



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

**IMPACTO DE LA INCORPORACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE EFICIENCIA
ENERGÉTICA EN LA DISMINUCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DE EDIFICIOS
PÚBLICOS EN CHILE DURANTE SU ETAPA DE OCUPACIÓN**

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

AUTOR: Daniela Kairies Alvarado

**PROFESOR GUÍA: Claudia Muñoz Sanguinetti
PROFESOR CO-GUÍA: Alejandro Martínez Rocamora**

CONCEPCION, 09 de marzo de 2020

Agradecimientos

No habría sido posible lograr este objetivo sin el apoyo constante brindado por mi familia, amigos, colegas y profesores.

*En lo particular quiero agradecer a mis **guías de tesis**, gracias a ellos y a la pasión por su trabajo he logrado entender que somos capaces de aportar a construir un mejor planeta desde nuestro lugar, me han logrado transmitir su capacidad por amar lo que haces y así con ello esparcirlo a otros.*

*Gracias a la **Dirección de Arquitectura** del Ministerio de Obras Públicas, particularmente a **Martín Urrutia y Margarita Cordaro**, por su apoyo constante durante el desarrollo de ésta Maestría.*

*A mis **amig@s** les doy las gracias por entenderme, acompañarme en este proceso y brindarme la distracción que siempre necesité de él.*

*A los dos pilares que me acompañan día a día: A mi **madre** le doy gracias por la tenacidad que siempre me inculcó, y a **Felipe** le doy las gracias por caminar a mi lado en este proceso y por instarme a perseguir mis objetivos aun cuando todo se veía cuesta arriba.*

*Y por último, quiero dedicar ésta investigación de forma muy especial a mi **padre**, no me cabe duda que hubiese estado muy orgulloso de este nuevo logro profesional, y citando sus palabras “en la vida no podré dejarte nada más que una buena educación”... bueno, es solo eso lo que necesitaba.*

Resumen

El 45% de la energía generada a nivel mundial se utiliza para calefaccionar, refrigerar, iluminar y ventilar edificios; sin embargo, su desempeño energético no es la única variable a evaluar, el impacto ambiental que el edificio y sus componentes tendrán sobre el territorio incidirá en su comportamiento durante su ciclo de vida. Por tanto, la correcta elección de los materiales que componen la envolvente térmica de los edificios y el combustible utilizado para su climatización, no solo incidirán en su demanda energética, sino también en la huella que tendrá éste en el medio ambiente.

En esta tesis se plantea el análisis de cuatro edificios de uso público construidos en Chile. Los casos se evalúan desde el punto de vista constructivo (a través de análisis planimétrico), de su uso y consumo energético (mediante la aplicación de encuestas a administradores). El objetivo del análisis es determinar el aporte que han tenido las políticas públicas en materia de eficiencia energética en el sector de la construcción, a través de la implementación de los Términos de Referencia Estandarizados de Eficiencia Energética (TDRe) en el diseño de edificios, en la disminución de la huella de carbono durante el ciclo de vida del edificio.

Los resultados mostraron que los TDRe logran disminuir en un 82% el consumo energético sobre un edificio base, pero que la huella de carbono por ese consumo dependerá del combustible seleccionado para su operación o funcionamiento, obteniéndose diferencias de hasta 6 veces en la huella de carbono emitida por consumo de combustible entre el pellet y el Gas Licuado de Petróleo (GLP) de los casos analizados.

Como conclusión se logró determinar que la sola incorporación de los TDRe en el diseño no logra ser suficiente para disminuir la huella de carbono de los edificios, puesto que en su concepción estos no consideraron parámetros de sostenibilidad. El impacto que tiene la correcta selección de materiales y el combustible a utilizar durante la fase de uso podría llevar a que edificios considerados con un “mal comportamiento energético”, tengan una huella de carbono menor por el solo hecho de seleccionar combustibles amigables con el medio ambiente para su climatización.

Palabras claves: Eficiencia Energética, Demanda Energía, Edificación Pública, Huella Carbono, Crisis Climática.

Abstract

From the total energy generated worldwide, 45% is used for heating, cooling, illuminating and ventilating buildings; however, their energy performance is not the only variable to be evaluated, the environmental impact that the building and its components will have on the territory will affect his behavior during the life cycle. Therefore, the correct choice of materials of the thermal envelope of buildings and the fuel used for their climate conditioning, will not only affect their energy demand, but also his footprint on the environment.

This thesis present the analysis of four cases of public buildings in use built in Chile. Cases are evaluated from a constructive point of view (through the planimetric analysis) and, from the point of view of their energy use and consumption (through the implementation of surveys to managers). The objective of the analysis is to determinate the real contribution of energy efficiency policies on the construction sector, through the implementation of TDRé in the design of buildings, on the reduction of the footprint carbon during the life cycle of the building.

The results showed that the application of TDRé can reduce energy consumption by 82% on buildings, but the carbon footprint from that consumption will depend on the fuel selected to operate, with differences made up to 6 times in the footprint of fuel consumption between pellet and GLP from the cases analyzed.

In conclusion, it was determined that the only incorporation of TDRé into the design is not sufficient to reduce the carbon footprint of buildings, because in their conception they did not consider sustainability parameters. The impact of the correct selection of materials and the fuel to be used during the use phase makes buildings with a considered "bad energy behavior" could lead to a lower carbon footprint simply by selecting environmentally friendly fuels for conditioning.

Keywords: Energy Efficiency, Energy Demand, Public Edification, Carbon Footprint, Climate Crisis.

Índice

Resumen	1
Abstract	2
Capítulo 1. Introducción.....	5
1.1 Hipótesis	9
1.2 Justificación.....	9
1.3 Objetivo general.....	10
1.4 Objetivos específicos (OE).....	10
1.5 Metodología.....	11
1.5.1 Métodos propuestos	11
1.5.2 Técnicas de recolección de datos	12
1.5.3 Técnicas de procesamiento de datos.	12
1.5.4 Tamaño de la muestra	13
Capítulo 2. Marco teórico.....	14
2.1 Implementación de políticas públicas en materia de cambio climático.....	14
2.1.1 Agenda País al 2050 sobre mitigación al cambio climático.	15
2.1.2 Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022.	16
2.1.3 Situación chilena en materia de huella de carbono en la industria de la construcción de edificios públicos.	19
2.1.4 Estrategia de construcción sustentable.....	20
2.2 Análisis de ciclo de vida.	23
2.2.1 Concepto de ACV y su relación con la huella de carbono.	23
2.2.2 Impacto de la etapa de operación en el ciclo de vida de los edificios.....	24
2.2.3 Metodologías para el cálculo de GEI: huella de carbono.	25
2.2.4 Herramienta ÁBACO-CHILE para cálculo de huella carbono.	26
2.3 Términos de referencia estandarizados de eficiencia energética (TDRe).	27
2.3.1 Análisis macro de incorporación TDRe en edificación pública.	28
2.3.2 Análisis de requerimientos TDRe para la envolvente térmica y los sistemas de acondicionamiento térmico (SAT) para los climas de los casos de estudio.	29
Clima Sur Litoral.....	30
Clima Sur Extremo	31
Sistemas de acondicionamiento térmico (SAT).....	32
Capítulo 3. Presentación de los casos de estudio.....	33
3.1 Descripción general de la tipología de edificios a analizar.	33
3.2 Proyectos sin aplicación de TDRe.	34
3.2.1 Fiscalía Local de Cañete	34
3.2.2 Fiscalía Local de Talcahuano.....	40
3.3 Proyectos con aplicación de TDRe.	46
3.3.1 Fiscalía local de Ancud.....	47
3.3.2 Fiscalía Local de Puerto Montt	52
3.4 Análisis comparativo de los casos de estudio.....	58
3.4.1 Análisis de la transmitancia térmica de la solución de envolvente.....	59
Piso ventilado y en contacto con el terreno.....	59

Muros.....	59
Techumbre.....	60
3.4.2 Análisis de los sistemas de acondicionamiento térmico instalados, la demanda proyectada v/s consumo por concepto de climatización para la etapa de ocupación.	60
Capítulo 4. Análisis de la huella carbono por caso de estudio	64
4.1 Límites del sistema.....	64
4.2 Evaluación de la HC de la envolvente mediante herramienta ÁBACO-CHILE para cada tipología de solución constructiva y caso de estudio.	67
4.2.1 Emisiones por solución constructiva de piso.....	68
4.2.2 Emisiones por solución constructiva de muros y ventanas.....	68
4.2.3 Emisiones por solución constructiva de techumbre.....	69
4.3 Evaluación de la HC del consumo para la etapa ocupación.....	69
Capítulo 5. Comparación entre resultados.	71
5.1 Cálculos ponderados HC por unidad funcional para el ciclo de vida de la edificación.....	71
5.2 Evaluación de los casos de estudio en virtud de los tipos de combustibles a utilizar en el ciclo de vida.....	76
5.3 Evaluación del caso estudio Fiscalía Local de Ancud por simulación energética. Implicancias de la incorporación de los TDRe en el ciclo de vida de los edificios.	79
5.3.1 Parámetros de simulación	79
5.3.2 Resultados de la simulación.	80
Capítulo 6. Conclusiones, limitaciones, contribuciones y futuros estudios.....	84
6.1 Conclusiones.	84
6.2 Limitaciones.	86
6.3 Contribuciones y futuros estudios.	86
Referencias bibliográficas	88
Glosario	91
Índice de tablas	92
Índice de figuras	92
Anexos	94
A - Encuesta de caracterización de uso del edificio.	94
B - Calculos de Huella Carbono por caso estudio.	99

1. Introducción

El rápido crecimiento de las ciudades en el mundo en desarrollo, en conjunto con el aumento de la migración del campo a la ciudad, ha provocado un incremento explosivo de las mega urbes. En 1990, había 10 ciudades con más de 10 millones de habitantes en el mundo. En 2014, la cifra había aumentado a 28, donde viven en total cerca de 453 millones de personas (PNUD, 2019). Es clave propiciar la construcción sustentable de la ciudad, cuestión que involucra tanto el ámbito de su planificación y diseño, como el de la materialización de los proyectos y edificaciones en equilibrio con su entorno.

Avanzar hacia una ciudad sustentable considera también la gestión eficiente de la energía, el manejo de los recursos naturales y los residuos y, por consiguiente, una reducción de la generación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Esto ha impulsado que, desde la gestión pública del territorio, se propicien acciones tendentes a reducir la huella de carbono (HC), derivada del proceso de urbanización, edificación y provisión de infraestructura pública, reduciendo los efectos del cambio climático (González et al., 2016).

La creciente preocupación internacional por las consecuencias adversas del cambio climático ha impulsado a las organizaciones e instituciones a profundizar su conocimiento respecto de los gases de efecto invernadero y su dinámica. En este contexto, la huella de carbono se transforma en un indicador reconocido internacionalmente para comprender dicha dinámica, lo que implica no sólo conocerla en todas sus dimensiones, sino también medirla y divulgarla como un elemento más en los procesos de toma de decisiones individuales, de las empresas, regiones o países. Es consenso que conocer la huella de carbono permite identificar rutas para controlar, reducir o mitigar las emisiones y su impacto (Samaniego y Schneider, 2010). Es así que parte de las políticas públicas vigentes en la materia hoy centran su desarrollo en disminuir la emisión de GEI provenientes de la industria de la construcción y su expansión (Ragué Marti, 2011).

La actividad generada por el sector de la construcción, incluida su industria asociada, es la mayor consumidora de recursos naturales. La industria de la construcción consume un 60% de las materias primas de la litosfera, el 12% del agua, el 40% de los materiales que forman parte de la economía global, y genera el 50% de las emisiones de GEI, convirtiéndola en una de las actividades humanas más devastadoras desde el punto de vista medioambiental, teniendo en cuenta la construcción y uso de los edificios (MINVU, 2014).

El impacto ambiental de los edificios está sobre todo dominado por la fase de uso, es decir, la demanda de energía de la etapa de operación (Sartori y Hestnes, 2007). Sin embargo, el impacto de los materiales de construcción (o memoria ambiental) es parte del foco hoy, debido a la estricta legislación y a los esfuerzos de los gobiernos y de los propietarios por construir cada vez más edificios eficientes energéticamente (Geller et al., 2006). La elección del material de la construcción influye en la demanda energética operacional de los edificios, esto es producto de las diferencias en las propiedades físicas como también en la inercia térmica o resistencia del mismo (Heeren et al., 2015).

Las emisiones de carbono asociadas con el entorno construido representan la fracción dominante de la huella de carbono total de la sociedad. Como resultado del intenso debate sobre cómo abordar el cambio climático, la evaluación de las emisiones de carbono durante el ciclo de vida, los estándares de huella de carbono y el protocolo de GEI, están recibiendo una mayor atención. Enfrentar el cambio climático y sus consecuencias para el medio ambiente ha sido uno de los mayores retos de la vida moderna. De hecho, la mayoría de las estrategias sustentables actuales están intrínsecamente asociadas con la intención de reducir nuestra huella de carbono global. El entorno construido es el sector dominante responsable de la huella total de carbono en nuestra sociedad, principalmente porque representa la intersección de los tres emisores principales: energía, transporte y edificios. (Fenner et al., 2018)

Para identificar y evaluar los impactos relacionados con las diferentes fases de un proceso se han establecidos distintos métodos, el validado internacionalmente hoy es el denominando “Análisis del Ciclo de Vida (ACV)” cuyo método de validación está establecido en la norma ISO 14044. El ACV beneficia el proceso de toma de decisiones que apoya el desarrollo de iniciativas sostenibles a lo largo del ciclo de vida del edificio, incluida la planificación, construcción, operación, renovación y deconstrucción de edificios (ISO 14044, 2006). Debido a la creciente incidencia de los problemas del calentamiento global, la evaluación de emisiones de carbono durante el ciclo de vida, una subsección del ACV tradicional, está recibiendo una mayor atención recientemente; es así que se han establecido distintas formas, maneras y tiempos para determinar y medir la HC, aunque aún no se ha llegado a un consenso de medición que permita comparar entre distintos análisis y resultados. A la fecha se ha validado internacionalmente el cálculo de la HC de las organizaciones a través de lo establecido en la norma ISO 14064, la que permite proporcionar a la industria y al gobierno un conjunto de herramientas para desarrollar programas destinados a reducir las

emisiones de GEI; sin embargo, no permite establecer una forma o herramienta determinada para el cálculo de la HC de un producto distinto al de una organización propiamente tal.

Chile se ha comprometido internacionalmente a reducir las emisiones de GEI para avanzar hacia el desarrollo sustentable y una economía baja en carbono. En este contexto, la industria de la construcción es responsable en Chile del 33% de las emisiones de este tipo de gases, y el compromiso autoimpuesto es una reducción de un 20% de las emisiones proyectadas al año 2020 en el sector de la construcción (MINVU, 2014). Por lo tanto, identificar oportunidades para reducir estas emisiones, dentro de la cadena de valor de un edificio, se ha convertido en una prioridad para reducir el cambio climático. Sin embargo, si bien las políticas públicas en Chile buscan disminuir la huella de carbono en la industria de la construcción, los principales esfuerzos se han centrado en la incorporación de políticas de eficiencia energética como medio para lograr el fin inicial. En este contexto se carece de información que permita determinar cuánto han aportado directamente las mejoras energéticas de los edificios de uso público en relación a la disminución de la huella de carbono de los mismos y su impacto en el territorio donde se emplazan.

Aun cuando los objetivos y las metas en cuanto a disminución de HC están claras y establecidas en distintas políticas públicas en la materia, a la fecha no se ha establecido el método validado para cuantificar dicha huella, lo que conlleva distintas formas de medición y resultados que no permiten establecer comparaciones entre ellos. En este contexto, y ante la necesidad de contar con una herramienta cuantificadora de GEI, con condiciones de sitio específicas para Chile, se desarrolla el proyecto ÁBACO-CHILE, mandado por el Ministerio de Obras Públicas (Dirección de Arquitectura), en conjunto con el Ministerio de Desarrollo Social. Se trata de una herramienta de uso público, la cual permite cuantificar las dimensiones tanto económicas como ambientales de una edificación. Dicha herramienta, la cual será descrita en el Capítulo 2, permite a través de un eco-presupuestador, cuantificar la dimensión ambiental, social y económica de edificios con un enfoque de ciclo de vida (fase de diseño y construcción principalmente).

No se podría hablar hoy de disminución de huella de carbono en la edificación si no se considera el análisis del ciclo de vida de ella. En este contexto, es importante relevar el ahorro energético que podemos producir por las correctas decisiones que se puedan tomar durante la etapa de diseño de un edificio. La eficiencia energética es un medio para alcanzar un fin, específicamente el ahorro energético. El ahorro energético permite disminuir los impactos de la edificación durante su etapa

de uso, lo que consecuentemente lleva a disminuir la generación de GEI por consumo para climatización de los mismos.

Tal como lo indicaban Moschetti, et al., 2019 y Mwashu, et al., 2012, la elección de los materiales es uno de los factores claves al momento de determinar la envolvente de un edificio, esta influirá en la disminución del consumo de energía pero no será suficiente para compensar los GEI incorporados en los materiales de ella. Actualmente los edificios de oficinas se están volviendo cada vez más eficientes. En particular la importancia por la climatización de ellos está disminuyendo, pero está aumentando el porcentaje de uso de electricidad. Las emisiones de CO₂ proveniente de la energía incorporada de los materiales constituyen una parte importante del total, lo que indica que los materiales de construcción tienen una importancia alta que a menudo se ignora al considerar solamente la eficiencia del funcionamiento del edificio (Airaksinen y Matilainen, 2011).

Según se reconoce en la literatura internacional, el interés en la comprensión del uso de los recursos y las implicaciones ambientales de los edificios en una perspectiva de ciclo de vida que está creciendo rápidamente. Los impactos del ciclo de vida son altamente interdependientes, ya que una fase puede influir en las otras. Por ejemplo, la selección de materiales de construcción puede ayudar a reducir la demanda energética por aire acondicionado, pero también puede aumentar la energía incorporada y los impactos relacionados con el transporte o afectar la duración de servicio de todo edificio, o incluso influenciar la generación de residuos reciclables (o desechables) al final de la vida del edificio (Blengini y Di Carlo, 2010).

Para lograr eficiencia se han desarrollado distintos métodos tendentes a establecer estándares referidos a tipologías de edificación y uso. Tras la creación de los Términos de Referencia estandarizados (TDRe) por el Ministerio de Obras Públicas en el año 2012, se lograron establecer los criterios con los que la edificación pública debía ser concebida con el fin último de ser energéticamente eficiente (Dirección de Arquitectura, 2016). Hoy se cuenta con edificios públicos que en su concepción consideraron la aplicación de los TDRe, lo que permite realizar una muestra actual del aporte de estas consideraciones de eficiencia en el consumo de la edificación y consecuentemente en la huella de carbono que el edificio está aportando al medio ambiente.

En el contexto mundial y nacional sobre calentamiento global, existe la necesidad de establecer el aporte que ha tenido el Estado, a través de sus Políticas Públicas, en la disminución de la huella de

carbono de la edificación pública, esto luego de incorporar e implementar medidas tendentes a lograr las metas de disminución proyectadas el año 2007 al año 2020, determinar con esto el aporte de la incorporación de los TDRé en la disminución de la demanda energética y su impacto en el cumplimiento de las políticas públicas vigentes es el objetivo principal de ésta investigación.

1.1 Hipótesis

La incorporación de los estándares de eficiencia energética (TDRé) a la envolvente térmica en edificios de uso público, genera un aumento en la emisión de GEI durante la fase de construcción, debido a la HC de la fabricación de los materiales incorporados, pero a su vez disminuye la demanda energética durante la etapa de ocupación y en consecuencia la HC por consumo de energía para la operación del edificio durante su ciclo de vida, aportando con esto a la reducción de emisión de GEI en al menos un 20% según las metas de mitigación de la industria de la construcción al cambio climático en Chile.

1.2 Justificación

El Estado, a través de sus políticas públicas, ha incentivado una serie de iniciativas que buscan propender la construcción de edificios con estándares de eficiencia energética. Dicha eficiencia no ha considerado a la fecha su impacto en la reducción de la huella de carbono de la construcción. Esto permite evidenciar la necesidad de determinar esta posible reducción de la huella, vinculado a las políticas públicas de mejora de eficiencia energética y su relación con los impactos ambientales.

Dentro de los esfuerzos del Estado para aportar a la disminución del consumo energético y emisiones de CO₂ de los edificios, se incorporan a la edificación pública los Términos de Referencia estandarizados (TDRé) por el Ministerio de Obras Públicas en el año 2012. Con estos se lograron establecer los criterios con los que la edificación pública debía ser concebida con el fin último de ser energéticamente eficiente. Sin embargo, su aplicación a la fecha no ha permitido establecer su aporte a la disminución de la huella de carbono en la edificación pública, pudiendo con esto cuantificar el impacto de las distintas etapas del ciclo de vida del edificio en la emisión de GEI, compensándose la HC de la etapa de fabricación y construcción, con la de la ocupación por consumo de combustible. Al considerar estos factores en el análisis del ciclo de vida de la edificación, se podrá determinar si existe un balance entre la incorporación de los TDRé y un

eventual aumento de la HC para la etapa de fabricación de los materiales y construcción del edificio, con la disminución de la HC por el consumo de energía para climatización durante la etapa de ocupación.

Aun cuando existen distintos avances en materia de eficiencia energética, éstos no han establecido a la fecha un método estandarizado o herramienta validada que permita cuantificar la huella ambiental de la edificación pública, lo que genera dificultad al momento de intentar establecer una línea o comparación entre distintos estudios.

Se plantea la medición de Huella de Carbono en edificación pública para establecer cómo la incorporación de los estándares de eficiencia energética TDRe han impactado en la disminución de ésta durante la etapa de ocupación de los edificios.

Determinar el aporte del Estado a través de sus edificaciones al cumplimiento de las políticas públicas dirigidas a la sustentabilidad de la construcción en Chile es una necesidad imperante. La inexistencia de una línea base específica que permita separar el aporte en la emisión de GEI de la industria de la construcción, y específicamente de la construcción pública, sobre los gases emitidos por otras industrias permite establecer a la larga el real aporte del Estado en el cumplimiento de las metas nacionales y globales que buscan la reducción de los efectos del cambio climático en el planeta.

1.3 Objetivo general

Evaluar el impacto de la incorporación de los estándares de eficiencia energética TDRe en las estrategias de diseño de edificios públicos, para determinar la posible reducción de los GEI durante su ciclo de vida, y estimar con esto el aporte de estos estándares al cumplimiento de la meta de mitigación de emisión de GEI en la industria de la construcción.

1.4 Objetivos específicos (OE)

OE.1 Establecer el aporte de los TDRe en la disminución del consumo energético durante la etapa de ocupación de edificios de uso público, a través del análisis de la envolvente térmica de estos, para estimar su influencia en la disminución de HC durante la etapa de ocupación.

OE.2 Determinar la carga ambiental de distintas soluciones constructivas en edificios de uso público, para evaluar la influencia que tienen éstos en la generación de huella de carbono durante el ciclo de vida de la edificación.

OE.3 Evaluar los sistemas de acondicionamiento térmico y su consumo energético durante la etapa de ocupación de edificios con y sin aplicación de estándares de eficiencia energética, para determinar la HC emitida por éstos durante su etapa de uso.

OE.4 Determinar el aporte de la aplicación de los estándares de eficiencia energética en edificios de uso público en la disminución de la huella de carbono durante su ciclo de vida, para comprobar si su aplicación permite dar cumplimiento a la meta de reducción de un 20% de emisión de GEI de la industria de la construcción en Chile.

1.5 Metodología

1.5.1 Métodos propuestos

La metodología a utilizar para alcanzar los objetivos propuestos, está basada en el análisis del ciclo de vida (ACV) de edificios de uso público en Chile según la norma española UNE-EN 15978 (Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo) y, al cálculo de la HC para la etapa de ocupación. Sin embargo, durante la etapa de ocupación las envolventes no consumen energía directamente, pero sí tienen una influencia directa en el consumo de energía por climatización, por lo que la correcta decisión de la solución constructiva permitirá aumentar o disminuir el consumo de energía para el ciclo de vida del edificio.

Para alcanzar los objetivos planteados, y demostrar con ello el aporte de los TDR aplicados a la edificación pública en la disminución de la HC para el ciclo de vida de la edificación, se propone realizar una medición de la HC de los materiales que componen la envolvente térmica, buscando relacionar los resultados, con la HC por el consumo de energía por climatización durante la etapa de ocupación del edificio. Para ello, se propone utilizar una metodología cuantitativa, en la cual se analizarán un grupo de casos, desde el punto de vista de la disminución de la huella de carbono, considerando para esto edificios públicos que incluyan en su concepción de diseño estándares de eficiencia energética y otros que no los consideren. La información será sistematizada y analizada desde un punto de vista ambiental, mediante la utilización de la herramienta ÁBACO-CHILE.

Posteriormente con los resultados obtenidos, se analizará la influencia de los distintos tipos de combustibles utilizados usualmente en los distintos sistemas de acondicionamiento térmico (SAT), para con ello determinar el aporte de éstos en la emisión de GEI durante el ciclo de vida y su compensación con la etapa de construcción.

Una vez realizados los análisis se procederá a tomar un caso de estudio, evaluarlo mediante simulación dinámica, para con ello determinar la generación de HC durante su ciclo de vida según distintos escenarios planteados, y las diferencias producidas entre ellos en la compensación de la carga ambiental del edificio durante su ciclo de vida.

1.5.2 Técnicas de recolección de datos

Para realizar el análisis de huella de carbono de los materiales que componen la envolvente del edificio se procederá inicialmente a caracterizar este elemento desde el punto de vista del diseño y sus componentes constructivos. Esto se realizará mediante el análisis de la información planimétrica y especificaciones técnicas obtenidas del levantamiento de información de cada caso.

Posteriormente, para determinar el consumo energético, se realizará un levantamiento de información referida al uso y consumo, mediante entrevista al administrador de cada edificio de estudio (**Anexo A**). Adicionalmente, se caracterizarán los diferentes tipos de SAT con la información técnica recopilada de cada proyecto.

La información obtenida de la encuesta permitirá caracterizar el edificio desde el punto de vista del uso y su consumo. Así mismo el análisis técnico del proyecto de climatización del edificio permitirá caracterizar los sistemas instalados, y relacionar la información obtenida de la encuesta, con el consumo y el sistema utilizado.

1.5.3 Técnicas de procesamiento de datos.

Con la información recopilada se procederá a calcular la huella de carbono del sistema de acondicionamiento térmico y su consumo durante la etapa de ocupación del edificio, proyectándolo al ciclo de vida de éste. El procesamiento de la información se hará en 4 etapas:

1. La información técnica recopilada de planimetrías y especificaciones, además del análisis de partidas obtenidas del presupuesto oficial de la obra se sistematizarán en la plataforma ÁBACO-CHILE. Con este análisis de información se logrará obtener la HC de los materiales

incluidos en la envolvente térmica del edificio y que inciden directamente en la demanda energética por confort térmico interior.

2. Para determinar la HC durante la etapa de ocupación, se procederá a calcular el consumo anual de energía, ya sea eléctrica o de combustibles, por conceptos de calefacción del edificio. La HC del consumo anual se proyectará a la vida útil del edificio (30 años según metodología de evaluación social de proyectos).
3. Con los datos de carga ambiental calculados para el ciclo de vida, se evaluará la modificación de los combustibles, con la información recopilada mediante el análisis bibliográfico sobre la emisión de GEI por cada uno.
4. El análisis de escenarios para un caso de estudio se realizará mediante simulación dinámica con Design Builder.

1.5.4 Tamaño de la muestra

La muestra se compone por cuatro edificios de oficina construidos por la Dirección de Arquitectura del MOP (**Tabla 1**), los cuales poseen el mismo uso y usuarios (edificios del Ministerio Público, Fiscalías).

Tabla 1: Casos de estudio.

Nombre	Región	Propietario	Incluye TDRé	Clima
Fiscalía Local de Cañete	Biobío	Fiscalía	NO	Sur Litoral
Fiscalía Local de Talcahuano	Biobío	Fiscalía	NO	Sur Litoral
Fiscalía Local de Ancud	Los Lagos	Fiscalía	SÍ	Sur Extremo
Fiscalía Local de Puerto Montt	Los Lagos	Fiscalía	SÍ	Sur Litoral

2. Marco teórico

Entender la situación mundial con respecto a los efectos del cambio climático, las distintas reacciones de los gobiernos para enfrentarlo y cómo Chile busca disminuir su impacto sobre el territorio, serán los temas abordados en este capítulo.

2.1 Implementación de políticas públicas en materia de cambio climático.

El calentamiento global es el resultado del incremento de los gases del efecto invernadero en la atmósfera, dando a entender que el ser humano con sus acciones, es el responsable de tal fenómeno y que se trata del más grande problema ecológico enfrentado por la actual civilización y futuras generaciones (Vasconi y Liberona, 2008).

Durante la década de los 80 se realizaron múltiples reuniones internacionales sobre el calentamiento global y el cambio climático. Ante las numerosas evidencias y los cuestionamientos científicos, en 1988 la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crearon el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), organismo internacional encargado de evaluar los riesgos asociados al cambio climático (Vasconi y Liberona, 2008).

Según el IPCC (Masson-Delmotte et al., 2019), el incremento de la temperatura global acarreará, en el corto y mediano plazo, alteraciones que se traducirán en: una disminución de las precipitaciones; una disminución de la disponibilidad de agua; una reducción de la productividad de las aguas pesqueras; desajustes entre animales predadores y sus presas; pérdida de biodiversidad; aumento de catástrofes naturales e importantes afecciones sobre la salud humana. Si las emisiones se mantienen al ritmo actual, en 2.040 el aumento de la temperatura será de un 1,5°C respecto a los niveles preindustriales.

Quizás una de las más sorprendentes respuestas al cambio climático en las últimas dos décadas ha sido la creciente participación de los gobiernos locales y otros actores urbanos en los esfuerzos para reducir las emisiones de GEI y adoptar cada vez más a medidas contra ello. Concebido tradicionalmente como un problema global que requiere soluciones globales, las políticas urbanas del cambio climático han sido clave al alentar investigaciones y la creación de políticas que reconsideren el problema de lo global a lo local (Bulkeley, 2010).

El cambio climático es un problema mundial importante que nos afecta a todos. Esta cronología muestra los últimos pasos que han llevado hasta un nuevo acuerdo mundial jurídicamente vinculante sobre el cambio climático, el Acuerdo de París (**Figura 1**).

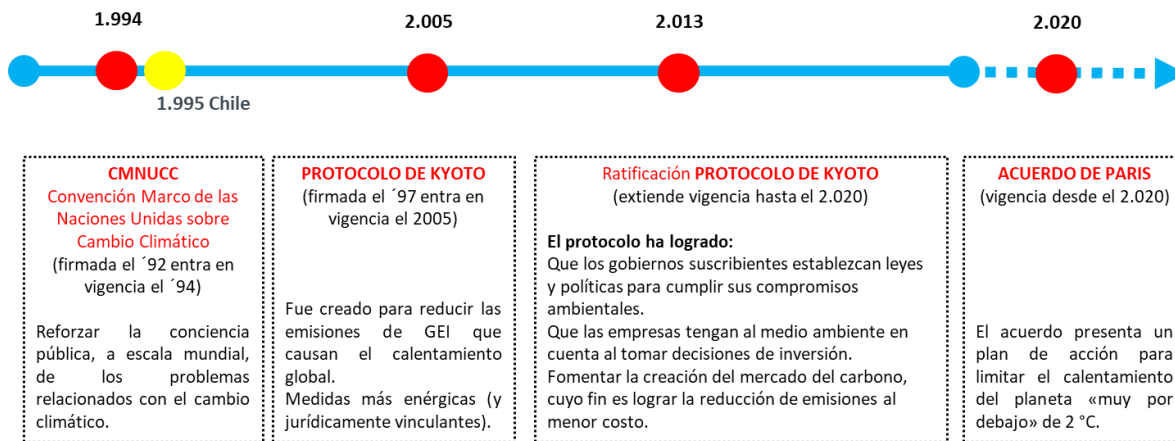


Figura 1: Línea de tiempo, últimos acuerdos internacionales en materia de cambio climático.

Dentro de las principales metas del Acuerdo de París, se destaca la que apunta a limitar el calentamiento global a 1.5°C por encima de los niveles preindustriales proyectados al año 2100. Lo que significa que las emisiones de gases de efecto invernadero deben reducirse rápidamente en los próximos años y décadas, y llevarse a cero alrededor de mediados de siglo (Masson-Delmotte et al., 2019).

De acuerdo a la tipificación establecida en la convención de Cambio Climático, Chile es un país vulnerable social y ambientalmente frente a este fenómeno, debido a su clima, a presentar ecosistemas frágiles, alta contaminación, tener zonas costeras bajas, entre otras características. En efecto, pese a que el país no representa un aporte significativo en materia de emisiones contaminantes, su mayor contribución al Calentamiento Global es por vía de la deforestación; el cambio de uso de suelo para sistemas silvoagropecuarios; y el avance de la desertificación (Vasconi y Liberona, 2008).

2.1.1 Agenda País al 2050 sobre mitigación al cambio climático.

En términos internacionales, Chile asumió su compromiso con el calentamiento global al suscribir la Convención Marco en 1992 y ratificarlo en 1994. Una situación similar se dio en el año 1997 donde suscribe el Protocolo de Kyoto, ratificándolo el año 2002. En tanto, el Acuerdo de París, adoptado en diciembre de 2015, fue promulgado en Chile en febrero de 2017.

Las emisiones de gases efecto invernadero de Chile alcanzan solo al 0,23% del total mundial. No obstante, según el Informe de Desarrollo Humano 2007-2008, Chile registra el mayor aumento en el nivel per cápita de emisiones de CO₂ respecto al resto de los países latinoamericanos y del Caribe, y ocupa el 5to lugar del mercado mundial de ventas de bonos de carbono (Vasconi y Liberona, 2008).

En la reunión de la Conferencia de las partes en Polonia a finales de 2008, el gobierno chileno dio a conocer su plan de acción de cambio climático. Este plan de acción se basa en decisiones después de varios años de consideración de los impactos del cambio climático en el contexto de la estrategia nacional. La estrategia fue la primera respuesta organizada al cambio climático, impulsado por el Ministerio de Relaciones Exteriores como parte de sus obligaciones dentro del proceso de la COP (Barton, 2013). Desde sus primeras formulaciones, el énfasis era claramente los aspectos físicos de los impactos del cambio climático, así como de mitigación a fin de no sólo ser capaces de contribuir a la reducción de las emisiones mundiales totales (voluntariamente ya que Chile es un Non-Annex I país), pero también para aprovechar las oportunidades económicas creadas por el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) (Barton, 2013).

Chile se ha comprometido con las naciones del mundo a reducir las emisiones de gases efecto invernadero en un 30% al año 2030 en relación a la línea base levantada el año 2007. Este compromiso incentivará la descarbonización de su economía, impulsando un crecimiento verde a través de la adopción de tecnologías limpias y renovables. Además Chile planea eliminar el carbón para el 2040 y lograr la neutralidad de carbono para 2050 (Climate Action Tracker, 2019).

2.1.2 Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022.

El Plan Acción Climática de Chile 2017-2022 guía las acciones de mitigación climática y tiene la intención de avanzar en el monitoreo, reporte y verificación (MRV) de éstas, manteniendo el inventario nacional de GEI (**Figura 2**), desarrollando políticas públicas en la materia, implementando sistemas de medición, cumpliendo con ello los compromisos internacionales adquiridos por el Estado Chileno (Climate Action Tracker, 2019). Fue elaborado en base a la información de más de 20 Ministerios y Servicios, tratando con ello de reflejar de manera integral cada una de las aristas en las que el Cambio Climático debe ser atacado. Para la elaboración del Plan se debió cuantificar las emisiones de GEI del país por sector, logrando con esto apuntar las líneas estratégicas del mismo hacia los principales emisores.

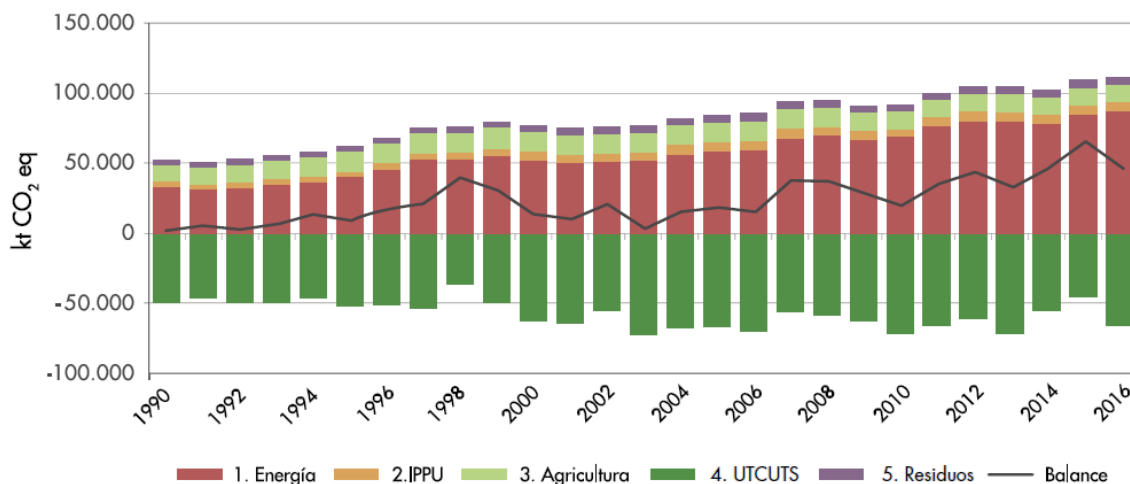


Figura 2: Inventario Nacional de GEI (INGEI) de Chile: balance de GEI (kt CO₂ eq) por sector, serie 1990-2016.

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2018.

En la **Figura 2** se logra identificar que el sector Energía es el principal emisor nacional de GEI, con el 78,0% de las emisiones de GEI totales en 2016. En el mismo año, las emisiones de GEI del sector contabilizaron 87.135,6 kt CO₂ eq, lo que representa un incremento de 137,5% desde 1990 y de 16,6% desde 2013. En general, la principal causa es el aumento del consumo energético del país, incluyendo el consumo de carbón mineral y de gas natural para la generación eléctrica, así como de combustibles líquidos para transporte terrestre, mayormente diésel y gasolina (MMA, 2018).

El Plan tiene por objetivo enfrentar los desafíos que plantean en el corto y mediano plazo los impactos del cambio climático en el territorio chileno, promoviendo la implementación de los compromisos adoptados por Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). El Plan busca constituirse como un instrumento articulador de las políticas públicas en la materia, gestionando de manera transversal las políticas de los distintos servicios a nivel nacional (González et al., 2016).

La ejecución del Plan centra su acción en cuatro ejes estratégicos: Adaptación, Mitigación y la Creación y Fomento de Capacidades.

Eje adaptación: Los esfuerzos globales en reducir las emisiones de GEI son fundamentales para desacelerar el cambio climático, sin embargo, los efectos de la mitigación no se percibirán antes de la segunda mitad del siglo XXI, por lo que es necesario contar con estrategias de adaptación,

que permitan al país proteger su patrimonio natural y cultural y desarrollarse de forma sustentable (González et al., 2016).

Líneas principales del eje: Evaluar periódicamente la vulnerabilidad de sistemas humanos y naturales frente a los impactos del cambio climático, estableciendo los riesgos y oportunidades que presenta este fenómeno, adaptarse al cambio climático, mediante la implementación de medidas dirigidas a reducir la vulnerabilidad y aumentar la capacidad adaptativa de los sistemas humanos y naturales del país y monitorear y reportar periódicamente el avance de la adaptación en el país, para establecer mejoras en la planificación mediante políticas de adaptación.

Eje mitigación: El país cuenta actualmente con el compromiso voluntario de reducción de GEI al 2020 y además la contribución nacional determinada (NDC) de Chile al Acuerdo de París para el periodo pos-2020. La NDC de Chile, en términos de mitigación, se divide en dos tipos de compromisos:

- Meta de intensidad: reducción al 2030 de la intensidad de las emisiones de GEI en un 30 % con respecto al nivel alcanzado en 2007. Adicionalmente, y condicionado a la obtención de aportes monetarios internacionales, un aumento de la reducción al 2030 hasta alcanzar entre 35 % a 45 % con respecto al nivel alcanzado en 2007.
- Meta forestal: manejo sustentable y recuperación de 100.000 hectáreas de bosque, principalmente nativo, que representará una captura y reducción de GEI en alrededor de 600.000 t CO₂ eq/año.

Líneas principales de eje; mantener el SNICHILE y actualizar el INGEl, desarrollar e implementar acciones y políticas de mitigación, contabilizar y proponer medidas de mitigación de CCVC, implementar sistemas de contabilidad y MRV e implementar acciones para cumplir con los compromisos internacionales de mitigación.

En este eje se centran las políticas públicas en búsqueda de disminuir la emisión de GEI, donde la industria de la construcción y, especialmente la edificación pública, se ven sindicadas a través de la línea de acción N°11: Acciones de Mitigación para la edificación, urbanización e infraestructura pública bajas en carbono. Las medidas asociadas a la acción específica que atañen a la edificación pública con las siguientes: medición de la reducción de GEI cuando se incorpora el diseño pasivo

en edificación pública (MM15), medición de la huella de carbono en las obras de infraestructura y edificación pública que ejecuta el MOP (MM16) y contar con una plataforma que permita medir y contabilizar la reducción de GEI desde el MOP (MM17).

Eje medios de implementación: Sus principales líneas se centran en fortalecer la institucionalidad para abordar el cambio climático a nivel nacional, apoyar la transferencia de tecnología para la implementación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, crear y fortalecer las capacidades nacionales para la gestión del cambio climático y entregar asistencia técnica, generar una estrategia nacional financiera frente al cambio climático, y por último asesorar la negociación internacional en temáticas relacionadas al cambio climático.

Eje gestión del cambio climático a nivel regional y comunal: Sus principales líneas de trabajo se centran en fortalecer la institucionalidad de cambio climático a nivel regional y comunal, desarrollar las capacidades en los gobiernos regionales y comunales e Implementar acciones y propiciar sinergias entre la adaptación y la mitigación para un territorio específico.

2.1.3 Situación chilena en materia de huella de carbono en la industria de la construcción de edificios públicos.

La industria de la construcción tiene un rol importante con el medioambiente. Es el mayor consumidor de tierra y materiales de origen natural, y genera una cantidad enorme de residuos. Es además un usuario de las energías no renovables y emite una gran cantidad de gases de tipo efecto invernadero (Kosmopoulos, 2004). La industria de la construcción es una de los grandes consumidores de materiales de origen natural, después de la industria de la alimentación que es la primera en lista (Berge, 2000). De acuerdo con el Worldwatch Institute, la construcción de edificios consume un 40% de las piedras, arenas y grava, 25% de la madera y un 16% del agua que se utiliza anualmente en el mundo. (Dimoudi y Tompa, 2008) Los edificios y el sector de la construcción (incluyendo la producción y transporte de materiales) en países que integran la OCDE consumen desde un 25% a un 30% del total de energía utilizada (llegando incluso a un 50% en algunos países) (Asif, Muneer y Kelley, 2007).

Según Perez-Lombard *et al.* 2008, el sector de la construcción es responsable del 40% del consumo total de energía debido a la actividad humana, es decir, producto de la etapa de uso de éste (Pérez-Lombard, Ortiz y Pout, 2008).

En Chile, los números no se alejan tanto del resto del mundo, la producción total de la industria de la construcción se estima que aporta un promedio del 7,8% del PIB nacional, representa un 8,46% de los empleos y es responsable de la generación de un 34% de los residuos sólidos producidos a nivel nacional. Asimismo, el 33% de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) son generadas por el sector residencial - público - comercial, ligado íntegramente a edificaciones. Este mismo sector es responsable, si solo consideramos la etapa de operación, del 26% del uso final de energía en el país. Por lo tanto, a partir de las cifras mencionadas, se puede concluir que los cambios que se puedan realizar al respecto, tienen un gran potencial de impacto en el territorio (MINVU, 2014).

2.1.4 Estrategia de construcción sustentable.

El objetivo de la Estrategia Nacional de Construcción Sustentable es establecer los principales ejes para integrar el concepto de sustentabilidad en la planificación, diseño, construcción y operación de las edificaciones e infraestructura. Para con ello elaborar metas al corto, mediano y largo plazo, con líneas de acción definidas e indicadores precisos que permitan monitorear el cumplimiento de los objetivos en el tiempo.

La estrategia se constituye de cuatro ejes principales, con objetivos por cada uno de ellos, identificados en la **Tabla 2**, los cuales apuntan a dar cumplimientos a los cuatro principales resultados esperados de la Estrategia (MINVU, 2014):

1. Edificaciones e infraestructura con consideraciones de sustentabilidad al año 2020.
2. Aportar, desde el sector comercial, público, residencial, al compromiso de reducción del 12% del consumo energético (proyectado al año 2020).
3. Aportar, desde el sector de la construcción, a la reducción del 20% de gases efecto invernadero, tomando como base las emisiones proyectadas al año 2020.
4. Aportar, desde el sector de la construcción, a que un 10% de la energía generada sea por fuentes renovables no convencionales al año 2024.

Tabla 2: Objetivos de la estrategia de construcción sustentable.

Fuente: MINVU, 2014.

EJE	Objetivo estratégico	Objetivo específico
Hábitat y Bienestar	Asegurar la disponibilidad de edificaciones e infraestructura sustentable para la población.	Aumentar la cantidad de edificaciones e infraestructura nueva o reacondicionada con criterios de sustentabilidad.
		Mejorar las condiciones de financiamiento y acceso para la construcción de edificaciones e infraestructura sustentables.
	Contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad.	Integrar elementos de movilidad universal en el diseño de edificaciones nuevas y modificaciones de las existentes.
		Fortalecer los espacios públicos.
	Reducir el nivel de emisiones generadas por edificaciones e infraestructura durante su ciclo de vida.	Disminuir las emisiones contaminantes producidas durante la construcción y demolición de las edificaciones e infraestructura.
		Disminuir las emisiones contaminantes producidas durante la operación de las edificaciones e infraestructura.
Reducir los impactos ambientales negativos sobre el territorio provocados por las edificaciones e infraestructura.	Impulsar el manejo de residuos durante el ciclo de vida de la construcción, con foco en minimizar su generación durante las faenas.	
	Fomentar la utilización de artefactos y materiales de construcción con atributos de sustentabilidad.	
Educación	Desarrollar el concepto de construcción sustentable en el país, estableciendo estándares adecuados.	Definir estándares en construcción sustentable.
		Mejorar el marco regulatorio de la construcción (OGUC + NCH + NTM) en el país, avanzando hacia la incorporación de criterios de construcción sustentable.
	Preparar a las edificaciones e infraestructura, y a la población frente a los posibles efectos del cambio climático, eventos de emergencia y desastres naturales.	Generar las condiciones para incrementar la resiliencia de las edificaciones e infraestructura pública ante el cambio climático, eventos de emergencia y desastres naturales.
		Fortalecer el nivel de conocimiento en la población respecto a su actuar frente a eventos de emergencia, relacionados con las construcciones.
	Fortalecer y difundir el concepto de construcción sustentable en todos los actores que participan en el ciclo de vida de la construcción.	Comunicar eficazmente a los actores relevantes y a la población en general los atributos positivos de la construcción sustentable.
		Asegurar el acceso público a información sobre construcción sustentable.
Mejorar las competencias técnico-profesionales en materias de construcción sustentable.	Aumentar el número de programas educacionales y de capacitación que incluyan en sus mallas curriculares la construcción sustentable.	
	Crear registros de técnicos y profesionales en construcción sustentable.	

Innovación y Competitividad	Fomentar la incorporación de criterios de sustentabilidad en las edificaciones e infraestructura a través de un ecosistema de innovación.	Apoyar la inversión en investigación y desarrollo (I+D) aplicado a la construcción sustentable.
		Propiciar el desarrollo de proyectos de innovación tecnológica en construcción sustentable.
	Mejorar la competitividad y productividad económica de edificaciones e infraestructura.	Desarrollar sistemas de calificación y/o certificación de criterios de sustentabilidad para la edificación de viviendas y de edificios de uso público.
		Incentivar la captura, procesamiento e intercambio de información transparente entre los distintos actores involucrados en el área de la construcción.
	Incentivar la adopción del concepto de ciclo de vida para la evaluación de edificaciones e infraestructura.	Desarrollar sistemas de análisis del ciclo de vida en todas las fases de la construcción, con foco en materiales.
		Fomentar un enfoque de proceso de diseño integrado que refleje la naturaleza multidisciplinaria de las edificaciones e infraestructura.
Buscar la eficiencia de los sistemas de energía, agua y materiales con énfasis en la utilización de diseño pasivo y ERNC.	Mejorar la eficiencia de los sistemas manteniendo o mejorando el confort en las edificaciones e infraestructuras.	
	Desarrollar programas para la incorporación de sistemas de eficiencia en energía, agua y materiales.	
Gobernanza	Implementar la Estrategia y difundir a nivel nacional información sobre construcción sustentable relevante.	Establecer un sistema de control de gestión que permita evaluar la Estrategia en el mediano y largo plazo.
		Consolidar la institucionalidad coordinadora de la construcción sustentable en el país.
	Integrar a los distintos actores que participan en la construcción sustentable en la implementación de la Estrategia.	Aumentar la adhesión a instancias de fomento de la construcción sustentable por parte de actores relevantes.
		Identificar y alinear iniciativas de construcción sustentable que se estén desarrollando localmente (que no deriven de la Estrategia).
	Asegurar la representación local en temas relacionados con construcción sustentable y velar por la eficiencia del aparato administrativo.	Incentivar la coordinación con gobiernos locales durante la implementación y seguimiento de la Estrategia.
		Convertir la Estrategia en un documento referencial ante el desarrollo de nuevos programas y leyes.
Consolidar el traspaso de conocimientos y experiencias en construcción sustentable con la comunidad internacional. En particular aquellos relacionados con la Estrategia.	Aumentar la participación de Chile en seminarios, convenciones y proyectos internacionales de construcción sustentable.	
	Incentivar el traspaso de conocimiento respecto de la construcción sustentable con otros países.	

2.2 Análisis de ciclo de vida.

2.2.1 Concepto de ACV y su relación con la huella de carbono.

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) en edificios se ha convertido en una herramienta esencial para minimizar los impactos de la construcción y permitir con ello que el sector de la construcción evolucione hacia la sustentabilidad. El ACV es el método mejor conocido para evaluar los impactos relacionados con las distintas etapas de un proceso, considerando desde la planificación, construcción, operación, remodelación y demolición (Fenner et al., 2018).

Según se reconoce en la literatura internacional, el interés en la comprensión del uso de los recursos y las implicaciones ambientales de los edificios en una perspectiva de ciclo de vida que está creciendo rápidamente. Los impactos del ciclo de vida son altamente interdependientes, ya que una fase puede influir en las otras. Por ejemplo, la selección de materiales de construcción puede ayudar a reducir la demanda energética por aire acondicionado, pero también puede aumentar la energía incorporada y los impactos relacionados con el transporte o afectar la duración de servicio de todo edificio, o incluso influenciar la generación de residuos reciclables (o desechables) al final de la vida del edificio (Blengini y Di Carlo, 2010).

En este contexto, y con la emergencia climática que el mundo enfrenta, considerar el ACV del edificio desde la mirada de emisión de GEI se ha transformado en prioridad para la implementación de políticas públicas a nivel mundial, considerando en ellas las distintas etapas de un edificio, entendiendo que el problema que hoy se enfrenta afectará a las futuras generaciones.

Según lo informado por el Informe Bienal del Inventario Nacional de GEI, en Chile en el año 2016, las emisiones de GEI totales estuvieron dominadas por el CO₂ (**Figura 3**), representando un 78,7 %, seguido del CH₄ con un 12,5 %, del N₂O con un 6,0 % y de los gases fluorados que contabilizan colectivamente un 2,8 % (MMA, 2018).

Debido a la alta participación (78,7%) que posee el dióxido de carbono en la total de GEI emitidos al medio ambiente, es que las Políticas Públicas vigentes apuntan a estrategias que impulsen su disminución durante el ciclo de vida de los edificios.

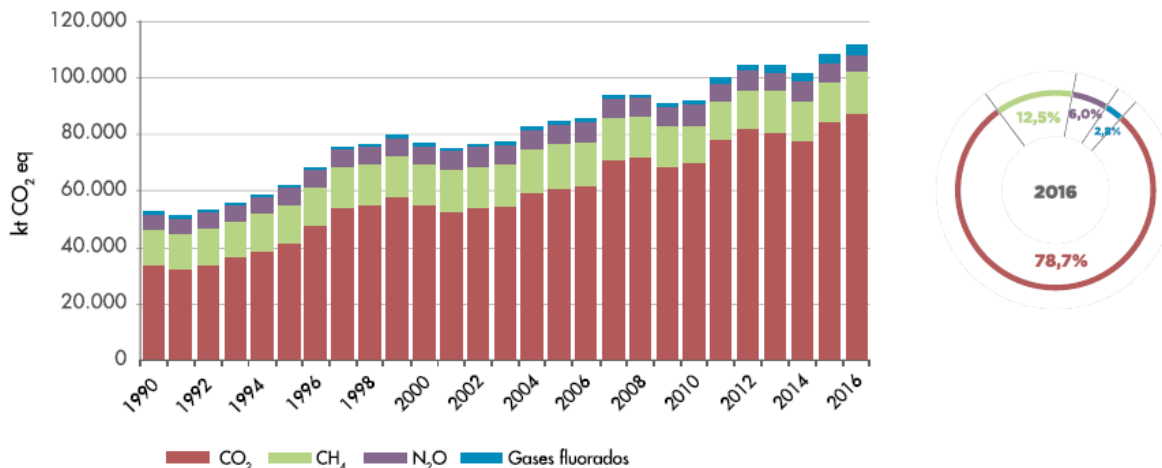


Figura 3: Inventario Nacional de GEI (INGEI) de Chile: emisiones de GEI total (kt CO₂ eq) por gas, serie 1990-2016.

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2018.

2.2.2 Impacto de la etapa de operación en el ciclo de vida de los edificios.

La etapa de operación es el principal consumidor de energía durante el ciclo de vida de un edificio de oficinas, representando un 85.99% del total, debido principalmente al consumo por enfriamiento, calefacción y ventilación (Wu et al., 2012).

La demanda de calefacción interior de los edificios ha disminuido por la mejora continua que ha existido en el aislamiento, la reducción de las infiltraciones y por la recuperación de calor del aire proveniente de la ventilación. Sin embargo, estas medidas dan lugar a un mayor uso de materiales. A medida que disminuye la energía para la operación del edificio, la importancia de la energía utilizada en la fase de producción de los materiales aumenta e influye en la optimización destinada a minimizar el uso de energía del ciclo de vida. El ciclo de vida del uso de energía primaria de los edificios también depende de los sistemas de suministro de energía para su funcionamiento (Airaksinen y Matilainen, 2011).

Sartori I. y Hestnes (2007) determinaron, tras analizar 60 casos publicados, que la energía de funcionamiento de los edificios representa la mayor parte de la demanda de energía en un edificio durante su ciclo de vida. Demostraron que existe una relación lineal entre funcionamiento y el total de energía consumida, a pesar del clima y otras diferencias contextuales. Concluyeron que los edificios de bajo consumo de energía resultan ser más eficientes que los convencionales, aunque su energía incorporada es algo mayor (Sartori y Hestnes, 2007).

2.2.3 Metodologías para el cálculo de GEI: huella de carbono.

La medición de la emisión de carbono pueden realizarse a través de 3 maneras: 1) Considerando solo la emisión de CO₂, 2) incluyendo los 06 gases de efecto invernadero identificados en el protocolo de Kyoto (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs y SF₆), 3) incluyendo numerosas emisiones de GEI especificadas en el IPCC. Sin embargo, esta última entidad ha determinado que para facilitar los reportes de emisión de gases, será utilizado el estipulado en el Protocolo de Kyoto, en este último se mide cada uno de los impactos de cada gas relacionados con el Potencial de Calentamiento Global (GWP), expresados en kilos de CO₂ equivalente (kgCO₂ eq) (Fenner et al., 2018).

Existen diversas metodologías que permiten evaluar las emisiones de carbono de los edificios, entre ellas se pueden identificar las siguientes:

Metodologías de Análisis de Ciclo de Vida, a través de la serie de normas ISO 14000. En un sentido amplio, hay tres tipos de enfoques de ACV: basado en procesos, entrada-salida económica e híbrido. En los últimos años, ha aumentado el interés en los métodos sobre el análisis del ciclo de vida para evaluar edificios y productos, para con ello diseñar eficientemente y con materiales amigables con el medio ambiente.

Estándares de evaluación de emisiones de carbono a través del ciclo de vida. Forma parte de un subtipo del ACV, pero que se centra en las emisiones de CO₂ del producto o proceso. Existen variados estándares que buscan reportar la emisión de GEI, sin embargo, aún no existe uno validado mundialmente. Los principales son: PAS 2050, ISO TS 14067, Protocolo GHG y el Estándar Europeo (**Tabla 3**).

Tabla 3: Comparativa entre distintos estándares de evaluación de GEI en el ACV.

Fuente: Fenner et al., 2018

	PAS 2050	ISO 14067	Protocolo GHG	EN15804 y EN15978
Enfoque	Guía uniforme en evaluación de GEI de productos	Estandarización de la cuantificación y comunicación del proceso de evaluación de GEI.	Especificación detallada para evaluación y reporte.	Métodos, reglas, y guía de operación para estudios del ACV para edificios eficientes y sus materiales.
Límites del sistema	Cuna a la Puerta Cuna a la Tumba	Cuna a la Puerta Cuna a la Tumba Puerta a la Puerta Huella de Carbono parcial	Cuna a la Tumba Cuna a la Puerta	Cuna a la Tumba, también incluye análisis de Reutilización y Reciclaje.

Método y Factores de cambio climático	Las emisiones de GEI son referenciadas a 100 años, basados en el Potencial Global de cambio Climático del IPCC.	Las emisiones de GEI son referenciadas a 100 años, basados en el Potencial Global de cambio Climático del IPCC.	Las emisiones de GEI son referenciadas a 100 años, basados en el Potencial Global de cambio Climático del IPCC. Sustancias identificadas en el protocolo de Kyoto son requeridas, además otras sustancias son recomendadas.	Las emisiones de GEI son referenciadas a 100 años, basados en el Potencial Global de cambio Climático del IPCC.
Evaluación	Verificación por un tercero Autoevaluación	Verificación por un tercero Publicación de informe CFP	Autoevaluación Verificación por un tercero Revisión crítica	Autoevaluación para comunicaciones internas, de lo contrario verificación por un tercero.

2.2.4 Herramienta ÁBACO-CHILE para cálculo de huella carbono.

La Herramienta ÁBACO-CHILE es una plataforma web de gestión digital, pública, escalable y de libre acceso, en base a un banco de costos e indicadores medioambientales orientado a hacer más eficiente el proceso de postulación, evaluación y seguimiento de proyectos de construcción pública y privada en Chile, desde el punto de vista económico, social y ambiental (Muñoz Sanguinetti et al., 2018). Es el primer banco de datos paramétrico con integración de indicadores de eco-eficiencia (costos y sustentabilidad) para proyectos de construcción en Chile y considera bases de datos dinámicas con clasificación de recursos y actividades, campos para describir especificaciones técnicas y enlazar objetos BIM, parámetros ambientales y costo social, para dimensionar el impacto ambiental desde el diseño a la etapa constructiva de una edificación.

ÁBACO-CHILE es una herramienta inédita en Chile, desarrollada por un grupo de investigadores de la Universidad del Bío-Bío y mandatada por distintos Ministerios relacionados con la industria de la construcción y la inversión pública en el país. La herramienta permite vincular de forma integrada, a través de un enfoque de ciclo de vida, los costos de construcción con indicadores de sustentabilidad para distintas categorías de impacto ambiental. Inicialmente ÁBACO-CHILE permite obtener los costos energéticos y de emisiones de CO₂ (Huella de Carbono), se espera que en fases sucesivas se incorpore la cuantificación directa de generación de residuos y clasificación de los mismos, huella hídrica y huella ecológica entre las más importantes.

Los límites de la herramienta se encuentran diseñados en base a los criterios de la cuna a la puerta; es así que las cargas ambientales son consideradas solo para los recursos de materiales y de transporte, éste último considera un valor promedio de 20 km de distancia de recorrido entregado en Santiago.

2.3 Términos de referencia estandarizados de eficiencia energética (TDRe).

La principal causa del calentamiento global a nivel mundial son las emisiones de dióxido de carbono que se producen por la quema de combustibles fósiles (como el petróleo y el carbón) para generar energía. Por lo tanto, cuando se ahorra energía, se colabora en la lucha contra el calentamiento global, se ahorra dinero y, quizás lo más importante, se crea conciencia sobre la necesidad de vivir la vida de una manera más ecológica (Vasconi y Liberona, 2008). En consecuencia, la eficiencia energética es uno de los principales requisitos que los edificios deben cumplir hoy en día, tanto al proyectarlos como cuando se realiza una renovación importante. Los principales problemas que se deben tener en cuenta al diseñar edificios energéticamente eficientes son: la reducción del consumo de energía generado a partir de combustibles fósiles y la reducción de la contaminación ambiental. La envolvente del edificio es el elemento arquitectónico de mayor responsabilidad del edificio que afecta el confort térmico y el equilibrio energético. Además de las propiedades térmicas de la envolvente, los equipos de calefacción, refrigeración e iluminación influyen en gran medida en el consumo de energía en los edificios (Krstić-Furundžić, Vujošević y Petrovski, 2019).

El impacto ambiental de los edificios está sobre todo dominado por la fase de uso, es decir, la demanda de energía de la etapa de operación (Sartori y Hestnes, 2007). Sin embargo, el impacto de los materiales de construcción (impacto incorporado) es parte del foco hoy, debido a la estricta legislación y a los esfuerzos de los gobiernos y de los propietarios por construir cada vez más edificios eficientes energéticamente (Geller et al., 2006). La elección del material de la construcción influye en la demanda energética operacional de los edificios, esto es producto de las diferencias en las propiedades físicas como también en la inercia térmica o resistencia del mismo (Heeren et al., 2015).

En cuanto sólo a las políticas públicas y, según indica Rubio-Bellido, et al. (2016), más del 50% de los proyectos desarrollados por el gobierno chileno son oficinas, y el promedio de superficie de ellas es de cerca los 1.500 m² (Rubio-Bellido, Pérez-Fargallo y Pulido-Arcas, 2016). Además cuando

consideramos la materialidad predominante en la construcción de estos edificios, el 57% de ellos utiliza el hormigón armado (INE, 2018), siendo éste uno de los principales materiales de impacto ambiental producto de su composición, huella de carbono y energía incorporada (Muñoz et al., 2012).

Por lo anterior, no parece extraño que el Estado Chileno, a través del Ministerio de Obras Públicas, quisiera abordar la eficiencia energética de los edificios que construye. La regulación actual "Términos de referencia estandarizados de eficiencia energética" (TDRe), se centra en edificios de uso público del tipo: educacional, oficinas, seguridad y salud, considera tanto las limitaciones para la demanda de energía, así como también el confort para los usuarios (Dirección de Arquitectura, 2016).

La creación de los TDRe tuvo su origen en la necesidad de definir exigencias y estándares de calidad mínimos asociados al uso de energía y a las condiciones de clima interior de los edificios que el Estado (y en específico el MOP) construye, con el objetivo de mejorar la calidad ambiental, la eficiencia y el ahorro en el uso de la energía. Operar y mantener edificios ocupa parte importante del presupuesto del país, es por esto, que es de gran interés optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida en los edificios, la calidad de los servicios finales que éstos proporcionan y los costos económicos y ambientales de los mismos (Dirección de Arquitectura, 2016).

2.3.1 Análisis macro de incorporación TDRe en edificación pública.

La incorporación de los TDRe a la edificación pública permitió establecer requerimientos mínimos desde el punto de vista energético y de confort ambiental interior, que los edificios debían cumplir para ser eficientes energéticamente. La implementación de estos estándares se basa en la definición de 10 requisitos básicos (**Tabla 4**), agrupados en 4 ámbitos generales.

Tabla 4: Ámbitos generales y requisitos básicos de los TDRé.

Fuente: TDRé.

ÁMBITO	REQUISITO
Diseño Pasivo	1 Diseño arquitectónico pasivo.
Ahorro de Energía	2 Limitación de la demanda energética de edificios.
	3 Rendimiento de las instalaciones térmicas.
	4 Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.
	5 Contribución solar mínima al agua caliente sanitaria.
Confort Ambiental	6 Calidad del aire interior.
	7 Confort higrotérmico.
	8 Confort lumínico.
	9 Confort acústico.
Ahorro de Agua	10 Eficiencia de las instalaciones de agua potable.

Cada uno de los requisitos expuestos en la tabla anterior, se encuentra normado a través de una guía técnica de apoyo, la cual permite identificar los factores de comprobación de cada uno, los que se basan a su vez en normativas nacionales e internacionales especializadas para cada uno de ellos.

La incorporación de los TDRé en el diseño de edificios públicos, se basa inicialmente en la correcta determinación de la zonificación climática donde se emplazará el edificio, la cual se realiza de acuerdo a la Norma Chilena NCh 1079 Of.2008, que identifica nueve zonas climáticas sin incluir la Antártica, ni las islas Salas y Gómez, San Ambrosio y San Félix. El análisis climático del emplazamiento permitirá determinar las características de su clima, tales como: temperaturas, humedad, radiación solar, asoleamiento, vientos predominantes, nubosidad y precipitaciones. Con ellas se busca dar una buena solución arquitectónica pasiva que posteriormente limite el consumo energético para el funcionamiento del edificio.

2.3.2 Análisis de requerimientos TDRé para la envolvente térmica y los sistemas de acondicionamiento térmico (SAT) para los climas de los casos de estudio.

Se entiende por envolvente térmica, el conjunto de elementos y componentes constructivos que limitan térmicamente los espacios interiores de las condiciones del ambiente exterior de un edificio, definiendo el grado y forma de interacción entre ellos. Está constituida principalmente por los elementos de techumbre, muros, pisos y ventanas (Dirección de Arquitectura, 2016).

Los sistemas de acondicionamiento térmico, serán los distintos equipos que se requiere instalar en un edificio para lograr el confort térmico interior de los espacios. La limitación de la demanda de

combustibles de éstos, se encuentra directamente relacionada a la eficiencia de la envolvente térmica del edificio.

Se entiende por demanda energética la cantidad de energía (en kWh/m²año) requerida para calefaccionar o refrigerar un espacio o edificio, para compensar el efecto de las cargas térmicas y mantener una condición de temperatura o confort térmico interior en base a los requerimientos individuales de cada espacio. Se diferencia del consumo energético en que este último resulta ser mayor al considerar la energía efectiva utilizada para cumplir ese objetivo, al incorporar en el cálculo energético la eficiencia del sistema de climatización utilizado, considerando el tipo de fuente de energía primaria, el tipo de instalación y sus pérdidas por distribución (Dirección de Arquitectura, 2016).

Los edificios de estudio planteados se ubican en dos de los nueve climas definidos en la NCh 1079 Of.2008. A continuación, se detallan los requerimientos establecidos por los TDRé para cada uno de ellos, en los ítems de envolvente térmica y sistema de acondicionamiento térmico.

Clima Sur Litoral

Corresponde a la continuación de zona Central Litoral desde el Biobío hasta Chiloé y Puerto Montt. Variable en anchura, penetrando por los valles de los numerosos ríos que la cruzan. Se caracteriza por ser una zona de clima marítimo, lluvioso, inviernos largos, de suelo y ambientes salinos y húmedos, vientos irregulares de componentes SE y N, vegetación robusta y temperatura templada a fría (INN-Chile, 2008).

Tabla 5: Valores Límites de U de la envolvente térmica para Zona Climática 6 SL: SUR LITORAL.

Fuente: TDRé.

TRANSMITANCIA TÉRMICA MÁXIMA (U) - ENVOLVENTE	
Parámetros Característicos Medios	Valor U
Transmitancia térmica límite de cubierta	0,40
Transmitancia térmica límite de muro de fachada	0,60
Transmitancia térmica límite de pisos en contacto con el terreno	0,60
Transmitancia térmica límite de pisos ventilados	0,80
Transmitancia térmica límite de cerramiento en contacto con el terreno	0,60
Transmitancia térmica ponderada límite paramentos verticales	1,72

Tabla 6: Valores Límites U para vanos para Zona Climática 6 SL: SUR LITORAL.

Fuente: TDRé.

TRANSMITANCIA TÉRMICA MÁXIMA (U) - VANOS ACRISTALADOS (POR ORIENTACIÓN)				
% Vanos acristalados	N	E/O	S	NE/NO
0 a 10	2,9	2,9	2,9	2,9
11 a 20	2,9	2,9	2,9	2,9
21 a 30	2,9	2,9	2,9	2,9
31 a 40	2,9	2,9	2,9	2,9
41 a 50	2,9	2,9	1,9	2,9
51 a 60	2,9	2,9	1,9	2,9
>60	Deberá cumplir con las exigencias de Eficiencia Energética			

Clima Sur Extremo

La constituye la región de los canales y archipiélagos, desde Chiloé hasta Tierra del Fuego. Contiene una parte continental hacia el Este. Se caracteriza por ser una zona fría, con precipitaciones a lo largo de todo el año, disminuyendo su intensidad hacia el Sur y desde el Oeste al Este. Estas precipitaciones son muy altas hacia el norte de la zona (Chiloé, Puerto Aysén y Coyhaique), en especial en invierno y tienden a disminuir hacia el sur donde las precipitaciones se distribuyen en forma homogénea a lo largo del año (Punta Arenas). Nubosidad casi permanente, veranos cortos, suelo y/o ambiente muy húmedo, presenta heladas y nieve en altura hacia el sur de la zona, en la que además se observan altos vientos. Radiación solar moderada en verano, microclimas importantes en el interior.

Tabla 7: Valores Límites de U de la envolvente térmica para Zona Climática 8 SE: SUR EXTREMO.

Fuente: TDRé.

TRANSMITANCIA TÉRMICA MÁXIMA (U) - ENVOLVENTE	
Parámetros Característicos Medios	Valor U
Transmitancia térmica límite de cubierta	0,25
Transmitancia térmica límite de muro de fachada	0,40
Transmitancia térmica límite de pisos en contacto con el terreno	0,40
Transmitancia térmica límite de pisos ventilados	0,50
Transmitancia térmica límite de cerramiento en contacto con el terreno	0,40
Transmitancia térmica ponderada límite paramentos verticales	1,15

Tabla 8: Valores Límites de U para vanos para Zona Climática 8 SE: SUR EXTREMO.

Fuente: TDRe.

TRANSMITANCIA TÉRMICA MÁXIMA (U) - VANOS ACRISTALADOS (POR ORIENTACIÓN)				
% Vanos acristalados	N	E/O	S	NE/NO
0 a 10	2,9	2,9	2,9	2,9
11 a 20	2,9	2,9	2,9	2,9
21 a 30	2,9	2,9	2,9	2,9
31 a 40	2,9	2,9	2,9	2,9
41 a 50	2,9	2,9	1,9	2,9
51 a 60	2,9	2,9	1,9	2,9
>60	Deberá cumplir con las exigencias de Eficiencia Energética			

Sistemas de acondicionamiento térmico (SAT).

Para determinar los equipos y sistemas de acondicionamiento térmico que deberán utilizar cada uno de los edificios según los TDRe, se debe proceder a identificar la potencia instalada, tecnología a emplear, tipo de combustible y sistema de control, entre otros aspectos. Se establecen a su vez límites mínimos de rendimiento en base al tipo de combustible utilizado y a la potencia instalada.

Para los casos de calderas que funcionen con hidrocarburos como combustible (petróleo, gas), con potencia instalada entre 4 y 400Kw, se clasificaran en: estándar, de baja temperatura o de condensación. En base a esta clasificación (detallada en los TDRe) se procederá a determinar el rendimiento instantáneo mínimo de la caldera, según tipo y potencia. Para las calderas alimentadas con combustibles residuales o renovables, o para calderas con recuperación de efluentes, no son exigibles los rendimientos anteriores. En el caso de las calderas alimentadas con biomasa se exigirá que un rendimiento mínimo a plena carga de 75%. En el mercado, sin embargo, existen calderas de biomasa de alta eficiencia, con rendimientos superiores a 90%. En ese caso, se debe exigir un rendimiento mínimo de 85% (Dirección de Arquitectura, 2016).

3. Presentación de los casos de estudio

En el presente capítulo se detallarán los casos de estudio a evaluar; clarificando usos, materialidades, y funcionamiento de cada uno de los edificios, con lo cual se busca establecer la línea base con la que se evaluarán las huellas de carbono de cada uno en el capítulo 4.

La selección de los casos de estudio consideró someter a comparación edificios que en su diseño fueron concebidos con y sin la incorporación de estándares de eficiencia energética, y que su uso y administración tuvieran características similares.

Se seleccionan edificios de fiscalías debido a su tipo de uso (oficinas con atención de público), que poseen horarios similares entre los cuatro casos analizados (diferencias mínimas entre apertura y cierre del edificio) y que cuentan con administración delegada en una persona que funciona como administrador de cada edificio, que lleva el control del sistema de calefacción y su presupuesto. El análisis de consumo de los edificios se centra solo en los sistemas de calefacción y no considera aire acondicionado, lo anterior para establecer una línea base comparativa entre ellos.

3.1 Descripción general de la tipología de edificios a analizar.

Los casos de estudio a analizar tratan de edificios del Ministerio Público denominados Fiscalías Locales. La Fiscalía es un organismo autónomo, cuya función es dirigir la investigación de los delitos, llevar a los imputados a los tribunales, si corresponde, y dar protección a víctimas y testigos. Esta institución se organiza a través de una Fiscalía Nacional y 18 Fiscalías Regionales. En cada región hay Fiscalías Locales, que son las unidades operativas de las Fiscalías Regionales.

La actividad de las Fiscalías se inicia normalmente cuando se recibe una denuncia. Esta es presentada por la víctima o por un denunciante, ante la policía, los tribunales con competencia criminal o en las mismas Fiscalías, esto implica que existe una gran cantidad de atención de público diario en cada uno de sus edificios (Fiscalía Nacional, 2019).

Los horarios de funcionamiento de estos recintos son de lunes a viernes de 8:30 a 17:30 horas, recibiendo público principalmente durante la mañana y hasta las 14:00 horas (principalmente), además durante los fines de semana, se mantienen turnos solo por uno de los fiscales adjuntos el cual permanece en el recinto junto con el personal de seguridad que debe trabajar 24/7.

A la fecha la Dirección de Arquitectura, se ha encargado de construir a nivel nacional las distintas Fiscalías tanto como Regionales y Locales, actuando como unidad técnica y de infraestructura para el Ministerio Público. Es así como se han aplicado a estos edificios los distintos estándares de eficiencia energética con los que trabaja ésta Dirección, implementando en los últimos diseños y obras los TDRé. En este contexto se presentan los cuatro casos de estudio, los que mantienen un mismo uso, pero que fueron concebidos con distintos criterios “normativos” en su diseño, presentándose dos casos de la Región del Biobío los cuales no consideran el cumplimiento de los TDRé en su diseño y, dos casos de edificios en la Región de los Lagos a los cuales les fueron aplicados los TDRé en su concepción. Sin embargo, en la presentación de los casos de estudio, se explicará que los cuatro casos analizados cumplen indistintamente los requerimientos mínimos exigidos por los TDRé, aun cuando su concepción no fue la misma.

3.2 Proyectos sin aplicación de TDRé.

Los proyectos que a continuación se detallan corresponden a edificios que en su etapa de diseño fueron concebidos sin los estándares establecidos por los TDRé. Si bien presentan consideraciones de aislamiento térmico de la envolvente, para la fecha en que fueron diseñados los TDRé no se encontraban disponibles para su aplicación.

3.2.1 Fiscalía Local de Cañete

Diseñado durante el año 2013, se propuso un edificio de dos niveles que consideró la incorporación de la inercia térmica a través de masa (en este caso hormigón armado) la cual se sumó al diseño como parte de la estructura del mismo, además propone fomentar la ventilación nocturna de la masa térmica por lo que la aislación fue considerada por el exterior del edificio. En la **Figura 4** se muestra la imagen del edificio inserto en la trama urbana de la ciudad de Cañete y en la **Tabla 9** los antecedentes generales del proyecto.



Figura 4: Vista exterior fachada Sur Fiscalía Local Cañete.

Fuente: Dirección de Arquitectura MOP.

Tabla 9: Antecedentes generales Fiscalía Local de Cañete.

Dirección	Segundo de línea N°414, Cañete, Región del Biobío.
Arquitecto	Crisosto Smith Arqtos. Ltda.
Superficie predial	648m ²
Superficie construida	499,98m ²
Niveles	2
Año construcción	2016-2017
Capacidad funcionarios	13 personas
Atención público diario	25 personas
Horario atención	09:00-14:00 hrs
Horario funcionamiento	08:00-18:30 hrs
Estructura	Hormigón Armado
Aislación	Poliuretano, poliestireno expandido y lana mineral.
Ventanas	DVH PVC 5/12/5
Climatización	Caldera a GLP con distribución por radiadores.
Potencia caldera	45kW
Rendimiento caldera	110%
Demanda proyectada	30kWh/m ² /año
Horario funcionamiento caldera declarado por administrador/a	24 horas, 7 días a la semana, 365 días del año

Su emplazamiento se realiza considerando el acceso principal al Sur, hacia calle segundo de línea (Figura 5). Interiormente se organiza en una doble crujía, orientando oficinas tanto al norte como al sur del edificio y a lo largo del mismo.

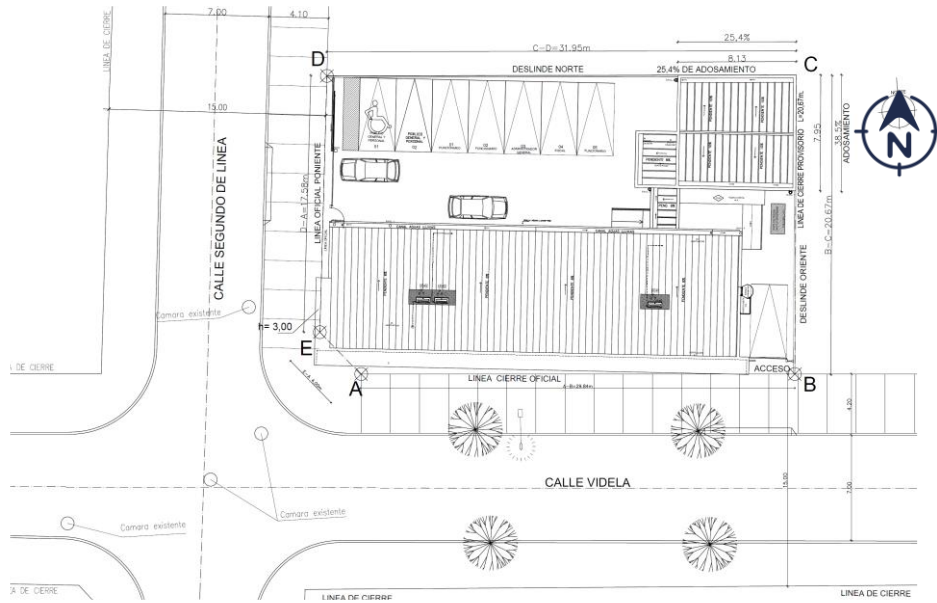
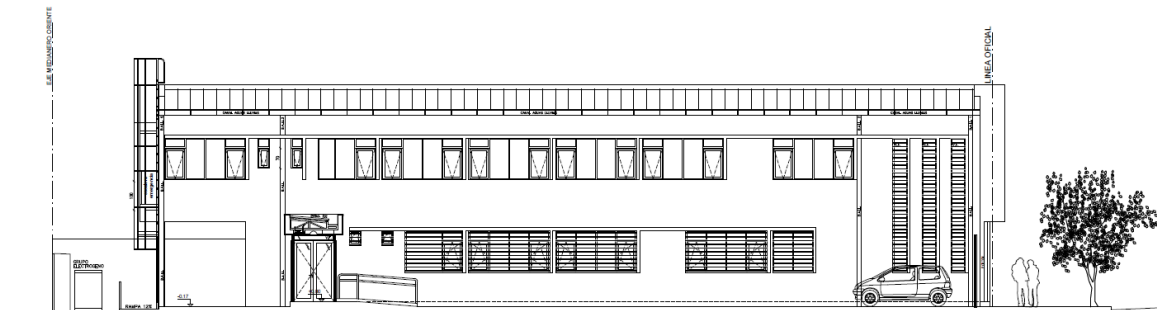


Figura 5: Plano de emplazamiento Fiscalía Local Cañete.

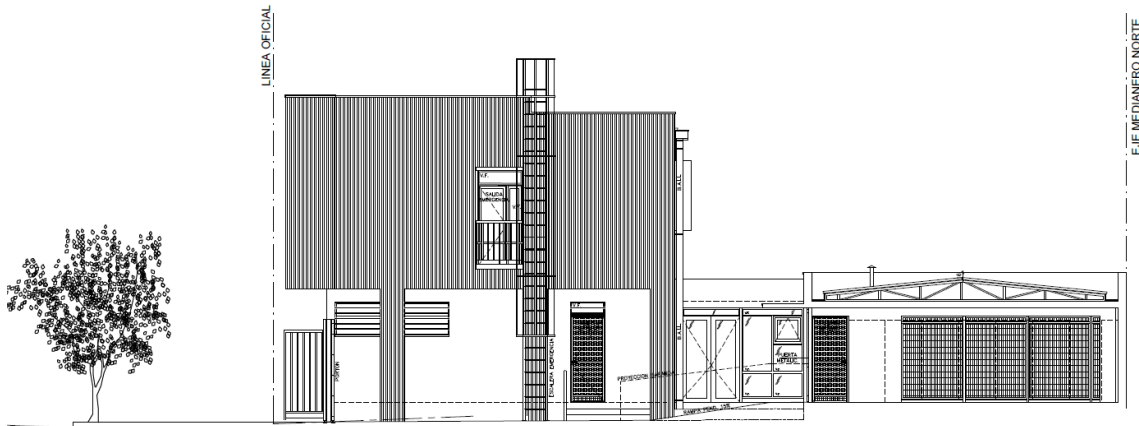
La configuración de las elevaciones del proyecto (**Figura 6**), muestran un cierre total hacia la fachada oeste y este, concentrando las aperturas al norte y al sur del edificio, incluyendo ésta última la incorporación de doble fachada tipo Screen Panel de Hunter Douglas.



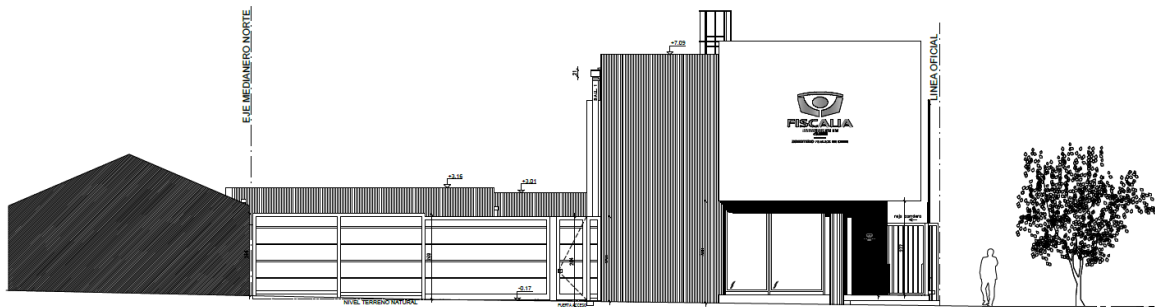
Elevación Norte



Elevación Sur – Principal por calle Videla



Elevación Este



Elevación Oeste por calle Séptimo de línea

Figura 6: Elevaciones Fiscalía Local Cañete.

La envolvente térmica del edificio es continua, considerando la aislación térmica de todas las fundaciones y radier incluidos. En la **Figura 7** se muestra un corte tipo del edificio con la gráfica de la envolvente continua.

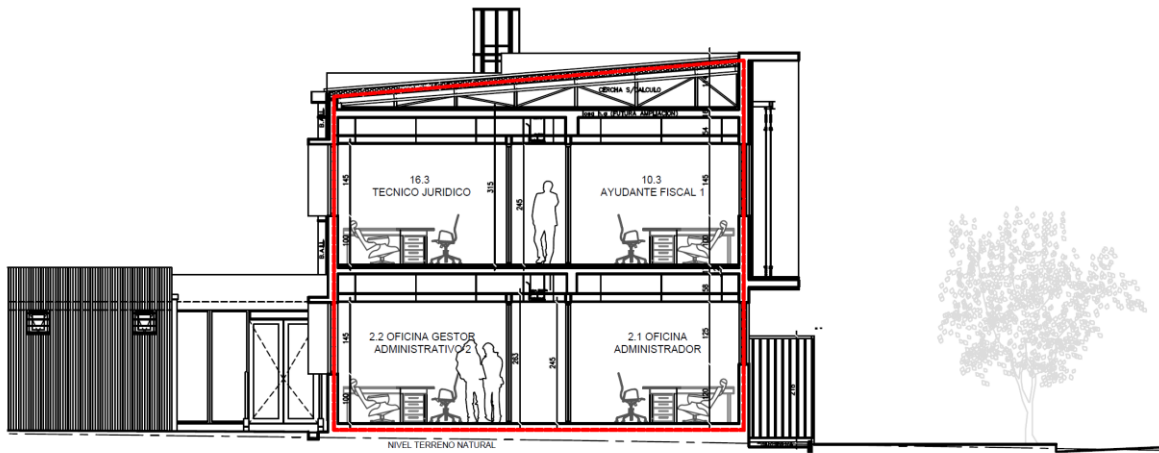


Figura 7: Corte tipo Fiscalía Local Cañete

Las soluciones constructivas para la envolvente térmica del edificio consideraron en el piso 60mm de poliestireno expandido de densidad 40 kg/m³ (Figura 8). En muros, y por el exterior de la estructura de hormigón armado, 100mm de poliestireno expandido de 30 kg/m³ con terminación tipo EIFS (Figura 9). En la techumbre se utilizó una estructura de acero la cual en su parte superior considera aislación con Panel SIP de 160mm de espesor (Figura 9). Las ventanas proyectadas son de PVC del tipo termopanel, incoloro de 5/12/5 mm de espesor.

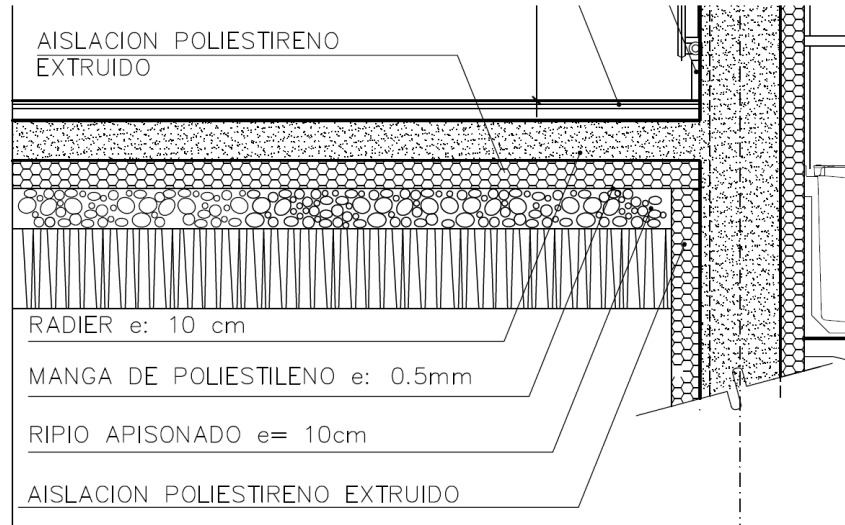


Figura 8: Detalle constructivo de radier Fiscalía Local Cañete.

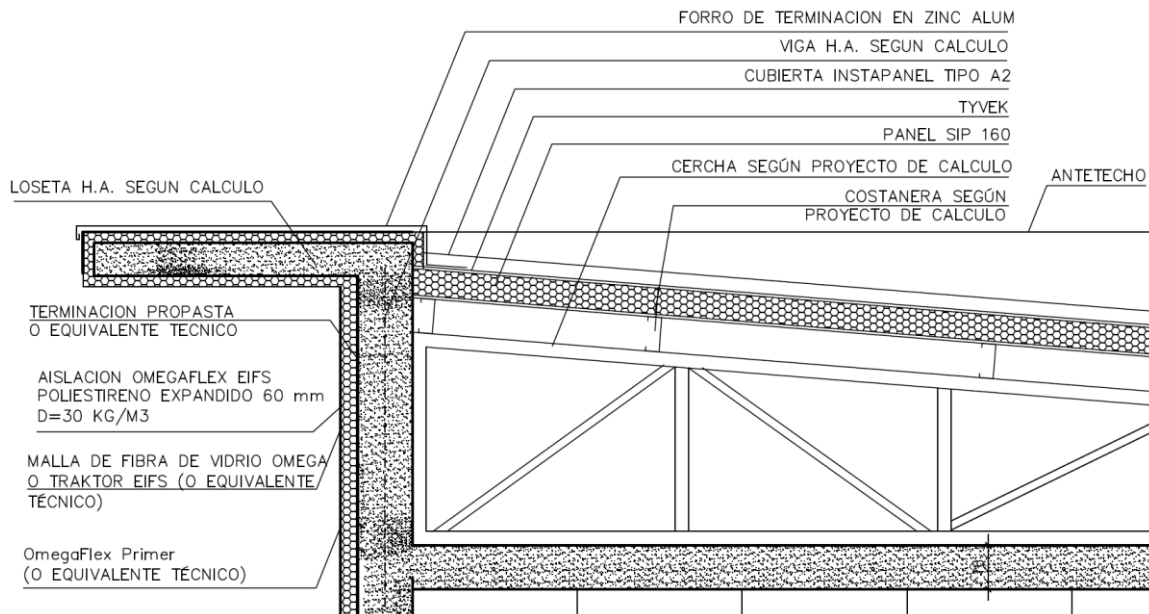


Figura 9: Detalle constructivo de muro y techumbre Fiscalía Local Cañete.

La transmitancia térmica proyectada de los elementos que constituyen la envolvente térmica se especifica en la **Tabla 10** a continuación:

Tabla 10: Transmitancia térmica (U) de la envolvente v/s requerimientos TDRé Fiscalía Local Cañete.

	Transmitancia térmica "U" (W/m ² K)			
	Muro	Piso en contacto con el terreno	Techumbre	Ventanas
Proyectada	0,55	0,37	0,24	2,2
Mínima por TDRé (clima SL)	0,6	0,6	0,4	-
Cumplimiento TDRé	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Si bien el proyecto no consideró en su diseño los estándares de eficiencia energética establecidos en los TDRé, éste cumple con lo requerido para piso en contacto con el terreno, muro y techumbre. En el caso de las ventanas, la transmitancia considerada por orientación del vano cumple exactamente con el mínimo requerido para la zona climática, según lo indicado en la Tabla 6, y a lo detallado en la **Tabla 11** a continuación:

Tabla 11: Porcentaje de vanos por orientación Fiscalía Local de Cañete.

% DE VANOS POR ORIENTACIÓN		
Norte	Este/Oeste	Sur
31%	10%	26%

Para la climatización del edificio se proyectó la calefacción por radiadores y una central térmica en base a caldera a gas licuado. Se proyectó un sistema de calefacción central mediante radiadores y matriz en polietileno reticulado PEX avanzando por radier y losas. La central térmica estará compuesta por una caldera de alta eficiencia apta para quemar gas licuado de petróleo (G.L.P.).

La caldera es de tipo condensación, de alto rendimiento térmico, diseñada para recuperar el calor latente de los gases de combustión, con capacidad efectiva mínima de 45 kW.

El consumo de la caldera es de 6.500 kg de gas al año, lo que corresponde a un presupuesto anual de \$4.700.000. A la fecha, según lo informado por la administradora del edificio, no se han presentado quejas por insatisfacción térmica del ambiente interior.

Dentro de las particularidades de funcionamiento del edificio declarados por la administradora en la encuesta, se encuentra la consideración que el edificio es “frío”, y que por esto es necesario

mantener la calefacción prendida todo el año (incluido verano) y, que debido a los turnos de fin de semana y el personal de seguridad esta debe funcionar las 24 horas los 7 días de la semana, además la calefacción se encuentra prendida durante todo este periodo también, lo que quiere decir que la caldera jamás deja de funcionar. Sin embargo, al mismo tiempo que se declara lo antes descrito, se indica que no existen reclamos por discomfort con el ambiente interior del edificio por parte de los usuarios, que por lo anterior no se acude a la utilización de equipos individuales de calefacción y que solo es necesaria la utilización de un ventilador en época de verano.

3.2.2 Fiscalía Local de Talcahuano

El edificio de la Fiscalía Local de Talcahuano fue diseñado durante el año 2012, se planteó en dos volúmenes perpendiculares entre sí, un volumen mayor en 3 pisos que alberga las áreas públicas y administrativas de trabajo, de seguridad baja y media y el volumen menor de 2 pisos, alberga las áreas máxima seguridad de custodia, y Gendarmería Chile (GENCHI), y media unidad regional de atención a víctimas y testigos (URAVIT) Y fiscales en un 2° piso.

Se propone un edificio orientado al manejo racional de la energía, con orientaciones principalmente hacia el oriente y poniente, dejando una fachada menor hacia el Sur y Norte, con lo cual se pretende aprovechar óptimamente la luz solar en las áreas de trabajo del edificio. La exposición al sol es regulada por medio de una pantalla microperforada que atenúa la radiación solar desde el exterior, y que permite la visión desde el interior. Así mismo el diseño del edificio contribuye a la eficiencia, incorporando detalles de control pasivo (fachada ventilada, ventilación cruzada, etc.), y evitando los puentes térmicos.

En la **Figura 10**, a continuación, se muestra la imagen del edificio inserto en la trama urbana de la ciudad de Talcahuano, en la **Tabla 12**, los antecedentes generales del proyecto.



Figura 10: Vista exterior fachada Norte Fiscalía Local Talcahuano.

Fuente: Dirección de Arquitectura MOP.

Tabla 12: Antecedentes generales Fiscalía Local Talcahuano

Dirección	Ignacio Serrano N°83, Talcahuano, Región del Biobío.
Arquitecto	Belmar y Game Arqtos. Asoc. Ltda.
Superficie predial	1.375,3m ²
Superficie construida	1.318,5m ²
Niveles	02 y 03
Año construcción	2015-2016
Capacidad funcionarios	36 personas
Atención público diario	50 personas
Horario atención	08:00-18:00 hrs
Horario funcionamiento	08:00-17:30 hrs
Estructura	Hormigón Armado
Aislación	Poliestireno expandido.
Ventanas	DVH aluminio 6/10/5 incoloro
Climatización	02 calderas condensación a GLP con distribución por radiadores.
Potencia caldera	02 unidades de 56,6 kW c/u
Rendimiento caldera	105%
Demanda proyectada	21,7kWh/m ² /año
Horario funcionamiento caldera declarado por administrador/a	07 – 12 hrs Lunes a sábado Abril a Noviembre

El emplazamiento se realiza orientando el acceso principal al Norte, por calle Serrano (**Figura 11**).

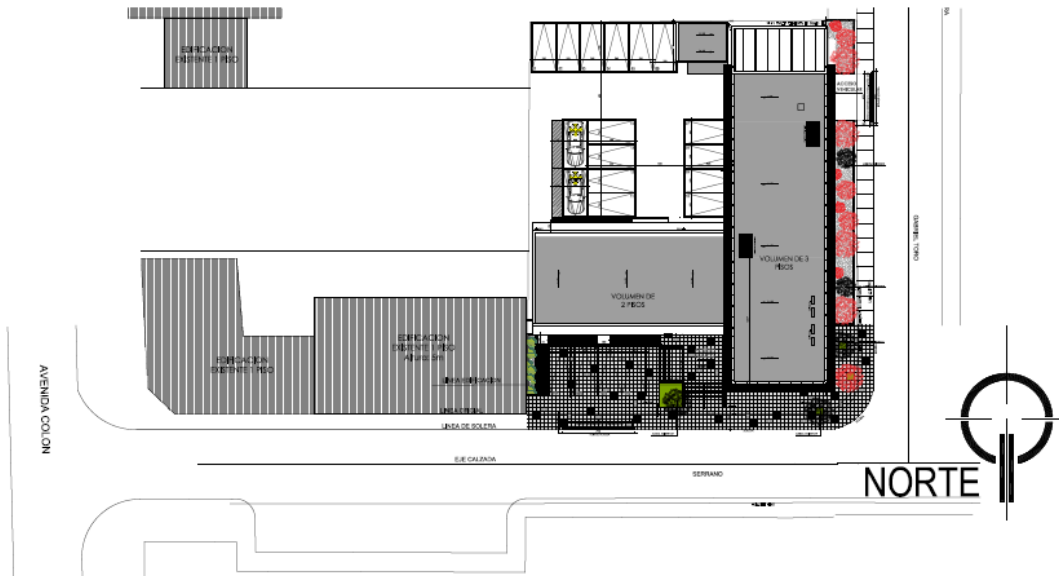
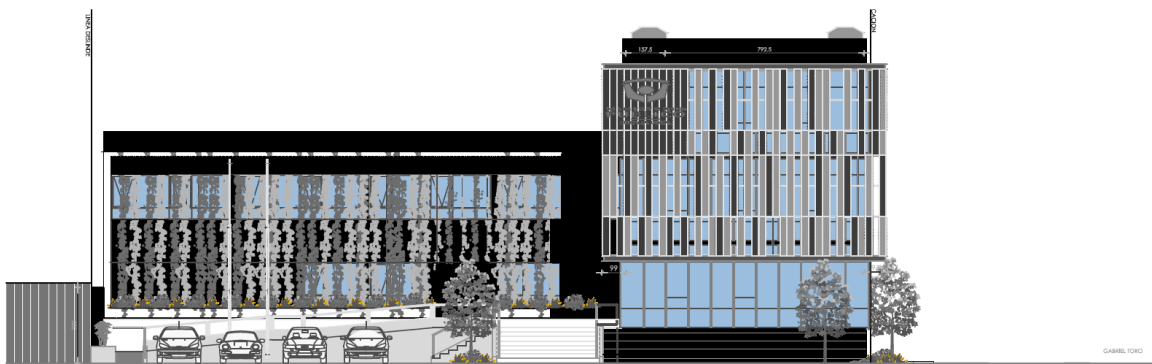
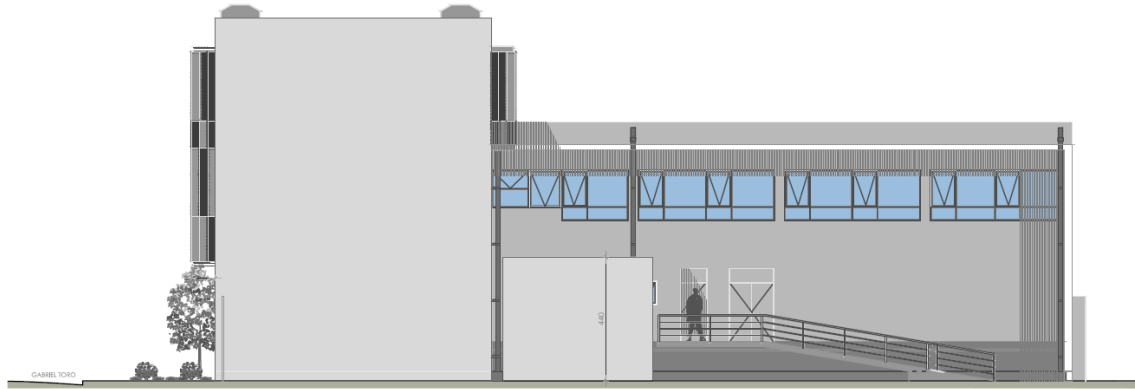


Figura 11: Plano de emplazamiento Fiscalía Local Talcahuano.

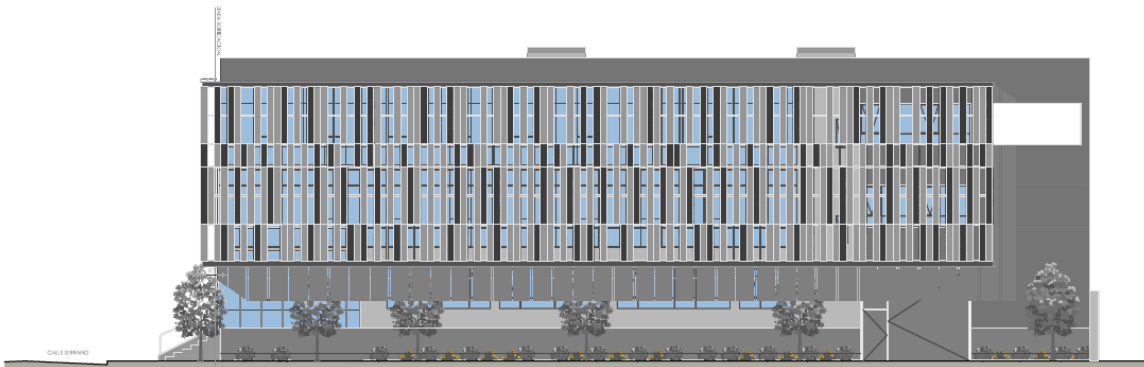
La configuración de las elevaciones del proyecto (**Figura 12**), el emplazamiento general del edificio y la distribución de los recintos interiores de trabajo privilegian las orientaciones oriente y poniente proporcionando una iluminación natural permanente para estos espacios. El control solar de la fachada norte se realiza en el volumen de tres niveles, mediante una doble fachada tipo Screen Panel de Hunter Douglas y una fachada verde en el volumen de dos niveles.



Elevación Norte – Principal por calle Serrano



Elevación Sur



Elevación Este – Lateral por calle Gabriel Toro



Elevación Oeste

Figura 12: Elevaciones Fiscalía Local Talcahuano

La envolvente térmica del edificio es continua, considerando la aislación térmica de todas las fundaciones y radier incluidos. En la **Figura 13** se muestra un corte tipo del edificio con la gráfica de la envolvente continua.



Figura 13: Corte tipo Fiscalía Local Talcahuano

Las soluciones constructivas para la envolvente térmica del edificio consideraron en el piso 70mm de poliestireno expandido de densidad 40 kg/m³ (**Figura 14**). En muros, y por el exterior de la estructura de hormigón armado, 70mm de poliestireno expandido de 25 kg/m³ con terminación tipo Promuro (**Figura 15**). En la techumbre se utilizó una estructura de acero la cual poseía una altura mínima de 20cm a 65cm, cuya alma fue rellena con un espesor mínimo de 150mm de poliestireno expandido de 25 kg/m³ (**Figura 16**). Las ventanas proyectadas son de aluminio del tipo termopanel, incoloro de 6/10/5 mm de espesor.

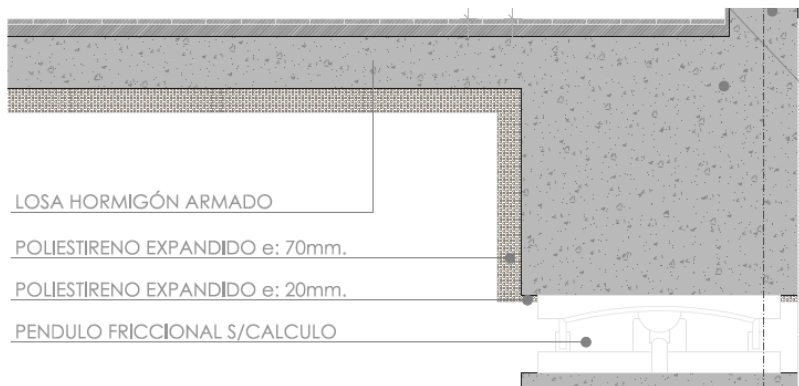


Figura 14: Detalle constructivo de radier Fiscalía Local Talcahuano

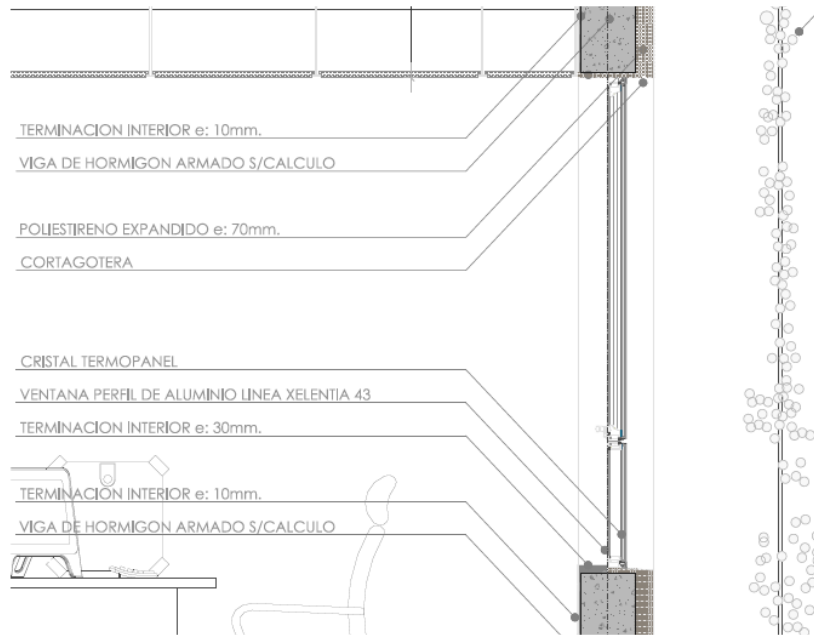


Figura 15: Detalle constructivo de muro Fiscalía Local Talcahuano

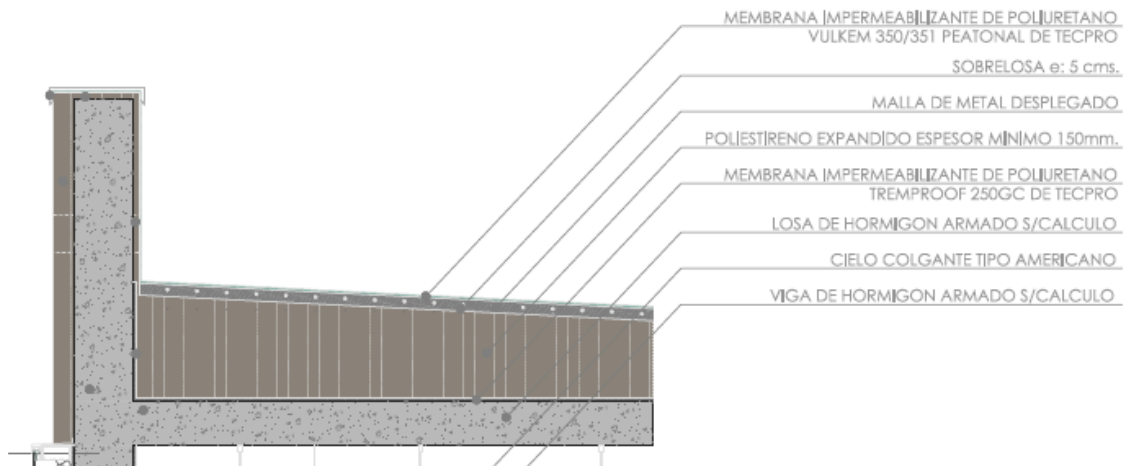


Figura 16: Detalle constructivo de techumbre Fiscalía Local Talcahuano

La transmitancia térmica proyectada de los elementos que constituyen la envolvente térmica se especifica en la **Tabla 13** a continuación:

Tabla 13: Transmitancia térmica (U) de la envolvente v/s requerimientos TDRe Fiscalía Local Talcahuano.

	Transmitancia térmica "U" (W/m ² K)			
	Muro	Piso en contacto con el terreno	Techumbre	Ventanas
Proyectada	0,49	0,32	0,25	2,8
Mínima por TDRe (clima SL)	0,6	0,6	0,4	-
Cumplimiento TDRe	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Si bien el proyecto no consideró en su diseño los estándares de eficiencia energética establecidos en los TDR, éste cumple con lo requerido como valor de “U” máximo para piso en contacto con el terreno, muro y techumbre. En el caso de las ventanas, la transmitancia considerada por orientación del vano cumple con el mínimo requerido para la zona climática, según lo indicado en la Tabla 6, y a lo detallado en la **Tabla 14** a continuación:

Tabla 14: Porcentaje de vanos por orientación Fiscalía Local de Talcahuano.

% DE VANOS POR ORIENTACIÓN		
Norte	Este/Oeste	Sur
41%	40%	13%

Se desprende dentro de las observaciones de la tabla anterior, que en el diseño hubo especial consideración en la orientación de las aperturas y el control de éstas hacia el Sur, optimizando las ganancias solares al Norte, Este y Oeste.

Para la climatización del edificio se proyectó la calefacción por radiadores y una central térmica en base a dos calderas de condensación a gas licuado. Se proyectó un sistema de calefacción central mediante radiadores dobles por cada recinto, que serán conectados hidráulicamente a una red de tuberías plásticas tipo PEX de distribución de agua caliente. La central térmica estará compuesta por dos calderas de alta eficiencia aptas para quemar gas licuado de petróleo (G.L.P.).

Cada caldera es de alto rendimiento térmico, diseñada para recuperar el calor latente de los gases de combustión, con potencia efectiva de 56,6 kW c/u, y un rendimiento de un 105%.

El consumo de las calderas actualmente es de 4.700 kg de gas al año, lo que corresponde a un presupuesto anual de \$3.200.000, el cual ha disminuido desde que el edificio fue entregado a explotación, iniciando hace tres años con un consumo de \$4.500.000 (6.600 kg) al año, lo que ha implicado un ahorro por compra de GLP de un 39% para el año 2019. A la fecha, según lo informado por el administrador del edificio, no se han presentado quejas por insatisfacción térmica del ambiente interior.

3.3 Proyectos con aplicación de TDR.

Los proyectos que a continuación se detallan corresponden a edificios que en su etapa de diseño fueron concebidos con los estándares de eficiencia energética establecidos por los TDR.

3.3.1 Fiscalía local de Ancud

Diseñado durante el año 2014, se propuso un edificio de dos niveles que consideró una envolvente térmica continua en el edificio, además el proyecto se configuro de manera tal de propender la compacidad del mismo. En la **Figura 17**, a continuación, se muestra la imagen del edificio inserto en la trama urbana de la ciudad de Ancud, y en la **Tabla 15** los antecedentes generales del proyecto.



Figura 17: Vista exterior fachada Oeste Fiscalía Local Ancud.

Fuente: Dirección de Arquitectura MOP.

Tabla 15: Antecedentes generales Fiscalía Local Ancud

Dirección	Calle del Estadio N°68, Ancud, Región de Los Lagos.
Arquitecto	Cristian Sanhueza
Superficie predial	925,3m ²
Superficie construida	477,47m ²
Niveles	2
Año construcción	2016-2018
Capacidad funcionarios	11 personas
Atención público diario	40 personas
Horario atención	08:30-13:30 hrs y 14:30-17:30 hrs.
Horario funcionamiento	08:00-17:30 hrs
Estructura	Hormigón Armado
Aislación	Poliuretano, poliestireno expandido y lana mineral.
Ventanas	DVH PVC 4/12/6
Climatización	Caldera a Pellet con distribución por radiadores.
Potencia caldera	20 kW
Rendimiento caldera	105%
Demanda proyectada	30,43kWh/m ² /año
Horario funcionamiento caldera declarado por administrador/a	Lunes a viernes, Marzo a Noviembre 07:00 a 16:00

Su emplazamiento se realiza considerando el acceso principal al Oeste, hacia calle del estadio (Figura 18). Interiormente se organiza en una doble crujía, orientando oficinas tanto al este como al oeste del edificio y a lo largo del mismo.

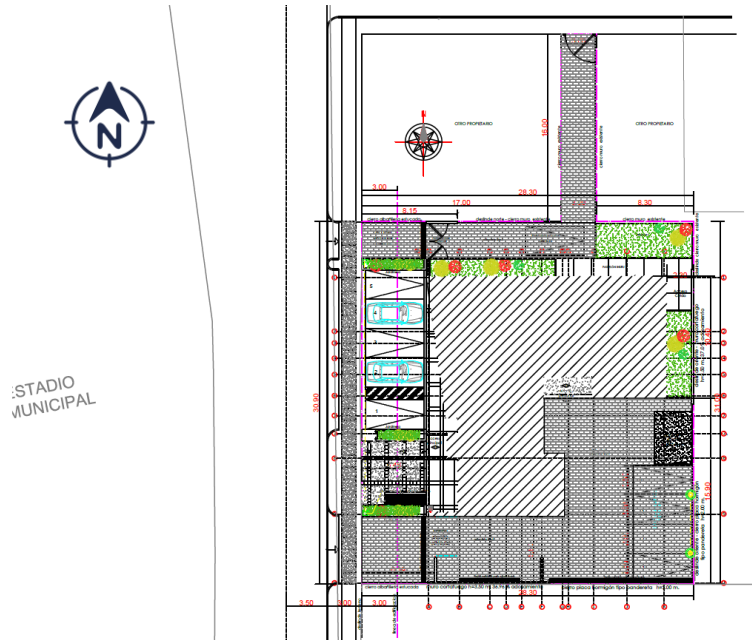
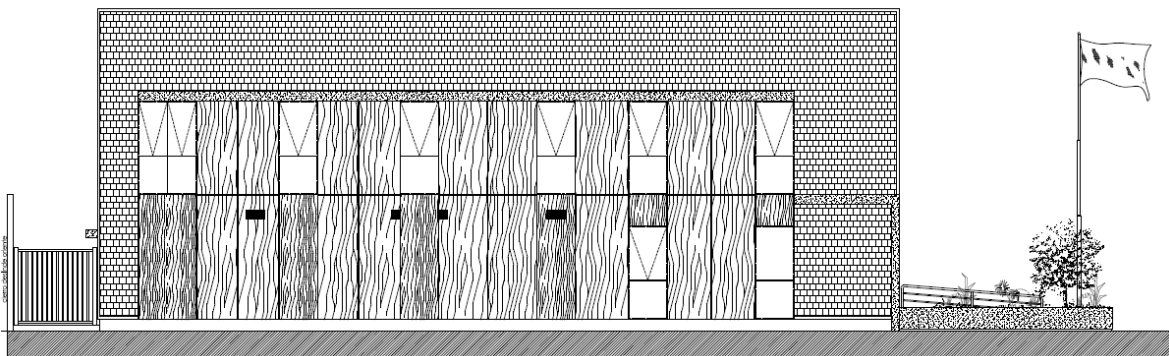
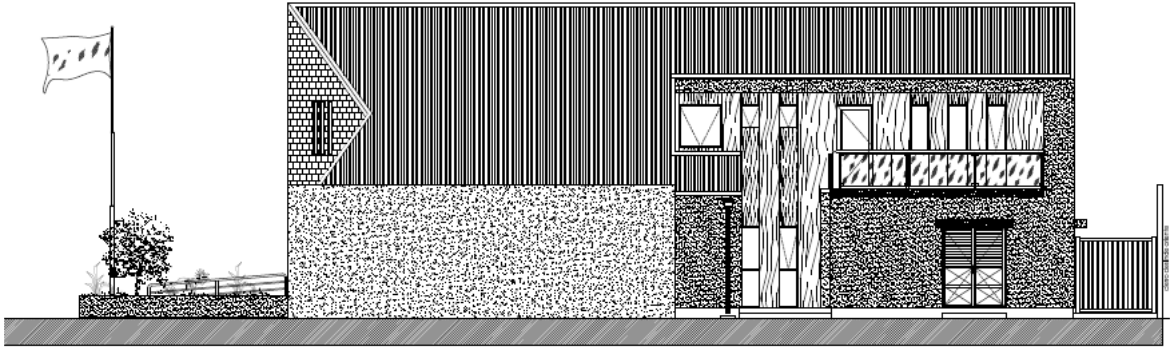


Figura 18: Plano de emplazamiento Fiscalía Local Ancud.

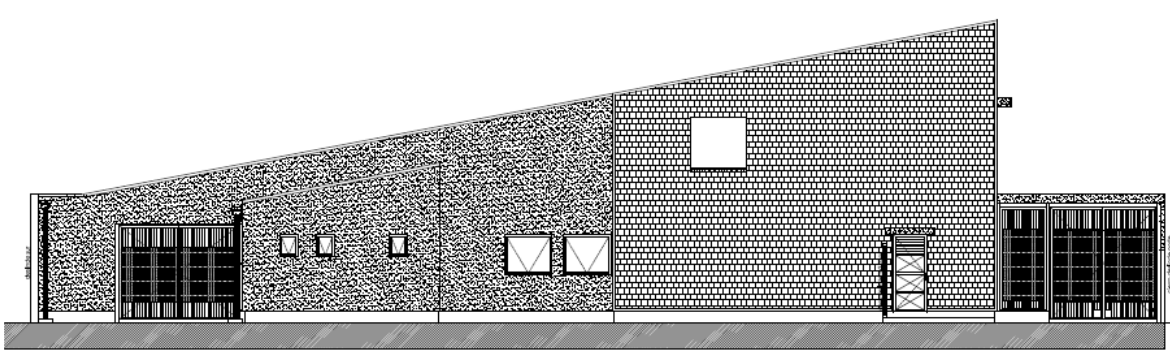
La configuración de las elevaciones del proyecto (Figura 19), muestran un cierre parcial hacia las fachadas norte, sur y este, concentrando las aperturas al oeste del edificio (fachada hacia la calle), incluyendo ésta última la incorporación de doble fachada tipo Trespa.



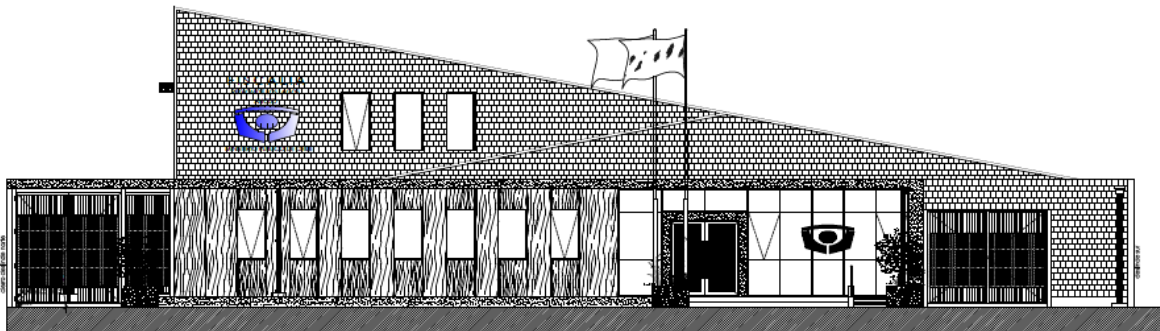
Elevación Norte



Elevación Sur



Elevación Este



Elevación Oeste – Principal por calle del Estadio

Figura 19: Elevaciones Fiscalía Local Ancud

La envolvente térmica del edificio es continua, considerando la aislación térmica de todas las fundaciones y radier incluido. En la **Figura 20** se muestra un corte tipo del edificio con la gráfica de la envolvente continua.

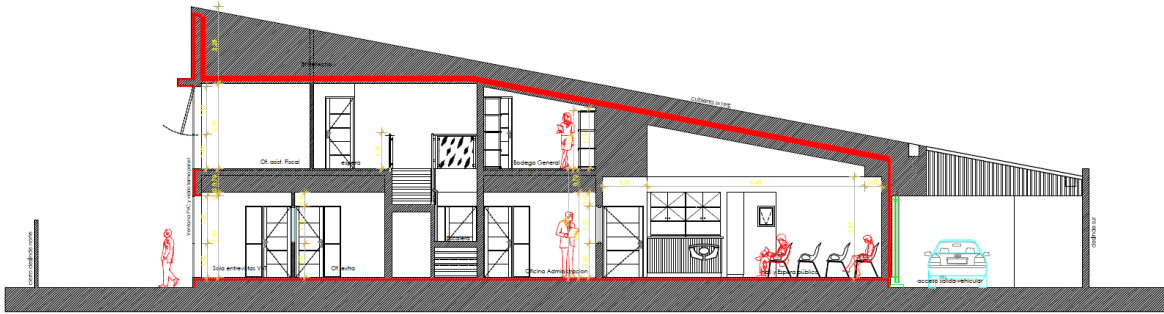


Figura 20: Corte tipo Fiscalía Local Ancud

Las soluciones constructivas para la envolvente térmica del edificio consideraron en el piso 70mm de poliestireno expandido de densidad 30 kg/m³ (Figura 21). En muros se consideraron dos soluciones diferenciadas, por el exterior de la estructura de hormigón armado, 100mm de espuma de poliuretano de 25 kg/m³ con terminación tipo Tresa en fachadas norte y este (Figura 21), y un segundo muro utilizado en las fachadas sur y oriente con 100mm de poliestireno expandido de densidad 20 kg/m³ (Figura 22) con terminación tipo Promuro. En la techumbre se utilizó una estructura de acero la cual poseía una altura mínima de 37cm a 200cm, que contenía una doble capa de lana mineral de 100mm de espesor cada una de 40 kg/m³ (Figura 23) y con papel por ambas caras, los paramentos verticales de la techumbre consideraban doble capa de aislación (una por el interior del muro y otra por el exterior de este) de 100mm de espuma de poliuretano de 25 kg/m³ con terminación en piedra pizarra. Las ventanas proyectadas son de PVC del tipo termopanel, incoloro de 4/12/6 mm de espesor.

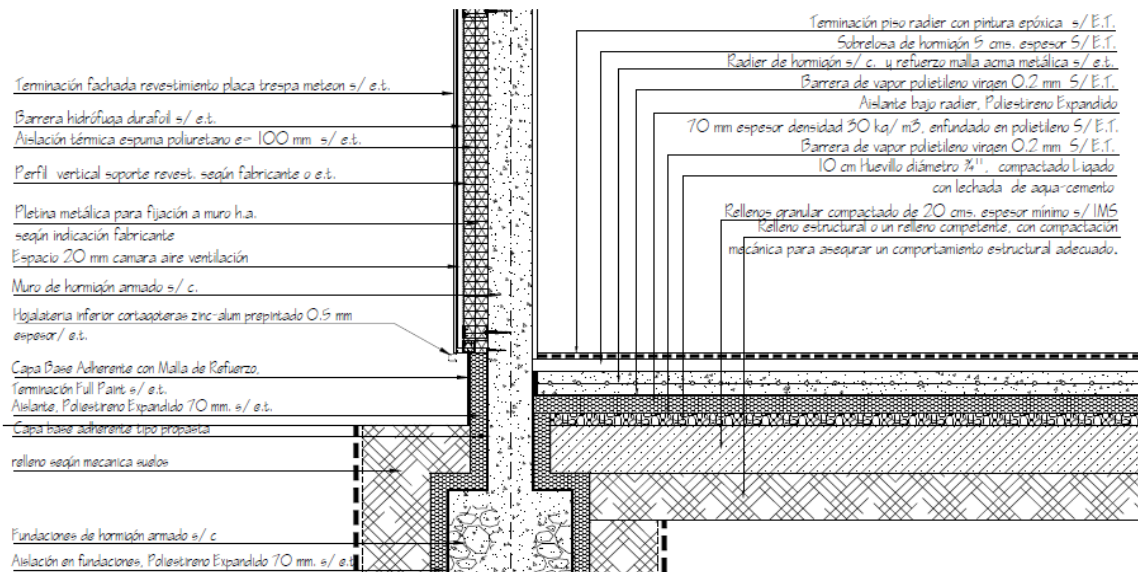


Figura 21: Detalle de radier y muro Fiscalía Local de Ancud.

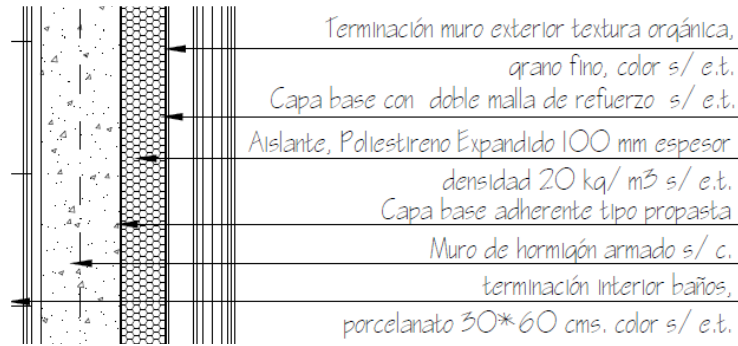


Figura 22: Detalle muro terminación Promuro Fiscalía Local de Ancud.

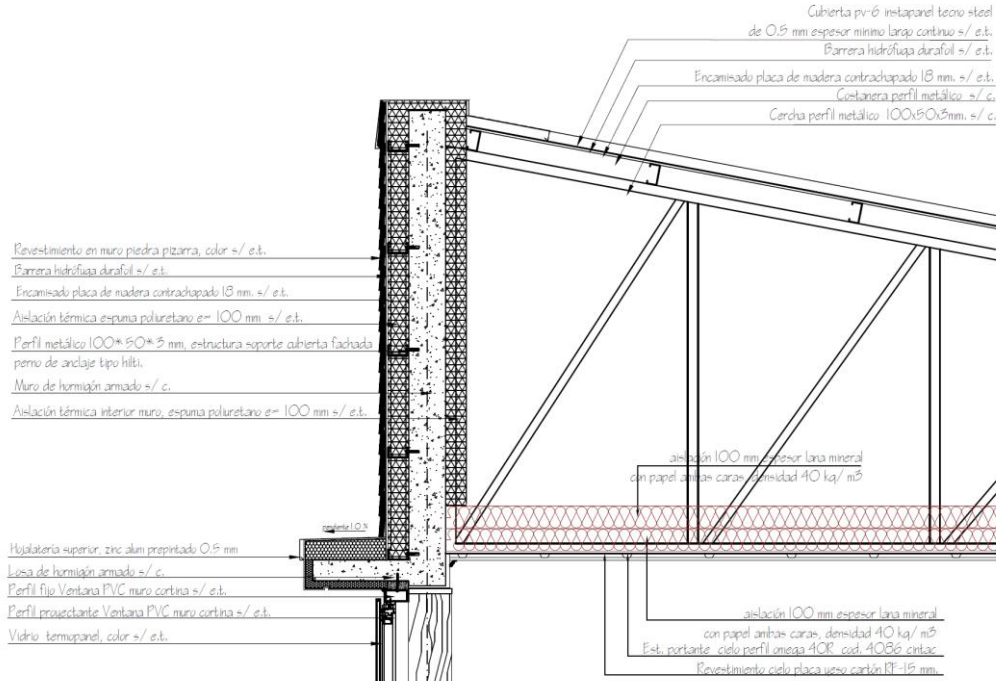


Figura 23: Detalle muro y techumbre Fiscalía Local de Ancud.

La transmitancia térmica proyectada de los elementos que constituyen la envolvente térmica se especifica en la **Tabla 16** a continuación:

Tabla 16: Transmitancia térmica (U) de la envolvente v/s requerimientos TDRé Fiscalía Local Ancud.

	Transmitancia térmica "U" (W/m ² K)			
	Muro	Piso en contacto con el terreno	Techumbre	Ventanas
Proyectada	0,19 / 0,1 / 0,35	0,34	0,24	1,89
Mínima por TDRé (clima SE)	0,4	0,5	0,25	-
Cumplimiento TDRé	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

El proyecto cumple con los estándares de eficiencia energética establecidos en los TDRe, en toda su envolvente. En el caso de las ventanas, la transmitancia considerada es bastante alta, considerando además un muy bajo porcentaje de apertura de vanos por orientación, según se indica en la **Tabla 17** a continuación:

Tabla 17: Porcentaje de vanos por orientación Fiscalía Local de Ancud.

% DE VANOS POR ORIENTACIÓN		
Norte	Este/Oeste	Sur
11%	15%	9%

Para la climatización del edificio se consideró en el diseño solo requerimientos para calefacción, los cuales fueron suplidos mediante calefacción por radiadores y una central térmica en base a una caldera a pellet. La caldera es de alto rendimiento térmico, con potencia efectiva de 20 kW, y un rendimiento de un 105%.

El consumo de la caldera es de 8.100 kg de pellet al año, lo que corresponde a un presupuesto anual de \$1.800.000.- A la fecha, según lo informado por el administrador del edificio, no se han presentado quejas por insatisfacción térmica del ambiente interior por parte de los usuarios, y estos no necesitan acudir a equipos de apoyo para mantenerse en confort térmico en sus espacios de trabajo. Sin embargo, en los meses cálidos se debe acudir a la utilización de ventiladores, en éste caso se declara el uso de 8 unidades.

La calefacción se utiliza de marzo a noviembre y de lunes a viernes, la caldera se enciende a las 07:00 am y se apaga a las 16:00 hrs.

3.3.2 Fiscalía Local de Puerto Montt

Diseñado durante el año 2014, se propuso un edificio de seis niveles más un subterráneo, todo en un volumen compacto. Consideró la incorporación de la inercia térmica a través de masa (en este caso hormigón armado) la cual se sumó al diseño como parte de la estructura del mismo; consideró a su vez una aislación térmica por el exterior de los muros. A lo anterior se suma un volumen edificado de angosta crujía, lo que propende buena iluminación y ventilación natural.

En la **Figura 24**, a continuación, se muestra la imagen exterior del edificio y en la **Tabla 18** los antecedentes generales del proyecto.



Figura 24: Vista exterior Fiscalía Local Puerto Montt.

Fuente: Dirección de Arquitectura MOP.

Tabla 18: Antecedentes generales Fiscalía Local Puerto Montt

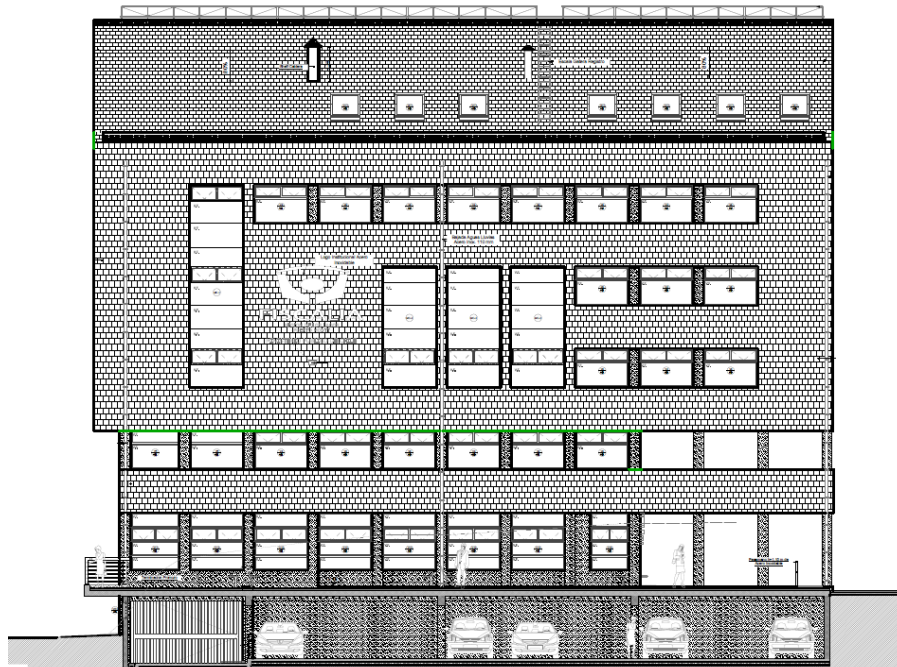
Dirección	Avda. Pdte. Carlos Ibañez N°600, Puerto Montt, Región de Los Lagos.
Arquitecto	Iglesis Prat Arqts. Asociados
Superficie construida	2.420,18m ²
Niveles	06 + 01 subterráneo
Año construcción	2016-2018
Capacidad funcionarios	65 personas
Atención público diario	100 personas
Horario atención	08:30-13:30 hrs y 14:30-18:00 hrs.
Horario funcionamiento	08:00-18:00 hrs
Estructura	Hormigón Armado, último nivel con madera laminada.
Aislación	Poliuretano proyectado y poliestireno expandido.
Ventanas	DVH PVC 6/12/6 incoloro
Climatización	Caldera a Pellet con distribución por radiadores.
Potencia caldera	150kW
Rendimiento caldera	105%
Demanda proyectada	62kWh/m ² /año
Horario funcionamiento caldera declarado por administrador/a	Lunes a Domingo Marzo a diciembre Control por termostato

Su emplazamiento se realiza con orientación N-S, considerando el acceso principal al sur. Se emplaza en un terreno donde comparte áreas exteriores con otros edificios de carácter público como se muestra en la **Figura 25**.



Figura 25: Plano de emplazamiento Fiscalía Local Puerto Montt.

La configuración de las elevaciones del proyecto (**Figura 26**), muestran una apertura hacia el Sur y cierre a las ganancias solares provenientes de la fachada norte. Las fachadas este y oeste tienen una configuración similar, teniendo mayor superficie de ventanas al Este, 147m^2 , en comparación con la fachada Oeste que solo alcanza $85,6\text{m}^2$.



Elevación Este



Elevación Oeste

Figura 26: Elevaciones Fiscalía Local Puerto Montt

La envolvente térmica del edificio es continua, considerando la aislación térmica de todas las fundaciones y radier incluidos. En la **Figura 27** se muestra un corte tipo del edificio con la gráfica de la envolvente continua.

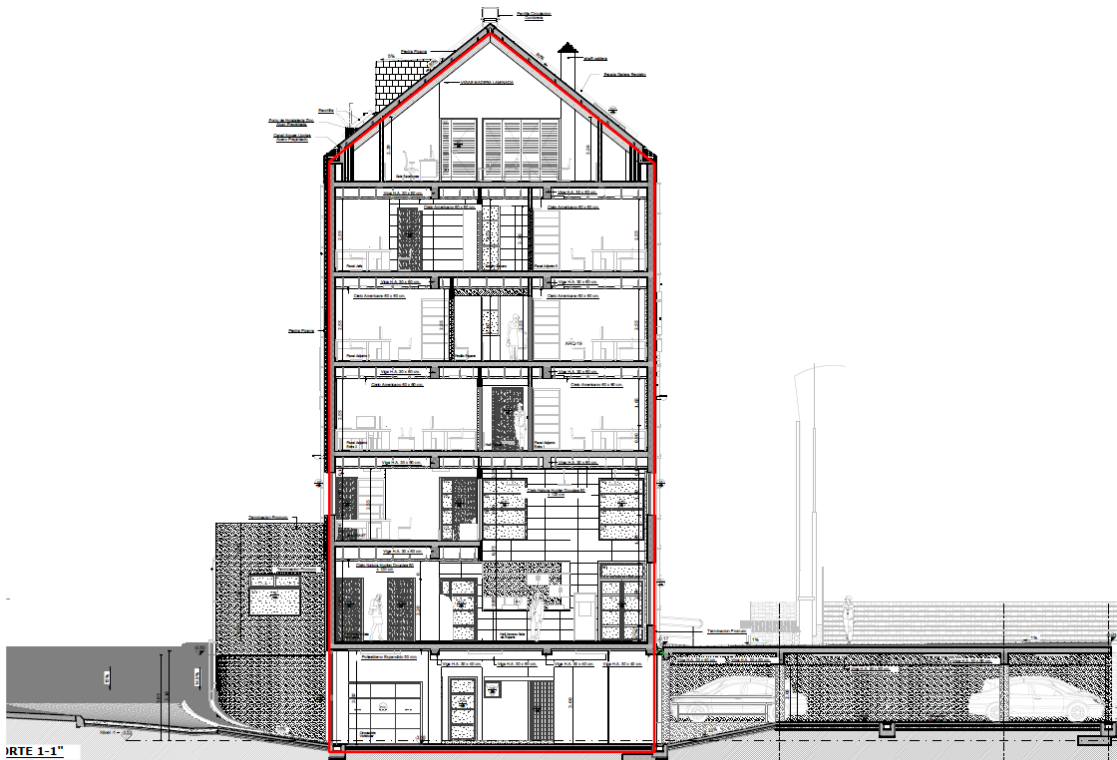


Figura 27: Corte tipo Fiscalía Local Puerto Montt

Las soluciones constructivas para la envolvente térmica del edificio consideraron en el piso 200mm de poliestireno expandido de densidad 20 kg/m³ que aísla el subterráneo, a continuación, entre el nivel subterráneo y el primer nivel (considerado piso ventilado) se aplica 50mm de poliestireno expandido de densidad 20 kg/m³ (**Figura 28**). En muros se consideraron dos soluciones diferenciadas, por el exterior de la estructura de hormigón armado, 50mm de espuma de poliuretano de 20 kg/m³ con terminación en piedra pizarra (**Figura 29**), y un segundo muro con 75mm de poliestireno expandido de densidad 20 kg/m³ (**Figura 28**) con terminación tipo Promuro. En la techumbre se utilizó una estructura de madera laminada, por sobre la estructura se aplicó una doble capa de poliestireno expandido de 100mm de espesor cada una de 20 kg/m³ (**Figura 30**). Las ventanas proyectadas son de PVC del tipo termopanel, incoloro de 6/12/6 mm de espesor.

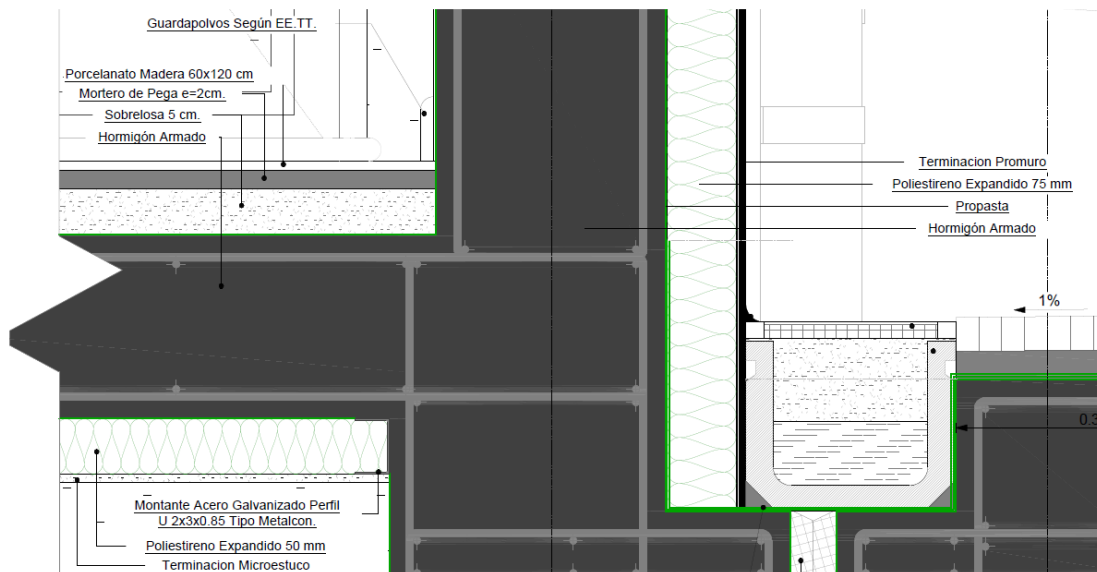


Figura 28: Detalle de base ventilada y muro terminación Promuro Fiscalía Local de Puerto Montt.

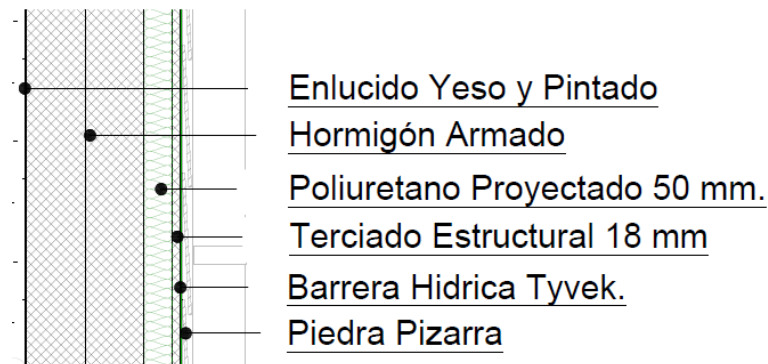


Figura 29: Detalle muro terminación Piedra Pizarra Fiscalía Local de Puerto Montt.

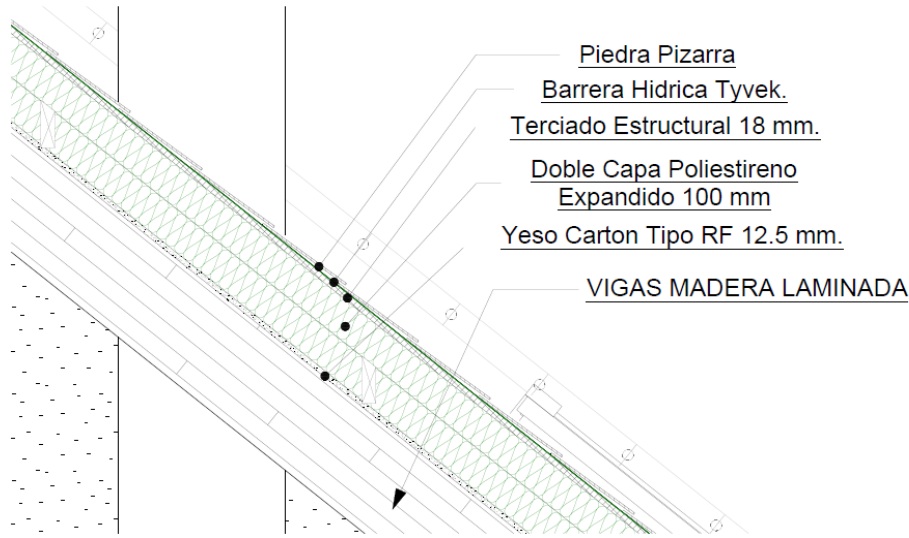


Figura 30: Detalle techumbre Fiscalía Local de Puerto Montt.

La transmitancia térmica proyectada de los elementos que constituyen la envolvente térmica se especifica en la **Tabla 19** a continuación:

Tabla 19: Transmitancia térmica (U) de la envolvente v/s requerimientos TDRé Fiscalía Local Puerto Montt.

	Transmitancia térmica "U" (W/m ² K)			
	Muro	Piso ventilado	Techumbre	Ventanas
Proyectada	0,49 (poliuretano) / 0,37 (poliestireno)	0,59	0,19	1,72
Mínima por TDRé (clima SL)	0,6	0,8	0,4	-
Cumplimiento TDRé	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

El proyecto cumple con los estándares de eficiencia energética establecidos en los TDRé, en toda su envolvente opaca. En el caso de las ventanas, la transmitancia debe ser validada mediante el cálculo de transmitancia ponderada para a envolvente orientada al Sur, considerando que posee un porcentaje mayor al 60% de acristalamiento según se muestra en la **Tabla 20**.

Tabla 20: Porcentaje de vanos por orientación Fiscalía Local de Puerto Montt.

% DE VANOS POR ORIENTACIÓN		
Norte	Este/Oeste	Sur
15%	18%	68%

La fachada sur se descompone en un 68% de acristalamiento, un 15,22% de muro con aislación de poliuretano y un 17,16% de fachada de muro con aislación de poliestireno expandido. La

ponderación de la transmitancia térmica de la fachada corresponderá a un $U= 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, la cual cumple con la transmitancia mínima ponderada requerida para la zona climática, según lo indicado en la Tabla 6.

Para la climatización del edificio se consideró en el diseño solo requerimientos para calefacción, los cuales fueron suplidos mediante calefacción por radiadores y una central térmica en base a una caldera a pellet. La caldera es de alto rendimiento térmico, con potencia efectiva de 150 kW, y un rendimiento de un 105%.

El consumo de la caldera es de 40.000 kg de pellet al año, lo que corresponde a un presupuesto anual de \$11.000.000.- A la fecha, según lo informado por el administrador del edificio, se han presentado quejas por insatisfacción térmica del ambiente interior por parte de los usuarios, específicamente en los pisos donde el termostato regula dos recintos divididos por un pasillo, así como otros con conexión a escaleras. Sin embargo, declara también que los funcionarios no necesitan acudir a equipos de apoyo para mantenerse en confort térmico en sus espacios de trabajo. La calefacción se utiliza de marzo a diciembre y de lunes a domingo, con control mediante termostatos.

3.4 Análisis comparativo de los casos de estudio.

En el presente apartado se analizarán los datos levantados mediante encuestas aplicadas a los administradores de cada edificio, contrarrestando además la información obtenida del análisis de la planimetría de los proyectos, buscando establecer con ello las principales diferencias desde el punto de vista constructivo y de consumo energético para su funcionamiento.

Las encuestas fueron diseñadas en base a los resultados del proyecto INNOVA CHILE N°09 CN14-5706, que obtuvo como parte de los resultados la confección de los “Protocolos estandarizados de medición, procesamiento y análisis de información” (CITEC UBB, 2012). En base a estos protocolos se desarrolló una encuesta tipo (**Anexo A**), la cual permitió levantar la información relativa a uso del edificio y funcionamiento de los sistemas de climatización del mismo. Los protocolos bases utilizados son los siguientes: Protocolo de caracterización de edificios, Protocolo de medición de parámetros energéticos, Protocolo de medición de parámetros ambientales, Protocolo de medición de parámetros físico constructivos y Protocolo de medición de percepción de usuario.

3.4.1 Análisis de la transmitancia térmica de la solución de envolvente.

En el presente capítulo se ha demostrado que cada proyecto, y solución de envolvente térmica en particular, ha dado cumplimiento a los requerimientos de transmitancia térmica indicados en los TDRé para el clima de la zona de emplazamiento. A continuación, en la **Tabla 21**, se presentan en paralelo los valores de U por solución y por proyecto.

Tabla 21: Resumen comparativo de valores de U por solución y por proyecto.

	Aplicación de TDRé en su diseño	Transmitancia térmica "U" (W/m²K)				
		Piso ventilado	Piso en contacto con el terreno	Techumbre	Ventanas	Muro
Fiscalía Local Cañete	NO	n/a	0,37	0,24	2,20	0,55
						0,35
Fiscalía Local Talcahuano	NO	n/a	0,32	0,25	2,80	0,49
Fiscalía Local Ancud	SI	n/a	0,34	0,24	1,89	0,19
						0,10
						0,35
Fiscalía Local Puerto Montt	SI	0,59	0,19	0,19	1,72	0,49
						0,37

Piso ventilado y en contacto con el terreno.

Según es indicado en la **Tabla 21**, existen tres proyectos con solución de piso en contacto con el terreno, la cual se resuelve con una capa de poliestireno expandido en toda la superficie de radier. Para el edificio en Cañete se utilizaron 60mm de aislante, y en el caso de la Fiscalía de Talcahuano y Ancud se resuelve con 70mm de material aislante, aun cuando se emplazan en distintos climas (sur litoral y sur extremo respectivamente), sin embargo, en el caso de Ancud el material utilizado es de alta densidad (30 kg/m³).

En el caso de Puerto Montt la situación es distinta, ya que existe un piso subterráneo, por lo que el piso del primer nivel se considera como piso ventilado. En este caso se utilizó 50mm de poliestireno expandido como aislación. La base del edificio que configura el subterráneo y que se encuentra en contacto con el terreno, consideró una capa continua de 200mm de poliestireno expandido.

Muros.

Como se aprecia en la **Tabla 21** en el caso de los muros se utilizaron diversas soluciones por proyecto. La Fiscalía de Cañete utilizó dos soluciones que se diferencian en el espesor de aislante

térmico (60 ó 100mm respectivamente según tabla). En el caso de Talcahuano la solución consideró 70mm de poliestireno expandido en todo el contorno de muro por el exterior.

En Ancud se utilizaron tres tipos de muros, según la terminación exterior o por emplazamiento en el proyecto. El primer muro consideró 100mm de poliuretano proyectado con terminación exterior en placa Trespá. El segundo se ubicaba colindando con la zona de techumbre por lo que consideró doble capa (interior y exterior del muro de hormigón) de 100mm cada una de poliuretano proyectado con terminación en piedra pizarra. En tercer lugar, se utilizó muro con terminación Promuro con 100mm de poliestireno expandido como aislación.

En el caso de Puerto Montt se utilizaron también dos muros con distinta aislación y espesor. El primero considera 50mm de poliuretano proyectado terminación piedra pizarra, y el segundo consideró 75mm de poliestireno expandido con terminación Promuro.

En ninguno de los casos donde existían más de una solución de muro ésta se encontraba considerada en base a requerimientos energéticos, sino más bien obedecía a la imagen exterior del proyecto.

Techumbre.

En la **Tabla 21** se muestran valores similares de transmitancia térmica para a solución de techumbre utilizada por proyecto, sin embargo, las cuatro son soluciones diferentes. En el caso del edificio en Cañete se logra a través de la incorporación de 160mm de poliestireno expandido. En Talcahuano se utiliza una capa de poliestireno expandido de altura variable ya que es habitable como terraza (incorporando todas las capas superiores de rigidización que corresponde), utilizando para efectos de cálculo una capa continua de 150mm de espesor del material. Para Ancud la solución considera doble capa de 100mm de espesor cada una, de lana mineral con papel en ambas caras. Y, por último, en Puerto Montt, el sexto piso del edificio es la mansarda y es habitable, por lo que la solución de techumbre está dada por esta condición, en este caso se utilizaron 200mm de poliestireno expandido de alta densidad.

3.4.2 Análisis de los sistemas de acondicionamiento térmico instalados, la demanda proyectada v/s consumo por concepto de climatización para la etapa de ocupación.

Al considerar los sistemas de acondicionamiento térmico instalados en los edificios, se producen diferencias más marcadas entre los proyectos que no consideraron TDRé en su diseño, en este

caso sus calderas funcionan a gas licuado de petróleo (GLP). En el caso de los proyectos con consideración de TDRe, las calderas son alimentadas con combustible de biomasa tipo pellet, lo anterior indicado en la **Tabla 22** a continuación:

Tabla 22: Sistemas de acondicionamiento térmico instalados y su consumo anual.

	m ² totales	Potencia Caldera (kW)	Combustible utilizado	Consumo kg x año	PCI kWh/kg	Fuente
Fiscalía local Cañete	499,98	45	GLP	6.500	14,07	(Agencia Chilena de Eficiencia Energética, 2011)
Fiscalía local Talcahuano	1.318,5	113,2	GLP	4.700	14,07	
Fiscalía local Ancud	477,47	20	Pellet	8.100	4,80	Ecomas ¹
Fiscalía local Puerto Montt	2.420,18	150	Pellet	40.000	4,80	

En la **Tabla 23**, se compara la demanda proyectada en la etapa de diseño con los consumos actuales declarados por los administradores de cada edificio, se observa gran diferencia entre ellos, sobresaliendo en este caso la Fiscalía Local de Cañete la cual está consumiendo un 610% por sobre lo proyectado para el edificio.

Tabla 23: Comparativa entre demanda proyectada y consumo de los edificios.

	kWh/m ² /año		
	Demanda proyectada (calefacción)	Consumo	Variación de demanda v/s consumo
Fiscalía local Cañete	30,0	182,92	610%
Fiscalía local Talcahuano	21,7	50,15	231%
Fiscalía local Ancud	30,43	81,43	268%
Fiscalía local Puerto Montt	62,00	79,33	128%

De la tabla anterior se puede observar que el edificio que funciona en condiciones similares a las proyectadas es la Fiscalía Local de Puerto Montt, considerando una variación de solo un 28% por sobre la demanda proyectada. Sin embargo, el caso de Talcahuano es claramente el más bajo en términos de consumo, considerando que su funcionamiento anual bordea los 50 kWh/m²/año.

Sin embargo, si comparamos estos resultados con los obtenidos por el levantamiento realizado por el Ministerio de Energía, se logra determinar que algunos de los valores obtenidos (exceptuando el caso de Cañete) distan positivamente de lo que sucede en esta tipología de

¹ Ecomas es la empresa Chilena que concentra el 80% del mercado de pellet, en la etiqueta de sus productos declara un PCI de 4,8 kWh/kg para el pellet producido.

edificios a nivel nacional (Ministerio de Energía, 2019). En la **Figura 31**, a continuación, se muestran los promedios nacionales de consumo anual por tipología de proyecto.

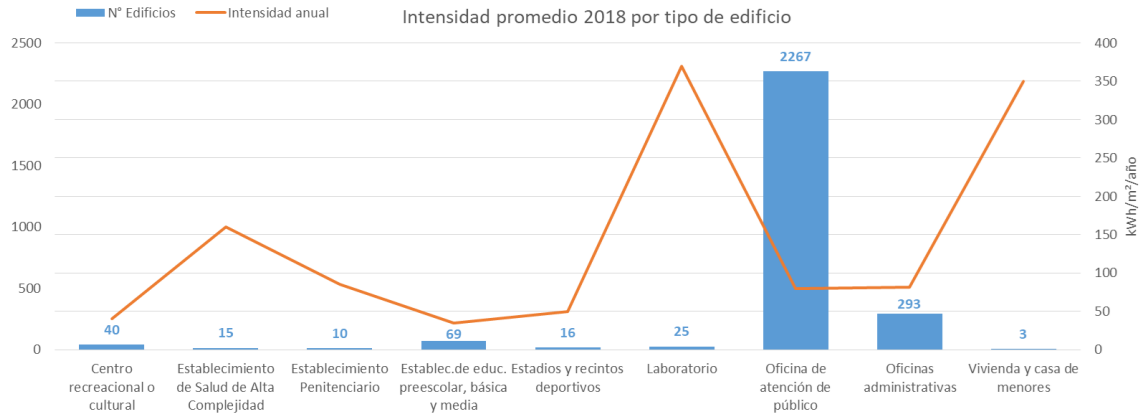


Figura 31: Distribución del consumo de energía y la intensidad de consumo promedio anual por tipología de edificio. Fuente: Ministerio de Energía.

Del gráfico anterior, se evidencia que en el caso de los edificios de oficinas con atención de público en Chile el consumo promedio anual bordea los 80 kWh/m²/año, que para el caso de edificio de oficinas sin atención de público se encuentra en el orden de 82 kWh/m²/año. Sin embargo, al desagregar la información por región, **Figura 32**, esta cambia para lo informado en las regiones de los casos analizados. En este caso la Región del Biobío informa un promedio anual de consumo de casi 95 kWh/m²/año, y en el caso de la Región de Los Lagos se informa un consumo promedio anual de 30 kWh/m²/año.

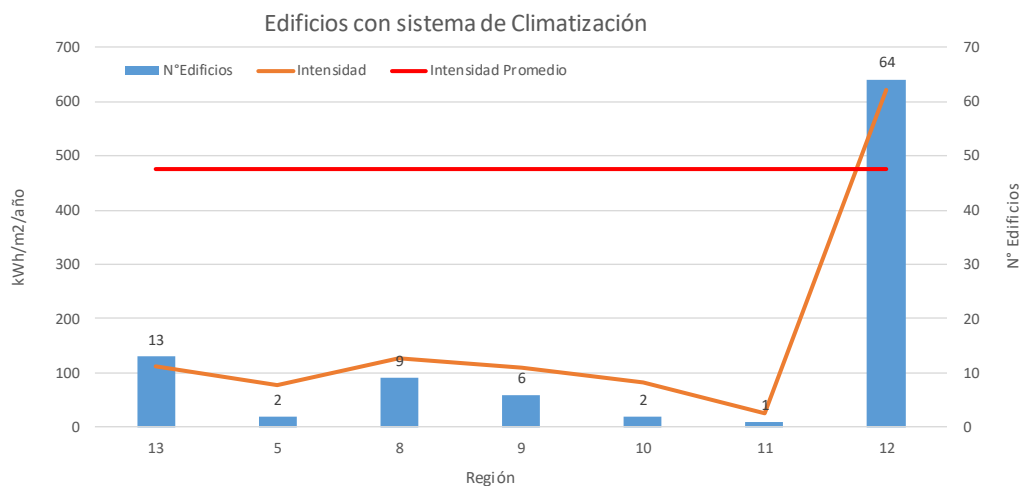


Figura 32: Distribución del consumo de energía y la intensidad de consumo promedio anual por Región. Fuente: Ministerio de Energía.

En la **Tabla 24**, a continuación, se presenta un resumen comparativo de las principales características de uso de los edificios estudiados.

Tabla 24: Principales características de los casos de estudio.

	N° funcionarios	N° visitas diarias	Horario funcionamiento	Funcionamiento caldera	Horas calefaccionadas	Consumo anual	Consumo anual kWh/m²/año
Fiscalía Local Cañete	13	25	8:00 - 18:00 Lu - Vi	Todo el año, 24/7	8.760	6.500 kg GLP	182,92
Fiscalía Local Talcahuano	36	55	8:00 - 18:00 Lu - Vi	07 a 12 hrs Lunes – sábado Abril-Noviembre	960	4.700 kg GLP	50,15
Fiscalía Local Ancud	13	40	8:30 - 17:30 Lu - Vi	07 a 16 hrs Lunes - Viernes Marzo-Noviembre	1.620	8.100 kg Pellet	81,43
Fiscalía Local Puerto Montt	64	100	08:00 - 18:00 Lu - Vi	24 horas Lunes - Viernes Marzo a Diciembre	4.800	40.000 kg Pellet	79,33

4. Análisis de la huella carbono por caso de estudio

En el desarrollo del Capítulo 4 se aplicará la herramienta ÁBACO-CHILE, descrita en el punto 2.2.4 del capítulo 2, a las distintas soluciones de envolvente térmica analizadas en el capítulo anterior, para determinar la huella de carbono de los materiales que la componen y del edificio en su conjunto. Posteriormente se procederá a calcular la huella de carbono de los combustibles utilizados para la generación de calor durante la etapa de ocupación, proyectado al ciclo de vida de la edificación.

4.1 Límites del sistema.

Para el cálculo de las huellas de carbono de las diversas soluciones constructivas de los casos de estudio analizados, se tomaron las siguientes consideraciones:

- ✓ Se consideró la misma solución constructiva-estructural (en su composición y espesor) para las losas y muros de hormigón armado, para cada caso de estudio. En este caso losas de espesor 15 cm y muros de espesor 20 cm.
- ✓ La HC del poliestireno expandido y del poliuretano proyectado fueron determinadas por densidad y en base a las Declaraciones Ambientales de Productos (DAP) de cada material. En ninguno de estos casos se poseía la DAP del producto para Chile, por lo que fueron utilizadas las publicadas por el IBU en Alemania.
 - Poliestireno Expandido 15kg/m³ (Institut Bauen und Umwelt, 2018a), 48,89 kgCO₂eq/m³.
 - Poliestireno Expandido 20kg/m³ (Institut Bauen und Umwelt, 2018b), 63,86 kgCO₂eq/m³.
 - Poliestireno Expandido 25kg/m³ (Institut Bauen und Umwelt, 2014b), 80,42 kgCO₂eq/m³.
 - Poliestireno Expandido 30kg/m³ (Institut Bauen und Umwelt, 2018c), 96,72 kgCO₂eq/m³.
 - Poliuretano Proyectado 40kg/m³ (Institut Bauen und Umwelt, 2014a), 424,38 kgCO₂eq/m³.
- ✓ La HC del material TRESPA Meteon de fachada, se obtiene del Documento de Idoneidad Técnica Plus del año 2016 (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja Madrid, 2016), 16,11 kgCO₂eq/m² para un espesor de plancha de 8mm.

- ✓ Considerando la disponibilidad de información de la plataforma ÁBACO-CHILE, se debió proceder a calcular manualmente las HC de las tipologías de ventanas utilizadas en cada proyecto, según las características indicadas para cada una de ellas en las Tabla 9, Tabla 12, Tabla 15 y Tabla 18. Los datos para el cálculo fueron obtenidos del estudio realizado el año 2016 en el Instituto de Ingeniería UNAM (Güereca Hernández et al., 2016).
- ✓ Considerando la disponibilidad de información de la plataforma ÁBACO-CHILE, se debió proceder a actualizar en el cálculo las HC, en concordancia con lo indicado en el informe denominado ECOBASE Construcción (Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales, 2014), de los siguientes elementos: hormigón armado y aglomerados de madera.
- ✓ Dos de los edificios analizados (Cañete y Talcahuano) consideran en su último nivel una losa de cielo para crecimientos futuros del edificio, lo que influye directamente en la huella de la solución de techumbre de ambos.
- ✓ No se consideran mejoramientos de terreno, subdivisiones interiores, espacios no habitables como bodegas o estacionamientos subterráneos.
- ✓ En el caso de la Fiscalía Local de Puerto Montt se utiliza para cálculo la solución de piso ventilado, ya que el primer nivel colinda con un estacionamiento subterráneo.
- ✓ No se considera en el cálculo, la huella del transporte de los materiales ni de la fuente de energía.
- ✓ Para el caso de la Fiscalía Local de Talcahuano y Cañete no se considera el consumo por concepto de enfriamiento ya que este proviene de una fuente eléctrica y puede ser diferenciado del consumo por calefacción (fuente GLP). En ambos casos el consumo por enfriamiento no representa más de un 15% de la demanda total proyectada para climatización, y su uso es únicamente para las oficinas de Fiscales.

Consideraciones para el cálculo de la huella de carbono en la etapa de ocupación, por consumo de combustibles:

- ✓ El poder calorífico del GLP es obtenido del reporte de la AChEE (Agencia Chilena de Eficiencia Energética, 2011), PCI 14,07 kWh/kg.
- ✓ El poder calorífico del Pellet se obtiene de los datos administrados por la principal empresa de distribución del material en Chile: Ecomas, que reporta un PCI de 4,8 kWh/kg.
- ✓ Se utilizan los datos de emisiones de CO₂eq que incluyen el rango completo de gases de efecto invernadero.
- ✓ Para el cálculo de la HC del pellet se ha considerado la huella emitida durante el proceso de fabricación del combustible, de transporte y combustión (que no considera CO₂ sino CH₄ y N₂O), la cual fue obtenida del estudio publicado por la revista Biomass & Bioenergy el año 2006 (Petersen Raymer, 2006). En la **Tabla 25** a continuación, se presenta la HC del ciclo de vida del Pellet.

Tabla 25: Generación de CO₂ para 1 tonelada de pellet en su ciclo de vida.

Fuente: Petersen Raymer, 2006.

Proceso	CO ₂ (kg)	CH ₄ (kg)	N ₂ O (kg)	CO ₂ -eq (kg)
Producción de aserrín	27,810	0,000	0,004	29
Transporte a fabrica	5,462	0,000	0,001	6
Secado	0,000	0,073	0,000	1
Producción de Pellet	0,000	0,027	0,000	0
Transporte a consumidor	0,689	0,000	0,000	1
Combustión	0,000	0,300	0,070	22
Total				59

- ✓ Los datos descritos en el párrafo anterior implican que, por cada kilo de pellet utilizado para calefacción, existe una HC de 0,059 kgCO₂eq.
- ✓ Los datos de emisión del GLP provienen de la herramienta de cálculo del Gobierno de Zaragoza (Estrategia Aragonesa del Cambio Climatico y Unión Europea, 2019), equivalentes a 2,9575 kgCO₂eq/kg GLP.
- ✓ El ciclo de vida de la edificación está determinado por el horizonte de evaluación del proyecto, definido por la vida útil de la inversión, que según lo establecido por la Metodología general de preparación y evaluación de proyectos sociales (División de Evaluación Social de Inversiones MDS, 2013), está calculada a 30 años, considerándose el tiempo posterior como valor residual.

- ✓ En ambos casos, etapa de construcción y etapa de operación, no se ha considerado en el cálculo de la HC la producida por la mantención del edificio y sus materiales, como tampoco la de la mantención de las calderas utilizadas.
- ✓ En un análisis avanzado y comparativo de los casos de estudio, se procede a analizar las huellas de carbono por consumo en el ciclo de vida. Los datos de PCI y emisión de GEI de cada combustible son obtenidos del Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero, durante la fase de construcción (Muñoz et al., 2012).

4.2 Evaluación de la HC de la envolvente mediante herramienta ÁBACO-CHILE para cada tipología de solución constructiva y caso de estudio.

Para calcular la HC emitida durante el proceso de construcción de cada edificio, se procedió a descomponer las distintas soluciones constructivas de la envolvente (según lo detallado en el Capítulo 3), y a someterlas a evaluación mediante la herramienta ÁBACO-CHILE. Los resultados obtenidos fueron separados por solución constructiva de envolvente, permitiendo diferenciar con esto el impacto de cada una de las soluciones entre sí.

En la **Tabla 26**, y a modo de ejemplo, se muestra la descomposición del cálculo de la HC para la solución del piso en contacto con el terreno de la Fiscalía Local de Talcahuano, el detalle completo del cálculo de la HC de los distintos casos de estudio se encuentra inserto en el **Anexo B**. Se calculan los m² de envolvente térmica, se divide en los distintos materiales que la componen, y se incorporan las emisiones de GEI por cada uno de ellos, dando como resultado la HC por material y posteriormente por solución constructiva.

Tabla 26: Calculo HC para solución piso en contacto con el terreno, Fiscalía Local de Talcahuano.

Fuente: Herramienta ÁBACO-CHILE.

Código ABACO	Recursos y Actividades	UN	CANT.	Emisiones de GEI (kgCO ₂ eq)/un	Emisiones totales (kgCO ₂ eq)
DAP	EPS 70mm 40kg/m ³	m ²	483,60	9,7	4.677,4
DKW0002	Polietileno manga e=0,02cm	m ²	483,60	0,9	411,5
-	Losa HA	m ³	72,5	399,2	28.958,0
CCB0042	Sobrelosa e:50mm	m ²	483,6	0,6	297,4
DJF0002	Porcelanato 40x40cm	m ²	483,6	2,5	1.207,5
TOTAL solución constructiva					35.551,8

4.2.1 Emisiones por solución constructiva de piso.

El análisis de la HC de la solución de piso se presenta en la **Tabla 27**, la cual categoriza por caso de estudio analizado, y presenta los resultados por m² de piso.

Tabla 27: Emisiones HC solución piso.

Fuente: Herramienta ÁBACO-CHILE.

Caso estudio	m ² piso	Emisiones totales piso (kgCO ₂ eq)	kgCO ₂ eq/ m ² piso
Fiscalía Local de Cañete	233,7	7.839,1	33,6
Fiscalía Local de Talcahuano	483,6	35.551,8	73,5
Fiscalía Local de Ancud	237,0	8.528,2	36,0
Fiscalía Local de Puerto Montt	311,2	20.663,7	66,4

La principal diferencia en los resultados presentados en la Tabla, se da en el caso de la Fiscalía de Talcahuano y Puerto Montt, que presentan el doble de HC que los otros 2 casos, debido principalmente a que estos edificios poseen una solución de piso con losa de hormigón armado, opuesto a los otros dos casos que presentan radier en su primer nivel.

4.2.2 Emisiones por solución constructiva de muros y ventanas.

El análisis de la HC de la solución de muro y ventanas se presenta en la **Tabla 28**, la cual categoriza por caso de estudio analizado, y presenta los resultados por m² de envolvente vertical.

Tabla 28: Emisiones HC solución muro.

Fuente: Herramienta ÁBACO-CHILE.

Caso estudio	m ² fachada	Emisiones totales fachada (kgCO ₂ eq)	kgCO ₂ eq/ m ² fachada
Fiscalía Local de Cañete	550,6	46.016,7	83,6
Fiscalía Local de Talcahuano	1.321,6	207.951,5	157,3
Fiscalía Local de Ancud	520,7	70.967,9	136,3
Fiscalía Local de Puerto Montt	1.440,8	145.933,8	101,3

Las soluciones de fachada de ambos casos de edificios con implementación de TDRe, consideran una mayor HC debido principalmente a la utilización de material aislante con mayor huella (poliuretano proyectado), además de la incorporación de capas que incluyen maderas aglomeradas. Para el caso de la Fiscalía de Talcahuano, el valor presentado es producto que un 33% de su fachada es vidriada, y ésta se ejecutó en perfilaría de aluminio, la cual tiene una HC similar a la del hormigón armado.

4.2.3 Emisiones por solución constructiva de techumbre.

El análisis de la HC de la solución de techumbre se presenta en la **Tabla 29**, la cual categoriza por caso de estudio analizado, y presenta los resultados por m² de techumbre.

Tabla 29: Emisiones HC solución techumbre.

Fuente: Herramienta ÁBACO-CHILE.

Caso estudio	m ² techumbre	Emisiones totales techumbre (kgCO ₂ eq)	kgCO ₂ eq/ m ² techumbre
Fiscalía Local de Cañete	233,7	23.989,6	102,7
Fiscalía Local de Talcahuano	483,6	44.363,0	91,7
Fiscalía Local de Ancud	237,0	4.923,8	20,8
Fiscalía Local de Puerto Montt	419,4	16.287,6	38,8

Las diferencias entre las HC calculadas para la solución de techumbre de cada caso de estudio radican principalmente en la incorporación de losa en la solución de techumbre de los casos de Cañete y Talcahuano (proyectos sin TDRé), los cuales consideran su incorporación para posibles crecimientos futuros del edificio, lo que impacta directamente en la HC de la solución analizada, en comparación con los dos proyectos que incluyen TDRé y que no incorporan losa en su solución.

Así mismo, se establece una gran diferencia entre las HC de los casos de Ancud y Puerto Montt (proyectos con TDRé), lo anterior se asocia a la incorporación de madera laminada como estructura de techumbre en el caso de Puerto Montt, la cual tiene una huella mucho mayor que la estructura de metalcon utilizada en el caso de Ancud.

4.3 Evaluación de la HC del consumo para la etapa ocupación.

La evaluación de la HC para la etapa de ocupación, se encuentra calculada en base al consumo anual y la emisión del combustible declarada en el apartado 4.1, con estos datos se presenta en la **Tabla 30**, las emisiones por m² y por ciclo de vida del proyecto (30 años).

Tabla 30: Emisión HC para etapa de ocupación por caso de estudio.

Fuente: Elaboración Propia.

Caso estudio	Consumo kg x año	Consumo kg/m ²	Emisión combustible kgCO ₂ eq/kg	Emisión anual kgCO ₂ eq	Emisión anual por m ²	Ciclo de vida kgCO ₂ eq /m ²
Fiscalía Local Cañete	6.500	13,0	2,958	19.223,8	38,5	1.153,5
Fiscalía Local Talcahuano	4.700	3,6	2,958	13.900,3	10,5	316,3
Fiscalía Local Ancud	8.100	16,9	0,059	477,9	1,0	30,0
Fiscalía Local Pto. Montt	40.000	16,5	0,059	2.360,0	0,9	29,2

El consumo asociado a cada caso de estudio, y declarado por los administradores de cada edificio, muestra un comportamiento bastante similar para los proyectos que consideran TDR en su diseño (Ancud y Puerto Montt), sin embargo, la situación de Cañete y Talcahuano es totalmente opuesta. Lo anterior puede darse por un mal o buen comportamiento térmico de cada edificio, así como también por los criterios de administración de la persona a cargo. Según se detalla en el final del apartado 3.2.2, en el caso de Cañete la administradora declara mantener prendida la calefacción las 24 horas y todos los días del año, aludiendo que el edificio es “frío”, y que por esto es necesario mantener la calefacción prendida todo el año (incluido verano).

A continuación, en la **Tabla 31**, se presenta en resumen la huella de carbono de los materiales para la etapa de construcción y la HC del consumo de combustible por calefacción, para la etapa de ocupación.

Tabla 31: Resumen HC etapa de construcción y operación.

Caso estudio	ETAPA CONSTRUCCIÓN Emisiones en kgCO ₂ eq/m ²				ETAPA OPERACIÓN Emisiones por consumo de combustible		
	Edificio	Solución de fachada	Solución de techumbre	Solución de piso	kgCO ₂ eq año	kgCO ₂ eq año/m ²	ciclo de vida kgCO ₂ eq/m ²
Fiscalía local Cañete	155,7	83,6	102,7	33,6	19.223,8	38,4	1.153,5
Fiscalía local Talcahuano	218,4	157,3	91,7	73,5	13.900,3	10,5	316,3
Fiscalía local Ancud	176,8	136,3	20,8	36,0	477,9	1,0	30,0
Fiscalía local Pto. Montt	75,6	101,3	38,8	66,4	2.360,0	0,9	29,3

5. Comparación entre resultados.

En el capítulo 5 se desarrollará en profundo el análisis de los resultados obtenidos del cálculo de la huella de carbono para la envolvente térmica y el consumo de combustible durante el ciclo de vida, desarrollados en el capítulo 4.

Según la ISO 14.040, se define como unidad funcional (UF) al *“desempeño cuantificado de un sistema del producto para su uso como unidad de referencia”*, esto quiere decir que la UF permite proporcionar una referencia a la cual se relacionan las entradas y salidas, asegurando con ello que los resultados del ACV sean comparables (ISO 14040, 2006).

Para la comparación de resultados de esta investigación, y como UF, se utiliza la medición de emisiones de GEI generadas para 1 m² de envolvente térmica de edificio para la fase de construcción y operación, la cual es medida en kgCO₂eq/m². La fase de construcción comprende los materiales utilizados en la solución de envolvente térmica de cada edificio desde la cuna a la puerta, y dentro de los límites del sistema no se consideran las actividades derivadas de ellos en el proceso de ejecución de la obra.

5.1 Cálculos ponderados HC por unidad funcional para el ciclo de vida de la edificación.

La representación de los resultados para comparar la huella de carbono de los materiales entre los distintos casos de estudio se presenta en la **Figura 33**, en ella se muestra por unidad funcional la HC emitida por cada solución constructiva y caso de estudio.

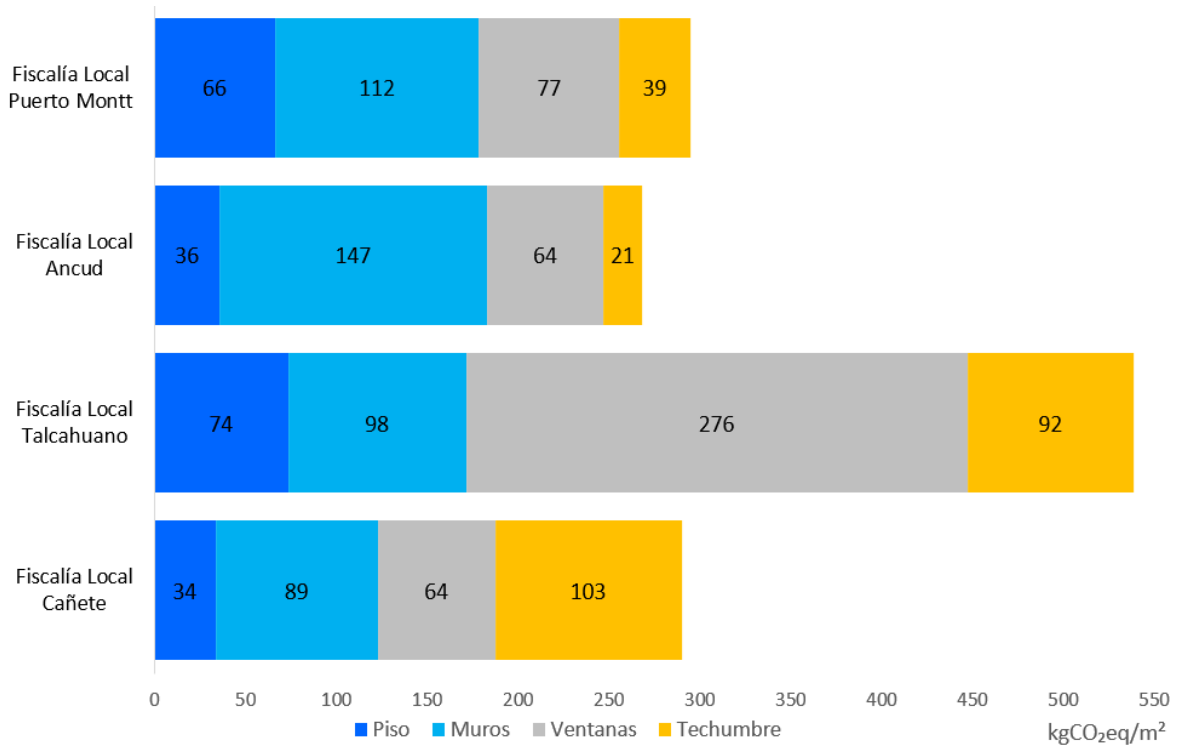


Figura 33: Emisiones por m² de envoltorio térmico.

De la figura anterior se observa que para los casos de Talcahuano y Cañete (proyectos sin TDR), estos poseen una HC mayor en la solución de techumbre, producto principalmente de que ambos incorporan una losa de cielo en ella. El caso con mayor HC es el de Talcahuano, ya que éste incorpora ventanas de aluminio en sus cerramientos, la cual aporta un 74% de la HC de la fachada del edificio, y un 51% de la HC del total del proyecto. Por otra parte, la emisión de fachada de los proyectos de Ancud y Puerto Montt es alta (comparativamente a los otros dos casos) debido a la incorporación de poliuretano proyectado como material aislante, el cual posee una HC seis veces mayor que un poliestireno expandido estándar de 20kg/m³.

Al descomponer la HC de la solución constructiva de muros en los proyectos, **Figura 34 y 35**, se logra determinar que la HC generada por el hormigón armado es el principal componente de los cuatro casos de estudio, producto esto mayoritariamente por la huella del acero inserto en el hormigón. Así mismo, la huella producida por las ventanas de aluminio en Talcahuano alcanza gran visibilidad al momento de analizar la composición porcentual de la huella de la envoltorio.

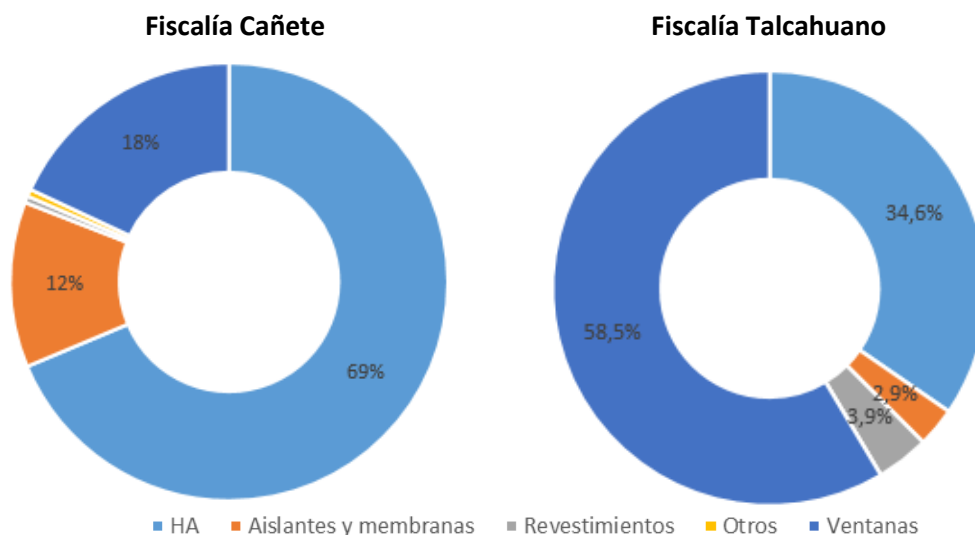


Figura 34: Análisis porcentual de los principales materiales utilizados en muros, casos sin TDRé.

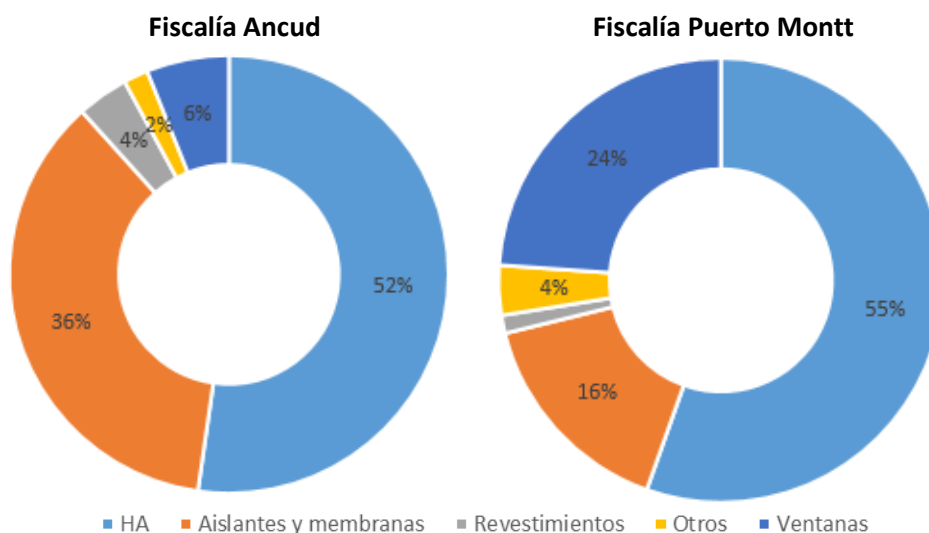


Figura 35: Análisis porcentual de los principales materiales utilizados en muros, casos con TDRé.²

En la **Tabla 32**, a continuación, se detallan los resultados del cálculo de la HC de cada tipo de ventana utilizada en los casos de estudio, diferenciándose entre sí por kg de vidrio y tipo de materiales que compone el marco de cada una, mostrando con esto la incidencia de la HC de la solución de ventana utilizada en el caso de la Fiscalía de Talcahuano por sobre los otros tres casos.

² En las Figuras 34 y 35, el término “Otros” se ha utilizado para identificar materiales como aglomerados de madera y la estructura de metalcon.

Tabla 32: Emisión HC por m2 de ventana.

	Tipo Ventana	Composición vidrio/espacio aire/vidrio	kg vidrio/m ²	kg perfil/m ²	Emisión CO ₂ /m ² vidrio	Emisión CO ₂ /m ² perfil	Emisión CO ₂ /m ² ventana
Fiscalía Cañete	DVH PVC	5/12/5	25,0	9,3	35,3	29,1	64,4
Fiscalía Talcahuano	DVH Aluminio	6/10/5	27,5	8,8	38,8	236,9	275,7
Fiscalía Ancud	DVH PVC	4/12/6	25,0	9,3	35,3	29,1	64,4
Fiscalía Puerto Montt	DVH PVC	6/12/6	30,0	11,1	42,3	35,0	77,3

Dado el mismo caso anterior, para la HC de la solución constructiva de techumbre en los proyectos, **Figura 36 y 37**, se logra determinar en este caso que la HC generada por el hormigón armado es el principal componente de los dos casos de estudio que no consideran aplicación de TDRé; lo que contrasta con la situación de los proyectos de Ancud y Puerto Montt que presentan una muy baja HC de la solución de techumbre, la cual se compone principalmente por la HC del material aislante y la HC de maderas y tableros aglomerados (“otros” en la leyenda de la figura).

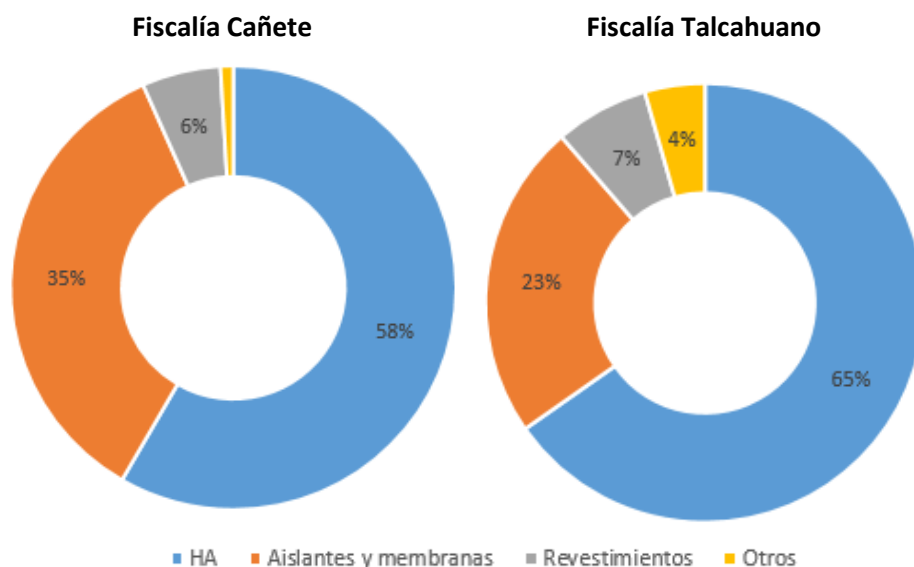


Figura 36: Análisis porcentual de los principales materiales utilizados en techumbre, casos sin TDRé.

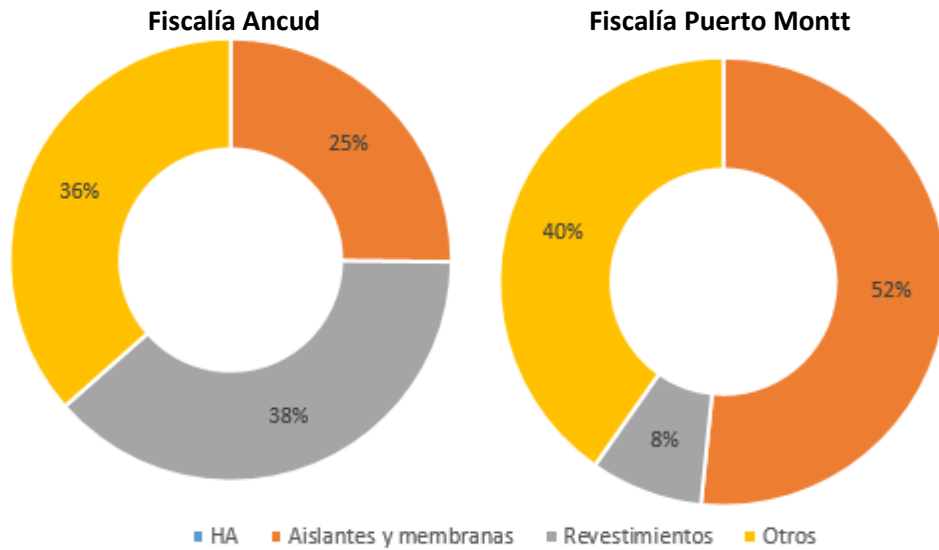


Figura 37: Análisis porcentual de los principales materiales utilizados en techumbre, casos con TDRé.

Al analizar el ciclo de vida de la edificación, comparando la emisión de los materiales con la emisión producida por el consumo de combustible para calefacción (**Figura 38**), se presentan resultados muy distantes entre los proyectos con y sin aplicación de TDRé. Los proyectos que incluyeron TDRé en su diseño, tienen una HC mucho menor en su ciclo de vida producto de la baja emisión del pellet y sumado a una baja emisión de los materiales por m² de edificio.

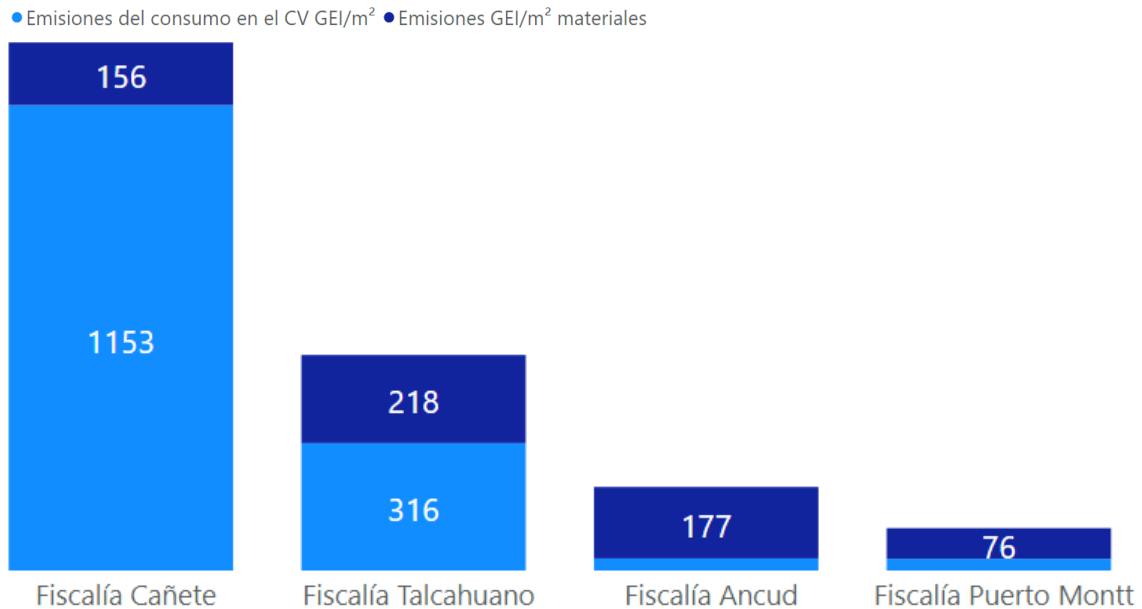


Figura 38: Emisiones en el ciclo de vida del proyecto (kgCO₂eq/m²).

Según lo indicado en el párrafo anterior, y tal como se presenta en la **Figura 39**, la etapa de ocupación de los edificios con implementación de TDRe en su diseño presentan un 15% y 28% de la emisión del HC en el ciclo de vida del proyecto, muy por debajo del 59% y 88% de los casos de Talcahuano y Cañete respectivamente.

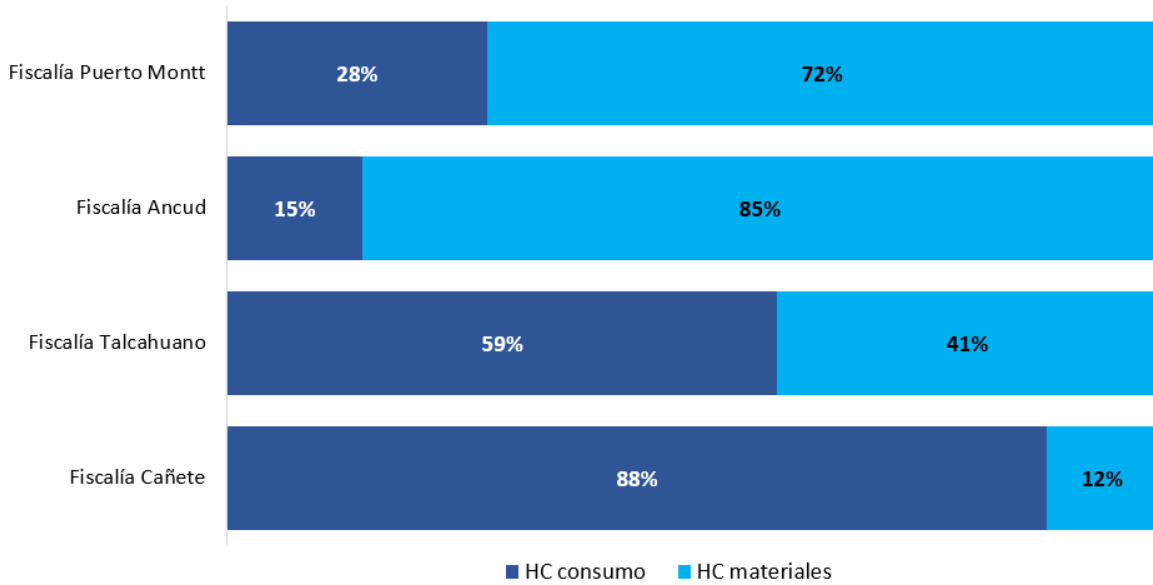


Figura 39: Distribución porcentual de la HC en el ciclo de vida del edificio.

5.2 Evaluación de los casos de estudio en virtud de los tipos de combustibles a utilizar en el ciclo de vida.

Tal como se declaraba en el apartado 2.2.2 del presente estudio, la etapa de ocupación concentra usualmente alrededor de un 80% de la HC del ciclo de vida de la edificación, principalmente por consumo de combustible para climatización. Considerando los resultados detallados en el subcapítulo 5.1, y específicamente a lo indicado en la **Figura 39**, se procede a realizar un análisis comparativo de los distintos casos de estudio, simulando un cambio en el combustible utilizado para calefacción, proyectado a 30 años de ciclo de vida y calculado por m² de edificio (**Figura 40**).

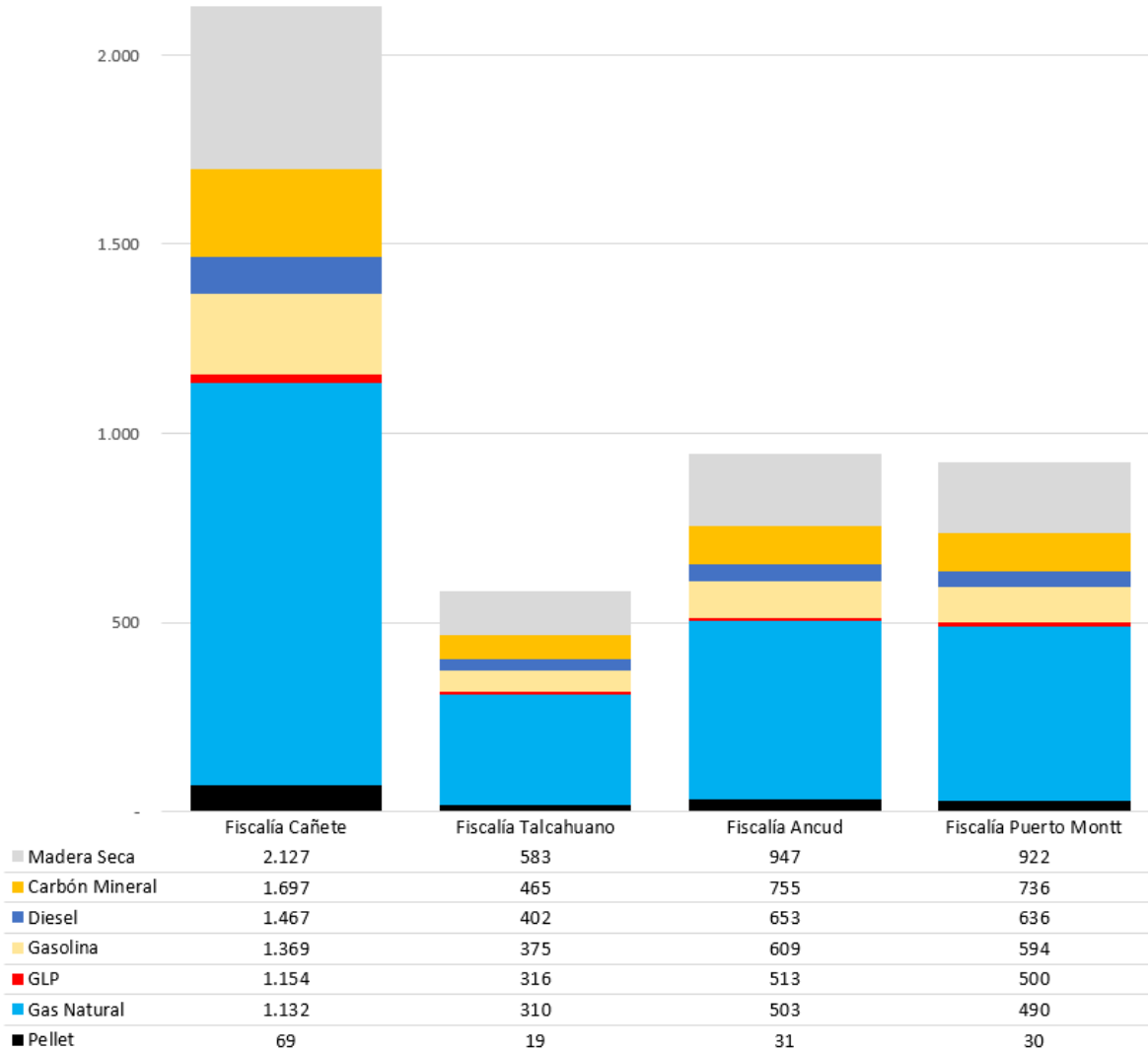


Figura 40: Variación HC por proyecto según tipo de combustible utilizado.

De la figura anterior se puede deducir que la correcta elección del sistema de calefacción y combustible a utilizar, incidirá directamente en la emisión de HC que tendrá el edificio en su ciclo de vida; esto considerando además que la reducción del consumo energético es una de las primeras premisas al momento de diseñar con estándares de eficiencia energética. Por el contrario, en el caso del pellet las emisiones para el ciclo de vida son muy bajas, el impacto que tiene la combustión de madera seca para el mismo periodo de consumo es 30 veces mayor que la del pellet (sin considerar el concepto de balance neutro que se considera para la combustión de la madera en el ciclo de vida de la misma, Barrios Cortes, 2017), considerando el PCI del combustible para el cálculo. Si consideramos además que la madera es uno de los principales materiales de

combustión utilizados para calefacción, el impacto generado por este es mucho mayor. En consiguiente, el carbón mineral es 24 veces más contaminante que el pellet y el diésel 21 veces más. Estos tres combustibles son los que componen la matriz energética primaria de Chile: petróleo, carbón y la biomasa (Ministerio de Energía, 2019), por lo que los resultados obtenidos demuestran la importancia que tiene las decisiones de la etapa de diseño frente a las del ciclo de vida de la edificación, empalmando estas decisiones con las políticas públicas vigentes de reducción de emisión de CO₂. El gas natural y GLP son los combustibles fósiles de menor emisión, aunque en comparativa con el pellet las emisiones son 16 veces mayor que éste.

A continuación, en la **Figura 41**, se detalla la distribución porcentual por m² de edificio de la HC durante el ciclo de vida de cada combustible y la HC de los materiales utilizados en la envolvente térmica de cada caso estudio.

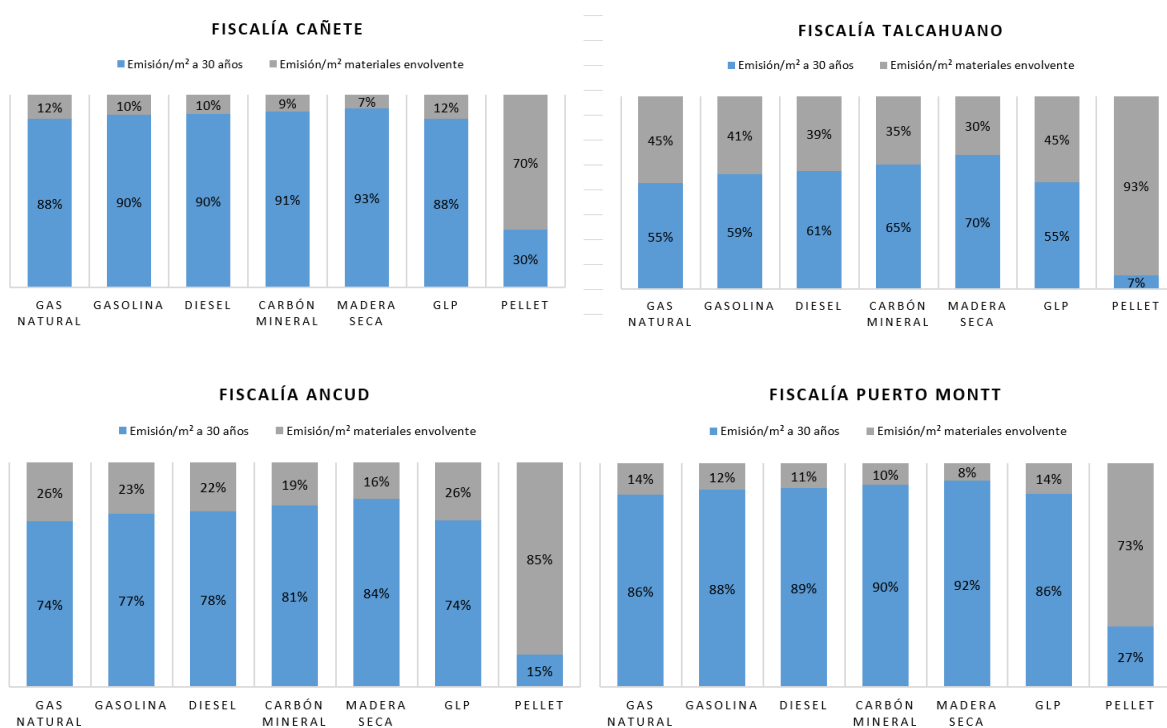


Figura 41: Distribución porcentual de la HC en el ciclo de vida por tipo de combustible.

El impacto mostrado por la HC del pellet en el ciclo de vida permite compensar la huella de carbono de los materiales para el mismo periodo de todos los casos analizados en la figura previa.

5.3 Evaluación del caso estudio Fiscalía Local de Ancud por simulación energética. Implicancias de la incorporación de los TDR en el ciclo de vida de los edificios.

Para determinar la incidencia de la incorporación de los TDR en el análisis del ciclo de vida de la edificación y su aporte en la generación de huella de carbono, se toma como caso representativo el de la Fiscalía local de Ancud. Con él, se procede a simular el edificio mediante el software Design Builder, bajo distintos escenarios de incorporación de aislamiento y su consecuencia en la disminución de la demanda energética para la etapa de uso.

5.3.1 Parámetros de simulación

Para establecer los parámetros de simulación se consideró el tipo de uso del edificio, la carga de ocupación declarada por el administrador, los horarios de uso, entre otros aspectos especificados en el apartado 3.3.1 del presente estudio. En la **Tabla 33**, se detallan los parámetros de simulación.

Tabla 33: Parámetros de simulación caso estudio Fiscalía Local de Ancud.

Cargas, temperaturas y horarios de simulación	Unidad	Valor
Carga de equipos	W/m ²	4.5
Ventilación	l/s m ²	0.5
Infiltración	l/s	6
Carga de iluminación	W/m ²	10
Horario de uso	hora	10 (8:00 – 18:00) (L-V)
Consigna de refrigeración	°C	25
Consigna de calefacción	°C	20
Ocupación (promedio)	personas	30

El archivo de clima para Ancud fue creado mediante el software Meteonorm, a través de la interpolación de los datos históricos de las estaciones meteorológicas de Puerto Montt y Chaitén.

Se establecieron para el mismo caso de estudio cinco escenarios distintos de simulación, los que se detallan en la **Tabla 34**, y que se relacionan con la normativa chilena vigente la cual no considera los edificios de uso público en su regulación. Debido a esto, los escenarios se basan en el cumplimiento de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) la que establece requerimientos para viviendas. El edificio base es de hormigón armado (HA), y los cumplimientos con las exigencias de la normativa se logran a través de la incorporación de aislación térmica por solución constructiva para la mejora de su transmitancia térmica (U).

Tabla 34: Escenarios de Simulación.

Escenario (E)	U muros	U techumbre	U ventanas	U piso en contacto con el terreno
E1. Sin aislación.	3,4 HA	2,67 Cerchas con zincalum	5,89 Vidrio simple y marcos aluminio.	3,3 HA
E2. Aislación de techumbre, cumplimiento OGUC año 2000.	3,4 HA	0,62 130mm EPS	5,89 Vidrio simple y marcos aluminio.	3,3 HA
E3. Cumplimiento OGUC, zona 6.	1,1 25mm EPS	0,62 130mm EPS	5,89 Vidrio simple y marcos aluminio.	3,3 HA
E4. Cumplimiento TDRé.	0,4 90mm EPS	0,25 150mm EPS	2,9 DVH PVC	0,4 90mm EPS
E5. Proyecto	0,1 / 0,19 / 0,35	0,24	1,86	0,29

La incorporación del material aislante, se realizó buscando alcanzar los valores de U requeridos por escenario de estudio, lo que implicó aumentar el espesor de EPS (poliestireno expandido) de densidad estándar (20 kg/m³), para obtener el valor de transmitancia térmica requerida. La utilización de solo EPS en la evaluación de los escenarios, obedece a establecer una línea común para el cálculo de la HC de la envolvente térmica.

5.3.2 Resultados de la simulación.

En la **Figura 42**, a continuación, se compara la demanda resultante para calefacción de cada escenario analizado, graficando al mismo tiempo en porcentaje la reducción de ella en virtud del mejoramiento de la envolvente térmica.

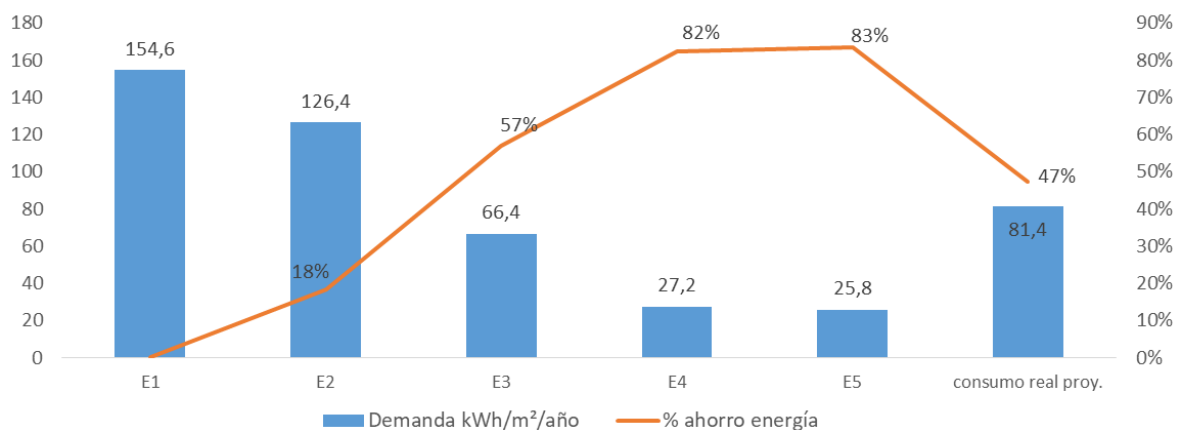


Figura 42: Comparación entre demanda y porcentaje de ahorro de energía.

La figura muestra que a medida se mejora la transmitancia térmica de la envolvente, disminuye la demanda energética, hasta llegar al escenario del proyecto simulado (N°5), donde la reducción llega a un 83% del consumo de energía para el ciclo de vida de la edificación.

El escenario N°1 arroja una demanda de 154,6 kWh/m²/año, la cual disminuye en un 18% solo al incorporar aislación en la techumbre. La reducción más significativa se genera al incorporar los TDRé a la envolvente (escenario N°4), permitiendo una reducción de un 82% de la demanda, calculándose ésta en 27,2 kWh/m²/año, esto es 5.7 veces menos que el escenario N°1 durante el ciclo de vida de la edificación.

Se muestra además en la figura N°42, el caso de estudio simulado (escenario N°5) y los resultados del consumo obtenidos del edificio analizado (“consumo real proy.”), los cuales difieren entre sí por sobre un 300%. Esto podría deberse distintos factores: a los usuarios y sus hábitos energéticos, al administrador y la forma en que se maneja la caldera, a la calidad de la construcción y a una posible variación de la transmitancia térmica propuesta en la etapa de diseño durante la etapa de construcción de la envolvente.

Para relacionar la demanda con la huella de carbono del ciclo de vida de la edificación, se presenta la **Figura 43**, en la que se grafica la HC total de los materiales que componen la envolvente térmica por escenario analizado, contrapuesta con la HC del consumo de combustible para calefacción (pellet), todo graficado por unidad funcional kgCO₂eq/m².

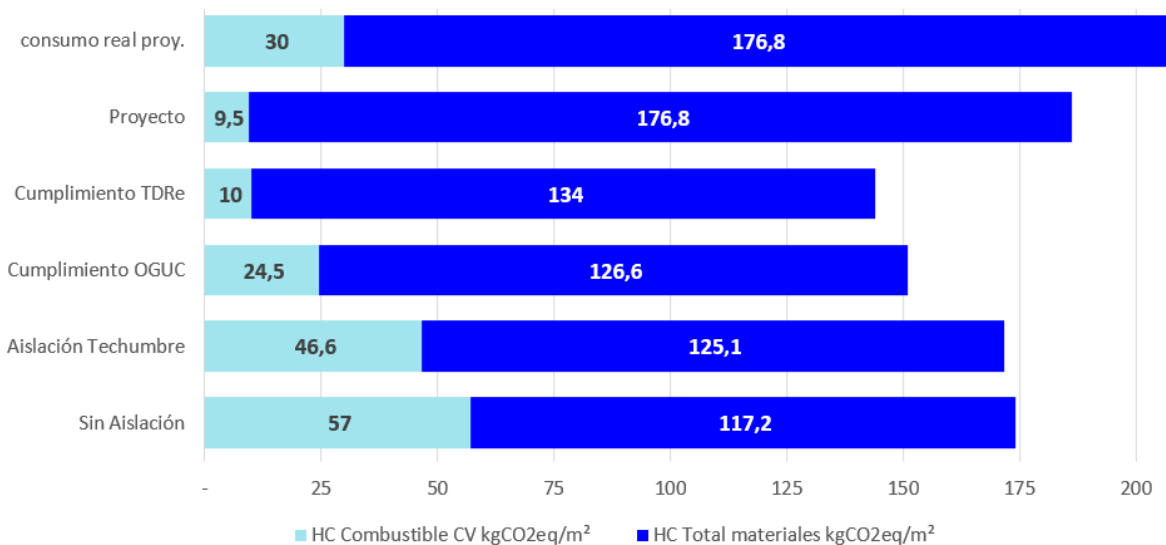


Figura 43: HC de los materiales y consumo combustible (pellet) en el CV por escenario analizado.

En la figura anterior se muestra que, en la medida que se incorpora aislación a la solución constructiva va aumentando la HC de ésta, pero compensándose directamente con la disminución de la HC por consumo durante el ciclo de vida, debido a la baja emisión del combustible (pellet en este caso). Esto implica que desde el punto de vista de la emisión de GEI, la incorporación de los TDR sea sustentable a lo largo del tiempo; sin olvidar los materiales que se utilizan para dar cumplimiento a éstos requerimientos, ya que como se muestra en la **Figura 44**, en el escenario N°5 la emisión de los materiales es mayor debido principalmente a la utilización de poliuretano proyectado por sobre el poliestireno expandido, que como se mencionó en el capítulo 4, tiene una huella de carbono seis veces mayor.

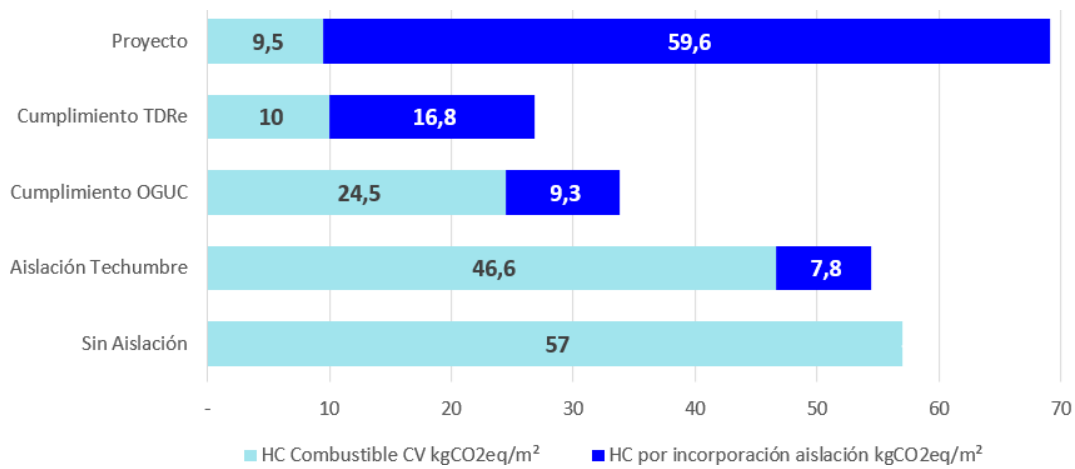


Figura 44: Emisión de HC por incorporación de aislación.

Sin embargo, el poliestireno expandido no es el material aislante de menor huella, muy por el contrario, existen diversos estudios que han analizado comparativamente materiales aislantes para determinar su impacto en la emisión de HC (Kunič, 2017), lo que a la larga permitiría disminuir aún más la HC de la envolvente en conjunto con la HC por demanda energética.

Al realizar el análisis de los 5 escenarios, modificando el combustible de pellet a GLP para la generación de calefacción, se obtienen valores de emisión muy por sobre los vistos previamente. En la **Figura 45**, se grafican los resultados de la HC para el ciclo de vida de la edificación.

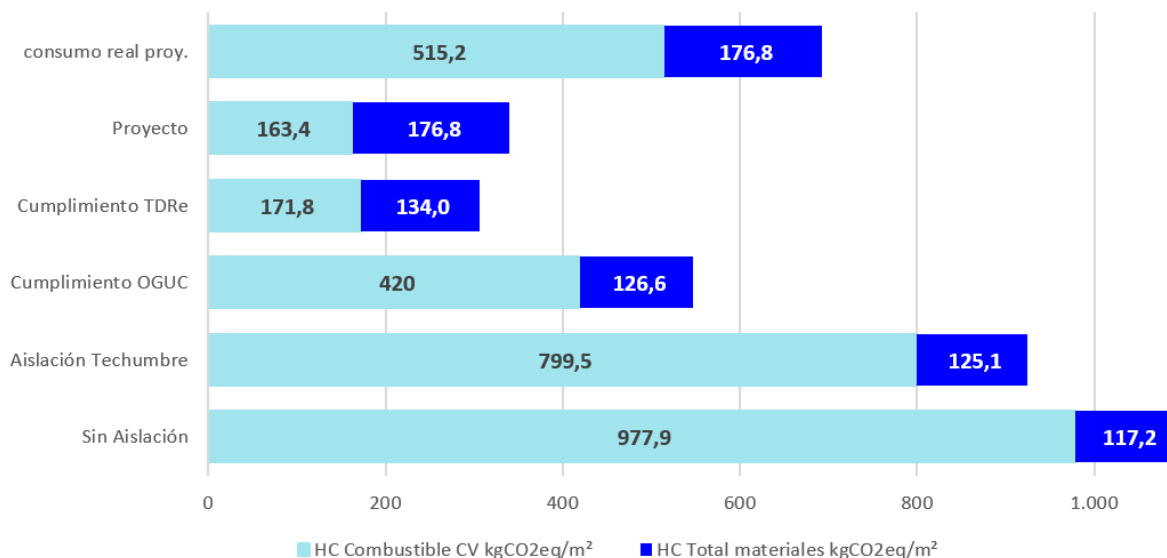


Figura 45: HC de los materiales y consumo combustible (GLP) en el CV por escenario analizado.

Tal como se ha analizado en el presente estudio, al modificar el tipo de combustible a utilizar para calefacción, en este caso de pellet a GLP, la HC por consumo se eleva 17 veces por sobre el valor obtenido para el pellet, superando con esto la HC de los materiales. En la **Figura 46**, se muestra un análisis comparativo de los 5 escenarios analizados, y la HC emitida durante su ciclo de vida (materiales + combustible calefacción) según el tipo de combustible utilizado para calefacción. Lo anterior, con el fin de demostrar que no es suficiente al momento de diseñar un edificio limitar la demanda energética, sino que es importante al mismo tiempo limitar su huella a través de la correcta elección de materiales y de los combustibles a utilizar para su funcionamiento.

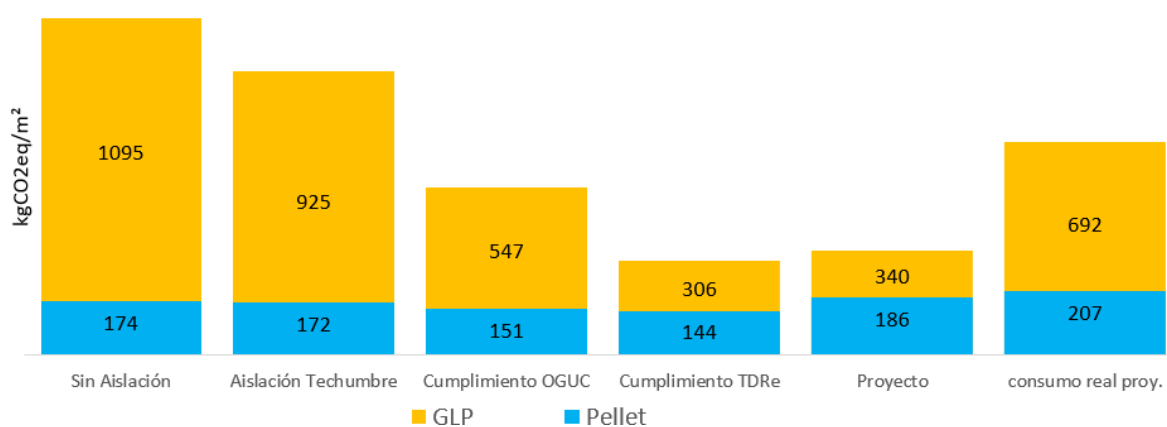


Figura 46: ACV según tipo de combustible y escenario analizado.

6. Conclusiones, limitaciones, contribuciones y futuros estudios.

En el desarrollo de éste capítulo se sintetizarán las principales conclusiones asociadas al estudio realizado y al cumplimiento de los objetivos propuestos, las limitaciones encontradas, las contribuciones de la tesis y futuras líneas de investigación derivadas de ella.

6.1 Conclusiones.

El objetivo de ésta investigación se centró en determinar el impacto producido por la incorporación de los TDRé en las estrategias de diseño (consideradas para este estudio la envolvente térmica y los SAT) de edificios de uso público, en la disminución de generación de GEI en el ciclo de vida del mismo. Los resultados permitieron establecer que solo la incorporación de los TDRé no logra ser suficiente para aportar a la reducción de emisión de GEI según las políticas públicas vigentes, esto considerando que los TDRé no son indicativos en materialidades para cumplir los estándares o en el tipo de combustible a utilizar para la gestión de la climatización durante la etapa de ocupación, la que en consecuencia es la que genera un 80% de la HC durante el ciclo de vida de cada edificio.

Sin embargo, el análisis realizado a distintos escenarios permitió establecer que el aporte de los TDRé en la reducción de la demanda energética es altamente significativo, y que puede llegar a alcanzar un 82% de reducción para el ciclo de vida del edificio. Por consiguiente, los TDRé son una herramienta valiosa en la limitación del consumo energético de edificios públicos, pero que debe ser complementada con un enfoque de análisis de huella de carbono para el ciclo de vida, buscando con esto la compensación entre la limitación de la demanda energética y la generación de CO₂, entre los materiales utilizados y los sistemas de acondicionamiento térmico implementados para el uso.

Lo anterior se basa en lo visto en el capítulo 1 de la investigación, donde se expuso que las políticas públicas actuales apuntan a la disminución en la generación de huella carbono, con el fin de disminuir el impacto del hombre sobre el territorio que habita, y que esto se ha plasmado en la serie de acuerdos y políticas que el estado chileno está implementando. Estimar si los TDRé reducen o no las emisiones en un 20% según las políticas actuales, contenidas en la Estrategia de Construcción Sustentable y en el Plan Nacional de Cambio Climático 2017-2022, no sería estrictamente correcto puesto que los TDRé no tuvieron en su concepción una mirada de

sustentabilidad ambiental, por lo que deben ser complementados con estrategias que incorporen este parámetro, y que permitan poner en valor ambas miradas: la eficiencia energética y la utilización de materiales sustentables.

Al realizar el análisis de los cuatro casos de estudio, que sin preverlo cumplieron íntegramente los parámetros TDRé para envolvente y SAT, se logró determinar que distintas soluciones constructivas permiten dar cumplimiento a los requerimientos de los TDRé para la envolvente térmica. Sin embargo, cada una tiene distintos comportamientos e impactos en el medio ambiente dependiendo de su materialidad, por lo que no es suficiente solo mejorar la envolvente limitando la transmitancia térmica, sino que a esto debe incorporarse una mirada de ciclo de vida e impacto incorporado de los materiales que son utilizados en esa mejora.

Así mismo, la correcta elección del combustible a utilizar para calefaccionar será el elemento de mayor incidencia en la huella generada del edificio, pudiendo con esto invertir incluso las proporciones de la huella de carbono en el ciclo de vida de la edificación, considerando para ello que el principal consumo de energía se centra en la etapa de operación de los edificios (Ramesh, Prakash y Shukla, 2010). Esto se vio demostrado en los SAT que se alimentaban con pellet, los cuales revirtieron la proporción de la huella durante el ciclo de vida del edificio (20% ocupación - 80% materiales promedio), centrando el mayor impacto en la huella de los materiales que componían la envolvente, llevando la discusión a la correcta elección de materiales que limiten la demanda energética, pero que además posean una huella de carbono incorporada baja.

Los resultados de los análisis realizados a los casos de estudio, demuestran la importancia que tienen las decisiones tomadas durante la etapa de diseño del edificio, las cuales hipotecan el comportamiento de éste durante su ciclo de vida.

Se ha evidenciado como parte del análisis de los casos, el alto impacto del hormigón armado, en específico el acero contenido en él, sobre la huella de carbono de la solución constructiva. Esto adquiere relevancia al analizar las características físicas de los edificios públicos construidos en Chile, donde según cifras del INE para el año 2018 un 57% del ambiente construido fue en hormigón armado (INE, 2018). Considerando que Chile es uno de los principales países productores de madera del mundo, y que la madera ha sido declarada como de balance neutro en el combate contra el cambio climático, no sería absurdo fomentar la edificación con esta materialidad estructurante.

Otro de los aspectos vistos durante el desarrollo de la investigación, está dado por el uso y administración de cada edificio. Lo anterior se ve reflejado en el caso de Cañete, donde el consumo se elevó seis veces por sobre la demanda proyectada, esto relacionado a una administración que mantenía la calefacción encendida todo el año en todo horario, sin considerar costos, cantidad de usuarios o requerimientos de estos últimos. En este caso podría haber sido interesante aplicar una encuesta de percepción de confort a los usuarios, para determinar dónde se localizaba el problema: si por una falla de construcción del edificio, infiltraciones, deficiencia en el diseño o simplemente una mala administración. Lo anterior, permite entender que de los cuatro casos analizados éste posea el mayor nivel de consumo de combustible y en consecuencia la mayor huella de carbono, aun cuando las emisiones de los materiales de su envolvente térmica se situaron en segundo lugar de menor emisión.

Finalmente, no sería posible emitir una opinión concluyente sobre si los TDRe permiten disminuir la HC de edificios públicos en un 20%, ya que esto dependerá de los materiales seleccionados y el combustible utilizado para la climatización para dar cumplimiento a los requerimientos de ellos. Si al incorporar los TDRe se suma la mirada sustentable en las elecciones de los elementos antes mencionados, se generarían edificios altamente eficientes y al mismo tiempo sustentables y acordes a las políticas públicas vigentes.

6.2 Limitaciones.

Respecto de las limitaciones encontradas al momento de desarrollar la tesis, se considera como una de las principales, la carencia de DAP chilenas que permitan estimar a cabalidad y en profundidad el impacto real de los materiales utilizados en la construcción en Chile y producidos en este país. Asociado a esto se encuentra la escasa información que se puede encontrar sobre huella de carbono de materiales para la construcción instalados en el norte o sur de Chile, ya que las proporcionadas por la herramienta ÁBACO-CHILE están relacionadas a la ciudad de Santiago, y Chile al ser un país de larga extensión, tendrá impactos por el transporte muy diferentes según donde se emplace el proyecto, y la disponibilidad de las distintas materias primas en ese lugar.

6.3 Contribuciones y futuros estudios.

El aporte de la investigación está centrado en dar a conocer que desde la concepción de diseño de los proyectos se debe considerar los criterios de sustentabilidad, demostrando que la eficiencia

energética por sí sola no es suficiente para enfrentar la crisis climática, sino que debe existir una estrategia de diseño integral que involucre la variable medioambiental.

Se ha realizado un análisis cuantitativo de la emisión de HC de distintos edificios de uso público, lo que permitió establecer que los impactos de la etapa de ocupación pueden ser disminuidos al utilizar combustibles de bajo impacto ambiental para su climatización.

Se ha demostrado que es sumamente importante la correcta elección de las materialidades al momento de diseñar una envolvente térmica, ya que un mismo requerimiento normativo puede alcanzarse con un menor impacto ambiental, y de igual manera este aportara en la disminución de la demanda energética en el ciclo de vida del edificio.

Por último, se ha señalado la responsabilidad que tiene la persona que administra un edificio sobre el consumo de este, y por ende su huella carbono. En este contexto, toma fuerza la figura del gestor energético dentro de cada organización, y como es necesario instaurarlo como un requisito dentro de ellas, como parte de las medidas de mitigación al cambio climático.

Respecto de las líneas de investigación que pueden desarrollarse basadas en esta tesis, se proponen las siguientes:

- Análisis comparativo de distintos sistemas constructivos y materialidades para dar cumplimiento a los TDRe, y la carga medioambiental generada por cada uno de ellos en el ciclo de vida de la edificación.
- Rentabilidad económica y social de la incorporación de criterios de sostenibilidad en edificios de usos público, posibilidades de rentabilizar la inversión en un periodo de retorno de 30 años.
- Implicancias en la administración de un edificio, la importancia de la educación medioambiental y la figura del gestor energético dentro de las organizaciones.
- Valorización de los impactos ambientales durante la fase de operación y mantenimiento de los edificios.

Referencias bibliográficas

- AGENCIA CHILENA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, 2011. Capacidades Caloríficas de distintos combustibles y factores de conversión de Unidades. [en línea]. Santiago de Chile: Disponible en: <http://www.drto.ro.cl/ACHEE/documentos/recursos/DireccionAnexo2.pdf>.
- AIRAKSINEN, M. y MATILAINEN, P., 2011. A Carbon footprint of an office building. *Energies*, vol. 4, no. 8, pp. 1197-1210. ISSN 19961073. DOI 10.3390/en4081197.
- ASIF, M., MUNEEER, T. y KELLEY, R., 2007. Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. *Building and Environment*, ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2005.11.023.
- BARRIOS CORTES, A., 2017. *Análisis y comparación de caldera de biomasa frente a caldera de gas en calefacción*. S.l.: Universidad Carlos III, Madrid.
- BARTON, J.R., 2013. Climate change adaptive capacity in santiago de chile: Creating a governance regime for sustainability planning. *International Journal of Urban and Regional Research*, ISSN 03091317. DOI 10.1111/1468-2427.12033.
- BERGE, B., 2000. The ecology of building materials. *Architectural Press*,
- BLENGINI, G.A. y DI CARLO, T., 2010. Energy-saving policies and low-energy residential buildings: An LCA case study to support decision makers in piedmont (Italy). *International Journal of Life Cycle Assessment*, ISSN 09483349. DOI 10.1007/s11367-010-0190-5.
- BULKELEY, H., 2010. Cities and the Governing of Climate Change. *Annual Review of Environment and Resources*, ISSN 1543-5938. DOI 10.1146/annurev-environ-072809-101747.
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN DE ESTRUCTURAS Y MATERIALES, U. de C., 2014. ECOBASE Construcción. . Santiago de Chile:
- CITEC UBB, 2012. Protocolos estandarizados de medición, procesamiento y análisis de información. En: L. MEZA (ed.), *Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos* [en línea]. 1. Chile: Instituto de la Construcción, pp. 13-28. ISBN 9789568070045. Disponible en: [http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif Publicos_Parte1.pdf](http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif-Publicos_Parte1.pdf).
- CLIMATE ACTION TRACKER, 2019. Climate Action Tracker UPDATE junio 2019. . S.l.:
- DIMOUDI, A. y TOMPA, C., 2008. Energy and environmental indicators related to construction of office buildings. *Resources, Conservation and Recycling*, ISSN 09213449. DOI 10.1016/j.resconrec.2008.09.008.
- DIRECCIÓN DE ARQUITECTURA, M. de O.P., 2016. *Terminos de Referencia Estandarizados de Eficiencia Energética (TDRé)*. 2016. S.l.: s.n.
- DIVISIÓN DE EVALUACIÓN SOCIAL DE INVERSIONES MDS, 2013. Metodología general de preparación y evaluación de proyectos. [en línea]. Santiago de Chile: [Consulta: 10 noviembre 2019]. Disponible en: <http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/download/metodologia-general/?wpdmdl=855>.
- ESTRATEGIA ARAGONESA DEL CAMBIO CLIMATICO y UNIÓN EUROPEA, G. de A., 2019. Cálculo automático de emisiones totales en relación a los consumos energéticos de sus instalaciones. [en línea]. [Consulta: 29 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.camarazaragoza.com/wp-content/uploads/2012/10/calculoemisiones.xls>.
- FENNER, A.E., KIBERT, C.J., WOO, J., MORQUE, S., RAZKENARI, M., HAKIM, H. y LU, X., 2018. The carbon footprint of buildings: A review of methodologies and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 94, no. December 2017, pp. 1142-1152. ISSN 18790690. DOI 10.1016/j.rser.2018.07.012.
- FISCALÍA NACIONAL, 2019. Fiscalía de Chile. [en línea]. [Consulta: 22 septiembre 2019]. Disponible en: <http://www.fiscaliadechile.cl/Fiscalia/quienes/index.jsp>.
- GELLER, H., HARRINGTON, P., ROSENFELD, A.H., TANISHIMA, S. y UNANDER, F., 2006. Polices for

- increasing energy efficiency: Thirty years of experience in OECD countries. *Energy Policy*, ISSN 03014215. DOI 10.1016/j.enpol.2005.11.010.
- GONZÁLEZ, E., CORNEJO, P., CABRERA, R., MARTÍNEZ, R., POULAIN, M., MUCK, P., OSSES, F., CONTRERAS, C.G., ULLOA, P. y SOFÍA YAÑEZ, RUNGRUANGSAKORN., C., 2016. Plan de acción nacional de cambio climático 2017 - 2022. . Santiago de Chile: MInisterio del Medio ambiente.
- GÜERECÁ HERNÁNDEZ, L., CARIUS ESTRADA, C., PADILLA RIVERA, A. y HERRERA PAZ, H., 2016. Evaluación de la Huella de Carbono con enfoque de Análisis de Ciclo de Vida para 12 Sistemas Constructivos. . S.l.:
- HEEREN, N., MUTEL, C.L., STEUBING, B., OSTERMEYER, Y., WALLBAUM, H. y HELLWEG, S., 2015. Environmental Impact of Buildings - What Matters? *Environmental Science and Technology*, ISSN 15205851. DOI 10.1021/acs.est.5b01735.
- INE, 2018. Informe anual 2017 Permisos de Edificación autorizados. [en línea]. S.l.: Disponible en: https://www.ine.cl/docs/default-source/boletines/construccion/2019/español/boletín-sectores-económicos-permisos-de-edificación-autorizada-enero-2019.pdf?sfvrsn=22545bd2_4.
- INN-CHILE, 2008. *NCh 1079 of.2008 Zonificación climático habitacional para Chile*. 2008. Chile: s.n. NCh 1079.
- INSTITUT BAUEN UND UMWELT, 2014a. DAP Espuma de Poliuretano Proyectada. [en línea]. Berlin, Alemania: [Consulta: 2 noviembre 2019]. Disponible en: <https://epd-online.com>.
- INSTITUT BAUEN UND UMWELT, 2014b. Environmental Product Declaration EPS 25KG/m3. [en línea]. Berlin, Alemania: Disponible en: <https://ibu-epd.com/>.
- INSTITUT BAUEN UND UMWELT, 2018a. Environmental Product Declaration EPS 15kg/m3. [en línea]. Berlin, Alemania: Disponible en: <https://ibu-epd.com/>.
- INSTITUT BAUEN UND UMWELT, 2018b. Environmental Product Declaration EPS 20kg/m3. [en línea]. Berlin, Alemania: Disponible en: <https://ibu-epd.com/>.
- INSTITUT BAUEN UND UMWELT, 2018c. Environmental Product Declaration EPS 30kg/m3. [en línea]. Berlin, Alemania: Disponible en: <https://ibu-epd.com/>.
- INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA MADRID, 2016. DOCUMENTO DE IDONEIDAD TÉCNICA PLUS material TRESPA METEON Y TRESPA. [en línea]. Madrid, España: [Consulta: 3 noviembre 2019]. Disponible en: <https://dit.ietcc.csic.es/wp-content/uploads/2016/09/DIT-473p-16-TRESPA-METEON-Val.-25.05.16-22.12.19.pdf>.
- ISO 14044, 2006. *ISO 14040: 2006* [en línea]. 2006. S.l.: s.n. Disponible en: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=37456.
- KOSMOPOULOS, P., 2004. *Environmental design. 2nd ed. Thessaloniki, Greece*. 2004. Greece: University Studio Press.
- KRSTIĆ-FURUNDŽIĆ, A., VUJOŠEVIĆ, M. y PETROVSKI, A., 2019. Energy and environmental performance of the office building facade scenarios. *Energy*, ISSN 03605442. DOI 10.1016/j.energy.2019.05.231.
- KUNIČ, R., 2017. Carbon footprint of thermal insulation materials in building envelopes. *Energy Efficiency*, vol. 10, no. 6, pp. 1511-1528. ISSN 15706478. DOI 10.1007/s12053-017-9536-1.
- MASSON-DELMOTTE, V., ZHAI, P., PÖRTNER, H.-O., ROBERTS, D., SKEA, J., SHUKLA, P.R., PIRANI, A., MOUFOUMA-OKIA, W., PÉAN, C., PIDCOCK, R., CONNORS, S., MATTHEWS, J.B.R., CHEN, Y., ZHOU, X., GOMIS, M.I., LONNOY, E., MAYCOCK, T., TIGNOR, M. y WATERFIELD, T., 2019. Global warming of 1.5°C An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change,. . S.l.:
- MINISTERIO DE ENERGÍA, 2019. Resultados Gestiona Energía 2018. [en línea]. [Consulta: 13

- octubre 2019]. Disponible en: <http://www.gestionaenergia.cl/sectorpublico/resultados-gestiona-energia-2018/>.
- MINVU, 2014. *Estrategia Nacional de Construcción Sustentable*. S.l.: s.n. ISBN 9789569432026.
- MMA, 2018. Tercer Informe Bienal de Actualización de Chile sobre Cambio Climático 2018. [en línea]. Santiago de Chile: Disponible en: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/3rd-BUR-Chile-SPanish.pdf>.
- MOSCHETTI, R., BRATTEBØ, H. y SPARREVIK, M., 2019. Exploring the pathway from zero-energy to zero-emission building solutions: A case study of a Norwegian office building. *Energy and Buildings*, vol. 188-189, pp. 84-97. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2019.01.047.
- MUÑOZ, C., ZAROR, C., SAELZER, G. y CUCHÍ, A., 2012. Estudio del flujo energético en el ciclo de vida de una vivienda y su implicancia en las emisiones de gases de efecto invernadero, durante la fase de construcción Caso Estudio: Vivienda Tipología Social. Región del Biobío, Chile. *Revista de la construcción*, vol. 11, no. 3, pp. 125-145. DOI 10.4067/s0718-915x2012000300011.
- MUÑOZ SANGUINETTI, C., MOLINA CAMPOS, A., VEGA C., M., CERECEDA BALIC, G., PEREZ FARGALLO, A., MARTINEZ ROCAMORA, A., ROCHA RUBILAR, A. y VIDAL, J., 2018. ABACO CHILE, Acceso a Bases Ambientales y Costos. [en línea]. [Consulta: 1 septiembre 2019]. Disponible en: <http://abacochile.cl/>.
- MWASHA, A., WILLIAMS, R. y IWARO, J., 2011. Modeling the sustainable performance of residential building envelope: The role of performance indicator. *Energy and Buildings* [en línea], vol. 43, no. 9, pp. 2108-2117. ISSN 17433541. DOI 10.2495/ST110071. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.04.013>.
- PÉREZ-LOMBARD, L., ORTIZ, J. y POUT, C., 2008. A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2007.03.007.
- PETERSEN RAYMER, A.K., 2006. A comparison of avoided greenhouse gas emissions when using different kinds of wood energy. *Biomass and Bioenergy*, vol. 30, no. 7, pp. 605-617. ISSN 09619534. DOI 10.1016/j.biombioe.2006.01.009.
- PNUD, 2019. Objetivos para el Desarrollo Sostenible. *OBJETIVO 11: CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES* [en línea]. [Consulta: 1 agosto 2019]. Disponible en: <http://www.latinamerica.undp.org/content/rblac/es/home/sustainable-development-goals/goal-11-sustainable-cities-and-communities.html>.
- RAGUÉ MARTI, I., 2011. CONAMA. *conama* [en línea]. Disponible en: www.conama.es.
- RAMESH, T., PRAKASH, R. y SHUKLA, K.K., 2010. *Life cycle energy analysis of buildings: An overview*. 2010. S.l.: s.n.
- RUBIO-BELLIDO, C., PÉREZ-FARGALLO, A. y PULIDO-ARCAS, J.A., 2016. Optimization of annual energy demand in office buildings under the influence of climate change in Chile. *Energy*, ISSN 03605442. DOI 10.1016/j.energy.2016.08.021.
- SAMANIEGO, J. y SCHNEIDER, H., 2010. La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. *CEPAL & República de Francia* [en línea], pp. 46. Disponible en: <http://repositorio.cepal.org:80/handle/11362/3753>.
- SARTORI, I. y HESTNES, A.G., 2007. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and Buildings*, ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2006.07.001.
- VASCONI, P. y LIBERONA, F., 2008. Chile y el Calentamiento Global: Una mirada desde la política pública (RPP 24). *TERRAM* [en línea], pp. 53. Disponible en: www.terram.cl.
- WU, H.J., YUAN, Z.W., ZHANG, L. y BI, J., 2012. Life cycle energy consumption and CO2 emission of an office building in China. *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 17, pp. 105-118. ISSN 09483349. DOI 10.1007/s11367-011-0342-2.

Glosario

ACV	: Análisis de ciclo de vida.
CCVC	: Contaminantes climáticos de vida corta.
CMNUCC	: Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático.
DAP	: Declaración ambiental de producto.
GEI	: Gases de efecto invernadero.
GWP	: Potencial de calentamiento global.
HC	: Huella de carbono.
INGEI	: Inventario nacional de gases de efecto invernadero.
IPCC	: Panel intergubernamental de expertos sobre cambio climático.
MOP	: Ministerio de obras públicas.
MRV	: Monitoreo, reporte y verificación.
NDC	: Contribución nacional determinada.
OCDE	: Organización para la cooperación y el desarrollo económico.
OGUC	: Ordenanza general de urbanismo y construcción.
PNUMA	: Programa de las naciones unidas para el medio ambiente.
SAT	: Sistemas de acondicionamiento térmico.
SNICHILE	: Sistema nacional de inventarios de gases de efecto invernadero de Chile.
TDR_e	: Términos de referencia estandarizados con parámetros de eficiencia energética y confort ambiental.
UF	: Unidad funcional.

Índice de tablas

Tabla 1: Casos de Estudio.....	13
Tabla 2: Objetivos de la estrategia de construcción sustentable.	21
Tabla 3: Comparativa entre distintos estándares de evaluación de GEI en el ACV.	25
Tabla 4: Ámbitos generales y requisitos básicos de los TDRe.....	29
Tabla 5: Valores Límites de U de la envolvente térmica para Zona Climática 6 SL: SUR LITORAL. ...	30
Tabla 6: Valores Límites U para vanos para Zona Climática 6 SL: SUR LITORAL.	31
Tabla 7: Valores Límites de U de la envolvente térmica para Zona Climática 8 SE: SUR EXTREMO. 31	
Tabla 8: Valores Límites de U para vanos para Zona Climática 8 SE: SUR EXTREMO.	32
Tabla 9: Antecedentes generales Fiscalía Local de Cañete.....	35
Tabla 10: Transmitancia térmica (U) de la envolvente v/s requerimientos.....	39
Tabla 11: Porcentaje de vanos por orientación Fiscalía Local de Cañete.	39
Tabla 12: Antecedentes generales Fiscalía Local Talcahuano.....	41
Tabla 13: Transmitancia térmica (U) de la envolvente v/s requerimientos.....	45
Tabla 14: Porcentaje de vanos por orientación Fiscalía Local de Talcahuano.....	46
Tabla 15: Antecedentes generales Fiscalía Local Ancud.....	47
Tabla 16: Transmitancia térmica (U) de la envolvente v/s requerimientos.....	51
Tabla 17: Porcentaje de vanos por orientación Fiscalía Local de Ancud.	52
Tabla 18: Antecedentes generales Fiscalía Local Puerto Montt.....	53
Tabla 19: Transmitancia térmica (U) de la envolvente v/s requerimientos.....	57
Tabla 20: Porcentaje de vanos por orientación Fiscalía Local de Puerto Montt.	57
Tabla 21: Resumen comparativo de valores de U por solución y por proyecto.	59
Tabla 22: Sistemas de acondicionamiento térmico instalados y su consumo anual.	61
Tabla 23: Comparativa entre demanda proyectada y consumo de los edificios.	61
Tabla 24: Principales características de los casos de estudio.	63
Tabla 25: Generación de CO ₂ para 1 tonelada de pellet en su ciclo de vida.....	66
Tabla 26: Calculo HC para solución piso en contacto con el terreno, Fiscalía Local de Talcahuano. 67	
Tabla 27: Emisiones HC solución piso.	68
Tabla 28: Emisiones HC solución muro.	68
Tabla 29: Emisiones HC solución techumbre.	69
Tabla 30: Emisión HC para etapa de ocupación por caso de estudio.	69
Tabla 31: Resumen HC etapa de construcción y operación.....	70
Tabla 32: Emisión HC por m ² de ventana.	74
Tabla 33: Parámetros de simulación caso estudio Fiscalía Local de Ancud.....	79
Tabla 34: Escenarios de Simulación.	80

Índice de figuras

Figura 1: Línea de tiempo, últimos acuerdos internacionales en materia de cambio climático.	15
Figura 2: Inventario Nacional de GEI (INGEI) de Chile: balance de GEI (kt CO ₂ eq) por sector, serie 1990-2016.	17
Figura 3: Inventario Nacional de GEI (INGEI) de Chile: emisiones de GEI total (kt CO ₂ eq) por gas, serie 1990-2016.....	24
Figura 4: Vista exterior fachada Sur Fiscalía Local Cañete.	35
Figura 5: Plano de emplazamiento Fiscalía Local Cañete.....	36
Figura 6: Elevaciones Fiscalía Local Cañete.....	37

Figura 7: Corte tipo Fiscalía Local Cañete	37
Figura 8: Detalle constructivo de radier Fiscalía Local Cañete.....	38
Figura 9: Detalle constructivo de muro y techumbre Fiscalía Local Cañete.....	38
Figura 10: Vista exterior fachada Norte Fiscalía Local Talcahuano.....	41
Figura 11: Plano de emplazamiento Fiscalía Local Talcahuano.....	42
Figura 12: Elevaciones Fiscalía Local Talcahuano.....	43
Figura 13: Corte tipo Fiscalía Local Talcahuano	44
Figura 14: Detalle constructivo de radier Fiscalía Local Talcahuano	44
Figura 15: Detalle constructivo de muro Fiscalía Local Talcahuano	45
Figura 16: Detalle constructivo de techumbre Fiscalía Local Talcahuano	45
Figura 17: Vista exterior fachada Oeste Fiscalía Local Ancud.....	47
Figura 18: Plano de emplazamiento Fiscalía Local Ancud.....	48
Figura 19: Elevaciones Fiscalía Local Ancud.....	49
Figura 20: Corte tipo Fiscalía Local Ancud.....	50
Figura 21: Detalle de radier y muro Fiscalía Local de Ancud.....	50
Figura 22: Detalle muro terminación Promuro Fiscalía Local de Ancud.....	51
Figura 23: Detalle muro y techumbre Fiscalía Local de Ancud.....	51
Figura 24: Vista exterior Fiscalía Local Puerto Montt.....	53
Figura 25: Plano de emplazamiento Fiscalía Local Puerto Montt.....	54
Figura 26: Elevaciones Fiscalía Local Puerto Montt.....	55
Figura 27: Corte tipo Fiscalía Local Puerto Montt.....	55
Figura 28: Detalle de base ventilada y muro terminación Promuro Fiscalía Local de Puerto Montt.....	56
Figura 29: Detalle muro terminación Piedra Pizarra Fiscalía Local de Puerto Montt.....	56
Figura 30: Detalle techumbre Fiscalía Local de Puerto Montt.....	57
Figura 31: Distribución del consumo de energía y la intensidad de consumo promedio anual por tipología de edificio. Fuente: Ministerio de Energía.....	62
Figura 32: Distribución del consumo de energía y la intensidad de consumo promedio anual por Región. Fuente: Ministerio de Energía.....	62
Figura 33: Emisiones por m ² de envolvente térmica.....	72
Figura 34: Análisis porcentual de los principales materiales utilizados en muros, casos sin TDRe..	73
Figura 35: Análisis porcentual de los principales materiales utilizados en muros, casos con TDRe.	73
Figura 36: Análisis % de los principales materiales utilizados en techumbre, casos sin TDRe.....	74
Figura 37: Análisis % de los principales materiales utilizados en techumbre, casos con TDRe.....	75
Figura 38: Emisiones en el ciclo de vida del proyecto (kgCO ₂ eq/m ²).....	75
Figura 39: Distribución porcentual de la HC en el ciclo de vida del edificio.....	76
Figura 40: Variación HC por proyecto según tipo de combustible utilizado.....	77
Figura 41: Distribución porcentual de la HC en el ciclo de vida por tipo de combustible.....	78
Figura 42: Comparación entre demanda y porcentaje de ahorro de energía.....	80
Figura 43: HC de los materiales y consumo combustible (pellet) en el CV por escenario analizado	81
Figura 44: Emisión de HC por incorporación de aislación.....	82
Figura 45: HC de los materiales y consumo combustible (GLP) en el CV por escenario analizado..	83
Figura 46: ACV según tipo de combustible y escenario analizado.....	83

Anexos

A - Encuesta de caracterización de uso del edificio.



Los datos que a continuación se solicitan serán parte de una Tesis de Magister, servirán para determinar el aporte que tienen los edificios construidos por la Dirección de Arquitectura en la disminución del calentamiento global y con ello el cambio climático. Es de gran importancia que las respuestas que detalle sean lo más reales posibles, la información será tabulada y tratada con extrema reserva, si usted desea acceder a los resultados del estudio por favor hágalo saber en los comentarios finales de la encuesta. De antemano muchas gracias por su tiempo.

ENCUESTA DE CARACTERIZACIÓN EDIFICIO

A continuación se presenta la encuesta de caracterización del edificio, la cual busca identificar principalmente parámetros sobre uso, horarios y antecedentes de climatización.

1.- DATOS GENERALES EDIFICIO (a completar por investigador)

Edificio :		_____	
Ubicación :		_____	
Región :	_____	Clima:	_____
Destino y/o uso general: _____			
Año construcción :	_____	Nivel <u>subt.</u>	_____
Superficie :	_____	N° pisos sobre NPT:	_____
Diseño Pasivo	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	
TDRé	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	
Certificación CES	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	
Nivel alcanzado:	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Destacado	<input type="checkbox"/> Sobresaliente

2.- ANTECEDENTES DEL ENCUESTADO

Persona de contacto: _____	
Cargo :	_____
email:	_____
fono:	_____

3.- CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL EDIFICIO

1.- POR FAVOR IDENTIFIQUE A CONTINUACIÓN:

1.1. Identifique los meses del año en que el edificio se encuentra en uso (Ejemplo: de enero a diciembre)
Respuesta:

1.2 Identifique los días de la semana de funcionamientos del edificio (Ejemplo: de lunes a viernes)
Respuesta:

1.3 Horarios de uso del edificio, considerando los horarios típicos de llegada y salida de la mayoría de los funcionarios (ejemplo: de 8am a 18pm)
Respuesta:

2.- Cantidad de personas que trabajan en el edificio _____
 (incluya personal directo y externo, que esta diariamente en el edificio)

3.- Principales tareas que desempeñan _____
 Ej.: Trabajo de oficina, actividad aeróbica, cocinar, estudio, etc)

4.- ¿Su edificio recibe público? SI NO

4.1.- Si su respuesta fue sí, ¿Cuánto público aproximado recibe diariamente?
 Respuesta:

4.2.- ¿Existe un horario específico en que se recibe público? ¿Cuál?
 Respuesta:

5.- Indique a continuación las actividades más habituales que se realizan en su edificio.
 Ejemplo:
 Función Habitual: Atención de público; Descripción: se reciben usuarios de 9 a 14 hrs.

Funciones más habituales	Descripción

6.- Por favor indique la cantidad de personas aproximadas que circulan en su edificio, según la clasificación que se propone a continuación (si existen otras personas que debe identificar por favor use "otros").

Nº de Usuarios según tarea:	<i>Cantidad</i>	<i>(inicio -término)</i>
Funcionarios	_____	Horario de Ocupación _____
Público General	_____	Horario de Ocupación _____

Personal externo (seguridad, aseo) _____	Horario de Ocupación _____
Otros (identificar) _____	Horario de Ocupación _____
Otros (identificar) _____	Horario de Ocupación _____
Observaciones:	

4.- INFORMACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN

Responda las siguientes preguntas con Sí ó No en la casilla correspondiente.			
1.- El edificio cuenta con:	2.- La usa de forma habitual?	3.- ¿A qué hora la prende?	4.- ¿A qué hora la apaga?
Calefacción <input type="checkbox"/>	Calefacción <input type="checkbox"/>		
Refrigeración <input type="checkbox"/>	Refrigeración <input type="checkbox"/>		
Ventilación mecánica <input type="checkbox"/>	Ventilación mecánica <input type="checkbox"/>		
5.- Puede usted manipular el funcionamiento de alguno de estos sistemas:			<input type="checkbox"/>
5.1 Si manipula algunos de los sistemas, por favor indicar cuál y la razón: Aire Acondicionado:			
Calefacción:			
6.- Los funcionarios deben acudir a equipos propios para sentirse confortables?			<input type="checkbox"/>
6.1.- Si su respuesta es sí, cuan a menudo los funcionarios utilizan estos artefactos (indicar % de tiempo al año calculado en base a las horas de funcionamiento del edificio): Generar Frío:			
Generar Calor:			
7.- Existen a la fecha reclamos o comentarios de los funcionarios por disconfort (pasar frío o calor) en el edificio?			<input type="checkbox"/>
7.1.- Si la respuesta es sí, podría identificar el origen del comentario (asociado al disconfort): Respuesta:			

5.- CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN

A.- GENERACIÓN DE CALOR

1.- Tipo de sistema de generación calor:	
2.- POR FAVOR IDENTIFIQUE A CONTINUACIÓN: 2.1. Identifique los <u>meses del año</u> en que la calefacción se encuentra en uso: Respuesta: 2.2 Identifique los <u>días de la semana</u> en que la calefacción se encuentra en uso: Respuesta: 2.3 Identifique los <u>Horarios</u> en que la calefacción se encuentra en uso: Respuesta:	
3.- Existen equipos generadores de apoyo: (EJEMPLO: Estufas individuales, calefactores, etc) Responda: Si o NO.	
3.1 Cuáles y cuántos :	
_____	_____
_____	_____
_____	_____
4.- Combustible utilizado para la generación:	_____
5.- Consumo anual :	_____
6.- Presupuesto anual por concepto de calefacción:	_____
7.- ¿Considera que este presupuesto es suficiente? ¿Por qué?:	

B.- GENERACIÓN DE FRÍO

1.- Tipo de sistema de generación frío:	
2.- POR FAVOR IDENTIFIQUE A CONTINUACIÓN: 2.1. Identifique los meses del año en que el aire acondicionado se encuentra en uso: Respuesta: 2.2 Identifique los días de la semana en que el aire acondicionado se encuentra en uso: Respuesta: 2.3 Identifique los Horarios en que el aire acondicionado se encuentra en uso: Respuesta:	
3.- Existen equipos generadores de apoyo: (Ejemplo: ventiladores. Aire acondicionado, etc) Responda: Si o NO.	
3.1 Cuáles y cuántos :	
_____	_____
_____	_____
_____	_____

4.- Combustible utilizado para la generación:	_____
5.- Consumo anual :	_____
6.- Presupuesto anual por concepto de enfriamiento:	_____
7.- ¿Considera que este presupuesto es suficiente? ¿Por qué?:	
8.- Observaciones:	

6.- PREGUNTAS ABIERTAS.

6.1 ¿Qué conocimiento tiene Usted sobre el diseño de eficiencia energética del edificio? ¿Influye este en el uso diario?

Respuesta:

6.2 Los usuarios (trabajadores del edificio) ¿saben sobre el diseño de eficiencia energética del edificio? ¿Influye esto en el uso diario del edificio?

Respuesta:

Si desea hacer algún comentario extra sobre la encuesta por favor hágalo a continuación, de lo contrario agradezco su tiempo y colaboración.

Saluda atentamente a Usted,

Daniela Kairies Alvarado, Arquitecto, Master@ Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética.

Comentarios:

B - Cálculos de Huella Carbono por caso estudio.

FISCALÍA LOCAL DE CAÑETE - CALCULO HUELLA DE CARBONO SOLUCIÓN ENVOLVENTE TÉRMICA

Código ABACO	ESPECIFICACIONES DE OBRAS	UN	CANT.	Emisiones de GEI (kgCO ₂ eq)/un	Emisiones totales (kgCO ₂ eq)
	Base en contacto con el terreno				
DAP	EPS 60mm 40kg/m ³	m ²	233,7	5,80	1.355,9
DKW0002	Coloc/aislación humedad/polietileno manga 2x60m ² e=0,02cm	m ²	233,7	0,85	198,8
EcoBase	Radier con malla acma, e=10cm	m ²	233,7	25,63	5.988,8
DJH0002	Conf/afinado piso/mortero liviano y pintura epóxica	m ²	233,7	1,27	295,6
	Muro 1 EIFS 100mm				
DIC0023	Coloc/empastado muro/pasta muro con yeso	m ²	386,7	0,02	9,3
DIA0022	Conf/estuco interior 1:4/e=2cm	m ²	386,7	0,21	82,8
EcoBase	Muro HA	m ³	77,3	408,65	31.606,6
DIW0578 + DAP	EIFS 100mm 30kg/m ³	m ²	386,7	13,07	5.054,0
DIA0021	Conf/estuco en muro grano perdido 1:3	m ²	386,7	0,25	95,6
	Muro 2 EIFS 60mm				
DIG0002	Coloc/rev/plancha yeso cartón 15mm	m ²	34,8	0,89	30,8
DHB0001	Conf/Estructura metalcon (C61x20x0,5mm)(montante 60x38x0,5mm)	m ²	34,8	0,38	13,4
EcoBase	Tablero OSB 15mm	m ²	34,8	6,61	230,0
DIF0244	fibrocemento instalado 4mm	m ²	34,8	0,07	2,3
MTIIA0046	Sum/coloc/membrana hidrofuga respirable	m ²	34,8	7,27	252,9
DIW0579 + DAP	EIFS 60mm 30kg/m ³	m ²	34,8	9,20	320,2
DIA0021	Conf/estuco en muro grano perdido 1:3	m ²	34,8	0,25	8,6
	Techumbre SIP 160mm				
CCB0006	Losa HA	m ³	35,1	399,20	13.994,0
DHB0001	Conf/Estructura metalcon (Cerchas)	m ²	233,7	0,76	177,6
DHB0001	Conf/Estructura metalcon (costaneras)	m ²	233,7	0,19	44,4
DKW0022 + DAP	PANEL SIP 160mm 30kg/m ³	m ²	233,7	28,70	6.704,6
MTIIA0046	Membrana hidrofuga Tyvek	m ²	233,7	7,27	1.698,2
CFC0019	Sum/coloc/cubierta plancha zincalum PV-6 prepintado/0,5mm	m ²	233,7	5,87	1.370,8
	ventanas				
-	Ventana termopanel de aluminio	m ²	129,0	64,40	8.310,2
EMISIONES DE GEI TOTAL (kgCO₂eq)					77.845,5

**FISCALÍA LOCAL DE TALCAHUANO - CALCULO HUELLA DE CARBONO SOLUCIÓN ENVOLVENTE
TÉRMICA**

Código ABACO	ESPECIFICACIONES DE OBRAS	UN	CANT.	Emisiones de GEI (kgCO ₂ eq)/un	Emisiones totales (kg CO ₂ eq)
	Piso contacto Terreno				
DAP	EPS 70mm 40kg/m3	m2	483,6	9,67	4.677,4
DKW0002	Coloc/aislación humedad/polietileno manga 2x60m2 e=0,02cm	m2	483,6	0,85	411,5
EcoBase	Losa HA	m3	72,5	399,20	28.958,0
EcoBase	sobrelosa 50mm	m2	483,6	0,61	297,4
DJF0002	Sum/coloc/porcelanato 40x40cm	m2	483,6	2,50	1.207,5
	Muro Promuro 70mm				
DIC0023	Coloc/empastado muro/pasta muro con yeso	m2	880,1	0,02	21,1
EcoBase	Muro HA	m3	176,0	408,65	71.930,6
DIW0580 + DAP	Promuro 70mm 25kg/m3	m2	880,1	6,94	6.103,8
DIA0021	Conf/estuco en muro grano perdido 1:3	m2	880,1	0,25	217,7
DAP	Terminación en TRESPA METEON	m2	493,9	16,11	7.956,7
	Techumbre transitable				
DIG0002	Coloc/rev/plancha yeso cartón 12mm	m2	483,6	0,89	428,0
DIW0002	Coloc/rev/cielo modular perfil metálico u/grilla 60x60cm sobre perfilera 9/16"	m2	483,6	1,22	589,5
EcoBase	Losa HA	m3	72,5	399,20	28.958,0
DHB0001	Conf/Estructura metalcon (Cerchas)	m2	483,6	0,76	367,5
DAP	Membrana Poliuretano proyectado	m2	483,6	2,12	1.026,3
DAP	EPS 150mm 25kg/m3	m2	483,6	12,06	5.833,7
MTIIA0046	Membrana hidrofuga Tyvek	m2	483,6	7,27	3.514,8
-	Malla de Metal C92C	m2	483,6	2,68	1.295,3
CFW001	Sobrelosa 50mm	m2	483,6	0,61	297,4
DAP	Membrana Poliuretano transitable	m2	483,6	4,24	2.052,6
	ventanas				
-	Ventana termopanel de aluminio	m2	441,5	275,70	121.721,6
EMISIONES DE GEI TOTAL (kgCO₂eq)					287.866,3

FISCALÍA LOCAL DE ANCUD - CALCULO HUELLA DE CARBONO SOLUCIÓN ENVOLVENTE TÉRMICA

Código ABACO	ESPECIFICACIONES DE OBRAS	UN	CANT.	Emisiones de GEI (kgCO2eq)/un	Emisiones totales (kg CO2eq)
	Base en contacto con el terreno				
DKW0002	Coloc/aislación humedad/polietileno manga 2x60m2 e=0,02cm	m2	237,0	0,85	201,7
DAP	70mm 30kg/m3	m2	237,0	6,77	1.604,6
DKW0002	Coloc/aislación humedad/polietileno manga 2x60m2 e=0,02cm	m2	237,0	0,85	201,7
Ecobase	Radier con malla acma, e=10cm	m2	237,0	25,63	6.074,7
CCB0042	sobrelosa 50mm	m2	237,0	0,61	145,7
DJH0002	Conf/afinado piso/mortero liviano y pintura epóxica	m2	237,0	1,27	299,8
	Muro 1 Poliuretano + Trespa				
DIC0023	Coloc/empastado muro/pasta muro con yeso	m2	135,8	0,02	3,3
CCB0008	Muro HA	m3	27,2	408,65	11.098,9
DHB0001	Conf/Estructura metalcon (C61x20x0,5mm) (montante 60x38x0,5mm)	m2	135,8	0,38	52,1
DAP	Poliuretano proyectado 100mm	m2	135,8	42,44	5.763,9
MTIIA0046	Membrana hidrofuga Tyvek	m2	135,8	7,27	987,0
DAP	Terminación en TRESPA METEON	m2	135,8	16,11	2.187,7
	Muro 2 Poliuretano + Pizarra				
DAP	Poliuretano proyectado 100mm	m2	207,8	42,44	8.819,9
CCB0008	Muro HA	m3	41,6	408,65	16.983,5
DHB0001	Conf/Estructura metalcon (C61x20x0,5mm)(montante 60x38x0,5mm)	m2	207,8	0,38	79,8
DAP	Poliuretano proyectado 100mm	m2	207,8	42,44	8.819,8
DIE0016	Terciado Estructural 15,1mm	m2	207,8	5,52	1.147,1
MTUUE003	Sum/coloc/membrana hidrofuga aislante polietileno aluminio acústico DURAFoil	m2	207,8	1,76	364,8
DJG0003	Sum/coloc/cerámica piso 40x40cm piedra pizarra	m2	207,8	2,25	467,6
	Muro 3 Promuro 100mm				
DIC0023	Coloc/empastado muro/pasta muro con yeso	m2	110,2	0,02	2,6
CCB0008	Muro HA	m3	22,0	408,65	9.006,6
DIW0577 + DAP	Promuro 100mm 20kg/m3	m2	110,2	7,69	847,7
DIA0021	Conf/estuco en muro grano perdido 1:3	m2	110,2	0,25	27,3

	Techumbre lana mineral				
CFC0019	Sum/coloc/cubierta plancha zincalum PV-6 prepintado/0,5mm	m2	237,0	5,87	1.391,2
DHB0001	Conf/Estructura metalcon (Cerchas)	m2	237,0	0,76	180,1
DHB0001	Conf/Estructura metalcon (costaneras)	m2	237,0	0,19	45,0
MTUUE0003	Sum/coloc/membrana hidrofuga aislante polietileno aluminio acústico DURAFOL	m2	237,0	1,76	416,0
DIE0016	Terciado Estructural 18,1mm	m2	237,0	6,63	1.571,3
DKM0001	Lana 100mm con papel ambas caras X2	m2	237,0	3,47	821,5
DIW0002	Coloc/rev/cielo modular perfil metálico u/grilla 60x60cm sobre perfilera 9/16"	m2	237,0	1,22	288,9
DIG0002	Coloc/rev/plancha yeso cartón 12mm	m2	237,0	0,89	209,7
	ventanas				
-	Ventana termopanel de PVC	m2	66,9	64,40	4.308,4
EMISIONES DE GEI TOTAL (kgCO₂eq)					84.419,9

FISCALÍA LOCAL DE PUERTO MONTT - CALCULO HUELLA DE CARBONO SOLUCIÓN ENVOLVENTE TÉRMICA

Código ABACO	ESPECIFICACIONES DE OBRAS	UN	CANT.	Emisiones de GEI (kgCO ₂ eq)/un	Emisiones totales (kg CO ₂ eq)
	Piso Ventilado (SUBTERRÁNEO)				
DIA0020	Conf/estucos 1:4	m2	311,2	0,02	6,5
DHB0001	Conf/Estructura metalcon (montante)	m2	311,2	0,19	59,1
DAP	Sum/coloc/poliestireno expandido 50mm 20kg/m3	m2	311,2	3,19	993,7
CCB0006	Losa HA	m3	46,7	399,20	18.635,9
CCB0042	sobrelosa e:50mm	m2	311,2	0,61	191,4
DJF0002	Sum/coloc/porcelanato 40x40cm	m2	311,2	2,50	777,1
	Muro 1 poliuretano				
DIW0575	pedra pizarra	m2	753,9	2,25	1.696,3
MTIIA0046	Membrana hidrofuga Tyvek	m2	753,9	7,27	5.479,3
DIE0016	Terciado Estructural 18,1mm	m2	753,9	6,63	4.998,4
DHB0001	Conf/Estructura metalcon (C61x20x0,5mm)(montante 60x38x0,5mm)	m2	735,9	0,38	282,6
DAP	Poliuretano proyectado 50mm	m2	753,9	21,22	15.999,2
CCB0008	Muro HA	m3	150,8	408,65	61.616,2
DIC0023	Coloc/empastado muro/pasta muro con yeso	m2	753,9	0,02	18,1
	Muro 2 promuro				
DIB0001	Conf/enlucido de yeso en muros y cielos/e=10mm	m2	235,6	0,87	204,8
CCB0008	Muro HA	m3	47,1	408,65	19.258,9

DIW0576 + DAP	Promuro 75mm 20kg/m3	m2	235,6	6,34	1.494,5
	Techumbre Poliestireno habitable				
DIW0575	piedra pizarra	m2	419,4	2,25	943,7
MTIIA0046	Membrana hidrofuga Tyvek	m2	419,4	7,27	3.048,2
DIE0016	Terciado Estructural 15,1mm	m2	419,4	5,52	2.315,1
DAP	200mm EPS 20kg/m3	m2	419,4	12,77	5.356,6
DHA0003	Vigas de madera encolada	m3	11,5	368,30	4.242,8
DIG0002	Coloc/rev/plancha yeso cartón 12mm	m2	419,4	0,89	371,2
DIC0023	Coloc/empastado muro/pasta muro con yeso	m2	419,4	0,02	10,1
	ventanas				
-	Ventana termopanel de PVC	m2	451,3	77,30	34.885,5
EMISIONES DE GEI TOTAL (kgCO₂eq)					182.885,1