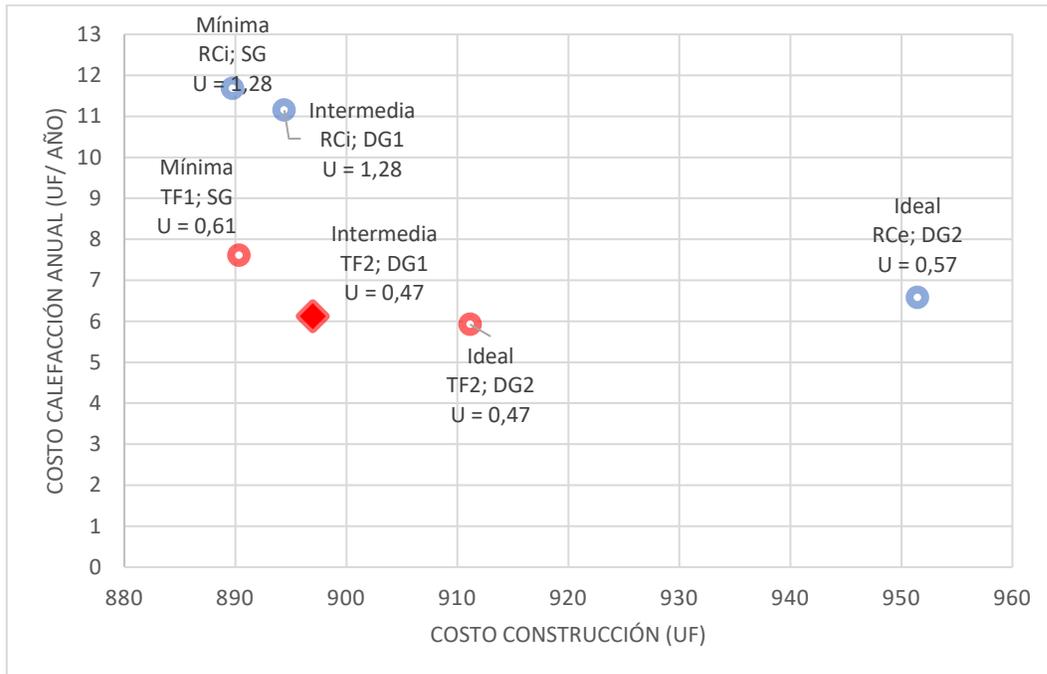
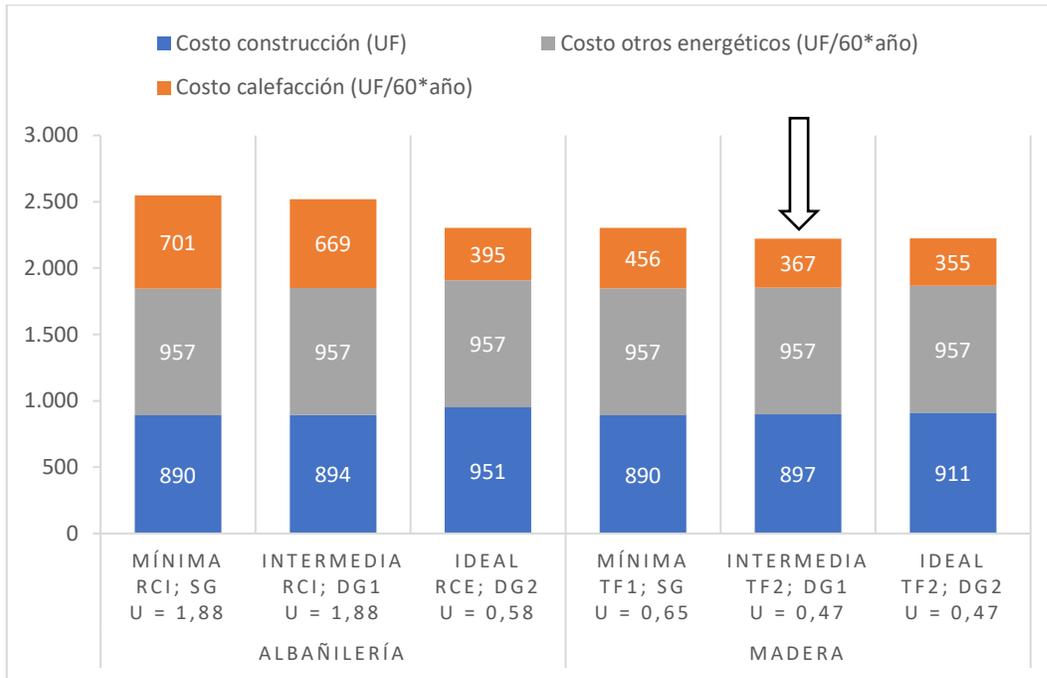


Gráfico 10: Costo acumulado de construcción, calefacción y otros energéticos. Esc. 2, Tip. 2.



### Tipología 3: Edificio de 6 pisos

Gráfico 11: Costo calefacción anual y costo de construcción. Esc. 2, Tip. 3.

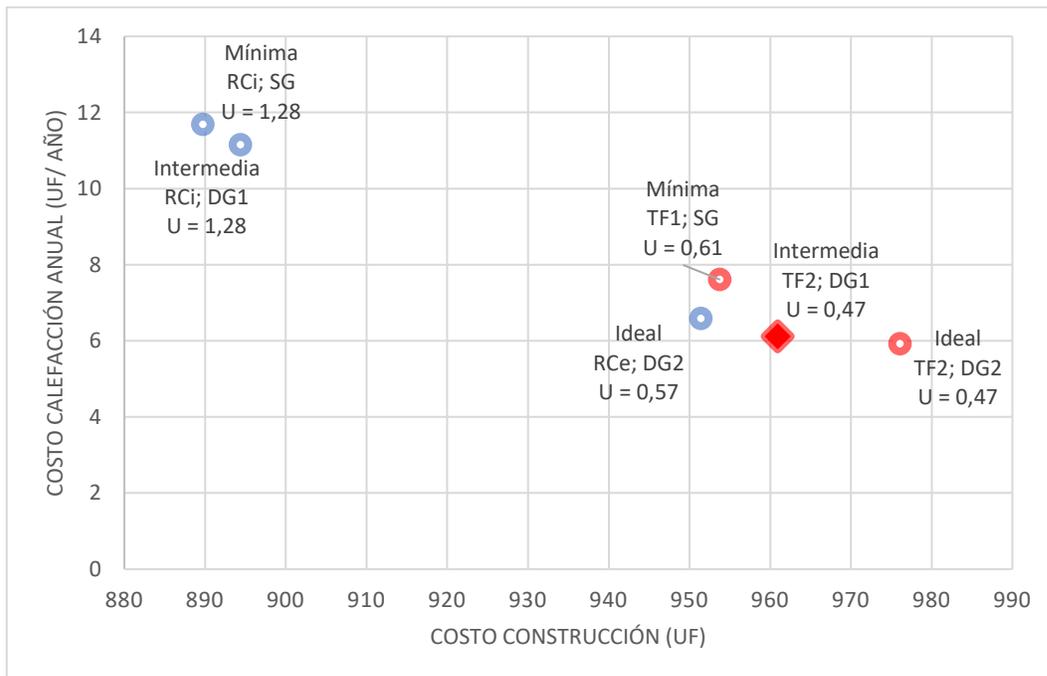
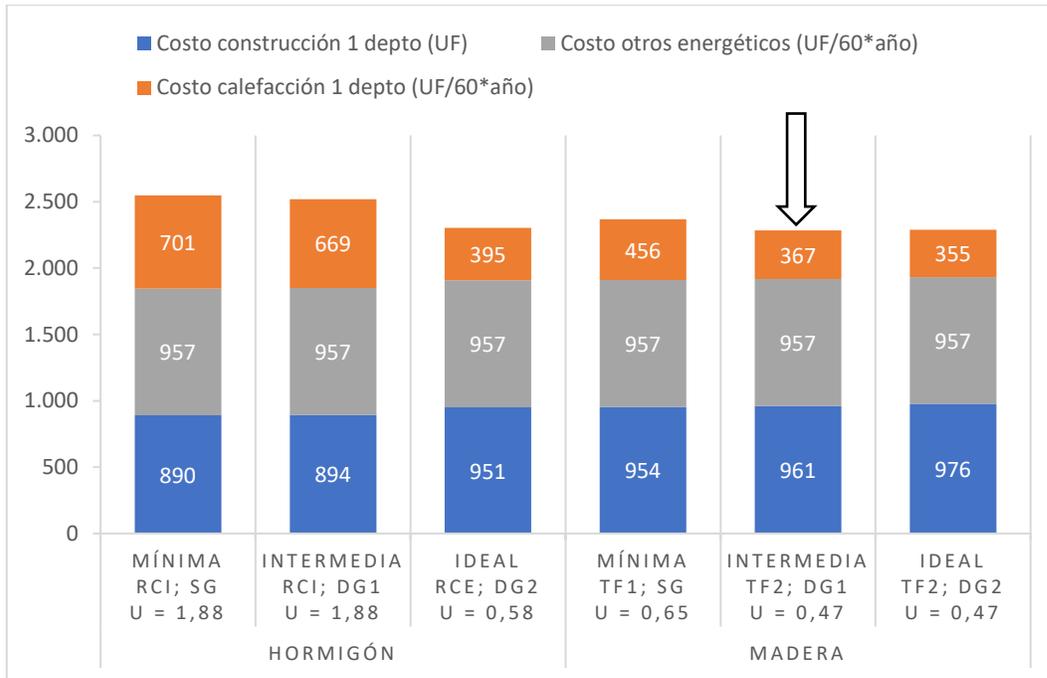


Gráfico 12: Costo acumulado de construcción, calefacción y otros energéticos. Esc. 2, Tip. 3.



## Escenario 3: Clima temperado húmedo / Csb n's

En el escenario 3, la capital zonal es Concepción, la segunda mayor ciudad de Chile de cerca de 1.000.000 habitantes. Presenta una rica tradición de uso de la madera en construcción y presenta gran disponibilidad de recursos forestales. Existen diversas manufactureras de construcción en madera de nivel tecnológico medio y se considera como uno de los polos de industrialización del país.

Tiene un clima Temperado húmedo / Csb, con influencia oceánica con oscilaciones térmicas moderadas y mostrando mayores requerimientos térmicos que los escenarios anteriores.

Ilustración 9: Ábaco psicométrico Concepción.

Fuente: Elaboración propia en base a Climate Consultant 6.0

Tipología 1: Vivienda unifamiliar

Gráfico 13: Costo calefacción anual y costo de construcción. Esc. 3, Tip. 1.

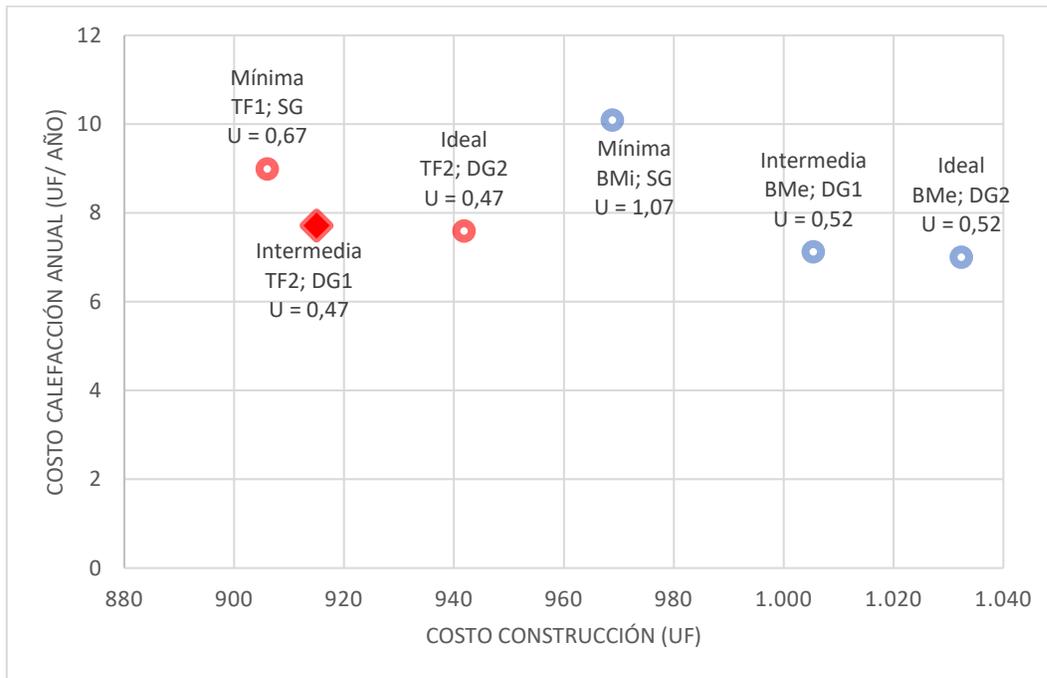
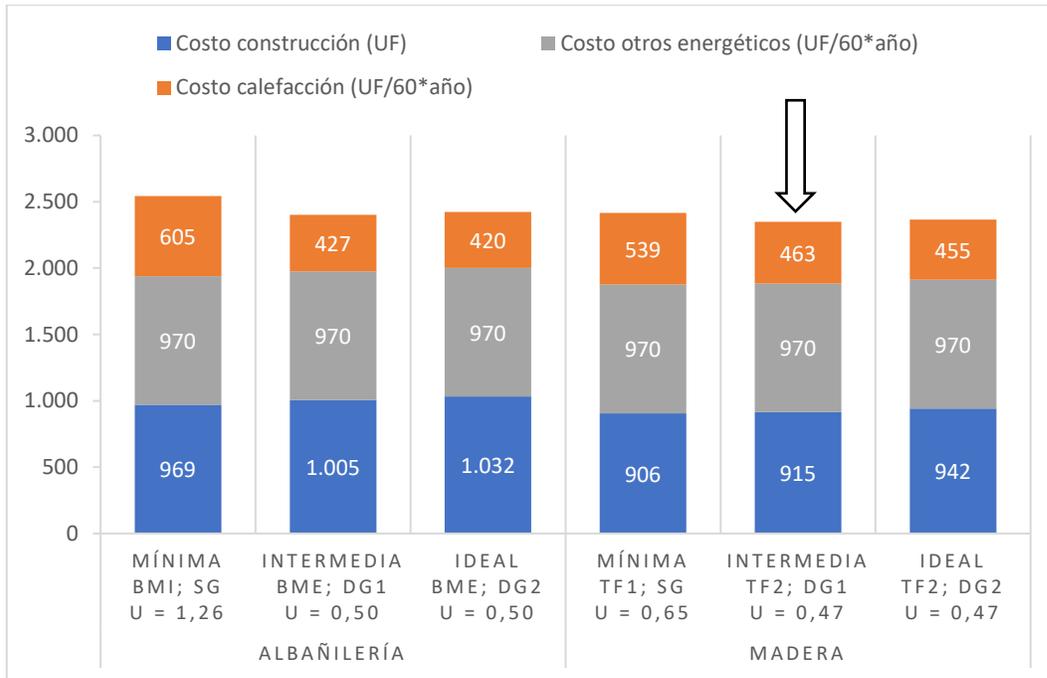


Gráfico 14: Costo acumulado de construcción, calefacción y otros energéticos. Esc. 3, Tip. 1.



### Tipología 2: Edificio de 4 pisos

Gráfico 15: Costo calefacción anual y costo de construcción. Esc. 3, Tip. 2.

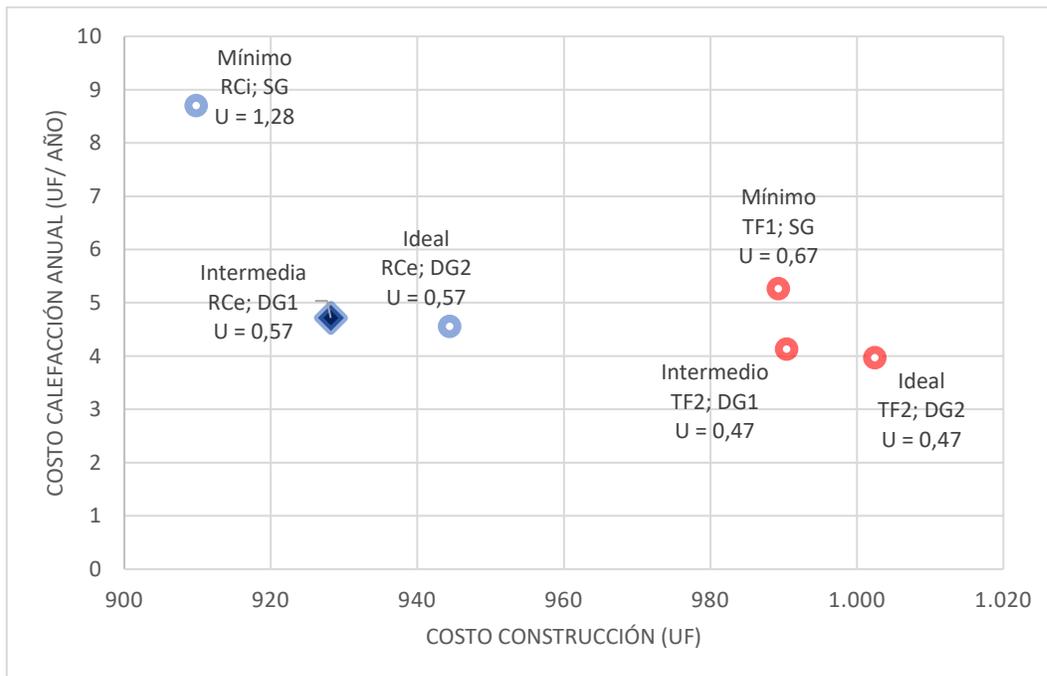
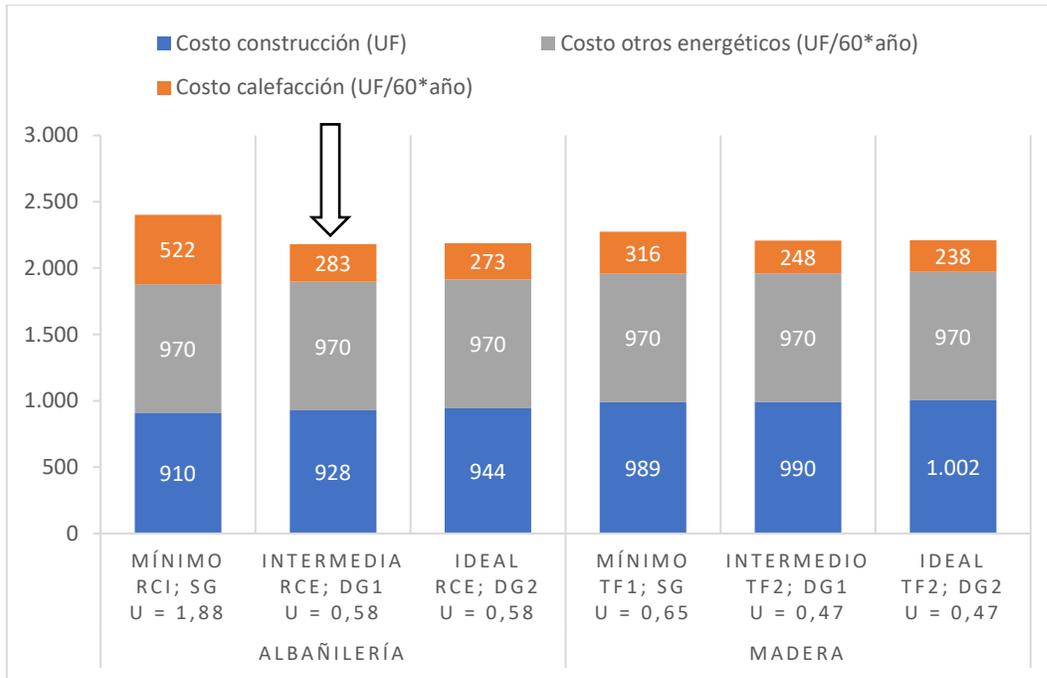


Gráfico 16: Costo acumulado de construcción, calefacción y otros energéticos. Esc. 3, Tip. 2.



### Tipología 3: Edificio de 6 pisos

Gráfico 17: Costo calefacción anual y costo de construcción. Esc. 3, Tip. 3

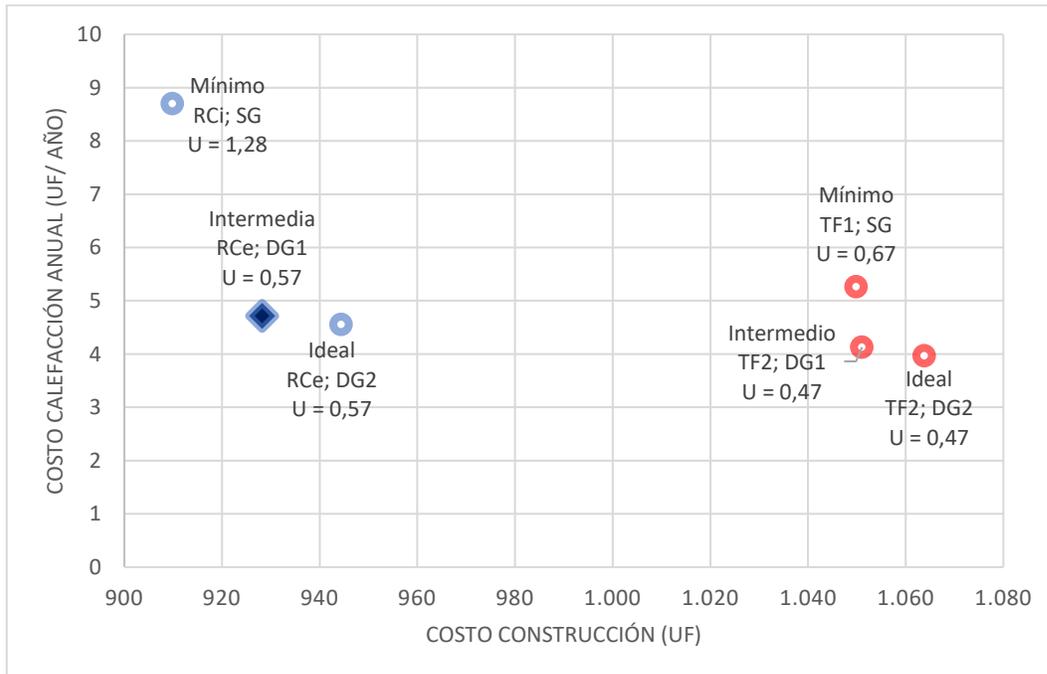
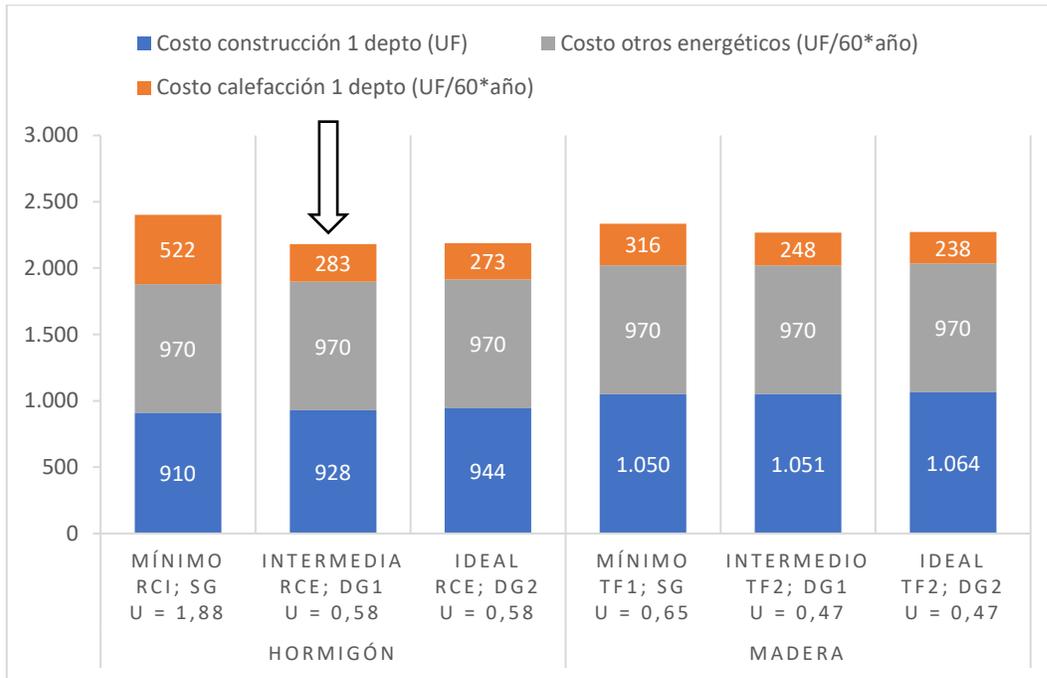


Gráfico 18: Costo acumulado de construcción, calefacción y otros energéticos. Esc. 3, Tip. 3

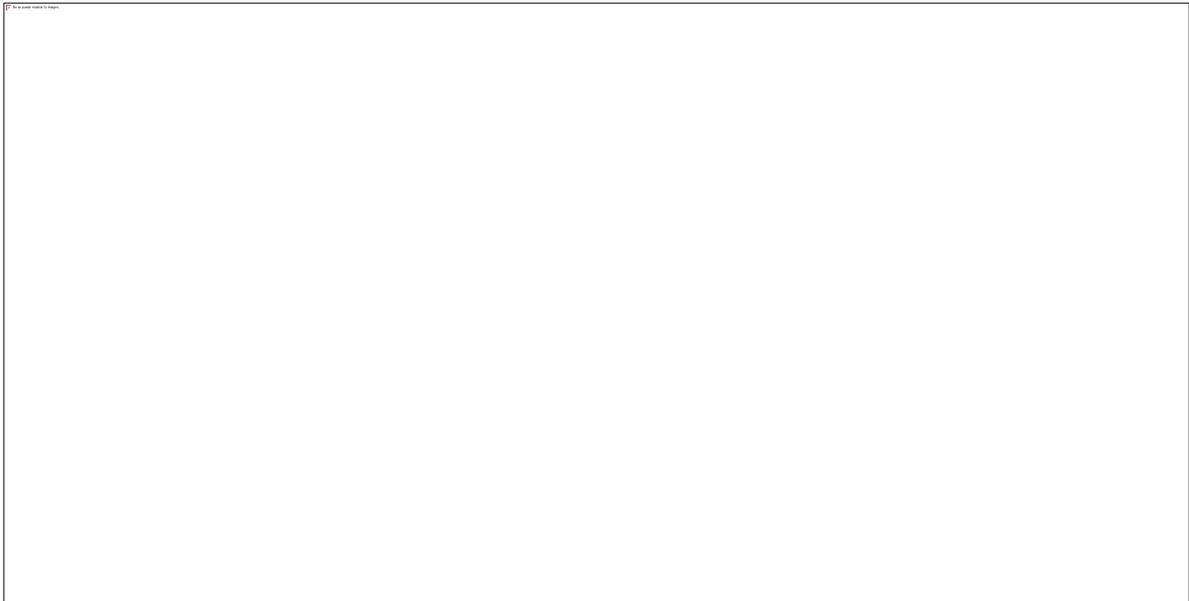


## Escenario 4: Clima temperado frío / Csb n's

En el escenario 4, la capital zona es Puerto Montt, ciudad portuaria que no supera los 300.000 habitantes. Presenta una rica tradición de uso de la madera en construcción, aunque con menor disponibilidad de plantaciones forestales que el escenario 3. Existen algunas manufactureras de construcción en madera. La comuna concentra una fuerte industria acuícola, particularmente salmonera.

Tiene un clima Temperado frío / Cfb s, fuertemente influido por su cercanía a la costa, con precipitaciones abundantes y constantes, temperaturas relativamente suaves de escasa oscilación anual y diaria.. Se esperan resultados de calefacción mayores que los escenarios anteriores.

Ilustración 10: Ábaco psicométrico Puerto Montt.



Fuente: Elaboración propia en base a Climate Consultant 6.0

### Tipología 1: Vivienda unifamiliar

Gráfico 19: Costo calefacción anual y costo de construcción. Esc. 4, Tip. 1.

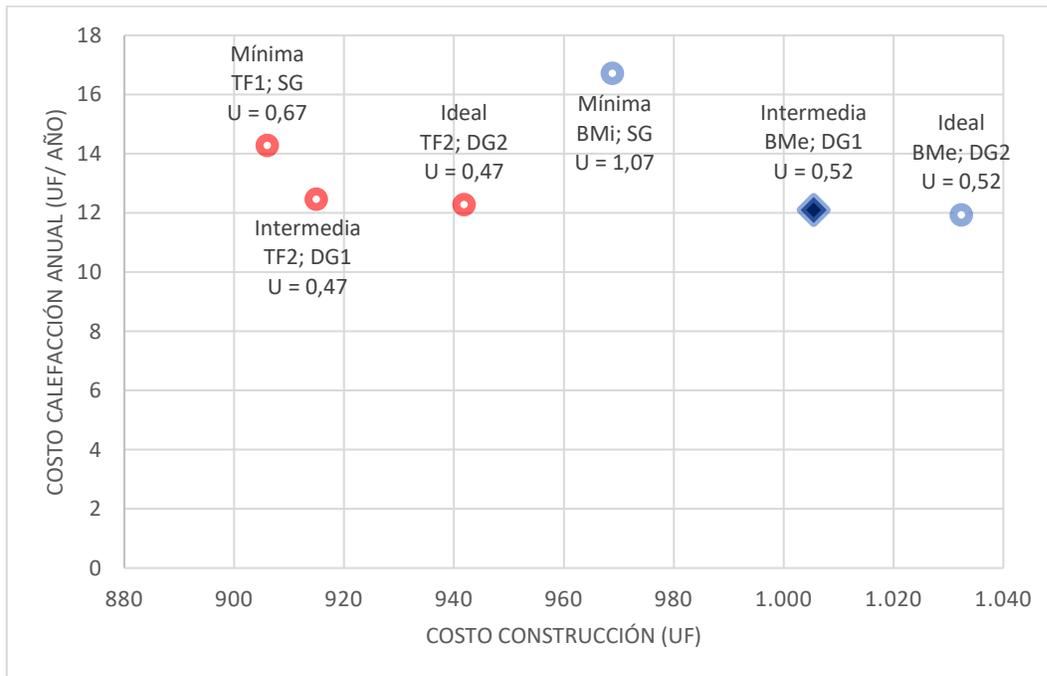
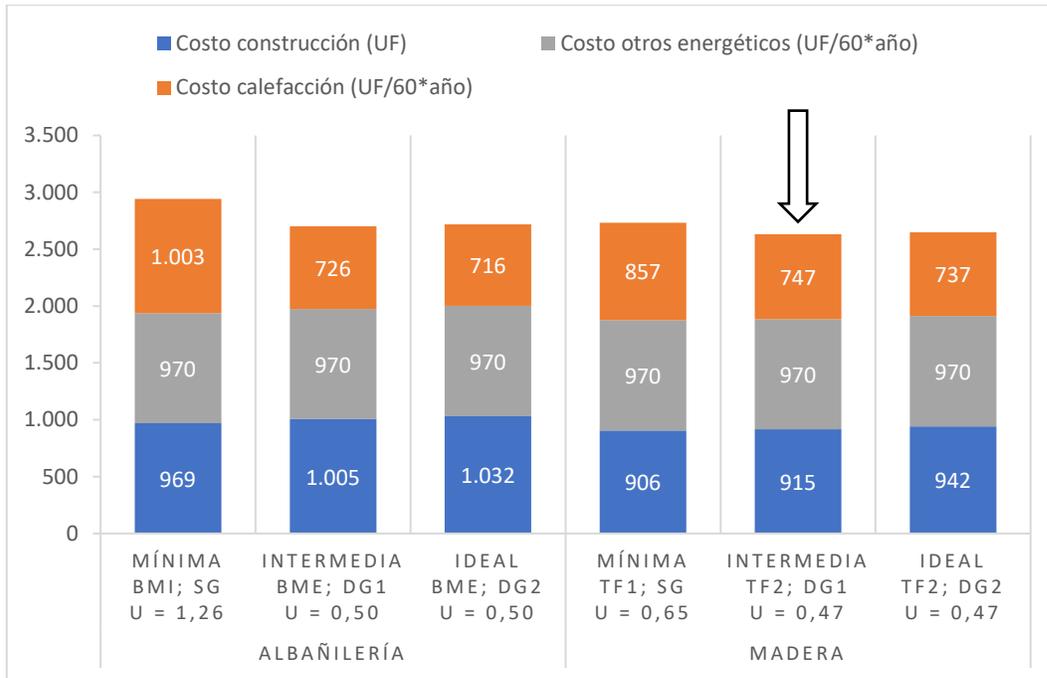


Gráfico 20: Costo acumulado de construcción, calefacción y otros energéticos. Esc. 4, Tip. 1.



### Tipología 2: Edificio de 4 pisos

Gráfico 21: Costo calefacción anual y costo de construcción. Esc. 4, Tip. 2.

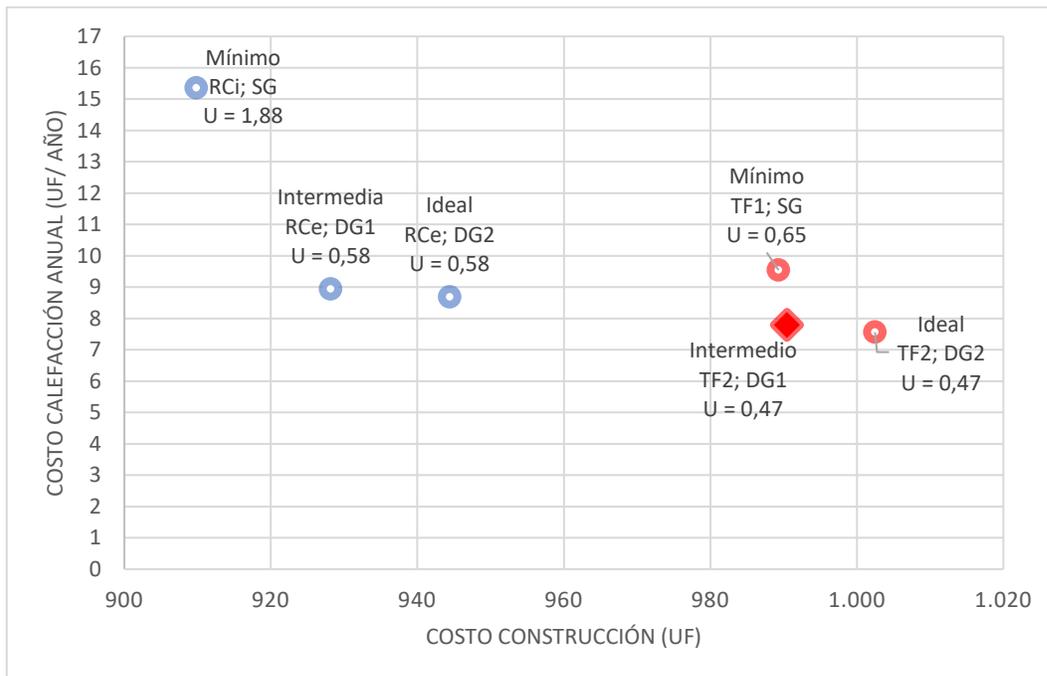
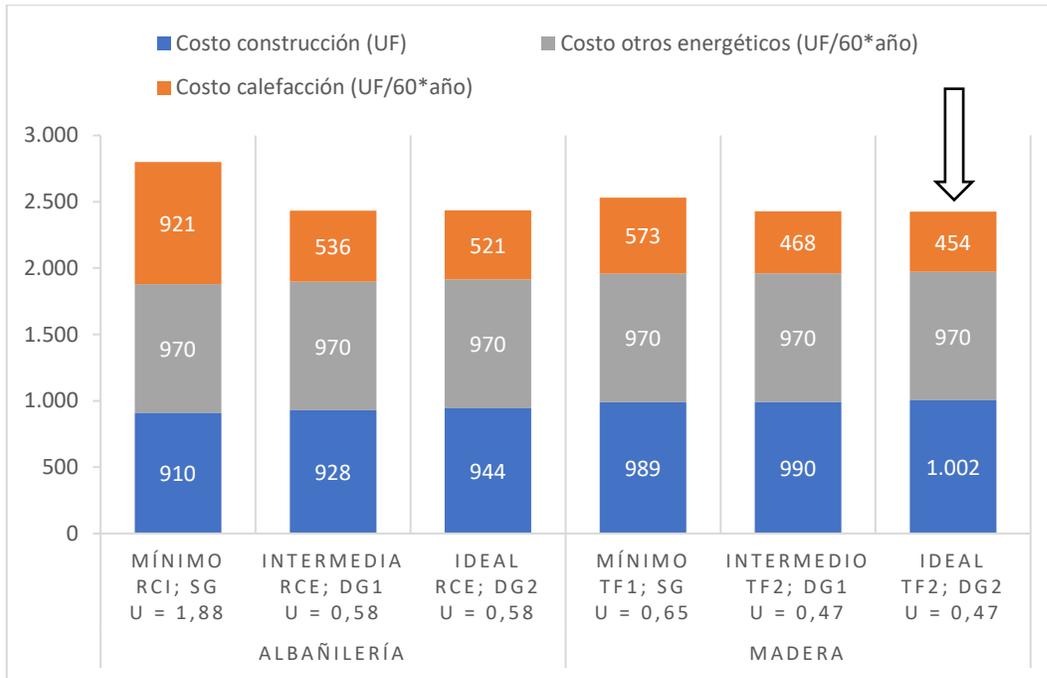


Gráfico 22: Costo acumulado de construcción, calefacción y otros energéticos. Esc. 4, Tip. 2.



### Tipología 3: Edificio de 6 pisos

Gráfico 23: Costo calefacción anual y costo de construcción. Esc. 4, Tip. 3.

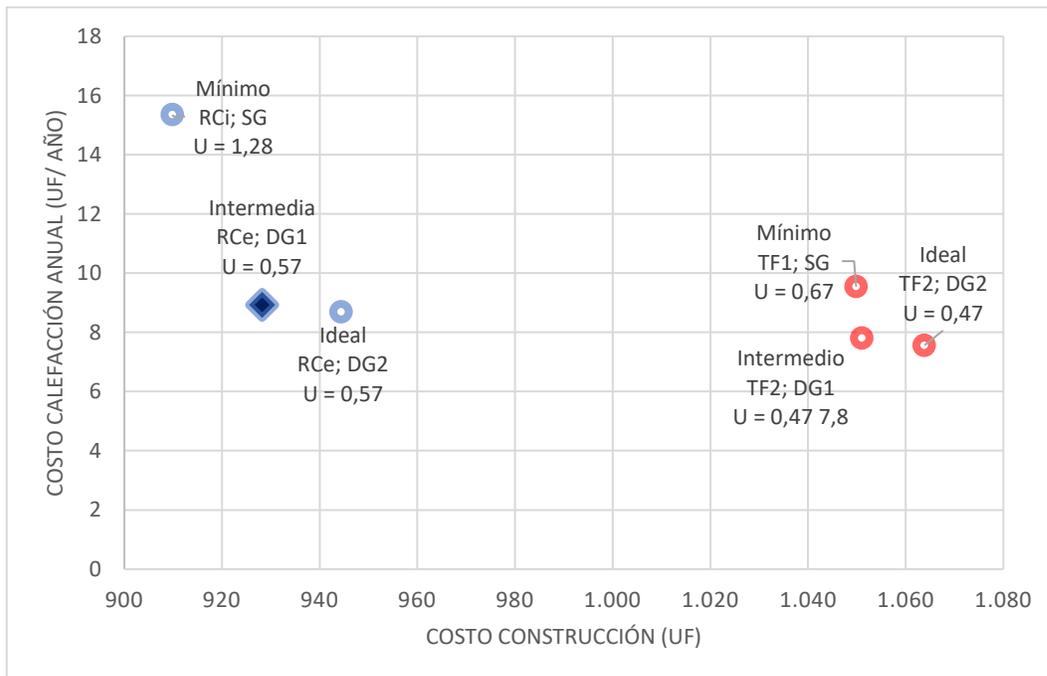
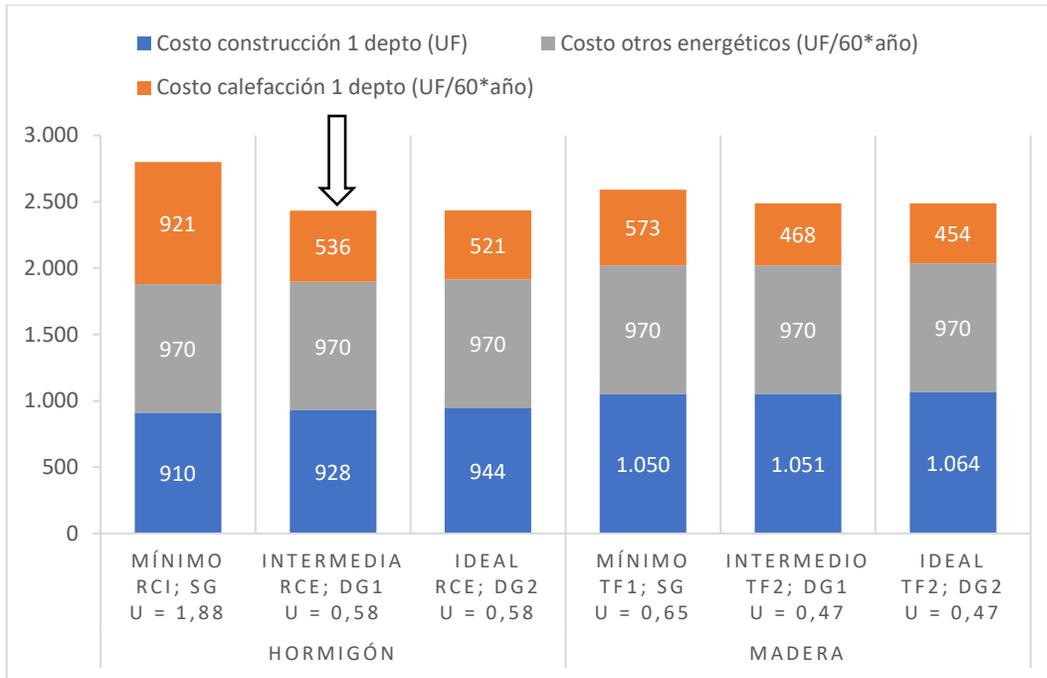


Gráfico 24: Costo acumulado de construcción, calefacción y otros energéticos. Esc. 4, Tip. 3.

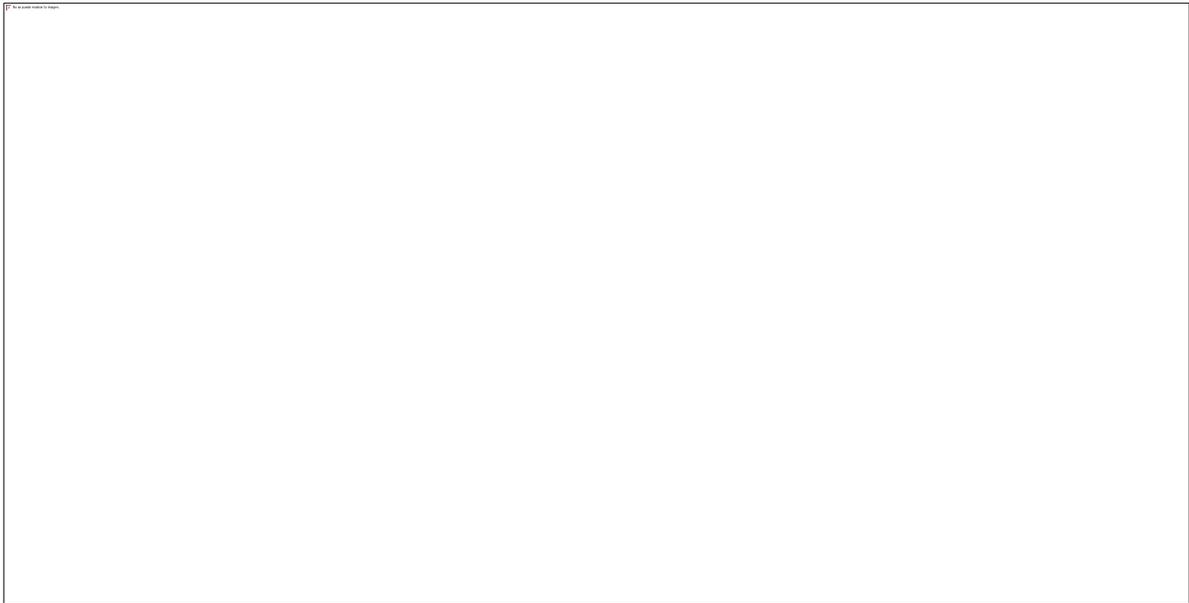


## Escenario 5: Clima semiárido / Bsn

En el escenario 5, la capital zona es Punta Arenas, una pequeña ciudad de no más de 150.000 habitantes, pero que tiene la peculiaridad de ser la más austral de mundo convirtiéndose en un punto estratégico en lo geopolítico, económico y cultural para el país. Junto con Coyhaique son las únicas dos capitales regionales de Chile ubicadas al este de la Cordillera de los Andes. Presenta una tradición de uso de la madera en construcción importante, aunque decreciente en el tiempo. Existen algunas manufactureras pequeñas. Pocas plantaciones forestales. Esta ciudad presenta una relevante importancia en cuanto al acceso a la Antártica, siendo usada por más de 15 países como puerto base. Además, se encuentra entre las dos reservas de agua dulce más grandes del mundo: Antártica y Campos de Hielo Sur.

Tiene un clima Semiárido frío / Bsn. Existe fuerte influencia de la costa. Los veranos son fríos y los inviernos muy fríos. Es el escenario donde se requieren los mayores requerimientos de calefacción.

Ilustración 11: Ábaco psicométrico Punta Arenas.



### Tipología 1: Vivienda unifamiliar

Gráfico 25: Costo calefacción anual y costo de construcción. Esc. 5, Tip. 1.

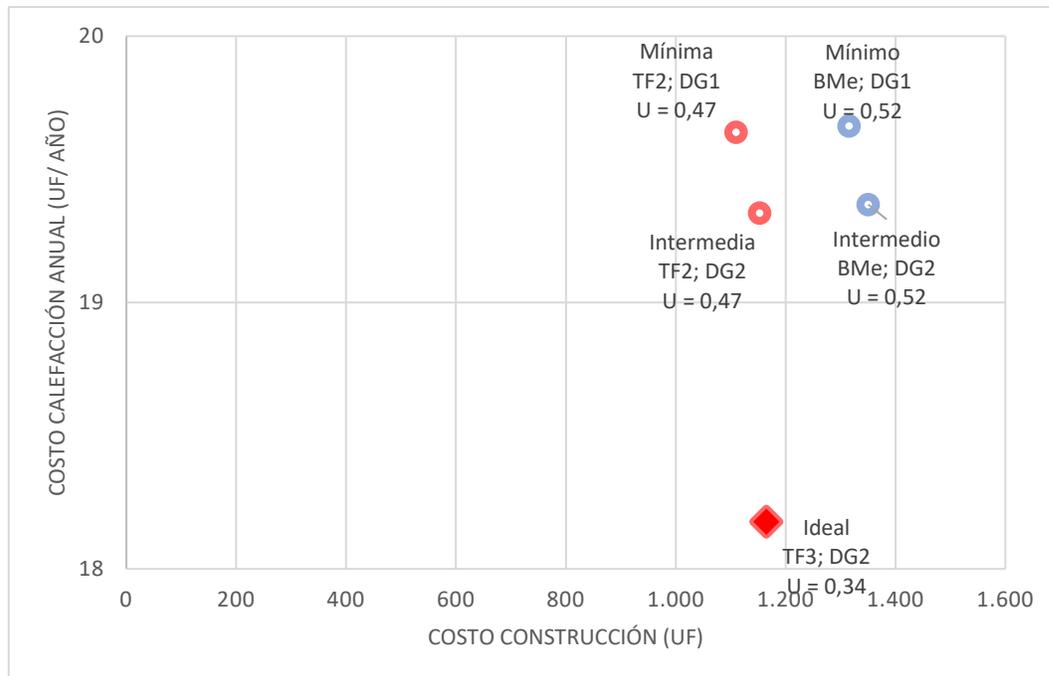
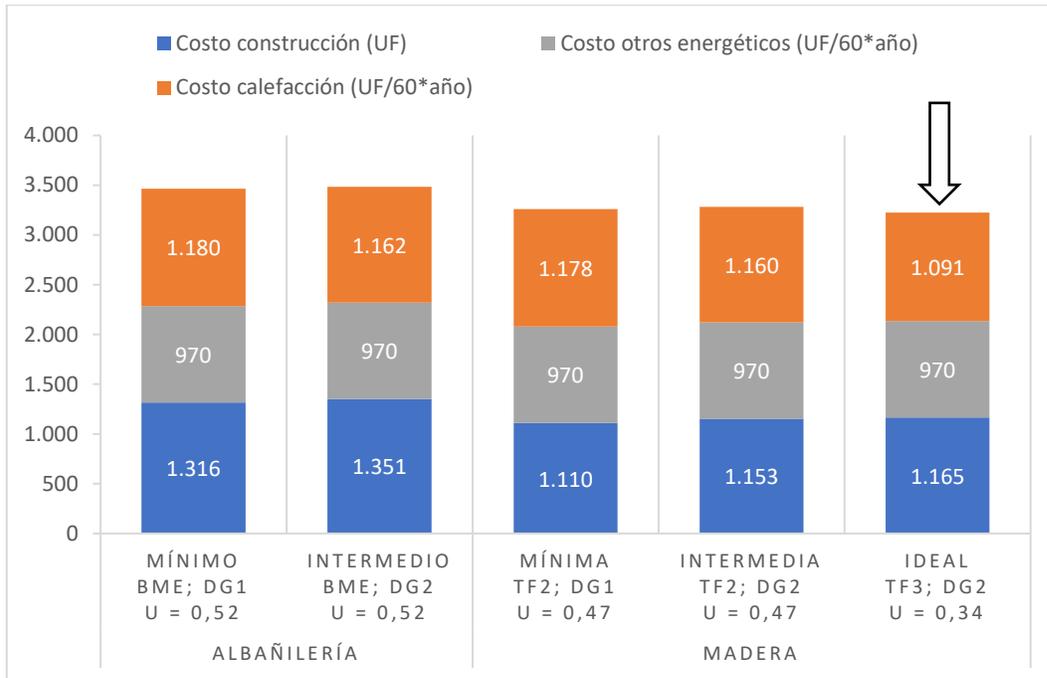


Gráfico 26: Costo acumulado de construcción, calefacción y otros energéticos. Esc. 5, Tip. 1.



### Tipología 2: Edificio de 4 pisos

Gráfico 27: Costo calefacción anual y costo de construcción. Esc. 5, Tip. 2

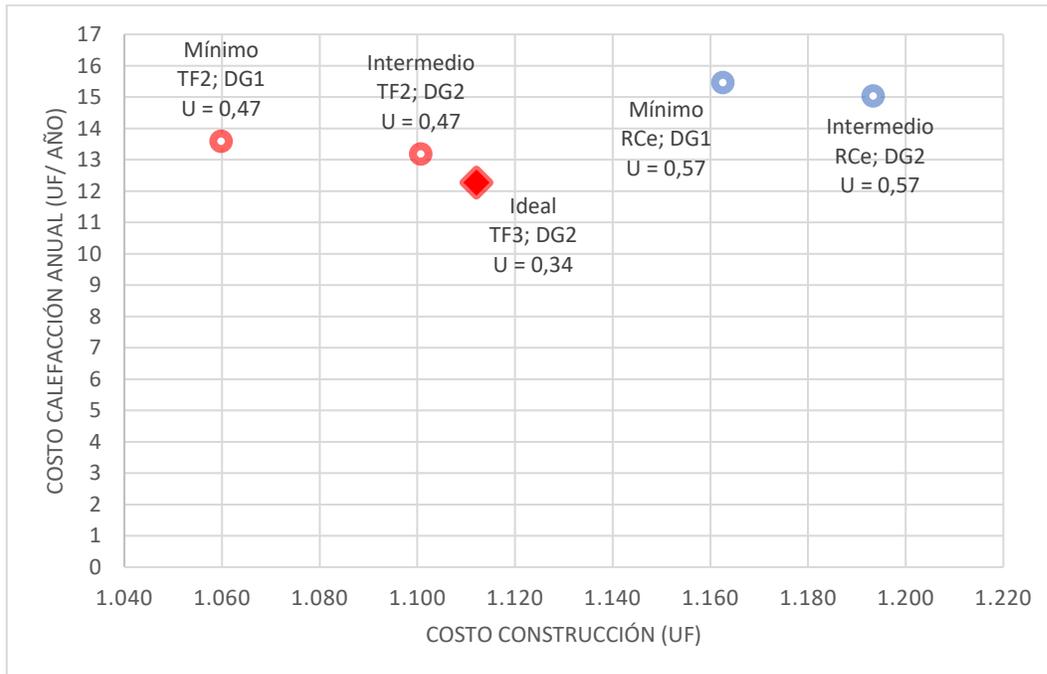
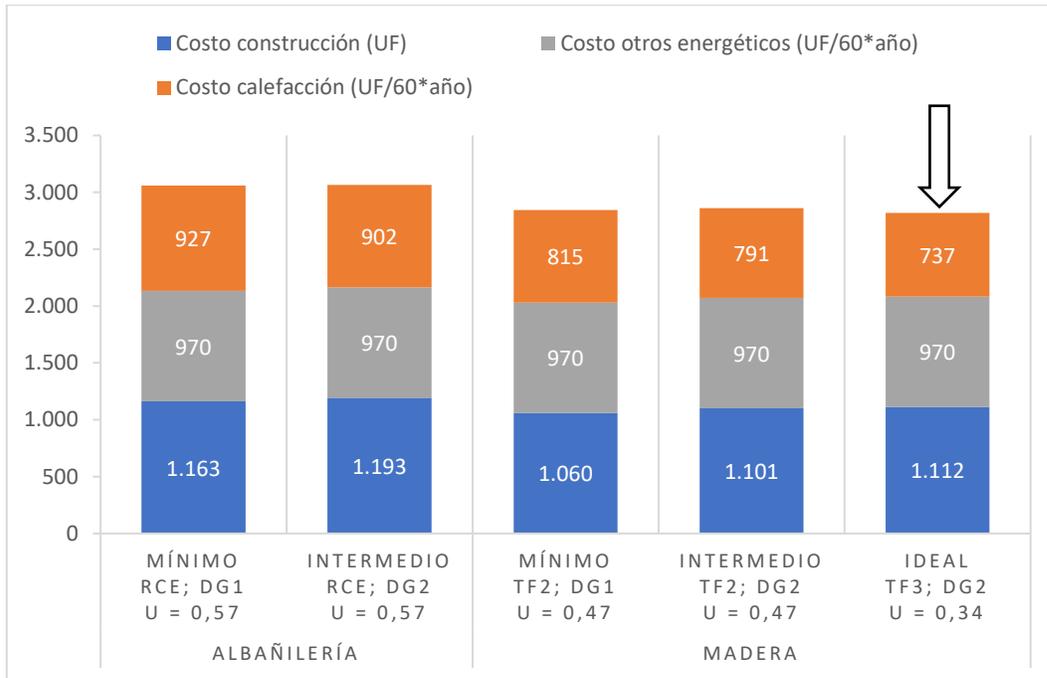


Gráfico 28: Costo acumulado de construcción, calefacción y otros energéticos. Esc. 5, Tip. 2.



### Tipología 3: Edificio de 6 pisos

Gráfico 29: Costo calefacción anual y costo de construcción. Esc. 5, Tip. 3.

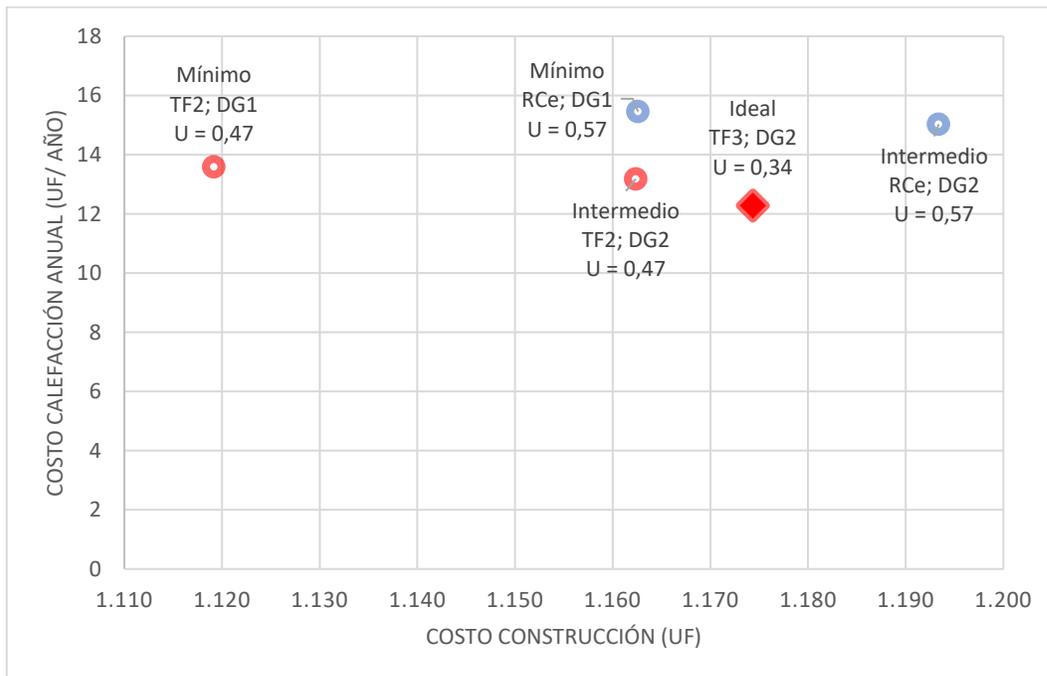
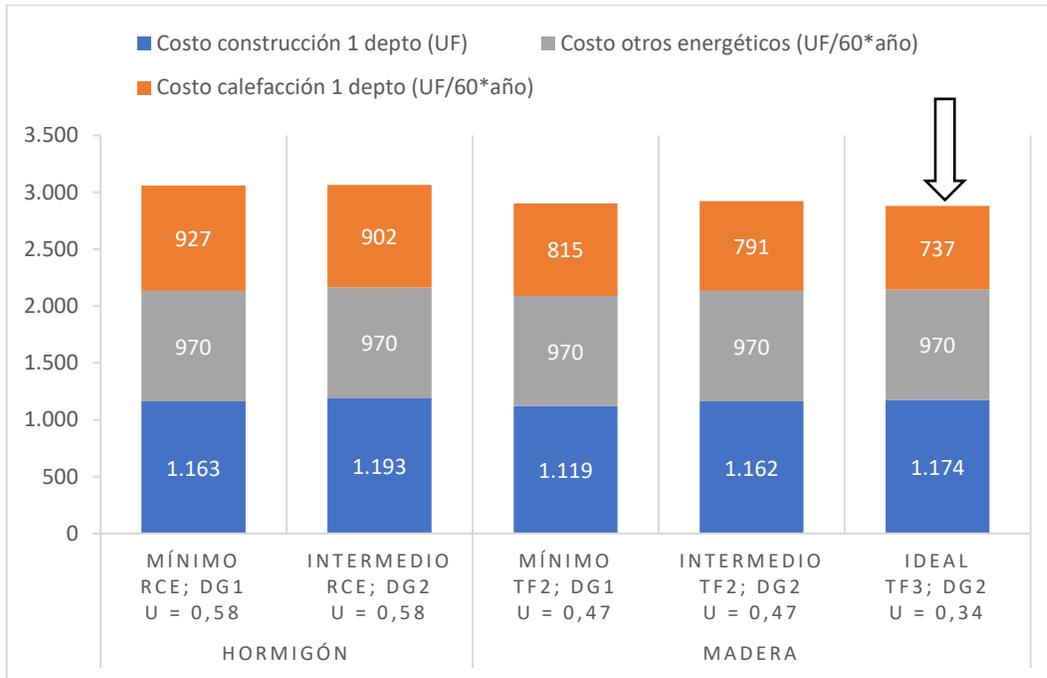


Gráfico 30: Costo acumulado de construcción, calefacción y otros energéticos. Esc. 5, Tip. 3.



El análisis de los gráficos anteriores indica que las soluciones constructivas con resultados de costo de construcción, costo de calefacción y costo de otros energéticos son mayoritariamente soluciones en madera. Existen tres casos en los que esto no es así, que son en el Escenario 1, Tipología 3 (Sol. RCi; DG1); Escenario 3, Tipología 3 (Sol. RCe; DG1) y Escenario 4, Tipología 3 (Sol. RCe; DG1). En dichos casos, existe una gran importancia del costo de construcción inicial (entre 38 y 45% de preponderancia) por lo que, si bien, los costos de calefacción son más bajos para las soluciones en madera, en términos de preponderancia quedan en segundo plano. Por lo tanto, y tal como se indica en el informe del CIM (2019), se deduce una buena oportunidad y una necesidad de creación de empresas industrializadoras en madera en esa zona de modo de mejorar la competitividad en la construcción.

Es interesante notar que, a excepción de los dos casos ya mencionados, la alternativa mejor evaluada entre el escenario 1 y 4 para ambas tipologías, es TF2; DG1, es decir, la alternativa considerada térmicamente intermedia, pero al luego del análisis contrastado con el costo de construcción y el costo de otros energéticos es la ideal. Para el escenario 5, donde los requerimientos térmicos son mayores, la alternativa más eficiente para ambas tipologías es TF3, DG2, la cual coincide con ser térmicamente la ideal.

## Comparado según nivel de aislación

Centrando el análisis en las soluciones mínimas que cumplen la reglamentación térmica, se presentan los siguientes resultados:

*Gráfico 31: Resultados para soluciones con aislación mínima (UF).*

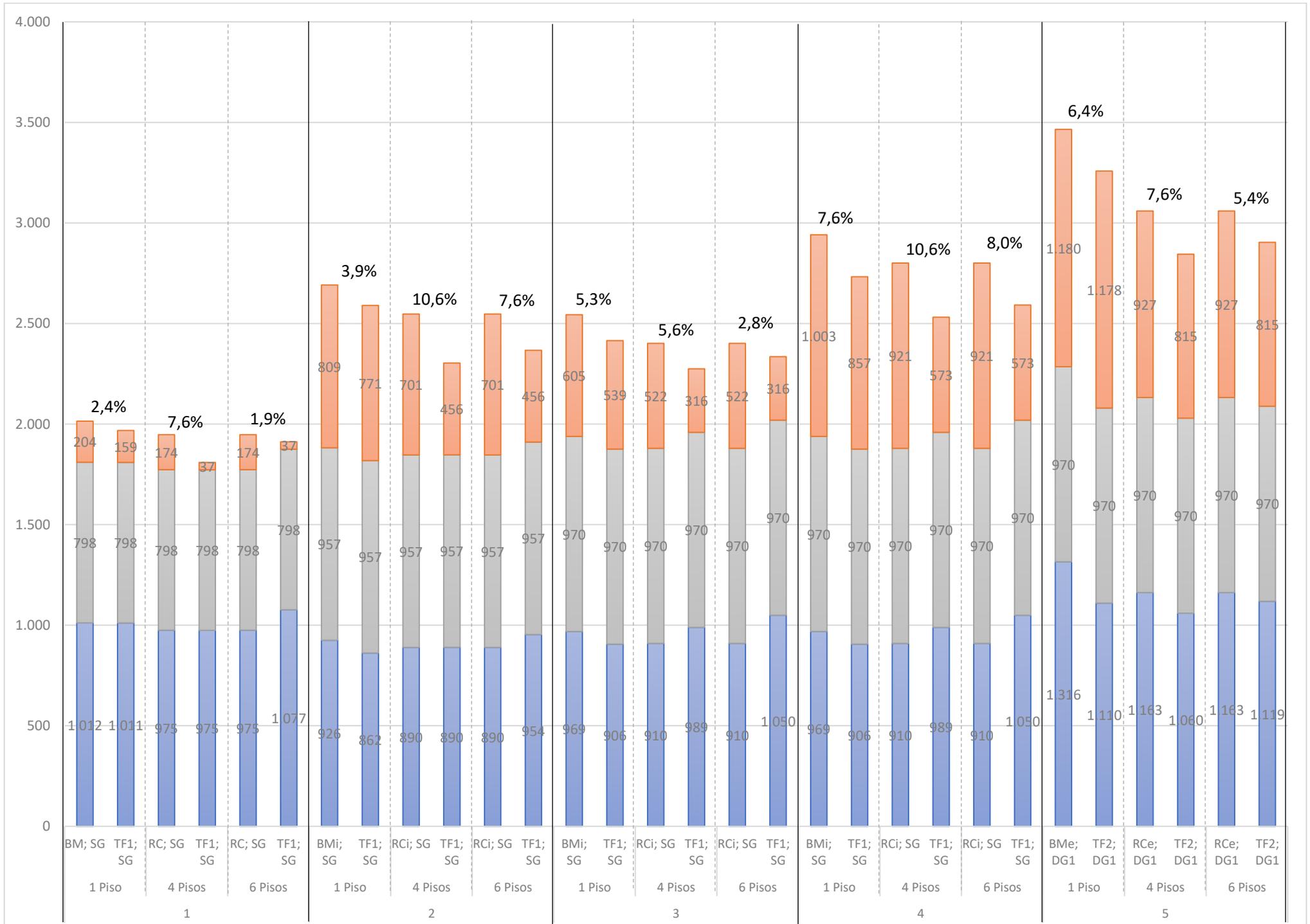


Tabla 5: Resultados para soluciones con aislación mínima.

| Esc. | N° Pisos | Solución constructiva | Costo construcción (UF) | Costo calefacción (UF/60*año) | Costo otros energéticos (UF/60*año) | $\Sigma$ | Costo construcción (%) | Costo calefacción (%) | Costo otros energéticos (%) |
|------|----------|-----------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------|------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1    | 1 Piso   | BM; SG                | 1.012                   | 204                           | 798                                 | 2.015    | 50,2%                  | 10,1%                 | 39,6%                       |
|      |          | TF1; SG               | 1.011                   | 159                           | 798                                 | 1.968    | 51,4%                  | 8,1%                  | 40,5%                       |
|      | 4 Pisos  | RC; SG                | 975                     | 174                           | 798                                 | 1.947    | 50,1%                  | 8,9%                  | 41,0%                       |
|      |          | TF1; SG               | 975                     | 37                            | 798                                 | 1.809    | 53,9%                  | 2,0%                  | 44,1%                       |
|      | 6 Pisos  | RC; SG                | 975                     | 174                           | 798                                 | 1.947    | 50,1%                  | 8,9%                  | 41,0%                       |
|      |          | TF1; SG               | 1.077                   | 37                            | 798                                 | 1.912    | 56,3%                  | 1,9%                  | 41,7%                       |
| 2    | 1 Piso   | BMi; SG               | 926                     | 809                           | 957                                 | 2.691    | 34,4%                  | 30,1%                 | 35,5%                       |
|      |          | TF1; SG               | 862                     | 771                           | 957                                 | 2.590    | 33,3%                  | 29,8%                 | 36,9%                       |
|      | 4 Pisos  | RCi; SG               | 890                     | 701                           | 957                                 | 2.547    | 34,9%                  | 27,5%                 | 37,6%                       |
|      |          | TF1; SG               | 890                     | 456                           | 957                                 | 2.303    | 38,7%                  | 19,8%                 | 41,5%                       |
|      | 6 Pisos  | RCi; SG               | 890                     | 701                           | 957                                 | 2.547    | 34,9%                  | 27,5%                 | 37,6%                       |
|      |          | TF1; SG               | 954                     | 456                           | 957                                 | 2.367    | 40,3%                  | 19,3%                 | 40,4%                       |
| 3    | 1 Piso   | BMi; SG               | 969                     | 605                           | 970                                 | 2.544    | 38,1%                  | 23,8%                 | 38,1%                       |
|      |          | TF1; SG               | 906                     | 539                           | 970                                 | 2.415    | 37,5%                  | 22,3%                 | 40,2%                       |
|      | 4 Pisos  | RCi; SG               | 910                     | 522                           | 970                                 | 2.401    | 37,9%                  | 21,7%                 | 40,4%                       |
|      |          | TF1; SG               | 989                     | 316                           | 970                                 | 2.275    | 43,5%                  | 13,9%                 | 42,6%                       |
|      | 6 Pisos  | RCi; SG               | 910                     | 522                           | 970                                 | 2.401    | 37,9%                  | 21,7%                 | 40,4%                       |
|      |          | TF1; SG               | 1.050                   | 316                           | 970                                 | 2.335    | 45,0%                  | 13,5%                 | 41,5%                       |
| 4    | 1 Piso   | BMi; SG               | 969                     | 1.003                         | 970                                 | 2.941    | 32,9%                  | 34,1%                 | 33,0%                       |
|      |          | TF1; SG               | 906                     | 857                           | 970                                 | 2.732    | 33,2%                  | 31,4%                 | 35,5%                       |
|      | 4 Pisos  | RCi; SG               | 910                     | 921                           | 970                                 | 2.800    | 32,5%                  | 32,9%                 | 34,6%                       |
|      |          | TF1; SG               | 989                     | 573                           | 970                                 | 2.532    | 39,1%                  | 22,6%                 | 38,3%                       |
|      | 6 Pisos  | RCi; SG               | 910                     | 921                           | 970                                 | 2.800    | 32,5%                  | 32,9%                 | 34,6%                       |
|      |          | TF1; SG               | 1.050                   | 573                           | 970                                 | 2.592    | 40,5%                  | 22,1%                 | 37,4%                       |
| 5    | 1 Piso   | BMe; DG1              | 1.316                   | 1.180                         | 970                                 | 3.465    | 38,0%                  | 34,0%                 | 28,0%                       |
|      |          | TF2; DG1              | 1.110                   | 1.178                         | 970                                 | 3.258    | 34,1%                  | 36,2%                 | 29,8%                       |
|      | 4 Pisos  | RCe; DG1              | 1.163                   | 927                           | 970                                 | 3.060    | 38,0%                  | 30,3%                 | 31,7%                       |
|      |          | TF2; DG1              | 1.060                   | 815                           | 970                                 | 2.844    | 37,3%                  | 28,7%                 | 34,1%                       |
|      | 6 Pisos  | RCe; DG1              | 1.163                   | 927                           | 970                                 | 3.060    | 38,0%                  | 30,3%                 | 31,7%                       |
|      |          | TF2; DG1              | 1.119                   | 815                           | 970                                 | 2.904    | 38,5%                  | 28,1%                 | 33,4%                       |
|      |          |                       |                         |                               |                                     | Promedio | 40,1%                  | 22,5%                 | 37,4%                       |

*Gráfico 32: Resultados para soluciones con aislación intermedia (UF).*

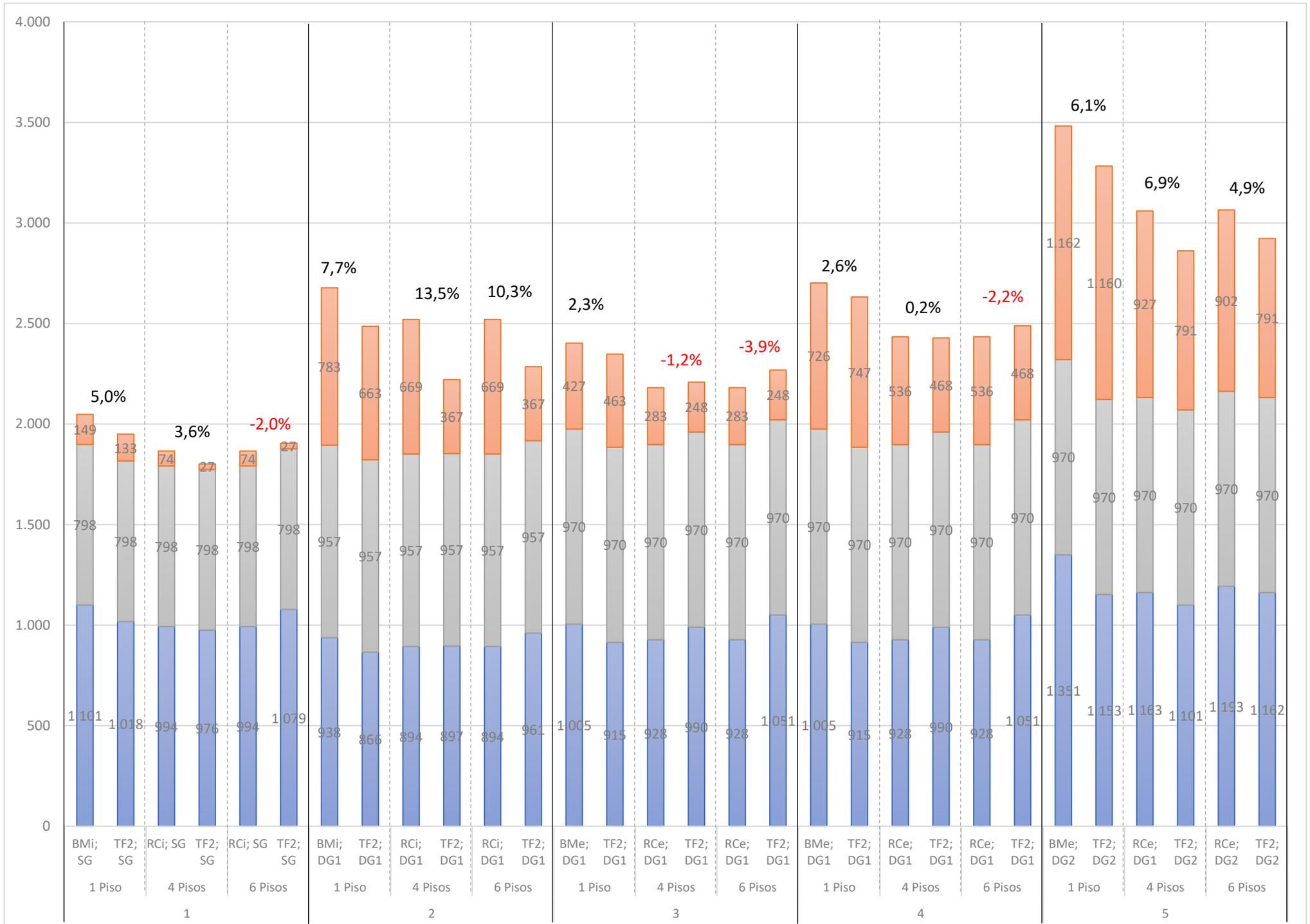


Tabla 6: Resultados para soluciones con aislación intermedia.

| Esc. | N° Pisos | Solución constructiva | Costo construcción (UF) | Costo calefacción (UF/60*año) | Costo otros energéticos (UF/60*año) | Σ        | Costo construcción (%) | Costo calefacción (%) | Costo otros energéticos (%) |
|------|----------|-----------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------|------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1    | 1 Piso   | BMi; SG               | 1.101                   | 149                           | 798                                 | 2.048    | 53,8%                  | 7,3%                  | 39,0%                       |
|      |          | TF2; SG               | 1.018                   | 133                           | 798                                 | 1.950    | 52,2%                  | 6,8%                  | 40,9%                       |
|      | 4 Pisos  | RCi; SG               | 994                     | 74                            | 798                                 | 1.866    | 53,2%                  | 4,0%                  | 42,8%                       |
|      |          | TF2; SG               | 976                     | 27                            | 798                                 | 1.801    | 54,2%                  | 1,5%                  | 44,3%                       |
|      | 6 Pisos  | RCi; SG               | 994                     | 74                            | 798                                 | 1.866    | 53,2%                  | 4,0%                  | 42,8%                       |
|      |          | TF2; SG               | 1.079                   | 27                            | 798                                 | 1.904    | 56,6%                  | 1,4%                  | 41,9%                       |
| 2    | 1 Piso   | BMi; DG1              | 938                     | 783                           | 957                                 | 2.678    | 35,0%                  | 29,2%                 | 35,7%                       |
|      |          | TF2; DG1              | 866                     | 663                           | 957                                 | 2.486    | 34,8%                  | 26,7%                 | 38,5%                       |
|      | 4 Pisos  | RCi; DG1              | 894                     | 669                           | 957                                 | 2.520    | 35,5%                  | 26,5%                 | 38,0%                       |
|      |          | TF2; DG1              | 897                     | 367                           | 957                                 | 2.221    | 40,4%                  | 16,5%                 | 43,1%                       |
|      | 6 Pisos  | RCi; DG1              | 894                     | 669                           | 957                                 | 2.520    | 35,5%                  | 26,5%                 | 38,0%                       |
|      |          | TF2; DG1              | 961                     | 367                           | 957                                 | 2.285    | 42,1%                  | 16,1%                 | 41,9%                       |
| 3    | 1 Piso   | BMe; DG1              | 1.005                   | 427                           | 970                                 | 2.402    | 41,9%                  | 17,8%                 | 40,4%                       |
|      |          | TF2; DG1              | 915                     | 463                           | 970                                 | 2.348    | 39,0%                  | 19,7%                 | 41,3%                       |
|      | 4 Pisos  | RCe; DG1              | 928                     | 283                           | 970                                 | 2.181    | 42,6%                  | 13,0%                 | 44,5%                       |
|      |          | TF2; DG1              | 990                     | 248                           | 970                                 | 2.208    | 44,9%                  | 11,2%                 | 43,9%                       |
|      | 6 Pisos  | RCe; DG1              | 928                     | 283                           | 970                                 | 2.181    | 42,6%                  | 13,0%                 | 44,5%                       |
|      |          | TF2; DG1              | 1.051                   | 248                           | 970                                 | 2.268    | 46,3%                  | 10,9%                 | 42,7%                       |
| 4    | 1 Piso   | BMe; DG1              | 1.005                   | 726                           | 970                                 | 2.701    | 37,2%                  | 26,9%                 | 35,9%                       |
|      |          | TF2; DG1              | 915                     | 747                           | 970                                 | 2.632    | 34,8%                  | 28,4%                 | 36,8%                       |
|      | 4 Pisos  | RCe; DG1              | 928                     | 536                           | 970                                 | 2.434    | 38,1%                  | 22,0%                 | 39,8%                       |
|      |          | TF2; DG1              | 990                     | 468                           | 970                                 | 2.428    | 40,8%                  | 19,3%                 | 39,9%                       |
|      | 6 Pisos  | RCe; DG1              | 928                     | 536                           | 970                                 | 2.434    | 38,1%                  | 22,0%                 | 39,8%                       |
|      |          | TF2; DG1              | 1.051                   | 468                           | 970                                 | 2.489    | 42,2%                  | 18,8%                 | 39,0%                       |
| 5    | 1 Piso   | BMe; DG2              | 1.351                   | 1.162                         | 970                                 | 3.482    | 38,8%                  | 33,4%                 | 27,8%                       |
|      |          | TF2; DG2              | 1.153                   | 1.160                         | 970                                 | 3.283    | 35,1%                  | 35,3%                 | 29,5%                       |
|      | 4 Pisos  | RCe; DG1              | 1.163                   | 927                           | 970                                 | 3.060    | 38,0%                  | 30,3%                 | 31,7%                       |
|      |          | TF2; DG2              | 1.101                   | 791                           | 970                                 | 2.861    | 38,5%                  | 27,6%                 | 33,9%                       |
|      | 6 Pisos  | RCe; DG2              | 1.193                   | 902                           | 970                                 | 3.065    | 38,9%                  | 29,4%                 | 31,6%                       |
|      |          | TF2; DG2              | 1.162                   | 791                           | 970                                 | 2.923    | 39,8%                  | 27,1%                 | 33,2%                       |
|      |          |                       |                         |                               |                                     | Promedio | 42,1%                  | 19,1%                 | 38,8%                       |

*Gráfico 33: Resultados para soluciones con aislación ideal (UF).*

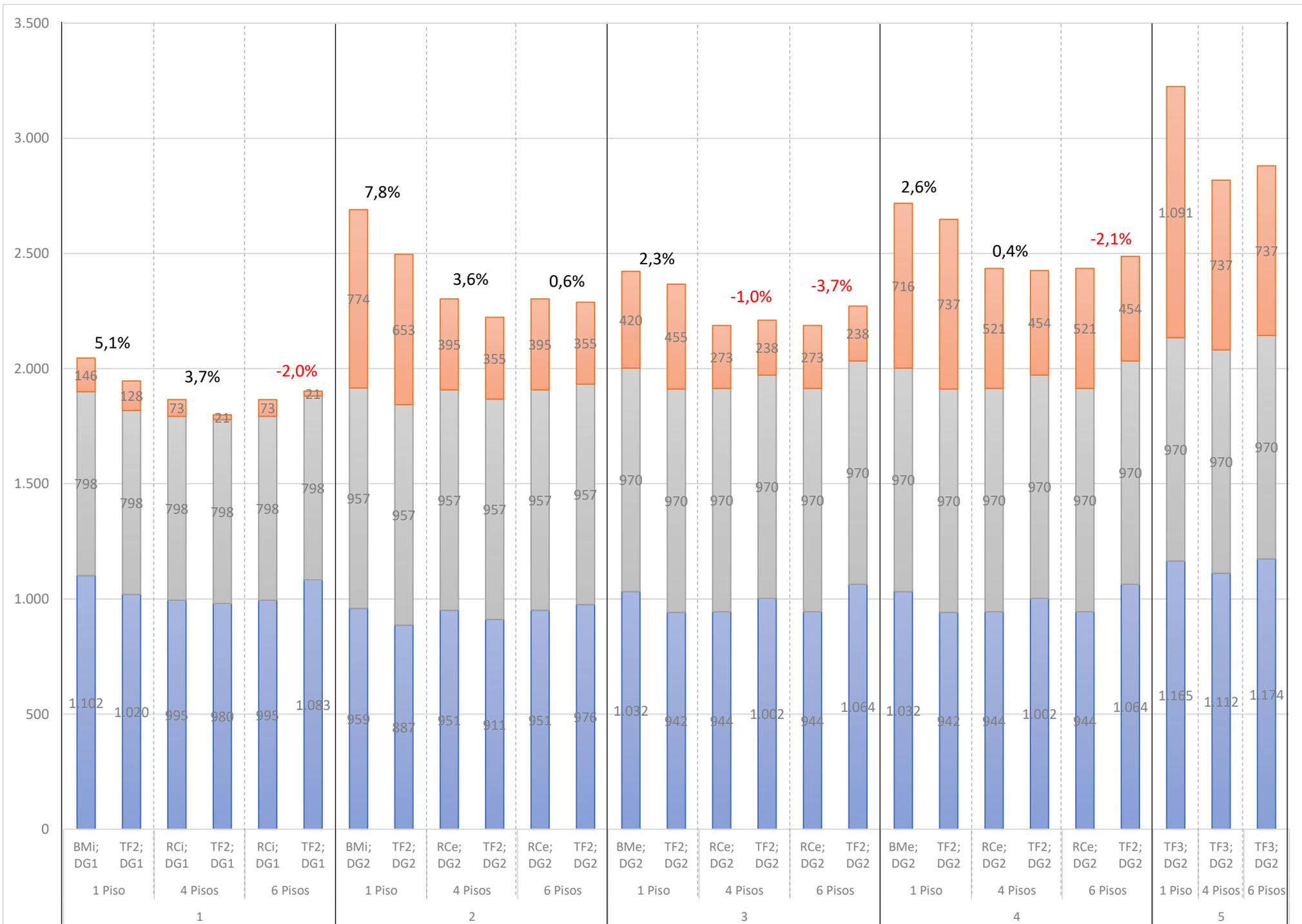


Tabla 7: Resultados para soluciones con aislación ideal.

| Esc.     | N° Pisos | Solución constructiva | Costo construcción (UF) | Costo calefacción (UF/60*año) | Costo otros energéticos (UF/60*año) | $\Sigma$ | Costo construcción (%) | Costo calefacción (%) | Costo otros energéticos (%) |
|----------|----------|-----------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------|------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1        | 1 Piso   | BMi; DG1              | 1.102                   | 146                           | 798                                 | 2.046    | 53,9%                  | 7,1%                  | 39,0%                       |
|          |          | TF2; DG1              | 1.020                   | 128                           | 798                                 | 1.946    | 52,4%                  | 6,6%                  | 41,0%                       |
|          | 4 Pisos  | RCi; DG1              | 995                     | 73                            | 798                                 | 1.865    | 53,3%                  | 3,9%                  | 42,8%                       |
|          |          | TF2; DG1              | 980                     | 21                            | 798                                 | 1.799    | 54,5%                  | 1,2%                  | 44,3%                       |
|          | 6 Pisos  | RCi; DG1              | 995                     | 73                            | 798                                 | 1.865    | 53,3%                  | 3,9%                  | 42,8%                       |
|          |          | TF2; DG1              | 1.083                   | 21                            | 798                                 | 1.902    | 56,9%                  | 1,1%                  | 41,9%                       |
| 2        | 1 Piso   | BMi; DG2              | 959                     | 774                           | 957                                 | 2.690    | 35,7%                  | 28,8%                 | 35,6%                       |
|          |          | TF2; DG2              | 887                     | 653                           | 957                                 | 2.496    | 35,5%                  | 26,2%                 | 38,3%                       |
|          | 4 Pisos  | RCe; DG2              | 951                     | 395                           | 957                                 | 2.303    | 41,3%                  | 17,1%                 | 41,5%                       |
|          |          | TF2; DG2              | 911                     | 355                           | 957                                 | 2.223    | 41,0%                  | 16,0%                 | 43,0%                       |
|          | 6 Pisos  | RCe; DG2              | 951                     | 395                           | 957                                 | 2.303    | 41,3%                  | 17,1%                 | 41,5%                       |
|          |          | TF2; DG2              | 976                     | 355                           | 957                                 | 2.288    | 42,7%                  | 15,5%                 | 41,8%                       |
| 3        | 1 Piso   | BMe; DG2              | 1.032                   | 420                           | 970                                 | 2.422    | 42,6%                  | 17,3%                 | 40,0%                       |
|          |          | TF2; DG2              | 942                     | 455                           | 970                                 | 2.367    | 39,8%                  | 19,2%                 | 41,0%                       |
|          | 4 Pisos  | RCe; DG2              | 944                     | 273                           | 970                                 | 2.187    | 43,2%                  | 12,5%                 | 44,3%                       |
|          |          | TF2; DG2              | 1.002                   | 238                           | 970                                 | 2.210    | 45,4%                  | 10,8%                 | 43,9%                       |
|          | 6 Pisos  | RCe; DG2              | 944                     | 273                           | 970                                 | 2.187    | 43,2%                  | 12,5%                 | 44,3%                       |
|          |          | TF2; DG2              | 1.064                   | 238                           | 970                                 | 2.272    | 46,8%                  | 10,5%                 | 42,7%                       |
| 4        | 1 Piso   | BMe; DG2              | 1.032                   | 716                           | 970                                 | 2.718    | 38,0%                  | 26,3%                 | 35,7%                       |
|          |          | TF2; DG2              | 942                     | 737                           | 970                                 | 2.648    | 35,6%                  | 27,8%                 | 36,6%                       |
|          | 4 Pisos  | RCe; DG2              | 944                     | 521                           | 970                                 | 2.435    | 38,8%                  | 21,4%                 | 39,8%                       |
|          |          | TF2; DG2              | 1.002                   | 454                           | 970                                 | 2.426    | 41,3%                  | 18,7%                 | 40,0%                       |
|          | 6 Pisos  | RCe; DG2              | 944                     | 521                           | 970                                 | 2.435    | 38,8%                  | 21,4%                 | 39,8%                       |
|          |          | TF2; DG2              | 1.064                   | 454                           | 970                                 | 2.487    | 42,8%                  | 18,2%                 | 39,0%                       |
| 5        | 1 Piso   | TF3; DG2              | 1.165                   | 1.091                         | 970                                 | 3.225    | 36,1%                  | 33,8%                 | 30,1%                       |
|          | 4 Pisos  | TF3; DG2              | 1.112                   | 737                           | 970                                 | 2.819    | 39,5%                  | 26,1%                 | 34,4%                       |
|          | 6 Pisos  | TF3; DG2              | 1.174                   | 737                           | 970                                 | 2.881    | 40,8%                  | 25,6%                 | 33,7%                       |
| Promedio |          |                       |                         |                               |                                     |          | 43,5%                  | 16,5%                 | 40,0%                       |

Como se observa en el Gráfico 31 con aislación térmica mínima, en todos los casos existe un resultado positivo para la solución en base a madera variando este entre 1,9% y 10,0%.

En el caso de la aislación térmica de nivel intermedia, como lo muestra el Gráfico 32, en la mayoría de los casos existe un resultado positivo para la solución en base a madera, aunque existen 4 casos en los que no es así. 3 de ellos en la tipología de 3. En todos los casos, si bien el costo de calefacción es menor, este ahorro queda en segundo plano frente al costo de construcción.

En cuanto a la aislación térmica de nivel ideal, como se observa en el Gráfico 33, nuevamente la mayoría de los resultados son favorecedores a la madera, siendo en los mismos 4 casos que para la aislación intermedia, donde la madera no cuenta con el mejor resultados del análisis y se puede observar que el costo de construcción concentra un gran porcentaje del costo total.

## 5. CONCLUSIONES

Las soluciones en madera presentan menores requerimientos térmicos en casi todos los casos de estudio y eso hace que en un periodo de tiempo representativo de la vida útil de un bien inmueble (60 años) si se consideran los costos de construcción, calefacción y otros energético la madera muestre costos menores que su alternativa en hormigón armado (en edificio de 6 pisos) o albañilería (en vivienda de 1 piso). En los casos en que la madera no presenta el mejor resultado, se vuelve muy influyente el costo de construcción, representando un gran porcentaje del costo total el cual representa entre el 56,6% y el 32,5%. En promedio, 41,9%.

La calefacción en promedio representa el 19,5%. En el máximo caso representó el 36,2% (Escenario 5, Tip. 1, TF2; DG1) y el mínimo 1,1% (Escenario 1, Tip. 3, TF2; DG1).

Cuando se evalúa el costo de las soluciones con requerimientos mínimos, intermedios e ideales las soluciones constructivas en madera presentan en su gran mayoría un mejor resultado que sus alternativas en albañilería u hormigón, siendo, por lo tanto, una muy buena alternativa a considerar para el desarrollo de políticas públicas orientadas a reducir sustentablemente el déficit habitacional sin favorecer directamente a esta materialidad. En otras palabras, actualmente las políticas habitacionales -en particular los subsidios destinados a adquisición, construcción o arriendo de viviendas- no influyen en los usuarios, constructores, arquitectos o ingenieros para favorecer la elección de algún sistema constructivo en particular, sin embargo, según este informe es claro que si se normara con límites más estrictos de demanda energética, y con un tope no solo del costo de construcción si no también del costo de operación de las viviendas, en especial el costo de calefacción, la madera aparecería como la alternativa más eficiente.

Es de esperar que los costos de construcción comparados entre los sistemas en madera y sus competidores como albañilería de ladrillo y hormigón armado se equiparen, ya que en los próximos años se espera una mayor presencia en el mercado de empresas mayores estándares tecnológicos que operan con el nivel de industrialización necesario para optimizar los procesos constructivos y disminuir los costos.

## REFERENCIAS

- Cámara Chilena de la Construcción. (2017). *Balance de Vivienda Social y Entorno Urbano 2017*. Santiago.
- Canadian Wood Council. (2004). *Energy and the Environment in Residential Constructions, Sustainable Building Series*. Ottawa.
- Centro de investigación social TECHO - Chile. (junio de 2018). *Actualización del catastro de campamentos 2018*. Santiago. Obtenido de TECHO. Centro de Investigación Social 2018: <https://www.techo.org/chile/centro-de-investigacion-social/>
- Centro UC de Innovación en Madera. (2019). *Análisis del estado de la construcción en madera en Chile: Estadísticas de elección de materialidad y costos de construcción*.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2010). *Estudio de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial*. Santiago.
- Delgado, R., Segovia, M., & Thenoux, G. (2017). Superpave zoning for Chile. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*.
- Hernández Moreno, S. (2016). ¿Cómo se mide la vida útil de los edificios? *Revista Ciencia*, 68-73.
- Kara, M., Hirvonen, R., Mattila, L., Viinikainen, S., Tuhkanen, S., & Lind, I. (2003). *Energy visions 2030 for Finland*. Finland.
- Ministerio de Energía. (2018). *Balance Nacional de Energía 2017*. Santiago.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (s.f.). *Calificación Energética*. Obtenido de Calificación Energética: <https://www.calificacionenergetica.cl/que-evalua-la-calificacion-energetica-de-viviendas/>
- Observatorio Urbano. (2017). *Déficit Habitacional según componente*.
- Quispe, C., & Cuchí, A. (2016). *Análisis de la energía incorporada y emisiones de CO2 aplicado a viviendas unifamiliares de eficiencia energética*. Barcelona.
- UN-Habitat. (s.f.). *UN-Habitat*. Obtenido de UN-Habitat: <https://unhabitat.org/topic/housing>
- Universidad del Bio-Bío. (2014). *Manual de hermeticidad al aire de edificaciones*.

# ANEXO I: COSTOS DE CONSTRUCCIÓN SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

| Tipología 1           |   | Tipología 2           |   | Tipología 3           |   |
|-----------------------|---|-----------------------|---|-----------------------|---|
| Solución Constructiva | Costo construcción (UF/m <sup>2</sup> ) | Solución Constructiva | Costo construcción (UF/m <sup>2</sup> ) | Solución Constructiva | Costo construcción (UF/m <sup>2</sup> ) |
| <b>Escenario 1</b>    |   |                       |   |                       |   |
| BMi; SG               | 22,54                                   | RCi; SG               | 14,64                                   | RCi; SG               | 14,64                                   |
| BMi; SG               | 24,52                                   | RCi; SG               | 14,92                                   | RCi; SG               | 14,92                                   |
| BMi; DG1              | 24,54                                   | RCi; DG1              | 14,94                                   | RCi; DG1              | 14,94                                   |
| TF1; SG               | 22,53                                   | TF1; SG               | 14,63                                   | TF1; SG               | 16,17                                   |
| TF2; SG               | 22,68                                   | TF2; SG               | 14,66                                   | TF2; SG               | 16,20                                   |
| TF2; DG1              | 22,72                                   | TF2; DG1              | 14,72                                   | TF2; DG1              | 16,27                                   |
| <b>Escenario 2</b>    |   |                       |   |                       |   |
| BMi; SG               | 20,61                                   | RCi; SG               | 13,36                                   | RCi; SG               | 13,36                                   |
| BMi; DG1              | 20,90                                   | RCi; DG1              | 13,43                                   | RCi; DG1              | 13,43                                   |
| BMi; DG2              | 21,36                                   | RCe; DG2              | 14,29                                   | RCe; DG2              | 14,29                                   |
| TF1; SG               | 19,20                                   | TF1; SG               | 13,37                                   | TF1; SG               | 14,32                                   |
| TF2; DG1              | 19,28                                   | TF2; DG1              | 13,47                                   | TF2; DG1              | 14,43                                   |
| TF2; DG2              | 19,75                                   | TF2; DG2              | 13,68                                   | TF2; DG2              | 14,66                                   |
| <b>Escenario 3</b>    |   |                       |   |                       |   |
| BMi; SG               | 21,58                                   | RCi; SG               | 13,66                                   | RCi; SG               | 13,66                                   |
| BMe; DG1              | 22,39                                   | RCe; DG1              | 13,94                                   | RCe; DG1              | 13,94                                   |
| BMe; DG2              | 22,99                                   | RCe; DG2              | 14,18                                   | RCe; DG2              | 14,18                                   |
| TF1; SG               | 20,18                                   | TF1; SG               | 14,85                                   | TF1; SG               | 15,76                                   |
| TF2; DG1              | 20,38                                   | TF2; DG1              | 14,87                                   | TF2; DG1              | 15,78                                   |
| TF2; DG2              | 20,98                                   | TF2; DG2              | 15,05                                   | TF2; DG2              | 15,97                                   |
| <b>Escenario 4</b>    |   |                       |   |                       |   |
| BMi; SG               | 21,58                                   | RCi; SG               | 13,66                                   | RCi; SG               | 13,66                                   |
| BMe; DG1              | 22,39                                   | RCe; DG1              | 13,94                                   | RCe; DG1              | 13,94                                   |
| BMe; DG2              | 22,99                                   | RCe; DG2              | 14,18                                   | RCe; DG2              | 14,18                                   |
| TF1; SG               | 20,18                                   | TF1; SG               | 14,85                                   | TF1; SG               | 15,76                                   |
| TF2; DG1              | 20,38                                   | TF2; DG1              | 14,87                                   | TF2; DG1              | 15,78                                   |
| TF2; DG2              | 20,98                                   | TF2; DG2              | 15,05                                   | TF2; DG2              | 15,97                                   |
| <b>Escenario 5</b>    |   |                       |   |                       |   |
| BMe; DG1              | 29,30                                   | RCe; DG1              | 17,46                                   | RCe; DG1              | 17,46                                   |
| BMe; DG2              | 30,08                                   | RCe; DG2              | 17,92                                   | RCe; DG2              | 17,92                                   |
| TF2; DG1              | 24,72                                   | TF2; DG1              | 15,91                                   | TF2; DG1              | 16,80                                   |
| TF2; DG2              | 25,68                                   | TF2; DG2              | 16,53                                   | TF2; DG2              | 17,45                                   |
| TF3; DG2              | 25,94                                   | TF3; DG2              | 16,70                                   | TF3; DG2              | 17,63                                   |