



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO

Título:

La rehabilitación energética de establecimientos educacionales como aporte en la disminución de la polución producida en áreas urbanas ambientalmente saturadas; El caso de Osorno.

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

AUTOR: Arq. Juan Carlos Arenas Molina

PROFESOR GUÍA: Dra. Maureen Trebilcock

CONCEPCION, 15 de Agosto de 2016

Resumen

La zona sur de Chile se caracteriza por poseer un clima con temperaturas bajas durante gran parte del año, sin embargo las edificaciones existentes no cuentan con aislación térmica adecuada y los establecimientos educacionales, al igual que el resto de la población, utilizan sistemas de calefacción deficientes que emiten altas concentraciones de material particulado contribuyendo a deteriorar la salud humana; debido a esto, la presencia de polución por sobre la norma vigente ha provocado que dichas ciudades sean declaradas “saturadas ambientalmente”.

La presente investigación busca estimar la disminución de polución que se lograría al rehabilitar energéticamente a las edificaciones de uso educacional existentes, tipología que dentro del ámbito de la arquitectura de uso público es identificada como una de las mayores emisoras de material particulado.

Para demostrar esta hipótesis se realizaron simulaciones dinámicas a un caso de estudio representativo, aplicando los estándares de aislación térmica vigentes en el país con tal de evaluar el comportamiento energético para luego calcular - utilizando factores de emisión de los sistemas de calefacción- la relación entre el grado de rehabilitación y la cantidad de polución que dejaría de producir.

Como resultado, se estimó que considerando el estándar con el mejor comportamiento térmico pasivo, sumado a un recambio por sistemas eficientes de calefacción a biomasa, la polución se lograría disminuir en un 92,3% para PM 2.5, situación que al ser extrapolada al universo de establecimientos educacionales en el área urbana de Osorno, lograría reducir desde las 11.4 toneladas de PM2.5 emitidas anualmente, a una cantidad de 0,88 toneladas en el mismo periodo.

Palabras claves: Polución ambiental, rehabilitación energética, arquitectura educacional.

Abstract

The southern area of Chile is characterized by a climate with low temperatures almost the year-round. However, the kinds of buildings, including schools, do not have adequate thermal insulation and also use deficient heating systems emitting high concentrations of breathable particulate matter, which is harmful for human health. This high level of pollution exceeds the current standard, reason why many cities have been declared as "environmentally saturated cities".

This research seeks to estimate how much the breathable particulate matter might decrease if efficient systems of thermal insulation were implemented in school buildings, which according to architecture studies, are one of the biggest emitters of air pollutants among public buildings in Chile.

To prove this hypothesis, dynamic simulations were conducted to a representative case of study that complies with the national current standard of thermal insulation. These simulations were compared with the energy performance of school buildings in order to calculate the amount of air pollution that school buildings would stop producing.

The results show that the standard with the best passive heat insulation performance, in addition to a replacement by efficient systems of biomass heating, would decrease the emission of breathable particulate matter in a 92, 3% for PM 2.5. By extrapolating this scenario to Osorno city, the results reveal that the emissions would decrease from 11.4 tons of PM2.5 annually emitted to 0.88 tons in the same period.

Keywords: Environmental pollution, energy rehabilitation, educational buildings.

Índice de temas

Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1. Relevancia del problema.....	2
1.2. Hipótesis.....	3
1.3. Objetivo general.....	4
1.4. Objetivos específicos	4
Capítulo 2. Marco teórico de la rehabilitación energética de edificios.....	5
2.1 Contexto internacional de la rehabilitación.....	5
2.2 Situación en Chile, políticas de acondicionamiento térmico y parámetros energéticos para edificación educacional.....	13
2.2.1. Ordenanza general de urbanismo y construcción (O.G.U.C.).....	13
2.2.2. Norma chilena oficial Nº 1079/2008.....	14
2.2.3. Guía de eficiencia Energética para Establecimientos Educativos.....	16
2.2.4. Plan de descontaminación Osorno.....	17
2.2.5. Comparativo de parámetros prescriptivos utilizados	17
Capítulo 3. Relación entre Polución ambiental y edificación	19
3.1 Problemática de polución ambiental en ciudades del sur de Chile.....	19
3.2 Impacto de lo edificado sobre la polución.....	23
3.3 Emisión según tipo de artefactos.....	27
3.4 Plan de descontaminación para la ciudad de Osorno.....	29
Capítulo 4. Evaluaciones	32
4.1 Selección de caso de estudio.....	32
4.2 Simulación dinámica de la demanda energética para el caso existente.....	36
4.2.1. Parámetros fijos de simulación.....	37
4.2.2. Resultado simulación energética caso existente.....	38
4.2.3. Estimación del material particulado emitido del caso base.....	40
4.3 Parámetros para rehabilitación térmica	41
4.4 Simulación dinámica de los parámetros de rehabilitación energética.....	41
4.5 Calculo estático de la disminución del consumo y cantidad de materiales particulado generado.....	43
4.6 Resumen comparativo de resultados polución MP 2.5 anual.....	45
4.7 Extrapolación de resultados.....	46
4.8 Evaluación económica.....	47
Capítulo 5. Conclusiones.....	49
5.1 Futuras líneas de investigación.....	50
Capítulo 6. Referencias bibliográficas	51

Capítulo 7. Anexos	53
7.1 Anexo A: Datos Climatológicos	53
7.2 Anexo B: Características del modelo simulado en Software	57
7.3 Anexo C: Descripción sistema E.I.F.S utilizado como solución constructiva para parámetros estudiados.....	59
7.4 Anexo D: Configuración de envolventes térmicas estudiadas.....	60
7.5 Anexo E: Desglose de la simulaciones realizadas.....	69

Índice de figuras

Figura 1: Proporción de construcción de viviendas nuevas respecto al parque total de viviendas (Baek y Park 2012).....	5
Figura 2 Consumo de energía para calefacción en los edificios.....	6
Figura 3 Simulación de 4 edificios educacionales en Londres (Bull et al. 2014)	7
Figura 4: Tipología de escuela construida en Portugal entre los años 1940 al 1960	8
Figura 5: Estimación de demanda energética para calefacción según las 3 zonas climáticas de Portugal, de acuerdo a situación original y con situación propuesta de reacondicionamiento (Carlos y Corvacho 2010).....	9
Figura 6: Escuelas seleccionadas en Alemania para el estudio de rehabilitación energética (Reiss 2014).....	9
Figura 7: Balance de energía según sistema “3 litre Building estándar” obtenido en la escuela de Olbersdorf (Reiss 2014).....	10
Figura 8: Balance de energía según sistema “Energy Plus School”, obtenido en la escuela de Rostock (Reiss 2014).....	11
Figura 9 Zonificación climática Según Nch 1079/2007 , fuente Guía de eficiencia Energética para Establecimientos Educacionales (CITEC UBB 2012)	15
Figura 10: Ciudad de Osorno inmersa en polución ambiental, fuente Diario electrónico http://www.soychile.cl/osorno	20
Figura 11 Concentraciones anual (2014) de MP2,5 en Estaciones de Monitoreo	22
Figura 12: Aporte porcentual de emisiones de MP2,5 por institución	24
Figura 13: Porcentaje de consumo de combustibles sólidos (leña) de Establecimientos Municipales	25
Figura 14: Consumo de Combustibles Sólidos Escuelas y Liceos Municipales periodo 2010-2014 (SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE 2014).....	25
Figura 15 Consumo de leña Rubro Educación privada.....	26
Figura 16 Laboratorio de emisiones de la Universidad Católica de Temuco	27
Figura 17 Polígonos de emergencia ambiental elaborado por la Seremi de salud Región de los lagos	32
Figura 18 Utilización de calefactor unitario tipo combustión lenta de leña al interior de aula en ..	33
Figura 19 Almacenaje de leña en liceo Carmela Carvajal, elaboración propia.	33
Figura 20 Planta de arquitectura general liceo Carmela Carvajal	34
Figura 21 Fotografías del establecimiento caso de estudio, elaboración propia.	35
Figura 22 Imágenes del establecimiento simulado mediante software <i>Design builder</i> ©, elaboración propia.	36
Figura 23 infografía resumen de polución anual producida por el establecimiento en estudio.	40
Figura 24 Infografía resumen comparativa de la estimación para la disminución de emisiones por estrategias de rehabilitación energética, elaboración propia.....	45

Índice de gráficos

Gráfico 1 Comparativo de Valor U máximo para elementos constructivos, elaboración propia.	18
Gráfico 2 Demanda energética anual del caso base existente, elaboración propia.	38
Gráfico 3 Balance ganancias versus pérdidas térmicas, elaboración propia.	39
Gráfico 4 demanda energética anual para los parámetros simulados	41
Gráfico 5 Demanda energéticas en kWh/m ² de los casos simulados.	42
Gráfico 6 comparación de PM 2,5 producida de acuerdo a parámetros de envolvente térmica y sistema de calefacción, en kilos por año.	44
Gráfico 7 Extrapolación de la disminución de polución PM 2.5 según estándar de envolvente térmica y sistema de calefacción al universo de la ciudad con uso educacional (kg. al año).	46

Índice de Tablas

Tabla 1 comparación del valor de transmitancia térmica entre la situación original y la propuesta. Elaboración propia en base a Carlos y Corvacho (2010).	8
Tabla 2: Valores promedios de transmitancia térmica de los 5 establecimientos intervenidos.	10
Tabla 3 Demanda de energía antes y después de la rehabilitación para los 5 establecimientos estudiados (Reiss 2014).....	11
Tabla 4 Valores de resistencia y transmitancia según art. 4.1.10 de la O.G.U.C.	13
Tabla 5 porcentaje máximo de área vidriadas en relación a fechadas	14
Tabla 6 Valores máximos recomendados de transmitancia térmica , valor U, según anexo A de la 14	
Tabla 7 Parámetros recomendados de acuerdo a zonificación climática Nch 1079/2007 , fuente Guía de eficiencia Energética para Establecimientos Educativos (CITEC UBB 2012).....	16
Tabla 8 Valor U límite según plan descontaminación Osorno	17
Tabla 9: Efectos adversos de los contaminantes aéreos sobre el sistema respiratorio (Oyarzún 2010).....	21
Tabla 10 Estimación de emisiones por rubro para la ciudad de Osorno,	24
Tabla 11 Factores de emisión de MP 2,5 y MP 10 según tipo de artefacto utilizando leña seca	28
Tabla 12 Rendimiento térmico de artefactos a leña, fuente Universidad católica de Temuco y Universidad de Concepción.....	28
Tabla 13 Cálculo para estimación de emisión producida para el caso de estudio.....	40
Tabla 14 parámetros utilizados para simulación de rehabilitación	41
Tabla 15 comparativa demanda energética.....	42
Tabla 16 Cálculo para estimación de emisión producida de acuerdo a parámetros para envolvente en consideración del sistema de calefacción existente (combustión lenta).....	43
Tabla 17 Cálculo para estimación de emisión producida de acuerdo a parámetros para envolvente en consideración del recambio del sistema de calefacción, utilizando pellet.	44

Capítulo 1. **Introducción**

El panorama nacional referido a las políticas de eficiencia energética en la edificación, ha concentrado sus esfuerzos en las estrategias y problemáticas para los nuevos proyectos, intentando corregir en lo actual, lo ausente de las planificaciones edilicias del pasado, proyectando una situación optimista para la disminución del consumo energético a futuro. Ahora bien, cabe preguntarse qué pasará con todo el universo de lo edificado con anterioridad a la preocupación por los temas energéticos en la Arquitectura. Esta situación nos plantea interrogantes acerca del cómo se abordaría la mirada hacia lo existente, entendiendo que lo edificado en la mayoría de los casos aun presta la utilidad arquitectónica para lo que fue construido y que por tanto, no se justificaría una simple supresión de lo existente reemplazándola por nuevos edificios. Respecto a esto, McNicholl, A.; Lewis, J. Owen (2012) nos comentan en el libro “un Vitrubio ecológico”:

“Reutilizar un edificio existente es una de las estrategias sostenibles más eficaces que existen. Reduce los materiales, la energía y la contaminación que supondría construir un edificio nuevo, y evita los nuevos servicios e infraestructura necesarios en un emplazamiento sin construir” (Energy Research Group y Sanmiguel Sousa 2007).

Acerca de lo existente y su relación con el consumo de energía, en Chile según el balance nacional de energía 2013, un 27,1 % del consumo corresponde al sector de la edificación. Considerando además que del total de la edificación de uso público en Chile, un 41% corresponde a establecimientos con destino educación, se entiende lo fundamental que resulta verificar estrategias que permitan disminuir la demanda y por tanto el consumo energético.

En un simple reconocimiento visual de los establecimientos educacionales existentes de la Región de Los Lagos, se denota la total ausencia de aislamiento térmico en los paramentos exteriores, grandes superficies de ventanas con vidrio monolítico sin cámara de aire, espacios de aulas sin sistemas de renovación de aire. Esto se entiende por la casi nula normativa de aislamiento térmico para este tipo de establecimientos, situación que se mantiene a la fecha, pero que se contrasta con los estándares aplicados a los nuevos proyectos, los cuales en la Región de los Lagos, incluso buscan la concepción de edificaciones Pasivas de “cero energía”, colocando el énfasis en la disminución de la demanda energética para calefacción, debido al clima local.

Este contraste entre la edificación nueva y la existente, nos debería incitar a buscar soluciones técnicas factibles de integrar a esta última. Ahora bien, Aun cuando en Chile el tema de la rehabilitación energética de edificios no se ha estudiado en profundidad, si encontramos estudios internacionales que han verificado la efectividad de la rehabilitación energética, un ejemplo de esto, es lo nos indican Carlos and Corvacho (2010), los que mediante un estudio sobre la modernización térmica de escuelas primarias de la zonas más frías de Portugal, concluyen que aplicando estrategias de aislamiento térmico, aplicables a cientos de construcciones de similar tipología, se lograría reducir en un 52% el consumo de energía para calefacción. Otro caso es lo sucedido en Serbia, en donde se ha llevado a cabo un programa de rehabilitación energética de edificios públicos, al respecto mediante un análisis de lo realizado, concluyen: “Las mediciones realizadas con el fin de cuantificar los ahorros energéticos conseguidos han demostrado que el consumo final bruto de energía anual en los edificios considerados se redujo en un 47% o 29.144 MWh en total”. (Petrović Bećirović y Vasić 2013).

Los ejemplos internacionales, nos dan un referente del potencial de aplicación en la infraestructura existente en nuestro país, esta situación es la que se pretende identificar y evaluar.

1.1. Relevancia del problema

A nivel País, si bien existen políticas y estrategias para el acondicionamiento térmico de edificaciones existentes, éstas se concentran para las viviendas en sus diversas tipologías, no considerando la edificación de otros usos. Aquella situación arroja una problemática que se debiese abordar, en particular en las ciudades que ven afectada su calidad de vida, derivado del aporte a la contaminación de la edificaciones mediante sus sistemas de calefacción, los cuales con tal de lograr satisfacer las demanda de calefacción, producen polución ambiental, mediante la quema de combustibles fósiles o de biomasa de mala calidad, en específico para la ciudad de Osorno, ciudad declarada saturada de material particulado 2,5 y material particulado 10.¹

Debido a la problemática indicada en áreas urbanas de la zona sur, derivada de la incidencia de los sistemas de combustión producto de edificaciones ineficientes desde el punto energético, se evidencia la urgencia de concentrar el accionar hacia estudios y estrategias que permitan disminuir

¹ Declarada en Decreto supremo Nº 27 del 2012 (Congreso Nacional de Chile 2012).

la demanda energética. Según catastros preliminares, la ciudad de Osorno, cuenta con 47 establecimientos educacionales públicos, a los que deben suman recintos subvencionados y privados, los que configuran un campo de acción considerable.

Cabe destacar, que dentro de la edificación pública existente, la de uso educacional, presenta también una factibilidad funcional en su rehabilitación, puesto que los requerimientos de aulas actuales, mantiene en líneas generales la configuración de las recintos académicos existentes en décadas pasadas, a diferencia de otros usos públicos, tal como recintos de salud, los que pierden la funcionalidad requerida en medida de nuevos procedimientos y protocolos de atención.

Cabe reflexionar además en la problemática que representa a nivel país e internacionalmente la situación de lo edificado sin parámetros de eficiencia energética, aun cuando en otros contextos urbanos, esta deficiencia no se manifieste en lo inmediato, ya sea por condiciones climatológicas, morfológicas, etc., pero afectando sin duda la demanda de diversos combustibles y por tanto aportando en la contaminación ambiental.

1.2. Hipótesis

La incorporación de estrategias de rehabilitación energética, mediante el mejoramiento de la envolvente térmica, aplicado en establecimientos educacionales existentes, significaría una importante disminución de la polución ambiental producida en áreas urbanas saturadas producto de la necesidad de calefacción. Se plantea así, un potencial de aporte en la descontaminación que se podría replicar en diversas ciudades saturadas ambientalmente.

1.3. Objetivo general

Determinar la disminución en la polución generada al considerar una rehabilitación energética en establecimientos educacionales ubicados en contextos urbanos saturados ambientalmente, mediante la aplicación de estándares prescriptivos para la envolvente térmica, considerando además los sistemas activos de calefacción utilizados.

1.4. Objetivos específicos

Objetivo 1:

Diagnóstico energético pasivo de la edificación existente de uso educacional en la zona climática de estudio, identificando además los sistemas activos utilizados en la matriz energética de los establecimientos y por tanto el consumo en energía utilizada.

Objetivo 2:

Evaluar mediante simulación dinámica la disminución de la demanda energética para calefacción, al incorporar los actuales estándares en la edificación existente, de acuerdo con las normativas y guías de diseño para la edificación con destino educacional.

Objetivo 3:

Estimar mediante sistema de cálculos estáticos, la disminución de la polución ambiental resultante de la integración de parámetros de rehabilitación energética y sistemas eficientes de calefacción, cuantificando la incidencia y efectividad de los estándares utilizados.

Capítulo 2. Marco teórico de la rehabilitación energética de edificios

2.1 Contexto internacional de la rehabilitación.

En lo referido al estado del arte de la rehabilitación energética de edificios, se pueden encontrar algunas experiencias que llaman a la reflexión sobre el universo de lo construido versus lo nuevo. Este es el caso de la investigación realizada por Baek y Park (2012), quienes se plantean el potencial que tiene Corea en la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero que puede aportar el hecho de aplicar políticas de rehabilitación térmica a la edificación existente, por cuanto los esfuerzos se han concentrado en la construcción de nuevos edificios, a pesar que tal como lo muestra la figura 1, la proporción entre lo nuevo versus lo existente en el mercado de construcción de viviendas en diversos países de Europa y Corea (origen del estudio), demuestra que en promedio las nuevas edificaciones representan un bajo porcentaje del total de la edificación por país, demostrando que lo existente representa a más del 90%.

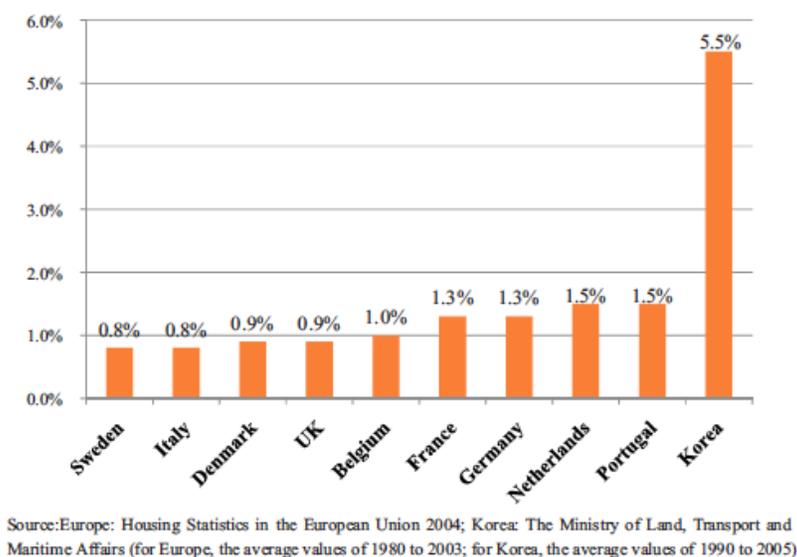


Figura 1: Proporción de construcción de viviendas nuevas respecto al parque total de viviendas (Baek y Park 2012)

Baek y Park (2012), refuerzan el protagonismo de enfocar las políticas de eficiencia energética hacia lo existente, en vista que los nuevos edificios han logrado disminuir el consumo energético en razón de las nuevas regulaciones y tecnologías que se han implementado en los últimos años, tal como lo expresa la figura 2 del caso de Dinamarca.

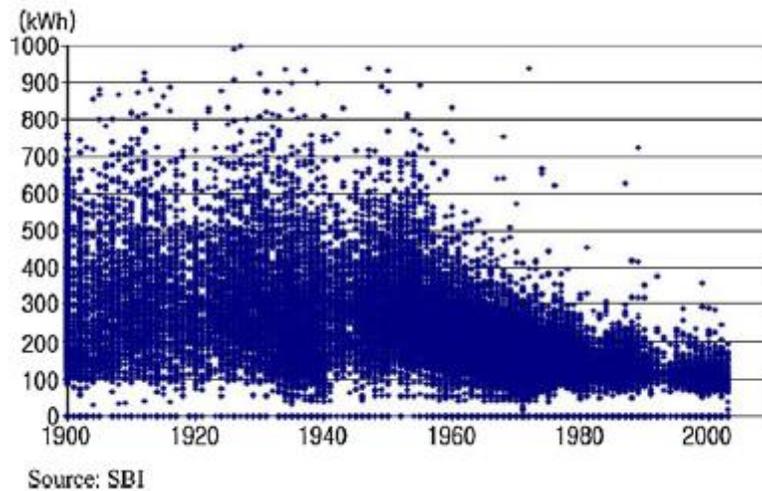


Figura 2 Consumo de energía para calefacción en los edificios residenciales en Dinamarca por año de construcción (Baek y Park 2012).

Respecto a casos de estudios para edificios de uso educacional, podemos ver lo indicado por Bull (2014), quien considerando que en Inglaterra las emisiones de CO_2e^2 provienen en un 9 % de edificios públicos con 20.1 toneladas de las cuales 3.0 toneladas corresponde a establecimientos educacionales, realizó un análisis de casos en Londres, seleccionando 4 edificios correspondientes a diferentes periodos característicos, construidos entre 1870 y 1995, para lo cual se procedió a la simulación paramétrica mediante *Software* (Figura 3). Se modelaron diversas soluciones enfocadas en la envolvente térmica, la infiltración y los sistemas de calefacción, analizando su impacto en la disminución de emisiones. Se concluye que existe un potencial de beneficios en la disminución de emisiones por metro cuadrado construido³ en especial al generar soluciones de reacondicionamiento integrales, vale decir, considerando mejoras en la aislación térmica, disminución de las tasas de infiltración y reemplazo de los sistemas de calefacción, soluciones que combinadas logran un mejor rendimiento considerando la inversión que se debería efectuar y el periodo de retorno resultante.

² Dióxido de carbono equivalente.

³ En Inglaterra se utiliza como medida de eficiencia energética para edificación, la cantidad de emisiones de dióxido de carbono emitida al año por metro cuadrado $\text{kgCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{año}$.

Capítulo 2 Marco teórico de la rehabilitación energética de edificios



Figure 1. Pre-war school prototype (School A), rendered view and top view (right).

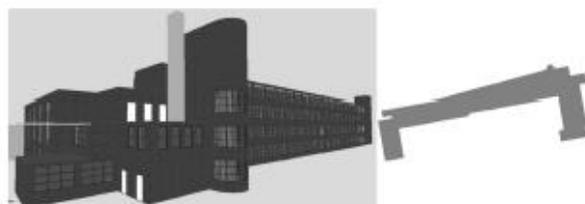


Figure 2. Inter-war school (School B), rendered view and top view (right).

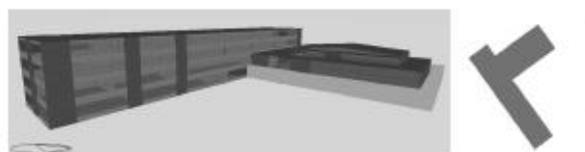


Figure 3. Post-war school (School C), rendered view and top view (right).

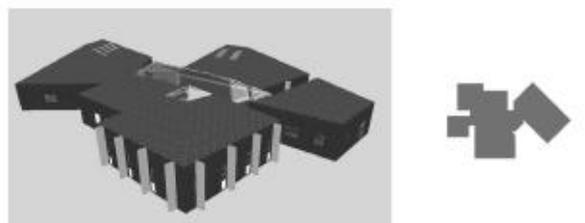


Figure 4. Passive design (School D), rendered view and top view (right).

Figura 3 Simulación de 4 edificios educacionales en Londres (Bull et al. 2014)

Otro caso que se mencionaba en la introducción del presente documento, es lo plasmado por Carlos y Corvacho (2010), quienes identificaron una tipología de establecimientos educacionales producida por una intensa campaña de construcción de este tipo de establecimientos llevado a cabo en Portugal entre el año 1940 al 1960, edificaciones que consideraron un sistema estándar tradicional de construcción basado en muros de mampostería de piedra con pisos y cubiertas de madera (figura 4), método que permitió ser reproducido por todo el país de manera expedita, llegándose a construir 6.864 establecimientos de diversos tamaños. Sin embargo, en el periodo de construcción, los temas energéticos todavía no eran relevantes, por lo cual estas edificaciones no contaban con ningún tipo de aislamiento térmico.

Capítulo 2 Marco teórico de la rehabilitación energética de edificios



Figura 4: Tipología de escuela construida en Portugal entre los años 1940 al 1960 (Carlos y Corvacho 2010).

Debido al sistema constructivo de estos colegios en Portugal, los cuales están en uso, no cumplen con los requisitos de confort térmico actuales lo que deriva en un alto consumo de combustible para los sistemas de calefacción. Carlos y Corvacho (2010), seleccionaron un colegio en la zona fría de Portugal en ciudad de *Covilhã*, localidad que cuenta con 2.250 grados día para calefacción⁴, edificación a la cual le procedieron a simular mediante *Software*, soluciones de rehabilitación energética enfocada en el mejoramiento de la envolvente según se observa en Tabla 1, con lo cual se lograría disminuir el consumo de energía desde 18.968 KWh a 9.164 KWh por año, lo que se traduce en una disminución de 52%.

Tabla 1 comparación del valor de transmitancia térmica entre la situación original y la propuesta. Elaboración propia en base a Carlos y Corvacho (2010).

	Valor U Muros	Valor U pisos	Valor U Cubiertas	Valor U Ventanas
Original	3.56 W/m ² K	2.17 W/m ² K	3.48 W/m ² K	5.00 W/m ² K
Propuesta	0.36 W/m ² K	0.57 W/m ² K	0.25 W/m ² K	3.00 W/m ² K

Además Carlos y Corvacho (2010), procedieron a extrapolar los resultados de la simulación al universo posible de aplicación en Portugal, para lo cual adaptaron la simulación de acuerdo a las 3 zonas climáticas de Portugal, el resultado de este proceso determinó que según la zona climática, era posible una disminución de entre un 44% a un 48% en la demanda energética (Figura 5), lo

⁴ “Los grados día de calefacción se definen como la suma anual de las diferencias horarias entre la temperatura del aire exterior y una temperatura base de calefacción para todos los días del año, en los casos en que la temperatura exterior es menor que la temperatura base” (CITEC UBB y UC DECOM 2012).

cual considerando que este tipo de edificaciones construidas entre los años 1940 al 1960 representa el 40% del total de establecimientos educacionales, manifiesta un gran potencial de eficiencia energética a ser implementado.

Climatic region	Classrooms n.º	Original	Retrofitted	Savings
I1	4133	7451	3263	4188
I2	4933	21226	10115	11110
I3	2603	16458	7951	8507
Total (whole country)	11669	45134	21329	23805

Figura 5: Estimación de demanda energética para calefacción según las 3 zonas climáticas de Portugal, de acuerdo a situación original y con situación propuesta de reacondicionamiento (Carlos y Corvacho 2010)

Otro caso de estudio, es lo realizado en Alemania por Reiss (2014), país en donde se estima que la cantidad de energía utilizada por edificios escolares alcanza los 13 millones de MWh/a⁵, por esto, se realizó un programa de renovación para este tipo de edificios, de acuerdo a un programa de investigación, para el cual seleccionaron 5 establecimientos a los cuales le aplicaron estrategias de reacondicionamiento térmico de acuerdo a un objetivo relacionado con un estándar de eficiencia energética utilizado en Alemania, según se observa el figura 6.

SCHOOL	LOCATION	TARGET
 Special school	Obersdorf	3-litre building standard
 High school	Rostock	Energy-plus school
 High school	Cottbus	3-litre building standard
 High school	Marktoberdorf	3-litre building standard
 Primary and secondary modern school	Stuttgart	Energy-plus school

Figura 6: Escuelas seleccionadas en Alemania para el estudio de rehabilitación energética (Reiss 2014).

⁵ Mega Watt hora por año.

El objetivo bajo el cual se debían reacondicionar los establecimientos corresponde a 2 estándares denominados “energy Plus School”⁶ y “3 litre Building estándar”⁷. El estudio considera una etapa de seguimiento de 2 años posterior a la ejecución de los trabajos de rehabilitación. Como se observa en tabla 2, se consideración sistemas pasivos como el mejoramiento de la aislación térmica de alto estándar, vidrio con doble cámara de aire, etc. Además se incluyen sistemas activos, lo cual era un requisito en vista de la exigencia de incorporar tecnologías innovadoras, por esto se consideraron sistemas control solar automático, sistema de control centralizado automático, ventilación mecánica con recuperador de calor y en uno de los casos se agregó paneles fotovoltaicos.

Tabla 2: Valores promedios de transmitancia térmica de los 5 establecimientos intervenidos.
Elaboración propia en base a Reiss (2014).

Valor U Muros	Valor U pisos	Valor U Cubiertas	Valor U Ventanas
0.18 W/m ² K	0.42 W/m ² K	0.13 W/m ² K	0.95 W/m ² K

Con las estrategias aplicadas, en el caso de los establecimientos en donde se utilizó como objetivo los requisitos del sistema “3 litre Building estándar”, se ha verificado en el proceso de seguimiento que se logra reducir la demanda a los valores exigidos para el estándar, como se expresa en la figura 7.

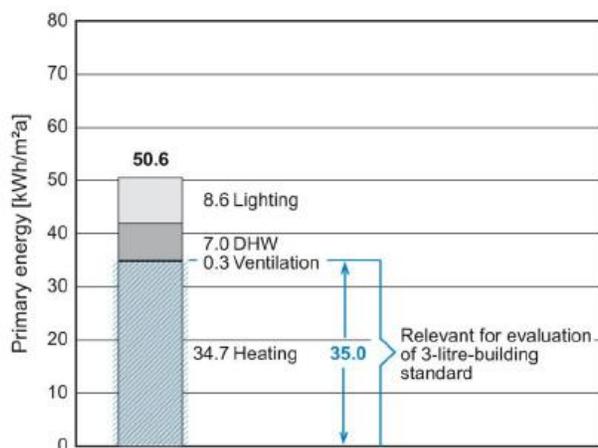


Figura 7: Balance de energía según sistema “3 litre Building estándar” obtenido en la escuela de Olbersdorf (Reiss 2014).

⁶ “Energy Plus School”, es un estándar asimilado al de uso residencial en Alemania, el cual indica que la edificación debe generar la energía mediante sistemas renovables, como mínimo al equivalente de la energía que demanda para su funcionamiento.

⁷ “3 litre Building estándar” definición: El uso de energía primaria para la calefacción y ventilación, más la electricidad necesaria para la energía auxiliar es inferior a 34 kWh/m² - esto corresponde al contenido de energía de 3 litros de aceite de calefacción o 3 m³ de gas natural (Reiss 2014).

Para el caso del estándar “Energy plus School”, en donde se debe generar mediante sistemas renovables la energía equivalente como mínimo a la energía demanda, según se constató en el colegio de la localidad de *Rostock*, al sumar tecnologías activas, tales como sistema fotovoltaico, aerogeneradores y una planta eléctrica de ciclos Rankine con fluido orgánico⁸, se logró equiparar la generación de energía respecto a al demanda energética del colegio, según se indica en figura 8.

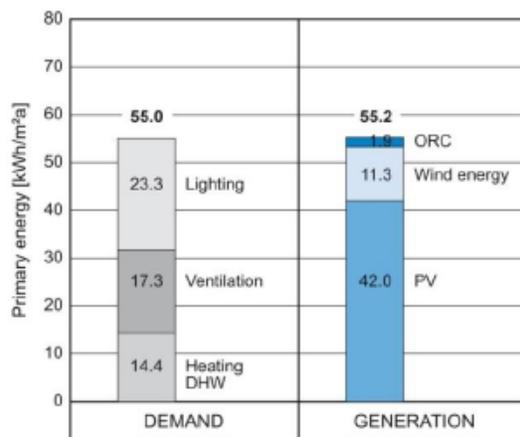


Figura 8: Balance de energía según sistema “Energy Plus School”, obtenido en la escuela de *Rostock* (Reiss 2014).

Al realizar un balance de los 5 establecimientos intervenidos, según se indica en la tabla 3, se aprecia una disminución sustancial en la demanda energética, situación derivada de la aplicación de altos estándares de los sistemas pasivos utilizados, Además incluso se llega a compensar en consumo energético utilizando sistema activos de generación de energía, lo que sin embargo implica inversiones importantes a considerar según la factibilidad económica.

Tabla 3 Demanda de energía antes y después de la rehabilitación para los 5 establecimiento estudiados (Reiss 2014)

Escuelas Rehabilitadas	Demanda de energía primaria (KWh/m2a)		
	Original	Después de la Rehabilitación	Porcentaje de disminución
Olbersdorf	254.0	50.4	80,1 %
Rostock	78.3	55.0	29,7 %
Cottbus	217.4	45.3	79,2 %
Marktoberdorf	103.8	68.0	34,5 %
Stuttgart	168.1	66.2	60,6 %

⁸ Ciclo orgánico de Rankine (OCR), corresponde a un ciclo termodinámico que convierte aceites orgánicos residuales en energía eléctrica.

Respecto a lo analizado en el presente capítulo, se puede entender que los objetivos y las estrategias utilizadas en los procesos de rehabilitación energética varían según las preocupaciones y realidades de cada contexto, en razón de la preocupación por la disminución la demanda energética, aminorar el impacto de Co₂, mejorar las condiciones de confort térmico, actualizar de edificios de acuerdo a los nuevos estándares de diseño, utilización de tecnologías de vanguardia, etc.

Ahora bien, de estos casos se desprende la necesidad de analizar las realidades y prioridades del contexto en el cual se implantan las edificaciones, en razón de identificar las problemáticas locales y los sistemas factibles de incorporar, de acuerdo a las realidades económicas y técnicas. En este aspecto cabe señalar que la preocupación por los temas de eficiencia energética en los países de Europea parte desde la década del 1970⁹, lo que ha derivado en años de desarrollo y por tanto avance en las tecnologías, situación que contrasta con la realidad en nuestro país, en donde solo desde la década del 2000 han surgido preocupaciones al respecto, creándose políticas ya acciones al respecto para lo cual en el año 2005 se crea un programa de eficiencia energética dependiente del ministro de economía y solo hasta el año 2010, se crea el Ministerio de energía organismo que forma la agencia Chilena de eficiencia energética, entidad que ha impulsado programas en diversas áreas, incluyendo temas en edificación, en asociación de entidades como el ministerio de vivienda.

En vista que las preocupaciones en el ámbito de la edificación respecto a la eficiencia energética en nuestro país, son de reciente data, se nos plantea indirectamente un desafío a considerar en todo lo ejecutado en los años cuando no existía regulación al respecto, siendo entonces un referente de aplicación las estrategias mencionados en el presenta capítulo, las que deberían adaptarse a las realidades del contexto en donde se propone.

⁹ En 1973 se produjo la crisis de petróleo, lo que derivó en el aumento del valor de combustible utilizado para sistemas de calefacción.

2.2 Situación en Chile, políticas de acondicionamiento térmico y parámetros energéticos para edificación educacional.

En Chile, el marco normativo vigente a la fecha, no establece una obligatoriedad de exigencias prescriptivas de aislación térmica y/o requisitos prestacionales energéticos a edificaciones educacionales, solo es posible encontrar en la ordenanza general de urbanismo y construcciones (O.G.U.C.), en su art. 4.1.10 lo referido a los requisitos de las edificaciones con destino habitacional, normativa que se implementó desde el año 2007. De lo anterior se comprende que la edificación pública históricamente no cuenta con envolvente térmica, generando por tanto un universo de establecimientos operativos a nivel país que se entiende sujetos de análisis con tal de mejorar su rendimiento energético y ambiental.

Ahora bien, los parámetros establecidos en la O.G.U.C., ante la ausencia de normativa legal, han servido de referencia para otros tipos de edificación, como el equipamiento público, se procederá por tanto a indicar las características de los parámetros a considerar en el presente documento.

2.2.1. Ordenanza general de urbanismo y construcción (O.G.U.C.)

La ordenanza establece un sistema prescriptivo, el cual se basa en los grados días del país, para lo cual establece 7 zonas climáticas, para esta zonificación se fijan valores máximos de transmitancia térmica y valores mínimos de resistencia térmica según lo indicado en la tabla 4.

Tabla 4 Valores de resistencia y transmitancia según art. 4.1.10 de la O.G.U.C.

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

La O.G.U.C., no establece un valor U límite para áreas vidriadas, sin embargo fija un porcentaje máximo de “área vidriada” en relación a las fachadas del edificio según lo expresa la tabla 5.

Tabla 5 porcentaje máximo de área vidriadas en relación a fechadas según art. 4.1.10 de la O.G.U.C.

ZONA	VENTANAS		
	% MÁXIMO DE SUPERFICIE VIDRIADA RESPECTO A PARAMENTOS VERTICALES DE LA ENVOLVENTE		
	VIDRIO MONOLÍTICO (b)	DVH DOBLE VIDRIADO HERMÉTICO (c)	
		3.6 W/m ² K ≥ U > 2.4 W/m ² K (a)	U ≤ 2.4 W/m ² K
1	50%	60%	80%
2	40%	60%	80%
3	25%	60%	80%
4	21%	60%	75%
5	18%	51%	70%
6	14%	37%	55%
7	12%	28%	37%

Si bien se establece un margen para el valor U de área vidriada que va desde los 3.6 a 2,4 W/m²K, para motivos del presente estudio, se tomando un valor de 2,81, el cual se obtiene a partir de cálculo según Nch 853, en consideración de espesores de vidrio y cámara de aire factible de obtener comercialmente en Chile.

2.2.2. Norma chilena oficial N° 1079 of. 2008

La norma chilena N° 1079 actualizada al año 2008, es la referencia utilizada por diversos documentos y manuales que se han implementado en Chile en los últimos años, esta norma determina 9 zonas en base a las características climáticas en la extensión del País, según se puede observar en la figura 9.

Esta norma igualmente establece un sistema prescriptivo para definir valores máximos para la envolvente térmica, indicados en la tabla 6. Sin embargo estos valores son “recomendados”, por tanto no son obligatorios para la edificación pública o privada, delegando su utilización al criterio de la entidad a cargo del diseño a ejecutar.

Tabla 6 Valores máximos recomendados de transmitancia térmica, valor U, según anexo A de la NCh 1079 of. 2008

Zona	Muros	Techumbre	Piso ventilado	Ventanas
1 NL	2.00	0,80	3,0	5,8
2 ND	0,50	0,40	0,7	3,0
3 NVT	0,80	0,60	1,2	3,0
4 CL	0,80	0,60	1,2	3,0
5 CI	0,60	0,50	0,8	3,0
6 SL	0,60	0,40	0,8	3,0
7 SI	0,50	0,30	0,7	3,0
8 SE	0,40	0,25	0,5	2,4
9 AN	0,30	0,25	0,4	2,4

Capítulo 2 Marco teórico de la rehabilitación energética de edificios

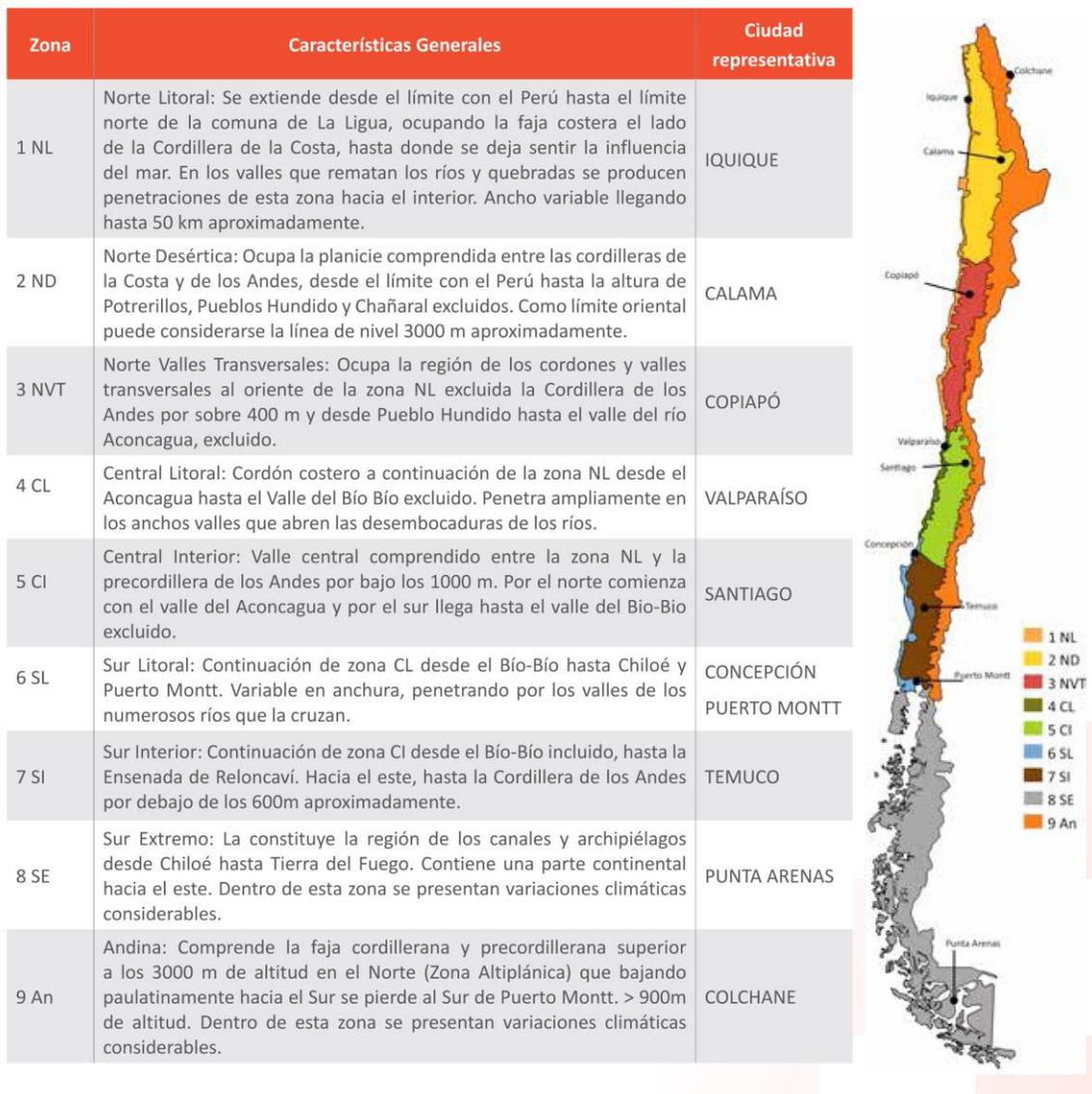


Figura 9 Zonificación climática Según Nch 1079 of. 2008 , fuente Guía de eficiencia Energética para Establecimientos Educativos (CITEC UBB 2012)

Dentro de las entidades que utilizan los parámetros establecidos en esta normativa, se encuentra el ministerio de obras públicas , quien en conjunto con el CITEC de la Universidad del Bío-Bío, elaboró el documento denominado “Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética y Confort Ambiental” (MOP 2011), en cual en su guía técnica Nº 2, bajo el ítem de Ahorro de energía – limitación de la demanda energética de edificios-, establece como requisito mínimo el cumplir con los valores indicados en la tabla 6.

2.2.3. Guía de eficiencia Energética para Establecimientos Educativos

La agencia Chilena de eficiencia energética (ACHEE) elaboro el año 2012 mediante el CITEC de la universidad del Bío-Bío, la guía de Eficiencia energética para establecimientos educativos, documento que busca aportar parámetros para la nueva edificación de esta área, en el marco de la políticas de eficiencia energética que se han abordado en Chile.

Para esta labor, se siguió una metodología en base a simulaciones dinámicas de diversos parámetros para un aula tipo en los diversos climas del país, según las zonas indicadas en la NCh1079.of 2008. Lo anterior derivó en la cuantificación de la influencia de los diversos parámetros simulados, llevando una estadística de los resultados, lo que permitió identificar la configuración necesaria para lograr un “mejor desempeño” según cada zona, entregando por tanto un listado de parámetros recomendados según se observa en la tabla 7.

Tabla 7 Parámetros recomendados de acuerdo a zonificación climática Nch 1079 of 2008 , fuente Guía de eficiencia Energética para Establecimientos Educativos (CITEC UBB 2012)

	Zona Climática	NL	ND	NVT	CL	CI	SL	SI	SL	SE	AN
Ubicación	Ciudad	Iquique	Calama	Copiapó	Valparaíso	Santiago	Concepción	Temuco	Puerto Montt	Punta Arenas	Colchane
	Zona Térmica	ZT 1	ZT 2	ZT 2	ZT 2	ZT 3	ZT 4	ZT 5	ZT 6	ZT 7	ZT 7
Configuración envolvente	Tipo de envolvente	A	E	C	B	C	H	I	K	K	C
	Valor U Muro (Wm2/°C)	4	0,8	1,5	2	1,5	0,4	0,3	0,19	0,19	1,5
	Valor U Piso (Wm2/°C)	3,8	2	3,8	3,8	3,8	0,8	0,7	0,45	0,45	3,8
	Valor U Techo (Wm2/°C)	0,84	0,33	0,47	0,6	0,47	0,22	0,18	0,15	0,15	0,47
	Tipo de vidrio	DVH (*)	DVH (*)	DVH (*)	DVH (*)	DVH	DVH	DVH	DVH Low-e	DVH Low-e	DVH
	Superficie vidriada fachada principal	23%	23%	23%	23%	23%	23%	23%	23%	23%	20%
	Infiltración	0,5ach (**)	0,5ach (**)	0,5 ach (**)	0,5ach	0,5ach	0,5ach	0,5ach	0,5ach	0,5ach	0,5ach
	Ventilación base	5 l/s pp	5 l/s pp	5 l/s pp	5 l/s pp	5 l/s pp	5 l/s pp	5 l/s pp	5 l/s pp	5 l/s pp	5 l/s pp
	Ventilación adicional verano (Temp. int. ≥ 23°C)	2 ach	2 ach	2 ach	2 ach	2 ach	2 ach	2 ach	2 ach	2 ach	2 ach
	Calidad del Aire										

2.2.4. Plan de descontaminación Osorno.

El plan de descontaminación vigente para la comuna de Osorno, aprobado en marzo del 2016, establece en su artículo N° 6, una obligatoriedad de aplicación desde el 01 de Enero del 2019 de una envolvente térmica que cumpla los parámetros indicado en la tabla 8. Ahora bien, esto será obligación para el uso habitacional ya sea nueva edificación o quienes se acojan al subsidio de reacondicionamiento térmico del MINVU. Lo anterior produce por tanto que la edificación de otros usos continúe a la espera de una normativa, sin embargo para el presente documento será utilizada como un parámetro a evaluar en razón del objetivo final a estudiar, entiéndase la disminución de polución.

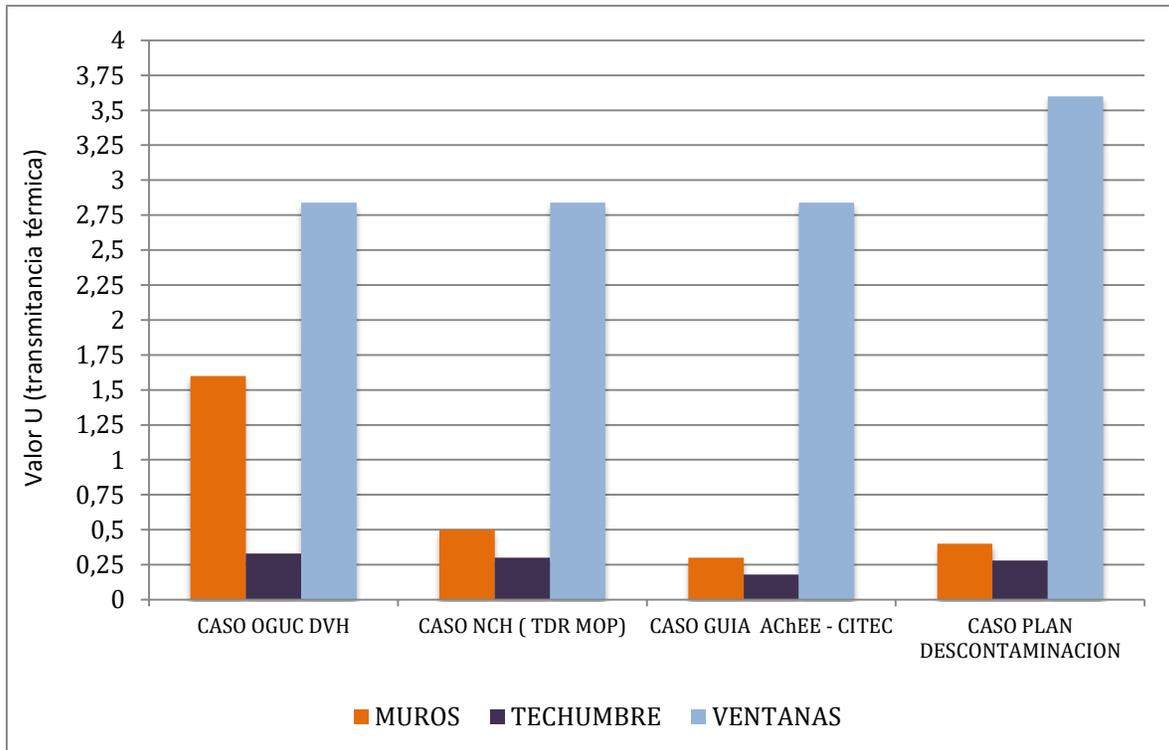
Tabla 8 Valor U limite según plan descontaminación Osorno

Elemento	Valor U W/m ² K	
	estándar	Osorno
Techo		0,28
Muro		0,40
Piso ventilado		0,39
Ventana		3,6
Puerta		1,7

2.2.5. Comparativo de parámetros prescriptivos utilizados

Tomando como referencia la ciudad en estudio, en este caso Osorno, correspondería aplicar la zona 5 de la ordenanza general de urbanismo y construcción y la zona Sur interior según la Nch 1079 of. 2008. Para efectos de obtener una mayor diversidad e incidencia de los análisis se consideran 4 comparables según se observa en grafico 1. Así entonces a los parámetros establecidos en la O.G.U.C., con DVH, se estudiarán los parámetros indicados en la Norma chilena oficial 1079 of. 2008, las recomendaciones indicadas en la guía de eficiencia energética de establecimientos educacionales y finalmente lo establecido en el reciente plan de descontaminación para la comuna de Osorno.

Gráfico 1 Comparativo de Valor U máximo para elementos constructivos, elaboración propia.



En el gráfico 1, se entiende en general una equivalencia en las exigencias planteadas en los parámetros de estudio, pero se distingue un aumento significativo en las exigencias para muros entre lo planteado en la O.G.U.C., y lo establecido en la Nch 1079 of. 2008, esta a su vez es similar a lo exigido en el reciente plan de descontaminación y las recomendaciones de la Guía AChEE-CITEC. Para techumbre, las exigencias son similares entre todos los casos. Los valores para área vidriada son altos, pero esto obedece a las características técnicas de los productos en vidrio, sin embargo se puede inducir lo significativo que puede resultar el porcentaje de área vidriada en una edificación, entendiéndose por esto, el criterio utilizado en la O.G.U.G., la cual fija un máximo de área vidriada en razón de la zona térmica en la que se emplace el proyecto, según se puede ver en la tabla 5.

Capítulo 3. Relación entre Polución ambiental y edificación

3.1 Problemática de polución ambiental en ciudades del sur de Chile.

El tema de la contaminación atmosférica en Chile, se ha evidenciado como problemática desde la década del 1970, manifestándose inicialmente en la ciudad de Santiago, en donde se produjeron episodios que se expresaban en la forma de Smog¹⁰, sin embargo no se tomaron medidas para este problema hasta el año 1994, fecha en la cual se promulgo la Ley N° 19.300 “Bases Generales del Medio Ambiente”, medio legal que permitió iniciar una serie de medidas para mitigar la contaminación, así entonces en los siguientes años se implementaron planes en la zona metropolitana, que se concentraban en la industria y el parque automotriz, este último se identificó como el mayor responsable de la emisión de gases al medio ambiente. Cabe indicar que los episodios de mantienen en la actualidad y que constantemente se buscan medidas para mitigar esta problemática.

En cuanto a las demás regiones del país, en décadas pasadas no existían sistemas de monitoreo ambiental que permitieran evidenciar problemáticas en este aspecto, solo hasta el año 2000 se instalado la primera estación permanente de monitoreo en la ciudad de Temuco. Este proceso permitió cuantificar la polución existente en aquella ciudad la cual era evidente a los habitantes en la época invernal. Ante la evidencia, aumentó la preocupación de las entidades encargadas del medioambiente, por tanto en los siguientes años se han instalados estaciones de monitoreo de diversas ciudades enfocadas en la zona sur de Chile.

Respecto del motivo inicial del aumento de la contaminación, Salini (2014), nos expresa que “a medida que las ciudades crecen sin la implementación de una regulación ni controles adecuados puede aparecer una serie de problemas ambientales, entre ellos la contaminación atmosférica por partículas suspendidas”.

¹⁰ Smog en un fenómeno que se produce cuando las partículas contaminantes, quedan en suspensión en las capas atmosféricas a bajo altura.

Capítulo 3 Relación entre Polución ambiental y edificación

La causa específica en las ciudades de la zona de sur de Chile, según Gómez-Lobo (2005), se ha identificado con la utilización de leña para los sistemas de calefacción, en su mayor parte desde el ámbito residencial. Además diversos estudios se han llevado a cabo por instituciones públicas en el contexto de detección y posterior enfoque en la búsqueda de soluciones. En este ámbito el informe desarrollo por Universidad Católica de Temuco (2013) indica que “los problemas de contaminación atmosférica de la macro zona centro-sur de Chile son generados principalmente por tres factores: el alto contenido de humedad de este combustible, la precaria aislación térmica y la baja calidad y eficiencia de los artefactos de combustión utilizados en la actualidad”.

Es importante mencionar que el informe emitido por Universidad Católica de Temuco (2013) indica que la leña corresponde al tercer lugar de importancia en la matriz energética de Chile, solo superado por el petróleo y el gas. Sin embargo a pesar de su importancia, no se cuenta con una regulación adecuada que permita su comercialización asegurando niveles de humedad de acuerdo a la normativa nacional.

Por los motivos mencionados, en el invierno se evidencia en las ciudades de la zona sur el impacto de los episodios de mayor contaminación ambiental, por ejemplo en la ciudad de Osorno en el año 2014 se superó la normativa nacional de MP 2.5 durante 68 días, reflejándose esta situación a simple vista como se observa en la figura 10.



Figura 10: Ciudad de Osorno inmersa en polución ambiental, fuente Diario electrónico <http://www.soychile.cl/osorno>

El mayor impacto de la polución ambiental que se produce en las ciudades de la zona sur, es su efecto en la salud de la población, por cuanto el reducido tamaño de las sustancias permite que ingresen al sistema respiratorio. El PM 10 tiene un diámetro de $10 \mu\text{m}^{11}$, a su vez el PM 2.5 cuenta con un diámetro de $2,5 \mu\text{m}$, y están conformados principalmente por hollín, plomo, sulfato e hidrocarburos. Cabe indicar que se ha identificado al PM 2.5 como el más dañino “porque puede llegar fácilmente hasta los pulmones” (Salini Calderón 2014).

El material particulado ha evidenciado efectos en la salud humana, al respecto Oyarzún (2010), establece que a través de diversos estudios internacionales y nacionales se ha podido establecer una relación entre el PM_{2,5} y PM 10 y efectos en la salud humana, según se resumen en tabla 9.

Tabla 9: Efectos adversos de los contaminantes aéreos sobre el sistema respiratorio (Oyarzún 2010).

Contaminante	Efecto a corto plazo	Efecto a largo plazo
Material particulado “respirable” (PM ₁₀) y fino (PM _{2,5})	Aumento de morbilidad respiratoria. Disminución en la función pulmonar. Interferencia en mecanismos de defensa pulmonar: fagocitosis y depuración mucociliar. Síndrome bronquial obstructivo.	Menor desarrollo de la estructura y función del sistema respiratorio. Mayor riesgo de cáncer en la edad adulta.

Para combatir y regular el material particulado y por tanto los efectos que produce, se han establecido normativas a nivel nacional, la primera para el PM 10, la cual entro en vigencia el año 1998, la que establece un límite anual a modo de promedio de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}^{12}$ y un límite diario de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$. Posteriormente, el año 2012 entro en vigencia la norma para el PM 2,5, la cual establece un límite en su promedio anual de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ y un límite diario de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$.

Como se observa en la figura 11, durante el año 2014, se registró para la ciudad de Osorno, un promedio anual de $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y durante 68 días se superó el límite diario. Además como lo refleja la citada infografía esta situación se manifiesta en diversas ciudades de la zona sur de Chile, superando incluso los registros para la zona metropolitana de Santiago.

¹¹ Micrómetro (μm), unidad de medida que equivale a la milésima parte de 1 milímetro.

¹² $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$, microgramo en 1 metro cubico normal. Por N, (normal) se entiende producido a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ y 1 atmosfera. (1 atmosfera; unidad de presión que equivale a 101325 pascal).

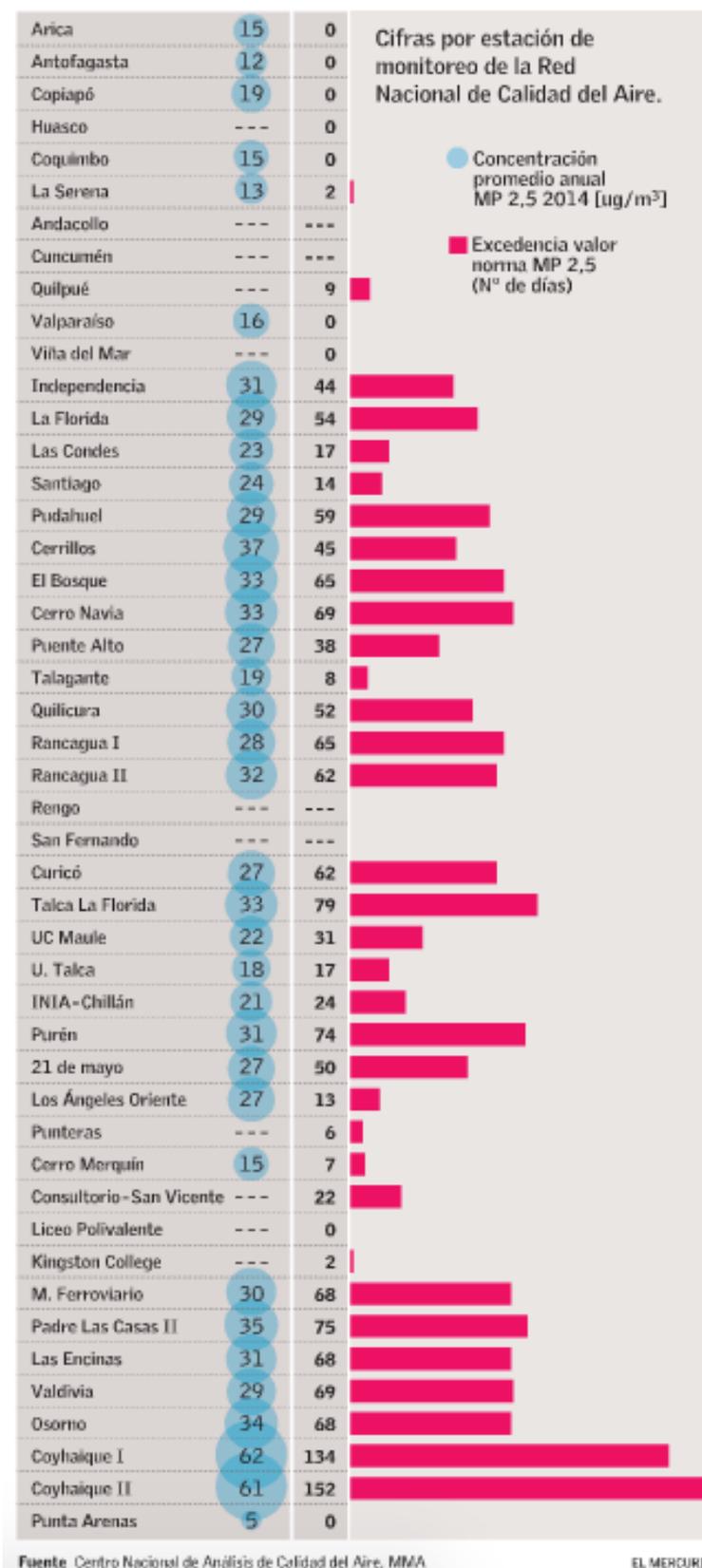


Figura 11 Concentraciones anual (2014) de MP2,5 en Estaciones de Monitoreo (Fuente: infografía del El Mercurio, en base al centro nacional de análisis del aire).

3.2 Impacto de lo edificado sobre la polución.

Como se ha mencionado en capítulo previo, se ha identificado que la gran culpable de la polución recae es la quema de Leña de mala calidad en sistemas de calefacción de bajo rendimiento, sin embargo en la mayoría de los estudios no se vincula la causa basal de esta temática, la cual se puede inferir al revisar el clima de la zona sur interior, como la cataloga la norma Chilena 1079, la que indica que se trata de una “zona lluviosa y fría con heladas frecuentemente” (Instituto Nacional de Normalización 2008). Debido a estas características surge la necesidad de lograr una temperatura de confort térmico al interior de los espacios de residencias, trabajo, educativos, etc., lo anterior se produce debido a que las edificaciones en esta zona no cuentan con adecuados sistemas de aislación térmica, en razón que la normativa al respecto es de reciente data¹³, como se expresaba en el ítem 2.2 de este documento, inexistentes además son las estrategias pasivas de orientación solar, optimización del área expuesta, etc.

En el aspecto de lo edificado, el Ministerio del medio Ambiente, ha encargado estudios que identifiquen las principales fuentes de emisiones en la ciudades de la zona sur, en específico para ciudad de Osorno y en el marco de la generación de plan de descontaminación, se desarrolló el documento denominado “estudio de grandes y medianos consumidores de combustible sólidos en la ciudad de Osorno” (SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE 2014), el cual en conjunto con el estudio realizado previamente el año 2013 denominado “Estudio de consumo y caracterización del uso de la leña en la ciudad de Osorno” (Universidad Católica de Temuco 2013) arrojaron como conclusión que del total de emisiones por rubro, las cuales alcanzan anualmente en toneladas de MP10 las 9.351,39 y de MP 2,5 las 9.060,04, el mayor responsable viene del ámbito residencial (no incluye torres de departamentos), sector que genera más del 98% de la polución, por lo cual se entiende el énfasis y prioridad de los estamentos públicos en mejorar las condiciones térmicas y de los sistemas de calefacción para viviendas mediante subsidios.

A pesar de lo expresado en párrafo previo, cabe destacar lo que sucede en los otros rubros presentes en la ciudad, los cuales generan gran cantidad de toneladas de polución, como se observa en tabla 10, cabe indicar que solo lo referido al rubro industrial, no es utilizado para efectos de calefacción, sino más bien en sus procesos de producción.

¹³ En el año 2007 entro en vigencia la exigencia de aislación térmica para viviendas.

Tabla 10 Estimación de emisiones por rubro para la ciudad de Osorno, Fuente SICAM ingeniería por encargo del Ministerio del Medio ambiente

Sector	Emisiones toneladas/año	
	MP 10	MP 2,5
Comercial	21,83	18,79
Edificios	16,04	13,81
Industrial	126,20	90,52
Institucional	7,21	6,72
TOTAL	171,29	129,84

Ahora bien, dentro del marco del presente estudio, enfocado en el ámbito de la infraestructural educacional, el citado análisis llevado a cabo por encargo del Ministerio del medio ambiente, revela que en el ámbito institucional, y como se indica en la figura 12, el 72% de las emisiones de MP2,5 son generadas por edificios públicos dependientes de la Ilustre Municipalidad de Osorno.

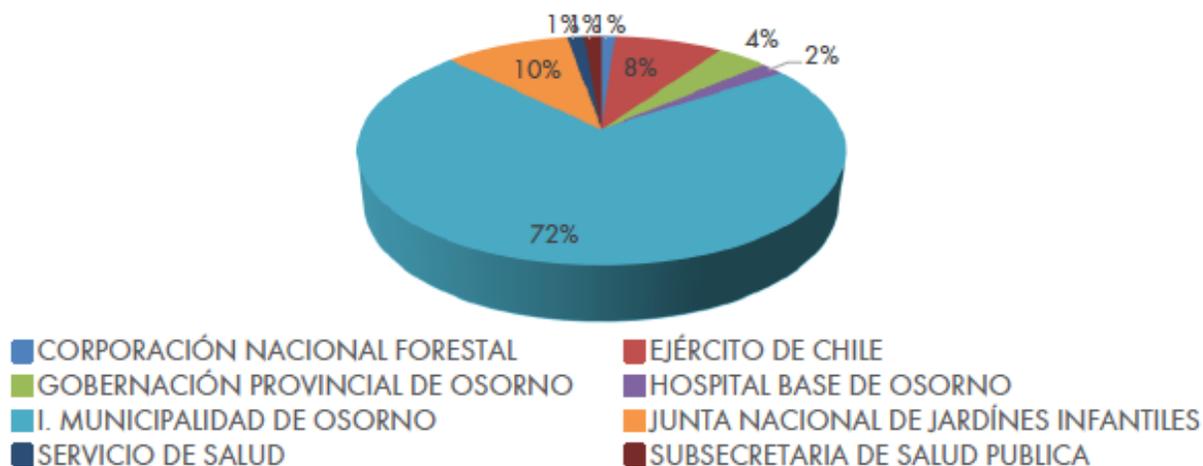


Figura 12: Aporte porcentual de emisiones de MP2,5 por institución (SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE 2014)

Al desglosar la participación de la Municipalidad local, se identifica según lo muestra la figura 13, que un 81% del consumo de leña (denominado también combustible sólido en el citado informe), provienen de establecimientos de educación de enseñanza básica y media y en específico un 50% equivalente a un promedio anual de 632 m3 de leña al año, son requeridos por escuelas y liceos ubicados en el área urbana, zona declarada saturada por polución ambiental.

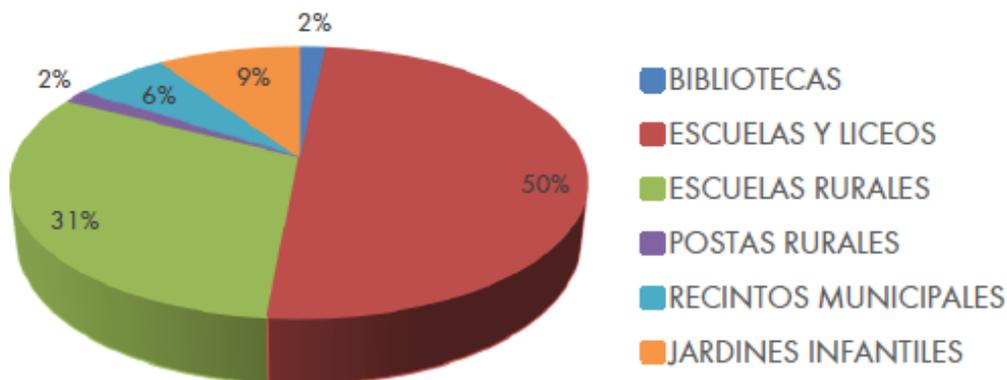


Figura 13: Porcentaje de consumo de combustibles sólidos (leña) de Establecimientos Municipales (SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE 2014).

Al revisar el detalle, se identifican los establecimientos con mayor demanda de combustible de leña (figura 14), recintos que se ubican en diversas áreas de la ciudad, aún cuando los de mayor consumo como el liceo Carmela Carvajal, se encuentra en zona céntrica. Es importante mencionar que los establecimientos que indican un bajo consumo, cuentan con otros sistemas de calefacción en sus dependencias, como calderas a petróleo o gas, utilizando la leña por tanto en acotadas áreas.

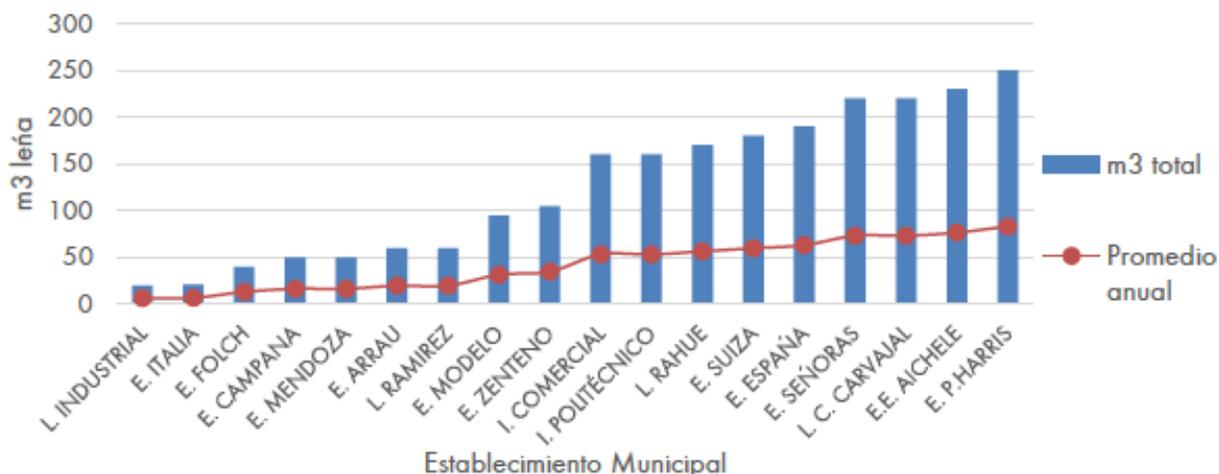


Figura 14: Consumo de Combustibles Sólidos Escuelas y Liceos Municipales periodo 2010-2014 (SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE 2014)

Cabe indicar, que los establecimientos de educación privada, figuran en el informe solicitado por el ministerio del medio ambiente, en el rubro “comercial”. En este ámbito se identifica que el ámbito educacional representa el 45% del consumo de leña en este rubro, llegando a un promedio anual de 2.770 m³ de leña, muy superior al ámbito educacional público en el área urbana (632m³).

Como se indica en la figura 15, es significativo el consumo de los establecimientos educacionales de origen privado, sobresaliendo el instituto Alemán, el cual llega a los 1.200 m³ de leña, los que son consumidos por sus 6 calderas, las cuales atienden las necesidades de calefacción de los recintos y a una piscina temperada.

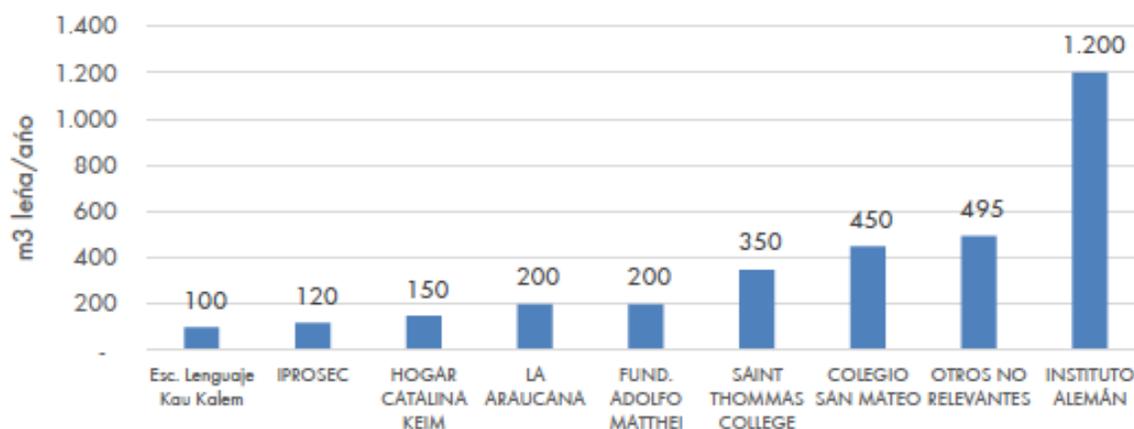


Figura 15 Consumo de leña Rubro Educación privada ((SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE 2014)

En síntesis, se identifica que sumando el ámbito de educación pública dependiente de la I. Municipalidad de Osorno y lo referido a la educación privada, **se genera a un consumo promedio de 3.402 metros cúbicos de leña al año**. Cabe inferir que en los establecimientos públicos, el menor consumo además obedece a la escasa disponibilidad económica que impide contar con temperaturas de confort térmico de manera continua, por tanto la demanda efectiva podrían ser aún mayor.

3.3 Emisión según tipo de artefactos

Para estimar la polución que el edificio genera, se utilizan factores de emisión según estudios nacionales, para lo cual, en consideración del tipo de calefactor utilizado corresponde a lo indicado la tabla 11. Cabe indicar el estudio de SICAM INGENIERÍA LTDA. (2014), el cual fue encargado por el Ministerio del Medio Ambiente de Chile, realiza un análisis comparativo de diversos estudios en laboratorios a los sistemas de combustión de mayor frecuencia de uso, comparándose además con estudios a nivel internacional. Una entidad nacional que ha llevado a cabo los estudios de polución para artefactos de calefacción, es la Universidad Católica de Temuco mediante su laboratorio de emisiones, como se observa en la imagen 16.



Figura 16 Laboratorio de emisiones de la Universidad Católica de Temuco

Tabla 11 Factores de emisión de MP 2,5 y MP 10 según tipo de artefacto utilizando leña seca (SICAM INGENIERÍA LTDA. 2014)

Artefacto	Factor de emisión gramos por kilo	
	MP 2,5 (g/Kg)	MP 10 (g/Kg)
Salamandra	11,8	12,7
Cocina a leña	7	7,5
Combustión lenta S/T	5,8	6,2
Combustión lenta C/T	4,9	5,2
Calefactor certificado	2,3	2,5
Calefactor a pellet	1,8	1,9
Nota: Se considera un factor de proporcionalidad, el cual indica que para artefactos que combustión a leña a nivel residencial, el 93,1% de las emisiones de MP10, corresponden a la fracción fina de MP2,5 (Chow, J.C.; Watson, J.G., 1998).		

Sumándose al factor de emisión (FE), se debe considerar el rendimiento térmico del calefactor de combustión, lo que se refiere a la relación entre el calor producido y el poder calorífico contenido del combustible introducido (regulado según Norma NCh3173.Of2009). Para los artefactos típicos a leña utilizados en Chile, se han realizado ensayos en laboratorio, arrojando los gráfico rendimientos indicados en la tabla 12. Cabe indicar que la norma NCh3173 Of. 2009 establece que los nuevos artefactos deberán contar con un mínimo de 70% de rendimiento, limitando además la emisión generada entre los 2,5 gr/h hasta los 4,5 gr/h., dependiendo de la potencia del artefacto. Para estos propósitos, desde el 01 de octubre del 2014, se prohibió la comercialización de calefactores que no acrediten el rendimiento exigido comprobable mediante una certificación SEC¹⁴.

Tabla 12 Rendimiento térmico de artefactos a leña, fuente Universidad católica de Temuco y Universidad de Concepción.

Artefacto	Eficiencia térmica %
Salamandra	50
Cocina a leña	50
Combustión lenta S/T	55
Combustión lenta C/T	60
Calefactor certificado	70
Calefactor a pellet	85

¹⁴ SEC: Superintendencia de electricidad y combustible de Chile.

3.4 Plan de descontaminación para la ciudad de Osorno.

Luego de un periodo de monitoreo ambiental en la ciudad de Osorno, finalmente se promulgó el Decreto Supremo N° 27 del año 2012, determinándose para la ciudad de Osorno, lo se observa en su parte resolutive:

“Artículo único.- Declárase zona saturada por Material Particulado Respirable MP10, como concentración diaria y anual, y por Material Particulado Fino Respirable MP2,5, como concentración diaria y anual, la zona geográfica que comprende la comuna de Osorno, cuyos límites geográficos fueron fijados por el artículo 10, literal B) N° 1, del decreto con fuerza de ley N° 3-18.715, de 1989, del Ministerio del Interior, que precisa delimitaciones de las comunas del país” (Congreso Nacional de Chile 2012).

Producto de esta determinación, el Ministerio del Medio ambiente desarrollo un “plan de descontaminación de descontaminación ambiental” (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE 2016), el cual se fundó en una serie de estudios ambientales llevados a cabo en la ciudad. Este plan fue aprobado finalmente en el mes de marzo del 2016, y por tanto se encuentra operativo en la actualidad.

Dentro de los ejes estratégicos que aborda el plan y dentro de las principales acciones se encuentra:

A) Mejoramiento térmico de las viviendas.

Según se revisó en el capítulo 3.2 de este documento, el ámbito residencial es la mayor fuente de la polución, por tanto el plan lo toma como prioridad, considerando además que gran parte fue construida antes del año 2007, fecha en que entró en vigencia la exigencia de aislamiento térmico. Sin embargo los otras fuentes o rubros, como el comercial, edificios, institucional no fueron considerados en este ítem a pesar de la significativa polución que generan al adolecer de normativas que exijan el uso de envolvente térmica.

Para esta medida el plan agrega una obligatoriedad de valor de transmitancia térmica (valor U) para la envolvente, de forma gradual, pero generado una exigencia a partir del 01 de Enero del 2019, para lo cual se deberán cumplir los valores expresado en la tabla 8 (ver capítulo 2.2.4), además de exigencias para infiltraciones, ventilación, etc. Para lograr

esto, se genera un énfasis en subsidios de reacondicionamiento térmico, planificándose la entrega de 1.000 subsidios anuales durante un periodo de 10 años.

- B) Mejoramiento de la eficiencia de los artefactos de combustión a leña y otros derivados de la madera.

En consideración que el parque de artefactos de calefacción está dominado por equipos de bajo rendimiento y que generan alta polución, de data anterior a la vigencia de la norma chilena en vigencia desde 2014, se considera la implementación de un programa de recambio de artefactos (estimado en 25.000 calefactores) para las viviendas existentes, además se prohíbe el uso de artefactos unitarios a leña en condominio sociales y edificación de departamentos.

Para otros rubros, como el comercial e institucional (por tanto educacional), **se establece una prohibición de uso para artefactos unitarios a leña, en un plazo de 2 años.** Además se establece la creación de un programa de recambio para todas las dependencias administradas por el estado y edificios municipales., buscado que las instituciones públicas cumplan las regulaciones vigentes.

Para el caso de calderas a ser utilizadas por usos residenciales, industriales y comerciales, se establecen límites máximos de emisión y valores mínimos de rendimiento térmico de acuerdo a la potencia instalada.

- C) Mejoramiento de la calidad de la leña y disponibilidad de otros combustibles.

En este aspecto, se establece que desde el 01 de marzo del 2019, solo se podrá comercializar leña seca de acuerdo a las exigencias de la norma NCh2907, generando además un registro y formalizando su venta.

Además se indica que se fomentará la generación de energía ser usada en calefacción proveniente de energías renovables no convencionales, debiéndose buscar financiamiento a través de fondos nacional de desarrollo regional.

D) Educación y sensibilización a la comunidad.

En este ítem se establece la creación de un plan comunicacional para la difusión a los habitantes de la ciudad, enfocado en los episodios críticos, considerando la publicación de la calidad de aire, la información diaria del pronóstico de calidad del aire para MP 2,5 y MP 10, indicado además las medidas y acciones preventivas y de mitigación, etc.

Todo las acciones mencionadas, tiene como **objetivo mayor el resguardo de la salud de la población, al buscar disminuir las enfermedades** y por tanto provocando una disminución de gastos en salud. El plan establece además medidas de prevención y mitigación para episodios críticos, identificando por tanto un nivel de Alerta, Pre emergencia y Emergencia, generando para cada tipo de episodios diversas acciones a cumplir de manera obligatoria.

Como resumen del capítulo 3, podemos claramente identificar que el contexto sur de Chile y en específico en la ciudad en estudio, la relación entre lo edificado y la polución ambiental, toma un énfasis crítico, situación derivada de las nulas exigencias energéticas para la edificación en las décadas pasadas y que ante el crecimiento de la población y por tanto del ambiente construido ha detonado episodios que afectan a la salud de la población.

Esta relación entre lo construido y su efecto a nivel e polución, se buscará estimar en los siguientes capítulos del presente documento, ahora enfocada en uno de los rubros que los planes locales no han atendido.

Capítulo 4. Evaluaciones

4.1 Selección de caso de estudio.

Se procede a la selección del caso de estudio, el cual corresponde a un establecimiento ubicado en la zona céntrica de la ciudad, dentro de las áreas afectas a declaración de emergencia ambiental según se puede observar en figura 17. Se trata del liceo Carmela Carvajal, establecimiento con materialidad de hormigón armado que se desarrolla en 3 niveles en sus áreas principales, alcanzando los 5.629,12 m². Cabe indicar que el presente estudio no considera las áreas anexas como gimnasio y recintos menores de construcción precaria ubicados dentro del predio. El sistema de calefacción se basa en calefactores tipo combustión lenta unitarios, ubicados al interior de cada recinto. La construcción del establecimiento se llevó a cabo entre los años 1947 al 1957.



Figura 17 Polígonos de emergencia ambiental elaborado por la Seremi de salud Región de los lagos (Se incluye ubicación liceo Carmela Carvajal).



Figura 18 Utilización de calefactor unitario tipo combustión lenta de leña al interior de aula en Liceo Carmela Carvajal, elaboración propia.

El establecimiento alcanza un matrícula mixta de 1.300 alumnos aprox., repartidos en 35 cursos, que abarcan desde séptimo básico a cuarto medio. Las clases se imparten en Aulas que cuentan con calefactores del tipo combustión lenta a leña unitario, como se observa en la figura 18. Esta situación arroja la necesidad de gran cantidad de leña, lo que se evidencia en la figura 19.



Figura 19 Almacenaje de leña en liceo Carmela Carvajal, elaboración propia.

Cabe mencionar que en general los establecimientos de esta zona, fueron construidos en base a muros de hormigón armado sin aislación térmica, no considerándose además sistemas de calefacción centralizada, adaptando por tanto, sistemas como el observado en la figura 18. Por tanto el liceo en estudio, resulta representativo de una tipológica arquitectónica en la zona analizada.

Arquitectónicamente, la edificación se desarrolla en 3 niveles, con un pabellón principal orientado en su eje oriente-poniente, en donde se ubican principalmente áreas administrativas y educativas como bibliotecas, laboratorios y aulas, además del casino y otras áreas de apoyo. En un segundo pabellón, orientado en su eje norte-sur, se ubican Aulas en sus 3 niveles (figura 20). De acuerdo a la data de construcción y según se aprecia por sus fachadas, se entiende la influencia del estilo arquitectónico moderno, movimiento que tuvo gran protagonismo en la ciudad de Osorno, en la segunda mitad del siglo XX, caracterizando por volúmenes racionales e importantes áreas vidriadas como se observa en la figura 21.

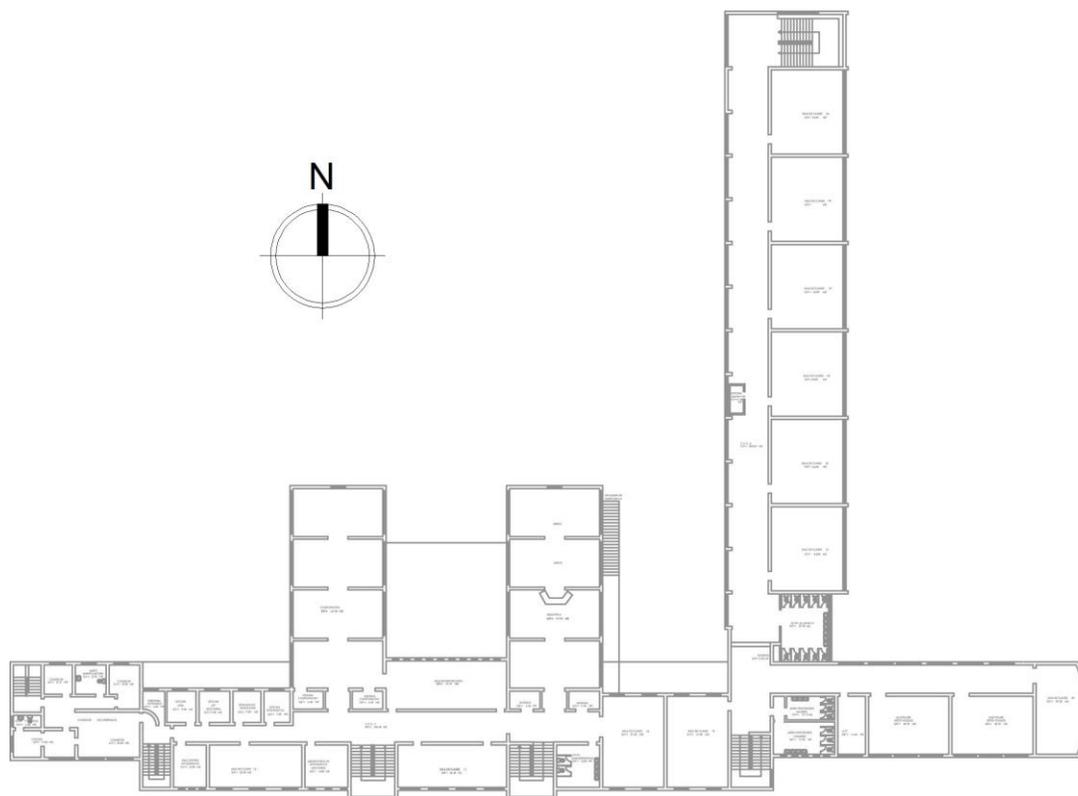


Figura 20 Planta de arquitectura general liceo Carmela Carvajal



Figura 21 Fotografías del establecimiento caso de estudio, elaboración propia.

4.2 Simulación dinámica de la demanda energética para el caso existente.

Se procede a la simulación dinámica del establecimiento seleccionado mediante software “*design builder*” © (figura 22), el área construida a simular considera 5.629,12 m². Se trabajó con la data climática detallada en el anexo A del presente documento, con estación meteorológica ubicada en el aeropuerto Cañal bajo de Osorno.

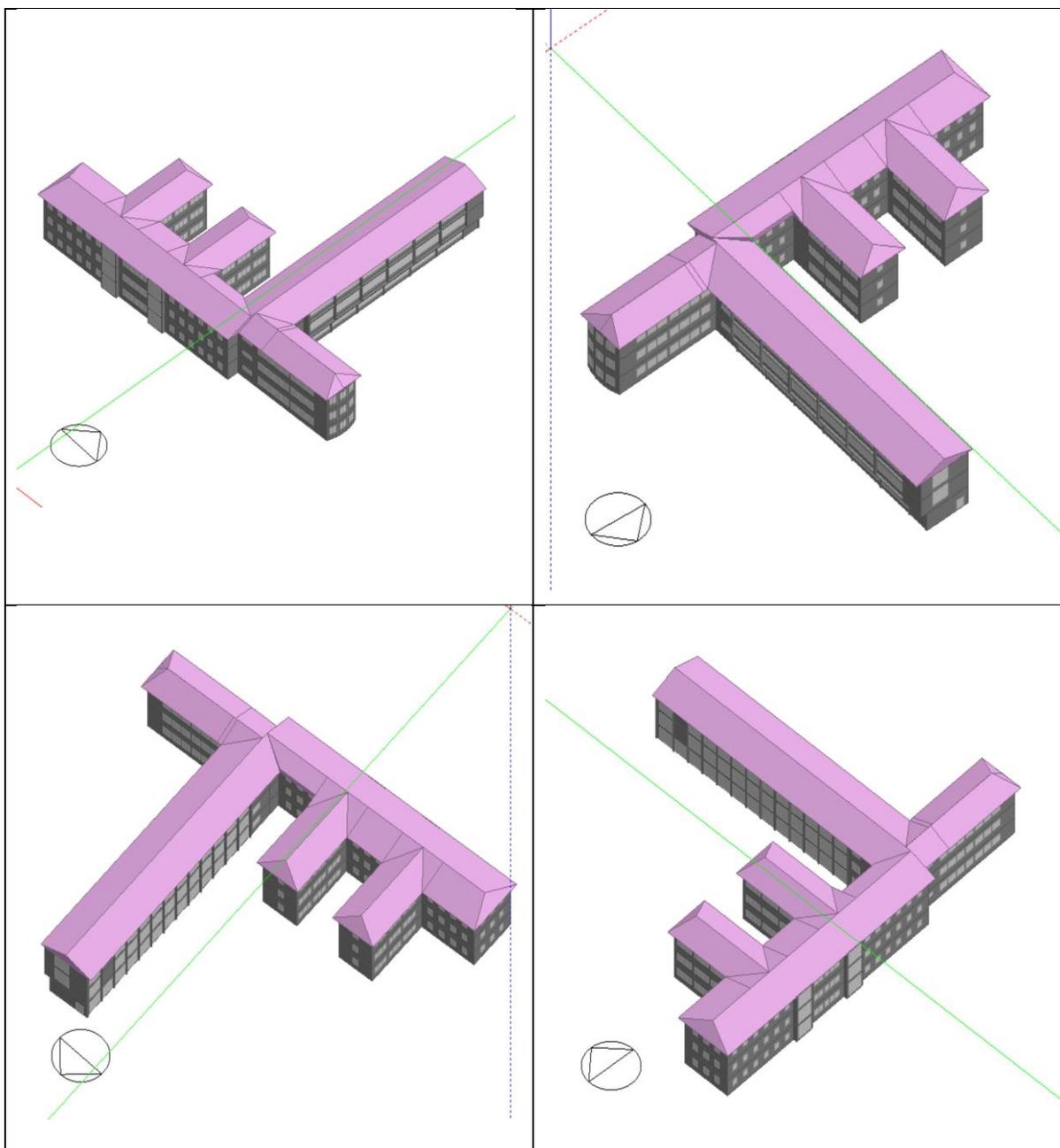


Figura 22 Imágenes del establecimiento simulado mediante software *Design builder* ©, elaboración propia.

4.2.1. Parámetros fijos de simulación.

Para establecer los parámetros de simulación se utilizan los documentos elaborados recientemente en Chile, en específico los Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética y Confort Ambiental, para Licitaciones de Diseño y Obra de la Dirección de Arquitectura, Según Zonas Geográficas del País y Según Tipología de Edificios (Citec UBB, y Decon UC 2012; MOP 2012), la fuente Guía de eficiencia Energética para Establecimientos Educativos (CITEC UBB 2012) y el manual de hermeticidad al aire de edificaciones (Citec UBB y Decon UC 2014), además de los datos de ocupación y calendario obtenidos de la ocupación del establecimiento.

Tabla parámetros fijos utilizados:

- Confort térmico calefacción: 20°.

- Horario diario de ocupación: Desde las 08.00 a 13 y de 14.00 17.00 de lunes a viernes.

- Calendario de ocupación: 01 de marzo al 16 de diciembre, se consideran 3 semanas de vacaciones de invierno desde el 11 al 29 de julio (jornada escolar completa).

- Cargas por ocupación: 66W.

- Cargas por iluminación: 11,25W/m² ;

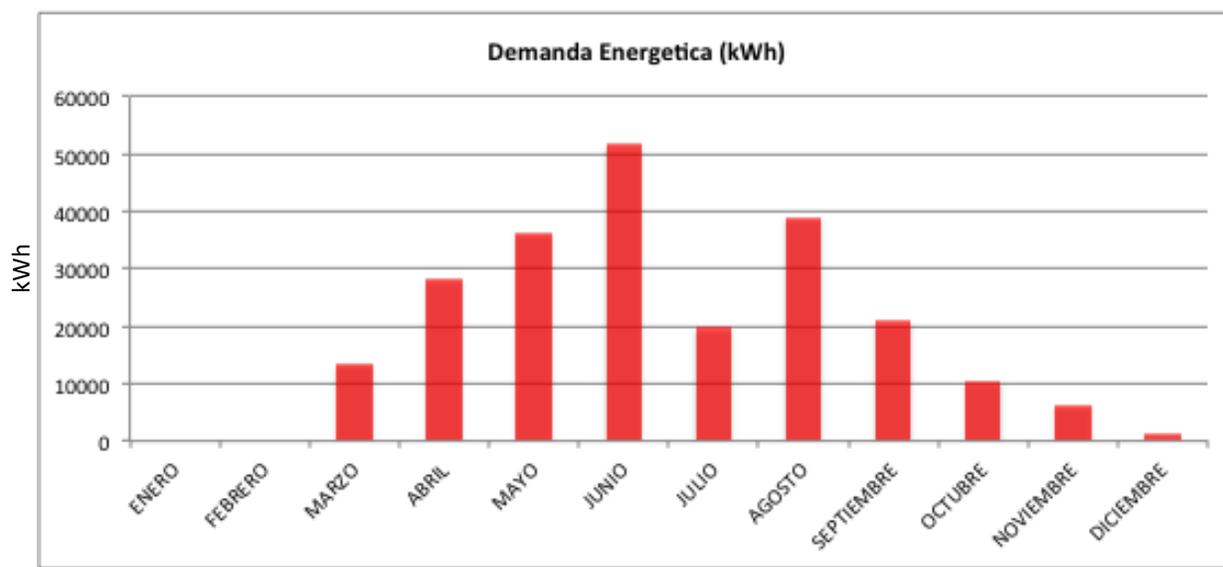
- Infiltraciones: Valor n50: 5.7 (1/h) caso existente (según línea base) y n50: 5 (1/h) para casos propuestos.

- Ventilación: 5 l/s persona.

4.2.2. Resultado simulación energética caso existente

Producto de la simulación, se obtiene la demanda de energía para el caso de estudio, según se observa en gráfico 2.

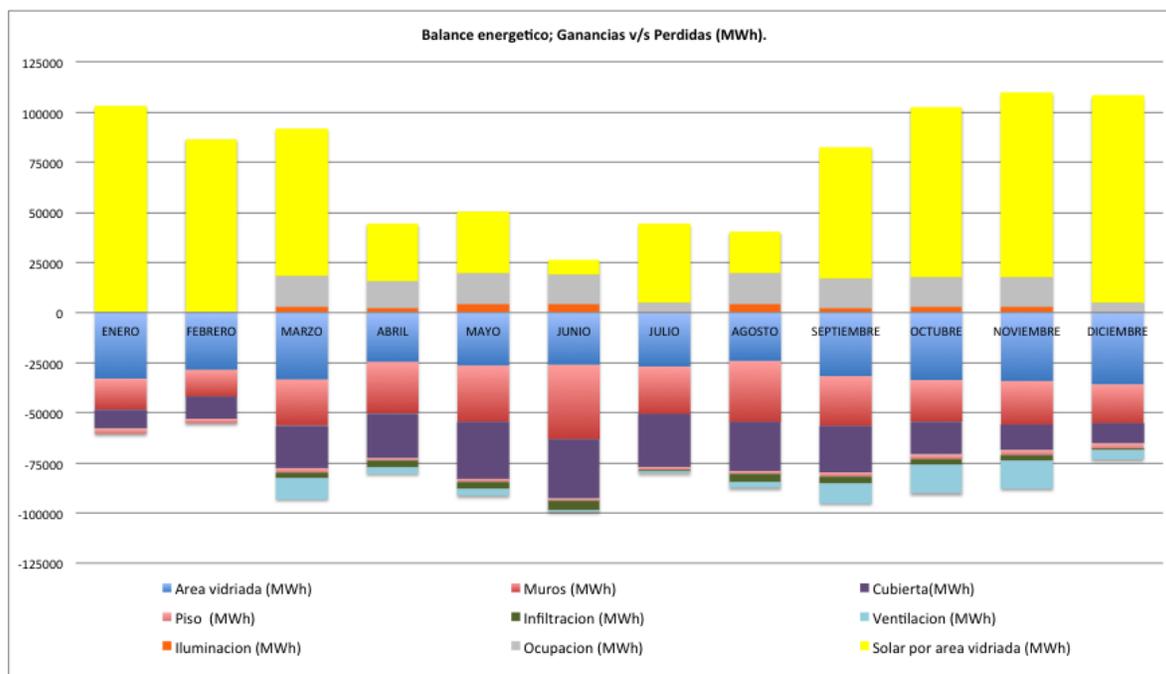
Gráfico 2 Demanda energética anual del caso base existente, elaboración propia.



Se observa una demanda en razón del calendario de ocupación indicado en el punto 4.2.1. que en promedio alcanza los 40,30 kWh/m² anuales. Cabe indicar que en el mes de julio la demanda a pesar de ser uno de los meses con menores temperaturas, disminuye por las vacaciones de invierno programadas.

Lo anterior tiene una correlación de acuerdo al clima local (ver anexo 01), denominado sur interior, lo que se vincula con la información indicada en el capítulo 3, por cuanto los episodios críticos por contaminación ambiental se producen en los meses de predominio de temperaturas bajas, lo que genera la necesidad de calefacción para habitar los establecimientos en confort térmico, produciéndose por tanto una demanda energética que se traducirá en la mayor utilización de combustible en éstos meses.

Gráfico 3 Balance ganancias versus pérdidas térmicas, elaboración propia.



Del balance entre pérdidas y ganancias energéticas expresado en el gráfico 3, se identifica que las mayores pérdidas se encuentran en la cubierta y muros, seguido por las áreas vidriadas. Aquí se manifiesta el hecho que la edificación carece de aislación térmica. Esta situación que se intensifica entre los meses de abril y septiembre en razón de la época con temperaturas más bajas en donde además las ganancias solares son reducidas.

Este balance refleja la necesidad de enfocar los parámetros de rehabilitación energética hacia estándares que permitan contar con una envolvente térmica de mayor rendimiento, con tal de evitar las pérdidas energéticas en los meses fríos y aprovechar de mejor manera las ganancias térmicas.

En razón del comportamiento térmico, se procederá a estudiar el vínculo entre las pérdidas energéticas y la generación de contaminación ambiental.

4.2.3. Estimación del material particulado emitido del caso base.

Para estimar la polución que el edificio genera, se utilizan factores de emisión según estudios nacionales, para la cual, en consideración del tipo de calefactor utilizado, corresponde a lo indicado la tabla 11 (ver ítem 3.3).

Para proceder al cálculo, se considera un factor de eficiencia del sistema de combustión lenta del 55 % de acuerdo a registrado por laboratorio a nivel nacional, según tabla 12.

En primera instancia se calcula el consumo energético dividiendo la demanda simulada por el rendimiento del sistema (55%), luego se calcula el traspaso a kilos de combustible, para lo cual el consumo obtenido se divide por el poder calorífico del combustible, en este caso leña (4 kWh/jg), ya obtenido la cantidad de combustible se aplican los factores de emisión expresados en gramos por kilo de combustible consumido, en resultado se observa en la tabla 13 y figura 23.

Tabla 13 Calculo para estimación de emisión producida para el caso de estudio.

Parámetro	Demanda Anual- DESIGN BUILDER (kWh/año)	Consumo (kWh/año)	Consumo de leña kg/año	MP 2.5 kg/año	MP 10 kg/año
Caso base existente	226.868,80	412.488,73	103.122,18	598	639

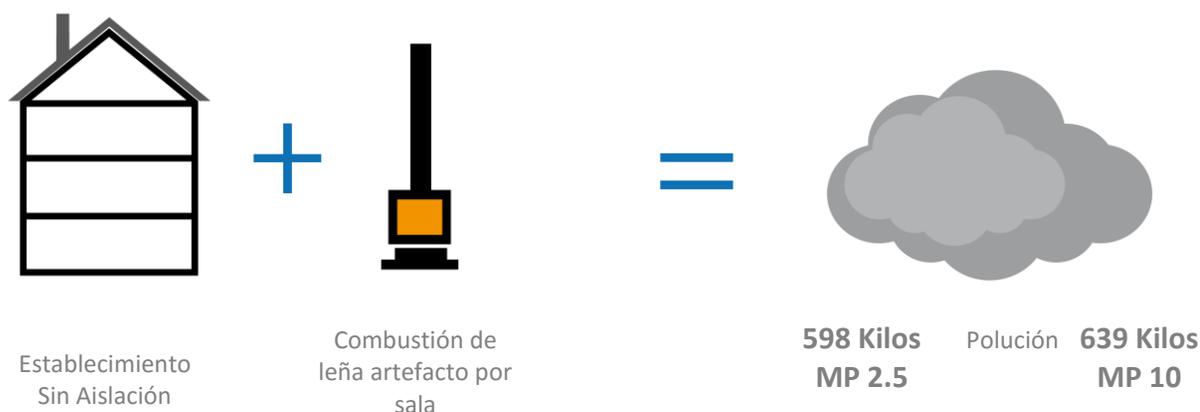


Figura 23 Infografía resumen de polución anual producida por el establecimiento en estudio.

4.3 Parámetros para rehabilitación térmica

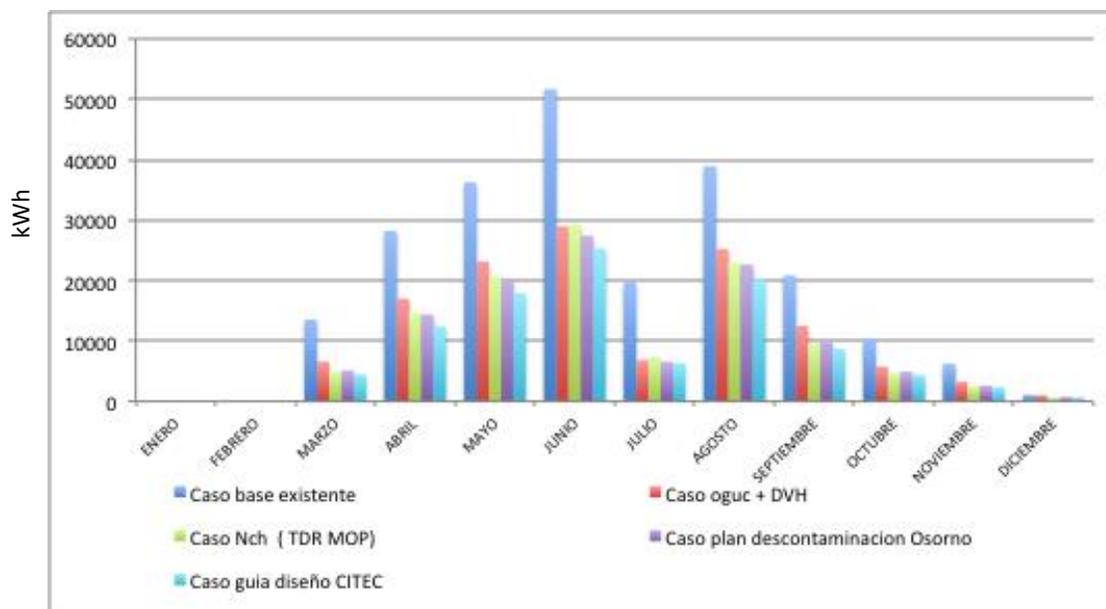
Para proceder con la estimación en la disminución de la polución, se realiza la simulación de la edificación aplicando los parámetros disponibles en Chile de acuerdo a lo expresado en el capítulo 2.2 del presente documento, a modo de resumen los valores para transmitancia se encuentra en la tabla 14 (ver en anexo C y D configuración de la envolvente).

Tabla 14 parámetros utilizados para simulación de rehabilitación

Parámetro	Transmitancia térmica - valor U: W/(m ² ·K)		
	U Muros	U Techumbre	U Ventanas
Caso base existente	2,84	4,31	5,14
Caso oguc + DVH	1,6	0,33	2,81
Caso Nch (TDR MOP)	0,5	0,3	2,81
Caso plan descontaminación Osorno ¹⁵	0,4	0,28	2,81
Caso guía diseño CITEC	0,3	0,18	2,81

4.4 Simulación dinámica de los parámetros de rehabilitación energética.

Gráfico 4 demanda energética anual para los parámetros simulados



¹⁵ Para el caso plan descontaminación, se utiliza valor para área vidriada de acuerdo a valores de sistema DVH

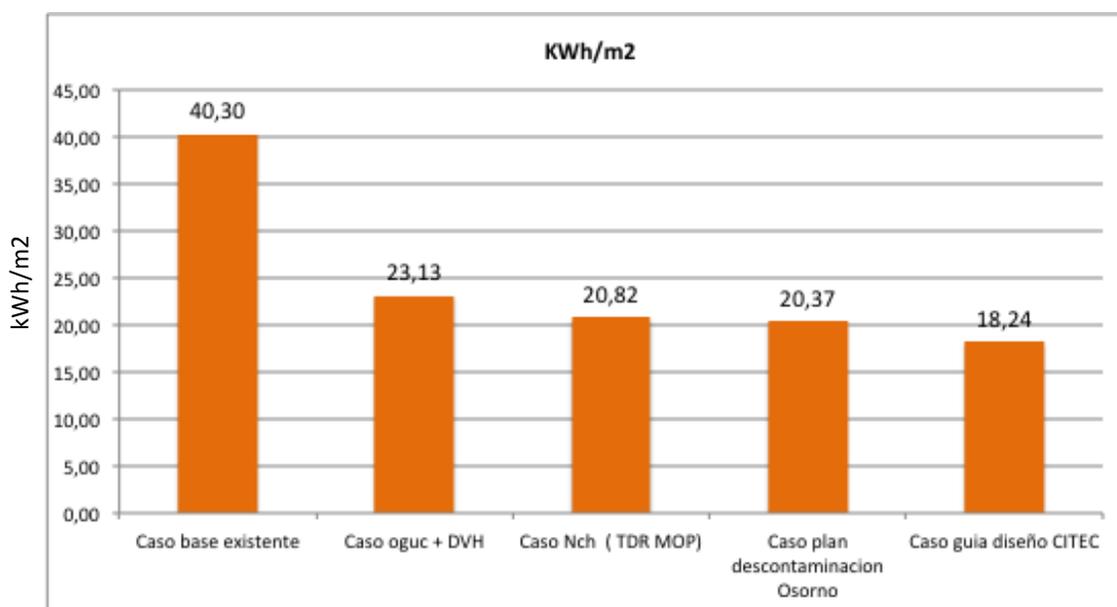
En cuanto a los parámetros utilizados, el gráfico 4 expresa la comparación de los resultado entre los diversos estándares aplicados, evidenciando una disminución en la demanda respecto al caso base existente, pasando en primera instancia a una reducción del 42,6% hasta un 54,7% para el caso de mayor efectividad, según la tabla 15, correspondiendo al estándar indicada Guía de eficiencia Energética para Establecimientos Educativos (CITEC UBB 2012).

Tabla 15 comparativa demanda energética

Parámetro	Demanda Calefacción kWh/m ² anual	% Disminución Demanda energética anual
Caso base existente	40,30	
Caso oguc + DVH	23,13	42,6%
Caso Nch (TDR MOP)	20,82	48,3%
Caso plan descontaminacion Osorno	20,37	49,5%
Caso guía diseño CITEC	18,24	54,7%

En el estándar comparativo de demanda se observa una disminución desde los 40,30 kWh/m², hasta llegar a un valor de 18,24 kWh/m², para el caso de mejor comportamiento, según se observa en gráfico 5. Con estos resultados se procederá a estudiar la correlación entre la reducción de la demanda energética obtenida y su correlación con la contaminación emitida.

Gráfico 5 Demanda energéticas en kWh/m² de los casos simulados.



4.5 Cálculo estático de la disminución del consumo y cantidad de materiales particulado generado.

De acuerdo al sistema de calefacción utilizado, se procede a la estimación de acuerdo a los factores de emisión indicados en la tabla 11, utilizando la fórmula expresa en el ítem 4.2.3. En resultado de este proceso se indica en la tabla 16, en donde se aprecia una disminución en la polución generado Manteniendo el sistema actual de calefacción, que bajo el estándar óptimo llegaría a una reducción del 54,5 % anualmente.

Tabla 16 Cálculo para estimación de emisión producida de acuerdo a parámetros para envolvente en consideración del sistema de calefacción existente (combustión lenta)

Parámetro	Demanda Anual- DESIGN BUILDER (Kwh/año)	Consumo (Kwh/año)	Consumo de leña kg/año	MP 2.5 kg/año	MP 10 kg/año
Caso base existente	226.868,80	412.488,73	103.122,18	598	639
Caso oguc + DVH	130.188,12	236.705,67	59.176,42	343	367
Caso Nch (TDR MOP)	117.225,57	213.137,40	53.284,35	309	330
Caso plan descontaminación Osorno	114.645,18	208.445,78	52.111,45	302	323
Caso guía diseño CITEC	102.669,54	186.671,89	46.667,97	271	289

Si bien, se evidencia una reducción, al contar con un sistema de calefacción deficiente y en consideración de lo indicado por plan de descontaminación ambiental detallada en el ítem 3.4, en donde se establece una prohibición del uso de artefactos unitarios a leña en un plazo de 2 años para establecimientos públicos, se hace necesario estudiar la aplicación de otros sistemas permitidos. En este ámbito, los sistemas a biomasa son parte de las estrategias impulsadas por el Ministerio del medio ambiente, por cuanto se consideran sistemas eficientes, que cumplen la normativa vigente de emisiones y cuentan con materia prima en la zona, instalándose recientemente plantas productoras de pellet en la Región de los lagos, lo que asegura un suministro.

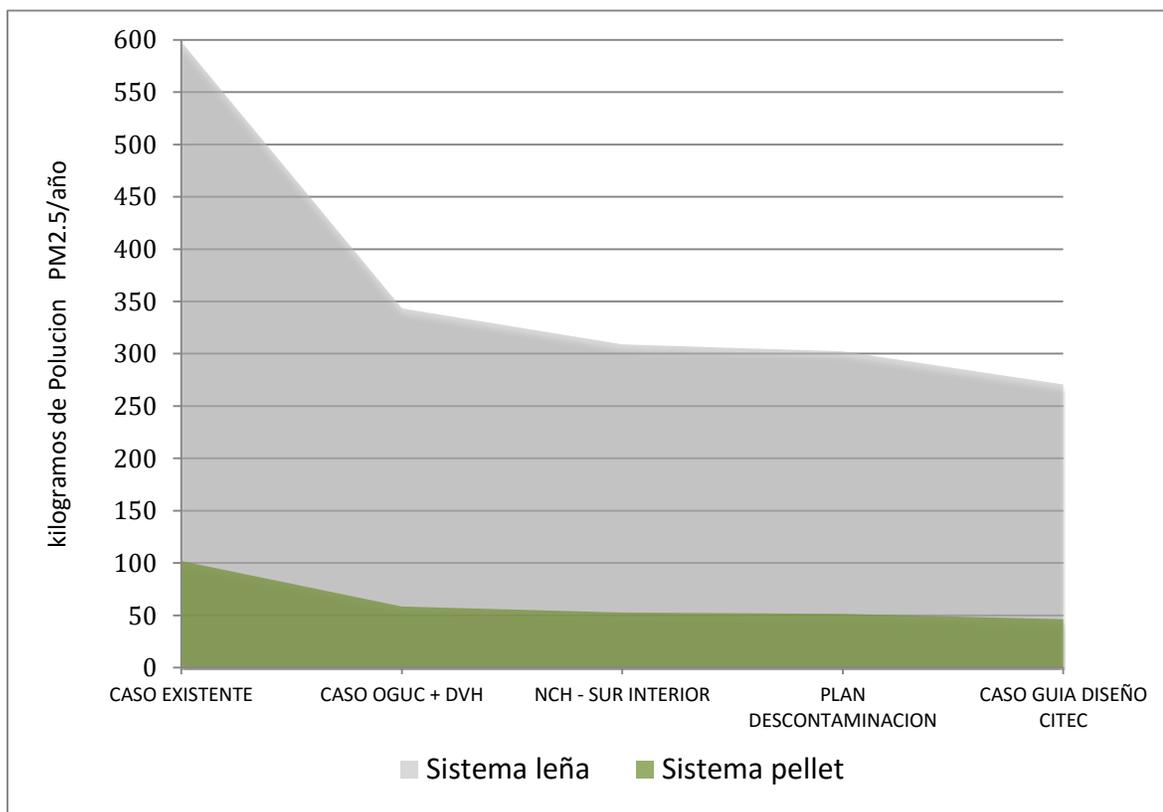
En la tabla 17, se observa la disminución factible de alcanzar al cambiar el sistema de calefacción por pellet, en consideración de los menores factores de emisión de este sistema y de la mayor eficiencia térmica de las calderas, sumando además un mayor poder calorífico de este combustible (5,23 KWh/jg).

Tabla 17 Cálculo para estimación de emisión producida de acuerdo a parámetros para envolvente en consideración del recambio del sistema de calefacción, utilizando pellet.

Parámetro	Demanda Anual- DESIGN BUILDER (kWh/año)	Consumo (kWh /año)	Consumo de pellet kg/año	MP 2.5 kg/año	MP 10 kg/año
Caso base existente	226.868,80	296.560,52	56.703,73	102	108
Caso oguc + DVH	130.188,12	170.180,55	32.539,30	59	62
Caso Nch (TDR MOP)	117.225,57	153.236,04	29.299,43	53	56
Caso plan descontaminación Osorno	114.645,18	149.862,98	28.654,49	52	54
Caso guía diseño CITEC	102.669,54	134.208,55	25.661,29	46	49

Al realizar la comparación de los sistemas, según se aprecia en gráfico 6, la utilización de sistemas de calefacción eficiente, en este caso pellet, demuestra la reducción sustancial en la polución generada, lo que en conjunto con la aplicación del estándar de mejor desempeño térmico, lograría disminuir un 92,3 % la polución MP 2,5 emitida, según se indica en figura 24.

Gráfico 6 comparación de PM 2,5 producida de acuerdo a parámetros de envolvente térmica y sistema de calefacción, en kilos por año.



4.6 Resumen comparativo de resultados polución MP 2.5 anual

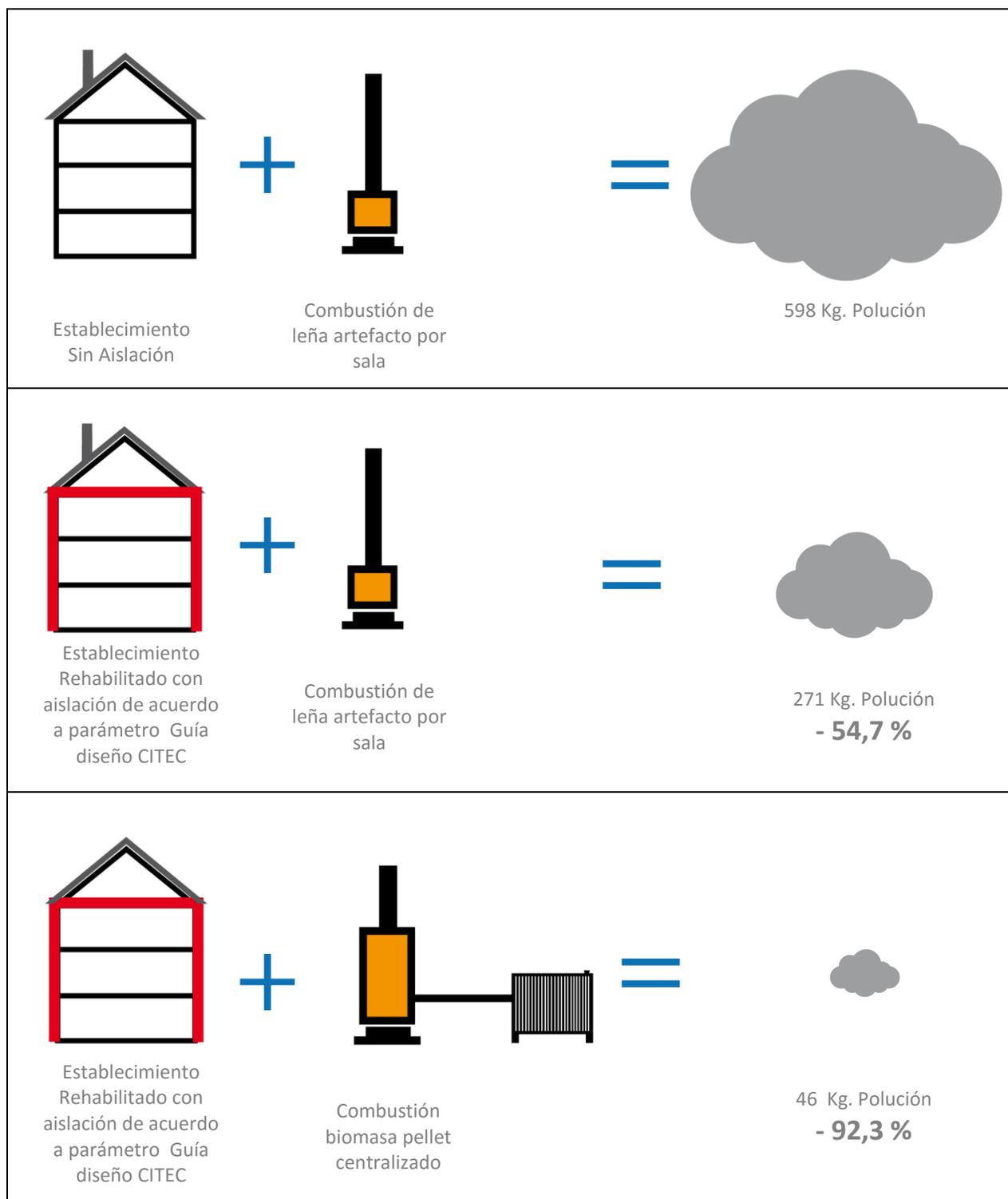


Figura 24 Infografía resumen comparativa de la estimación para la disminución de emisiones por estrategias de rehabilitación energética, elaboración propia.

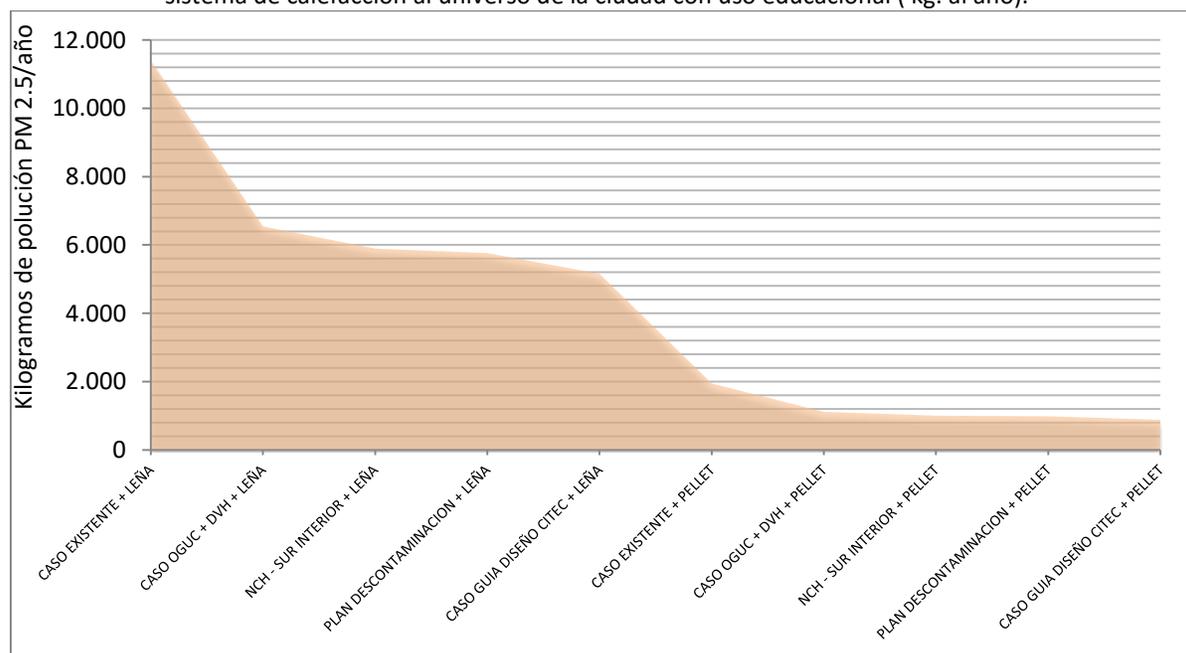
4.7 Extrapolación de resultados

Se procede a una Extrapolación proporcional de resultados al universo de lo construido en el ámbito educacional en el área urbana de Osorno. Para esto se cuenta con los datos indicados en punto 3.2 del presente documento, en donde se indica que el consumo anual promedio de leña sumando los establecimientos públicos y privados, alcanza los 3.402 metros cúbicos.

Se considera un conjunto de supuestos, entre estos la materialidad base de hormigón armado, la ausencia de aislación térmica, la utilización de vidrio monolito simple, sistemas de calefacción a leña de baja eficiencia, todo lo anterior de acuerdo a las características observadas en el caso base estudiado.

Así entonces, el gráfico 7 nos indica que al aplicar el porcentaje de reducción se acuerdo al estándar de envolvente térmica estudiado, utilizando en primera instancia los sistemas actuales a leña y en segunda instancia considerando el recambio por sistemas eficientes a biomasa (pellet), se observa que de los 11.400 kilogramos (11.4 ton.) de PM 2.5 producidos anualmente por la edificación actual, se lograría disminuir a 880 kilogramos (0.88 ton.) en el mismo periodo, de acuerdo a un reducción del 92,3 % factible de alcanzar para el caso óptimo.

Gráfico 7 Extrapolación de la disminución de polución PM 2.5 según estándar de envolvente térmica y sistema de calefacción al universo de la ciudad con uso educacional (kg. al año).



4.8 Evaluación económica.

A modo referencial se realiza una evaluación económica del sistema propuesto, mediante el sistema implementado por encargo del ministerio de desarrollo social, para la evaluación de proyectos presentados al banco integrado de proyectos a nivel nacional, para lo cual el CITEC de la Universidad del Bío-Bío elaboró una metodología de evaluación, generando una herramienta digital de análisis.

Se trabaja mediante la herramienta ECSE “eficiencia y costes sociales en edificios”, la cual contiene un conjunto de parámetros delimitados, que no permiten el ingreso manual de otras opciones. Ante esto se simula una opción intermedio de rehabilitación, de acuerdo al estándar disponible en la herramienta, correspondiente a la norma Chilena oficial Nch 1079 of.2008, detallada en ítem 2.2.2, la cual además es la utilizada por los términos de referencia estandarizados de confort ambiental y eficiencia energética (Citec UBB, Chile y Decon UC 2012). Se considera sistema de caldera a pellet disponible en la herramienta.

Los resultados se indican en la figura 25, en donde el *payback* de la opción mejorada, según la metodología utilizada cuenta con periodo de retorno muy alto, por sobre la vida útil preestablecida de 20 años, que bajo los parámetros del Ministerio del desarrollo Social no sería factible de financiar.

Al respecto, cabe reflexionar que esta evaluación no considera los impactos sociales derivados del aporte a un medio ambiente con menor polución y por tanto de un beneficio en la salud de la población, además los parámetros de la edificación existente están en desventaja respecto a los nuevos proyectos, los cuales pueden ocupar estrategias de orientación de los recintos, factor de forma compactos, adecuada proporción del área vidriada, todos factores que influyen en la demanda energética y en la superficie a intervenir de fachadas, cubiertas y área vidriadas, derivando por tanto en menores costos de inversión respecto a la edificación existente.

Herramienta ECSE [Eficiencia y Costes Sociales en Edificios]													
Región	Los Lagos						Superficie Útil (m²)	5629,12	Uso	Edificio educacional			
Comuna	Osorno						Altura entre plantas (m)	2,70	Intensidad de uso	Intensidad Baja - 9h			
Provincia	Osorno						Número de plantas	3,00	Inercia térmica	Alta			
Dirección	osorno						Superficie Útil Calefac. (m²)	5629,12	Calendario de uso	L-V			
Latitud (S)	40°34'00"						Superficie Útil Refrig.(m²)	0,00					
Longitud (W)	73°09'00"						Equipo de calefacción	Equipo localizado con evacuación de gases		Energía	Pellets		
Zona climática	7SI						Equipo de refrigeración	Sin Equipo		Energía	Electricidad		
	Fachada Norte	Fachada Noreste	Fachada Este	Fachada Sur	Fachada Oeste	Fachada Noroeste	Muros no soleados	Techumbres	Pisos en contacto con el terreno	Pisos ventilados	Cerramiento en contacto terreno	Superficie Total (m²)	
Superficie (m²)	1091,24		1253,94	1085,69	1251,29			1876,37	1876,37	0,00	0,00	8434,90	
% Vanos	16,70		36,13	25,20	43,65								
Envolvente Base	Hormigón		Hormigón		Hormigón			Hormigón	Hormigón				
Uopaco (Base) W/m²·K	3,43	-	3,43	3,43	3,43	-	-	2,01	2,60	-	-		
UVanos (Base) W/m²·K	5,80	-	5,80	5,80	5,80	-	-						
Factor Solar (Base)	0,85	-	0,85		0,85	-							
Mejora propuesta opaco	TDRé		TDRé										
Mejora propuesta vanos	TDRé		TDRé		TDRé								
Protección solar vanos	Base		Base		Base								
Uopaco (Mejorado) W/m²·K	0,50	-	0,50	3,43	3,43	-	-	2,01	2,60	-	-		
R.térmica aislamiento (m²·K/W)	1,71	-	1,71	-	-	-	-	-	-	-	-		
UVanos (Mejorado) W/m²·K	3,10	-	2,60	2,50	2,50	-	-						
F.solar (Mejorado) (BC)	0,85	-	0,85		0,85	-							
F.solar (Mejorado) (AC)	0,85	-	0,85		0,85	-							
Infiltraciones - Envolvente	Sistema mecánico de ventilación			NO	Renovaciones/hora (Base)		1,11	Implementar TDRé		Renovaciones / hora (M)		0,45	
PERMEABILIDAD AL AIRE - VENTANAS	Mínimo	-	Normal	-	Especial	10a	Reforzada	7a					
Instalaciones Edificio Mejorado													
Climatización	Equipo de calefacción			Caldera a pellet				Energía	Pellets		Iluminación		
	Equipo de refrigeración			Sin Equipo				Energía	Electricidad		T8		
Resultados													
	Demanda Calefacción Estimada (kWh/año)/m²	Demanda Refrigeración Estimada (kWh/año)/m²	Demanda Total Estimada (kWh/año)/m²	Consumo Calefacción Estimado (kWh/año)/m²	Consumo Refrigeración Estimado (kWh/año)/m²	Consumo Total Estimado (kWh/año)/m²	Costos Totales Estimados Energía (UF/año)/m²	Costos Estimados Iniciales (UF)/m²	Costos Estimados Mantenimiento EE (UF)/m²	Costos ciclo de vida (LCC) (UF)/m²	Emissiones de CO2 (T CO2e)/m²	Pay-Back (años)	
Base	41,97	0,07	42,04	67,69	0,00	67,84	0,10	3,33	2,47	7,11	0,05	-	
Mejorado	28,21	0,10	28,31	43,40	0,00	43,54	0,07	3,96	2,78	7,58	0,05	No viable	
Optimizado	12,91	0,12	13,03	3,69	0,03	3,73	0,01	4,36	2,43	6,95	1,34	17,00	
Dif., ahorro o reducciones Mejorado (%)	32,79	-40,50	32,67	35,89	0,00	35,81	35,78	-18,84	-12,60	0,07	0,00	-	
Dif., ahorro o reducciones Optimizado (%)	69,23	-72,90	69,00	94,55	0,00	94,50	91,80	-31,10	1,56	-0,02	-2491,86	-	
Herramienta diseñada por Alexis Pérez Fargallo y el Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bio-Bio en el marco del contrato con la Subsecretaría de Evaluación Social del Ministerio de Desarrollo Social del Gobierno de Chile titulado "Evaluación de la Rentabilidad Social de la Incorporación de Eficiencia Energética en Edificios Públicos"													

Figura 25 Simulación utilizando herramienta ECSE “eficiencia y costes sociales en edificios”,

Capítulo 5. Conclusiones.

Las estimaciones realizadas evidenciaron la existencia de una correlación entre una envolvente térmica rehabilitada de acuerdo a estándares vigentes para la edificación y su impacto en la disminución de la polución ambiental generada, situación que en vista de la problemática ambiental de la zona sur, se entiende como trascendental, a pesar que en el universo de lo construido, diversos estudios identifican al ámbito residencial como la mayor fuente de contaminación, en razón de la cantidad de viviendas, sin embargo la edificación pública o privada la cual se sitúa en la área urbana saturada ambientalmente, debería ser fuente de referencia para la comunidad, sirviendo como un ejemplo a modo educativo.

Resulta también importante tener en consideración, que con tal de lograr resultados efectivos, se requiere una solución integral que recoja la rehabilitación energética mediante el mejoramiento de la envolvente térmica en compañía de sistemas de calefacción de mayor eficiencia, lo que en conjunto logran disminuir la polución generada en un 92,3%, situación que al ser extrapolada al universo de establecimientos educacionales en el área urbana, lograría reducir desde las 11.4 toneladas de PM2.5 emitidas anualmente, a una cantidad de 0,88 toneladas en el mismo periodo.

Importante reflexión que se ha tener en razón de los costos económicos, por cuanto si bien al seguir las metodologías impulsadas por las entidades públicas a cargo de permitir la inversión a través de una evaluación social-económica, la rehabilitación energética de este tipo de edificación resulta con tasas de retorno muy altas, calificándose por tanto no viables. Ante esto, cabe situar la necesidad de extender el estudio de los beneficios sociales por fuera de los límites del predio, por cuanto finalmente la disminución de la polución ambiental, beneficiaría a la salud de la población, reflejándose en la disminución de las atenciones clínicas y por tanto, en los gastos que desembolsa el estado en las prestaciones entregadas.

5.1 Futuras líneas de investigación.

Ante los resultados de la estimación efectuada, surgen temáticas a estudiar, en especial con posibles estudios multidisciplinarios que analicen la vinculación entre las estrategias de rehabilitación energética sumando diversos usos programáticos y su impacto en la salud de la población, entiendo que la contaminación ambiental ha demostrado efectos dañinos a corto y largo plazo, evidenciándose en los centros de urgencia. Lo anterior podría además evidenciar la urgencia de incorporar normativas con el objetivo que la edificación pública y privada incorporen estándares energéticos cuantificaciones en su impacto futuro al medio ambiente medido en la contaminación ambiental que entregarán a su contexto.

Surge además la necesidad de generar metodologías de evaluación social económica que reconozca las situaciones fijas que la edificación existente no puede variar y que ante la nueva edificación demuestra estar en desventaja al momento de financiar, para lo cual se debería tener una perspectiva amplia de los impactos positivos que generan en todo el contexto medioambiental en el cual se emplazan.

Si bien las problemáticas ambientales actuales derivan del uso de la leña como combustible para calefacción, se podrían analizar impactos de otros combustibles con sistemas de mayor rendimiento, como por ejemplo bombas de calor aerotérmicas o geotérmicas, lo que podría resultar en menores costos de consumo mensual pero de mayor inversión inicial, los cuales además no generan contaminación al mediano plazo inmediato, pero consumen electricidad en sus sistemas, la cual idealmente debería provenir de energías renovables no convencionales, con tal de no desplazar los impactos ambientales a la fuente de la generación.

Capítulo 6. Referencias bibliográficas

- BAEK, C. y PARK, S., 2012. Policy measures to overcome barriers to energy renovation of existing buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea], vol. 16, no. 6, pp. 3939-3947. ISSN 13640321. DOI 10.1016/j.rser.2012.03.046. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.046>.
- BULL, J., GUPTA, A., MUMOVIC, D. y KIMPIAN, J., 2014. Life cycle cost and carbon footprint of energy efficient refurbishments to 20th century UK school buildings. *International Journal of Sustainable Built Environment* [en línea], vol. 3, no. 1, pp. 1-17. [Consulta: 26 noviembre 2014]. ISSN 22126090. DOI 10.1016/j.ijse.2014.07.002. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212609014000387>.
- CARLOS, J.S. y CORVACHO, H., 2010. Retrofit measures in old elementary school buildings towards energy efficiency. *Journal of Civil Engineering and Management* [en línea], vol. 16, no. 4, pp. 567-576. [Consulta: 26 noviembre 2014]. ISSN 1392-3730. DOI 10.3846/jcem.2010.63. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3846/jcem.2010.63>.
- CITEC UBB, 2012. *Guía de eficiencia Energética para Establecimientos Educativos* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: www.acee.cl.
- CITEC UBB, CHILE, M.G. de y DECON UC, 2012. TÉRMINOS DE REFERENCIA ESTANDARIZADOS TDRE CONFORT AMBIENTAL Y EFICIENCIA ENERGERICA. ,
- CITEC UBB y DECON UC, 2014. *Manual de Hermeticidad al aire de Edificaciones*. S.l.: s.n. ISBN 9789569275272.
- CITEC UBB y UC DECOM, 2012. *Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos*. S.l.: s.n. ISBN 9789568070045.
- CONGRESO NACIONAL DE CHILE, 2012. *Decreto 27 Declara zona saturada por material particulado respirable MP10, como concentracion diario y anual, y por material particulado fino respirble MP2,5, como concentracion diaria y anual, a la comuna de Osorno*. 2012. S.l.: s.n.
- ENERGY RESEARCH GROUP y SANMIGUEL SOUSA, S., 2007. *Un Vitruvio ecológico.: Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible* [en línea]. S.l.: 2014. ISBN 9788425221552. Disponible en: <http://books.google.com.co/books?id=yJdnNQAACAAJ>.
- GÓMEZ-LOBO, A., 2005. El consumo de leña en el sur de Chile: ¿por qué nos debe preocupar y qué se puede hacer? *Revista Ambiente y Desarrollo*, vol. 21, no. 3, pp. 43-47.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION, 2008. *NCh1079of2008*. 2008. S.l.: s.n.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, 2016. *Plan de descontaminacion atmosferica para la comuna de Osorno*. 2016. S.l.: s.n.
- MOP, 2011. TDRe: Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética y Confort Ambiental, para Licitaciones de Diseño y Obra de la Dirección de Arquitectura, Según Zonas Geográficas del País y Según Tipología de Edificios. *Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética y Confort Ambiental, para Licitaciones de Diseño y Obra de la Dirección de Arquitectura, Según Zonas Geográficas del País y Según Tipología de Edificios* [en línea], Disponible en: <http://arquitectura.mop.cl/eficienciaenergetica/Paginas/default.aspx>.

- OYARZÚN, M., 2010. Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, vol. 26, pp. 16-25. ISSN 0717-7348. DOI 10.4067/S0717-73482010000100004.
- PETROVIĆ BEĆIROVIĆ, S. y VASIĆ, M., 2013. Methodology and results of Serbian Energy-Efficiency Refurbishment Project. *Energy and Buildings* [en línea], vol. 62, pp. 258-267. [Consulta: 26 noviembre 2014]. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2013.03.027. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778813001953>.
- REISS, J., 2014. Energy Retrofitting of School Buildings to Achieve Plus Energy and 3-litre Building Standards. *Energy Procedia* [en línea], vol. 48, pp. 1503-1511. [Consulta: 26 noviembre 2014]. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2014.02.170. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876610214004329>.
- SALINI CALDERÓN, G.A., 2014. Estudio Acerca del Material Particulado Emitido en Ciudades de Tamaño Medio al Sur de Santiago de Chile. *Inge Cuc*, vol. 10, no. 1, pp. 97-108.
- SICAM INGENIERÍA LTDA., 2014. Recopilación y selección de Factores de Emisión para su aplicación representativa en inventario de emisión para la fuente Combustión Residencial de Leña. *MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE*,
- SUBSECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE, 2014. ESTUDIO DE GRANDES Y MEDIANOS CONSUMIDORES DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE OSORNO. . S.l.:
- UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TEMUCO, 2013. Estudio « Estudio de consumo y caracterización del uso de la leña en la ciudad de Osorno ». , pp. 1-133.
- CITEC UBB 2012. *Guía de eficiencia Energética para Establecimientos Educativos* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: www.acee.cl.

Capítulo 7. Anexos

7.1 Anexo A: Datos Climatológicos

Los antecedentes climáticos se elaboran con los datos de la estación meteorológica ubicada en el Aeropuerto de Osorno “CAÑAL BAJO”, la cual posee la zonificación de “sur interior”. Esta base climática se utilizó en el cálculo mediante software dinámico en el proceso de evaluación. Se utiliza el protocolo *IWEC Weather for Energy Calculation*, según el ASHRAE 1015.

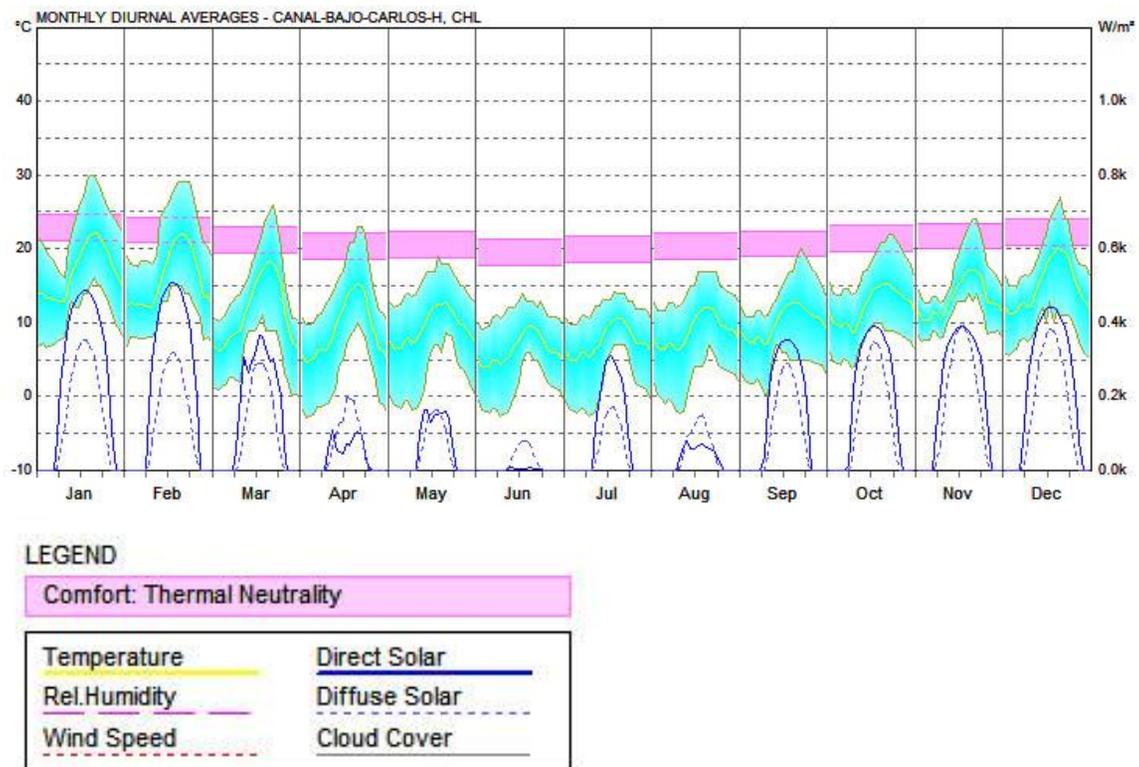
Sitio WEB en donde se consiguió la data climática:

<http://weather.whiteboxtechnologies.com/>

<https://www.ashrae.org/resources--publications/bookstore/iwec2>

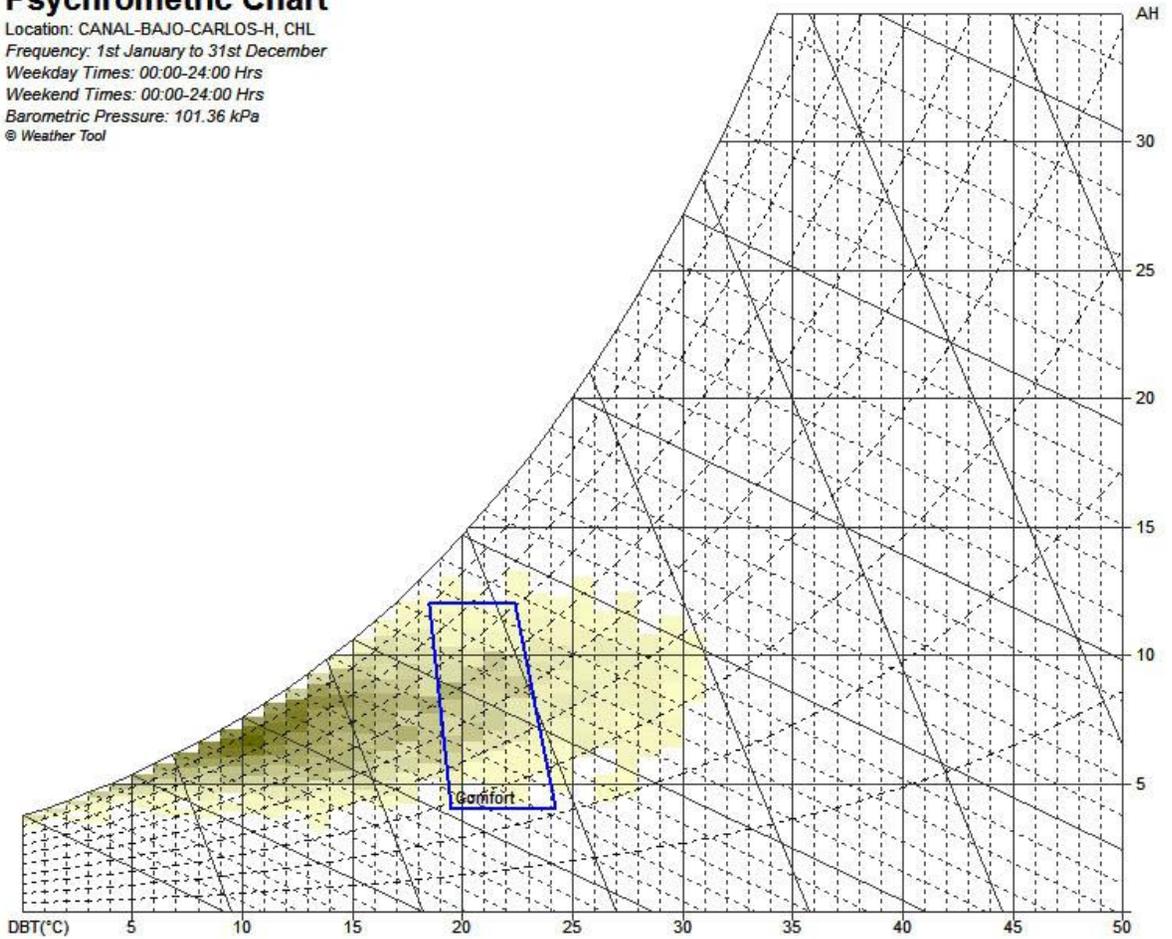
CANAL-BAJO-CARLOS-H - CHL Custom-854590 WMO#=854590

Promedios:



Psychrometric Chart

Location: CANAL-BAJO-CARLOS-H, CHL
 Frequency: 1st January to 31st December
 Weekday Times: 00:00-24:00 Hrs
 Weekend Times: 00:00-24:00 Hrs
 Barometric Pressure: 101.36 kPa
 © Weather Tool

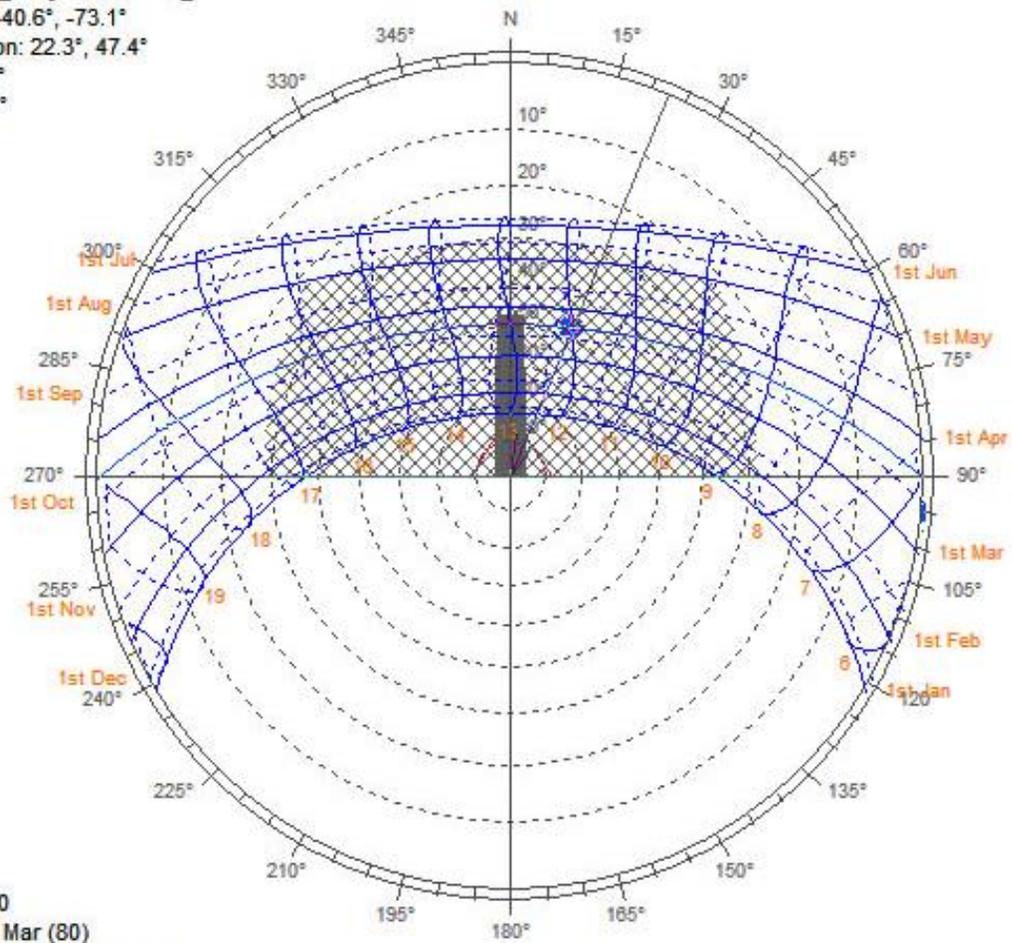


La carta psicrométrica demuestra que el promedio de las temperaturas se encuentran por debajo del área de confort térmico, por lo anterior las estrategias pasivas deben ser enfocadas a la envolvente térmica del edificio, tal de evitar las fugas de calor, lo que se debe acompañar de estrategias de captación solar pasiva mediante una correcta orientación de los recintos.

Carta Solar Osorno.

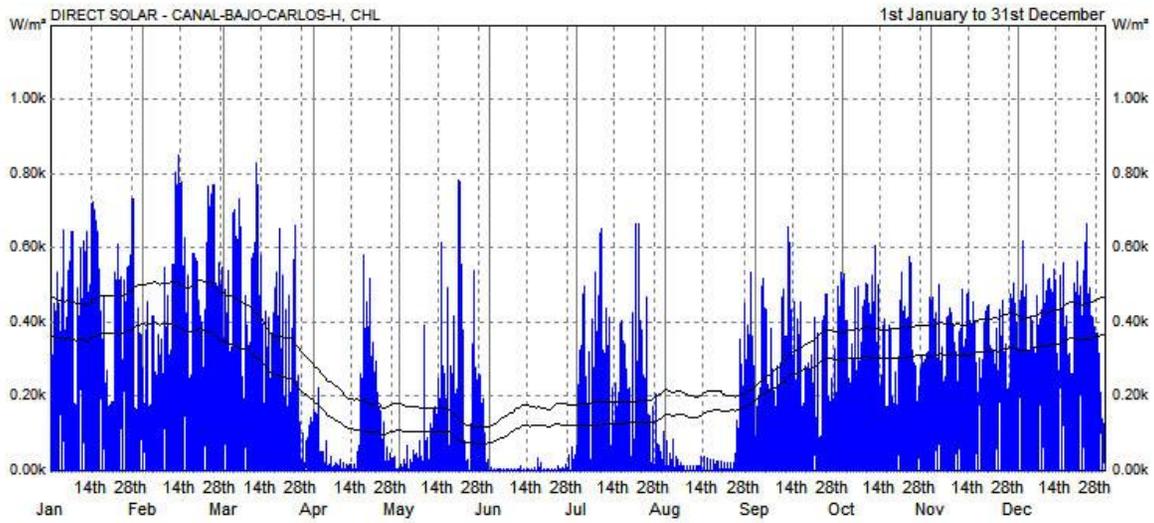
Stereographic Diagram

Location: -40.6° , -73.1°
 Sun Position: 22.3° , 47.4°
 HSA: 22.3°
 VSA: 49.7°

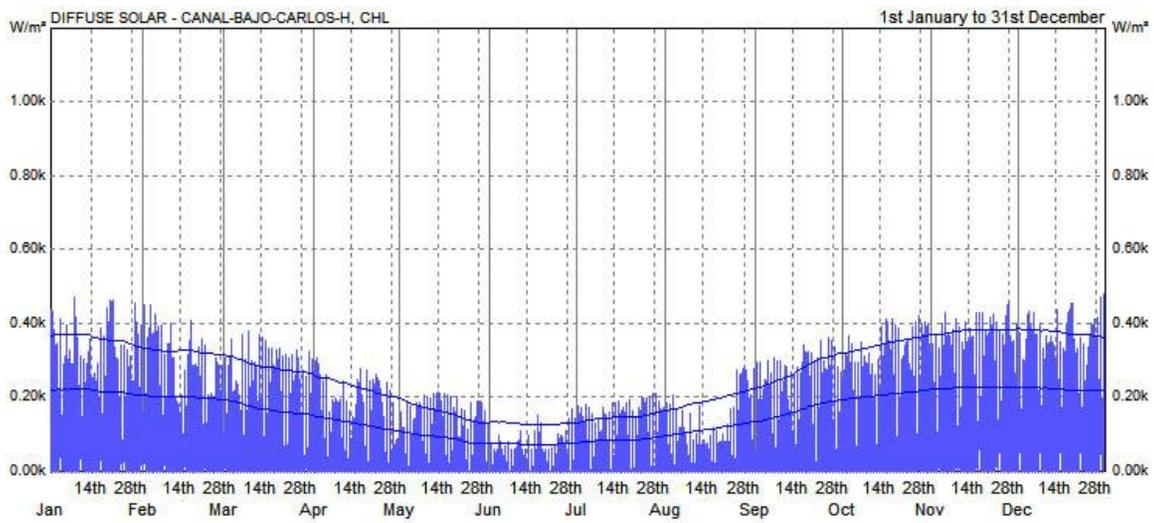


Time: 12:00
 Date: 21st Mar (80)
 Dotted lines: July-December.

Radiación solar directa:



Radiación solar difusa:



7.2 Anexo B: Características del modelo simulado en Software

Desglose de las zonas térmicas simuladas mediante software *Design builder*.

Área [m2]	Área [m2]	Volumen [m3]	Área de pared bruto [m2]	Área de ventana [m2]
PISO1AULA: pasillo	234.38	933,74	292,75	134.36
PISO1AULA: ZONE4	46.88	179.03	32.47	16.00
PISO1AULA: ZONE5	46.85	178.89	32.45	16.00
PISO1AULA: ZONE6	46.89	179.05	32.48	16.00
PISO1AULA: ZONE7	46.99	179.44	32.55	16.00
PISO1AULA: ZONE8	46.87	178.97	32.46	16.00
PISO1AULA: ZONE1	47.77	182.42	33.05	16.00
PISO2AULA: ZONE4	61.68	210,37	41.26	16.00
PISO2AULA: ZONE5	60.70	203,98	35.18	16.00
PISO2AULA: ZONE6	60.80	204,31	35.28	16.00
PISO2AULA: ZONE7	60.73	204.12	35.19	16.00
PISO2AULA: ZONE8	60.71	204,03	35.17	16.00
PISO2AULA: ZONE3	60.71	204.01	35.20	16.00
PISO2AULA: pasillo	241,9	918,36	296,61	134.87
PISO3: ZONE4	61.68	210,37	41.26	16.00
PISO3: ZONE5	60.70	203,98	35.18	16.00
PISO3: ZONE6	60.80	204,31	35.28	16.00
PISO3: ZONE7	60.73	204.12	35.19	16.00
PISO3: ZONE8	60.71	204,03	35.17	16.00
PISO3: ZONE3	60.71	204.01	35.20	16.00
PISO3: pasillo	241,83	918,36	296,61	134.87
PISO1CURVA: pasillo	114.25	417,01	108.49	7.35
PISO1CURVA: ZONE1	149.37	545,19	135,52	12.18
PISO1CURVA: SSHH	34.10	124.45	23.00	2.42
PISO1CURVA: SSHH-1	33.29	121.51	24.04	2.42
PISO2CURVO: pasillo	114.25	399,87	108.49	7.35
PISO2CURVO: ZONE1	149.37	522,78	135,52	12.18
PISO2CURVO: SSHH1	34.10	119.34	22.99	2.42
PISO2CURVO: SSHH	33.29	116.52	24.04	2.42
PISO3CURVO: pasillo	114.25	399,87	108.49	7.35
PISO3CURVO: ZONE1	149.37	522,78	135,52	12.18
PISO3CURVO: SSHH1	34.10	119.34	22.99	2.42
PISO3CURVO: SSHH	33.29	116.52	24.04	2.42

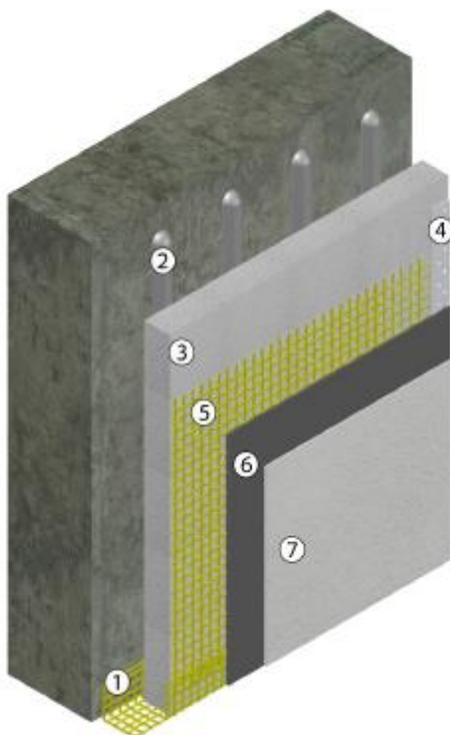
PISO1EDIFANTIGUO: ZONE6	203.04	741,1	173.18	5.62
PISO1EDIFANTIGUO: ZONE4	173.50	633,26	158.34	5.62
PISO1EDIFANTIGUO: pasillo	261.22	953,45	163.70	29.30
PISO1EDIFANTIGUO: ZONE1	172.82	630,8	169.47	5.62
PISO1EDIFANTIGUO: ZONE2	96.40	351,87	60.95	1.87
PISO1EDIFANTIGUO: ZONE3	61.38	224,04	38.69	1.87
PISO2EDIFANTIGUO: ZONE6	203.04	710,65	173.18	5.62
PISO2EDIFANTIGUO: ZONE4	173.50	607,24	158.34	5.62
PISO2EDIFANTIGUO: pasillo	261.22	914,27	163.70	29.30
PISO2EDIFANTIGUO: ZONE1	172.82	604,88	169.47	5.62
PISO2EDIFANTIGUO: ZONE2	96.40	337,41	60.95	1.87
PISO2EDIFANTIGUO: ZONE3	61.38	214,83	38.69	1.87
PISO3EDIFANTIGUO: ZONE6	203.04	710,65	173.18	5.62
PISO3EDIFANTIGUO: ZONE4	173.50	607,24	158.34	5.62
PISO3EDIFANTIGUO: pasillo	261.22	914,27	163.70	29.30
PISO3EDIFANTIGUO: ZONE1	172.82	604,88	169.47	5.62
PISO3EDIFANTIGUO: ZONE2	96.40	337,41	60.95	1.87
PISO3EDIFANTIGUO: ZONE3	61.38	214,83	38.69	1.87
Total	5629.12	20.148,14	4682.16	914,95

Porcentaje de área vidriada respecto a muros: **19,54 %**

Área de cubierta	2.097.99 m2
-------------------------	--------------------

7.3 Anexo C: Descripción sistema E.I.F.S utilizado como solución constructiva para parámetros estudiados.

Para todos los muros en contacto con el exterior de edificio, se consideró en espesor según el parámetro estudiado, sistema tipo E.I.F.S. (Exterior Insulation and Finish System), método factible de aplicar a la edificación existente por cuanto se puede adherir a los muros de hormigón existente, los componentes son los indicados en la ficha técnica adjunta:



1. Encapsulado Americano
2. Sto ProPasta 1:1
3. Panel Aislante de EPS
4. Esquinero PVC
5. Malla Sto Mesh
6. Sto ProPasta 1:1
7. Sto ProFinish

7.4 Anexo D: Configuración de envolventes térmicas estudiadas

Se adjunta la configuración de los parámetros de la envolvente simuladas mediante software *design builder*®

1.- Muro Caso oguc + DVH

General	
Name	hormigon exterior aislacion oguc zona 5
Source	
Category	Walls
Region	CHILE
Definition	
Definition method	1-Layers
Calculation Settings	
Layers	
Number of layers	2
Outermost layer	
Material	aislapol poliestireno expandido d20
Thickness (m)	0.0104
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Innermost layer	
Material	HORMIGON ARMADO TIPO CHILE
Thickness (m)	0.3000
<input type="checkbox"/> Bridged?	



2.- Cubierta Caso oguc + DVH

(Losa cubierta más aislante)

General	
Name	cubierta hormigon mas aislante zona 5 oguc
Source	
Category	Roofs
Region	CHILE
Definition	
Definition method	1-Layers
Calculation Settings	
Layers	
Number of layers	2
Outermost layer	
Material	aislapol poliestireno expandido d20
Thickness (m)	0,1075
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Innermost layer	
Material	HORMIGON ARMADO TIPO CHILE
Thickness (m)	0,1500
<input type="checkbox"/> Bridged?	



3.- Muro caso Nch 1079

General	
Name	homigon exterior aislacion nch sur interior
Source	
Category	Walls
Region	CHILE
Definition	
Definition method	1-Layers
Calculation Settings	
Layers	
Number of layers	2
Outermost layer	
Material	aislapol poliestireno expandido d20
Thickness (m)	0.0632
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Innermost layer	
Material	HORMIGON ARMADO TIPO CHILE
Thickness (m)	0.3000
<input type="checkbox"/> Bridged?	



4.- Cubierta caso Nch 1079

(Losa cubierta más aislante)

General	
Name	cubierta hormigon mas aislante zona nch sur interior
Source	
Category	Roofs
Region	CHILE
Definition	
Definition method	1-Layers
Calculation Settings	
Layers	
Number of layers	2
Outermost layer	
Material	aislapol poliestireno expandido d20
Thickness (m)	0,1191
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Innermost layer	
Material	HORMIGON ARMADO TIPO CHILE
Thickness (m)	0,1500
<input type="checkbox"/> Bridged?	



5.- Muro caso Plan descontaminación.

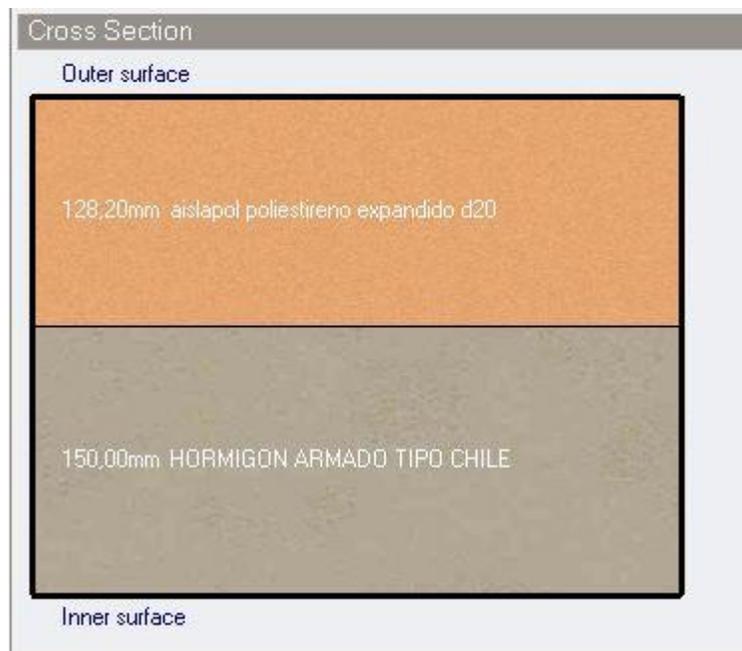
General	
Name	homigon exterior plan descontaminacion osorno
Source	
Category	Walls
Region	CHILE
Definition	
Definition method	1-Layers
Calculation Settings	
Layers	
Number of layers	2
Outermost layer	
Material	aislapol poliestireno expandido d20
Thickness (m)	0,0824
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Innermost layer	
Material	HORMIGON ARMADO TIPO CHILE
Thickness (m)	0,3000
<input type="checkbox"/> Bridged?	



6.- Cubierta caso Plan descontaminación.

(Losa cubierta más aislante)

General	
Name	cubierta hormigon mas aislante plan descontaminacion osorno
Source	
Category	Roofs
Region	CHILE
Definition	
Definition method	1-Layers
Calculation Settings	
Layers	
Number of layers	2
Outermost layer	
Material	aislapol poliestireno expandido d20
Thickness (m)	0,1282
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Innermost layer	
Material	HORMIGON ARMADO TIPO CHILE
Thickness (m)	0,1500
<input type="checkbox"/> Bridged?	



7.- Muro caso Guía Diseño establecimientos educacionales CITEC.

Constructions Data

Layers | Surface properties | Image | Calculated | Cost | Condensation analysis

General

Name homigon exterior quia citec diseño educacional

Source

Category Walls

Region CHILE

Definition

Definition method 1-Layers

Calculation Settings

Layers

Number of layers 2

Outermost layer

Material aislapol poliestireno expandido d20

Thickness (m) 0,1144

Bridged?

Innermost layer

Material HORMIGON ARMADO TIPO CHILE

Thickness (m) 0,3000

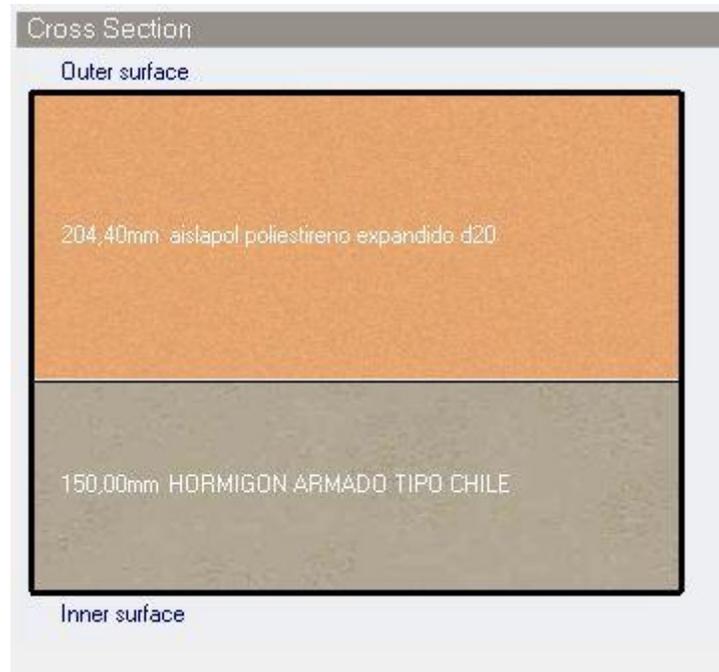
Bridged?



8.- Cubierta caso Guía Diseño establecimientos educacionales CITEC.

(Losa cubierta más aislante)

General	
Name	cubierta hormigon quia diseño citec
Source	
Category	Roofs
Region	CHILE
Definition	
Definition method	1-Layers
Calculation Settings	
Layers	
Number of layers	2
Outermost layer	
Material	aislapol poliestireno expandido d20
Thickness (m)	0,2044
<input type="checkbox"/> Bridged?	
Innermost layer	
Material	HORMIGON ARMADO TIPO CHILE
Thickness (m)	0,1500
<input type="checkbox"/> Bridged?	



9.- Doble vidrio hermético (DVH)

General

Name DVH CHILE

Description

Source EnergyPlus dataset

Category Double

Region General

Definition method

Definition method 1-Material layers

Layers

Number layers 2

Outermost pane

Pane type vidrio simple chile 4 MM

Flip layer

Window gas 1

Window gas type AIR 10MM

Innermost pane

Pane type vidrio simple chile 4 MM

Flip layer

Glazing Data

Layers **Calculated** Cost

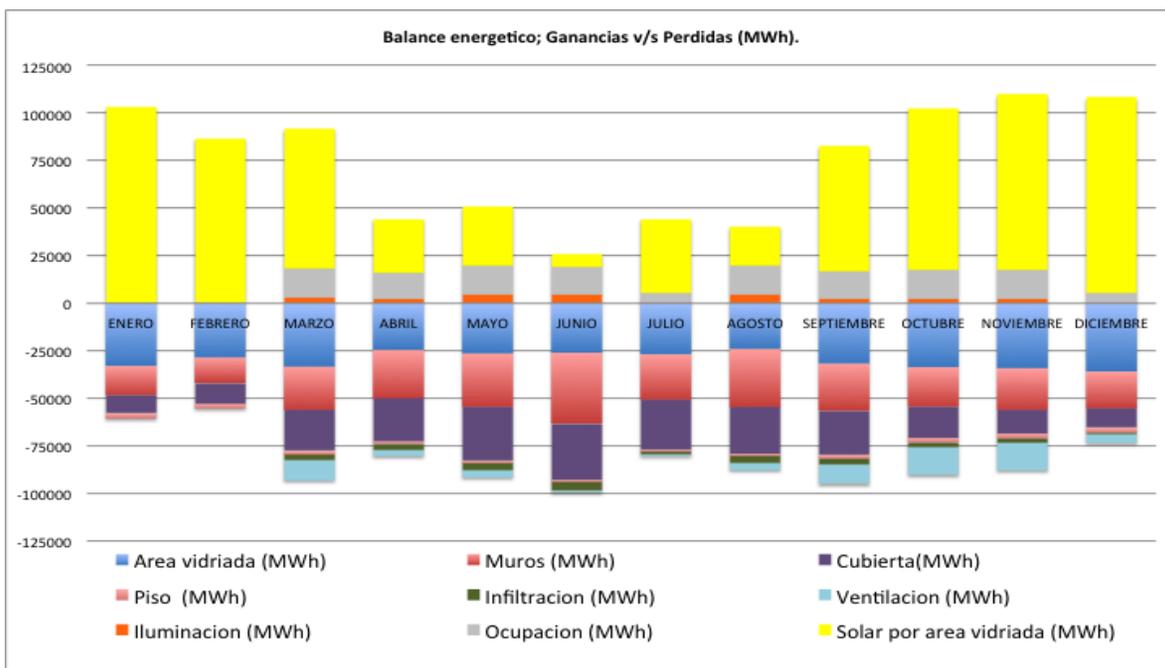
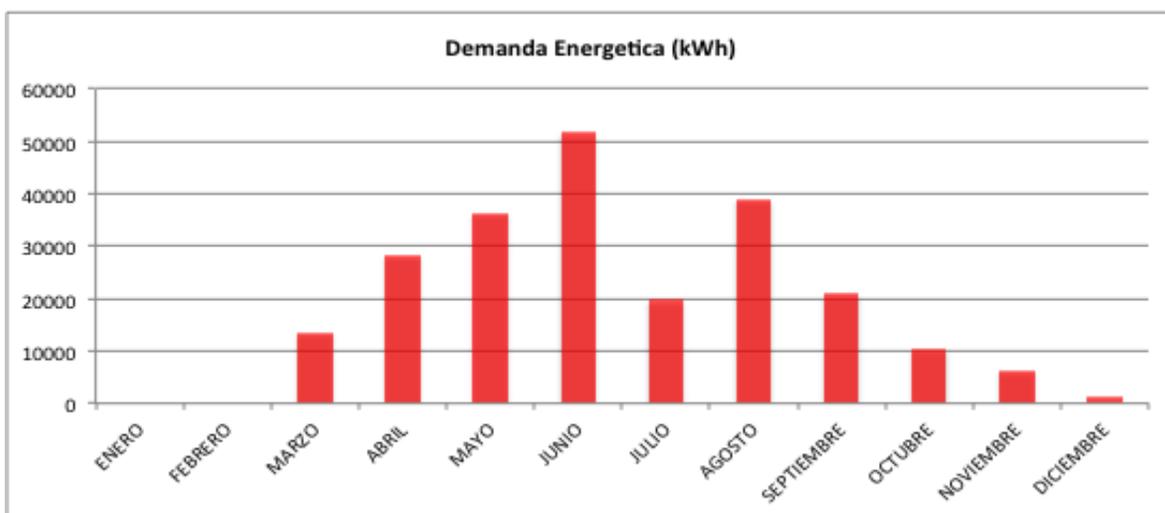
Calculated Values

Total solar transmission (SHGC)	0,449
Direct solar transmission	0,231
Light transmission	0,326
U-value (ISO 10292/ EN 673) (W/m2-K)	2,976
U-Value (ISO 15099 / NFRC) (W/m2-K)	2.816

7.5 Anexo E: Desglose de las simulaciones realizadas.

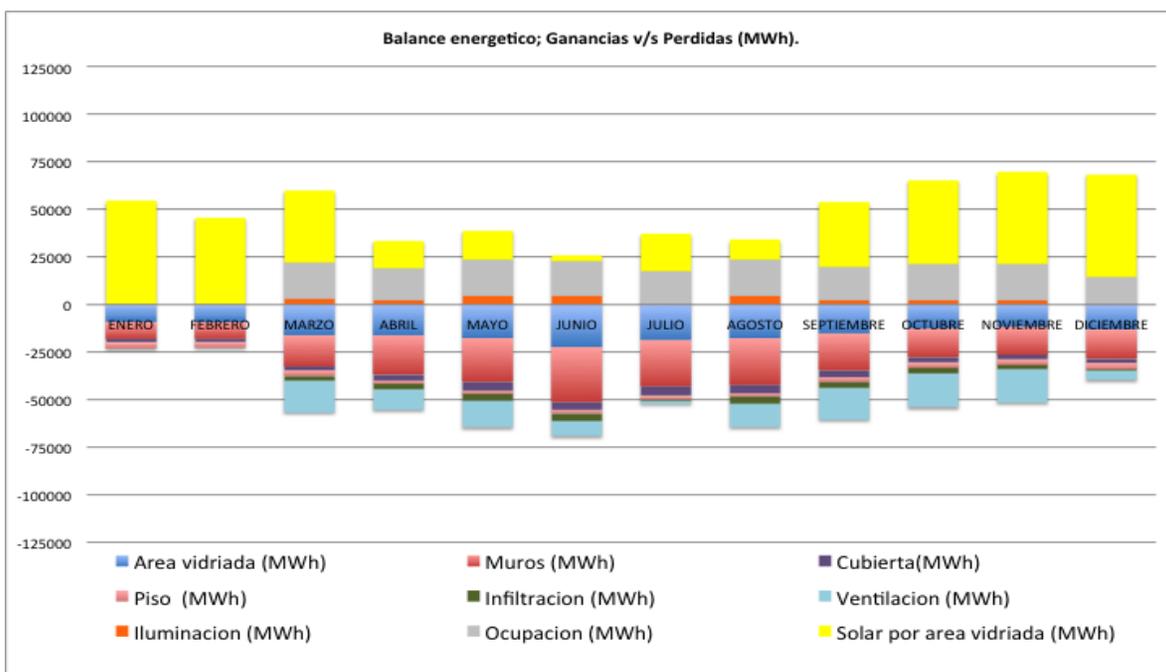
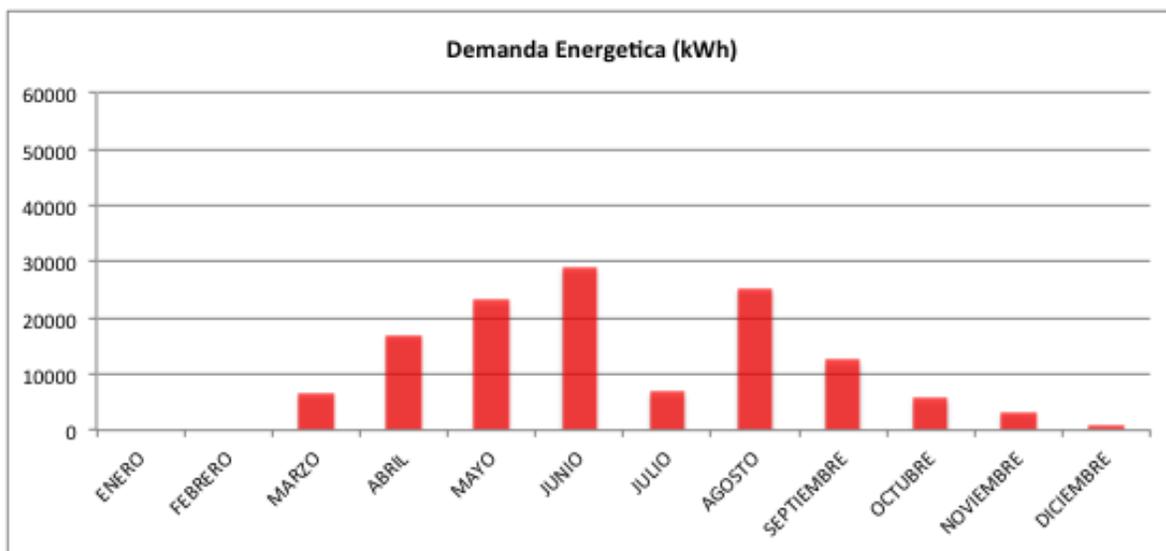
1.- Caso base existente

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE
Iluminacion(MWh)	0	0	2848,33	2476,81	4531,44	4334,42	295,53	4531,44	2600,65	2724,49	2724,49	236,42
AreaVidriada(MWh)	-32983,85	-28595,1	-33370,68	-24582,71	-26457,12	-26029,57	-26901,25	-24087,06	-31721,26	-33668	-34149,57	-35805,27
Muros(MWh)	-15371,29	-13401,82	-22803,18	-25591,12	-28071,66	-37199,34	-23901,32	-30600,64	-24798,04	-20695	-22008,41	-19551,02
Cubierta(MWh)	-9526,46	-10961,76	-21405,38	-22514,6	-28408,19	-29668,44	-26253,39	-24495,29	-23238,78	-16491,87	-12449,21	-9992,19
Piso(MWh)	-2663,36	-2269,51	-2312	-1284,14	-1397,43	-1351,42	-1289,68	-1305,74	-1971,04	-2273,03	-2470,92	-2752,2
Infiltracion(MWh)	0	0	-2600,98	-2915,03	-3904,67	-4415,53	-1184,69	-3959,99	-3259,1	-2927,71	-2561,03	-750,34
Ventilacion(MWh)	0	0	-10529,35	-3415,35	-3179,23	-707,57	-197,18	-3096,73	-10044,94	-14188,71	-14150,38	-4429
Iluminacion(MWh)	0	0	2848,33	2476,81	4531,44	4334,42	295,53	4531,44	2600,65	2724,49	2724,49	236,42
Ocupacion(MWh)	0	0	15478,28	13459,38	15478,28	14805,31	4915,6	15478,28	14132,35	14805,31	14805,31	4915,6
SolarPorAreaVidriada(MWh)	103303,78	86839,82	73468,01	28562,9	30661,65	6969,9	39192,57	20518,51	65993,54	85038,88	92420,02	103086,82
DemandaEnergetica(kWh)	0	0	13544,15	28191,92	36248,61	51654,96	19697,21	38926,77	20846,58	10420,89	6232,49	1105,22



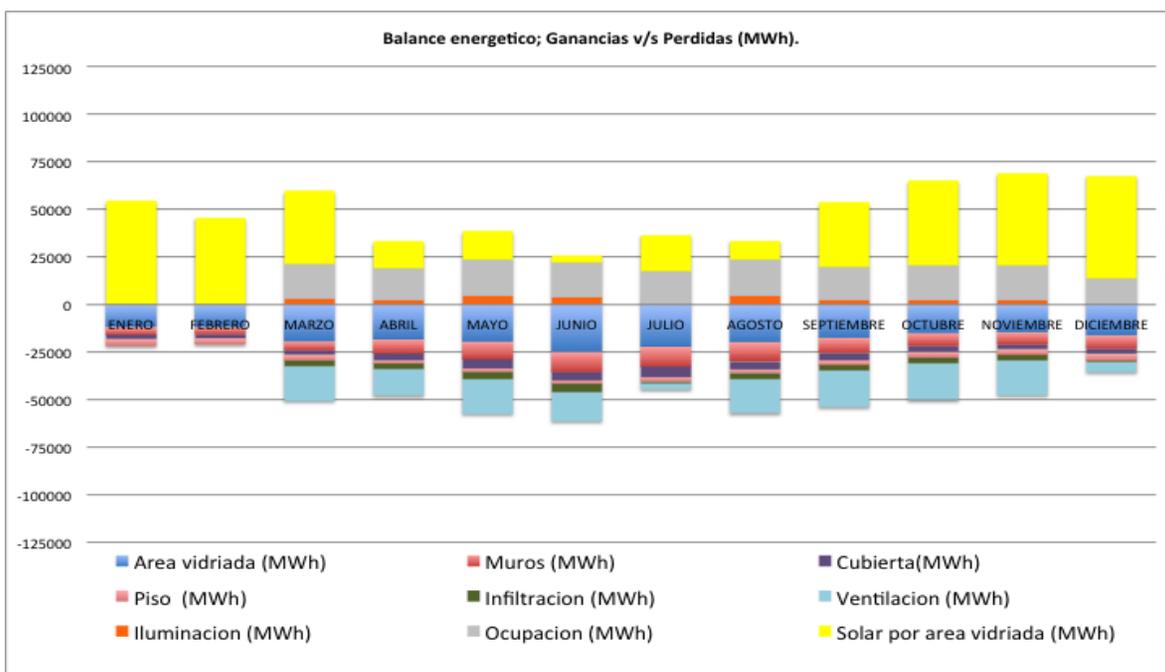
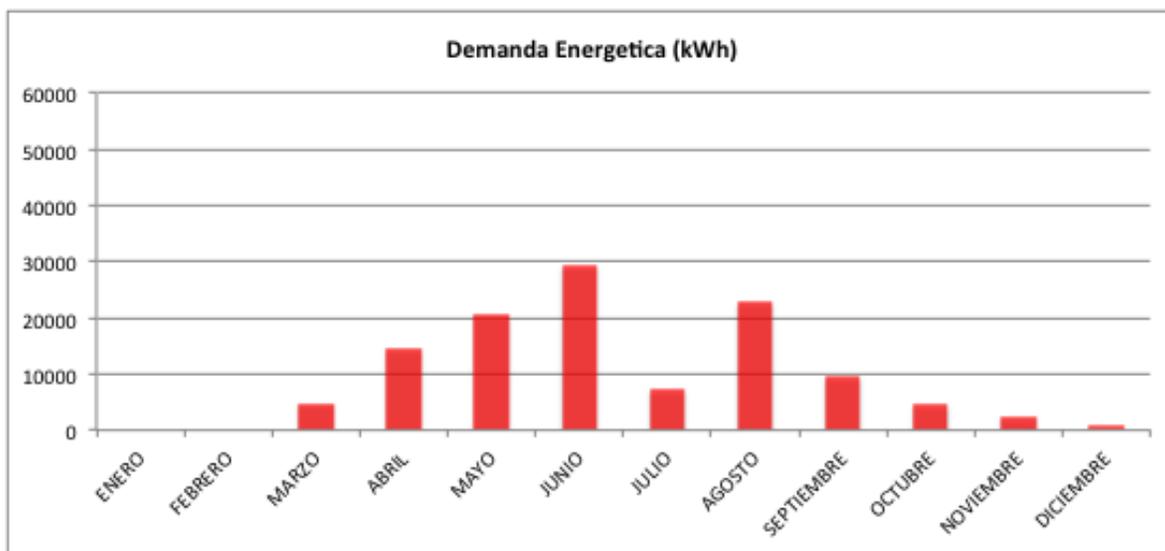
2.- Caso oguc + DVH

casooguc+DVH	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Iluminacion(MWh)	0	0	2842,21	2471,49	4521,7	4325,1	294,89	4521,7	2595,06	2718,63	2718,63	235,91
AreaVidriada(MWh)	-9147,34	-9199,91	-16225,83	-16256	-17566,96	-22385,79	-18701,49	-17603,68	-15166,22	-12641,97	-11870,71	-13131,85
Muros(MWh)	-9019,78	-8830,33	-16450,18	-20516,29	-23080,29	-28892,93	-24356,6	-24707,09	-19377,08	-15034,46	-14806,8	-15272,79
Cubierta(MWh)	-1681,78	-1706,6	-1901,15	-3367,04	-4788,96	-4209,74	-4962,28	-4488,82	-3760,18	-2889,92	-2165,7	-2252,54
Piso(MWh)	-3227,53	-2848,74	-2960,08	-1652,34	-1798,47	-1708,55	-2053,81	-1648,41	-2469,06	-2752,5	-2968,93	-3476,16
Infiltracion(MWh)	0	0	-2516,54	-2555,27	-3396,62	-3754,43	-997,56	-3409,47	-2891,48	-2734,2	-2496,51	-708,36
Ventilacion(MWh)	0	0	-16424,53	-10863,64	-13925,93	-8144,43	-942,38	-12472,39	-16690,55	-18033,63	-17107,9	-4693,1
Iluminacion(MWh)	0	0	2842,21	2471,49	4521,7	4325,1	294,89	4521,7	2595,06	2718,63	2718,63	235,91
Ocupacion(MWh)	0	0	19129,09	16687,49	19190,61	18356,24	17521,05	19190,61	17521,86	18345,25	18285,2	14324,08
SolarPorAreaVidriada(MWh)	54558,93	45799,22	38149,4	14407,3	15273,79	3448,66	19319,22	10324,8	33806,55	44387,07	48537,46	54218,74
DemandaEnergetica(kWh)	0	0	6569,44	17007,59	23138,3	28965,9	6838,14	25226,33	12487,24	5732,33	3241,53	981,32



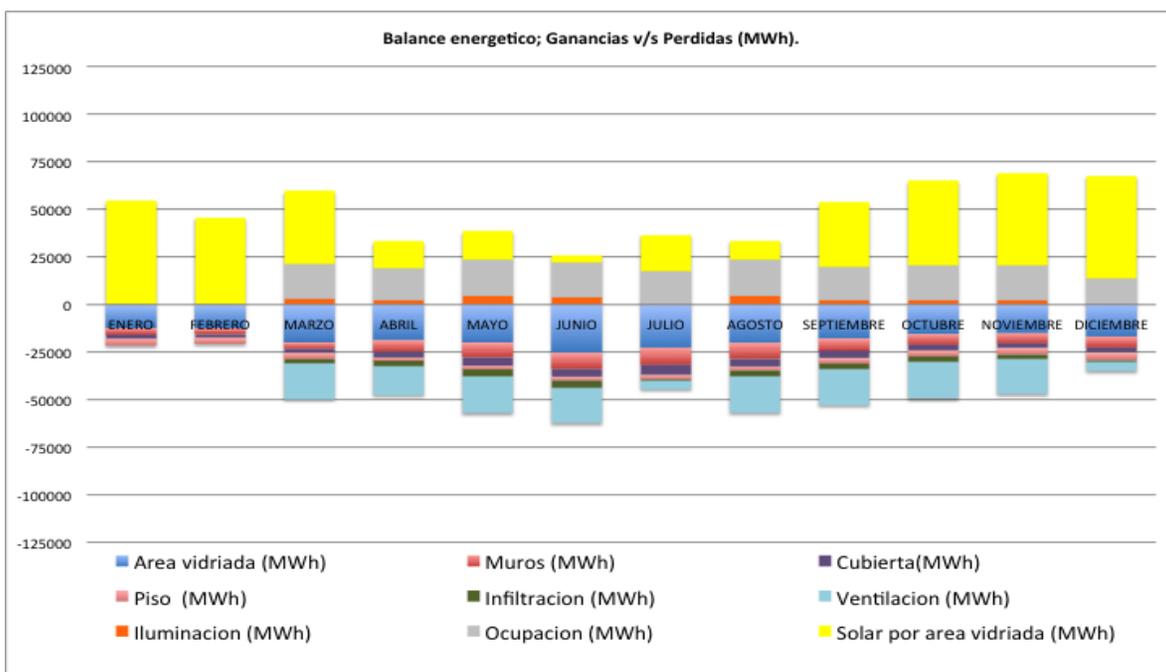
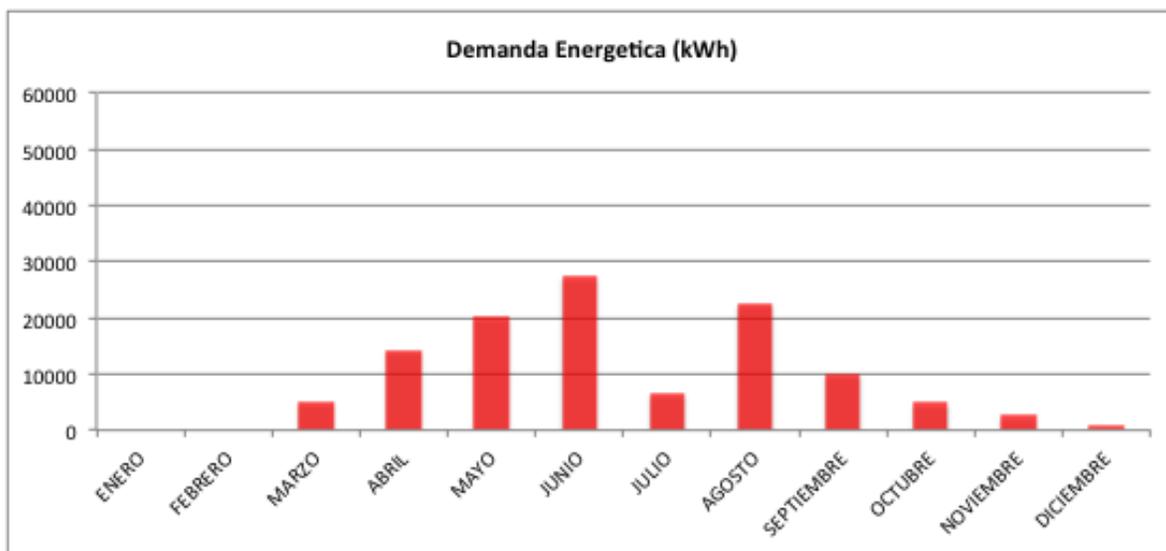
3.- Caso Nch (TDR MOP)

Nch	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Iluminacion(MWh)	0	0	2810,2	2443,66	4470,78	4276,4	291,57	4470,78	2565,84	2688,02	2688,02	233,26
Area Vidriada(MWh)	-11887,44	-11956,39	-19451,43	-18376,37	-19652,31	-24943,71	-22169,51	-19775,31	-17498,29	-15079,78	-14652,36	-16323,42
Muros(MWh)	-4282,54	-3813,24	-4669,69	-7512,7	-9317,92	-10689,81	-10705,27	-10112,39	-7942,91	-6725,62	-6367,19	-6933,96
Cubierta(MWh)	-2014,46	-1957,65	-2282,93	-3530,81	-4762,96	-4465,46	-5435,25	-4462,79	-3969,94	-3141,35	-2493,1	-2675,64
Piso(MWh)	-3538,14	-3145,48	-3245,26	-1801,1	-1937,14	-1855,88	-2286,4	-1779,23	-2660,3	-2970,22	-3220,17	-3774,32
Infiltracion(MWh)	0	0	-2657,77	-2579,31	-3409,23	-3831,65	-1029,76	-3438	-2915,73	-2826,86	-2642,05	-747,2
Ventilacion(MWh)	0	0	-18186,95	-14042,61	-18249,58	-15384,93	-2889,77	-17491,5	-18796,06	-19401,95	-18198,49	-4947,67
Iluminacion(MWh)	0	0	2810,2	2443,66	4470,78	4276,4	291,57	4470,78	2565,84	2688,02	2688,02	233,26
Ocupacion(MWh)	0	0	18874,45	16503,57	18979,1	18153,92	17286,33	18979,1	17328,74	18132,71	18026,54	13505,53
Solar por area vidriada(MWh)	54556,77	45797,38	38147,88	14406,76	15273,22	3448,53	19318,52	10324,39	33805,23	44385,32	48535,55	54216,61
Demanda Energetica(kWh)	0	0	4865,75	14599,97	20610,13	29348,37	7331,97	22956,68	9623,34	4690,71	2493,74	704,91



4.- Caso plan descontaminación Osorno

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Iluminacion(MWh)	0	0	2798,75	2433,7	4452,56	4258,97	290,38	4452,56	2555,38	2677,07	2677,07	232,31
Area Vidriada(MWh)	-12257,88	-12358,37	-19904,4	-18689,58	-19952,92	-25267,42	-22697,66	-20084,69	-17840,34	-15439,25	-15030,45	-16747,02
Muros(MWh)	-3683,44	-3158,45	-3337,1	-5974,24	-7707,57	-8621,24	-9031,85	-8372,5	-6641,39	-5726,54	-5361,8	-5933,99
Cubierta(MWh)	-1970,99	-1890,04	-2134,42	-3344,44	-4526,25	-4233,82	-5247,92	-4240,62	-3805,78	-3031,25	-2418,87	-2608,71
Piso(MWh)	-3578,96	-3186,91	-3284,98	-1824,15	-1958,17	-1876,04	-2323,55	-1798,85	-2687,18	-3000,9	-3253,61	-3813,21
Infiltracion(MWh)	0	0	-2675	-2576,84	-3403,37	-3828,35	-1030,63	-3434,25	-2915,31	-2838,91	-2658,92	-751,62
Ventilacion(MWh)	0	0	-18268,88	-15020,52	-19479,27	-18467,3	-4013,22	-18826,94	-18896,97	-19397,41	-18260,05	-4975,07
Iluminacion(MWh)	0	0	2798,75	2433,7	4452,56	4258,97	290,38	4452,56	2555,38	2677,07	2677,07	232,31
Ocupacion(MWh)	0	0	18791,25	16437,77	18903,44	18081,55	17192,52	18903,44	17259,66	18058,28	17944,5	13363,35
Solar por area vidriada(MWh)	54556,77	45797,38	38147,88	14406,76	15273,22	3448,53	19318,52	10324,39	33805,23	44385,32	48535,55	54216,61
Demanda Energetica(kWh)	0	0	5114,8	14355,87	20301,16	27402,54	6538,35	22625,81	10051,26	4916,53	2602,78	736,08



5.- Caso guía diseño CITEC

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Iluminacion(MWh)	0	0	2779,49	2416,95	4421,92	4229,66	288,39	4421,92	2537,8	2658,64	2658,64	230,71
Area Vidriada(MWh)	-12908,92	-13096,51	-20735,24	-19260,61	-20502,46	-25832,02	-23737,14	-20637,95	-18495,74	-16108,25	-15681,92	-17461,17
Muros(MWh)	-3090,21	-2490,87	-2026,35	-4402,73	-6057,74	-6507,84	-7404,92	-6533,54	-5353,18	-4701,39	-4329,36	-4919,88
Cubierta(MWh)	-1477,49	-1294,39	-1007,4	-2087,98	-3094,47	-2737,22	-3724,71	-2921,98	-2665,77	-2191,84	-1760,09	-1952,87
Piso(MWh)	-3656	-3267,28	-3360,82	-1868,54	-1999,33	-1917,51	-2404,48	-1839,06	-2742,19	-3061,91	-3315,44	-3883,77
Infiltracion(MWh)	0	0	-2707,21	-2569,36	-3388,27	-3812,26	-1030,37	-3421,08	-2916,08	-2862,15	-2686,89	-758,96
Ventilacion(MWh)	0	0	-18401,59	-14210,54	-18484,79	-16456,78	-3640,06	-17905,74	-18844,35	-19505,11	-18359,26	-5002,98
Iluminacion(MWh)	0	0	2779,49	2416,95	4421,92	4229,66	288,39	4421,92	2537,8	2658,64	2658,64	230,71
Ocupacion(MWh)	0	0	18647,16	16327,13	18776,2	17959,84	17002,3	18776,2	17143,48	17931,33	17802,25	13127,76
Solar por area Vidriada(MWh)	54555,82	45796,57	38147,21	14406,52	15272,97	3448,48	19318,21	10324,21	33804,65	44384,54	48534,7	54215,66
Demanda Energetica(kWh)	0	0	4456,39	12414,82	17890,57	25289,97	6301,21	20229,36	8694,78	4408,36	2327,94	656,14

