



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO

Título:

**REACONDICIONAMIENTO ENERGÉTICO DE ESTABLECIMIENTOS EDUCACIONALES Y SU
POTENCIAL IMPACTO SOBRE LA DISMINUCIÓN DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO EN
ZONAS SATURADAS: EL CASO DE LA CIUDAD DE COYHAIQUE**

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

AUTOR: Arqto. Leonardo Elgueta Vergara

PROFESOR GUÍA: Dra. Maureen Trebilcock Kelly

CONCEPCION, 04 de Marzo de 2019

RESUMEN

El empleo de leña como fuente energética en Chile es ancestral. El arraigo cultural que tiene el empleo de este recurso se relaciona con diversos ámbitos de la vida cotidiana de los habitantes y es en la región de Aysén una de las principales actividades productivas.

El bajo costo que posee este recurso la convierte en la principal fuente energética empleada para calefaccionar, especialmente en un contexto con una alta cantidad de energía requerida para satisfacer el consumo de construcciones con un bajo desempeño térmico e insertas en un clima extremo.

En el sur de Chile el empleo de leña en calefacción residencial es la principal causa del material particulado presente en el aire. La ciudad de Coyhaique lidera los índices de contaminación del aire a nivel nacional por material particulado MP10 y MP 2.5, por este motivo y con el objeto de velar por la salud de las población se implementó en la ciudad un plan de descontaminación atmosférica vigente desde el año 2016, el cual contempla una serie de medidas para disminuir los niveles de contaminación.

Las acciones del plan no abordan aquellas edificaciones de mayor envergadura como los equipamientos de uso público y/o gubernamental. De igual forma la normativa de construcción implementada en 2007 solo regula las características térmicas de la envolvente en viviendas (muros, cubiertas, pisos y ventanas). Se busca en el presente estudio abordar el potencial impacto que tiene el reacondicionamiento energético de establecimientos educacionales insertos en el polígono declarado como zona saturada por MP10 sobre la disminución de emisiones de material particulado MP10.

PALABRAS CLAVES:

Infraestructura Escolar, contaminación del aire, reacondicionamiento energético, consumo energético

ÍNDICE DE TEMAS

1. Introducción	5
1.1 Problema	6
1.2 Desarrollo de la hipótesis	7
1.3 Objetivos	7
1.3.1 Objetivo general	7
1.3.2 Objetivos específicos	7
2. Contaminación del aire en ciudades chilenas	8
2.1. Contaminación del aire	8
2.1.1 Calidad del aire	8
2.1.2 Material particulado (PM)	9
2.1.3 Monitoreo material particulado y recomendaciones OMS	10
2.1.4 Contaminación ambiental en Chile	11
2.1.5 Niveles de contaminación por material particulado MP en el aire recomendados y exigibles	12
2.2 Contaminación del aire en Coyhaique	12
2.3 Infraestructura pública y consumo energético	
2.4 Infraestructura educacional pública	
3. Reacondicionamiento energético de edificios	23
3.1 Estrategias de reacondicionamiento de edificios	24
3.1.1 Casos de reacondicionamiento energético de infraestructura educacional Unión Europea	24
3.2 Marco regulatorio en Chile, reglamentación térmica y parámetros de eficiencia energética aplicables a infraestructuras escolares	28
3.2.1 Reglamentación térmica de viviendas artículo 4.1.10 OGUC	29
3.2.2 Nch 1079-2008	29
3.2.3 Términos de referencia estandarizados de eficiencia energética y confort ambiental del MOP TDRE	30
3.2.4 Certificación de edificios sustentables (CES)	31
3.2.5 Guía de eficiencia energética para establecimientos educacionales GEEDUC	32
3.2.6 Plan de descontaminación atmosférica (PDA) para la ciudad de Coyhaique	33
3.2.7 Resumen parámetros de diseño de envolvente	35
4. Metodología	35
4.1. Selección de caso de estudio	35
4.2 Metodología de análisis	39
4.2.1 Cálculo del consumo energético del establecimiento a partir del consumo de leña	39
4.3 Cálculo de emisiones de material particulado MP10	42
4.4 Modelación de la demanda energética Escuela Pedro Quintana Mansilla	43
4.4.1 Parámetros de simulación empleados	44
5. Resultados	47

5.1. Resultados simulación demanda energética anual	47
5.2. Propuestas de reacondicionamiento energético	48
5.3. Disminución de emisiones de material particulado	51
6. Conclusiones	52
7. Referencias bibliográficas	53
8. Anexo antecedentes climáticos	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: División político administrativa de la región de Aysén
Figura 2: Áreas en donde el material particulado proveniente de la combustión incompleta es depositado en el cuerpo
Figura 3: Tamaños de material particulado
Figura 4: Concentración media anual MP10
Figura 5: Concentración media anual MP2.5
Figura 6: Emisiones material particulado MP10 y MP2.5 en Chile
Figura 7: Polígono área saturada - plan de descontaminación ambiental Coyhaique
Figura 8: Promedios mensuales de temperatura Coyhaique
Figura 9: Vista aérea área saturada Coyhaique
Figura 10: Emplazamiento de Coyhaique entre cordones montañosos
Figura 11: Polígono zona saturada Coyhaique
Figura 12: Energía térmica por combustible, 2014
Figura 13: Costo de la energía bt-1 (\$/kwh)
Figura 14: Desglose de consumo bruto de combustibles por sector
Figura 15: Precios medios de los combustibles en la región de Aysén (\$/Kcal)
Figura 16: Consumo de combustibles por sector en la región
Figura 17: Penetración de leña en sectores no residenciales por región
Figura 18: Consumo de leña establecimientos municipales 2018
Figura 19: Antes del reacondicionamiento y después del reacondicionamiento
Figura 20: Energía consumida antes y después del reacondicionamiento
Figura 21: Antes del reacondicionamiento y después del reacondicionamiento
Figura 22: Calderas condensación y paneles fotovoltaicos
Figura 23: Energía consumida antes y después del reacondicionamiento
Figura 24: Foto aérea escuela Pedro Quintana Mansilla
Figura 25: Plantas escuela Pedro Quintana Mansilla
Figura 26: Sala de clases tipo
Figura 27 Y 28: Pasillos de circulación vidriados
Figura 29: Auditorio
Figura 30: Sala de Caldera
Figura 31: Área de almacenamiento de leña escuela Pedro Quintana
Figura 32: Emisiones de contaminantes vs. % de humedad de la leña (base seca)
Figura 33: Vista isométrica del modelo de la escuela
Figura 34: Vistas frontal y lateral del modelo de la escuela

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1: Concentraciones recomendadas material particulado norma primaria y OMS
Tabla 2: Promedios mensuales de temperatura Coyhaique
Tabla 3: Precios medios de los combustibles por unidad de energía en la comuna de Coyhaique (\$/Kcal)
Tabla 4: Consumo de leña promedio y energía en establecimientos de uso público por región
Tabla 5: Establecimientos educacionales de la comuna de Coyhaique
Tabla 6: Tipo de calefacción en establecimientos educacionales de la comuna de Coyhaique
Tabla 7 Y 8: Transmitancia y resistencia térmica en techumbres, muros y pisos ventilados zona 7 Coyhaique
Tabla 9: Valores máximos de transmitancia térmica “U” de la envolvente W / m^2K
Tabla 10: Valores límites para zona climática 8 SE:Sur extremo
Tabla 11: Transmitancias máximas para pisos ventilados, muros y ventanas para zona climática sur extremo
Tabla 12: Parámetros de buen desempeño térmico
Tabla 13: Transmitancia térmica máxima de la envolvente térmica
Tabla 14: Estándares para elementos puertas y ventanas (máximos)
Tabla 15: Límites máximos de emisión de MP y eficiencia de caldera nueva menor a 75 kw
Tabla 16: Límites máximos de emisión de MP y eficiencia para caldera mayor o igual a 75 kw
Tabla 17: Valores máximos transmitancia térmica “U” (W/m^2K)
Tabla 18: Características infraestructura educacional urbana – consumo de leña
Tabla 19: Conversión de energía de la leña
Tabla 20: Factores de emisión de calderas a leña
Tabla 21: Eficiencia de destrucción de incineradores recuperativos
Tabla 22: Calendario de uso
Tabla 23: Cálculo de consumo energético anual de calefacción del establecimiento
Tabla 24: Valores de transmitancia u (w/m^2k) empleados en la modelación
Tabla 25: Emisiones de MP10 escuela Pedro Quintana Mansilla

ÍNDICE DE GRÁFICOS

- Gráfico 1: Demanda energética mensual de calefacción escuela Pedro Quintana Mansilla (Kwh)
Gráfico 2: Pérdidas y ganancias energéticas escuela Pedro Quintana Mansilla
Gráfico 3: Consumo energético anual según parámetros de reacondicionamiento
Gráfico 4: Consumo energético mensual establecimiento sin sistema de recuperación de calor en ventilación
Gráfico 5: Consumo energético mensual establecimiento con sistema de recuperación de calor en ventilación
Gráfico 6: Resumen consumos energéticos anuales de establecimientos según parámetros de reacondicionamiento

1. INTRODUCCION

La región de Aysén está compuesta por cuatro provincias y diez comunas, distribuidas en una vasta extensión de territorio que alcanza una superficie de 108.494 km². Esta región posee la menor población total de Chile, 103.158 personas (Censo año 2017). El grueso de sus habitantes se concentra en las comunas de Coyhaique y Aysén, específicamente en las ciudades y también capitales provinciales Coyhaique y Puerto Aysén.

La morfología del territorio presenta grandes desafíos, su intrincada geografía constituida por canales, montañas, islas, fiordos y glaciares genera problemas de conectividad entre sus asentamientos y también con el resto del país. El clima extremo y la deficitaria aislación térmica de las edificaciones generan un elevado consumo de energía para calefaccionar. El alto valor de las fuentes energéticas presentes en el área impulsan el consumo de leña como fuente energética.

En el año 2012 se declaró a la ciudad de Coyhaique zona saturada por material particulado respirable MP10, como concentración diaria y anual, en conformidad a polígono que circunscribe área de saturación. Durante el año 2016 comenzó la implementación del Plan de Descontaminación Atmosférica de Coyhaique y su zona circundante (PDA). Este mismo año se declaró a la ciudad como zona saturada por material particulado MP 2.5. Actualmente el Plan de Descontaminación Atmosférica por MP2.5 fue ingresado a la Contraloría en Mayo de 2018.

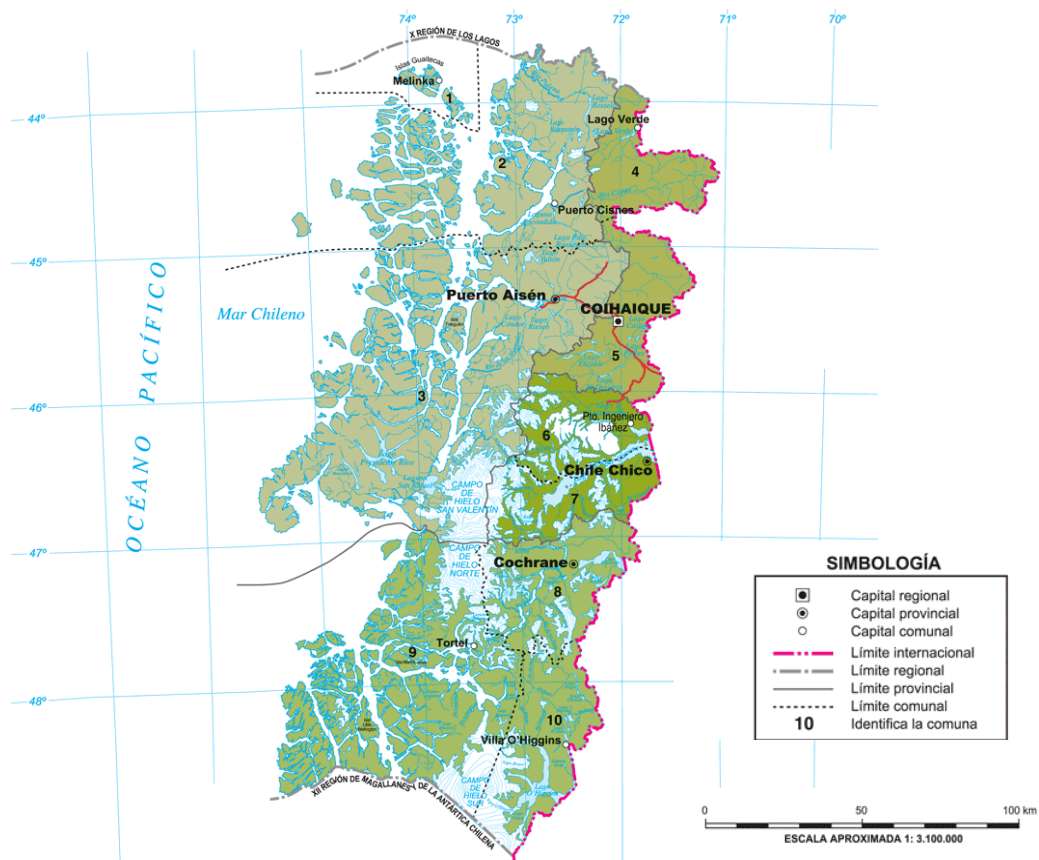


FIGURA 1: DIVISION POLITICO ADMINISTRATIVA DE LA REGION DE AYSÉN

Fuente: www.educarchile.cl

1.1 PROBLEMA

Las condiciones climáticas en la Ciudad de Coyhaique conllevan un elevado consumo energético destinado a satisfacer las demandas de calefacción. En otoño e invierno las temperaturas varían entre 8°C y -0,7°C con mínimas extremas absolutas que pueden llegar a los -22°C.¹

El consumo estimado de leña en la ciudad de Coyhaique es de 360.000 m³ estéreo/año, de los cuales solo un 4% están certificados (leña seca)². El empleo de leña de mala calidad con un elevado contenido de humedad en calefactores con poca tecnología de control e implementados en edificaciones con una inadecuada aislación térmica han llevado a la ciudad a enfrentar serios problemas medioambientales producto de la alta cantidad de emanaciones de material particulado MP10 y MP2, 5 al aire.

La mala calidad del aire en Coyhaique empeora en invierno dado que el viento predominante en la ciudad (oeste-noreste) disminuye su velocidad, las bajas temperaturas presentes en los meses más fríos producen el fenómeno de inversión térmica con condiciones poco propicias para la dispersión de contaminantes.

La contaminación del aire se vincula a enfermedades respiratorias como la neumonía y otras enfermedades crónicas como el cáncer de pulmón y problemas cardiovasculares³, así como también, al aumento de las tasas de mortalidad en estas patologías.⁴

Las áreas productivas presentes en la región no son altamente industrializadas, por lo que, los sectores con mayor consumo energético en la región son transporte, comercial, público y residencial. De este grupo los principales consumidores de biomasa corresponden al sector residencial y el sector público⁵. La preferencia en el empleo de leña para calefaccionar se debe al bajo costo que posee esta fuente energética, especialmente en el contexto de la alta cantidad de energía que se requiere para satisfacer el consumo de construcciones con un bajo desempeño térmico. Es necesario señalar también que el consumo de leña húmeda, muchas veces se debe a la procedencia del producto de bosques sin planes de manejo lo que ha provocado una progresiva degradación del bosque nativo. Hoy el empleo de biomasa principalmente se obtiene a partir de leña de los árboles nativos Lengua y Ñire

Dado que el sector residencial representa el principal consumo de biomasa, se ha enfocado el grueso de las acciones de mejora a este segmento. En este sentido la ordenanza de urbanismo y construcciones contempla en su reglamentación térmica estándares exigibles que deben cumplir los nuevos proyectos de viviendas, estableciendo para ello zonas térmicas a nivel nacional con exigencias específicas, correspondiendo en este caso la ciudad de Coyhaique a la zona térmica 7. Esta normativa no considera los equipamientos o edificaciones públicas.

De igual forma se ha implementado el plan de descontaminación ambiental por MP10 para la ciudad de Coyhaique y su zona saturada, el cual tiene por objetivo dar cumplimiento a la norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable MP10 en un plazo de 10 años. Este plan contempla cuatro medidas estructurales, el reacondicionamiento térmico de viviendas, la sustitución de sistemas de calefacción contaminantes por sistemas más eficientes, el mejoramiento de la calidad de la leña y la difusión a la comunidad.

Si bien existen en el plan lineamientos desagregados a los que es posible remitirse para abordar el problema que afecta a la infraestructura pública⁶. No existe un marco normativo dirigido a solucionar el problema que aqueja a la infraestructura pública de forma integral.

¹ Fuente: Datos Estación Teniente Vidal

² Reyes, B. 2010. Proyecciones de Dendroenergía y sustentabilidad en el Sur de Chile

³ Sanhueza H, Pedro; Vargas R, Claudio y Mellado G, Paula. Impacto de la contaminación del aire por PM10 sobre la mortalidad diaria en Temuco. Rev. méd. Chile [online]. 2006, vol.134, n.6, pp.754-761. ISSN 0034-9887. <http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872006000600012>.

⁴ http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/health_impacts/es/index2.html

⁵ Hoja de ruta Energética Región de Aysén – Ministerio de Energía 2017

⁶ Plan de descontaminación atmosférica para la ciudad de Coyhaique y su zona circundante, artículos 43,44,45 - 2016

Dentro del universo de establecimientos públicos, los establecimientos educacionales de la zona saturada de Coyhaique se caracterizan por emplear sistemas de calefacción que consumen cantidades significantes de leña y dada la precariedad y/o antigüedad de sus edificaciones no consiguen un adecuado confort térmico en sus

1.2 DESARROLLO DE LA HIPÓTESIS

En 2011, comenzó el desarrollo del proyecto “Escuelas del futuro” inserto en el 7 Programa Marco de la Unión Europea. Esta convocatoria tenía como objeto mejorar la eficiencia energética de la infraestructura pública a través de la modernización de edificios educacionales. Los objetivos del proyecto incluían el diseño, la implementación y la evaluación de medidas de renovación integral en edificios con un alto potencial de replicación para grandes regiones de Europa. El objetivo era reducir el uso de energía de calefacción mediante el reacondicionamiento energético de la infraestructura educacional.

El proyecto se centró en la renovación de cuatro edificios escolares en cuatro países europeos con diferentes climas cumpliendo su objetivo. (Ver capítulo 3.1.2).

HIPOTESIS

Los establecimientos educacionales insertos en el área saturada de Coyhaique son altamente ineficientes en términos de conservación de calor producto de la materialidad con que fueron originalmente concebidos. Esto implica emplear grandes cantidades energía para mantener su temperatura de confort interior. El proceso de combustión de leña que origina la energía requerida por los establecimientos genera un alto nivel de emisiones contaminantes. Mediante la evaluación y proposición de reacondicionamientos térmicos y sistemas alternativos de generación de calor a la infraestructura educacional existente, es posible disminuir el consumo energético de los equipamientos y el nivel de emisiones contaminantes en la zona saturada.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Determinar estrategias de reacondicionamiento energético para establecimientos educacionales en zona saturada por material particulado mediante el estudio de un caso representativo de establecimiento en condiciones precarias de aislación térmica con un alto consumo de leña y emisión de contaminantes en la ciudad de Coyhaique.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Identificar y levantar información respecto de la situación existente de los establecimientos educacionales públicos en la ciudad de Coyhaique respecto de su envolvente térmica, sistemas de generación de calor y consumo de calefacción asociado a un alto impacto de emisiones de material particulado al aire en la ciudad.
2. Proponer y evaluar optimizaciones de envolvente térmica en un caso de estudio representativo considerando criterios y parámetros empleados en normativa y guías existentes aplicables en zona térmica sur extremo, para mejorar el desempeño térmico global del edificio.
3. Evaluar la implementación de un sistema de calefacción con recuperación de calor en el establecimiento que complemente la optimización de envolvente térmica estudiada y que resulte en un mejor desempeño térmico, para ponderar el impacto que este sistema pudiese tener sobre la optimización escogida.
4. Evaluar el impacto de las optimizaciones realizadas sobre el caso de estudio representativo respecto de la potencial disminución de emisiones de material particulado al aire.

2. CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN CIUDADES CHILENAS

Una buena calidad del aire representa una mejor calidad de vida y salud para los habitantes que viven en las ciudades nuestro país. El rol que juega la educación es de vital importancia, la formación que reciben los ciudadanos en la escuela o en la educación superior, resulta determinante para conseguir una participación activa en la solución de las problemáticas relacionadas con la contaminación y las medidas tendientes a solucionar los problemas derivados de ella.

Suele relacionarse la contaminación de la atmósfera con los procesos productivos, las emanaciones de los vehículos u otros fenómenos, obviando que la principal causa de la contaminación del aire en las zonas saturadas es la combustión de leña para calefaccionar.

2.1 CONTAMINACION DEL AIRE

2.1.1 CALIDAD DEL AIRE

La contaminación del aire es el principal riesgo ambiental para la salud. A nivel global, las muertes atribuibles a la contaminación del aire en el año 2012 ascendían a 3 millones. De estas muertes, el 87% corresponde a países de bajos y medianos ingresos (LMIC: low- and middle-income countries) afectando al 82% de la población mundial.⁷ La contaminación del aire es un fenómeno creciente que nos afecta a todos, en diferentes regiones, grupos etarios y socioeconómicos. El último levantamiento de datos global efectuado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2014 concluyó que solo 1 de cada 10 personas respiran aire limpio en el planeta.

El centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer de la OMS estableció en el año 2013 que la polución del aire exterior es cancerígena para los seres humanos y que una importante parte de los casos está directamente relacionada con ella. Millones de personas mueren cada año producto de la exposición a partículas finas en el aire; estas diminutas partículas penetran los pulmones y el sistema cardiovascular, causando accidentes cerebro-vasculares, enfermedades cardíacas, cáncer de pulmón y enfermedades pulmonares obstructivas crónicas e infecciones respiratorias, incluida la neumonía.

El impacto sanitario de las partículas tiene relación con el nivel de exposición a la contaminación que experimentan los habitantes de zonas urbanas y rurales, ya sea, en países desarrollados o en desarrollo. Muchas de las ciudades que han experimentado un acelerado desarrollo poseen un nivel de exposición y consecuencias sanitarias muchísimo mayor que el de ciudades desarrolladas de un tamaño equivalente, esto se debe a que los países en desarrollo implementan sus regulaciones en la medida que se comienza a evidenciar el impacto de la contaminación en la población sin anticipar el problema.

La Organización Mundial de la Salud ha declarado en sus estudios que la mitad de la población mundial depende de combustibles sólidos, como la madera, el carbón, residuos agrícolas o estiércol, para satisfacer sus necesidades energéticas básicas (OMS, 2016). La energía de biomasa, que incluye la leña, residuos de cultivos y desechos de animales, provee en promedio cerca del 30% de la energía primaria en los países en desarrollo. Más de dos mil millones de personas dependen directamente de la biomasa como principal o única fuente de energía.⁸

Para clasificar el material particulado existen dos métricas comúnmente utilizadas: partículas menores a 10 micrones (MP10) y partículas menores a 2,5 micrones (MP2.5). En el MP10 se pueden distinguir dos

⁷ Cifras contenidas en informe *Ambient Air Pollution* – World Health Organization 2016

⁸ Cifras contenidas en informe *Ambient Air Pollution* – World Health Organization 2016

fracciones: la gruesa, es decir, entre 2,5 y 10 micrones y la fina, menor a 2,5 micrones. Mientras más pequeño es el tamaño de la partícula, más profundamente puede entrar en los pulmones y sistema respiratorio, acarreado toxinas por el cuerpo a través de la sangre.

En 2015 la biomasa representó en promedio el 30% de toda la generación ERNC, lo que equivale al 24% de la oferta total de energía primaria en Chile igualando al carbón. Alrededor de un 70% de dicho consumo eléctrico es del sector papel y celulosa, donde las empresas forestales utilizan sus propios residuos y cerca de un 21% corresponde a leña utilizada en el sector comercial-publico-residencial. (Ministerio Energía 2015)

2.1.2 MATERIAL PARTICULADO (MP)

El material particulado es una mezcla de partículas líquidas y sólidas de carácter orgánico e inorgánico suspendidas en el aire; en su composición se encuentran contaminantes tales como los sulfatos, nitratos y carbón negro. El tamaño de sus partículas, con un diámetro de $10\mu\text{m}$ o inferior puede afectar seriamente la salud del ser humano, sorteando las barreras inmunológicas del cuerpo alcanzando incluso el torrente sanguíneo. (Figuras 4 y 5)

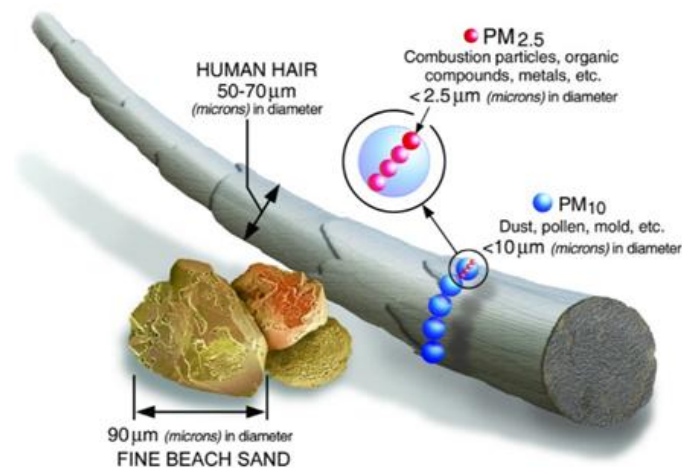


FIGURA 2: AREAS EN DONDE EL MATERIAL PARTICULADO PROVENIENTE DE LA COMBUSTION INCOMPLETA ES DEPOSITADO EN EL CUERPO

Fuente: Vehicle Emissions: What Will Change with Use of Biofuel? (Guarheiro and Guarheiro 2013)

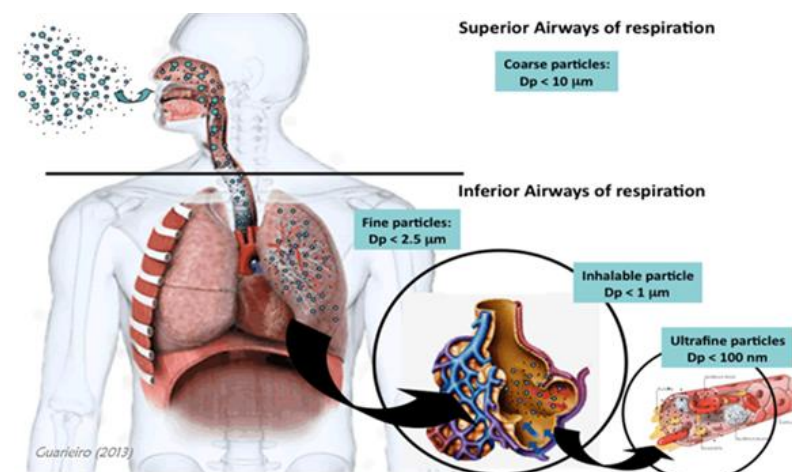


FIGURA 3: TAMAÑOS DE MATERIAL PARTICULADO

Fuente: United States Environmental Protection Agency – EPA 2017

2.1.3 MONITOREO MATERIAL PARTICULADO Y RECOMENDACIONES DE LA OMS

La Organización Mundial de Salud (OMS) monitorea 103 países y 3000 ciudades, a través de una extensa base de datos de calidad del aire. En ella se registran las concentraciones medias anuales de material particulado MP 2.5 y MP10 presentes en el aire a otros agentes contaminantes incidentes. (Figuras 6 y 7)

Es posible apreciar en las figuras 4 y 5 que Chile posee la concentración más alta de material particulado por MP de Sudamérica. La ciudad de Coyhaique presenta los niveles más altos de material particulado en el país y uno de los más altos en Sudamérica.

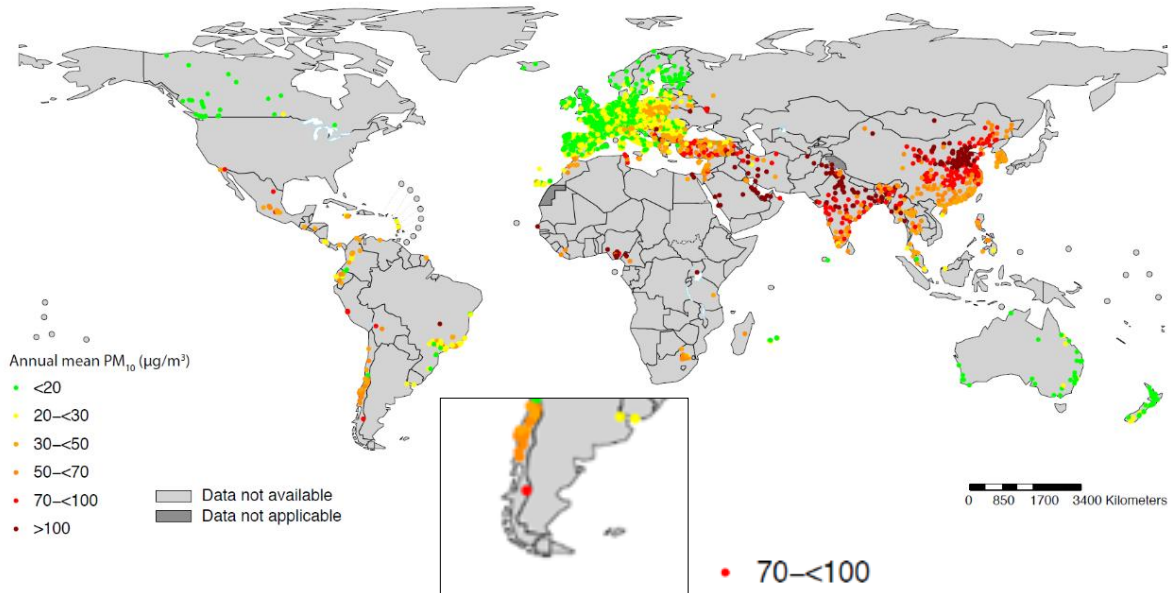


FIGURA 4: CONCENTRACION MEDIA ANUAL MP10

Fuente: Global Health Observatory (GHO)

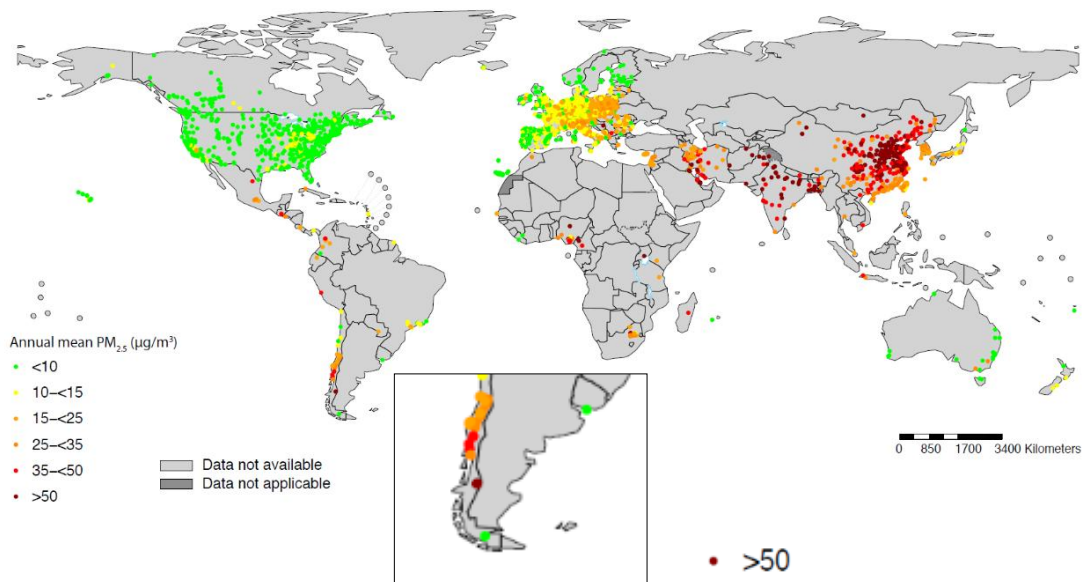


FIGURA 5: CONCENTRACION MEDIA ANUAL MP2.5

Fuente: Global Health Observatory (GHO)

2.1.4 CONTAMINACION AMBIENTAL EN CHILE

En la data histórica ambiental se menciona a Santiago como la primera ciudad de Chile en presentar efectos de contaminación del aire. Comenzó a ser estudiada de manera sistemática a partir de la década de los 60. Fue en esta década cuando se incrementó el ritmo de su expansión demográfica y superficial, ligada a los procesos de migración campo – ciudad y proliferación industrial.

A causa de estos preocupantes acontecimientos, se crea en 1970 la Comisión Nacional de Descontaminación Ambiental, la que a través de un monitoreo desarrollado entre los años 1970 y 1980, precisó que la contaminación superaba cuatro veces los límites permisibles. En 1985 se ideó el primer índice de calidad de aire metropolitano, que consideraba las concentraciones de monóxido de carbono y de material particulado en suspensión. En 1987 este índice se modificó, usando la información generada por la Red MACAM, que implanta dos índices aún en uso; uno de calidad de aire según concentración de gases contaminantes, y el que determina hoy las situaciones de emergencia, que mide la calidad del aire de acuerdo a la concentración de material particulado de tamaño respirable (menos de 10 micrones de diámetro). A pesar de contar con esta fuente de información, la década transcurrió sin generar soluciones reales al problema de manera estructural.⁹

El 1 de marzo de 1994, el Ministerio de Secretaría General de la Presidencia, promulga la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente, N°19.300, creándose por primera vez esta institucionalidad, que dicta en su primer artículo “*el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación*”. Asimismo, y a causa de la grave situación ambiental de Santiago, se genera otro importante hito con la creación de la Comisión Especial de Descontaminación de la Región Metropolitana, la que elaboró el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) (1997) y el Plan de Transporte Urbano de Santiago (PTUS) (2000), ambos con el objetivo de reducir los niveles contaminantes que afectaban el área.

Si bien se han buscado diversas medidas para enfrentar este problema, se mantiene en la actualidad la contaminación atmosférica pero en menores niveles; respecto del material particulado fino 2.5, durante el año 2017 hubo 27 episodios críticos por mala calidad del aire, 0 emergencias, 2 preemergencias y 27 alertas. Lo que indica un 36% menos con respecto a los 42 episodios en 2016 y un 44% menos que los 48 episodios críticos de 2014 (GEC RM 2017). Sin embargo, este panorama empeora con los años, extendiéndose el problema hacia la Zona Sur del país, en ciudades como Coyhaique, Valdivia y Temuco. (Figura 6)

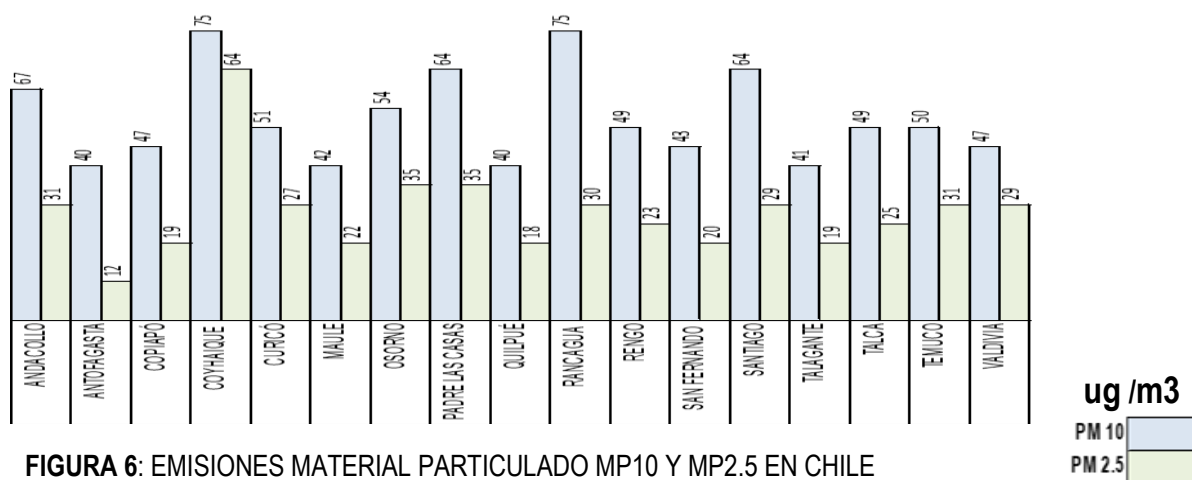


FIGURA 6: EMISIONES MATERIAL PARTICULADO MP10 Y MP2.5 EN CHILE

Fuente: Elaboración propia según datos OMS 2016

⁹ GARCIA, E. 2016. Reemplazo del permiso de circulación en región metropolitana, por un impuesto descongestionador y descontaminador.

Temuco, Osorno y Santiago, fueron las tres primeras ciudades en ser declaradas como Zonas Saturadas (PM 2,5) en el año 2012, al ser las únicas que contaban con más de 3 años de mediciones oficiales de este material y estudios realizados por sus autoridades regionales. Esto quiere decir, que cada ciudad que se encuentre en estas condiciones de contaminación del aire, debe generar un diagnóstico justificado para que el Estado pueda interferir en la restricción de actividades involucradas.

Según el último levantamiento de información respecto de la concentración de material particulado (PM 2,5) efectuado por la OMS, Chile representa la tasa más alta de contaminación en Latinoamérica en el año 2016.

2.1.5 NIVELES DE CONTAMINACIÓN POR MATERIAL PARTICULADO MP EN EL AIRE RECOMENDADAS Y EXIGIBLES

La OMS recomienda que los países reduzcan la presencia de material particulado en el aire a los parámetros indicados en la Tabla 4. Las normas primarias de calidad del aire en Chile (Normas MP10 de 1998 y MP2.5 de 2011) establecen límites de concentración de contaminantes nocivos para la salud que duplican lo recomendado por la OMS.

TABLA 1: CONCENTRACIONES RECOMENDADAS MATERIAL PARTICULADO NORMA PRIMARIA y OMS

Concentración	Recomendaciones OMS		Norma Primaria Chile	
	MP 2,5	MP 10	MP 2,5	MP 10
Media Anual	10 µg/m ³	20 µg/m ³	20 µg/m ³	50 µg/m ³
Media Diaria	25 µg/m ³	50 µg/m ³	50 µg/m ³	150 µg/m ³

Fuente: Elaboración propia OMS, Decreto N°12 2011, Decreto N°59 1998

2.2 CONTAMINACION DEL AIRE EN COYHAIQUE

La ciudad de Coyhaique se funda el 12 de Octubre de 1929, está ubicada en los 45° 34' de latitud sur y 72° 04' de longitud oeste, en la parte oriental de la cordillera de los Andes. Posee una altitud aproximada de 280 m.s.n.m. Sus límites son al Norte con la comuna de Lago Verde, al sur con la comuna de Río Ibáñez, al oeste con la comuna de Puerto Aysén y al este con la República Argentina. Se encuentra a una distancia de 1.359 km al sur de Santiago

Como muchas ciudades en el Sur de Chile, Coyhaique presenta en los meses de otoño e invierno un aumento en las concentraciones de Material Particulado presentes en el aire. Este fenómeno se encuentra asociado a la meteorología y su efecto combinado con factores como el emplazamiento de la ciudad, el cual dificulta la dispersión de contaminantes generados por el empleo de leña como principal fuente empleada para calefaccionar.

Coyhaique posee un clima templado frío con bajas temperaturas, abundantes lluvias, fuertes vientos y elevada humedad relativa. Presenta una temperatura promedio anual de 9,5°C y precipitaciones promedio de 1.097mm al año. Durante el año se registran marcadas diferencias de temperatura, en el verano las variaciones oscilan entre 18°C y 21°C, alcanzando valores máximos con extremas absolutas de 32°C; en invierno las temperaturas varían entre 8 y -0,7°C, con mínimas de extremas absolutas que alcanzan los 22°C. Estas bajas temperaturas demandan un intensivo uso de sistemas de calefacción en las edificaciones, que se basa principalmente en la leña como combustible, lo que genera altos riesgos de contaminación ambiental.

Las condiciones meteorológicas que intensifican la ocurrencia de episodios de contaminación por material particulado en Coyhaique son: Temperaturas entre -10 y -5°C; vientos en torno a los 2 m/S en otoño e invierno; y el fenómeno de la inversión térmica a baja altura.

El viento predominante en la ciudad es oeste-noreste durante los meses de primavera y verano disminuyendo su velocidad durante el invierno, lo que aunado a las bajas temperaturas presentes en los meses más fríos producen el fenómeno de inversión térmica con condiciones poco propicias para la dispersión de contaminantes. (Figuras 7 y 8).

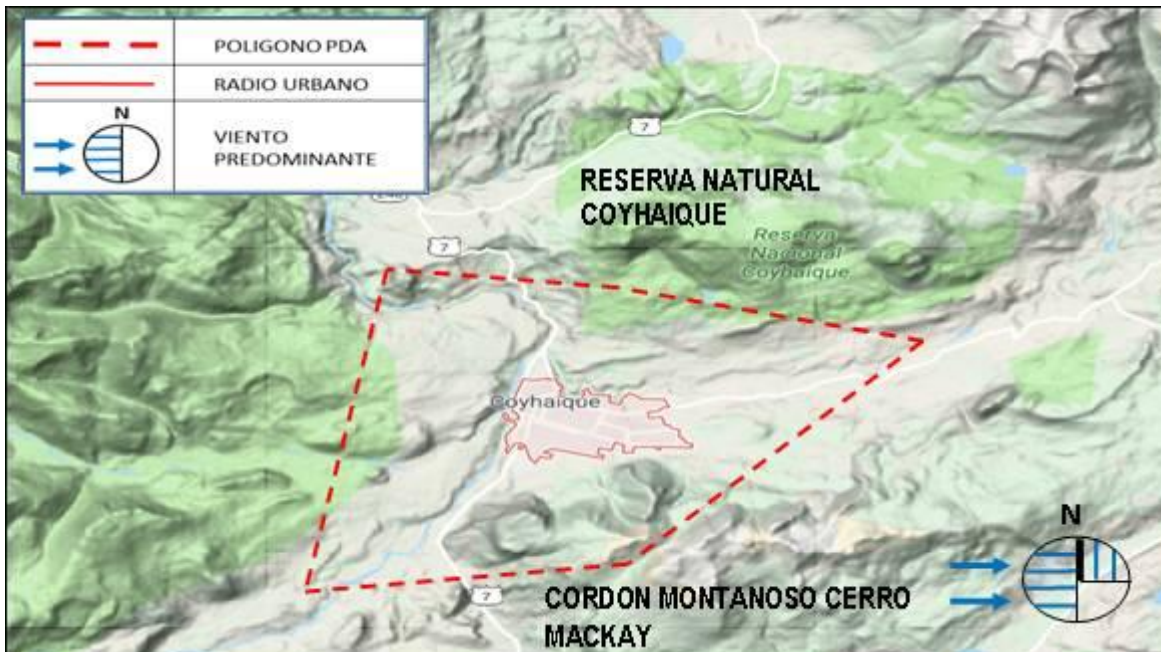


FIGURA 7: POLIGONO AREA SATURADA - PLAN DE DESCONTAMINACION AMBIENTAL COYHAIQUE
Fuente: Elaboración propia

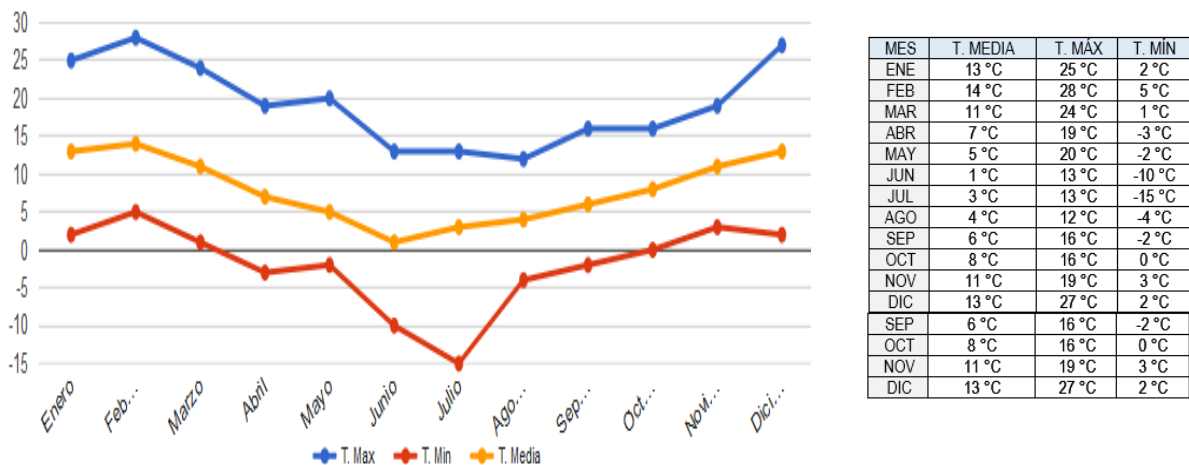


FIGURA 8 Y TABLA 2: PROMEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA COYHAIQUE
Fuente: Meteored – Datos estación Teniente Vidal 2017



FIGURA 9: VISTA AEREA AREA SATURADA COYHAIQUE

Fuente: Elaboración propia / Fotografía www.cooperativa.cl

La ciudad está protegida por un conjunto montañoso, al norte de la Ciudad se encuentra el cerro Cinchao, hacia el Sur el cordón Divisadero ambos perpendiculares a la cordillera de los andes al occidente, hacia el oriente el valle empieza a subir en altura a medida que se aproxima a la estepa patagónica (Figuras 10 y 11). Esta geografía montañosa dificulta el desplazamiento de la contaminación del aire, acentuando la concentración en períodos de baja temperatura y velocidad de viento.

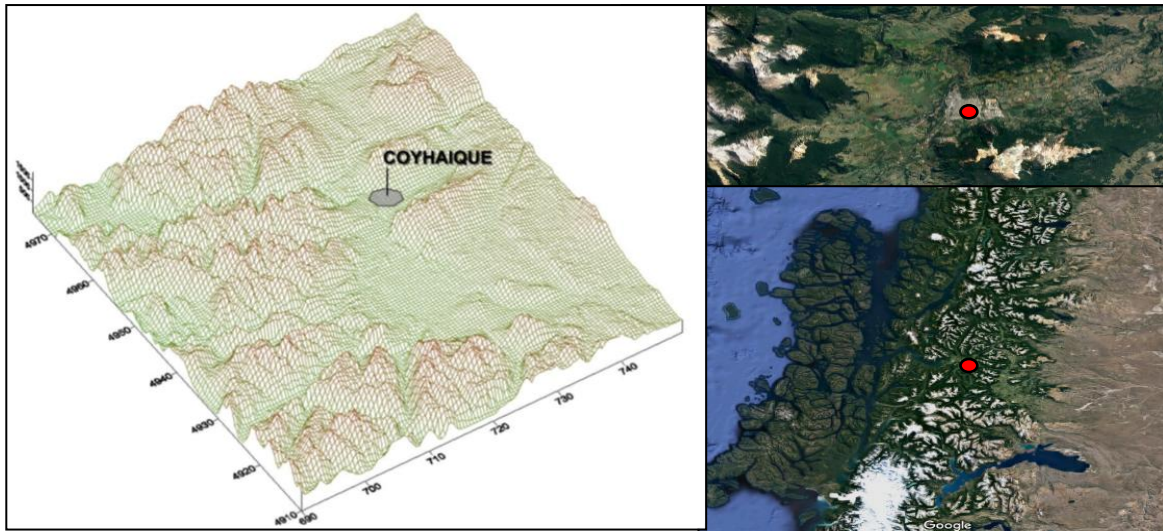


FIGURA 10: EMPLAZAMIENTO DE COYHAIQUE ENTRE CORDONES MONTAÑOSOS

Fuente: Impacto de la contaminación del aire por mp10 en la morbi-mortalidad por enfermedad respiratoria, cardiovascular y algunos cánceres en la población de Coyhaique, 2009-2014, Acuña 2014 / Imágenes Google Earth

De acuerdo a las últimas estadísticas del Censo del año 2017, Coyhaique ha aumentado su población a un total de 57.818 habitantes; un 25% más que la población censada en 1992. Asimismo, se produjo un incremento del 22% en la vivienda con relación al año 2003, contemplado actualmente 23.999 unidades censadas.

En Coyhaique se presentan tipos de viviendas con deficiencia constructiva y escasa aislación térmica, lo que resulta en una alta demanda energética para ser calefaccionadas en los fríos meses entre abril y octubre, utilizando principalmente leña. Esto debido a su bajo costo en relación a otros combustibles, accesibilidad y disponibilidad en la localidad, y al arraigo cultural asociado a su uso. La principal causa de la alta generación de material particulado en esta ciudad es la errada utilización de leña húmeda e ineficientes equipos de calefacción.

PLAN DE DESCONTAMINACION AMBIENTAL COYHAIQUE

El material particulado respirable MP10 y MP2,5 es monitoreado en la ciudad de Coyhaique a través de la estación Coyhaique 1 desde el año 2007. Las mediciones efectuadas por la estación permitieron concluir que la norma primaria de material particulado respirable estaba siendo excedida respecto de su concentración diaria y anual. En este contexto la Seremi del Medio Ambiente da cuenta a través de un estudio¹⁰ efectuado el año 2009 que las emisiones producidas por la combustión de leña domiciliaria son la principal causa de los altos índices de contaminación, definiendo el mismo año un polígono de una superficie aproximada de 111,57 km² que circunscribe la dispersión de MP10, así como las zonas de mayor concentración. Los antecedentes de contaminación del aire recabados por el Ministerio del Medio Ambiente darán sustento a la declaración de Coyhaique y su zona circundante como zona saturada por material particulado MP10 mediante el DS N° 33 de 2012 (Figura 11).

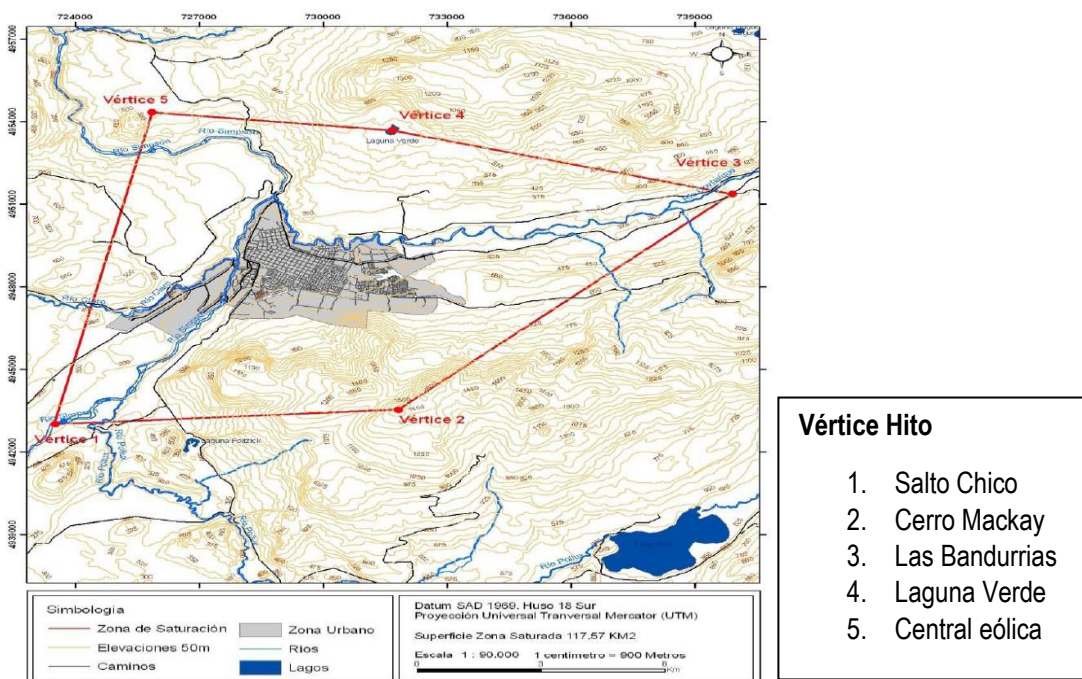


FIGURA 11: POLIGONO ZONA SATURADA COYHAIQUE

Fuente: Seremi Medio Ambiente Región Aysén 2016

¹⁰ Proyecto EM2008/200-22 - Análisis de Emisiones Atmosféricas en Coyhaique 2

2.3 INFRAESTRUCTURA PÚBLICA Y CONSUMO ENERGÉTICO

La región de Aysén es una de las que presenta mayor superficie y menos población del país, por lo tanto, la demanda de energía en la región es baja, empleada principalmente en los sectores; residencial y transporte, esto debido a la incipiente industrialización, siendo las principales fuentes económicas la administración pública, construcción, pesca, minería, forestal y servicios personales.

Respecto a la mayor demanda de energía, el 91,3% del consumo energético residencial es empleado en energía térmica (Figura 11), siendo la leña el principal combustible empleado para abastecer la demanda (Figura 12).

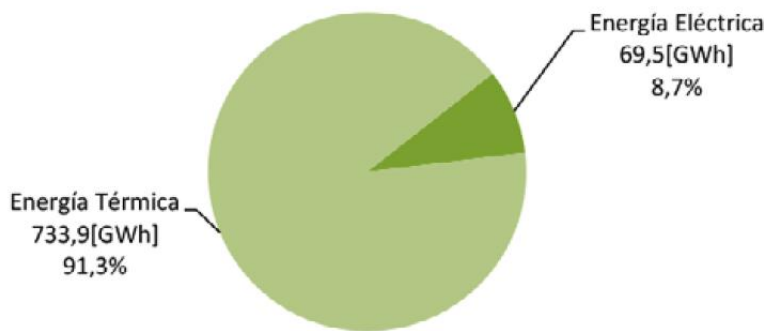


FIGURA 11: ENERGÍA ELÉCTRICA VS TÉRMICA

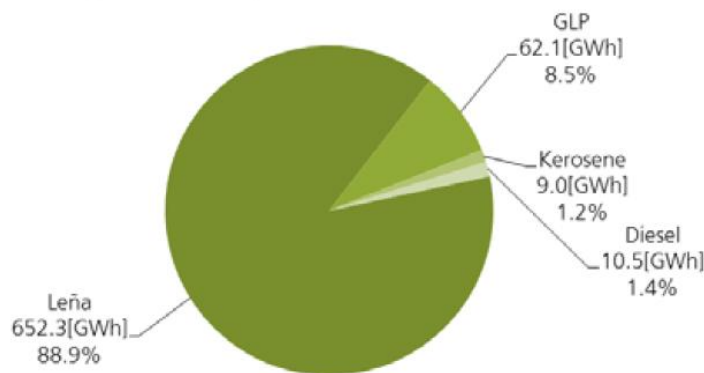


FIGURA 12: ENERGÍA TÉRMICA POR COMBUSTIBLE, 2014

Fuente: Figuras 11 y 12 Estrategia Energética Local (EEL) – EBP 2015

El bajo consumo de energía eléctrica para calefaccionar, se debe principalmente al costo elevado que tiene en la comuna de Coyhaique, lo que resulta determinante en la elección de la fuente energética a emplear por los habitantes para calefaccionar. Además, este alto precio tiene repercusiones en el desarrollo de la economía regional, siendo un gran obstáculo para el ingreso de nuevas actividades económicas las que necesitan de la electricidad para desarrollarse.

En la figura siguiente, se observa que el costo de la energía para la tarifa BT-1, que corresponde a la tarifa que posee un medidor simple de energía, alimentado en baja tensión con potencia conectada inferior o igual a 10 kilowatt, generalmente asociado a consumos residenciales. Se observa un valor aproximado de \$180 por KWH en la comuna de Coyhaique.

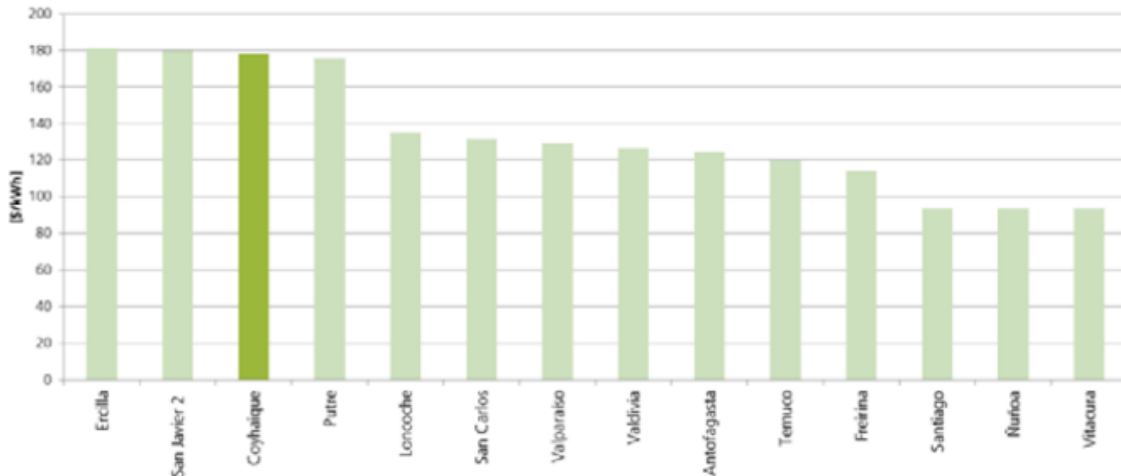


FIGURA 13: COSTO DE LA ENERGÍA BT-1 (\$/KWH)

Fuente: Estrategia Energética Local (EEL) – EBP 2015

De acuerdo a la Guía de Calefacción Sustentable (2018) del Ministerio del Medio Ambiente, para calefaccionar 8 horas con un equipo Oleoeléctrico o Termoventilador, se requiere de \$115.900, mientras que al emplear un calefactor a Pellet de madera se necesitan \$41.200.

En la Figura 14, se observa que el consumo de combustibles por sector se distribuye de la siguiente manera: el diesel es empleado principalmente en sector transporte, el gas licuado en el sector residencial, el kerosene en el sector público, la biomasa en el sector residencial y la gasolina en el sector transporte. **Es importante señalar que los principales consumidores de biomasa (leña) corresponden al sector sector público y el sector residencial, en ambos casos este recurso es empleado principalmente para calefaccionar.**

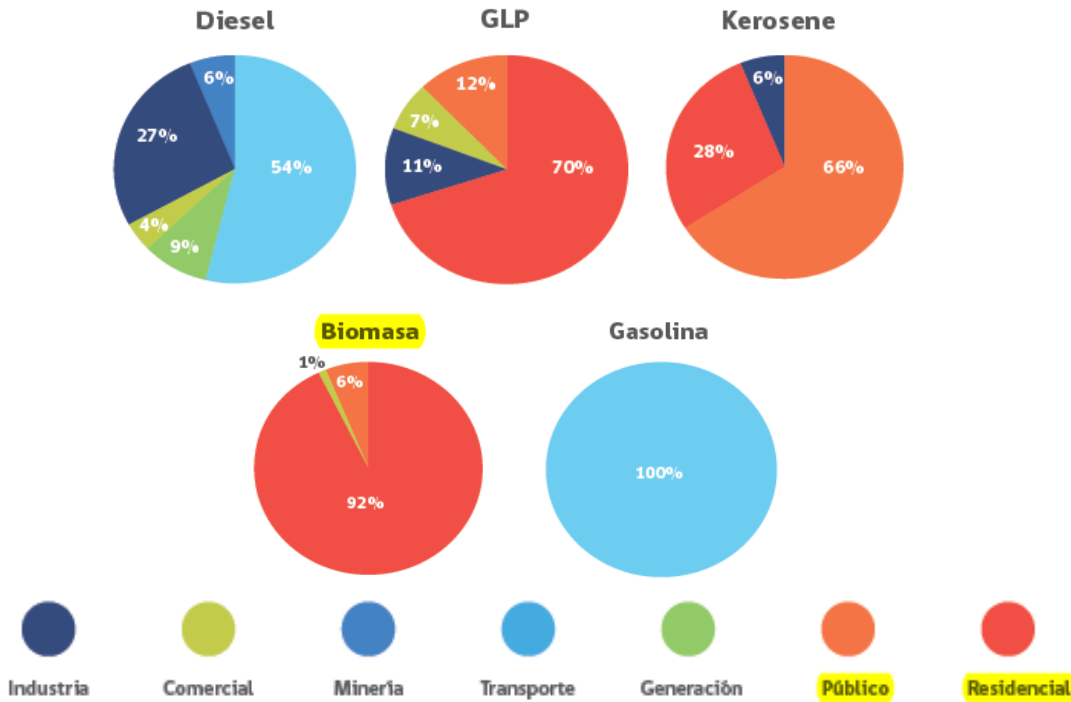


FIGURA 14: DESGLOSE DE CONSUMO BRUTO DE COMBUSTIBLES POR SECTOR

Fuente: Hoja de Ruta Energética, Región de Aysén, Ministerio Energía 2017

Esto se debe a las condiciones climáticas de la zona que generan un requerimiento mayor de energía para calefacción, en este contexto la leña tiene un costo menor para dicho fin, siendo su valor entre 0,028 – 0,031 \$/Kcal, correspondiente al valor de la “leña formal” y “leña informal” (Figura 18 y 19).

Es importante explicar, que paradójicamente el valor de la leña formal es menor que el valor de la informal aunque su precio de venta sea superior, la razón es que el precio se determina sobre el valor de la leña por metro estéreo (MST) y el poder calorífico de ésta. Es así que la leña informal presenta mayor porcentaje de humedad que la leña formal, lo que conlleva a utilizar menor material leñoso para generar la energía necesaria.

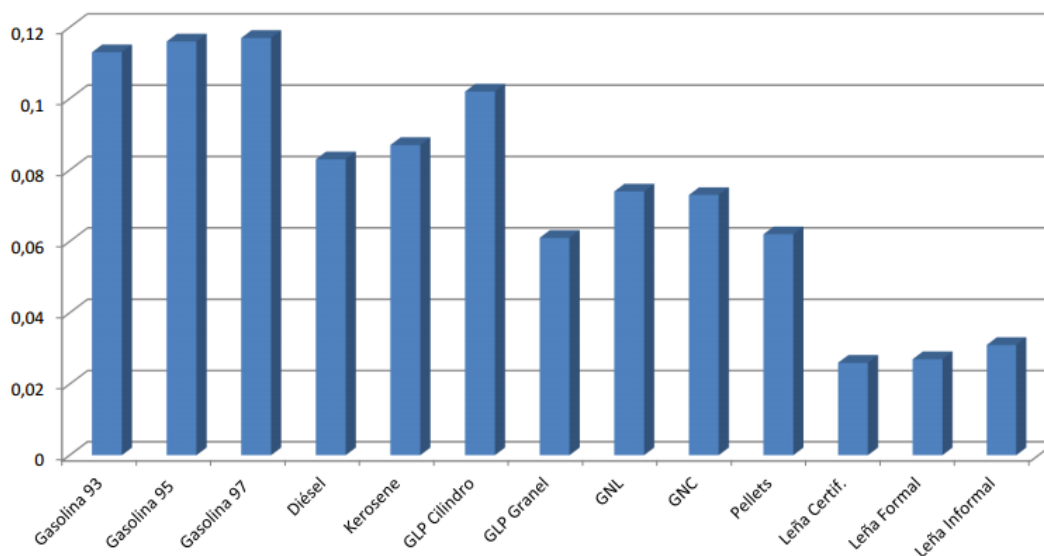


FIGURA 15: PRECIOS MEDIOS DE LOS COMBUSTIBLES EN LA REGIÓN DE AYSÉN (\$/Kcal)

Fuente: Evaluación Económica de la Matriz Energética de la Región de Aysén, del General Carlos Ibáñez del Campo - 2015

TABLA 3: PRECIOS MEDIOS DE LOS COMBUSTIBLES POR UNIDAD DE ENERGÍA EN LA COMUNA DE COYHAIQUE (\$/Kcal)

Gasolina 93	Gasolina 95	Gasolina 97	Diesel	Kerosene	GLP cilindro	GLP granel
0,109	0,111	0,114	0,077	0,084	0,102	0,060

Pellets	Leña Certificada	Leña Formal	Leña Informal
0,053	0,026	0,028	0,031

Fuente: Extracto Evaluación Económica de la Matriz Energética de la Región de Aysén, del General Carlos Ibáñez del Campo - 2015

De acuerdo a la figura 18 y tabla 3, el valor de la leña certificada equivale a menos de la mitad del precio de los combustibles que le siguen. Además de la condicionante económica, este recurso es abundante en la región y tiene un profundo arraigo cultural. Existen encuestas realizadas a la comunidad que indican que aproximadamente el 37% de la población la prefiere por costumbre y un 27% por considerar que genera más calor (INFOR 2004). Se considera que el consumo promedio de leña por hogar en la región es de 17,5 m³st.

Con respecto a la penetración de la leña por sector, y tal como se mencionó anteriormente, los sectores residencial y público consumen principalmente biomasa para calefacción y cocción, mientras que el sector comercial, transporte e industria consumen generalmente diesel, como se observa en figura 19 a continuación.

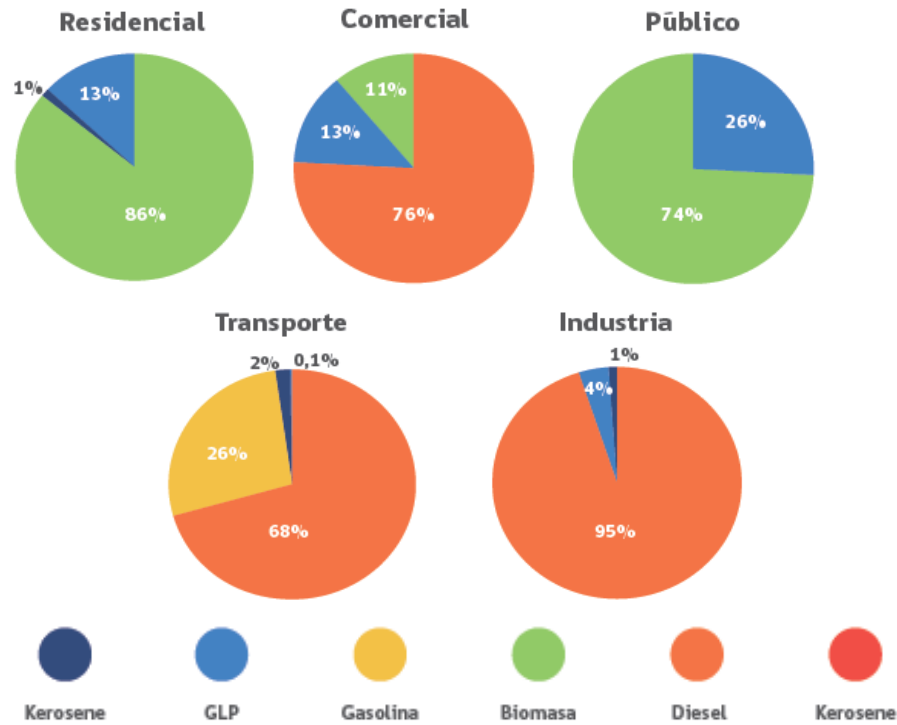


FIGURA 16: CONSUMO DE COMBUSTIBLES POR SECTOR EN LA REGIÓN

Fuente: Hoja de Ruta Energética, Región de Aysén, Ministerio Energía - 2017

Respecto a la penetración de leña en los sectores no residenciales, destaca el consumo por parte de hoteles, restaurantes y servicios públicos, siendo en este caso la región con mayor utilización de biomasa del país, sobrepasando a las demás en casi un 50%.

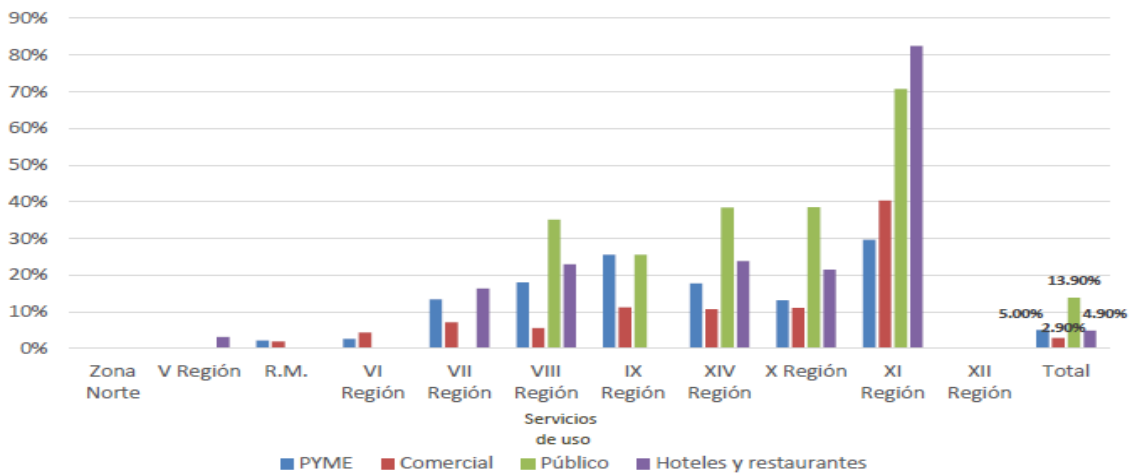


FIGURA 17: PENETRACIÓN DE LEÑA EN SECTORES NO RESIDENCIALES POR REGIÓN

Fuente: Medición del consumo de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera, CDT - 2015

La medición del consumo nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera, efectuada por el Ministerio de Energía a nivel nacional en el año 2016, determinó que de los establecimientos públicos, los equipamientos educacionales poseen la mayor penetración de leña con un 15,3%, sobrepasando a los establecimientos de salud por un 1,2%. Se estima que la leña se encuentra presente en un total de 1.655 Establecimientos de Uso Público a nivel nacional (CDT 2016).

Se calcula que el 13,9% de los establecimientos de uso público del país emplea la leña como modo de calefacción, este valor corresponde al promedio total del uso de leña entre las 15 regiones. Se destaca el uso de esta fuente energética en la región de Aysén (XI) con un 70,8%, alcanzando un consumo anual de 29.241,50 m³st, así como el consumo promedio anual por establecimiento de 389,2 m³st más alto del país.

TABLA 4: CONSUMO DE LEÑA PROMEDIO Y ENERGÍA EN ESTABLECIMIENTOS DE USO PÚBLICO POR REGIÓN

	Penetracion	N° de establecimientos que consumen LEÑA	Consumo promedio por establecimiento (m3st)	Consumo Total (m3 st)
Z.NORTE	0%	0	0	0
V REGION	0%	0	0	0
RM	0%	0	0	0
VI REGION	0%	0	0	0
VII REGION	0%	0	0	0
VIII REGION	35,1%	597	13,2	7.852,10
IX REGION	25,6%	325	18,9	6.133,20
XIV REGION	38,4%	218	38,7	8.414,60
X REGION	38,5%	441	45,1	19.914,30
XI REGION	70,8%	75	389,2	29.241,50
XII REGION	0%	0	0	0
TOTAL	13,9%	1.655	43,2	71.555,70

Fuente: Extracto Medición del consumo nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera_CDT_Ministerio Energía 2016

Entre los establecimiento de uso público se encuentran los establecimientos educacionales los que según CDT 2016, representan aproximadamente el 98% de consumo de leña desde la VIII región a la XI región.

Dentro del universo de edificaciones públicas en la Región de Aysén, los establecimientos educacionales municipales dependen fundamentalmente de la leña como combustible para calefaccionar, estos establecimientos no cuentan además con envolvente térmica adecuada para garantizar un ambiente con temperaturas confortables.

En la siguiente tabla se presenta un listado de todos los establecimientos educacionales municipales de la comuna de Coyhaique, ubicados en las zonas rural y urbana, contemplando 16 en total, de los cuales en su mayoría utilizan calderas a leña para su calefacción.

TABLA 5: ESTABLECIMIENTOS EDUCACIONALES DE LA COMUNA DE COYHAIQUE

N°	Nombre	AÑO EDIFICACION	urbano/Rural	Dirección	m2 Construcción
1	Escuela Pedro Quintana Mansilla	1949	Urbano	Arturo Prat N°139	5887 m2
2	Escuela Baquedano	1966	Urbano	Av. Baquedano N°1427	5905,87 m2
3	Escuela Víctor Domingo Silva	1981	Urbano	Las Quintas N°826	3809,16 m2
4	Escuela Nieves del Sur	1982	Urbano	Los Pinos N°825	2443,05 m2
5	Escuela Diferencial España	1972	Urbano	Los Mañíos N°475	1529,17 m2
6	Liceo Josefina Aguirre Montenegro	1983	Urbano	Jose Miguel Carrera N°485	5481,01 m2
7	Liceo Republica Argentina	2002	Urbano	Freire N°1671	5361,04 m2
8	Liceo Bicentenario Altos del Mackay	1988	Urbano	Camino El Claro	1217,073 m2
9	Centro de Educacion Integral de Adultos	1982	Urbano	Av. Ogana N°1048-B	486,57 m2
10	Escuela Arroyo El Gato	1984	Rural	Camino Arroyo El Gato.	504,76 m2
11	Escuela Pablo Neruda de Villa Ortega	1993	Rural	Gumercindo Ortega s/n	1378,90 m2
12	Escuela valle de la Luna de Ñirehuao	2003	Rural	Camino internac. Km 62 Ñirehuao	1824,61 m2
13	Escuela Pablo Cea Vasquez de Lago Atravesado	1985	Rural	Lago Atravesado	522,55 m2
14	Escuela de Valle Simpson	2004	Rural	Camino Lago Elizalde Km.20	3030,14 m2
15	Escuela Rio Blanco	1985	Rural	km 35 coyhaique, Balmaceda	2369,02 m2
16	Escuela Antolin Silva Ormeño de Balmaceda	1993	Rural	Ing. Steffens N°65	1824,61 m2

Fuente: Elaboración propia.

2.4 INFRAESTRUCTURA EDUCACIONAL PÚBLICA

Los establecimientos educacionales municipales insertos en el polígono declarado zona saturada por MP10, no cuentan con envolvente térmica o bien en algunos casos solo poseen un precario acondicionamiento térmico. Esto se debe a que las exigencias normativas existente en el momento de la concepción de estas edificaciones, no consideraba requerimientos térmicos.

Las bajas temperaturas presentes en la región en la época de Otoño e Invierno, requieren de una envolvente que responda a un alto nivel de exigencia térmica sin mencionar una serie de otros parámetros a ser considerados en la conceptualización de un proyecto sustentable y eficiente energéticamente.

En la actualidad, en la región se observa una práctica habitual en el diseño de equipamientos educacionales, donde se emplean los estándares de envolvente térmica contenidos en el capítulo 4.1.10 de la O.G.U.C, o bien, aquellos contemplados en el plan de descontaminación ambiental, ambos dirigidos al diseño de viviendas. Sin embargo, ya se cuenta con referencias específicas destinadas a establecimientos educacionales como la guía de eficiencia energética para establecimientos educacionales desarrollada por el CITEC de la Universidad del Bio Bio en el año 2012. A continuación, se presenta el levantamiento del consumo de leña asociado a todos los establecimientos educacionales de Coyhaique insertos en la zona urbana que además se encuentran dentro de la zona saturada por PM10 y su sistema de calefacción.

TABLA 6: TIPO DE CALEFACCIÓN EN ESTABLECIMIENTOS EDUCACIONALES DE LA COMUNA DE COYHAIQUE

N°	Nombre	Tipo de Calefacción	Aislación térmica	ventanas Termopanel
1	Escuela Pedro Quintana Mansilla	Calderas Leña	NO	NO
2	Escuela Baquedano	Caldera Astilla + Petróleo	NO	NO
3	Escuela Víctor Domingo Silva	Combustión lenta a Leña	NO	NO
4	Escuela Nieves del Sur	Caldera a Pellet + Gas	SI	SI (50%)
5	Escuela Diferencial España	Combustión lenta a Leña + pellet	NO	NO
6	Liceo Josefina Aguirre Montenegro	Caldera a pellet y Petróleo	NO	SI (15%)
7	Liceo Republica Argentina	Caldera a Leña + Combustión lenta a leña	NO	NO
8	Liceo Bicentenario Altos del Mackay	Caldera a Leña	SI	NO
9	Centro de Educacion Integral de Adultos	Caldera a Leña	SI	NO

Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de levantamiento en terreno_DEM Coyhaique_Seremi de Medio Ambiente (2018).

Como se puede observar, casi la totalidad de los establecimientos educacionales registrados en este levantamiento, no cuentan con aislación térmica, ni tampoco con ventanas termopanel lo que supone un elevado consumo energético para lograr temperaturas de confort adecuadas. El sistema de calefacción más empleado en los equipamientos es la caldera a leña, siendo este sistema el que representa la mayor cantidades de emisiones de material particulado MP10 y MP2,5.

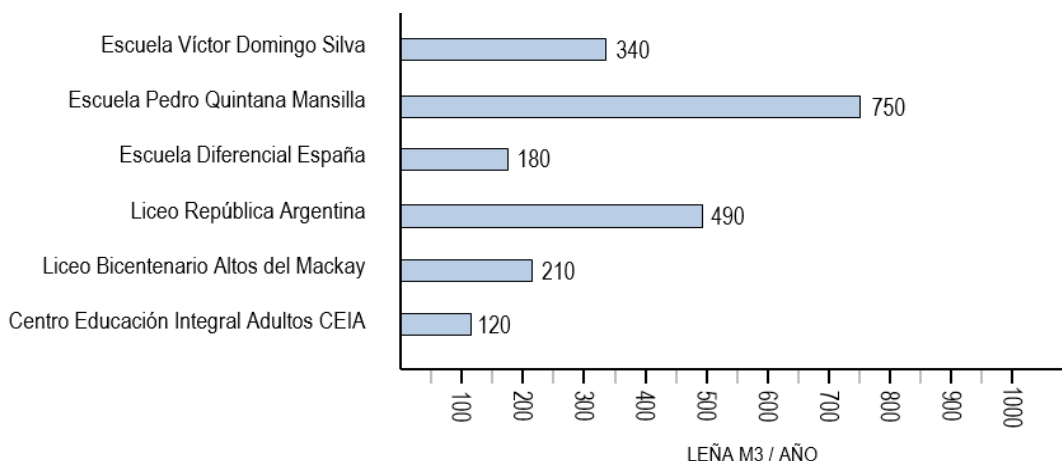


FIGURA 18: CONSUMO DE LEÑA ESTABLECIMIENTOS MUNICIPALES 2018

Fuente: Elaboración propia.

3. REACONDICIONAMIENTO ENERGÉTICO DE EDIFICIOS

Este capítulo analiza el impacto que pueden tener diversas estrategias de mejoramiento sobre proyectos de infraestructura educacional. Se usó como referente el proyecto School of the Future inserto en el 7° Programa Marco de la Unión Europea en el año 2011.

Se buscaba en este contexto, mejorar la eficiencia energética de los establecimientos educacionales a través de su reacondicionamiento energético. Los objetivos del proyecto incluían la implementación y evaluación de medidas de renovación integral.

El objetivo principal era reducir el uso de energía para conseguir el confort térmico de sus espacios, para esto debían desarrollarse mediciones a largo plazo e iniciativas para mejorar el comportamiento del usuario.

El proyecto se centró en la renovación de cuatro edificios escolares en cuatro países europeos con diferentes climas, ninguna de las edificaciones necesitaba sistemas de enfriamiento. Las mejoras comprendían medidas de optimización de la envolvente del edificio, mejorar sistemas y emplear energías renovables.

3.1 ESTRATÉGIAS DE REACONDICIONAMIENTO ENERGÉTICO DE EDIFICIOS

En Marzo de 2007 la Unión Europea comprometió incrementar su eficiencia energética disminuyendo el consumo de energía en un 20% al año 2020. Para alcanzar este objetivo, los países de la UE deben enfrentar el reacondicionamiento del parque existente, ya que gran parte del parque europeo necesita una renovación. Más del 40% se construyó antes de 1960 y el 90% antes de 1990, y la mayoría de estos edificios aún se mantendrán en 2050. Cada año, las nuevas construcciones en Europa representan aproximadamente el 1% del stock de edificios. La tasa de renovación de lo edificado en países como Francia y Alemania alcanzan el 1.5% y 1.75% respectivamente¹¹. Siendo la renovación de la edificación en promedio de un 1% anual.

El punto clave es que las tasas de demolición y construcción son bajas. Por ejemplo, para los edificios residenciales entre 1980 y 2005, en ocho países de la UE, la tasa promedio anual de demolición fue aproximadamente del 0,1%, con la tasa anual de nueva construcción entre el 1% y el 1,5%¹². Esto significa que existe una significativa cantidad de edificaciones que deben ser renovadas para adecuarse a los nuevos estándares de desempeño energético.

Los edificios no residenciales representan el 25% de la superficie total del parque de edificios europeos. El mayor consumo total de energía en edificios no residenciales se encuentra en tiendas (28%), oficinas (26%), establecimientos educacionales (12%) y hoteles y restaurantes (12%). A estos les siguen hospitales (10%) e instalaciones deportivas (6%), con un 6% por otros tipos de edificios. El consumo energético promedio específico en el sector no residencial es al menos un 40% mayor que el valor equivalente para el sector residencial. En el sector no residencial, el uso de electricidad en los últimos 20 años se ha incrementado en un notable 74% en línea con el mayor uso de equipos de TI y aire acondicionado.

3.1.1 CASOS DE REACONDICIONAMIENTO ENERGETICO DE INFRAESTRUCTURA EDUCACIONAL EN LA UNION EUROPEA

ESCUELA SECUNDARIA Y GIMNASIO "SOLEDA", ALEMANIA

DIRECCION: SPECHTWEG 40 - 70499 STUTTGART, ALEMANIA

PROPIETARIO: CIUDAD DE STUTTGART

AÑOS DE CONSTRUCCION: 1966 - 1975

PERIODO REACONDICIONAMIENTO: 2012 - 2014

NUMERO DE ESTUDIANTES: 710

NUMERO DE SALAS: 27

SUPERFICIE: 8.924 m²

VALOR U	ANTES	DESPUES
	REACONDICIONAMIENTO	REACONDICIONAMIENTO
CIELO	0.67 - 0.96 W/M2K	0.15-0.20 W/M2K
MUROS EXTERIORES	0.44 - 3.65 W/M2K	0.18-0.23 W/M2K
VENTANAS	3.1 - 5.8 W/M2K	0.9-1.3 W/M2K
PISO	1.5 W/M2K	1.5 W/M2K

¹¹ EU_ MEMO-17-162

¹² BPIE, 2011. Europe's Building under the Microscope: A Country-by-Country Review of the Energy Performance of Buildings.



FIGURA 19: ANTES DEL REACONDICIONAMIENTO (IZQ.) Y DESPUÉS DEL REACONDICIONAMIENTO (DER.)

Fuente: School of the future UK 2016

Esta escuela secundaria ubicada en las afueras de la ciudad, consideró el reacondicionamiento completo del recinto a causa de sus daños estructurales por su antigüedad y su alto consumo energético en comparación a otras escuelas de la ciudad.

Los edificios que configuran este complejo son; el edificio principal, edificio de las clases de ciencia, el gran pabellón, el pequeño pabellón y el gimnasio.

PRINCIPALES MEDIDAS DE REACONDICIONAMIENTO

Aislación térmica: El reacondicionamiento de las paredes externas de los cinco edificios escolares consideró la instalación de un muro cortina compuesto de aislamiento térmico externo Sistema (ETICS). Se aplicaron capas de aislamiento (entre 14 y 18 cm) de lana mineral o espuma de poliestireno rígido. La pared exterior del gimnasio fue aislada utilizando tablas de fibra mineral de 18 cm. El techo del pabellón grande se aisló utilizando 16 cm de espuma de poliestireno rígido expandido (EPS); el techo del edificio para clases de ciencias fue aislado con 22 cm.

Sistema de calefacción: Las calderas de gas que habían sido instaladas en 2004 se combinaron con una unidad de cogeneración (CHP) para suministrar calor y electricidad. Esta configuración utiliza las calderas de gas en los peaks de consumo. Se mejoró también el aislamiento térmico de las tuberías de distribución de calor.

Sistema de ventilación: Se implementó una ventilación centralizada con recuperación de calor en el salón de actos del edificio principal. Las aulas fueron provistas de unidades de ventilación descentralizadas. Se instalaron sensores de CO₂ para asegurar un ambiente interior saludable y confortable. En el edificio para las clases de ciencias, la ventilación central existente se equipó con una unidad de recuperación de calor, se complementa con controles de CO₂. El pabellón grande es ventilado a través de ventanas que fueron provistas con sensores automáticos de apertura y cerramiento.

Es importante destacar que el estudio indica que uno de los principales problemas radica en las limitaciones de espacio o las restricciones estructurales, las que pueden prevenir la implementación de medidas de eficiencia.

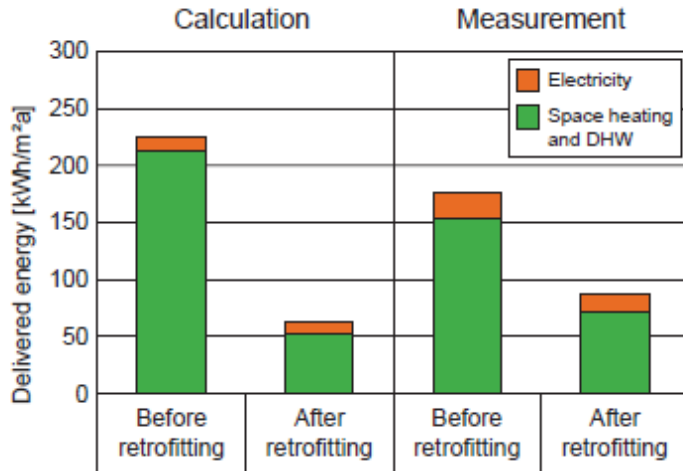


FIGURA 20: ENERGÍA CONSUMIDA ANTES Y DESPUÉS DEL REACONDICIONAMIENTO
 Fuente: School of the future UK 2016

ESCUELA TITO MACCIO PLAUTO, ITALIA

DIRECCION: VIA TITO MACCIO PLAUTO, N. 4-47521 CESENA, ITALIA
PROPIETARIO: CIUDAD DE CESENA
AÑO DE CONSTRUCCION: 1960
PERIODO DE RENOVACION: 2011 - 2014
NUMERO DE ESTUDIANTES: 380 - 400
NUMERO DE SALAS: 33
SUPERFICIE: 6.027 m²

VALOR U	ANTES REACONDICIONAMIENTO	DESPUES REACONDICIONAMIENTO
CIELO	2.3 W/M2K	0.18-0.20 W/M2K
MUROS EXTERIORES	1.8 - 2.8 W/M2K	0.28-0.30 W/M2K
VENTANAS	5.9 W/M2K	1.2 W/M2K
PISO	1.3 W/M2K	0.28-1.30 W/M2K



FIGURA 21: ANTES DEL REACONDICIONAMIENTO (IZQ.) Y DESPUÉS DEL REACONDICIONAMIENTO (DER.)

Fuente: School of the future UK 2016

La escuela consta de dos edificios principales, el gimnasio y el edificio general que contempla el área administrativa, salas de clases, pasillo y casino. El establecimiento data de los años 60's y mantenía los mismos sistemas energía insipiente y estructura de esos años. El edificio cuenta con cuatro niveles de altura.

La municipalidad de Cesena estaba trabajando en la mejora de la eficiencia energética de los principales edificios y el reacondicionamiento de esta escuela era un ejemplo de demostración de esta nueva práctica.

La estructura del edificio está construida con una doble capa de ladrillos reforzados, sin considerar aislación.

PRINCIPALES MEDIDAS DE REACONDICIONAMIENTO

Aislación Térmica: Se reemplazaron las ventanas de vidrio simple por ventanas con Marcos de PVC y doble acristalamiento de Argón. El muro exterior del edificio escolar fue revestido con 12 cms de lana mineral en sistema ETICS. El gimnasio fue asilado con 10 cm (interiores) del mismo sistema. En el techo del edificio que alberga las salas de clases se dispuso una capa de lana mineral aislante de 20 cm.

Sistema de calefacción: Se renovó el sistema de calefacción implementando tres nuevas calderas de condensación que funcionan como sistema de cascada, pudiendo de esta forma regular la capacidad de energía según se requiera. Otro mejoramiento importante fue el implemento de circuitos hidráulicos, los que permiten tener un mejor control en el servicio de la calefacción solo cuando es realmente necesaria, es decir, solo en los espacios que están siendo ocupados en vez de calefaccionar los grandes volúmenes sin ocupar, por esta razón la calefacción fue zonificada de la siguiente manera; salas de clases y laboratorios, subterráneo, enfermería, casino, oficinas y salas con sistemas de ventilación mecánica.

Sistema de ventilación: Se instalaron 5 sistemas mecánicos de ventilación con recuperación de calor para las 23 salas que contempla el establecimiento.

Sistema Fotovoltaico: Se implementó sistema fotovoltaico monocristalino de 250 mt² de superficie.



FIGURA 22: CALDERAS CONDENSACIÓN (IZQ.) Y PANELES FOTOVOLTAICOS (DER.)

Fuente: School of the future UK 2016

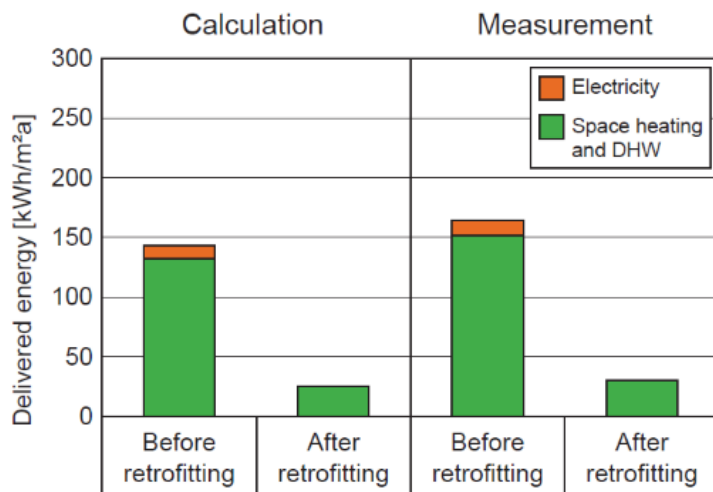


FIGURA 23: ENERGÍA CONSUMIDA ANTES Y DESPUÉS DEL REACONDICIONAMIENTO
 Fuente: School of the future UK 2016

3.2 MARCO REGULATORIO EN CHILE, REGLAMENTACION TERMICA Y PARAMETROS DE EFICIENCIA ENERGETICA APLICABLES A INFRAESTRUCTURAS ESCOLARES

Actualmente la normativa que regula la infraestructura escolar es el decreto supremo N°548 modificado el año 2010 del Ministerio de Educación, el decreto supremo N°594 del año 1999 del ministerio de Salud, el RITCH-ITE 02.2.3 y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Estos documentos disgregadamente norman aspectos referidos a ventilación, iluminación y temperatura.

La reglamentación térmica chilena está contenida en el art 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C). La primera etapa de la reglamentación térmica entró en vigencia en Marzo del año 2000, en ella fueron establecidos valores mínimos exigibles de transmitancia térmica en techumbres. En Enero del año 2007 la segunda parte de la normativa entra en vigencia incorporando exigencias a muros, ventanas y pisos ventilados (Tablas 5 y 6). Actualmente en Chile no existen exigencias normativas que regulen las propiedades térmicas de edificios no residenciales, ya que, la OGUC es aplicable solo a viviendas. En el ámbito educativo, el DS 560 establece que los locales escolares y complementarios deberán mantener en los recintos de uso de los párvulos y alumnos, excluidos los servicios higiénicos y patios, las siguientes temperaturas mínimas, en las zonas del país que se indican (NCH 1079):

- Educación Parvularia**, una temperatura de 15° C en las zonas: andina, central interior del río Maipo al sur litoral, sur interior y sur extrema.
- Educación Básica y Media**, una temperatura de 12° C en las zonas: andina, central interior de los ríos Ñuble e Itata al Sur, sur litoral, sur interior y sur extrema.
- Hogares Estudiantiles**, una temperatura de 15° C en las zonas: andina, central interior del río Maipo al sur, sur litoral, sur interior y sur extrema.

Se establece también en el texto que cuando la ventilación natural de los recintos no sea posible, se deberá disponer de un sistema mecánico de ventilación que garantice **la renovación total del cubo de aire, equivalente a 2 veces por hora.**

A continuación, se describen los principales estándares y normativas, que pueden ser empleados de forma referencial.

3.2.1 REGLAMENTACION TERMICA DE VIVIENDAS – ARTICULO 4.1.10 O.G.U.C

La reglamentación térmica contenida en la ordenanza general de urbanismo y construcciones considera establece parámetros específicos en función de la siguiente zonificación:

ZONIFICACION TERMICA – COYHAIQUE ZONA 7

La zonificación térmica contenida en la O.G.U.C establece 7 zonas térmicas. Los datos empleados para definir las zonas fueron los registros meteorológicos históricos, fijando una temperatura interior base de 15°C considerando que las ganancias solares y los aportes generados por la ocupación elevarían esta temperatura a una temperatura de confort de entre 18 y/o 20°C. Esta zonificación clasifica a las zonas según el comportamiento térmico que estas presentan en invierno, sin considerar oscilaciones diarias y estacionales. La clasificación de las zonas se efectúa a partir de los grados/día requeridos para calefaccionar:

- Zona 1: < o = 500 grados-días.
- Zona 2: > 500 y < o = 750 grados-días
- Zona 3: > 750 y < o = 1000 grados-días
- Zona 4: > 1000 y < o = 1250 grados-días
- Zona 5: > 1250 y < o = 1500 grados días
- Zona 6: > 1500 y < o = 2000 grados-días
- Zona 7: > 2000 grados-días.

Grados /día: Es la diferencia entre la temperatura fijada como “base”, y la media diaria de las temperaturas bajo la temperatura base, igualando a la “base” aquellas superiores a ésta. (Fuente: Manual aplicación normativa térmica 2006)

TRANSMITANCIA Y RESISTENCIA TERMICA EN TECHUMBRES, MUROS Y PISOS VENTILADOS ZONA 7: COYHAIQUE

TABLA 7

ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U	Rt	U	Rt	U	Rt
	W/m2K	m2K/W	W/m2K	m2K/W	W/m2K	m2K/W
7	0,25	4,00	0,60	1,67	0,32	3,13

U= Transmitancia termica igual o menor

Rt= Resistencia termica igual o superior

Fuente: Elaboración propia en base a Artículo 4.1.10 O.G.U.C

TABLA 8

ZONA	% MÁXIMO DE SUPERFICIE VIDRIADA RESPECTO A PARÁMETROS VERTICALES DE LA ENVOLVENTE		
	VIDRIO MONOLÍTICO (b)	DVH DOBLE VIDRIADO HERMÉTICO (c)	
		3,6 W/m2K ≥ U > 2,4 W/m2K(a)	U ≤ 2,4 W/m2K
7	12%	28%	37%

3.2.2 NCH 1079-2008:

“ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN – ZONIFICACIÓN CLIMÁTICO HABITACIONAL PARA CHILE Y RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO”

La norma NCH 1079-2008 define 9 zonas térmicas considerando aquellos factores meteorológicos que definen el clima, tales como, radiación solar, dirección e intensidad de vientos, temperaturas medias, mínimas y máximas, oscilación térmica, humedad del aire, nubosidad, precipitaciones y soleamiento. Coyhaique pertenece a la Zona Sur Extremo (SE) cuyas características generales son ser una zona fría y muy lluviosa, con precipitaciones a lo largo de todo el año disminuyendo su intensidad hacia el sur y desde W a E. estas precipitaciones son muy altas hacia el norte de la zona (Chiloé, Puerto Aysén y Coyhaique), en especial en invierno y tienden a disminuir hacia el sur donde las precipitaciones se distribuyen en forma homogénea a lo largo del año. (Punta Arenas). Nubosidad casi permanente, veranos cortos. Suelo y/o ambiente muy húmedo.

Heladas y nieve en altura y hacia el sur de la zona, en la que además se observan altos vientos. Radiación solar moderada en verano. Microclimas importantes en el interior (NCH 1079). Es importante señalar que esta zona térmica se compone de varias subzonas que no han sido estudiadas en profundidad debido a su baja densidad poblacional. Los valores máximos recomendados para Valor U se detallan en la Tabla 7. Estos están dirigidos a viviendas, **en el punto E.2.3 la norma NCH 1079 se refiere a la importancia y la necesidad de incorporar recomendaciones para otros tipos de edificación distinta a vivienda y que debiesen ser incorporados a la reglamentación térmica.**

TABLA 9: VALORES MÁXIMOS DE TRASMITANCIA TÉRMICA “U” DE LA ENVOLVENTE (W / m²K)

	ZONA	MUROS	TECHUMBRE	PISO VENTILADO	VENTANAS
8	SE	0,4	0,25	0,5	2,4

Fuente: Elaboración propia en base a Anexo E.1 NCH 1079 – 2008

Los criterios empleados para la elaboración de esta tabla según lo indica el Anexo E, apuntan a conseguir el confort de forma eficiente respecto del consumo energético. Considerando que en Chile **las viviendas medias y sociales**, emplean calefacción solo una parte del día en Invierno en su mayoría por el costo que implica el consumo de energía. Se persigue que las recomendaciones de diseño entregadas permitan alcanzar un desempeño adecuado de la envolvente térmica para conseguir una mejor condición ambiental interior aproximándola a la condición de confort durante las 24 horas del día, consiguiendo de esta forma una disminución del consumo de energía empleada.

3.2.3 TÉRMINOS DE REFERENCIA ESTANDARIZADOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONFORT AMBIENTAL DEL MOP TDRE

Elaborada por un equipo multidisciplinario (CITEC UBB, DECON Y MOP) en el año 2011 tiene como objetivo regular la incorporación de exigencias, criterios de desempeño y estándares de eficiencia energética y confort ambiental, junto con los procedimientos de verificación (fiscalización) a los contratos de diseño y obras de edificios públicos en Chile.

A partir de la zonificación térmica establecida en NCH1079 se establecen valores límites a cumplir en cada zona, donde la Tabla 8 presenta los valores para la zona 8 Sur Extremo donde se emplaza la ciudad de Coyhaique.

Es importante señalar que estos términos de referencia amplían el espectro de parámetros definidos por la OGUC y la NCH1079, ya que, se incorporan límites a las infiltraciones de aire, permeabilidad de ventanas, puentes térmicos y factor solar modificado.

El ámbito de aplicación de estos estándares es el de edificios nuevos y edificios públicos existentes a ser remodelados o reacondicionados, con una superficie útil mayor a 100 m² y donde se renueve más del 50% del total de sus cerramientos.

TABLA 10: VALORES LIMITES PARA ZONA CLIMATICA 8 SE: SUR EXTREMO

TRANSMITANCIA TÉRMICA MÁXIMA (U) - ENVOLVENTE		VANOS (POR ORIENTACIÓN)				
Parámetros Característicos Medios	Valor U	% Vanos	N	E/O	S	NE/NO
Transmitancia límite de cubierta	0,25	0 a 10	3,50	3,50	3,50	3,50
Transmitancia límite de muro de fachada	0,40	11 a 20	3,50	3,50	3,00	3,50
Transmitancia límite de pisos en contacto con el terreno	0,40	21 a 30	3,50	2,90	2,50	3,50
Transmitancia límite de pisos ventilados	0,50	31 a 40	3,40	2,60	2,20	3,40
Transmitancia límite de cerramiento en contacto con el terreno	0,40	41 a 50	3,20	2,50	2,10	3,20
Transmitancia límite de puente térmico	0,70	51 a 60	3,00	2,40	1,90	3,00
Transmitancia ponderada límite paramentos verticales	1,15	> 60	Deberá cumplir con las exigencias de Eficiencia Energética			

INFILTRACIONES - ENVOLVENTE		
Cambios de aire (1/hr) a 4 Pa	CON Sistema mecánico de ventilación	SIN Sistema mecánico de ventilación
		0,5

PERMEABILIDAD AL AIRE - VENTANAS	
Clase aceptable de permeabilidad al aire por supercicie de hoja	7a (reforzada)

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de TDR e Mop

3.2.4 CERTIFICACIÓN DE EDIFICIOS SUSTENTABLES (CES)

La Certificación de Edificios Sustentables CES es elaborada el año 2014 por un equipo multidisciplinario (IDIEM, Cámara Chilena de la Construcción, Ministerio de Obras Públicas y Colegio de Arquitectos) con el objetivo de evaluar, calificar y certificar el comportamiento ambiental de edificios de uso público en Chile, tanto nuevos como existentes. Se estructura en base 7 temas principales, los cuales a su vez a su vez poseen variables, desagregadas en requerimientos obligatorios y otros voluntarios que entregan puntaje. Los temas abordados y sus variables son los siguientes:

-Arquitectura / calidad de ambiente Interior:

Confort térmico-pasivo, **Confort visual-pasivo*** **Calidad del aire- pasivo***, **Confort acústico***

-Arquitectura / Energía:

Demanda de Energía*, **Hermeticidad de la envolvente***, Energía incorporada.

-Arquitectura / Agua:

Paisajismo*, Agua incorporada.

-Arquitectura/ residuos:

Manejo de residuos.

-Instalaciones/ Calidad del Ambiente Interior:

Calidad del aire-activo*, Ruido de equipos, **Confort Visual-activo***, **Confort térmico-activo***.

-Instalaciones/ energía:

Iluminación artificial, **Climatización y ACS***, Otros consumos, ERNC.

-Instalaciones/Agua:

Sistemas de agua Potable*, Riego*.

-Construcción:

Manejo de residuos*

-Gestión:

Gestión de la operación y mantenimiento.

***variables obligatorias**

La variable demanda de Energía establece exigencias de transmitancia térmica y factor solar modificado el cual no posee exigencias para la zona sur extremo, como se muestra en la tabla 11 a continuación:

TABLA 11: TRANSMITANCIAS MAXIMAS PARA PISOS VENTILADOS, MUROS Y VENTANAS PARA ZONA CLIMATICA SUR EXTREMO

Transmitancia térmica (U - W/m²K) para muros y ventanas		FACTOR SOLAR MODIFICADO (FSM PARA VENTANAS DE FACHADAS Y CUBIERTA)	
Elemento	SE	ELEMENTO	SE
U - cubierta y piso ventilado	0,30	FSM-N Y NE/NO	NA
U - muro	2,90	FSM-E/O	NA
U - ventana y lucernarios	3,00		

Fuente: Elaboración propia en base a Certificación de Edificio Sustentable CES,

3.2.5 GUÍA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA ESTABLECIMIENTOS EDUCACIONALES GEEEDUC

Elaborada el año 2012 por el CITEC de la Universidad del Bio Blo, esta guía entrega parametros generados en base a una serie de simulaciones dinámicas para un aula en diversos climas empleando la zonificación indicada en NCh1079. La metodología utilizada contempla el análisis de diferentes diseños de aulas, considerando soluciones para distintas orientaciones y distintas formas de agrupamiento.

Para desarrollar las propuestas de aulas integrales se zonificó el país en 3 macro zonas: Norte, Centro y Sur. Los resultados obtenidos permiten establecer el desempeño ideal a conseguir según zona (Tabla 10):

TABLA 12: PARAMETROS DE BUEN DESEMPEÑO TERMICO

ZONA CLIMATICA SUR EXTREMO								
Calidad del Aire			Configuración envolvente					
Ventilación adicional verano (Temp. Int. ≥ 23°C)	Ventilación base	Infiltración	Superficie vidriada fachada principal	Tipo de vidrio	Valor U techo (Wm ² /°C)	Valor U piso (Wm ² /°C)	Valor U muro (Wm ² /°C)	Tipo de envolvente
2 ach	5 l/s pp	0,5ach	23%	DVH low-e	0,15	0,45	0,19	K

Fuente: Elaboración propia en base a GEEEDUC 2012.

3.2.6 PLAN DE DESCONTAMINACION ATMOSFERICA(PDA) PARA LA CIUDAD DE COYHAIQUE

El Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) para la ciudad de Coyhaique y su zona circundante tiene como objetivo inicial cumplir con los valores establecidos en la norma primaria de material particulado respirable MP10. El plan entró en vigencia el mes de Marzo de 2016 y su objetivo es salir de la condición de zona saturada por MP10 (norma diaria y anual) hacia el año 2025. Considera las siguientes medidas estructurales aplicables a proyectos de vivienda:

1. DISMINUIR EL CONSUMO ENERGÉTICO MEDIANTE EL REACONDICIONAMIENTO DE VIVIENDAS

Se establecen las siguientes medidas tendientes a lograr este objetivo:

A) DETERMINACIÓN DE VALORES DE TRANSMITANCIA MÁXIMA DE ENVOLVENTE:

El objetivo del reacondicionamiento térmico de viviendas y el establecimiento de parámetros exigibles de transmitancia, tiene por objetivo disminuir el requerimiento energético de la población.

TABLA 13: TRANSMITANCIA TÉRMICA MÁXIMA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA

<i>Elemento</i>	<i>Estándar</i>	<i>Valor</i>
Techo	Valor U [W/(m2K)]	0,25
Muro		0,35
Piso ventilado		0,32
Ventana		3,60
Puerta		1,70

Fuente: Elaboración propia en base a datos PDA Coyhaique

B) EVITAR RIESGOS DE CONDENSACIÓN:

Mediante el procedimiento de cálculo establecido en la NCh 1973, considerando los criterios de cálculo que Minvu defina.

C) DISMINUIR INFILTRACIONES DE AIRE:

Los proyectos deberán verificar el estándar para vivienda que se señala a continuación:

TABLA 14: ESTÁNDARES PARA ELEMENTOS PUERTAS Y VENTANAS (MAXIMOS)

<i>Elemento</i>	<i>Estándar</i>	<i>Valor</i>
Vivienda	Clase de infiltración de aire a 50 Pa (ach)*	4
Puerta y ventana	Grado de Estanquidad al viento a 100 Pa (m3/hm2)	7

Fuente: Elaboración propia en base a datos PDA Coyhaique

(*) Renovaciones de aire por hora

D) INCORPORAR CONTROL DE GANANCIAS SOLARES Y AISLAMIENTO TÉRMICO DE SOBRECIMENTOS:

Los proyectos de vivienda deberán cumplir las exigencias respecto del control de las ganancias solares a través de los complejos de ventanas y las exigencias de aislación térmica de sobrecimiento, para pisos en

contacto con el terreno natural. Minvu es el responsable de definir estos estándares mediante acto administrativo, a la fecha estos se encuentran en desarrollo.

E) INCORPORAR VENTILACIÓN:

Las viviendas deberán contar con un sistema de ventilación que garantice la calidad del aire interior según lo establecido en las normas NCh 3308 y 3309. El sistema de ventilación debe considerar sistemas mecánicos de salida del aire al exterior, pudiendo ser las entradas de aire natural o mecánica con la incorporación de filtros para MP y con al menos dos puntos de extracción de aire ubicados en el baño y la cocina con encendido mediante control de higróstato.

2. RECAMBIO DE SISTEMAS DE CALEFACCIÓN Y COCCIÓN DE ALIMENTOS EN BASE A LEÑA POR SISTEMAS MÁS EFICIENTES Y QUE GENERAN MENOS EMISIONES

Se establecen las siguientes medidas tendientes a lograr este objetivo:
Las calderas nuevas con una potencia térmica nominal menor a 75 kW, deberán cumplir con el límite máximo de emisión de material particulado y eficiencia establecido en la Tabla 15

TABLA 15: LIMITES MÁXIMOS DE EMISIÓN DE MP Y EFICIENCIA DE CALDERA NUEVA MENOR A 75 KW.

Potencia térmica nominal de la caldera (kWt)	Límite máximo de emisión MP (mg/m3 N)	Eficiencia (%)
Menor a 75 kWt	50	Mayor o igual a 90

Fuente: Elaboración propia en base a datos PDA Coyhaique

Las calderas nuevas y existentes con una potencia mayor o igual a 75 KW deben cumplir con límites máximos de emisión de MP.

TABLA 16: LIMITES MÁXIMOS DE EMISIÓN DE MP Y EFICIENCIA PARA CALDERA MAYOR O IGUAL A 75 KW

Potencia térmica nominal de la caldera	Límite máximo de MP (mg/Nm2)	
	Caldera existente	Caldera nueva
Mayor o igual a 75 kWt y menor a 300 KWt	100	50
Mayor o igual a 300 kWt y menor a 1 MKt	50	50
Mayor o igual a 1 MWt y menor a 20 MWt	50	30
Mayor o igual a 20 MWt	30	30

Fuente: Elaboración propia en base a datos PDA Coyhaique

Simultáneamente, las calderas nuevas de potencia térmica mayor o igual a 300 KWt deberán cumplir con un valor de eficiencia sobre 85%

Las calderas nuevas y existentes, cuya potencia sea mayor o igual a 20 MWt deben instalar y validar un sistema de monitoreo continuo de emisiones de material particulado. (Definido por Superintendencia del medio ambiente)

3. MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE LA LEÑA – INCENTIVO CONSUMO DE OTROS COMBUSTIBLES PARA EFECTUAR LA CALEFACCION

Se busca ampliar la oferta de leña seca existente en el mercado para impactar las altas emisiones que genera el uso de leña húmeda en la calefacción domiciliaria.

3.2.7 RESUMEN PARAMETROS DE DISEÑO DE ENVOLVENTE

En la siguiente tabla resumen se indican los parámetros de envolvente estudiados. Estos permitirán mediante la optimización de la envolvente del caso de estudio a modelar, establecer el potencial impacto que puedan que estas optimizaciones pudiesen tener sobre la disminución del consumo energético para definir la mejor solución a implementar:

TABLA 17: VALORES MÁXIMOS TRANSMITANCIA TÉRMICA "U" (W/m2K)

VALORES MÁXIMOS TRANSMITANCIA TÉRMICA "U" (W/m2K)					
PARÁMETRO	MUROS	TECHUMBRE	VENTANAS	INFILTRACIONES	VENTILACIÓN
OGUC + DVH	0,6	0,25	3,226	1 RENOV/HORA	5 L/S PERSONA
TDR MOP	0,4	0,25	2,4	1 RENOV/HORA	5 L/S PERSONA
CES	2,9	0,3	3	1 RENOV/HORA	5 L/S PERSONA
PDA COYHAIQUE	0,35	0,25	3,6	1 RENOV/HORA	5 L/S PERSONA
GUÍA GEEEDUC	0,19	0,15	1,49	1 RENOV/HORA	5 L/S PERSONA

Fuente: Elaboración propia en base a datos recopilados marco normativo acondicionamiento térmico Chile.

4 METODOLOGIA

Este capítulo explica los criterios empleados en la selección del caso de estudio dentro del universo de establecimientos educacionales insertos en el polígono que abarca la zona saturada por material particulado MP10. Se analiza el edificio y sus características entendiendo su materialidad, sistema de calefacción y calendario de uso. Se determina el nivel de emisiones de material particulado que este emite según metodología descrita en la Guía Metodológica para la Estimación de Fuentes Fijas y Móviles 2011, desarrollada por la Comisión Nacional de Medio Ambiente.

4.1 SELECCIÓN CASO DE ESTUDIO

Los criterios de selección del caso estudio fueron los siguientes: de los establecimientos que cuentan con sistema de calefacción a leña se separó en dos grupos. Aquellos establecimientos que se encuentran insertos en el radio urbano y aquellos que no. Los establecimientos emplazados en la periferia de la ciudad fueron descartados pues no impactan sobre el polígono de área saturada, ya que, su ubicación permite una mejor dispersión de partículas contaminantes al no encontrarse en una condición geográfica que lo impida.

La tabla 17 muestra el universo total de establecimientos municipales insertos en el polígono que abarca la declaración de zona saturada por MP10. Para escoger el establecimiento a evaluar se restringió la cantidad de establecimientos a 6 pues la **Escuela Baquedano, Escuela Nieves del Sur y el Liceo Josefina Aguirre** cambiaron sus calderas a leña por calderas a petróleo + pellets o astillas. Lo que las margina como establecimientos a ser estudiados pues este recambio impacta directamente sobre las emisiones de material particulado que ellas generan.

TABLA 18: CARACTERISTICAS INFRAESTRUCTURA EDUCACIONAL URBANA – CONSUMO DE LEÑA

Nº	Nombre	Año Edificación	Urbano/ Rural	MT2 Construcción	Tipo de Calefacción	Aislación Térmica	Ventanas termopanel	MT3 LEÑA
1	Escuela Pedro Quintana Mansilla	1949	Urbano	5887	Caldera a Leña	NO	NO	750
2	Escuela Baquedano	1965	Urbano	5905	Caldera Astilla + Petróleo	NO	NO	280
3	Escuela Víctor Domingo Silva	1981	Urbano	3809	Combustión Lenta a Leña	NO	NO	340
4	Escuela Nieves del Sur	1982	Urbano	2443	Caldera a Pellet + gas	SI	SI (50%)	0
5	Escuela diferencial España	1972	Urbano	1529	Combustión Lenta a leña + pellet	NO	NO	180
6	Liceo Josefina Aguirre Montenegro	1983	Urbano	5481	Caldera a pellet y Petróleo	NO	SI (15%)	60
7	Liceo República Argentina	2002	Urbano	5361	Caldera a Leña + Combustión lenta a leña	NO	NO	490
8	Liceo Bicentenario Altos del Mackay	1988	Urbano	1217	Caldera a leña	NO	NO	210
9	Centro Educación Integral Adultos	1982	Urbano	486	Caldera a leña	NO	NO	120

Fuente: Elaboración propia

De esta forma se seleccionó la Escuela Pedro Quintana Mansilla, establecimiento educacional que comenzó a funcionar en el año 1949, y es hoy monumento nacional. Tiene gran presencia urbana por sus dimensiones, cuenta con una superficie de 5.887 m² construidos, lo que la convierte en uno de los equipamientos educacionales más grandes de la región. **Esta obra de construcción sólida en dos pisos no posee envolvente térmica ni ventanas de doble vidrio hermético y es calefaccionada mediante calderas a leña empleando 750 Mt3ST. (la cantidad más alta empleada por un establecimiento educacional en la región).**



FIGURA 24 FOTO AEREA ESCUELA PEDRO QUINTANA MANSILLA

Fuente: Diario el Divisadero

PLANTA 1° NIVEL S/E

PLANTA 2° NIVEL S/E

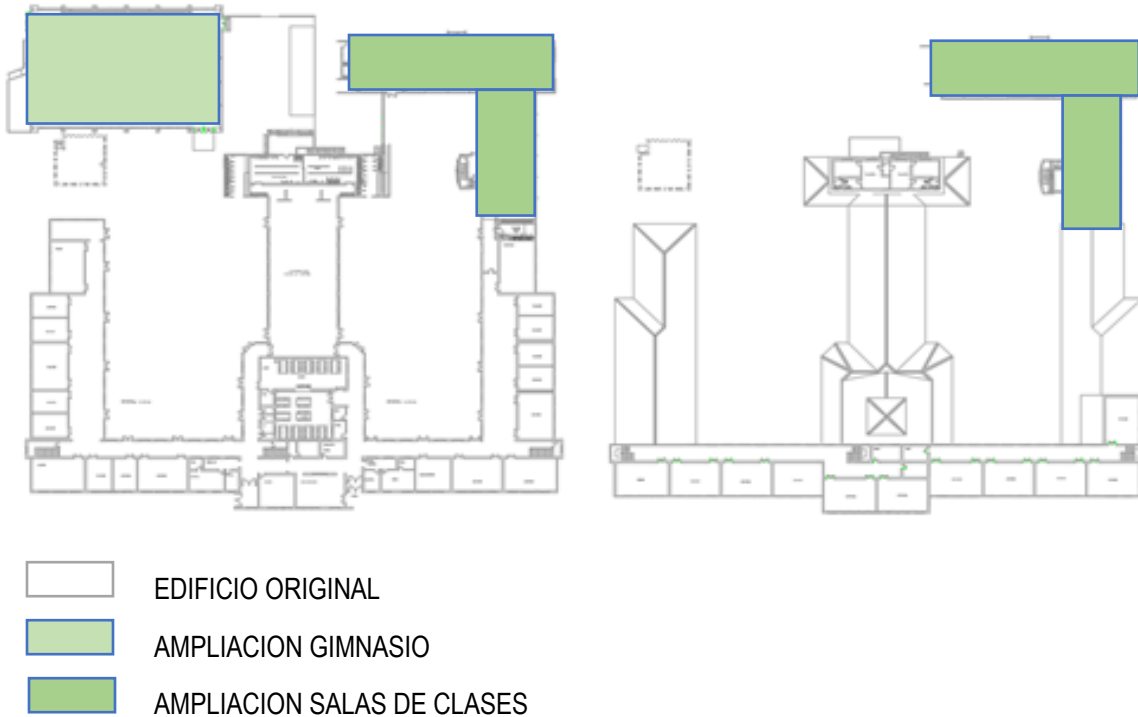


FIGURA 25: PLANTAS ESCUELA PEDRO QUINTANA MANSILLA

Fuente: Elaboración propia en base a planimetría Dirección Establecimientos Municipales

Como se observa en la Figura 24, arquitectónicamente la planta del edificio en sus inicios fue un conjunto edificado en forma de E invertida, que con el paso del tiempo ha tenido adecuaciones funcionales como la incorporación de un gimnasio y una ampliación de salas para dar cabida a la demanda de población estudiantil.

Especialmente el edificio se compone de amplios recintos y pasillos, con grandes alturas interiores. La materialidad predominante del edificio es el hormigón sin ningún tipo de aislación térmica, actualmente la edificación contempla ventanas de aluminio con vidrio simple las que al tacto evidencian importantes infiltraciones. Los corredores que rodean a los patios y que se ubican adyacentes a las salas tienen grandes ventanales de vidrio simple y presentan también múltiples infiltraciones. A continuación se describe brevemente las fotografías presentadas a continuación: La figura 26 muestra el interior de una sala de clases donde es posible observar grandes superficies de ventanas de vidrio simple y marco de aluminio, es necesario calefaccionar una importante volumen de aire. La figura 27 y 28 muestra grandes pasillos de circulación vidriados con ventanales de vidrio simple y marcos de aluminio. La figura 29 muestra un tramo del extenso trayecto de las cañerías con agua caliente hacia los radiadores distribuidos en los pasillos vidriados y en las salas de clase. La figura 30 muestra la antigüedad de la caldera a leña, la cual no posee placa, se consultó registros buscando data sin resultados positivos. Consultado un especialista señalo que su data aproximada podría ser 1950.



FIGURA 26 SALA DE CLASES TIPO

Fuente: Elaboración propia.

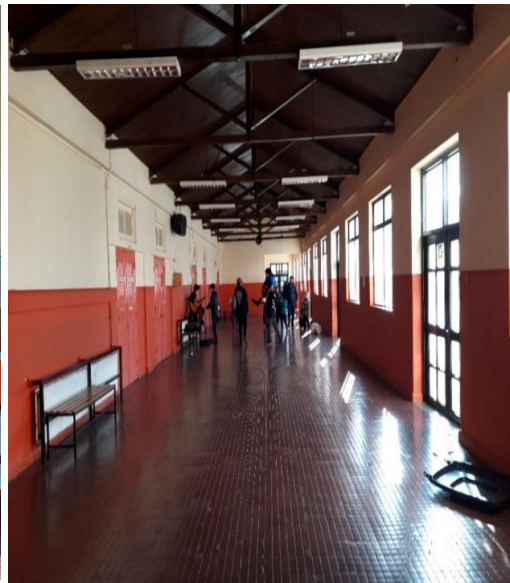


FIGURA 27 y 28 PASILLOS DE CIRCULACION VIDRIADOS

Fuente: Elaboración propia.

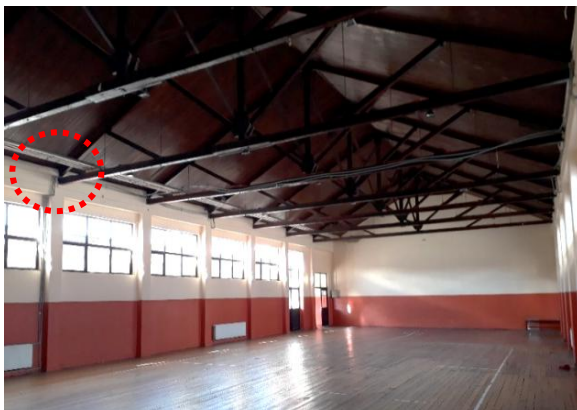


FIGURA 29 AUDITORIO

Fuente: Elaboración propia.



FIGURA 30 SALA DE CALDERA

Fuente: Elaboración propia.

4.2 METODOLOGIA DE ANALISIS

4.2.1 CALCULO CONSUMO ENERGETICO ESTABLECIMIENTO A PARTIR DEL CONSUMO DE LEÑA

Según datos obtenidos de levantamiento en terreno, durante el año 2017 la escuela Pedro Quintana Mansilla empleó 750 m³ de leña para calefaccionar. El establecimiento posee una superficie de 5.887m² construidos y tiene un área de acopio ubicada junto a la sala de caldera.

El área de acopio no considera medidas que permitan garantizar un adecuado almacenamiento de la leña, quedando a la intemperie expuesta a las constantes lluvias y nevadas que impactan la región durante el invierno como se muestra en la figura a continuación.



FIGURA 31: AREA DE ALMACENAMIENTO DE LEÑA ESCUELA PEDRO QUINTANA

Fuente: Elaboración propia levantamiento información.

La humedad presente en la leña impide la adecuada combustión de la misma, disminuyendo su poder calorífico considerablemente y al mismo tiempo generando liberación de Material Particulado al aire (se la considera una de las principales causas).

El siguiente gráfico representa las Emisiones de Contaminantes de un Calefactor a Leña Tipo doble cámara usando Leña con Diferentes Humedades, el Material particulado (línea azul) el Monóxido de carbono (línea roja) y los Óxidos de nitrógeno (línea verde) que son emitidos en un proceso de combustión, según variación del porcentaje de humedad. Se puede apreciar que las emisiones de partículas aumentan fuertemente en un factor 1:16 al usar leña con mayores contenidos de humedad entre 16,1 % y 35 %, supuestamente base seca, el material particulado aumenta a una tasa mayor a partir de una humedad superior al 25%. Eso ocurre porque luego del 25% de humedad, se empieza a generar una combustión incompleta, es decir el proceso de combustión no alcanza las temperaturas óptimas para quemar tanto la leña como los gases que se generan, por lo tanto los gases se emiten al ambiente y generan los problemas de contaminación ya conocidos. Dentro de la cámara de combustión, la temperatura deseada no se alcanza porque al estar la leña húmeda, parte de la energía generada en la combustión se emplea en secar esa humedad contenida en el leño, porque se comienza a evaporar el agua y en ese proceso se consume energía.

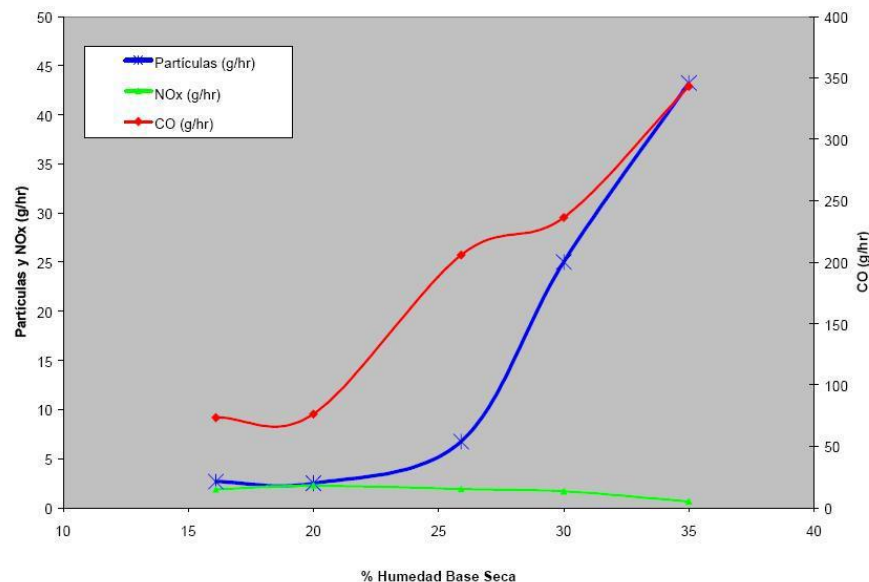


FIGURA 32: EMISIONES DE CONTAMINANTES VS. % DE HUMEDAD DE LA LEÑA (BASE SECA)

Fuente: Estudio CNE/PRIEN/Universidad de Chile.

El consumo anual del establecimiento entrega una referencia del consumo energético del edificio empleado en calefaccionar. Este valor puede ser contrastado con los resultados obtenidos de la modelación dinámica a efectuar mediante el software Design Builder, con el objetivo de emplear un modelo base de trabajo que se aproxime lo más posible a la realidad.

Se procede a continuación a convertir la cantidad de leña empleada a energía según tabla de conversión (TABLA 18) con datos proporcionados por el Ministerio de Energía. Esta tabla considera el tipo de leña empleada, el formato o unidad de medida de leña comprada por el consumidor y el contenido de humedad presente en esta.

En este caso la madera empleada mayoritariamente en la Región de Aysén es la madera nativa lenga. El formato en el que esta leña es comprada comúnmente es la “camionada o camionetada”, la que se obtiene de diversos proveedores que distribuyen en la ciudad la leña de diversos puntos de extracción ubicados en los bosques periféricos. Comúnmente la leña adquirida no cuenta con un certificado o instrumento que permita validar la cantidad de leña que está siendo adquirida, el vendedor entonces indica la cantidad de “metros de leña” que involucra la transacción efectuada contenida en el medio de transporte empleado.

Las unidades de venta de leña más comunes son las siguientes:

1. **METRO CUBICO DE LEÑA STEREO:** representa un volumen de 1 metro cubico de leña en el cual la leña es ordenada de forma tal que no quede demasiado espacio en la madera apilada dentro de el volumen circunscrito . (la madera puede ser trozada de diferentes maneras).
2. **METRO CUBICO DE LEÑA A GRANEL:** representa un volumen de 1 metro cubico de leña en el cual el orden de la leña circunscrita en este volumen no necesariamente responde a un patrón o exhaustiva precisión en el apilado.
3. **SACO DE LEÑA:** representa la cantidad de leña que es posible contener en un saco de 25 Kilos.

	ESPECIE															
	ROBLE		COIGÜE		EUCALIP TUS		EUCALIP TUS		AROMO		RADAL		ULMO		LENGA	
	HUMEDAD (% BASE SECA)															
	25	35	25	35	25	35			25	35	25	35	25	35	25	35
FORMATO	CONTENIDO ENERGETICO (KWH)															
BOLO																
	1926	1634	1501	1370	1846	1637	2181	1932	1956	1669	1508	1329	2014	1791	1672	1622
M3 ST																
	1770	1501	1379	1259	1696	1504	2004	1775	1797	1534	1386	1221	1850	1646	1537	1491
M3 GRANEL																
	1354	1148	1054	963	1297	1150	1532	1357	1374	1173	1060	934	1415	1259	1175	1140
VARA																
	390	331	304	278	374	332	442	392	396	338	306	269	408	363	339	329
CARRETILLA																
	182	155	142	130	175	155	206	183	185	158	143	126	190	169	158	153
CANASTO																
	133	113	103	94	127	113	150	133	135	115	104	92	139	123	115	112
SACO 25 KILOS																
	115	97.1	89.2	81.4	110	97.3	130	115	116	99.3	89.7	79	120	107	99.4	96.5
SACO 15 KILOS																
	78.1	66.2	60.8	55.5	74.8	66.4	88.4	78.3	79.3	67.7	61.1	53.9	81.6	72.6	68.7	65.8
ASTILLA																
	8.07	6.84	6.29	5.74	7.73	6.86	9.13	8.09	8.19	6.99	6.32	5.57	8.44	7.50	7	5.80

TABLA 19: CONVERSION DE ENERGIA DE LA LEÑA

Fuente: Elaboración propia en base a información de Ministerio de Energía 2017

Según tabla de conversión de leña un m³ estereo de lenga, es decir, la madera contenida en una pila de 1x1x1 metros de volumen (un metro cubico apilado, o un metro cubico aparente) con una **humedad del 35%** proporciona 1.491 kWh/m³ de energía, por lo tanto, se obtiene la equivalencia correspondiente a 750 m³:

$$750 \text{ m}^3 \text{ leña de lenga} = 1.118.250 \text{ kWh}$$

Este valor proporciona una referencia respecto del consumo energético que requiere el establecimiento, sin embargo, es necesario indicar que la mayoría de las personas entrevistadas durante el levantamiento de información indican que no se alcanza el confort térmico en el interior del establecimiento.

4.3 CALCULO DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO MP10

Para realizar el cálculo de emisiones MP10 de una caldera a leña, se emplea la metodología descrita en la Guía Metodológica para la Estimación de Fuentes Fijas y Móviles 2011, desarrollada por la Comisión Nacional de Medio Ambiente (Capítulo 2.1.3), la cual fue empleada en el inventario de emisiones para la zona saturada Coyhaique 2017.

Ecuación para la estimación de emisiones de calderas:

$$E = FE \times NA \times (1 - EA / 100)$$

En donde:

EA=Eficiencia de abatimiento de la tecnología de control de emisiones, de existir alguna.

FE= Factor de Emisión

E= Emisión (ton/año)

NA= Nivel de actividad (consumo de combustible en litros o m³ estéreos)

El factor de emisiones (FE) se obtiene de la siguiente tabla:

TABLA 20: FACTORES DE EMISION DE CALDERAS A LEÑA

FACTORES DE EMISION EMPLEADOS POR CALDERAS A LEÑA			
COMBUSTIBLE	CONTAMINANTE	FACTOR DE EMISION	FUENTE/ EDICION/AÑO PUBLICACION
		(kg/kg LEÑA)	
LEÑA (SCC 1-02-009-01)	MP	0,000320	AP-42 de la EPA, wood Residue combustion in Boilers, ENAP para SO2/ Quinta Edicion/1998
	MP10	0,002880	
	MP2,5	0,002430	
	CO	0,006800	
	NOX	0,000750	
	VOC	0,000110	
	SOX	0,000040	
	NH3	0,001100	
ARSENICO	0,000000		

Fuente: Guía metodológica para la estimación de fuentes fijas y móviles Conama 2009

La eficiencia de destrucción de MP10 se obtiene de la tabla contenida en el documento hojas de datos acerca de tecnologías de control de contaminación de aire: Incineradores –Incinerador Termal, Red de Transferencia de Tecnología Centro de Información sobre Contaminación de Aire (CICA):

TABLA 21: EFICIENCIA DE DESTRUCCION DE INCINERADORES RECUPERATIVOS

Eficiencias de Destrucción de MP10 de los incineradores recuperativos por Industria (Ref. EPA,1996b)	
INDUSTRIA/ TIPO DE FUENTES	EFICIENCIA DE CONTROL DE MP10 (%)
MADEROS Y PRODUCTOS DE MADERA INCINERACION (industrial de desechos sólidos)	70

Fuente: Guía metodológica para la estimación de fuentes fijas y móviles Conama 2009

Sin embargo, en este caso el sistema de caldera no contempla ninguna tecnología de control de emisiones, producto de su antigüedad. Se procede a incorporar entonces los valores a la formula precedente, quedando de esta forma:

$$E = FE \times NA \times (1 - EA / 100)$$

$$E = 0,00288 \times 750 \times (1 - 0 / 100)$$

$$E = 2.16 \text{ (ton/año)}$$

$$E = 2.160 \text{ (kg/año)}$$

La cantidad de emisiones de MP10 del establecimiento Escuela Pedro Quintana Mansilla asciende a más de 2 toneladas anuales.

4.4 MODELACION DE LA DEMANDA ENERGETICA ESCUELA PEDRO QUINTANA MANSILLA

Para obtener la demanda energética del establecimiento se realiza una modelación dinámica del establecimiento mediante el software Design Builder. La data climática empleada durante la simulación corresponde a la estación meteorológica ubicada en el Aeródromo Teniente Vidal inserto en el radio urbano y ubicado en el polígono de zona saturada, los datos contenidos en la data están descritos en el Anexo A1.

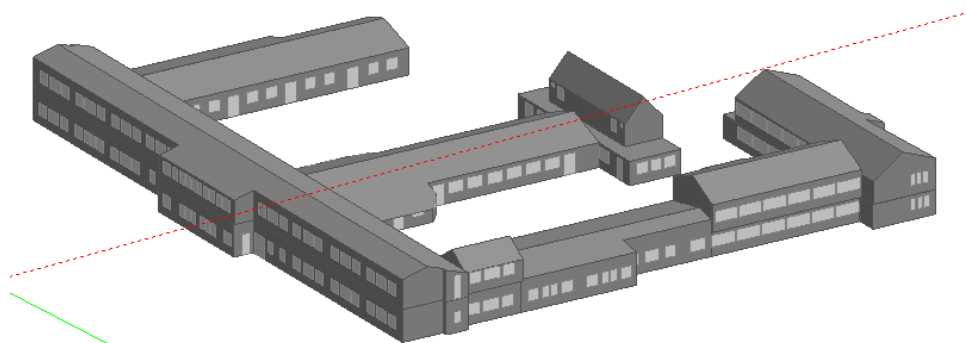


FIGURA 33: VISTA ISOMETRICA DEL MODELO DE LA ESCUELA

Fuente: Elaboración propia

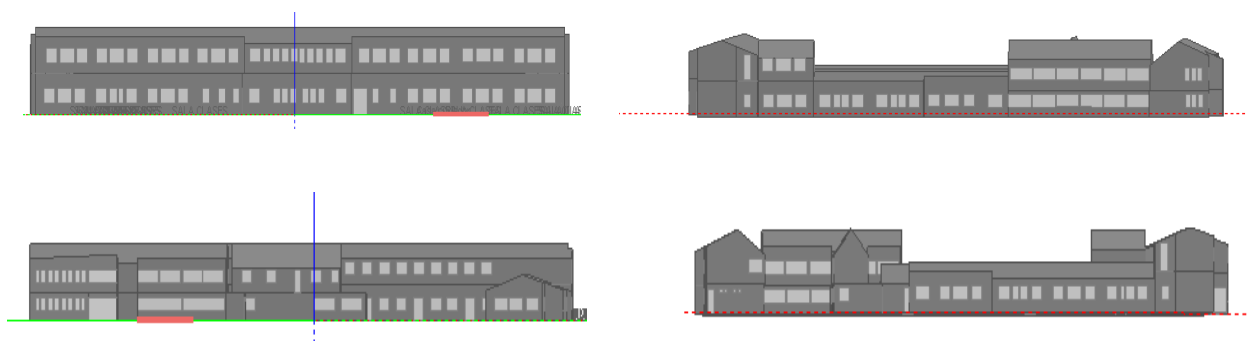


FIGURA 34: VISTAS FRONTAL Y LATERAL DEL MODELO DE LA ESCUELA

Fuente: Elaboración propia

4.4.1 PARAMETROS DE SIMULACION EMPLEADOS

Los parámetros empleados para efectuar la simulación del caso base fueron obtenidos del levantamiento realizado, se consideró una materialidad de hormigón armado y ventanas de vidrio simple, sin aislación en cubierta de cielos, todas las proporciones de la edificación fueron modeladas según levantamiento planimétrico de la edificación corroborado mediante planimetría proporcionada por el departamento de Infraestructura municipal. (VER TABLA 23)

MATERIALIDAD: Hormigón Armado, Ventanas Vidrio simple. No contempla Aislación.

SETPOINT DE TEMPERATURA: 20°C

INFILTRACIONES: 1 renovación por hora

VENTILACIÓN: 5 l/s por persona

PARAMETRO	MUROS	TECHUMBRE	VENTANAS	CONFORT TERMICO	INFILTRACIONES	VENTILACION
CASO BASE	4,3	2,26	6,12	20 °c	1 RENOV/HORA	5 l/s persona

Se realiza un calendario de uso del establecimiento (simplificado) considerando recintos, carga de ocupación y frecuencia de uso. Se establece que el establecimiento funciona desde Marzo a Diciembre.

TABLA 22: CALENDARIO DE USO

	RECINTOS	HORARIOS
1 NIVEL		
SALA H.H ADYACENTE AULA RECURSOS	15 NIÑOS	9:40 A 10:00 DE 11:30 A 11:40 DE 13:10 A 14:30
AULA DE RECURSOS	4 (2 EDUCADORAS + 2 NIÑOS)	8:00 A 16:00 HRS
BIBLIOTECA	40 NIÑOS + 2 TUTORES	9:40 A 10:00 DE 11:30 A 11:40 DE 13:10 A 14:30
2 BASICO A	30 NIÑOS + 1 TUTOR	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)
2 BASICO B	32 NIÑOS + 1 TUTOR	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)
2 BASICO C	32 NIÑOS + 1 TUTOR	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)
SSHH KINDER	35 NIÑOS	9:40 A 10:00 DE 11:30 A 11:40 DE 13:10 A 14:30
KINDER B	36 NIÑOS + 1 TUTOR	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO Y MEDIA HORA DESAYUNO)
PREKINDER A	30 NIÑOS + 1 TUTOR	MEDIA HORA DESAYUNO)
SALA MULTIUSO TEATRO	LUNES A MIERCOLES 25 NIÑOS + 1 ADULTO / JUEVES Y VIERNES TERAPIA OCUPACIONAL 2	LUNES A MIERCOLES DE 8:00 A 16:00 HRS / JUEVES Y VIERNES 8:00 A 16:00 HRS
PREKINDER B	30 NIÑOS + 2 TUTORES	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO Y MEDIA HORA DESAYUNO)
KINDER C	12 NIÑOS + 2 TUTORES	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO Y MEDIA HORA DESAYUNO)
KINDER A	30 NIÑOS + 2 TUTORES	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO Y MEDIA HORA DESAYUNO)
SALA PROFESORES	40 ADULTOS	9:40 A 10:00 DE 11:30 A 11:40 DE 13:10 A 14:30
OFICINA VICERRECTOR	1 ADULTO	8:00 A 13:10 DE 14:30 A 18:00 HRS
OFICINA RECTOR	1 ADULTO	8:00 A 13:10 DE 14:30 A 18:00 HRS
OFICINA SECRETARIA	1 ADULTO	8:00 A 13:10 DE 14:30 A 18:00 HRS
BIBLIOTECA	60 NIÑOS + 2 ADULTOS	9:40 A 10:00 DE 11:30 A 11:40 DE 13:10 A 14:30
U.T.P / CONVIVENCIA ESCOLAR	2 ADULTO + 2 NIÑOS	8:00 A 16:00 HRS
SALAS ORIENTACION	5 ADULTOS	8:00 A 16:00 HRS
SALA COMPUTACION	35 ADULTOS + 1 TUTOR	8:00 A 16:00 HRS
SALA ADYACENTE 7 BASICO B - SALA SALUD	1 ADULTO + 1 NIÑO	8:00 A 16:00 HRS
7 BASICO B	34 NIÑOS + 1 TUTOR	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO) - JUEVES HASTA LAS 17:30
8 BASICO B	23 NIÑOS + 1 TUTOR	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO) - MARTES HASTA LAS 17:30
7 BASICO A	34 NIÑOS + 1 TUTOR	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)- JUEVES HASTA LAS 17:30
8 BASICO A	18 NIÑOS + 1 TUTOR	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO) - MARTES HASTA LAS 17:30
SALA MUSICA	12 NIÑOS + 1 ADULTO	10:00 A 14:30 Y 16:00 A 17:30 DE LUNES A JUEVES
BAÑO ADYACENTE S.MUSICA	8 ALUMNOS	8:00 A 16:00 HRS

2 NIVEL		
1 BASICO A	31 NIÑOS + 1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)
1 BASICO B	30 NIÑOS + 1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)
1 BASICO C	32 NIÑOS + 1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)
INSPECTORIA	2 ADULTOS	8:00 A 16:00 HRS
SALA DE PROFESORES	6 ADULTOS	9:40 A 10:00 DE 11:30 A 11:40 DE 13:10 A 14:30
PIE (O UTP)	1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)
4 BASICO B	30 NIÑOS + 1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)
SALA DE COMPUTACION	30 + 1 ADULTO	LUNES DESDE LAS 10.:00 HASTA VIERNES A LAS 13:00
3 BASICO A	22 NIÑOS + 1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)
3 BASICO B	23 NIÑOS + 1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)
3 BASICO C	23 NIÑOS + 1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)
4 BASICO A	29 NIÑOS + 1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)
4 BASICO C	29 NIÑOS + 1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)
OFICINA ASISTENTE SOCIAL	1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR HORA DE ALMUERZO)
OFICINA PSICOLOGO	1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR HORA DE ALMUERZO)
AULA DE RECURSOS	1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR HORA DE ALMUERZO)
PIB	1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR HORA DE ALMUERZO)
5 BASICO A	31 NIÑOS + 1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)
5 BASICO B	27 NIÑOS + 1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)
5 BASICO C	25 NIÑOS + 1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)
6 BASICO A	32 NIÑOS + 1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)
6 BASICO B	28 NIÑOS + 1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)
6 BASICO C	27 NIÑOS + 1 ADULTO	8:00 A 16:00 HRS (DESCONTAR 1 HORA DE ALMUERZO)
CASA CALDERERO / CUIDADOR	3 ADULTOS	24 HRS

Fuente: Elaboración propia.

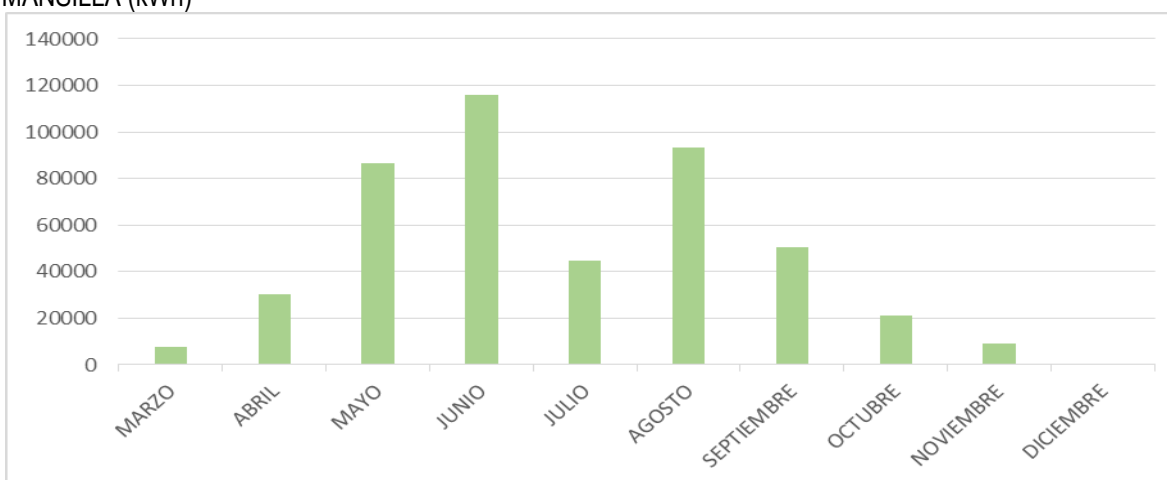
5 RESULTADOS

El reacondicionamiento energético de la Escuela Pedro Quintana Mansilla contempla la implementación de mejoras tendientes a reducir el consumo energético, algunas de ellas son la optimización de su envolvente térmica y el empleo de un sistema de ventilación con recuperación de calor.

5.1 Resultados demanda energética

Los resultados de la simulación térmica del edificio en su condición actual se observan en la figura 33 que expresa la demanda energética mensual de calefacción. Se observa del valor total obtenido que la demanda energética de la edificación con una superficie de 5.887 m² aproximadamente corresponde a 458.946 kWh, distribuidos en las diferentes zonas que componen la modelación.

GRAFICO 1: DEMANDA ENERGETICA MENSUAL DE CALEFACCIÓN ESCUELA PEDRO QUINTANA MANSILLA (kWh)



Fuente: Elaboración propia

Para establecer el valor de consumo de referencia se considerará que el sistema de caldera a leña posee una eficiencia del 50%, el criterio para definir su eficiencia se relaciona con la antigüedad del sistema y su precariedad, la cual evidencia fugas, poca aislación del sistema de distribución de agua caliente a través extensos tramos de cañerías que se encuentran a la vista y diversos radiadores en mal estado o no operativos.

El consumo energético se obtiene dividiendo la demanda obtenida por la eficiencia del sistema, de esta forma se obtiene que el consumo anual es el siguiente:

TABLA 23: CÁLCULO DE CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL DE CALEFACCION DEL ESTABLECIMIENTO

DEMANDA CALEFACCIÓN ANUAL	RENDIMIENTO SISTEMA	CONSUMO CALEFACCIÓN ANUAL ESTIMADO
kWh año		kWh año
458.946	50%	917.892

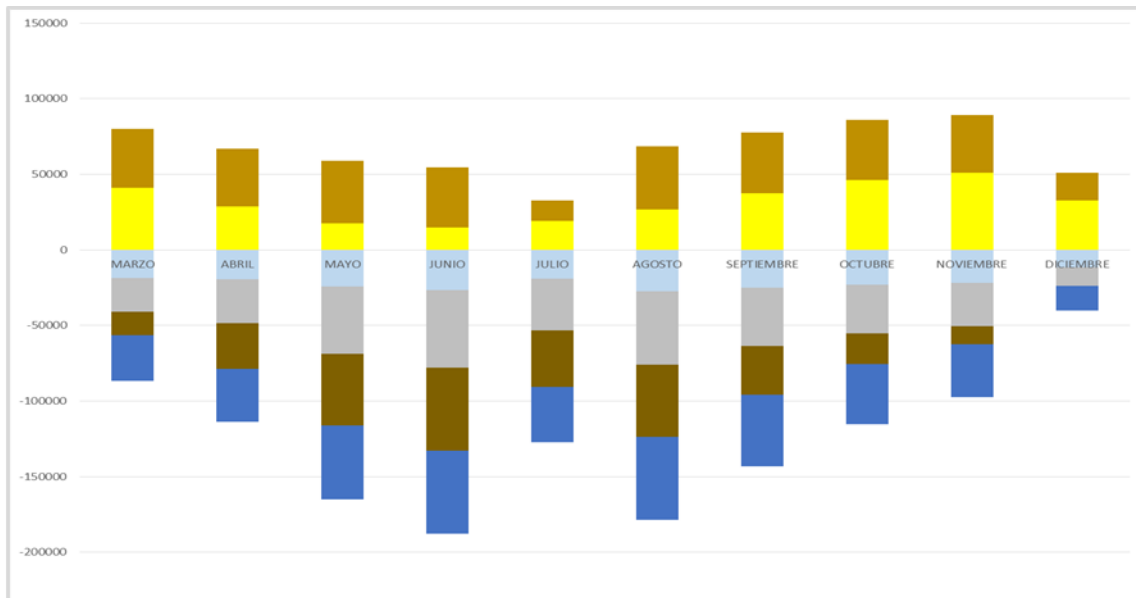
Fuente: Elaboración propia

No es posible obtener un valor de consumo energético por metro cuadrado dividiendo la energía de la demanda obtenida por el total de metros cuadrados modelados, pues las características de los recintos pueden diferir unas de otras como por ejemplo, pasillos vidriados y salas de clases, las que poseen diferentes condiciones infraestructurales.

Es necesario mencionar con respecto a la modelación que el consumo energético de referencia, considerando que la escuela consume 750 m³ de leña es 917.892 kWh año. La comunidad de la Escuela señala que la cantidad de leña empleada para calefaccionar es insuficiente, esto adquiere sentido si consideramos que las infiltraciones de aire empleadas para modelar podrían aumentar dada la gran cantidad de pasillos vidriados adyacentes a las salas, lo cual implicaría un aumento en la demanda de energía requerida para calefaccionar. De igual modo la eficiencia del sistema y su distribución también pudiesen tener un impacto significativo en este valor referencial.

De la modelación efectuada es posible indicar que las principales ganancias energéticas del emplazamiento están relacionadas con la radiación solar incidente y las cargas de ocupación de los recintos. Se aprecia en la figura una importante pérdida de energía por conducción a través de muros y cubierta. (FIGURA 35)

GRAFICO 2: PÉRDIDAS Y GANANCIAS ENERGETICAS ESCUELA PEDRO QUINTANA MANSILLA



Acristalamiento kWh Muros kWh Cubiertas kWh Infiltración Ext. kWh Gan. Solares Ventanas Ext. kWh Ocupancy kWh

Fuente: Elaboración propia.

5.2 PROPUESTAS DE REACONDICIONAMIENTO ENERGETICO

La metodología de análisis de esta tesis implica la definición de estrategias de reacondicionamiento energético, las cuales según la revisión del estado de arte serán optimizaciones de la envolvente e incorporación de sistema de ventilación con recuperación de calor.

En primer lugar, se evaluarán mejoramientos de envolvente según parámetros de referencia basados en normas y reglamentaciones existentes en el país, con el objeto de establecer una posible disminución de la demanda energética y el consiguiente impacto que ésta pueda tener en la reducción de emisiones contaminantes.

En segundo lugar se considerara la implementación de un sistema de recuperación de calor con el objeto de evaluar la disminución de la demanda energética del establecimiento estudiado, tal como se observa en el capítulo 3.1.2 casos de reacondicionamiento energético de infraestructura educacional en la Unión Europea

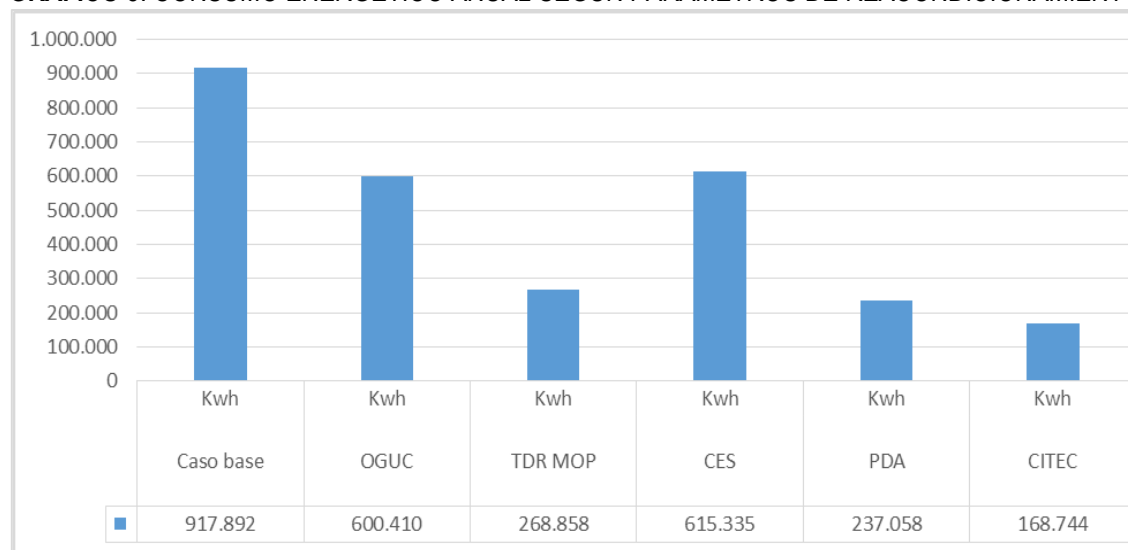
MEJORAMIENTOS ENVOLVENTE TERMICA

TABLA 24: VALORES DE TRANSMITANCIA U (W/m2K) EMPLEADOS EN LA MODELACION

PARAMETRO	MUROS	TECHUMBRE	VENTANAS	CONFORT TERMICO	INFILTRACIONES	VENTILACION
CASO BASE	4,3	2,26	6,12	20 °c	1 RENOV/HORA	5 l/s persona
OGUC+DVH	0,6	0,25	3,226	20 °c	1 RENOV/HORA	5 l/s persona
TDR MOP	0,4	0,25	2,4	20 °c	1 RENOV/HORA	5 l/s persona
CES	2,9	0,3	3	20 °c	1 RENOV/HORA	5 l/s persona
PDA COYHAIQUE	0,35	0,25	3,6	20 °c	1 RENOV/HORA	5 l/s persona
GEEDUC	0,19	0,15	1,49	20 °c	1 RENOV/HORA	5 l/s persona

Fuente: Elaboración propia

GRAFICO 3: CONSUMO ENERGETICO ANUAL SEGÚN PARAMETROS DE REACONDICIONAMIENTO



Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la representación gráfica que las mejoras incorporadas a la envolvente se traducen en una clara disminución del **consumo energético** del establecimiento.

Los estándares definidos en la guía de eficiencia energética para establecimientos educacionales conducen a una mayor disminución de la demanda. Es necesario indicar que esta guía contiene parámetros dirigidos específicamente a equipamientos educacionales.

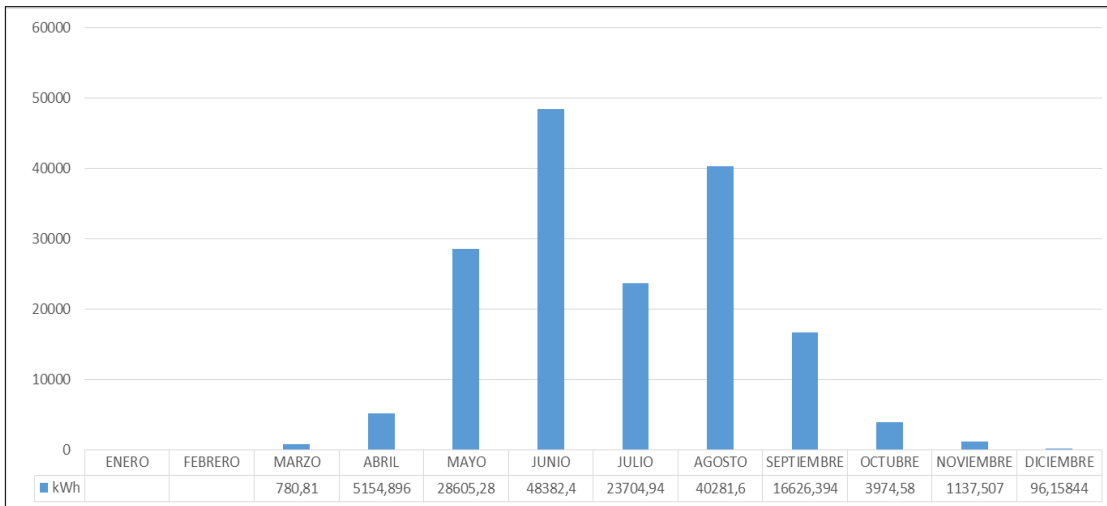
Los parámetros establecidos en CES resultan ser muy poco convenientes de implementar dado que los valores de transmitancia térmica máxima de muros propuestos para la zona climática evaluada resultan muy elevados.

EVALUACION DE OPTIMIZACION DE PARAMETROS DE MEJORAMIENTO GEEDUC E IMPLEMENTACION DE SISTEMA DE VENTILACION CON RECUPERACION DE CALOR

En segundo lugar, la tesis contempla la evaluación de un sistema de recuperación de calor como complemento a la aplicación de los parámetros definidos en la Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educativos GEEEDUC, con la intención de mejorar los resultados obtenidos para optimizar las propuestas de mejora.

Se mantienen en la modelación de la demanda las cargas de ocupación y calendario empleados inicialmente junto a los valores de transmitancia de envoltente propuestas en la GEEEDUC descritos en tabla 23.

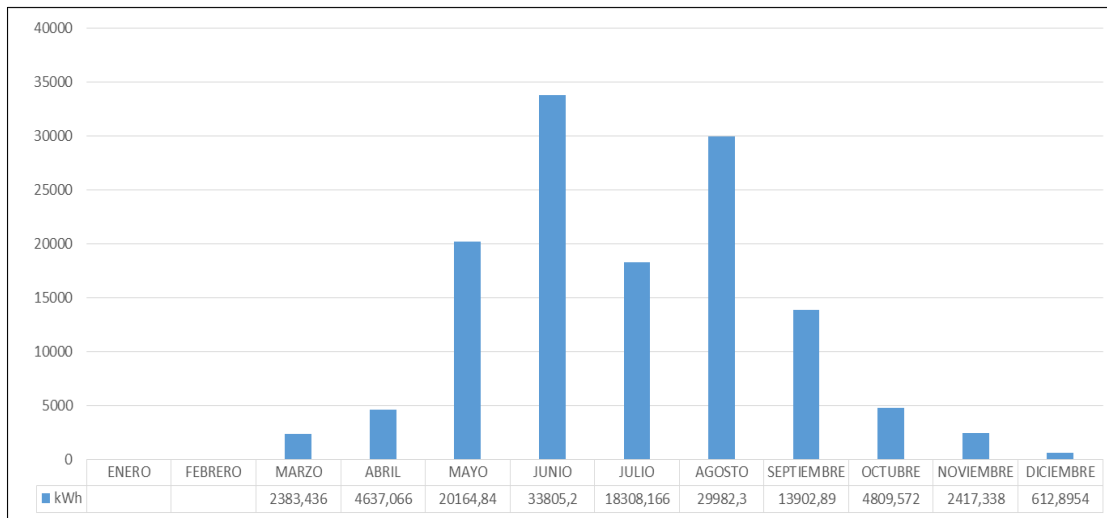
GRAFICO 4: CONSUMO ENERGETICO MENSUAL ESTABLECIMIENTO SIN SISTEMA DE RECUPERACION DE CALOR EN VENTILACION



CONSUMO TOTAL ANUAL: 168.744 KWh

Fuente: Elaboración propia.

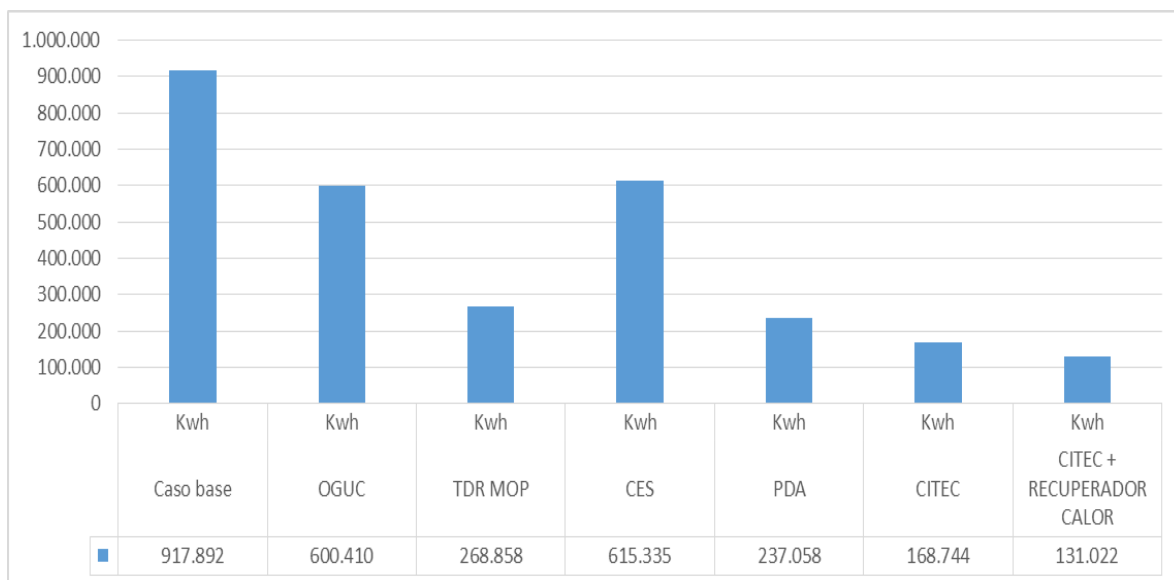
GRAFICO 5: CONSUMO ENERGETICO MENSUAL ESTABLECIMIENTO CON SISTEMA DE RECUPERACION DE CALOR EN VENTILACION



CONSUMO TOTAL ANUAL: 131.022 KWh

Fuente: Elaboración propia.

GRAFICO 6: RESUMEN CONSUMOS ENERGETICOS ANUALES DE ESTABLECIMIENTOS SEGÚN PARAMETROS DE REACONDICIONAMIENTO



Fuente: Elaboración propia

Se aprecia en el cuadro resumen (figura 39) una clara disminución en el consumo energético de los establecimientos implementando los reacondicionamientos propuestos.

Al incorporar nuevamente al establecimiento el calor extraído durante la ventilación mediante un sistema de recuperación de calor es posible disminuir el consumo energético aún más.

5.3 DISMINUCION DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO

TABLA 25: EMISIONES DE MP10 ESCUELA PEDRO QUINTANA MANSILLA

PARAMETRO	DEMANDA ANUAL DESIGN BUILDER (Kwh/año)	CONSUMO (KWh/año)	CONSUMO DE LEÑA MT3 ANUALES (35% HUMEDAD)	EMISIONES MP10 ANUAL (TON)
CASO BASE	458.946	917.892	615	1.771
OGUC	300.205	600.410	402	1.157
TDR MOP	134.429	268.858	180	518
CES	307.667	615.335	413	1.189
PDA	118.529	237.058	158	455
GEEDUC	84.372	168.744	113	325
GEEDUC + RECUPERADOR	65.511	131.022	87	250

Fuente: Elaboración propia

Al convertir los resultados de consumo anual de energía en cantidad de metros cúbicos de leña es posible dimensionar la emisión de mp10 asociada a la combustión de leña en la caldera del establecimiento. (ver 4.3 cálculo de emisiones de material particulado). Una disminución del 86.88% de emisiones sería posible si se emplease un reacondicionamiento de la envolvente del edificio según estándares de transmitancia térmica de

envolventes descritos en la GEEDUC complementados con un sistema de ventilación que incorpore recuperación de calor.

La disminución del consumo de leña está relacionada de igual modo con el rendimiento del sistema de calefacción el cual en este caso y dada la precariedad del sistema fue establecido en un 50%

6. CONCLUSIONES

Las medidas del plan de descontaminación atmosférica para la ciudad de Coyhaique se concentran en viviendas pues éstas representan el mayor porcentaje de emisiones contaminantes en su conjunto. Sin embargo, los equipamientos públicos y en específico los establecimientos educacionales de la zona saturada que fueron abordados en este estudio, representan también una importante fuente de emisiones de material particulado que debiesen ser abordadas pues permiten acercar y concientizar a las nuevas generaciones y la comunidad respecto del nocivo impacto medioambiental que ha generado y seguirá generando la tala y quema indiscriminada de bosques nativos en la región.

En la actualidad el financiamiento gubernamental a iniciativas de inversión de esta naturaleza es aprobado por el ministerio de desarrollo social quien mediante la entrega de una recomendación satisfactoria (Rate RS) visa los proyectos considerando entre otros factores el área de impacto que estos tienen. Es posible justificar el costo de inversión de estas iniciativas si se considera el impacto el área de impacto de la contaminación afecta a toda la población y no solo a las zonas circundantes próximas.

El impacto que tienen las medidas de reacondicionamiento energético sobre la infraestructura educacional estudiada es significativo. Es posible conseguir una disminución considerable del consumo energético de los establecimientos a través de diferentes mejoras, las que se traducen en una disminución de un 86% menos de emisiones en el caso de la Escuela Pedro Quintana Mansilla. Es importante destacar que el empleo de un sistema con recuperación de calor puede complementar las medidas propuestas de envolvente térmica y mejoras a los sistemas de calefacción propuestas impactando positivamente, experiencia que como se cita en los casos de estudio internacionales ha sido explorada con resultados igualmente favorables en otros países.

Si el sistema de caldera a leña fuese optimizado y se emplease otro sistema con mayor eficiencia, sería posible ajustar aún más el consumo de leña del establecimiento. Según establece el PDA para la ciudad de Coyhaique las calderas nuevas de potencia térmica mayor o igual a 300 KWt deberán cumplir con un valor de eficiencia sobre 85%, lo que significaría que el recambio de la caldera a leña por otro sistema pudiera traducirse en un aun mayor disminución de emisiones.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CITEC UBB, 2012. *Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educativos* [en línea]. S.l.: s.s. Disponible en: www.acee.cl.

CITEC UBB, CHILE, M.G. de y DECON UC, 2012. TÉRMINOS DE REFERENCIA ESTANDARIZADOS TDR CONFORT AMBIENTAL Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.

CITEC UNN y DECON UC, 2014. *Manual de Hermeticidad al aire de Edificaciones*. S.l.: s.n. ISBN 9789569275272.

CONGRESO NACIONAL DE CHILE, 2012. *Decreto 27 Declara zona saturada por material particulado respirable MP10, como concentración diario y anual, y por material particulado fino respirable MP2,5, como concentración diaria y anual, a la comuna de Osorno*. 2012. S.l.: s.n.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, 2008. *Nch 1079 of 2008*. 2008. S.l.: s.n.

CITEC UBB 2012. *Guía de eficiencia Energética para Establecimientos Educativos* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: www.acee.cl

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, 2012. *Plan de descontaminación atmosférica para la comuna de Coyhaique y su zona circundante*. 2012. S.l.: s.n.

MOP, 2011. TDR: 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>.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN, 2015. *Criterios de diseño para los nuevos espacios públicos educativos*. 2015. S.l.: s.n.

MINISTERIO DE ENERGÍA, 2018. *Energía 2050 Política Energética*. 2018. S.l.: s.n.

MINISTERIO DE ENERGÍA, 2015. *Balance Energía 2015*. 2015. S.l.: s.n.

MINISTERIO DE ENERGÍA, 2017. *Informe Ambiental Complementario Anteproyecto de Política Energética para la Región de Aysén al 2050*. 2017. S.l.: s.n.

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO, 2006. *Manual de Aplicación de Reglamentación Térmica*. 2006. S.l.: s.n.

Ernst Basler + Partners. *Estrategia Energética Local*. 2015. S.l.: s.n.

Air Quality Expert Group, 2005. *Particulate Matter in The United Kingdom Department for Environment, Food and Rural Affairs*. 2005. S.l.: s.n.

ENVIRO MODELING LTDA. PROYECTO EM 2008/ 200-22. *Análisis de Emisiones Atmosféricas en Coyhaique*. 2009. S.l.: s.n.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, 2017. *Actualización Inventario de Emisiones para la Zona Saturada de Coyhaique 2017*. S.l.: s.n.

WEMKEN, N. *Persistent Organic Pollutants in Occupational and Private Environments*. Measuring different pathways of human exposure to persistent organic pollutants in aerosol form.

OSTERREICHER, D. 2017. *A Methodology for Integrated Refurbishment Actions in School Buildings*.

EUROPEAN PARLIAMENT'S COMMITTEE ON INDUSTRY, RESEARCH AND ENERGY. 2016. Boosting Building Renovation: What Potential and Value for Europe?.

1 ANEXO ANTECEDENTES CLIMATICOS

Los antecedentes climáticos empleados para la modelación corresponden a la estación meteorológica ubicada en el aeródromo Teniente Vidal, el cual se encuentra ubicado en el radio urbano de la ciudad de Coyhaique dentro de la zona declarada saturada por material particulado.

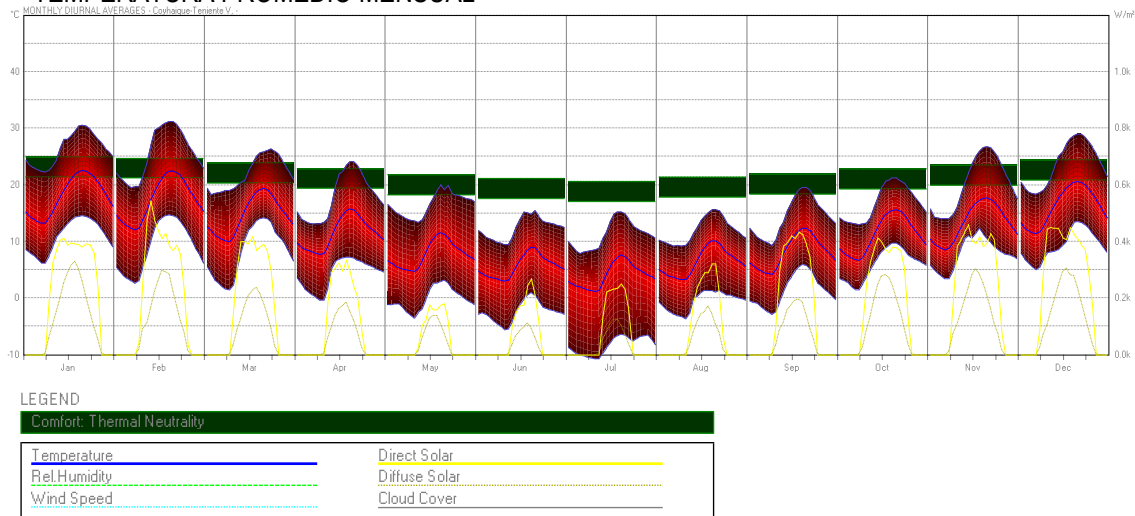
COYHAIQUE



 UBICACIÓN ESTACION METEOROLOGICA TENIENTE VIDAL / Fuente: Elaboración propia

La data climática se encuentra en formato EPW. Se emplea ecotect para leer la información contenida en ella:

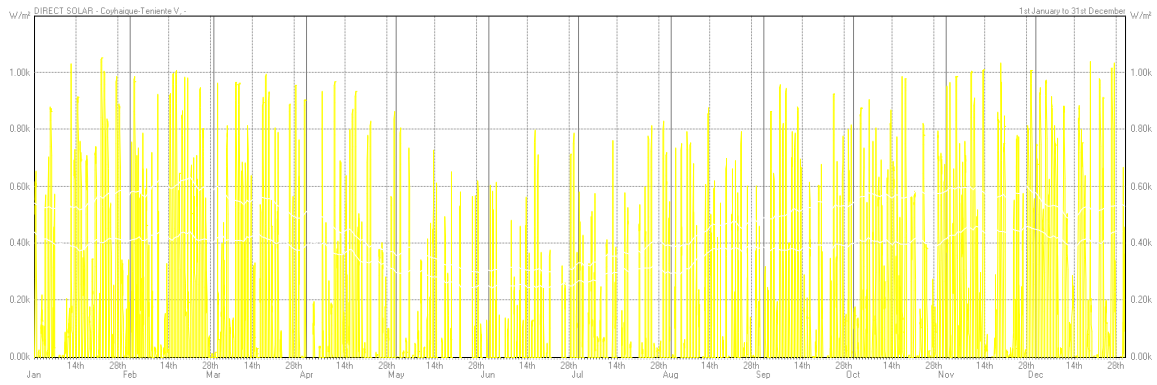
TEMPERATURA PROMEDIO MENSUAL



HUMEDAD RELATIVA



RADIACION DIRECTA



RADIACION DIFUSA

