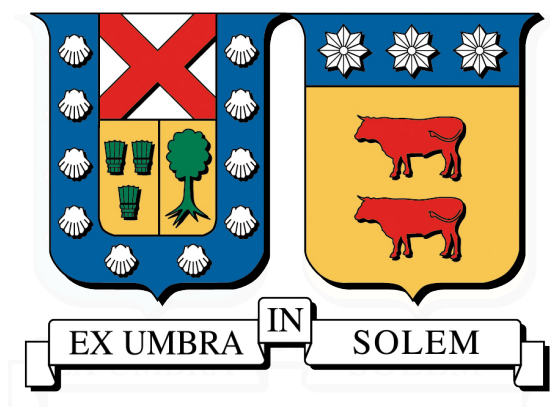


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
VALPARAÍSO - CHILE



**EVALUACIÓN DE PROYECTO DE
REACONDICIONAMIENTO TÉRMICO EN
UNA VIVIENDA SOCIAL TIPO**

SAÚL FELIPE GARRIDO SAN MARTÍN

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA : SR. RODRIGO DEMARCO
PROFESOR CORREFERENTE : SR. FABIÁN BUSTOS

JULIO 2018



La energía es el motor del desarrollo.

RESUMEN EJECUTIVO

Palabras Clave. Energía, Reacondicionamiento térmico, Calificación energética.

La Calificación Energética de Viviendas (CEV), es una herramienta relativamente nueva del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, con solo 11 años de existencia, ya cuenta con avanzados protocolos de estimación de demanda y consumo de energía en viviendas nuevas. Esta información se vuelve relevante a la hora de evaluar el real estado de las construcciones de viviendas en Chile, además de potenciar la construcción de viviendas mejor equipadas térmicamente, de bajo e incluso nulo consumo energético gracias al aporte de energías renovables. La CEV también capacita a profesionales para convertirse en Evaluadores Energéticos quienes son responsables de aplicar correctamente esta metodología de calificación. El presente estudio reúne toda la información necesaria para aplicar la metodología sobre un conjunto de 120 departamentos en la ciudad de San Antonio, Chile. Al aplicar el diagnóstico resulta una calificación deficiente, significando un bajo rendimiento de las viviendas. Para mejorarlo, se proponen proyectos de reacondicionamiento térmico y se evalúa la aplicación de cada uno de ellos. Los resultados son estudiados en base a la modificación de un solo departamento, el peor evaluado, para luego ser extrapolados a la totalidad de las viviendas. Finalmente, una reflexión sobre el verdadero costo de decisiones de diseño en viviendas, la importancia del reacondicionamiento térmico y su beneficio en la disminución del consumo de energía y emisión de contaminantes al ambiente.

Índice de Contenidos

1. Introducción.	1
1.1. Introducción	1
2. Marco Teórico.	2
2.1. La energía en Chile.	2
2.1.1. Procedencia y uso de la energía.	2
2.1.2. Sistemas interconectados.	4
2.1.3. Políticas energéticas.	6
2.1.4. Sector residencial.	9
2.2. Confort térmico.	10
2.2.1. Factores que influyen en el Confort Térmico.	11
2.2.1.1. Factores fisiológicos.	11
2.2.1.2. Temperatura.	13
2.2.1.3. Movimiento del aire.	15
2.2.1.4. Humedad.	16
2.2.2. Modelo teórico de confort térmico.	17
2.2.3. Balance térmico.	18
2.2.3.1. Fenómeno de transferencia de calor.	18
2.2.3.2. Características de la envolvente térmica.	22
2.2.3.3. Desempeño energético general de viviendas.	24
2.2.4. Reglamentación Térmica.	26
2.2.5. Calificación Energética de Viviendas.	34
2.2.5.1. Vivienda de Referencia.	41
2.2.5.2. Procedimiento de Evaluación Energética	42
2.3. Reacondicionamiento térmico.	48
2.3.1. Aspectos generales del reacondicionamiento térmico.	48
2.3.2. Metodología de diagnóstico de reacondicionamiento térmico.	48
2.3.3. Métodos de reacondicionamiento térmico.	50
2.3.3.1. Aislamiento térmico.	50
2.3.3.2. Infiltraciones de aire.	56
2.3.3.3. Ventilación.	57
2.3.3.4. Sistema de calefacción.	57
2.3.3.5. Control solar.	58
2.4. Importancia del reacondicionamiento térmico.	59

2.4.1. Eficiencia energética.	59
2.5. Problema de investigación.	60
2.5.1. Contextualización.	60
2.5.2. Antecedentes de estudio.	60
2.5.2.1. Antecedentes del proyecto inmobiliario.	60
2.5.2.2. Dimensiones de la vivienda	61
2.5.2.3. Características térmicas de la envolvente.	62
2.5.2.4. Ventanas (sombreamiento y orientación).	66
2.5.2.5. Definición de la metodología para el cálculo de la demanda de calefacción.	69
2.5.2.6. Resultados del cálculo de la demanda de calefacción + iluminación.	69
2.5.2.7. Definición de equipos y sistemas.	69
2.5.2.8. Resultados del consumo de energía de la vivienda.	70
2.5.2.9. Índice de sobrecalentamiento.	70
2.5.3. Problema de habitabilidad.	71
3. Caso aplicado.	73
3.1. Objetivo principal.	73
3.1.1. Objetivos específicos.	73
3.2. Evaluación energética.	74
3.2.1. Resultados de la Calificación Energética de Viviendas.	74
3.2.2. Situación óptima deseada.	74
3.2.3. Problemas habitacionales.	76
3.3. Proyectos de reacondicionamiento térmico.	77
3.3.1. Evaluación técnica.	80
3.3.2. Evaluación financiera.	82
3.3.3. Evaluación económica.	84
3.4. Conclusiones.	86
3.4.1. Conclusiones generales.	86
3.4.2. Conclusiones respecto a la evaluación energética de las viviendas.	87
3.5. Reflexión y recomendaciones.	88
4. referencias.	89

Índice de Tablas

2.1. Coeficiente A de velocidad del aire. Fuente: <i>ASHRAE-55</i>	14
2.2. Escala PMV. Fuente: <i>ASHRAE-55</i>	17
2.3. Zona térmica y su relación con los Grados-día. Fuente: <i>Artículo 4.1.10 de la O.G.U.C.</i>	27

Índice de Figuras

2.1. Fuentes de energía primaria de la matriz chilena en 2015. Fuente: Elaboración propia con datos del libro <i>Energía 2050</i>	2
2.2. Oferta de energía primaria en Chile desde 2005 a 2015 en TCal. Fuente: Libro <i>Energía 2050</i>	3
2.3. Total del consumo final por sector en Chile, en TCal. Fuente: Balance nacional de energía, Ministerio de Energía.	4
2.4. Consumo final de energía entre 2005 y 2015, en TCal. Fuente: Libro <i>Energía 2050</i>	4
2.5. Fuentes de energía con la cual se produce la energía eléctrica en el mundo en el año 2012 y en Chile en el año 2014. Fuente: Ministerio de Energía.	5
2.6. Participación de cada energético en la generación eléctrica de ambos sistemas interconectados nacionales. Fuente: Ministerio de Energía.	5
2.7. Tasa metabólica según actividad física. Fuente: Chávez Del Valle, F. J. (2002). <i>Zona variable de confort térmico</i>	12
2.8. Nivel de arropamiento por prenda de vestir. Fuente: Chávez Del Valle, F. J. (2002). <i>Zona variable de confort térmico</i>	13
2.9. Rangos de zonas de confort. Fuente: Norma ASHRAE-55	15
2.10. Mecanismos de transferencia de calor en un recinto. Fuente: Guía de diseño para la Eficiencia Energética de la vivienda social del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.	20
2.11. Equilibrio térmico en una vivienda. Fuente: Guía de diseño para la Eficiencia Energética de la vivienda social del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.	21
2.12. Resistencia térmica de superficie. Fuente: norma NCh853.	24
2.13. Representación de grados-día mensuales. Fuente: Manual de acondicionamiento térmico, MINVU.	26
2.14. Zonas Térmicas en la V Región. Fuente: Artículo 4.1.10 de la O.G.C.U.	27
2.15. Comparación entre Zona climática habitacional y Zona térmica en Chile. Fuente: Manual de acondicionamiento térmico, MINVU.	28
2.16. Reglamentación térmica Chilena. Fuente: Artículo 4.1.10 de la O.G.C.U.	29
2.17. Porcentaje máximo de superficie vidriada respecto a paramentos verticales de la envolvente. Fuente: Artículo 4.1.10 de la O.G.C.U.	31
2.18. U ponderado máximo. Fuente: Artículo 4.1.10 de la O.G.C.U.	32
2.19. Sistema CEV. Fuente: Curso evaluadores energéticos SCEV. MINVU.	34

2.20. Componentes de la Calificación Energetica. Fuente: Curso evaluadores energéticos SCEV. MINVU.	37
2.21. Representación de los valores de la CEV. Fuente: Curso evaluadores energéticos SCEV. MINVU.	39
2.22. Representación de los valores de la Escala Arquitectura + Equipos + Tipo de energía CEV. Fuente: Curso evaluadores energéticos SCEV. MINVU.	40
2.23. Coeficiente C. Fuente: Manual de procedimientos CEV. MINVU.	41
2.24. Coeficiente C. Fuente: Manual de procedimientos CEV. MINVU.	45
2.25. Inclinação techo. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Camara de la construcción.	50
2.26. Aislante térmico flexible en techumbre. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Camara de la construcción.	51
2.27. Aislante térmico rígido en techumbre. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Camara de la construcción.	51
2.28. Aislante térmico en cara exterior en techumbre vigas a la vista. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Camara de la construcción.	52
2.29. Aislante térmico en cara interior en techumbre vigas ocultas. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Camara de la construcción.	52
2.30. Piso con vigas y losa sin aislante térmico. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Camara de la construcción.	53
2.31. Piso con vigas y aislante térmico adosado en cara exterior. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente.	53
2.32. Piso con vigas y aislante térmico confinado en cara exterior. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Camara de la construcción.	54
2.33. Muro de hormigon armado con aislante confinado en cara exterior. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Camara de la construcción.	54
2.34. Muro de hormigon armado con aislante adosado en cara interior. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Camara de la construcción.	55
2.35. Ventana vidrio simple. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Camara de la construcción.	55
2.36. Ventana doble vidrio hermético DVH. Fuente Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Camara de la construcción.	56
2.37. San Antonio, Chile. Fuente: Google Maps.	61
2.38. Salvador Allende 1135, San Antonio, Chile. Fuente: Google Maps.	61
2.39. Vista al conjunto de viviendas. Fuente: Google Maps.	62
2.40. Vista hacia el edificio A. Fuente: Google Maps.	62
2.41. Vista hacia el edificio F y D. Fuente: Google Maps.	63
2.42. Vista hacia el edificio E. Fuente: Google Maps.	63
2.43. Plano unidad habitacional. Fuente: Set de mapas proyecto.	64
2.44. Grupos del complejo de ventanas Fuente: Creación propia.	64
2.45. Resistencia termica techumbre. Fuente: Creación propia.	66
2.46. Rango por orientación. Fuente: Curso evaluadores energéticos SCEV.MINVU.	67

2.47. Rango de orientaciones edificio A. Fuente: Creación propia.	67
2.48. Ventanas del complejo de viviendas Fuente Creación propia.	68
2.49. Sombras sobre el edificio F. Fuente: Google Maps.	69
2.50. Imagen térmica, problema de habitabilidad en piso. Fuente: Informe Comisión Desarrollo Sostenible.	71
2.51. Imagen térmica, problema de habitabilidad en techo. Fuente: Informe Comisión Desarrollo Sostenible.	71
3.1. Ahorro esperado en el consumo de energía por proyecto de reacondicionamiento. Fuente: Creación propia	79
3.2. Materiales segun proyecto de reacondicionamiento. Fuente: Creación propia.	80
3.3. Costo de aplicación y ahorro energético por aplicación. Fuente: Creación propia.	82
3.4. Costo de ahorro energético unitario por aplicación. Fuente: Creación propia.	83
3.5. Costo implementación total por proyecto y su ahorro total de consumo estimado. Fuente: Creación propia.	84
3.6. Ahorro energético y años de retorno de inversión. Fuente: Creación propia.	85
3.7. Ahorro en litros de gasolina equivalentes. Fuente: Creación propia.	85

1 | Introducción.

1.1. Introducción

El bienestar y desarrollo de las personas está directamente relacionado a las condiciones de vida que esta tenga. Dentro de estas condiciones de vida está el contar con una vivienda lo suficientemente “fuerte” para protegerla de las condiciones climáticas, brindándole la temperatura y hermetismo necesarios para prosperar la vida. Chile, se ha dado cuenta de eso, al fijar metas en forma de políticas públicas, apuntando hacia un sistema energético seguro y de calidad con gestión y generación de energía limpia, compatible con el medio ambiente de manera eficiente y de forma educativa, integrándolas en la cultura de las próximas generaciones. Ante esto y con la intención de fomentar la construcción de edificaciones de mejor calidad, se ha creado la Calificación Energética de Viviendas. Esta calificación emplea una metodología de estimación del consumo de energía y la eficiencia de la vivienda respecto a la actual normativa. La experiencia y conocimiento de esta metodología facultan al lector a rendir las pruebas de pre selección que convoca el Ministerio de Vivienda y Urbanismo para obtener el grado de Calificador Energético.

El presente estudio, plantea una revisión de los conocimientos necesarios para entender los fenómenos de transmisión de energía entre la vivienda y el medio ambiente, una revisión a la reglamentación actual existente en el país en cuanto a la construcción de viviendas, medidas de reacondicionamiento térmico y su aplicación en viviendas y un posterior caso de aplicación de la calificación energética a un conjunto de viviendas.

2 | Marco Teórico.

2.1. La energía en Chile.

2.1.1. Procedencia y uso de la energía.

En Chile, la matriz energética primaria, es una combinación de fuentes de energía que provienen directamente desde la fuente de extracción. Para poder utilizar la energía, ésta debe ser refinada y distribuida hacia la matriz secundaria. Según los datos mostrados en el libro *Energía 2050* por el Ministerio de Energía (2016), en 2015 la matriz primaria del país tiene como principales fuentes al petróleo con un 32,9 % y al carbón con un 24,4 %, seguidos por la biomasa con un 23,7 % y la hidroelectricidad con un 6,4 %¹. La figura 2.1 muestra la distribución de fuentes de energía primaria.

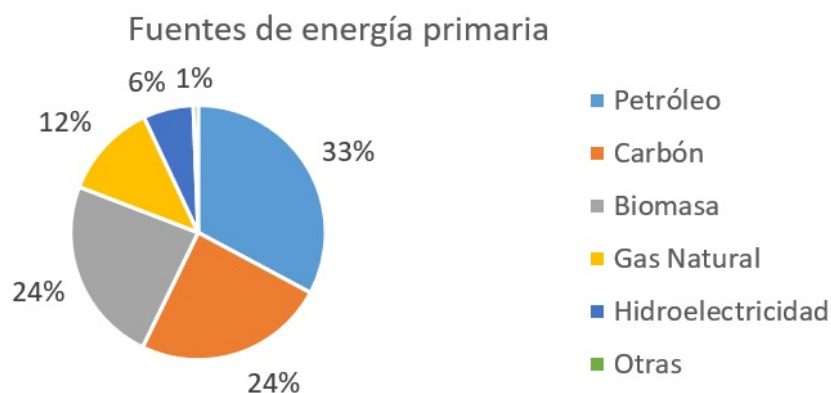


Figura 2.1: Fuentes de energía primaria de la matriz chilena en 2015. Fuente: Elaboración propia con datos del libro *Energía 2050*.

¹Libro energía 2050, IEA Ministerio de energía

Esta energía constituye el total de la oferta, que según la Comisión Nacional de Energía en 2015 alcanzó un total de 326.989 TCal. La variación total de oferta de energía primaria tuvo un aumento del 4.1 % respecto al año anterior, la figura 2.2 muestra la evolución de la oferta de energía primaria en Chile desde 2005 a 2015, en Tcal.



Figura 2.2: Oferta de energía primaria en Chile desde 2005 a 2015 en TCal. Fuente: Libro *Energía 2050*.

El consumo final de energía o matriz secundaria se divide en tres sectores, el sector Industrial-Minero, el sector Transporte y el sector Comercial, Público y Residencial. Los reportes nacionales indican que el año 2015 el sector de Transporte tuvo una participación del 35 % de la demanda con 96.939 TCal, el sector de Industria y Minería un 39 % con 109.713 TCal y el consumo del sector Público y Residencial fue un 21 % con 58.675 TCal. La figura 2.3 muestra la distribución del total del consumo final por sector en Chile medido en Tera Calorías. En 2015, según el Balance Nacional de Energía del Ministerio de Energía (2017), la demanda o consumo final de energía fue de 278.061 TCal, cifra que disminuye en un 0,1 % respecto a su valor en 2014. La figura 2.4 muestra la evolución del consumo final en Chile entre los años 2005 y 2015, en TCal.

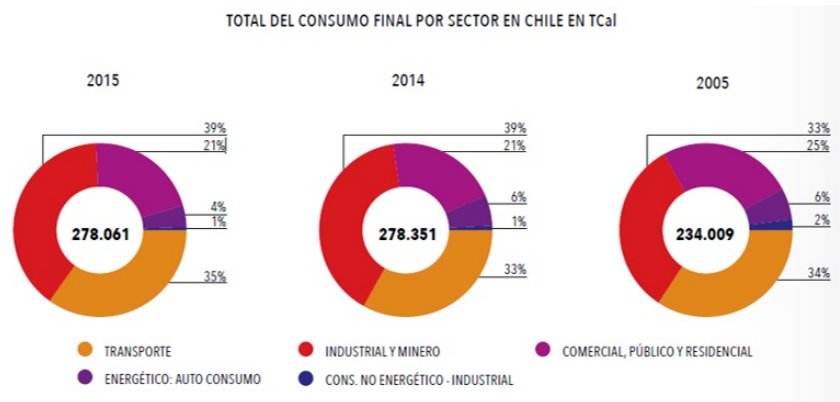


Figura 2.3: Total del consumo final por sector en Chile, en TCal. Fuente: Balance nacional de energía, Ministerio de Energía.



Figura 2.4: Consumo final de energía entre 2005 y 2015, en TCal. Fuente: Libro *Energía 2050*.

2.1.2. Sistemas interconectados.

El Sistema Interconectado del Norte Grande, o SING, cubre la demanda de energía eléctrica de la Decimoquinta, Primera y Segunda región de Chile. Esta energía es demandada principalmente por empresas mineras y centros de consumo separados por largas distancias. Según el Anuario Estadístico de Energía 2016 del Ministerio de Energía (2017), la capacidad instalada del SING es alrededor del 21,54 % del total del país. Por otra parte, está el Sistema Interconectado Central, o SIC, abastece a cerca del 92 % de la población nacional y tiene una capacidad instalada que corresponde al 77,7 % del total del país. Además de estos dos grandes sistemas, existen los Sistemas Eléctricos de Aysén y Magallanes, sistemas medianos en Los Lagos, Cochamó y Hornopirén y sistemas aislados como el de la

Isla de Pascua y San Pedro de Atacama. La figura 2.5 muestra las fuentes de energía con la cual se produce la energía eléctrica en el mundo en el año 2012 y en Chile en el año 2014. Mientras que la figura 2.6, muestra la participación de cada energético en la generación eléctrica de ambos sistemas interconectados nacionales.

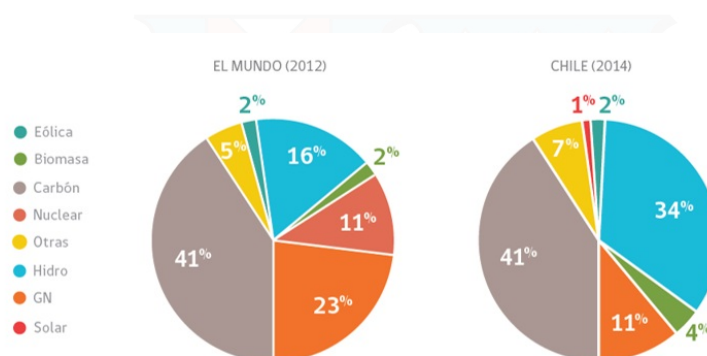


Figura 2.5: Fuentes de energía con la cual se produce la energía eléctrica en el mundo en el año 2012 y en Chile en el año 2014. Fuente: Ministerio de Energía.

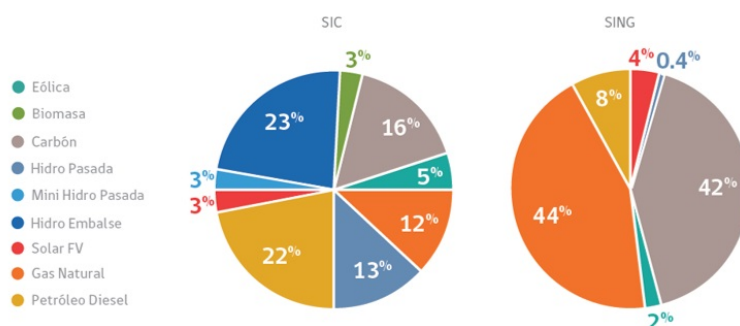


Figura 2.6: Participación de cada energético en la generación eléctrica de ambos sistemas interconectados nacionales. Fuente: Ministerio de Energía.

2.1.3. Políticas energéticas.

La forma en que el país declara su comportamiento respecto a la administración de su energía está en la política energética, una política energética adecuada permite sistematizar y decidir sin improvisaciones las acciones a seguir de las próximas generaciones. Chile ha diseñado una serie de medidas y planes de acción en forma de política energética, apuntando hacia un desarrollo para el año 2050. Estas políticas se basan en cuatro pilares fundamentales: La confiabilidad mediante seguridad y calidad de suministro, la inclusividad utilizando la energía como motor de desarrollo, la competitividad logrando compatibilidad con el medio ambiente y la sostenibilidad mediante la eficiencia y educación energética de las próximas generaciones.

Seguridad y calidad de suministro La base productiva de un país es su matriz energética, en el caso de Chile, esta debe ser segura y a la vez flexible, debe contar con una producción descentralizada y una gestión activa de la demanda, teniendo la robustez suficiente para responder y anticiparse a condiciones adversas y riesgos que puedan afectar al país. El país debe contar con Planes de Gestión de Riesgo y Emergencias Energéticas que aseguren la resiliencia y confiabilidad del sistema. Una buena forma de aumentar la seguridad es lograr la interconexión de sistemas con otros países de Sudamérica, hecho que debiera concretizarse al año 2035. El país, debe contar además con un sistema bidireccional de producción y gestión de la energía, alcanzando niveles de generación distribuida y gestión de demanda similares a los países de la OCDE². Si bien en la actualidad la red aporta un 99 % de cobertura, hay que mejorar la calidad, siendo objetivo al 2050 que ninguna región tenga a lo más una hora de indisponibilidad de suministro eléctrico, sin considerar fuerza mayor.

Energía como motor de desarrollo Sin energía no hay desarrollo. La disponibilidad y acceso a la energía son primordiales para cumplir con necesidades básicas de la población, por esto se busca asegurar un acceso universal y equitativo a servicios energéticos modernos, confiables y asequibles a toda la población. Es necesario

²Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico donde participan 35 estados que coordinan sus políticas públicas.

fomentar las iniciativas de colaboración entre las comunidades, la empresa y el estado, de manera que los nuevos proyectos del ámbito energético permitan un desarrollo en directo beneficio de la comunidad local. Para *remar todos para el mismo lado*, es necesario integrar todos los sistemas de gestión territorial que actualmente funcionan en las distintas regiones, además de crear los Planes Energéticos Regionales, con instrumentos de planificación y ordenamiento territorial a nivel regional y comunal, teniendo en consideración los requerimientos energéticos de implementar un sistema de transporte urbano. Actualmente el precio de la energía en Chile es uno de los más elevados de los países de Latinoamérica, siendo un verdadero freno para la economía en su conjunto, se pretende incorporar y potenciar la innovación en los ámbitos de producción, generación y distribución de la energía para lograr reducir el precio y estar dentro de los 3 más bajos de la OCDE.

Compatibilidad con el medio ambiente El gran desafío en cuanto a la compatibilidad con el medio ambiente es lograr impulsar una matriz energética basada en energías renovables y a la vez lograr un desarrollo en cuanto a los lineamientos necesarios para abordar los impactos medioambientales locales y globales de cada proyecto. Las metas del país son lograr que las energías renovables contribuyan en un 60 % de la generación eléctrica al año 2035 y un 70 % al año 2050. Esta meta es posible de alcanzar gracias al potencial energético que se encuentra en el norte del país en forma de radiación solar, este potencial podría posicionar a Chile dentro de los líderes mundiales en generación solar. Cuando se habla de medio ambiente no se puede dejar de hablar del cambio climático, causado principalmente por la emisión de gases de efecto invernadero a la atmosfera. El compromiso del país en contribuir a la solución de este problema se traduce en alcanzar al menos un 30 % de reducción de la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero al 2030, bajo un marco regulatorio ambiental riguroso y actualizado de manera periódica.

Eficiencia y educación energética Con respecto a la eficiencia energética, el aumento del uso de energía se ve impulsado por el fortalecimiento de la clase media y la urbanización. Es importante el uso eficiente de este aumento en la demanda de energía,

se espera potenciar un marco jurídico que fomente la eficiencia energética. Una meta destacable al 2050 será que todas las edificaciones nuevas tengan estándares OCDE de construcción eficiente y cuenten con un sistema de control y gestión inteligente de energía. La eficiencia energética es un comportamiento deseable que se espera ver reflejado en la sociedad. Para esto, es necesario promover e incentivar el buen uso de la energía incorporando en cada plan de estudio de educación preescolar, básica y media, contenidos transversales sobre el desarrollo y la eficiencia energética. De esta manera, para el año 2035, Chile tendrá una generación de jóvenes conscientes e interiorizados con la importancia de la energía y su uso.



2.1.4. Sector residencial.

En la constante búsqueda del desarrollo de la sociedad, el sector residencial ha sufrido un cambio de paradigma impulsado por las familias, donde la conservación de la integridad presente y futura del medio ambiente toma un papel predominante. La forma de gestionar los recursos humanos, naturales y financieros dispuestos en la economía del país debe cumplir con la finalidad de satisfacer las necesidades de las comunidades con un sentido de equidad y respeto hacia el planeta y las próximas generaciones. De esta manera, actualmente se trabaja en base a un equilibrio entre la arquitectura, el urbanismo y la construcción, diseñando no tan solo viviendas sustentables como sistemas individuales, si no que barrios o incluso ciudades sustentables. El consumo de energía en el sector residencial se basa en la necesidad de calefacción, calentamiento de agua, cocción de alimentos, iluminación, refrigeración, y planchado. Según el Balance Nacional de Energía de 2015, del Ministerio de Energía (2017).

El consumo del sector residencial fue de 40.945 TCal. Según este reporte, la Región Metropolitana concentra más del 30 % del consumo de energía total nacional.

2.2. Confort térmico.

Desde antaño, el ser humano ha dedicado esfuerzo en hacer de su hábitat un lugar térmicamente cómodo, la evolución de las viviendas en las distintas civilizaciones de la antigüedad demuestran la importancia que tiene esta actividad. Hoy en día es un tema por considerar a la hora de diseñar o rediseñar edificios puesto que el sentirse cómodo en un lugar cotidiano es satisfactorio.

Según la Norma ISO 7730³, el confort térmico se define como: “Esa condición de mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. Esta descripción es bien aceptada y simple de entender, sin embargo, no es claro identificar qué variables están involucradas en el proceso y cuál es su comportamiento. Un ambiente confortable depende de sus características térmicas, además de otros factores como la calidad de aire, la luz y el ruido. El concepto de confort térmico se utiliza para definir las condiciones donde el cuerpo está cómodo con el medio ambiente.

Para el cuerpo humano, la temperatura interna ideal oscila alrededor de los 37,6°C, dentro de un intervalo de 36°C a 38°C mientras que los límites vitales están a no más de 4°C de diferencia. La condición de neutralidad térmica es la primera idea de confort, de esta manera, si el sensor neuronal ubicado en el hipotálamo detecta una subida de temperatura corporal, activará el mecanismo de sudoración, provocando la vasodilatación arterial, permitiendo la evaporación del agua presente en el cuerpo y así una reducción de la temperatura. Mientras que, si los sensores naturales ubicados en la piel detectan una disminución de la temperatura, se activará el mecanismo de vaso contracción, provocando estimulación interna en los músculos, generando energía para elevar la temperatura y volver a la neutralidad térmica. Este sistema de auto regulación de la temperatura del cuerpo humano trabaja siempre con una combinación instantánea de la temperatura de la piel y la temperatura del centro del cuerpo.

En Chile, existen variadas zonas climáticas con características extremadamente opuestas. En la generalidad, la temperatura promedio en los meses de invierno es de alrededor de 10°C, mientras que en los meses de verano es de unos 28°C, al mismo tiempo, las temperaturas

³International Organization for Standardization

promedio en el interior de las viviendas en las estaciones mencionadas son de 18°C a 22°C respectivamente. Nuestro cuerpo, gracias al metabolismo y el sistema de auto regulación de la temperatura, permanece constantemente a una temperatura entre los 36°C y 37 °C, generándose así una constante pérdida de calor. Mientras esta pérdida de calor sea a una velocidad adecuada, se puede decir que estamos bajo condiciones de confort. Si ésta es muy rápida, sentimos frio, y si ésta es muy lenta, sentimos “*calor*”.

2.2.1. Factores que influyen en el Confort Térmico.

En la búsqueda de las variables que influyen directamente sobre la sensación del bienestar térmico de las personas dentro de una vivienda se encuentran distintos factores.

2.2.1.1. Factores fisiológicos.

El cuerpo humano, en la permanente búsqueda de este equilibrio térmico, utiliza diferentes mecanismos de intercambio de calor con su medio, como: La convección mediante técnicas de ventilación, la conducción mediante el nivel de arropamiento y vestimenta que utiliza, la radiación utilizando artefactos de calefacción radiante y, la evaporación a través de la piel y respiración mediante el control de su actividad física. Considerando también que el metabolismo de cada individuo, la edad, el sexo, la alimentación y una infinidad de otros factores algo más subjetivos están directamente relacionados con el bienestar térmico de las personas.

Una forma de medir la actividad física de una persona, según lo indica Chávez Del Valle (2002), es la tasa metabólica, se mide en unidad *met*, donde 1*met* equivale a la actividad metabólica de una persona sentada quieta, aproximadamente 58W/m² de superficie corporal. El nivel de metabolismo está directamente relacionado con la producción interna de calor, es importante considerarlo ya que la percepción térmica del ambiente varía drásticamente según la cantidad de calor que se genera en alguna actividad física. Si el sujeto produce más calor del que pierde hacia el ambiente, tendrá una sensación de *calor*, mientras que si produce menos de lo que necesita su organismo y el que pierde al ambiente, tendrá una sensación de *frío*. A continuación, se presenta en la figura 2.7 los valores correspondientes a la tasa metabólica según actividad física.

Tipo de Actividad	W m ⁻²	met
Descansando		
Durmiendo	40	0.7
Recostado	45	0.8
Sentado en calma	60	1.0
Sentado relajado	70	1.2
Caminando		
0.89 m s ⁻¹	115	2.0
1.34 m s ⁻¹	150	2.6
1.79 m s ⁻¹	220	3.8
Actividades de Oficina		
Leer sentado	55	1.0
Escribir	60	1.0
Escribir a maquina	65	1.1
Archivar sentado	70	1.2
Archivar de pie	80	1.4
Pasear	100	1.7
Levantando / paquetes	120	2.1
Conduciendo / pilotando		
Auto	60-115	1.0-2.0
Avión rutina	70	1.2
Avión aterrizaje por instrumentos	105	1.8
Avión, combate	140	2.4
Vehículo pesado	185	3.2
Actividades Diversas Cotidianas		
Cocinar	95-115	1.6-2.0
Limpiar la casa	115-200	2.0-3.4
Sentado, movimiento de piernas pesado	130	2.2
Trabajo mecánico		
Serrar (mesa de serrar)	105	1.8
Ligera (industria eléctrica)	115-140	2.0-2.4
Pesado	235	4.0
Manipulación de bultos de 50 Kg.	235	4.0
Trabajo de pico y pala	235-280	4.0-4.8
Diversas Actividades de Ocio		
Baile, social	140-255	2.4-4.4
Ejercicios de calistenia	175-235	3.0-4.0
Tenis, singles	210-270	3.6-4.0
Baloncesto	290-440	5.0-7.6
Lucha, competitiva	410-505	7.0-8.7

Figura 2.7: Tasa metabólica según actividad física. Fuente: Chávez Del Valle, F. J. (2002). *Zona variable de confort térmico*.

Los valores de la tasa metabólica mostrados están calculados en base a un individuo de 1,70 metros de estatura con 63 kilogramos de masa, sin embargo, existe variación de acuerdo con las características corporales del individuo, para este ajuste se utiliza una aproximación del área corporal utilizando una relación entre la masa y la estatura, conocida como el “Área de Du Bois” mediante la ecuación 2.1

$$A_D = 0,202 * M^{0,425} * h^{0,725} \quad (2.1)$$

Donde: A_D es el área corporal de Du Bois en m^2 , M es la masa en kilogramos y h la altura en metros.

El nivel de arropamiento que utilizan las personas reduce la pérdida de calor del cuerpo, este depende de la cantidad de prendas y capas que la persona utilice, el aislamiento por ropa se mide desde una persona desnuda en *0clo*, donde *1clo* equivale a un traje típico

comercial de pantalón, camisa y chaqueta, la unidad técnica es el m^2C/W , 1clo equivale a 0,155 m^2C/W . A continuación, se presenta en la figura 2.8 los valores correspondientes al nivel de arropamiento de ciertas prendas de vestir.

Descripción de la vestimenta		Clo	M ² C/W
Ropa interior	medias largas de nylon	0.02	0.003
	bragas	0.03	0.005
	pantalones de lana 1/2 piernas	0.06	0.009
	pantalones largos	0.1	0.016
	sostén	0.01	0.002
	camisa sin mangas	0.06	0.009
	camiseta	0.09	0.014
	camisa con mangas largas	0.12	0.019
	medio viso de nylon	0.14	0.022
	camisa de manga corta	0.09	0.029
Camisas y blusas	blusa ligera, de mangas largas	0.15	0.023
	blusa ligera de mangas largas	0.20	0.031
	blusa normal de mangas largas	0.25	0.039
	camisa de franela, mangas largas	0.3	0.047
	blusa cuello alto, mangas largas	0.34	0.053
	corta	0.06	0.009
	bermuda	0.11	0.017
Pantalones	ligero	0.20	0.031
	normal	0.25	0.039
	franela	0.28	0.043
	de trabajo	0.28	0.043
	uso diario, con cinturón	0.49	0.076
Gabardinas	trabajo	0.50	0.078
	con relleno	1.03	0.160
	fibra, piel	1.13	0.175
Suéteres	chaleco sin mangas	0.12	0.019
	suéter delgado	0.2	0.031
	cuello alto de mangas largas (delgado)	0.26	0.040
	suéter grueso	0.28	0.043
chaquetas	chaleco	0.13	0.020
	chaqueta ligera de verano	0.25	0.039
	chaqueta con forro fino	0.35	0.054
	corta	0.3	0.047
Abrigo	abrigo	0.6	0.093
	chaquetón	0.7	0.109

Figura 2.8: Nivel de arropamiento por prenda de vestir. Fuente: Chávez Del Valle, F. J. (2002). *Zona variable de confort térmico.*

Una expresión que reúne las variables de metabolismo y nivel de arropamiento se representa de la ecuación 2.2 .

$$Tds = t - clo * 0,06 * met - 0,018 * met \quad (2.2)$$

Donde: Tds es la temperatura deseada en $^{\circ}C$, t es la temperatura exterior en $^{\circ}C$, clo el nivel de arropamiento y met la tasa metabólica.

2.2.1.2. Temperatura.

Sin lugar a duda, la temperatura es un factor que influye en el bienestar térmico, la Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la vivienda social del Ministerio de

Vivienda y Urbanismo (2009) indica que la temperatura del aire interior de confort en una vivienda está alrededor de los 20°C y 27°C en invierno y verano respectivamente. La temperatura del aire es la que rodea a un ocupante en el interior de la vivienda, más conocida como temperatura de bulbo seco. Se define la temperatura media radiante como el promedio de las temperaturas de las distintas superficies del recinto, esta temperatura representa la temperatura de un cuerpo negro que intercambia por radiación con el cuerpo humano, la misma cantidad de calor que este con los elementos de su entorno actual. La norma de la Sociedad Americana de la Ingeniería de la Calefacción, Refrigeración y Aire-acondicionado. ASHRAE 55 (2010), define la temperatura operativa como una combinación entre la temperatura del aire y la temperatura media radiante, afectada por la velocidad del aire. (Figura 2.3).

$$T_{op} = A * t_a + (1 - A) * t_r \quad (2.3)$$

Donde: T_{op} es la temperatura operativa, t_a es la temperatura del aire, t_r es la temperatura media radiante y A un coeficiente en función de la velocidad del aire, determinado por la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Coeficiente A de velocidad del aire. Fuente: ASHRAE-55

Velocidad Aire	A
$< 0,2 m/s$	0,5
$0,2 < V_a < 0,6$	0,6
$0,6 < V_a < 1,0$	0,7

En la mayoría de los casos prácticos, cuando la velocidad del aire es menor a 0,2 m/s y la diferencia entre la temperatura media radiante con la temperatura del aire es menor a 4°C, la temperatura operativa se puede calcular como el promedio entre la temperatura del aire y la temperatura media radiante.

Se puede definir rangos de confort para la temperatura operativa a través de dos métodos, el primero es un método gráfico (figura 2.9) y el segundo es un método de cálculo computacional basado en un modelo de balance térmico. El método gráfico, es válido para rangos de valores de tasa metabólica entre 1,0 y 1,3 met, nivel de arropamiento entre 0,5 y

1,0 clo, velocidad del aire menor a 0,2 m/s.

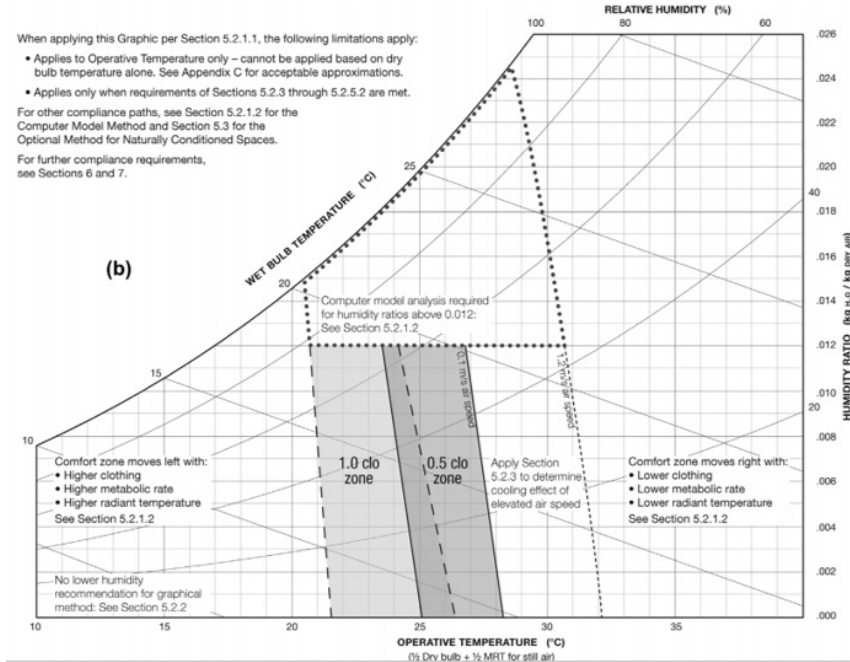


Figura 2.9: Rangos de zonas de confort. Fuente: Norma *ASHRAE-55*

2.2.1.3. Movimiento del aire.

El movimiento de aire a través de un ambiente interno genera intercambio de calor, dependiendo de las características de este movimiento se puede enfriar o calentar un ambiente. Se utilizan técnicas de ventilación, aprovechando patrones y movimientos naturales de corrientes de aire para mejorar la calidad de ambientes internos. Sin embargo, un exceso de movimiento de aire podría generar malestares y pérdidas de calor. Según la norma ISO 7730 (2005), el porcentaje previsto de personas inconformes debido a una corriente de aire se puede calcular usando la siguiente expresión.

$$DR = (34 - t_a) * (v_a - 0,05)^{0,62} * (37 * SD + 3,14) \quad (2.4)$$

Donde: DR es el porcentaje previsto de personas inconformes debido a una corriente de aire, t_a es la temperatura del aire, v_a es la velocidad media local del aire en m/s y SD es la desviación estándar de la velocidad del aire en m/s.

2.2.1.4. Humedad.

La humedad absoluta del aire es la cantidad de vapor de agua contenido en el aire de un ambiente a cierta temperatura, se expresa en gramos de agua por metro cúbico de aire seco. Se dice que el aire está saturado cuando no puede contener más vapor de agua a una temperatura dada y a esta temperatura se le denomina punto de rocío. Si la temperatura del ambiente disminuye por debajo del punto de rocío, se produce condensación, fenómeno en el cual el vapor de agua se transforma en gotas, pasando del estado gaseoso al líquido. La humedad relativa del aire es el porcentaje en relación con la humedad absoluta del aire y la máxima cantidad de vapor de agua que el aire podría contener a esa misma temperatura.

Esta variable es altamente influyente en sensación de bienestar térmico ya que interviene en el proceso de intercambio de calor entre el cuerpo humano y el ambiente mediante la sudoración de la piel. La influencia de la humedad en la sensación térmica se evidencia en regiones y estaciones cálidas. Donde el aire seco absorbe la humedad de la piel y enfría el cuerpo. Mientras que el aire húmedo dificulta la sudoración disminuyendo la disipación del calor. Por otra parte, en las regiones y estaciones frías, la presencia de alta humedad relativa en ambiente aumenta la sensación de frío.

Dentro de las viviendas existen zonas frías donde se genera humedad por condensación sobre las superficie. Pero también se puede generar humedad dentro o entre los materiales de construcción, siendo difícil de detectar. La condensación se genera tras la combinación de bajas temperaturas exteriores, baja resistencia térmica de los elementos de la envolvente y alta humedad relativa en el aire interior. El vapor de agua contenido en el aire se convierte en gotas y generan zonas húmedas ideales para la proliferación de hongos y microorganismos, tras su aparición deterioran los materiales de construcción, llegando a producir serios daños estructurales y de salud para los habitantes.

2.2.2. Modelo teórico de confort térmico.

El trabajo de Fanger (1973) expone un modelo empírico predictivo que establece una sensación térmica basada en la transferencia de calor en estado estacionario entre el cuerpo humano y el ambiente donde se encuentra, se asigna un voto o valor de confort a esa sensación. De esta manera se obtiene dos métodos para cuantificar el confort, el PMV o Voto medio previsto y el PPD o Porcentaje previsto de insatisfechos. El experimento realizado a 1296 jóvenes, estandariza la vestimenta y actividad metabólica de los participantes, quienes debían indicar su sensación de calor o frío según una escala de sensación térmica. (Tabla 2.2)

Tabla 2.2: Escala PMV. Fuente: *ASHRAE-55*

Valor	Sensación térmica
3	Sofocante
2	Caliente
1	Ligeramente caliente
0	Neutral
-1	Ligeramente fresco
-2	Fresco
-3	Frío

Se logra determinar que los únicos procesos fisiológicos influyentes sobre el balance térmico son la tasa de sudoración y la temperatura de la piel, correspondientes a características de la tasa metabólica.

El trabajo logra concluir una ecuación de confort, la cual predice las condiciones para la neutralidad térmica (PMV). Se relaciona posteriormente con el Porcentaje Previsto de Insatisfechos (PPD), para evaluar la calidad de un ambiente.

2.2.3. Balance térmico.

La vivienda es una estructura que protege a sus habitantes del exterior, está en constante interacción con el medio ambiente y el clima, sometida a fenómenos de transferencia de calor cuando existe una diferencia de temperatura entre el ambiente interior y el ambiente exterior. Es posible calcular la cantidad de calor que se transfiere a través de la envolvente de la vivienda. De igual manera, se puede estimar la cantidad de calor necesario para lograr una temperatura deseada y un determinado nivel de confort térmico dentro del recinto.

2.2.3.1. Fenómeno de transferencia de calor.

Existen distintas formas de transferencia de calor, esta puede ser mediante la conducción, la convección y la radiación.

Conducción: Mecanismo de transferencia de calor debido a la interacción entre partículas adyacentes, donde las más energéticas transfieren energía a las menos energéticas. La rapidez con que se transfiere la energía por medio de la conducción depende de la geometría del cuerpo que se está estudiando, su espesor, el tipo de material del cual está hecho y la diferencia de temperatura existente. Se puede calcular la cantidad de calor que atraviesa una pared de espesor L mediante la ecuación 2.5.

$$Q_{conduccion} = -k * A * \Delta T / L \quad (2.5)$$

Donde k es la conductividad térmica del material. A es el área de transferencia de calor, ΔT es la diferencia de temperatura entre las caras de la pared y L el espesor.

Convección: Mecanismo de transferencia de calor que combina la conducción con el movimiento de un fluido, se genera en la medida que exista un flujo de líquido o gas en movimiento adyacente a una superficie sólida. Mientras más rápido es el movimiento del flujo, mayor es la transferencia de calor por convección. La convección puede ser forzada o natural, dependiendo si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie o este fluye normalmente por la diferencia de densidad producida por la diferencia de temperatura. Se puede determinar la cantidad de calor que se transfiere por convección utilizando la ecuación 2.6.

$$Q_{conveccion} = h * A * \Delta T \quad (2.6)$$

Donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección en $W/m^2\text{°C}$, A es el área de la superficie donde se genera la convección en m^2 , y ΔT es la diferencia de temperatura entre la superficie y el fluido alejado de esta.

Radiación: Mecanismo de transferencia de calor en forma de ondas electromagnéticas, a diferencia de los anteriores mecanismos, la radiación no requiere de un medio para la transmisión de energía. Todo cuerpo que esté a una temperatura por sobre el cero absoluto emite radiación térmica. La máxima radiación que puede emitir una superficie ideal se le llama radiación de cuerpo negro. Se puede determinar la cantidad de calor que se transfiere por radiación utilizando la ecuación 2.7.

$$Q_{radiacin} = \epsilon * \sigma * A * T^4 \quad (2.7)$$

Donde ϵ es la emisividad de la superficie, esta indica que tan cerca está la superficie de ser un cuerpo negro, su valor está entre 0 y 1 dependiendo del tipo de material. σ es la constante de Stefan-Boltzmann y su valor es de $5,67 * 10^{-8} W/m^2 K^4$, A es el área de la superficie y T la temperatura.

De esta manera (ver figura 2.10 y 2.11) la Guía de diseño para la Eficiencia Energética de la vivienda social del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, logra identificar los fenómenos de transferencia de calor que afectan de manera directa a una vivienda, estos son:

- Transmisión de calor por conducción a través de elementos opacos y vidriados de la vivienda (Q).
- Ganancias o pérdidas de calor por intercambio de aire entre el interior y exterior (V).
- Ganancias producidas por la radiación solar tanto por elementos opacos como vidriados (G).
- Ganancias internas producidas por personas, electrodomésticos, iluminación, etc. (I).

La figura 2.11 muestra un caso típico de invierno, donde la temperatura exterior es más

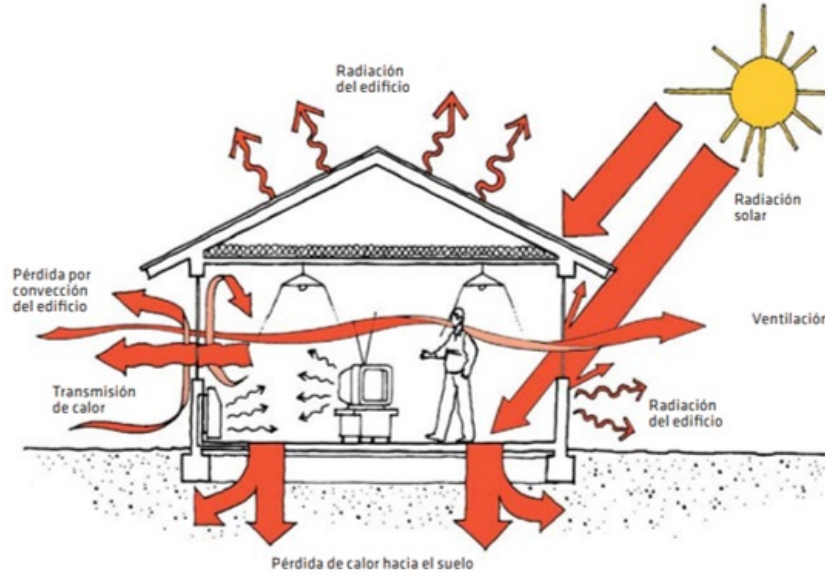


Figura 2.10: Mecanismos de transferencia de calor en un recinto. Fuente: Guía de diseño para la Eficiencia Energética de la vivienda social del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

baja que la temperatura en el interior, para mantener la temperatura interior es necesario un consumo energético en calefacción. Consumo que se ve directamente afectado si se incrementan las pérdidas de calor por transmitancia de la envolvente o si aumentan las pérdidas por ventilación. De igual manera, este consumo se ve disminuido si aumentan las ganancias solares o ganancias internas como el calor que generan los habitantes o electrodomesticos de la vivienda.

La energía de calefacción requerida para mantener la vivienda a una temperatura viene dada por la ecuación 2.8.

$$E_{requerida} = [(Q + V) * \Delta T] - G + I \quad (2.8)$$

Donde Q es la cantidad de calor que pasa a través de los elementos de la envolvente en $W/^\circ C$ y se calcula segun la ecuación 2.9.

$$Q = \sum_i U_i * A_i + \sum_j K l_j * L_j \quad (2.9)$$

Donde U , medido en $W/m^\circ C$ es la transmitancia térmica de cada uno de los elementos de la envolvente, cuyo método de cálculo se basa en la norma NCh 853 Of.2007, A_i es el

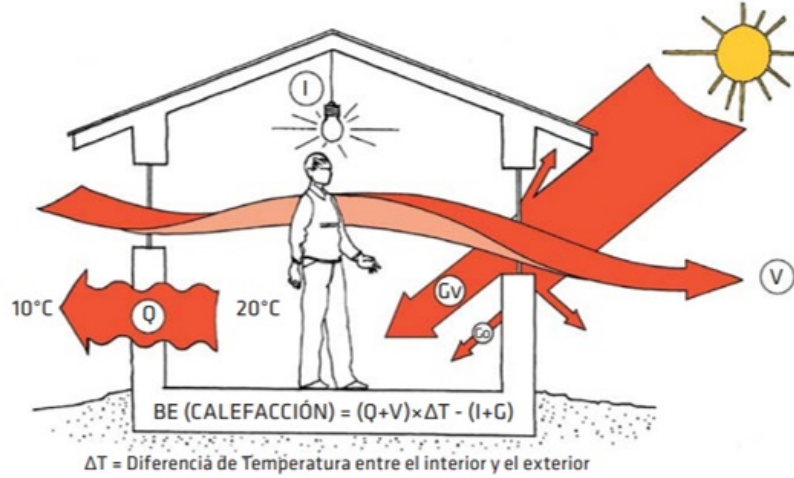


Figura 2.11: Equilibrio térmico en una vivienda. Fuente: Guía de diseño para la Eficiencia Energética de la vivienda social del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

área del elemento correspondiente en m^2 , Kl medido en $W/m^{\circ}C$ es la transmitancia térmica lineal de un puente térmico, obtenido de la norma NCh 853 Of.2007 y L , el perímetro del puente térmico correspondiente en m .

$$V = 0,34 * q \quad (2.10)$$

V es la cantidad de calor perdida por ventilación en $W/^{\circ}C$ y q es el volumen de aire renovado por hora en la vivienda en m^3/h .

$$G = G_o + G_v \quad (2.11)$$

G son las ganancias de calor respecto a la radiación solar, medido en W .

$$G_o = f_o * S_o * \alpha * U/h_e * E/24 \quad (2.12)$$

Donde G_o son las ganancias de calor por elementos opacos, medido en W . f_o el factor de sombra, adimensional, mide el nivel de sombra del elemento que está recibiendo la radiación solar. S_o la superficie del elemento que recibe la radiación medida en m^2 . U medido en $W/m^{\circ}C$ es la transmitancia térmica de los elementos. α es el coeficiente de absorptividad del elemento, adimensional, mide la cantidad de radiación que absorbe el

elemento. h_e es el coeficiente de convección de la superficie exterior medido en $W/m^2\text{°C}$. E es la energía solar incidente en el elemento medida en $Wh/m^2\text{día}$

$$G_v = f_v * S_v * FS * E/24 \quad (2.13)$$

Donde G_v son las ganancias de calor por elemento vidriado. f_v el factor de sombra, adimensional, mide el nivel de sombra del elemento que está recibiendo la radiación solar. S_v es la superficie del elemento que incide la radiación en m^2 . FS es el factor solar del elemento en el elemento medida en $Wh/m^2\text{día}$. E la energía solar incidente.

$$I = G_i * S_{edificio}/24 \quad (2.14)$$

I son las ganancias internas de la vivienda. G_i la energía calórica generada al interior de la vivienda en $Wh/m^2\text{día}$. $S_{edificio}$ es la superficie en planta del edificio en m^2 .

2.2.3.2. Características de la envolvente térmica.

Los materiales con los que está hecha la vivienda forman parte de la envolvente térmica, estos tienen propiedades térmicas como: La *conductividad térmica* (λ), se refiere a la capacidad de los materiales para conducir el calor cuando existe una diferencia de temperatura en sus caras. En la norma NCh853, se define como la cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en una unidad de tiempo a través de una unidad de área de material homogéneo de extensión infinita de caras planas y paralelas y espesor unitario, cuando se establece una diferencia unitaria de temperatura entre sus caras. Se expresa en $W/m * K$ y mientras más bajo sea su valor, mejor aislante es el material. El *coeficiente superficial de transferencia térmica* (h) es el flujo de calor que se transmite por unidad de área desde o hacia una superficie en contacto con el aire, cuando existe una diferencia unitaria de temperatura entre el aire y la superficie. Se expresa en $W/m^2 * K$. La *resistencia térmica* de un material (R_m) es la oposición que presenta al paso del calor. De esta manera, la resistencia de una capa de material de caras planas y paralelas, de espesor e , homogéneo, de conductividad térmica λ , viene dada por la ecuación 2.15. Se mide en $m^2 * K/W$.

$$R_m = e/\lambda \quad (2.15)$$

Es así como la resistencia térmica de un elemento compuesto (R_e) por n distintas capas de materiales, se puede calcular como la suma de las resistencias de cada capa. Utilizando la siguiente expresión:

$$R_e = \sum_{i=0}^n e_i/\lambda_i \quad (2.16)$$

Existen tipos de materiales que presentan cavidades herméticas en su interior, estas cámaras de aire confinado y seco ofrecen también resistencia al paso del calor, de tal manera que la resistencia térmica de una cámara de aire (R_g) depende del espesor, de la posición, del tipo de superficie interior, y del sentido del flujo térmico. Su valor se obtiene directamente desde la norma NCh853.

Las superficies tanto interiores como exteriores de los elementos, brindan una resistencia adicional de acuerdo con la posición del elemento y el sentido del flujo de calor (figura 2.12), denominada resistencia térmica de superficie (R_s) y es equivalente al inverso del coeficiente superficial de transferencia térmica h de cada material.

$$R_s = 1/h \quad (2.17)$$

Finalmente se calcula la resistencia térmica total (R_t) como la suma de las resistencias anteriormente señaladas en el caso que corresponda.

$$R_t = R_{s_{exterior}} + \sum_{i=0}^n e_i/\lambda_i + R_g + R_{s_{interior}} \quad (2.18)$$

Una vez conocida la resistencia térmica total que un elemento compuesto puede entregar, para saber cuánto es el flujo de calor que pasa en una unidad de tiempo, a través de una unidad de superficie de material homogéneo entre una diferencia unitaria de temperaturas generada por los ambientes que separa dicho elemento, se debe calcular la *Transmitancia térmica* (U) de un elemento mediante la ecuación 2.19.

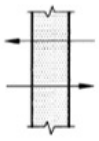
Resistencias térmicas de superficie en $m^2 \times K/W$		Situación del elemento					
Posición del elemento y sentido del flujo de calor		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$
Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor que 60° respecto a la horizontal		0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Figura 2.12: Resistencia térmica de superficie. Fuente: norma NCh853.

$$U = 1/R_t \quad (2.19)$$

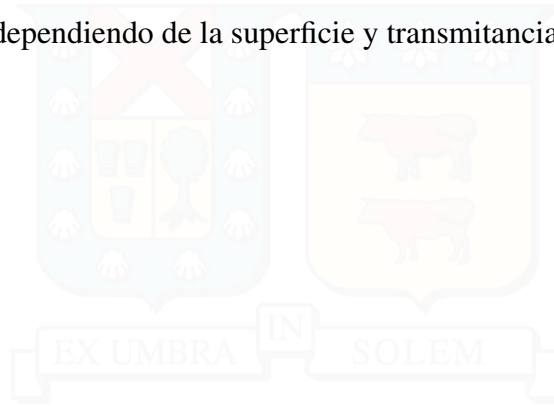
Se mide en $W/m^2 K$ y mientras más bajo es su valor, más aislante es el elemento.

2.2.3.3. Desempeño energético general de viviendas.

El desempeño energético de la vivienda está relacionado con el comportamiento que tienen ante el consumo de energía necesario para brindar un óptimo nivel de confort térmico a sus habitantes. Esto bajo condiciones climáticas, variaciones de temperatura estacionales entre invierno y verano, y variaciones de temperatura temporales presentes durante el día y la noche. Es necesario hacer la diferencia entre la demanda de energía y el consumo de energía. La demanda, es la cantidad necesaria para satisfacer una necesidad, mientras que el consumo energético es la cantidad de energía utilizada para satisfacer la demanda. Una estimación de la demanda de energía supone una temperatura interior de las viviendas de $20^\circ C$ entre las 7:00 y las 23:00 hrs y $17^\circ C$ entre las 23:00 y las 7:00 hrs.

El Manual de Acondicionamiento Térmico Criterios de Intervención, desarrollado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico Cámara Chilena de la Construcción (2015), muestra un estudio comparativo de requerimiento de energía para calefacción de una vivienda sin

aislación térmica y una de iguales características con aplicación de las medidas de la norma de Reglamentación Térmica. Se concluye que la aplicación de estas medidas genera un ahorro promedio de energía de entre un 36 % y un 63 % dependiendo de la zona donde se emplace la vivienda. Para el caso de un departamento, la aplicación de medidas se centra en muros y ventanas, dependiendo de la superficie y transmitancia térmica de cada uno.



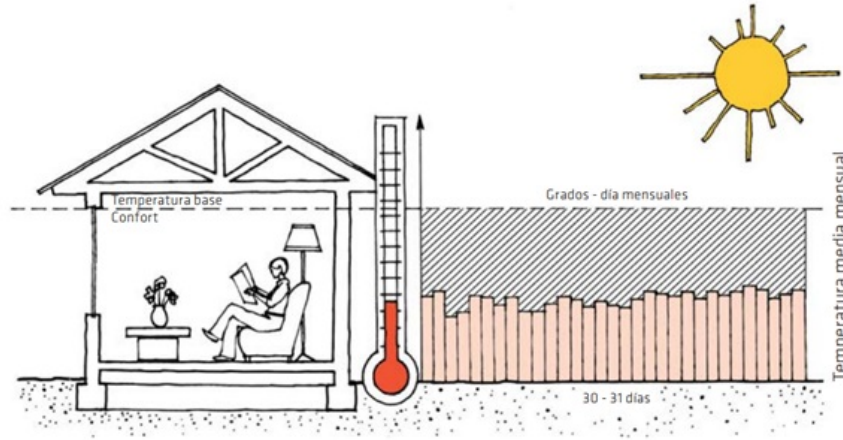


Figura 2.13: Representación de grados-día mensuales. Fuente: Manual de acondicionamiento térmico, MINVU.

2.2.4. Reglamentación Térmica.

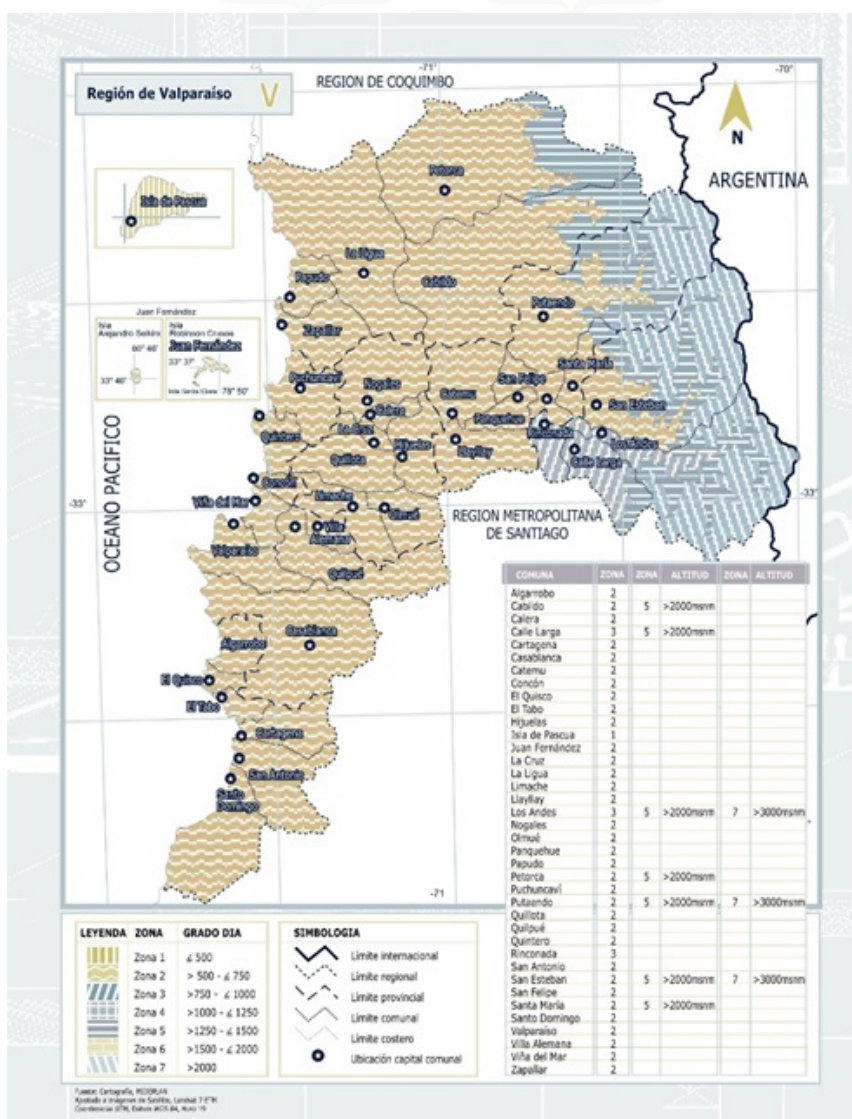
El año 2000 se establece la Reglamentación Térmica que indica un requerimiento máximo de transmitancia térmica para techumbres. Posteriormente, en 2007, se incorporan requerimientos en muros, ventanas y pisos ventilados. Esta reglamentación se indica en el artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (O.G.U.C), la cual clasifica a Chile en 7 Zonas Térmicas de acuerdo con los requerimientos de calefacción de cada una, comparándola a través de los Grados-día de calefacción anuales, concepto que se refiere a la diferencia entre una temperatura base y la media diaria de las temperaturas bajo la base, igualando a la base las superiores a ésta. Mientras más Grados-día, más será la necesidad de calefacción. La figura 2.12 demuestra gráficamente el concepto de Grado-día mensuales.

Para determinar la zonificación térmica la norma determina una temperatura base de 15°C, bajo el supuesto que lo que resta para alcanzar la temperatura de confort térmico entre los 18°C y 20°C es aportado por ganancias relacionadas a los factores fisiológicos. Se muestra en la tabla 2.3 el rango de Grados-día por zona térmica y el grafico 2.13 correspondiente a la V región.

Hay que tener consideración en la diferencia existente entre la Zonificación Térmica con la Zonificación Climático Habitacional que se explica en la Norma NCh1079 -2008. Ya que esta última considera más variables meteorológicas que definen un clima, como la

Tabla 2.3: Zona térmica y su relación con los Grados-día. Fuente: *Artículo 4.1.10 de la O.G.U.C.*

Zona térmica	Rango Grados-día	Región referencial
1	≤ 500	XIII, I a III
2	500 – 750	IV y V
3	750 – 1000	RM
4	1000 – 1250	VII y VIII
5	1250 – 1500	IX y XIV
6	1500 – 2000	X
7	> 2000	XI y XII

**Figura 2.14:** Zonas Térmicas en la V Región. Fuente: Artículo 4.1.10 de la O.G.C.U.

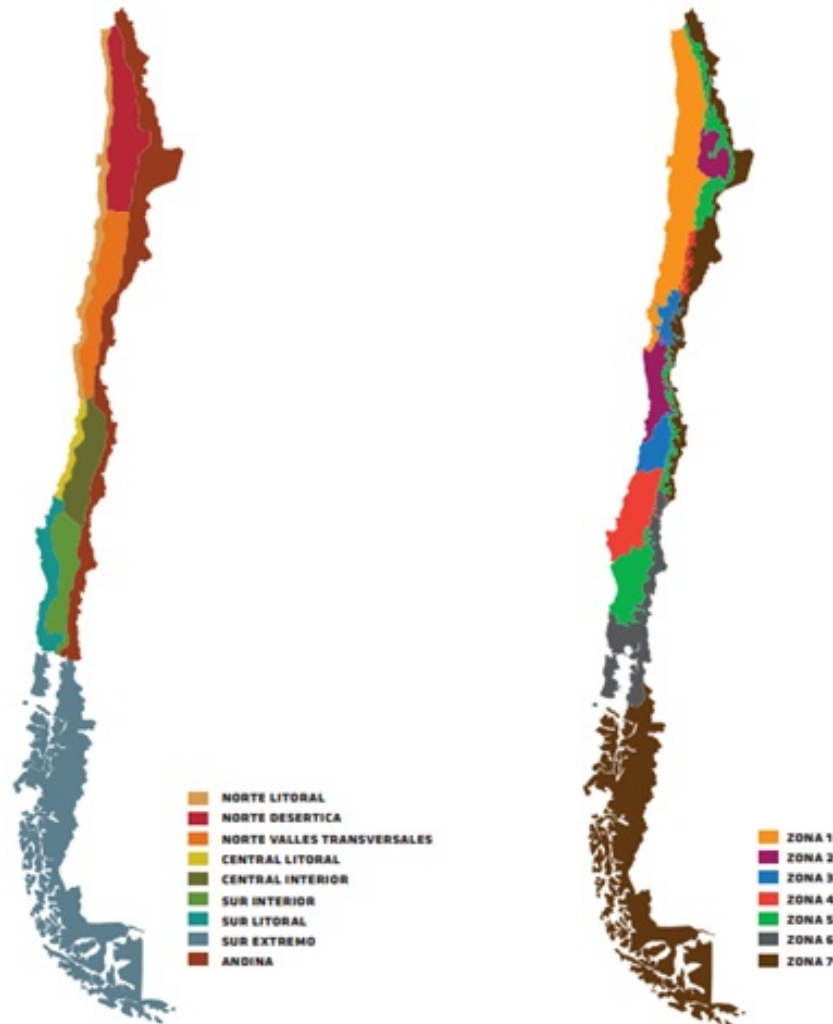


Figura 2.15: Comparación entre Zona climático habitacional y Zona térmica en Chile. Fuente: Manual de acondicionamiento térmico, MINVU.

nubosidad, la radiación solar, intensidad del viento, vegetación y humedad. La figura 2.15 muestra un esquema comparativo entre ambas zonificaciones, a la izquierda la Zonificación Climático Habitacional, a la derecha la Zonificación Térmica.

La reglamentación indica que toda vivienda, deberá cumplir con las exigencias de acondicionamiento térmico que se indican en la figura 2.16, respecto a los valores de transmitancia térmica (U) máximos y resistencia térmica (R_t) mínimas para techumbres, muros y pisos ventilados por zona térmica.

- **Techumbre.** Se consideran los elementos constructivos que componen el cielo, cubierta, aislación térmica, cadenas y vigas. Estas deben cumplir con lo siguiente:

Zona	Techumbre		Muros		Pisos ventilados	
	$U \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$	$Rt \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$	$U \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$	$Rt \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$	$U \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$	$Rt \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$
1	0,84	1,19	4	0,25	3,6	0,28
2	0,6	1,67	3	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,7	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,6	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,5	2
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4	0,6	1,67	0,32	3,13

Figura 2.16: Reglamentación térmica Chilena. Fuente: Artículo 4.1.10 de la O.G.C.U.

- Se considera techumbre todo elemento cuyo cielo tenga una inclinación de 60° sexagesimales, o menos, medidos desde la horizontal.
- Minimizar puentes térmicos, los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas del proyecto, sólo podrán ser interrumpidas por elementos estructurales de la techumbre como cerchas, vigas y/o tuberías, ductos o cañerías de las instalaciones domiciliarias.
- Los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas del proyecto deberán cubrir el máximo de superficie de la parte superior de los muros en su encuentro con el complejo de techumbre, formando un elemento continuo por el contorno de los muros perimetrales.
- Todo muro o tabique que sea parte del complejo de techumbre como lucarna, antepecho, dintel u otro elemento que delimite un local habitable o no habitable, deberá cumplir con las exigencias de la figura 2.16.
- Toda ventana que forme parte del complejo de techumbre de una vivienda entre la zona 3 y 7, incluidas, deberá especificar una solución de doble vidriado hermético con una transmitancia menor o igual a $3,6 W/m^2 K$.
- **Muros.** Se considera complejo de muros al conjunto de elementos constructivos cuya inclinación sea de 60° sexagesimales, o más, medidos desde la horizontal. Deben cumplir con:
 - Las exigencias señaladas en la figura 2.16 se aplican a los muros y tabiques, que limiten los espacios interiores de la vivienda con espacios exteriores o

con locales abiertos, no se aplica a muros medianeros que separen unidades independientes de vivienda.

- Los recintos cerrados contiguos a la vivienda como bodegas, leñeras, estacionamientos e invernaderos serán considerados locales abiertos. Solo se aplicará la exigencia a los paramentos de la envolvente de la vivienda.
 - Minimizar puentes térmicos, los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas del proyecto, sólo podrán ser interrumpidas por elementos estructurales del complejo de muros como, pies derechos, diagonales estructurales y/o por tuberías, ductos o cañerías de las instalaciones domiciliarias.
 - En el caso de albañilería confinada de conformidad a la definición de la NCh2123, no será exigible el valor de U de la figura 2.16 en los elementos estructurales tales como pilares, cadenas y vigas
 - En el caso de incorporar materiales aislantes, la solución deberá considerar barreras de humedad y/o vapor, según el tipo de material incorporado en la solución constructiva considerada.
 - En el caso de puertas vidriadas exteriores, deberán considerarse como superficie de ventanas la parte correspondiente al vidrio de la misma. Las puertas de otro material no tienen exigencia de acondicionamiento térmico.
- **Pisos Ventilados.** Se considera complejo de pisos ventilados al conjunto de elementos constructivos que lo conforman que no están en contacto directo con el terreno. Deben cumplir con:
- Se aplican las exigencias señaladas en la figura 2.16
 - Minimizar puentes térmicos, los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas del proyecto, sólo podrán ser interrumpidas por elementos estructurales vigas, tuberías, ductos o cañerías de las instalaciones domiciliarias.
- **Ventanas.** Se considera complejo de ventana a los elementos que constituyen los vanos vidriados de la envolvente. Deben cumplir con:

VENTANAS			
ZONA	% Máximo de Superficie Vidriada Respecto a Paramentos Verticales de la Envolvente		
	Vidrio Monolítico (b)	DVH	
		Doble Vidriado Hermético (c)	
		3.6 W/m ² K ≥ U > 2.4 W/m ² K (a)	U ≤ 2.4 W/m ² K
1	50%	60%	80%
2	40%	60%	80%
3	25%	60%	80%
4	21%	60%	75%
5	18%	51%	70%
6	14%	37%	55%
7	12%	28%	37%

Figura 2.17: Porcentaje máximo de superficie vidriada respecto a paramentos verticales de la envolvente. Fuente: Artículo 4.1.10 de la O.G.C.U.

- A) Porcentaje máximo de superficie de ventanas respecto a paramentos verticales de la envolvente. Las exigencias respecto al tipo de vidrio y la zona térmica en la cual se emplace el proyecto de arquitectura se muestran en la figura 2.17.

El procedimiento para determinar el porcentaje máximo de superficie de ventanas consiste en:

Determinar la superficie de los paramentos verticales de la envolvente, correspondiente a la suma de las superficies interiores de todos los muros perimetrales de la unidad habitacional, incluyendo muros medianeros y divisorios. Posteriormente, determinar la superficie total de ventanas, correspondiente a la suma de los vanos del muro en el cual está colocada la ventana, considerando el marco como parte de la superficie. Para el caso de ventanas salientes se considera como superficie de ventana aquella correspondiente al desarrollo completo de la parte vidriada.

La superficie máxima de ventanas se indica en la figura 2.17. Hay que tener en consideración que la doble ventana que forme una cámara de aire se asimila al DHV con un valor entre 3,6 y 4,2 W/m²K. El Vidrio Monolítico se caracteriza en la norma NCh132 y el Doble Vidriado Hermético se caracteriza en la norma NCh2024. En el caso de que el proyecto considere más de un tipo de vidrio, el porcentaje máximo de superficie para cada tipo de vidrio respecto de la superficie

total de la envolvente viene dado por la siguiente relación.

$$TP * MV/100 = MSV \quad (2.20)$$

Donde TP es el porcentaje del tipo de vidrio respecto del total de la superficie vidriada, MV es el porcentaje máximo de superficie vidriada respecto a paramentos verticales de la envolvente, según la figura 2.17.

B) Método alternativo del U ponderado. Solo puede aplicarse en el caso que de vidrio monolítico en las zonas térmicas 3, 4, 5, 6 y 7. Permitiendo aumentar la superficie vidriada sobre los valores de la figura 2.17, compensando este aumento con un mejoramiento de la transmitancia térmica del complejo de muros. El U ponderado deberá tener un valor igual o menor al indicado en la figura 2.18.

ZONA	U Ponderado W/m²K
3	2.88
4	2.56
5	2.36
6	1.76
7	1.22

Figura 2.18: U ponderado máximo. Fuente: Artículo 4.1.10 de la O.G.C.U.

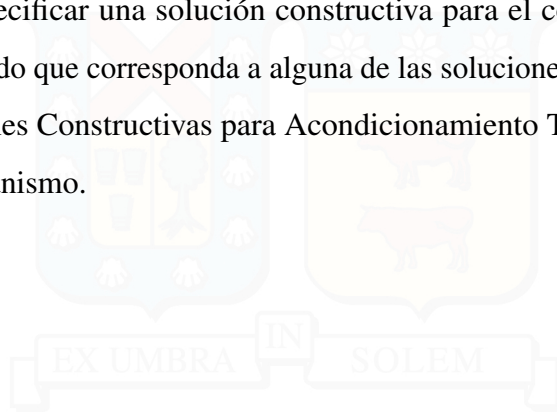
En ningún caso puede aumentar más del 40 % respecto al máximo permitido por la zona térmica en la figura 2.18.

Para cumplir con esta exigencia existen 4 alternativas.

1. La primera es incorporar material aislante etiquetado R100⁴ según las especificaciones mínimas indicadas en la tabla, rotulado según la norma técnica NCh2251.
2. La segunda alternativa es presentar un Certificado de Ensaye, otorgado por un Laboratorio de Control Técnico de Calidad de la Construcción, demostrando el cumplimiento de la transmitancia y resistencia reglamentarios indicados en la figura 2.16.

⁴Según la norma Nch 2251: R100 = valor equivalente a la resistencia térmica $\times 100 m^2 K/W$

3. La tercera alternativa es mediante el cálculo señalado en la norma NCh853, demostrando el cumplimiento de la transmitancia térmica y resistencia térmica del complejo de techumbre, muro y piso ventilado.
4. O, por último, especificar una solución constructiva para el complejo de techumbre, muro y piso ventilado que corresponda a alguna de las soluciones inscritas en el Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.



2.2.5. Calificación Energética de Viviendas.

Con el objetivo de proveer a personas y potenciales compradores, información objetiva con relación al comportamiento energético de una vivienda nueva, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo creó el sistema de Calificación Energética de Viviendas (CEV), instrumento que permite calificar y comparar la eficiencia energética de una vivienda nueva con una vivienda de referencia de igual geometría y orientación. La CEV, consiste en una estimación teórica comparativa de 7 niveles de calificación, que considera aspecto como la transmitancia térmica de la envolvente, orientación de la vivienda, desempeño de equipos y la incorporación de energías renovables no convencionales.

El esquema de funcionamiento del sistema (figura 2.19) muestra la participación de distintas entidades y actores, estos son:



Figura 2.19: Sistema CEV. Fuente: Curso evaluadores energéticos SCEV. MINVU.

- **Entidad Directiva:** Es la responsable de supervisar e instruir acciones para el correcto funcionamiento de todo el sistema CEV. Se encarga de acreditar mediante Resolución Exenta a profesionales para que actúen como Evaluadores Energéticos y Fiscalizadores del sistema, y a Entidades Administradoras que cumplan otras funciones parcial o totalmente de acuerdo a la circunstancia. La Entidad Directiva es el MINVU.
- **Entidad Administradora:** Es la encargada de la correcta administración del sistema

CEV, sus funciones son ejecutadas directamente por el MINVU o por alguna entidad designada, las funciones son:

- *Acreditación:* Informar sobre el proceso de selección y acreditación, seleccionar profesionales que participarán del proceso de acreditación, publicar los contenidos del examen que deben rendir los postulantes, y publicar el listado de Evaluadores Energéticos habilitados por el MINVU.
 - *Mantenimiento de la Herramienta de Cálculo y la información que genera:* Administrar y mantener actualizada la Herramienta de Cálculo, mantener y publicar un registro con las evaluaciones energéticas de viviendas que se hayan emitido en el sistema CEV, mantener y publicar el Listado de Evaluadores Energéticos, emitir informes con estadísticas que se generen mediante la aplicación del sistema CEV.
 - *Fiscalización:* Realizar aleatoriamente fiscalizaciones a proyectos que sean calificados y así comprobar la veracidad de las evaluaciones, publicar los resultados de las fiscalizaciones y las medidas aplicadas.
- **Fiscalizador:** Persona natural que tiene por función realizar auditorías al proceso de calificación energética, debe ser Evaluador Energético y haber sido designado por la entidad correspondiente. Aún se encuentran en proceso de elaboración los protocolos y metodologías de fiscalización.
 - **Evaluador Energético:** Persona natural encargada de realizar Evaluaciones Energéticas, debe ser facultado por la entidad correspondiente, poseer atributos curriculares, aprobar satisfactoriamente el proceso de acreditación y suscribir un convenio con el MINVU donde aclara compromisos y obligaciones que asume como Evaluador, siendo responsable de las declaraciones, información y documentos utilizados para la calificación. Pudiendo perder la calidad de evaluador energético al emitir erróneamente calificaciones.
 - **Mandante:** Propietario de una vivienda que solicita la calificación energética al Evaluador Energético, responsable de verificar que el Evaluador se encuentre habi-

litado como tal y entregar información de la vivienda definitiva. Pudiendo utilizar la información de la calificación para fines publicitarios, ajustados al Protocolo de Publicidad del sistema CEV.

- **Usuario Final:** Es el comprador de una vivienda, si realiza cambios o modificaciones en la vivienda, la etiqueta emitida perderá validez.

El Mandante puede solicitar una Pre Calificación Energética, a proyectos que cuenten con Permiso de Edificación Municipal, esta contiene una proyección de la eventual Calificación Energética que tendría la vivienda terminada si es ejecutada de acuerdo con las especificaciones técnica presentadas en el proyecto de arquitectura. Es de carácter transitorio y dura hasta la Recepción Definitiva de Obras. También puede solicitar una Calificación Energética a proyectos que cuenten con Permiso de Edificación Municipal, cuyas obras estén terminadas y con Recepción Definitiva de Obras. Esta calificación es definitiva con vigencia de 10 años y en caso de que la calificación obtenida sea inferior a la Pre Calificación, el mandante deberá informar al Usuario Final.

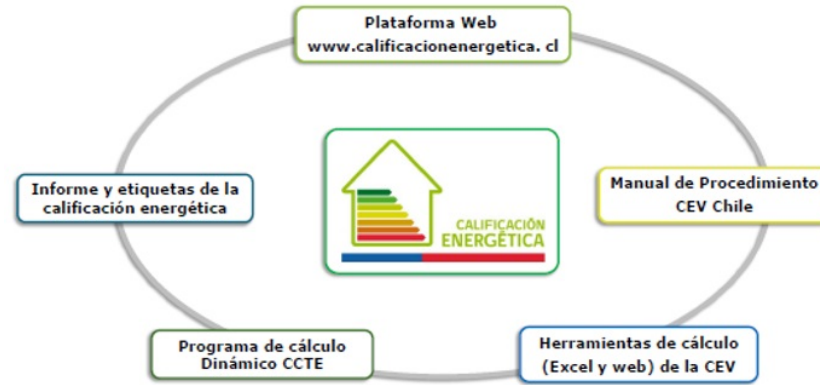


Figura 2.20: Componentes de la Calificación Energética. Fuente: Curso evaluadores energéticos SCEV. MINVU.

El Sistema de Calificación Energética utiliza 5 herramientas (figura 2.20).

1. **Plataforma Web:** El sitio web www.calificacionenergetica.cl es la primera plataforma de comunicación del sistema, en ella se encuentra información básica para nuevos usuarios, información sobre el proceso de postulación y acreditación a evaluadores energéticos, información técnica y material de difusión disponible para descargar. Parte de la información técnica es la Herramienta de Cálculo de la Calificación Energética de las Viviendas, que se detalla más adelante.
2. **Manual de Procedimiento CEV Chile:** Documento que contiene las directrices técnicas, procedimentales y de gestión necesarias para realizar calificaciones energéticas mediante la herramienta CEV. Se estructura en tres apartados, los cuales contienen el procedimiento administrativo, definiciones y responsabilidades, gestión de documentos del proceso, y el procedimiento de cálculo del sistema CEV con los aspectos técnicos requeridos. Su contenido es evaluado en las pruebas de acreditación de Evaluadores Energéticos.
3. **Herramienta de cálculo Excel y Web de la CEV:** Esta herramienta es una plantilla Excel que facilita el cálculo del sistema CEV, compuesta de 7 hojas, en la hoja principal se deben ingresar todos los datos del proyecto a calificar, la hoja “Datos Informe y Etiqueta” es donde se genera la información necesaria para crear el Informe de Evaluación y Etiqueta de Eficiencia Energética, la hoja “Resultados Detallados” entrega

información detallada para el análisis del proyecto, las hojas “Notas 1, 2, y 3” son de libre uso del evaluador y la hoja del cálculo del Coeficiente de Accesibilidad de la Ventana (FA) que considera elementos de sombra locales y remotos del edificio. La Herramienta Web utiliza los mismos datos de entrada que a herramienta de cálculo Excel y sirve para formalizar y enviar a las bases de datos del Ministerio la información de la evaluación, en ella se generan la etiqueta y el informe de calificación, es de acceso restringido a Evaluadores Energéticos.

4. **Programa de cálculo dinámico CCTE:** Es la herramienta oficial de certificación de comportamiento térmico de viviendas, permite acreditar el cumplimiento de la reglamentación térmica de la O.G.U.C, además de estimar el nivel de demanda y consumo energético en calefacción y refrigeración de manera dinámica para las viviendas en Chile. Es requerido si y solo si el porcentaje de ventanas respecto a la superficie de muros es superior a lo indicado en el manual.
5. **Informe y Etiqueta de la Calificación Energética:** Es el resultado final de la CEV, el Informe de Calificación de Eficiencia Energética y la Etiqueta de Eficiencia Energética que permite al usuario final, una fácil comparación y valoración del desempeño de la vivienda. La figura 2.21 muestra una gráfica de la escala comparativa de 7 niveles que va desde la letra A, más eficiente, a la letra G, menos eficiente. Mientras que el nivel E, corresponde al caso base o referencia el cual es una vivienda con la misma forma, dimensiones, ubicación geográfica, superficie vidriada y ganancias internas que la vivienda que se está evaluando, con la consideración de tener una envolvente opaca que cumple exactamente con lo establecido por la reglamentación actual vigente en el artículo 4.1.10 de la O.G.C.U respecto a la transmitancia térmica.

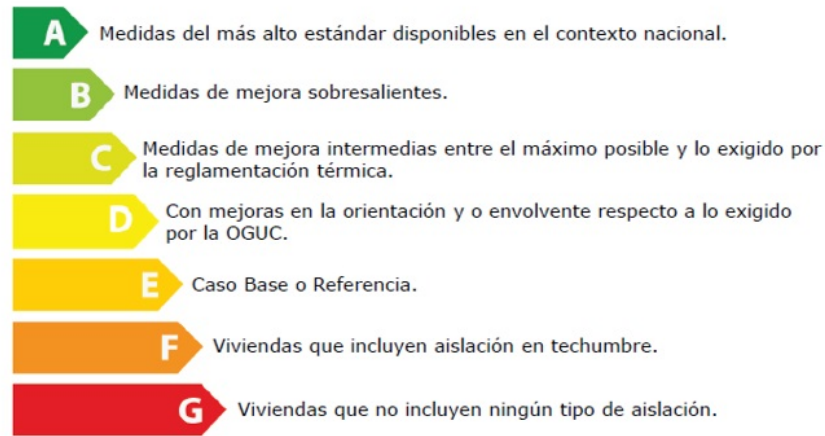


Figura 2.21: Representación de los valores de la CEV. Fuente: Curso evaluadores energéticos SCEV. MINVU.

El Informe de Calificación de Eficiencia Energética contiene la siguiente información:

- Código de Evaluación Energética.
- Fecha de emisión del Informe de Eficiencia Energética y vigencia del mismo.
- Identificación de la vivienda, dirección, rol de avalúo, zona térmica donde se ubica y superficie útil.
- Identificación del propietario.
- Demanda de energía de la vivienda y su calificación.
- Consumo de energía y su calificación.
- Indicadores secundarios, aporte de energías renovables no convencionales, sobrecalentamiento y emisiones de CO_2 equivalentes.
- Cuadro referencial de demanda energética según agrupación de vivienda (departamento, pareada, aislada).
- Características de la envolvente de la vivienda.
- Identificación del Evaluador Energético.

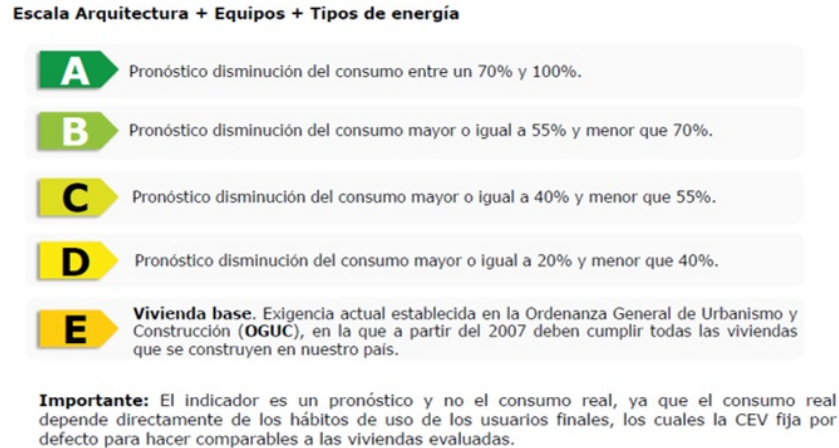


Figura 2.22: Representación de los valores de la Escala Arquitectura + Equipos + Tipo de energía CEV. Fuente: Curso evaluadores energéticos SCEV. MINVU.

Se definen dos indicadores principales en la evaluación de cada vivienda.

Demanda de Energía o Calificación de Arquitectura: Es una medida comparativa de la cantidad de energía utilizada por la vivienda para calefacción e iluminación, dependen de las ganancias solares, el nivel de aislamiento térmico de la envolvente y la zona térmica donde se ubica la vivienda, relacionada directamente con la calidad del diseño de la vivienda y de los materiales utilizados.

Consumo de Energía Primaria o Calificación de Arquitectura + Equipos + Tipo de energía: Medida comparativa del consumo de energía para calefacción, agua caliente sanitaria e iluminación, dependen de las variables de la calificación de arquitectura más el rendimiento energético de los equipos, el tipo de energía primaria y aporte de energías renovables no convencionales para calefacción, agua caliente sanitaria e iluminación.

La figura 2.22, muestra la relación de la calificación obtenida con el pronóstico de disminución del consumo de energía.

Ambos indicadores se expresan en % respecto a la vivienda de referencia, adicionalmente se incluye el valor en kWh/m^2 año de energía en cada caso. Al ser pronósticos, no necesariamente representan el consumo real de la vivienda ya que este depende directamente de los hábitos de los ocupantes.

Escala de calificación energética "Arquitectura"				Escala de calificación energética "Arquitectura + Equipos + Tipos de Energía"	
	PPC Zona 1 y 2	PPC Zona 3, 4 y 5	PPC Zona 6 y 7		Todas las zonas
A	0 - 30.00	0 - 40.00	0 - 55.00	A	0 - 30.00
B	30.01 a 40.00	40.01 a 50.00	55.01 a 65.00	B	30.01 a 45.00
C	40.01 a 55.00	50.01 a 65.00	65.01 a 85.00	C	45.01 a 60.00
D	55.01 a 75.00	65.01 a 85.00	85.01 a 95.00	D	60.01 a 80.00
E	75.01 a 110.00	85.01 a 110.00	95.01 a 110.00	E	80.01 a 110.00
F	110.01 a 135.00	110.01 a 135.00	110.01 a 135.00	F	110.01 a 135.00
G	135.01 o mayor	135.01 o mayor	135.01 o mayor	G	135.01 o mayor

Figura 2.23: Coeficiente C. Fuente: Manual de procedimientos CEV. MINVU.

2.2.5.1. Vivienda de Referencia.

La vivienda base tiene una envolvente térmica que cumple exactamente con los requisitos mínimos de transmitancia térmica expuestos en el art 4.1.10 de la O.G.U.C, excepto para la zona térmica 1, donde el valor que se considera para la transmitancia de muros es de $3,0W/m^2K$. Tiene orientación promedio, considera vidriado simple con transmitancia $5,8W/m^2K$ y el factor solar es 0,87, mientras que el factor de marco y el factor de accesibilidad de las ventanas son iguales que los de la vivienda que se está evaluando, del mismo modo el índice de sobrecalentamiento es el mismo que el de la vivienda que se está evaluando. En cuanto al equipo de calefacción, este considera un sistema estándar de calefacción y agua caliente sanitaria. La temperatura de confort es de $19^{\circ}C$ tanto para la vivienda base como para la que se está evaluando, esto porque los grados restantes para alcanzar el nivel ideal de confort térmico teórico son aportados por el arropamiento y la actividad física de las personas dentro de la vivienda. Finalmente, la calificación de eficiencia energética de una vivienda se determina mediante el coeficiente C, porcentaje de energía que requiere la vivienda respecto a la vivienda de referencia (ecuación 2.19).

$$C = \frac{\text{Demanda o Consumo de energía estudiado}}{\text{Demanda o Consumo de energía de referencia}} * 100 \quad (2.21)$$

La escala de calificación de la demanda de energía depende de la zona térmica de la vivienda, mientras que la escala de consumo de energía depende solo del valor de C. (figura 2.23).

Para el caso de evaluación de un conjunto habitacional o edificio con más de una vivienda, se debe calcular la Calificación Promedio Ponderado (PPC), mediante la ecuación 2.22 y luego asignar la calificación de acuerdo con la figura 2.23

$$C = \frac{\sum_i C_i * A_i}{\sum_i A_i} \quad (2.22)$$

Donde C_i corresponde al coeficiente C de cada vivienda en el conjunto habitacional y A_i corresponde a la superficie útil de cada vivienda en el conjunto habitacional.

2.2.5.2. Procedimiento de Evaluación Energética .

La documentación necesaria para el proceso de evaluación se debe adjuntar dentro de la Carpeta de la Calificación, consiste en:

1. Solicitud de Pre Calificación Energética o Calificación Energética.
2. Copia del permiso de edificación con todas sus modificaciones y recepción municipal definitiva del proyecto.
3. Copia de juego de planos aprobados por el Director de Obras Municipales en la recepción definitiva.
4. Especificaciones técnicas aprobadas por el Director de Obras Municipales en el permiso de edificación (pre calificación) o en la recepción definitiva (calificación).
5. Declaración del Mandante (formato estándar).
6. Formato de Acreditación Térmica.
7. Formato de Acreditación de Ventanas.
8. Información adicional.
 - a) Certificado de ensayo de conductividad térmica del material o transmitancia térmica de la solución constructiva.
 - b) Certificado de ensayo de transmitancia térmica de ventanas.

- c) Declaración del mandante por espesor utilizado en el doble vidriado hermético.
 - d) Documento oficial de resultados y archivo de datos de simulación con el programa CCTE.
 - e) Certificado de rendimiento y copia de factura del sistema de agua caliente sanitaria en el caso de ser distinto al que se asigna por defecto.
 - f) Certificado de ensayo de rendimiento de colectores solares en el caso de ser distinto al que se asigna por defecto.
9. Fotografías de visitas de inspección visual.

Una vez reunidos los documentos necesarios, se procede a utilizar las herramientas de cálculo, la cual se divide en 8 módulos,

1. Características generales del proyecto y la vivienda.
- a) Tipo de Calificación: Pre Calificación Energética / Calificación Energética.
 - b) Ubicación del proyecto: Según mapa de zonas térmicas, Comuna y Región.
 - c) Identificación de la vivienda a evaluar: Denominación no oficial que identifique a la vivienda.
 - d) Nombre del proyecto: Denominación del proyecto según especificaciones.
 - e) Dirección de la vivienda: Dirección donde se ubica la vivienda, para visitas de inspección.
 - f) Tipo de vivienda: Casa aislada, casa pareada o departamento.
 - g) Rol de la vivienda: En Pre Calificaciones se debe ingresar el rol del proyecto indicado en el permiso de edificación.
 - h) Evaluador Energético: Nombre y apellido del evaluador.
 - i) Rol de registro y Rut del evaluador: Número de resolución y año en que es designado.
 - j) Fecha de emisión: Esta información la entrega la entidad administradora.
 - k) Fecha de vencimiento: Esta información la entrega la entidad administradora.

- l) Número de informe: Esta información la entrega la entidad administradora.
- m) Información del Mandante: Nombre y Rut del Mandante.
- n) Descripción general de los elementos de la envolvente: Se debe describir el complejo de muros, piso ventilado, techumbre y ventanas.
- ñ) Descripción general de los sistemas de calefacción y agua caliente sanitaria: Se debe describir el sistema de calefacción, su eficiencia térmica, capacidad, marca, modelo y potencia nominal.

2. Dimensiones de la vivienda.

- a) Área de cada piso de la vivienda: Se debe ingresar la superficie interior útil, es decir los límites interiores de los muros exteriores de la vivienda, considerando los tabiques y divisiones interiores, no se deben considerar espacios que estén parcial o totalmente expuestos al exterior (terrazas y balcones).
- b) Altura de cada piso de la vivienda: Se considera la distancia interior entre el piso y el cielo terminado, si la vivienda tiene más de un piso, se debe considerar como límite el punto medio entre la división de ambos pisos. En el caso de departamentos, se considera cada departamento desde el interior de su piso a su cielo.
- c) Volumen: Se calcula automáticamente en la herramienta al ingresar el área y la altura.

3. Características térmicas de la envolvente.

- a) Área de los elementos constructivos de la envolvente: No se consideran elementos que colindan con otros espacios acondicionados como otras viviendas o pasillos cerrados. Para el caso de muros que colinden con pasillos o escaleras abiertas, deben ser considerados como muros exteriores con orientación sur. Para ventanas corresponde al área total del vano, incluyendo el marco. Para muros, el área corresponde al área interior de estos. No se considera área de piso si la vivienda está construida directamente sobre el suelo.
- b) Transmitancia térmica de los elementos constructivos de la envolvente: Se debe utilizar el documento “Formato de Acreditación Térmica para la Calificación Energética

Aislación del piso o radier	Resistencia térmica total, R_T $m^2 \times ^\circ C/W$	Transmitancia térmica lineal, K_L $W/(m \times K)$
Corriente	0,15 - 0,25	1,4
Medianamente aislado	0,26 - 0,60	1,2
Aislado	> 0,60	1,0

Figura 2.24: Coeficiente C. Fuente: Manual de procedimientos CEV. MINVU.

de Viviendas” disponible en el Ministerio de Vivienda y Urbanismo. La forma de obtención de los valores de transmitancia es distinta para cada elemento. Para el caso del complejo de techumbre, muros y pisos ventilados, se debe calcular según lo indica la norma NCh853.Of.2007, o acreditar mediante Certificado de Laboratorio, o según el Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico del MINVU. Para el caso del complejo de ventanas, se debe determinar mediante el uso de alguno de los 3 Modos presentados en el Manual de procedimientos del sistema CEV o acreditar mediante Certificado de Laboratorio. Para las puertas, se debe realizar el cálculo según lo indica la norma NCh853.Of.2007 con el uso adicional de la norma NCh3137; Si la puerta tiene superficie vidriada, esta debe ser considerada en el complejo de ventanas. Para el piso en contacto con el terreno, se debe considerar el perímetro exterior de la vivienda y su transmitancia térmica lineal de acuerdo con la figura 2.24, correspondiente al nivel de aislación y resistencia térmica total, según lo indica la norma NCh853.Of.2007.

- c) Relación Ventana Muro (RMV): indica la relación entre el área de ventanas y el área de los muros de la vivienda. Si el RMV de una vivienda es mayor a 0,7 se debe utilizar el cálculo dinámico mediante el software CCTE.
- d) Ventanas (Sobrecalentamiento y orientación): En esta sección se debe determinar la orientación de cada ventana, esta viene dada por la recta normal exterior del vidrio, considerando 9 orientaciones en 6 grupos, (norte, noroeste / noreste, este / oeste, suroeste/sureste, sur, y ventana en el techo). FA es el factor de accesibilidad de ventanas, está compuesto por los elementos de sombra locales (FAV) como aleros horizontales, aletas verticales, lamas y por las obstrucciones remotas (FAR) como otras edificaciones y accidentes geográficos como cerros o laderas frente a cada ventana. El cálculo del FA se detalla en el anexo. El área de la ventana por orientación

corresponde a la suma de las áreas del vidrio más el marco de todas las ventanas en dicha orientación. El FS corresponde al factor solar del vidrio, dependiente del factor de sombra o la cantidad de radiación solar que atraviesa el vidrio respecto a la cantidad de radiación solar que atravesaría un vidrio claro de espesor 3mm. El FM corresponde al factor del marco de la ventana o porcentaje de superficie traslucida respecto al área del vano, depende del material de marco.

4. Definición de la metodología a usar en el cálculo de la demanda de calefacción.

- a) Cálculo estático de la demanda: Al escoger esta opción, se debe considerar valor nulo en las casillas de ingreso de información correspondientes.
- b) Cálculo dinámico de la demanda: Método obligatorio para viviendas con un factor RVM igual o superior a 0,7. Se realiza mediante el software CCTE, al aplicar este método, se debe ingresar la información de Demanda de Calefacción de la vivienda estudiada y la información de la Demanda de Calefacción de la vivienda de referencia entregados por el software.

5. Resultados del cálculo de demanda de calefacción + iluminación.

- a) Demanda de calefacción medida en kWh/m^2 año.
- b) Demanda de iluminación medida en kWh/m^2 año.
- c) Temperatura de base medida en $^{\circ}C$.
- d) Grados día a la temperatura base.
- e) C (porcentaje de la demanda de referencia).
- f) Demanda de referencia medida en kWh/m^2 año.

6. Definición de los equipos y sistemas.

- a) Sistema de calefacción: La potencia referencial del sistema de calefacción es la potencia mínima estimada para satisfacer los requerimientos de calefacción. Se debe seleccionar el tipo de energético, el combustible por defecto es el gas licuado. Luego se selecciona el tipo de sistema que utiliza la vivienda.

- b) Sistema de agua caliente sanitaria: Se debe ingresar el tipo de sistema según corresponda.
- c) Sistema de iluminación: La herramienta Excel calcula la demanda de iluminación de acuerdo con una estimación de la intensidad lumínica necesaria para el interior de la vivienda.
- d) Sistema de captación de energías renovables no convencionales: Si la vivienda incorpora formas alternativas de energía.

7. Resultados del consumo de energía de la vivienda.

- a) Aporte de energía solar en porcentaje y $kWh/año$.
- b) Consumo de energía primaria en calefacción, agua caliente sanitaria e iluminación e kWh/m^2 año.
- c) Consumo total de energía primaria kWh/m^2 año
- d) C coeficiente energético.
- e) Consumo de referencia en kWh/m^2 año.

8. Índice de Sobre calentamiento.

- a) Materialidad.
- b) Ventanas.
- c) Ganancias internas.
- d) Aislación Térmica.
- e) Ventilación.

2.3. Reacondicionamiento térmico.

Se entiende por reacondicionamiento térmico a toda acción de intervención en la infraestructura de una vivienda con la intención de mejorar el confort térmico respecto al desempeño de la vivienda o la aparición de patologías relacionadas con la humedad y/o mejorar las condiciones de habitabilidad con un enfoque de eficiencia energética.

2.3.1. Aspectos generales del reacondicionamiento térmico.

El reacondicionamiento térmico apunta principalmente a soluciones relacionadas con mejorar la envolvente térmica de la vivienda. Brindando el nivel de aislación necesario para disminuir las pérdidas de calor, mejorando el hermetismo y aprovechando al máximo los recursos disponibles. Otros aspectos importantes dentro del reacondicionamiento térmico son el control de la ventilación y la calefacción eficiente, aprovechando patrones naturales de energía y corrientes de aire, reduciendo el consumo de energía y la emisión de contaminantes al ambiente. Generalmente, las medidas más urgentes o las intervenciones con mayor prioridad para las casas son la aislación en el techo. Para los departamentos la prioridad está en mejorar el aislamiento en muros y la generación de buenas condiciones de ventilación. Para realizar efectivamente un aumento en la aislación de la vivienda, las obras de reacondicionamiento deben ser realizadas con materiales adecuados y bajo normas de calidad que aseguren su buen funcionamiento.

2.3.2. Metodología de diagnóstico de reacondicionamiento térmico.

La metodología básica de diagnóstico para evaluar donde aplicar un reacondicionamiento térmico es la priorización de problemas presentes en la vivienda, de acuerdo con los elementos constructivos o complejos anteriormente mencionados. Luego de esta evaluación se determina y ejecuta la intervención. En el documento “Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente: Una Guía para el Dueño de Casa” publicado por la Cámara Chilena de la Construcción, se presenta una planificación de 6 etapas para un reacondicionamiento térmico. Estas son:

1. Diagnóstico. En esta etapa, la idea es realizar un check-list de diagnóstico a cada uno de los componentes de la vivienda, tomando en cuenta todos los potenciales problemas asociados al confort térmico. Considerando, transmitancia térmica y desempeño de la vivienda, demanda de energía, nivel de confort térmico, aparición de patologías, fugas de aire, puntos fríos, etc.
2. Identificar los potenciales de mejora. Luego de realizado el diagnostico, es necesario evaluar el potencial impacto que produciría una intervención en la solución de dicho problema, para lograr identificar cuáles son las mejores alternativas de reacondicionamiento.
3. Definir los objetivos y las prioridades. Una vez conocido el potencial de cada intervención, se debe definir el objetivo, las prioridades y el recurso que se dispone a invertir. Maximizando estratégicamente el beneficio de la intervención.
4. Determinar y especificar las obras. Ya diseñado el plan estratégico de reacondicionamiento térmico es necesario especificar las características técnicas y materiales necesarios para lograr los objetivos.
5. Permisos de edificación. Verificar las normativas y permisos de edificación necesario para realizar intervenciones en una vivienda, verificar y velar por la seguridad de quienes ejecutarán las obras.
6. Cambio de hábitos. Incluir un cambio de hábitos relacionado con la calefacción y ventilación, tomando en cuenta los patrones naturales de aire y luz. Aportando al desarrollo cultural y al buen uso de la energía.

2.3.3. Métodos de reacondicionamiento térmico.

2.3.3.1. Aislamiento térmico.

Un buen aislamiento térmico disminuye la pérdida de energía y la probabilidad de sobre calentamiento de las viviendas, consiste en modificar o añadir capas de materiales con propiedades térmicas. Los materiales aislantes son aquellos que tienen una alta resistencia térmica, la mejor forma para aislar una construcción es mediante el aire seco inmóvil, pero dada la dificultad de conseguir que este aire no tenga perturbaciones es que se utilizan materiales principalmente fibrosos o granulados que contengan aire, por ejemplo: el poliuretano, el poliestireno, la lana mineral, el cartón corrugado, viruta, etc.

Existen distintos criterios para escoger materiales aislantes, el principal es según su capacidad de aislación, esta se puede comparar mediante su resistencia térmica (R), transmitancia térmica (U), o bien su etiquetado R100. Diversidad de materiales, además de ser buenos aislantes térmicos, tienen propiedades de resistencia a la humedad y el vapor de agua, resistencia al fuego y aislación acústica. Otro criterio de elección es el formato en el que se encuentran en el mercado, algunos materiales son fabricados como paneles rígidos o placas, ideales para cubrir superficies grandes y continuas, otros se aplican mediante proyección, ideales para cubrir y rellenar espacios de difícil acceso, también se encuentran en rollos tipo lana, buenos aislantes acústicos, ideales para rellenar espacios irregulares.

Es necesario que la aplicación del material aislante cubra la mayor parte del complejo en el cual se está aplicando, para evitar puentes térmicos y filtraciones de aire que pueden producir condensación intersticial y deteriorar así los materiales de construcción.

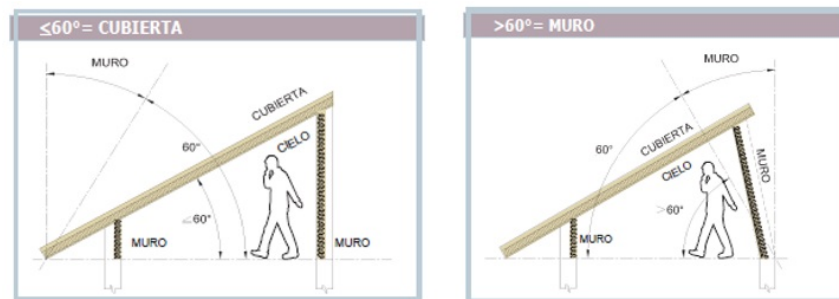


Figura 2.25: Inclinación techo. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Camara de la construcción.

1. Techo. Como se mencionó anteriormente, en las viviendas, se considera techo, a todo elemento que tenga un cielo bajo una inclinación de 60° sobre la horizontal, como se muestra en la figura 2.25 esto dado que el flujo térmico cambia de ascendente a horizontal cuando el ángulo es mayor a 60° .

Se distinguen dos tipos de techo, los techos fríos son aquellos en los que existe una habitación sin uso entre el ambiente habitado y el cielo, el llamado “entretecho”, mientras que los techos calientes son aquellos donde no existe un espacio ultimo entre la superficie del cielo interior y el techo tipo mansarda.

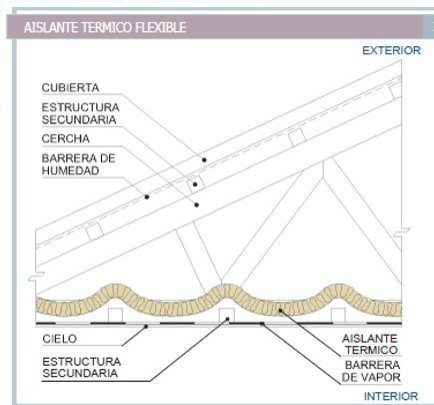


Figura 2.26: Aislante térmico flexible en techumbre. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Camara de la construcción.

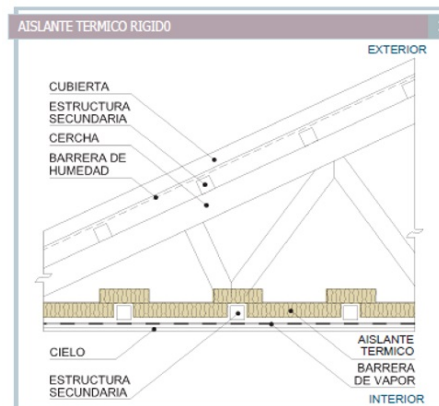


Figura 2.27: Aislante térmico rígido en techumbre. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Camara de la construcción.

Las figuras 2.26 y 2.27 muestran tipos de aplicación de aislante térmico a techos fríos con cerchas, mientras que las figura 2.28 y 2.29 muestra un tipo de aislación a un techo

caliente o de vigas a la vista.

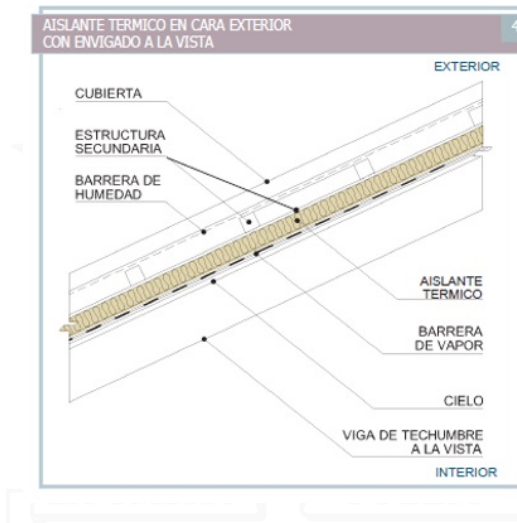


Figura 2.28: Aislante térmico en cara exterior en techumbre vigas a la vista. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Cámara de la construcción.

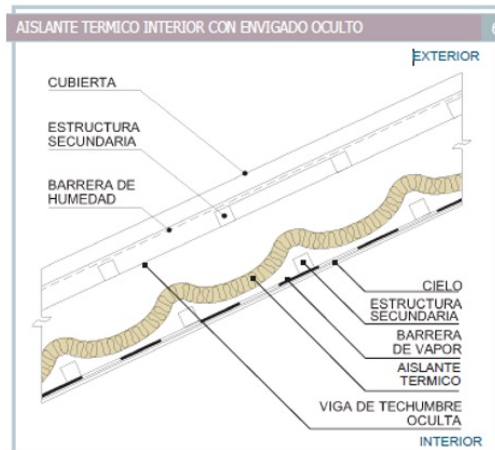


Figura 2.29: Aislante térmico en cara interior en techumbre vigas ocultas. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Cámara de la construcción.

2. Piso ventilado. El piso es la superficie que divide la vivienda del terreno natural, este al igual que la techumbre se puede dividir en dos tipos, los pisos tipo losa y los pisos con viga, o denominados pisos ventilados. (figura 2.30).

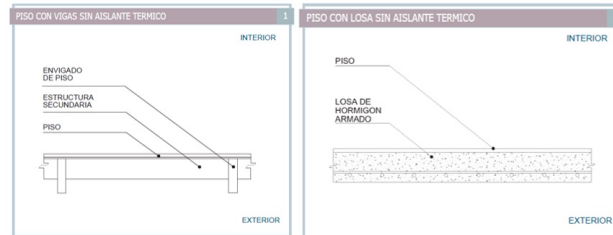


Figura 2.30: Piso con vigas y losa sin aislante térmico. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Cámara de la construcción.

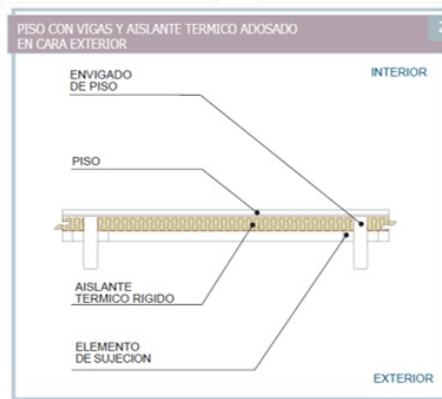


Figura 2.31: Piso con vigas y aislante térmico adosado en cara exterior. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente.

Es importante considerar los costos de instalación que tienen las medidas de reacondicionamiento térmico relacionadas con el piso, ya que resulta muy difícil, por ejemplo, agregar una capa de aislante bajo un piso de losa ya construido, este tipo de soluciones debe ser consideradas en la fase de diseño y construcción de los edificios. Las figuras 2.31 y 2.32 muestran la aplicación de aislante térmico en pisos con vigas.



Figura 2.32: Piso con vigas y aislante térmico confinado en cara exterior. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Camara de la construcción.

3. Muros. La forma más común y recurrente de construcción a lo largo del país, es la construcción de muros de tabiquería de madera o fierro. Existiendo también muros de albañilería en ladrillo o bloques de hormigón y muros de hormigón armado, la ubicación y forma de instalación de alguna solución depende del tipo de construcción que tenga. Las figuras 2.33 y 2.34 muestran la aplicación de aislante térmico en muros de hormigón y albañilería.

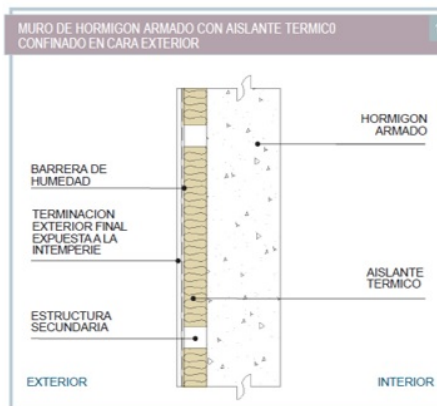


Figura 2.33: Muro de hormigón armado con aislante confinado en cara exterior. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Camara de la construcción.

4. Ventanas. Normalmente en las construcciones se distinguen tres tipos de ventanas, estas son la ventana con vidriado simple, la ventana con doble vidriado hermético (DVH) y la doble ventana de vidriado simple. Su capacidad de aislación depende principalmente del espesor de la hoja utilizada. La materialidad del marco de la ventana también influye



Figura 2.34: Muro de hormigón armado con aislante adosado en cara interior. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Cámara de la construcción.

en su capacidad de aislación térmica, estos por lo general son de aluminio o madera, la aplicación interior de cortinas burletes y contraventanas mejora su capacidad de aislación térmica. Las Figuras 2.35 y 2.36 muestran las configuraciones de los tipos de ventana.

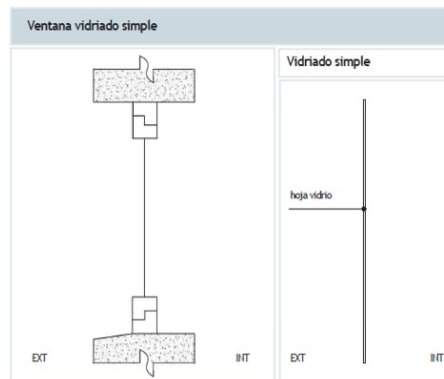


Figura 2.35: Ventana vidrio simple. Fuente: Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Cámara de la construcción.

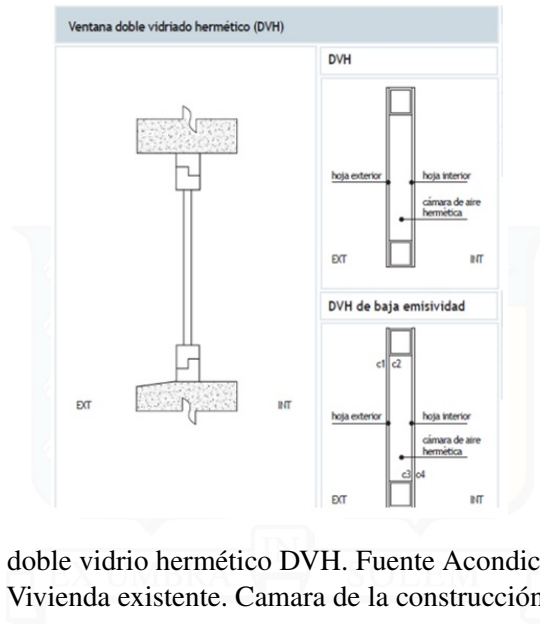


Figura 2.36: Ventana doble vidrio hermético DVH. Fuente Acondicionamiento Térmico de Vivienda existente. Cámara de la construcción.

2.3.3.2. Infiltraciones de aire.

Las infiltraciones de aire se generan cuando existen imperfecciones en las terminaciones de la vivienda por defectuosas contrucciones e instalaciones o grietas producto del deterioro natural y el transcurso de los años en la construcción. Estas infiltraciones producen circulación del aire al interior de la vivienda, afectando la temperatura y al confort. Hay que verificar todas las esquinas y uniones, repararlas utilizando sellantes de calidad en toda junta donde se encuentren distintos materiales o elementos, además hay que considerar la permeabilidad de estos, por ejemplo, en bordes de puertas y ventanas.

En las ventanas y puertas la principal causa de infiltración es por un mal sello y terminaciones, para esto se recomienda aplicar sellos de silicona o burletes. La doble entrada tipo zaguán, mejora la protección de las puertas de una vivienda, generando un pequeño habitáculo que además de mejorar la aislación de la puerta, permite mejorar la seguridad del acceso a la vivienda. El uso de cortinas y protecciones en forma de aleros generalmente mejora la protección en estos elementos.

En el trabajo expuesto en el Manual de Hermeticidad al Aire de Edificaciones (2014), se indica que en zonas ventosas las infiltraciones llegan a representar el 60 % de la demanda total para acondicionamiento térmico.

2.3.3.3. Ventilación.

La idea de una buena ventilación es aquella que logra una efectiva renovación del aire interior sin generar mayor pérdida de calor. Es imprescindible considerar la ventilación en el sistema de acondicionamiento de una vivienda, todos los recintos de una vivienda como dormitorios, estar, comedor, baños y cocina idealmente deben tener ventanas hacia el exterior, permitiendo una buena ventilación e iluminación natural. En cocinas y baños la generación de vapor de agua producto del uso de los elementos que allí se encuentran aumenta la humedad del aire y con ello la posibilidad de condensación, por esto es necesario instalar campanas y extractores de aire (ventilación mecánica).

2.3.3.4. Sistema de calefacción.

Ante un déficit en el nivel de confort térmico generado por una baja temperatura del ambiente interior, es necesario contar con mecanismos para de calefacción. El sol, la losa radiante y radiadores transmiten calor al ambiente mediante la radiación, esta calienta los cuerpos y muros, manteniendo el aire fresco. Los termo-ventiladores y aires acondicionados transmiten calor al ambiente mediante la convección, calentando el aire interior bastante rápido, sin embargo, este sistema no es muy eficiente ya que parte del calor se pierde por la ventilación. La mayoría de estufas y calefactores transmiten el calor mediante una combinación entre la radiación y la convección. Los sistemas de calefacción que utilizan la combustión suelen aumentar la contaminación del aire interior de la vivienda, producto de la emisión de partículas y gases de combustión, como lo son el vapor de agua y el CO_2 , que combinado con una mala ventilación puede traer serios problemas respiratorios a los habitantes. Esto se puede evitar, seleccionando algún sistema de calefacción limpio o en base a electricidad como los calefactores eléctricos, losa radiante, estufas halógenas e infrarrojas, termo-ventiladores. Es importante tener en consideración la eficiencia energética de los sistemas de calefacción, dado que es aquí donde se genera la utilización de recursos para lograr el nivel de confort deseado.

2.3.3.5. Control solar.

El control natural de la cantidad de radiación solar, principal fuente de energía gratuita y limpia. Es un eficaz método de reacondicionamiento térmico, durante los meses de invierno, en climas donde la radiación solar es suficiente y la vivienda no se encuentra bajo la sombra de otros edificios o elementos geográficos como cerros. Muchas veces las decisiones importantes relacionadas con el control solar son ejecutadas en la fase de diseño de una vivienda, los dormitorios principales, sala de estar y comedor deben tener ventanas orientadas hacia el norte, permitiendo el ingreso de radiación y así lograr el calentamiento natural de los ambientes interiores. El efecto se ve aumentado mientras más elementos de inercia térmica haya al interior de la vivienda, siendo capaz de retener este calor.

2.4. Importancia del reacondicionamiento térmico.

La búsqueda y aplicación de soluciones energéticas trae beneficios económicos para las familias, potenciado por aquellos desarrolladores y comercializadores de tecnología sostenible, ampliando su oferta de valor en torno a materiales y herramientas nuevas y sofisticadas; Esto conlleva a un beneficio social, al mejorar los estándares de confort de las viviendas y mejorar la cultura energética de sus habitantes. El buen uso de la energía además es un beneficio ambiental importante, reduciendo la cantidad de emisiones de CO_2 hacia la atmosfera que actualmente resultan de la utilización de la combustión de combustibles fósiles como principal fuente de obtención de energía.

2.4.1. Eficiencia energética.

Un sistema de vivienda eficiente contempla la entrega de un máximo confort térmico con el menor consumo total de energía, utilizando el mayor rendimiento de los combustibles y la electricidad, con gran sustentabilidad en los medios de calefacción no contaminantes y el uso de energías limpias. La tendencia mundial es a la eficiencia energética a todo nivel. Este aspecto es considerable dentro de la evaluación de la Calificación Energética de Viviendas, integrando el aporte de energía utilizando sistemas solares térmicos de calefacción y agua caliente sanitaria y sistemas de paneles fotovoltaicos para la generación de electricidad.

2.5. Problema de investigación.

2.5.1. Contextualización.

En Chile, debido a la variabilidad de climas existente a lo largo del país, se observan distintos tipos de problemas de habitabilidad, mientras que en la zona centro-sur el principal problema es la falta de aislación térmica, reflejada en los meses de invierno con bajas temperaturas interiores, humedad y condensación, aparición de moho, entre otros; En la zona centro-norte el sobrecalentamiento de viviendas es un problema importante.

2.5.2. Antecedentes de estudio.

2.5.2.1. Antecedentes del proyecto inmobiliario.

La base de estudio de la presente investigación consiste en ejecutar una calificación energética a un conjunto de viviendas. Hay que considerar que actualmente las viviendas no son nuevas y por esto el resultado obtenido puede diferir en cierta manera de su real comportamiento energético, sin embargo, dada la disponibilidad de información (memoria de cálculo y set de planos) se aplicará la evaluación. El estudio se centra en un proyecto inmobiliario de viviendas llamado Villa del mar, con permiso de edificación resuelto en julio del 2011, es un proyecto habitacional de 120 departamentos distribuidos en 6 edificios de 5 pisos de altura. Ubicado en calle PDTE. SALVADOR ALLENDE N° 1135/1115/1190, San Antonio (Figuras 2.37, 2.38 y 2.39). Perteneciente a la Zona térmica 2A.

Los edificios son nombrados edificio A, B, C, D, E y F. (Figuras 2.40, 2.41 y 2.42). En cada piso hay 4 departamentos similares con una superficie total construida de $58,01m^2$, cada uno con tres dormitorios, cocina con logia y calefón, estar-comedor y baño construidos en una estructura de vigas, pilares, muros y losas de hormigón armado. El recinto cuenta además con tres salas de acumulación de basura, dos plazas y juegos infantiles. A los muros perimetrales se les aplica un aislante térmico que consiste en una plancha de yeso cartón, más poliestireno, conocido como POLIGYP, para el cumplimiento de la O.G.U.C Art 4.1.10. letra B, N°4. Solución planteada en el Listado Oficial de Soluciones Constructivas

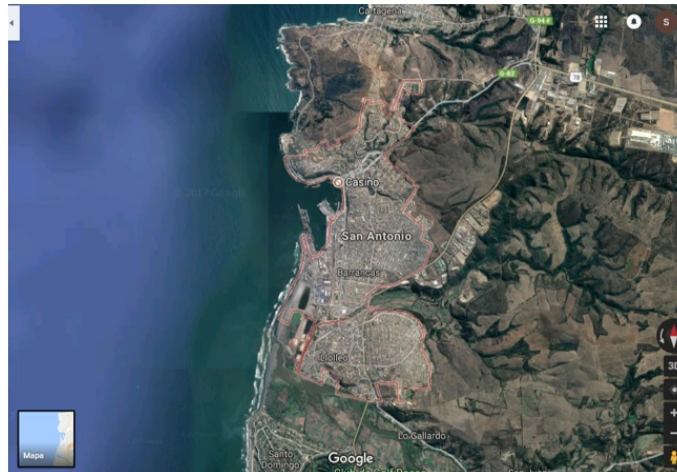


Figura 2.37: San Antonio, Chile. Fuente: Google Maps.

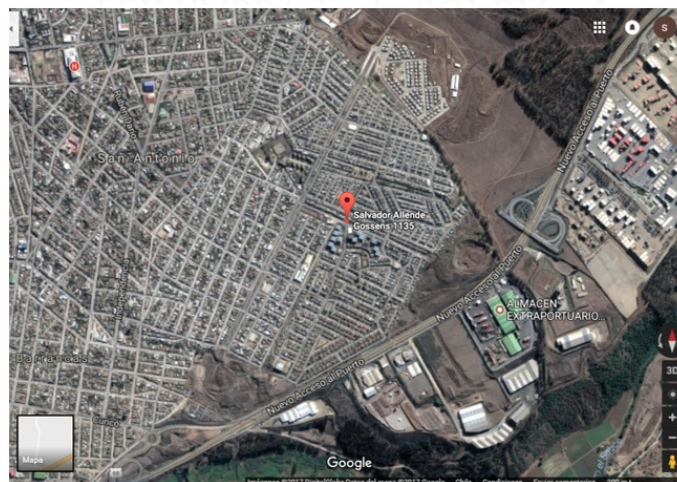


Figura 2.38: Salvador Allende 1135, San Antonio, Chile. Fuente: Google Maps.

para Acondicionamiento Térmico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo Anexo. Con losas de 14 cm para cumplir con la norma en la O.G.U.C. Art. 4.1.6 N° 4 letra A sobre aislación acústica.

2.5.2.2. Dimensiones de la vivienda

Se mide el área interior habitable utilizando las cotas del respectivo plano (figura 2.43), sin considerar el área de los muros exteriores ni el área correspondiente al balcón del departamento. El área del piso es de $53,20815m^2$. Se determina la altura del departamento desde el suelo hasta el cielo del mismo, siendo esta $2,3m$. Resultando así un volumen de $122,4m^3$. El área, altura y volumen son los mismos para los 120 departamentos.

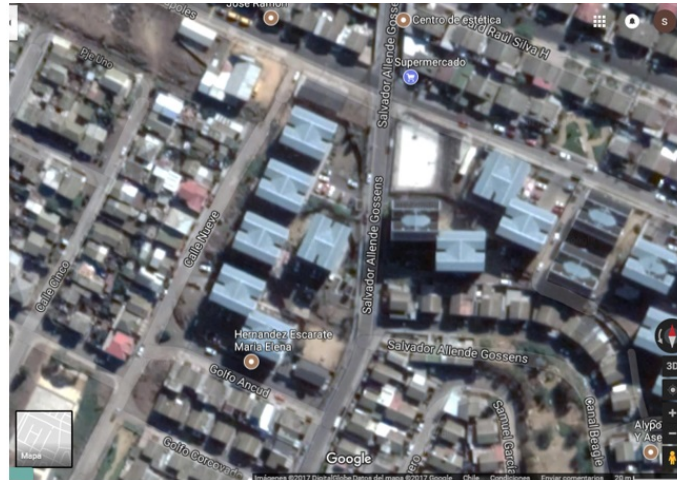


Figura 2.39: Vista al conjunto de viviendas. Fuente: Google Maps.



Figura 2.40: Vista hacia el edificio A. Fuente: Google Maps.

2.5.2.3. Características térmicas de la envolvente.

Se individualizan los elementos de la envolvente según lo indica la Herramienta Excel de la CEV.

Puertas: Puerta principal tipo P1, con 2,025m de alto y 0,8m de ancho, área 1,62m², espesor de 0,45m con chapa de terciado, con dos ventilaciones de área 0,0625m² ubicadas cada una a 0,125m del canto superior e inferior de la puerta. Se utiliza el valor de transmitancia térmica máxima permitida según la norma NCh3137. Su valor correspondiente a la zona térmica es de 1,20W/m²K.

Ventanas: Tres ventanas del tipo VIa con un vano de 1,35m de alto y 1,1m de ancho, área 1,485m² cada una, marco de aluminio con una hoja corredera de vidrio monolítico espesor de 3mm. Para el quinto piso las tres ventanas son del tipo VI con un vano de 1,075m de alto y 1,1m de ancho, área 1,1825m² cada una, marco de aluminio con una hoja



Figura 2.41: Vista hacia el edificio F y D. Fuente: Google Maps.



Figura 2.42: Vista hacia el edificio E. Fuente: Google Maps.

corredera de vidrio monolítico de espesor de $3mm$. La transmitancia térmica de la ventana se calcula mediante el Modo 2 del Manual de Procedimiento CEV. Teniendo esta un valor de $5,33W/m^2K$.

Un ventanal del tipo $V2a$ con un vano de $2,2m$ de alto y $2,56m$ de ancho, área de $5,632m^2$, marco de aluminio y una hoja corredera de vidrio monolítico de $5mm$ de espesor. Para el quinto piso el ventanal es del tipo $V2$ con un vano de $1,925m$ de alto y $2,56m$ de ancho, área $4,928m^2$, marco de aluminio con una hoja corredera de vidrio monolítico de $5mm$ de espesor. La transmitancia térmica del ventanal se calcula mediante el Modo 2 del Manual de Procedimiento CEV. Teniendo esta un valor de $5,33W/m^2K$.

Una ventana de baño tipo $V3$ con un vano de $0,65m$ de alto y $0,45m$ de ancho, área $0,2925m^2$, marco de aluminio con hoja fija con celosía de dos aspas y vidrio de fantasía. La transmitancia térmica de la ventana se calcula mediante el Modo 2 del Manual de Procedimiento CEV. Teniendo esta un valor de $5,8W/m^2K$.

Una ventana de loggia tipo $V4b$, con un vano de $1,875m$ de alto y $1m$ de ancho, área $1,875m^2$, marco de acero fijo con celosía. La transmitancia térmica de la ventana se

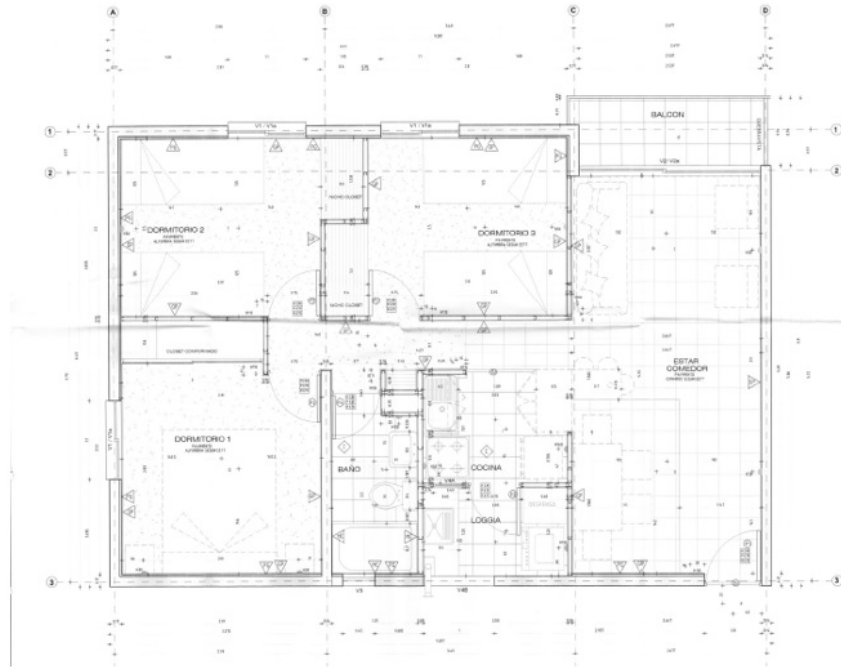


Figura 2.43: Plano unidad habitacional. Fuente: Set de mapas proyecto.

calcula mediante el Modo 2 del Manual de Procedimiento CEV. Teniendo esta un valor de $5,8W/m^2K$.

Se deben formar dos grupos de ventanas para cada departamento, se identifica la existencia de 4 tipos de ventana, el Manual de procedimiento del sistema CEV indica que el primer grupo debe ser el que represente una mayor área, mientras que el segundo grupo debe contener la suma de las superficies restantes y la transmitancia promedio ponderada (Figura 2.44).

Grupos	Composición	Área Dptos. piso 1 al 4	Transmitancia térmica	Área Dptos. Piso 5	Transmitancia térmica
Ventanas 1	V2a, V2	5,632	5,33	4,928	5,33
Ventanas 2	3*V1a+V3+V4b, 3*V1+V3+V4b	6,6225	5,4838	5,715	6,083

Figura 2.44: Grupos del complejo de ventanas Fuente: Creación propia.

Ventana en el techo: No presenta ventanas en el techo.

Piso ventilado: No presenta piso ventilado.

Muros: Se divide la vivienda en tres ejes longitudinales (Eje 1, 2 y 3) y tres ejes transversales (Eje A, C, D), con sus respectivas áreas. Es necesario calcular las áreas respecto al área interior de los muros, desde el piso hasta el cielo del recinto, descontando

el área de los vanos.

Eje 1: Corresponde al muro lateral exterior, colindante al interior de la vivienda con los dormitorios 2 y 3. Denominado muro tipo 1 de ancho $6,27m$ y alto $2,3m$. Área total eje 1: $14,421m^2$. Este contiene 2 vanos tipo V1a. Área muro eje 1: $11,451m^2$.

Eje 2: Corresponde al muro del ventanal del balcón. Muro tipo 2, de ancho $2,537m$ y alto $2,3m$. Área total eje 2: $5,8351m^2$. Contiene un vano tipo V2a. Área muro eje 2: $0,2031m^2$.

Eje 3: Corresponde al muro lateral interior, colindante al interior de la vivienda con el dormitorio 1, baño, loggia y estar-comedor y al exterior con el pasillo abierto de escaleras. Es importante destacar que en la sección de la loggia el muro no presenta aislante térmico, por lo tanto, se considera otro “tipo” de muro. Muro tipo 1 de ancho $6,887m$ y alto $2,3m$. Área total eje 3 muro tipo 1: $15,8401m^2$. Contiene un vano tipo V3 y un vano tipo P1. Área muro tipo 1 eje 3: $13,9276m^2$. Muro tipo 2 de ancho $2,09m$ y alto $2,3m$. Área total eje 3 muro tipo 2: $4,807m^2$. Contiene un vano tipo V4b. Área muro tipo 2 eje 3: $2,932m^2$.

Eje A: Corresponde al muro frontal exterior, colindante al interior de la vivienda con el dormitorio 1 y 2. Muro tipo 1 de ancho $6,09m$ y alto $2,3m$. Área total eje A: $14,007m^2$. Contiene un vano tipo V1a. Área muro eje A: $12,522m^2$.

Eje C: Corresponde al muro lateral del balcón. Muro tipo 1 de ancho $0,4m$ y alto $2,3m$. Área total eje C: $0,92m^2$. No contiene vanos. Área muro eje C: $0,92m^2$.

Eje D: Corresponde al muro divisor entre departamentos contiguos. No se considera parte de la envolvente.

El complejo de muros es de hormigón armado de $0,14m$ de espesor con una solución aislante compuesta de una plancha de yeso cartón de $0,01m$ de espesor más poliestireno expandido de $0,02m$ de espesor llamado POLIGYP. La transmitancia térmica del complejo se obtiene mediante el Modo 3 Manual de Procedimiento CEV, utilizando una solución inscrita en el Listado Oficial de Soluciones Constructiva para Acondicionamiento Térmico del MINVU. En consecuencia, la transmitancia térmica para el muro tipo 1 es de $1,27W/m^2K$ y la transmitancia térmica para el muro tipo 2 se obtiene mediante el Modo 1, aplicando el cálculo de transmitancia térmica utilizando los valores del anexo A de la norma NCh853. Así la transmitancia térmica para el muro tipo 2 de $3,0W/m^2K$.

$$R_T = R_{Volcanita} + R_{Aislaglass} = \frac{e_{Volcanita}}{\lambda_{Volcanita}} + \frac{e_{Aislaglass}}{\lambda_{Aislaglass}} = \frac{0.01}{0.23} + \frac{0.061}{0.041} = 1.531278$$

$$U_T = 0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Figura 2.45: Resistencia termica techumbre. Fuente: Creación propia.

Los siguientes elementos de la envolvente, se deben considerar especialmente para la calificación de ciertos departamentos dentro del complejo. En el caso del techo, este se debe incluir en la calificación de los departamentos del quinto piso de cada edificio y en el caso del piso en contacto con el terreno, este debe ser incluido en la calificación de los departamentos del primer piso de cada edificio. Los departamentos interiores, considerando piso 2, 3 y 4, solo están compuestos por puertas, complejo de muros y complejo de ventanas.

Techo: La estructura de techumbre es de piezas de madera de pino impregnado, con cerchas que sostienen un cielo de planchas de Volcanita de 10mm de espesor. La cubierta es de fibrocemento de espesor 4mm con caballete de fierro galvanizado de 50cm de desarrollo traslapado 25cm con la plancha de cubierta. El aislante térmico es Aislaglass en paneles con densidad de 14kg/m^3 de espesor 61mm indicado para la zona térmica 2, colocado sobre el listonado de soporte. La transmitancia térmica del completo de techumbre se obtiene mediante el Modo 3 Manual de Procedimiento CEV, utilizando una solución inscrita en el Listado Oficial de Soluciones Constructiva para Acondicionamiento Térmico del MINVU. Este indica que su coeficiente de conductividad térmica (λ) es de $0,041\text{W/mK}$. Se calcula la R_t de la solución del complejo de techumbre en la figura 2.45. El área del techo es la misma área habitable de la vivienda, $53,20815\text{m}^2$.

Piso en contacto con terreno: El piso tiene un perímetro exterior de 31,434m. Indica una solución en base a ripio de 8cm de espesor, con una lámina de polietileno de 0,2mm con retorno, se considera “piso medianamente aislado y se utiliza el valor de referencia de la figura 2.24, con transmitancia térmica igual a $1,2\text{W/mK}$.

2.5.2.4. Ventanas (sombreamiento y orientación).

Se calcula la orientación, área, factor solar y factor de marco para el complejo de ventanas. Este consta de 6 ventanas por departamento, siendo un total de 720 ventanas.

Orientación: Se utiliza la figura 2.46 para calcular el rango de alcance por orientación,

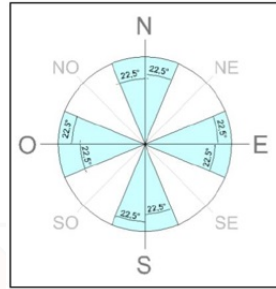


Figura 2.46: Rango por orientación. Fuente: Curso evaluadores energéticos SCEV.MINVU.

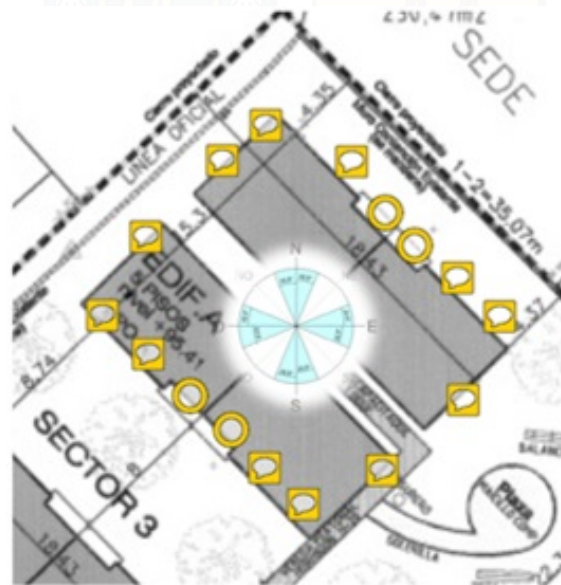


Figura 2.47: Rango de orientaciones edificio A. Fuente: Creación propia.

sobreponiéndola a la recta normal exterior de cada ventana. La recta normal de cada ventana tiene la misma orientación que la recta normal del muro en el que se encuentra dicha ventana, de este modo, se identifica la orientación del muro y la cantidad de ventanas de cada tipo en él. Existe una orientación similar para las ventanas de los departamentos que limitan exactamente en los pisos superiores (ej. Deptos. 101, 201, 301, 401 y 501). Las ventanas se encuentran en tres grupos, NE/NO, SE/SO y S.

Coefficiente de accesibilidad de la ventana: Se calculan los elementos de sobra local y obstáculos remotos para las ventanas, considerando un cálculo promedio para aquellas orientaciones que contengan más de una ventana.

Aleros superiores (FAVI): Se identifica la existencia de aleros superiores para las ventanas que están bajo los balcones, es decir, para los ventanales (tipo v2/v2a) de los pisos

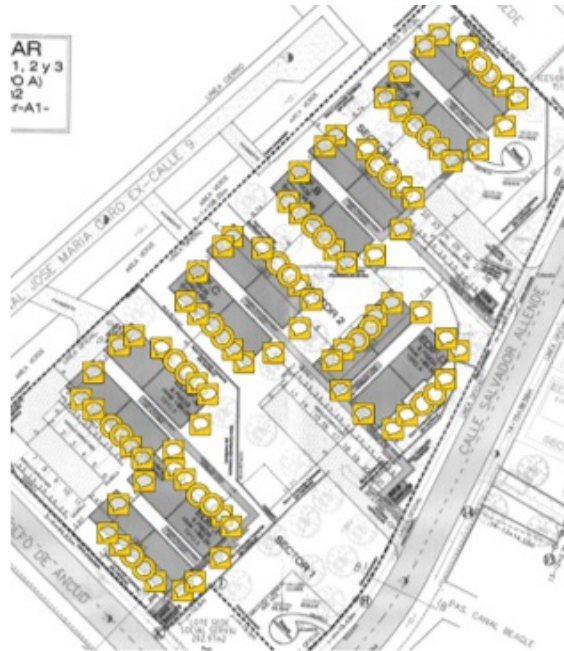


Figura 2.48: Ventanas del complejo de viviendas Fuente Creación propia.

1, 2, 3 y 4. Adicionalmente se identifica la influencia del techo como alero superior, para todas las ventanas de los departamentos del piso 5. Para las ventanas tipo v1 del piso 1, 2, 3 y 4, no existen aleros superiores significativos.

Elementos de sombra verticales (FAV2): La existencia de elementos de sombra vertical influye sobre los ventanales (tipo v2/v2a) de las viviendas, de tal forma que el muro meridiano entre viviendas y el pequeño muro del nicho del balcón generan sombra al ventanal. Existe una consideración especial para los departamentos x03 del edificio F y los departamentos x01 del edificio E ya que las paredes de ambos juegan para el otro, un papel de elemento de sombra lateral.

Lamas (FAV3): No se indica presencia de lamas en el complejo de ventanas.

Factor de accesibilidad respecto a elementos de sombra remotos (FAR): Los edificios generan gran obstrucción entre sí para las ventanas que colindan entre ellos, las ventanas del baño y logia están completamente obstruidas. Con la ayuda de la herramienta computacional Google Maps⁵ se estiman los valores necesarios para calcular los factores por cada ventana. Finalmente, el coeficiente de accesibilidad de la ventana viene dado por la combinación de ambos factores (FAV y FAR).

⁵<https://www.google.cl/maps/@-33.5951305,-71.5974251,205m/data=!3m1!1e3!5m1!1e4?hl=es>



Figura 2.49: Sombras sobre el edificio F. Fuente: Google Maps.

Factor solar: Los vidrios de las ventanas del complejo son todos del tipo monolítico de espesor máximo $5mm$, esto indica que su coeficiente de sombra tiene un valor igual a 1. Siendo así su factor solar 0,87.

Factor de marco: Los marcos de aluminio tienen un sistema de evacuación de aguas lluvias y condensación, para evitar la generación de puentes térmicos. De esta manera se considera un factor de marco para metal con RPT, con un valor de 0,8.

2.5.2.5. Definición de la metodología para el cálculo de la demanda de calefacción.

Se utiliza el cálculo estático para la demanda de calefacción.

2.5.2.6. Resultados del cálculo de la demanda de calefacción + iluminación.

Los resultados obtenidos en esta sección se muestran en el Anexo 1.

2.5.2.7. Definición de equipos y sistemas.

Se evalúan los elementos que influyen en la calificación de arquitectura + equipos + tipo de energía. El diseño de los departamentos solo indica la instalación de un calefón de $10lts$ con exigencia de sello verde.

Sistema de calefacción: Originalmente, los departamentos no consideran un sistema de calefacción integrado, el uso eventual de sistemas de calefacción considera pequeños

equipos localizados como calefactores eléctricos y a combustión, este tipo de sistemas no debe ser considerado. Se ingresa el tipo de energético por defecto (Gas licuado) y las opciones siguientes que indican no tener sistema de calefacción.

Sistema de agua caliente sanitaria: Las viviendas cuentan con un sistema de calefón regular de 10 litros de capacidad, conectado a una red de GLP y una red de distribución sin aislación. Sin estanque de almacenamiento.

Sistema de iluminación: El cálculo correspondiente a la demanda de energía del sistema de iluminación lo realiza automáticamente la herramienta Excel, calculando el promedio de horas al año en que la luz natural no es suficiente para el nivel de iluminación necesario dentro de una vivienda, aproximadamente 300 lux.

Sistema de captación de energías renovables no convencionales: Las viviendas no contemplan sistema de colector solar – térmico.

2.5.2.8. Resultados del consumo de energía de la vivienda.

Los resultados obtenidos en esta sección se encuentran en el Anexo 1.

2.5.2.9. Índice de sobrecalentamiento.

El índice de sobrecalentamiento considera 5 aspectos. En cuanto a materialidad, existen elementos de alta densidad, pero con aislación térmica instalada por el interior y superficie de piso ventilado menor al 30 %, esto corresponde a un valor de 0,5. En cuanto a ventanas, se considera el caso A de ventanas sin protección solar, con un área superior al 20 % del área del piso, corresponde a un valor de 1. En cuanto a ganancias internas, esta depende de la superficie útil, su valor es de 1 para viviendas con piso inferior a $60m^2$. En cuanto a aislación térmica, considera la aislación en ventanas y muros, corresponde un valor de 0,5 para ventanas de vidrio monolítico y aislante en los muros. En cuanto a la ventilación natural, esta depende de la cantidad de ventanas en muros opuestos, su valor correspondiente es de 0 al existir ventanas de más de $1m^2$ en más de 2 muros en general. Finalmente, el índice de sobrecalentamiento resultante para el tipo de departamento estudiado es de 1,73, indicando un riesgo esporádico de sobrecalentamiento.

2.5.3. Problema de habitabilidad.

Existen problemas de habitabilidad y patologías que están directamente relacionadas con las condiciones del ambiente interno de las viviendas. La presencia de humedad puede producir hongos y moho, generando manchas, deterioro en los materiales de la vivienda, gases, mal olor e incluso enfermedades (Figuras 2.50 y 2.51) .

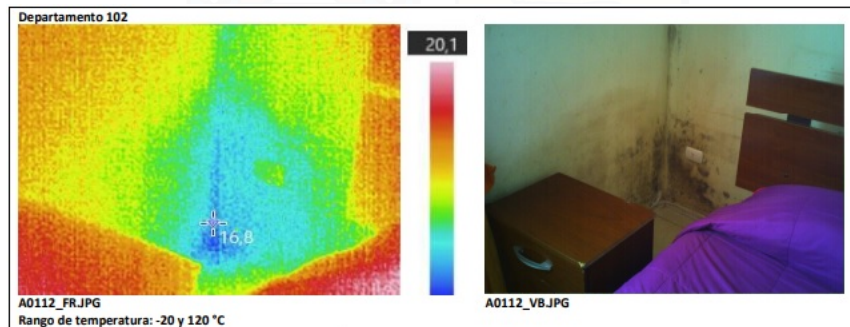


Figura 2.50: Imagen térmica, problema de habitabilidad en piso. Fuente: Informe Comisión Desarrollo Sostenible.

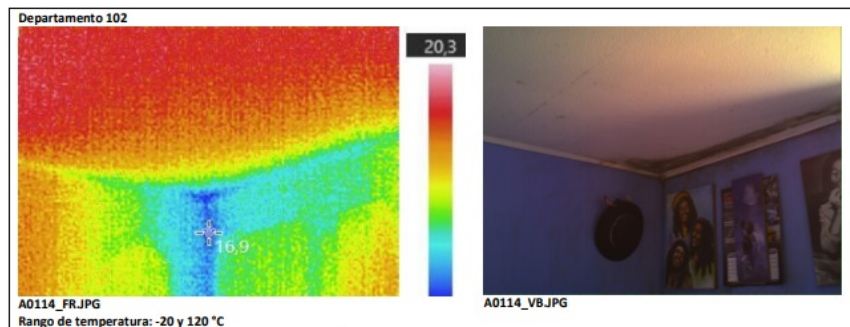


Figura 2.51: Imagen térmica, problema de habitabilidad en techo. Fuente: Informe Comisión Desarrollo Sostenible.

Estos problemas, se generan principalmente en el hormigón y yeso, sin excepción de desarrollarse en cualquier otro material mientras se den las condiciones de humedad, calor y oscuridad que necesitan. Los sitios más propensos a la presencia de hongos en la vivienda son el baño y la cocina, debido a la gran cantidad de vapor de agua que se genera en ellos, seguido de los dormitorios orientados al sur de las viviendas, donde el sol influye en menor cantidad. La mala ventilación y la falta de luz son agravantes en el problema de hongos. L. Rivera (2012) indica en su trabajo de investigación que las enfermedades más comunes generadas por la proliferación de hongos y mohos que liberan esporas al aire son:

- Congestión nasal
- Irritación de la garganta y ojos
- Tos
- Cuadros asmáticos
- Infecciones

Afectando principalmente a bebés, niños, embarazadas, ancianos y personas con enfermedades respiratorias crónicas. Es necesario mencionar lo importante que son los daños en construcciones de hormigón armado producidos por la humedad, cuando esta logra penetrar hasta el armazón de fierro, es capaz de provocar corrosión y con esto fallas estructurales.

Como lo indica M.Muño (2004) en su tesis, “Patologías en la edificación de viviendas sociales, específicamente con la humedad”, los principales problemas se deben a la aparición de grietas o filtraciones en terminaciones, muchas veces producto de una incorrecta instalación de los materiales aislantes, sumada a una deficiente impermeabilización de los espacios habitables. El deterioro de los materiales de construcción producido por el tiempo y el clima, se ve incrementado después de la ocurrencia de temporales y prolongadas lluvias, donde se revelan filtraciones y fallas estructurales provocando en ocasiones, serios daños que damnifican a las personas.

El Grupo de Eficiencia Energética y Sustentabilidad del SERVIU Valparaíso (2016), fue el encargado de realizar un estudio sobre las principales causas del exeso de humedad al interior del conjunto de viviendas analizado, concluyendo que el fenomeno de condensación es debido a altos indices de humedad relativa del aire interior de la vivinda, bajas temperaturas exteriores en las noches y una baja tasa de ventilación durante el día.

La condensación es del tipo intersticial entre el aislante y el muro, se genera en un 31 % del total de horas registradas. Los muros evidencian una deficiente instalación del material aislante y carece de barrera de vapor. La predominancia de orientación sur en los departamentos y la capilaridad del hormigón con el suelo aumentan las posibilidades de formación de moho siendo esta de un 84 % en las horas registradas por el estudio.

3 | Caso aplicado.

3.1. Objetivo principal.

El objetivo principal de esta investigación es aportar a la solución de problemas habitacionales asociados al diseño de la vivienda, mediante una evaluación de proyecto de reacondicionamiento térmico, con la finalidad de entregar información útil para mejorar la calidad de vida de las personas que las habitan.

3.1.1. Objetivos específicos.

Evaluar el confort térmico y desempeño energético actual de las viviendas, mediante la aplicación de la Calificación Energética de Viviendas, para luego definir una situación deseada.

Diseñar propuestas de reacondicionamiento, utilizando las técnicas recomendadas por la bibliografía, que permitan solucionar los problemas de habitabilidad y alcanzar la situación deseada.

Evaluar técnicamente las propuestas de solución, realizando un análisis de factibilidad, para definir los requisitos y condiciones de ejecución.

Evaluar financieramente las propuestas de solución, mediante una inspección en el mercado, para cuantificar la inversión requerida.

Evaluar económicamente los proyectos, considerando los beneficios al reducir problemas de habitabilidad, para reflexionar sobre la oportunidad de ejecución de estos.

3.2. Evaluación energética.

3.2.1. Resultados de la Calificación Energética de Viviendas.

Luego de la aplicación del procedimiento de calificación de eficiencia energética de viviendas, se obtiene los resultados del cálculo de la demanda de energía o etiqueta de arquitectura y los resultados del consumo de energía primaria o etiqueta de arquitectura + equipos + tipo de energía. La evaluación general es una calificación de nivel D, correspondiente a un consumo de energía entre el 60 % y 80 % de la vivienda de referencia. El detalle de los datos se encuentra de manera individual por departamento, de manera grupal por edificio y de manera global. El detalle se muestra en el Anexo 2.

3.2.2. Situación óptima deseada.

Se desea mejorar el desempeño y la evaluación de todas las viviendas como conjunto habitacional.

El consumo de energía de la vivienda y su calificación energética están afectados por diversas variables y características. Las dimensiones de la vivienda, la transmitancia térmica de los elementos de la envolvente (muros, techo, piso), la relación muro ventana, la orientación de las ventanas, el tipo de puerta, el tipo de ventana, los elementos de sombra cercanos y remotos, el uso de distintos sistemas de calefacción, agua caliente sanitaria, aporte de energías renovables. Analizando cada una de ellas se podrá definir el primer paso de la metodología de diagnóstico de reacondicionamiento térmico para posteriormente verificar las mejoras a realizar.

Dimensiones de la vivienda: Variable difícil de influir, involucra ampliaciones del área habitable o altura de la vivienda, generalmente construcciones de mayor envergadura que requieren permisos de edificación.

Transmitancia térmica de los elementos de la envolvente: Una disminución de la transmitancia térmica de los complejos de muros, techumbre y piso ventilado mejoraría el desempeño de la vivienda y su comportamiento térmico. Esto implica una modificación estructural de elementos de la vivienda, el cambio o adición de materiales aislantes térmico

y la gestión necesaria para efectuar de manera correcta la aplicación de la solución de reacondicionamiento.

Relación muro ventana: Dice relación sobre la modificación del área total de vanos de ventana de la vivienda, se modifica agregando o quitando ventanas o modificando el área de estas, implica la modificación estructural de elementos de la vivienda, reemplazo de materiales tanto del complejo de muros como del complejo de ventanas. Hay que tener en consideración el porcentaje máximo de superficie vidriada respecto a los paramentos verticales de la vivienda indicado en la reglamentación nacional.

Orientación de las ventanas: Al igual que la relación muro ventana, la modificación de la orientación de una ventana es un trabajo que comprende al complejo de muros y ventanas. Por lo general estas variables son consideradas en una fase inicial del proyecto de construcción.

Tipo de puerta: Una puerta con menor transmitancia térmica mejora el desempeño de la vivienda, no es muy atractivo debido al costo de las puertas y al poco impacto debido a la reducida área de la puerta respecto a otros elementos.

Tipo de ventanas: La aplicación de DVH doble vidriado hermético mejora el desempeño térmico de la vivienda, esto sumado a una modificación del marco de la misma, sin necesidad de modificar el área del vano.

Elementos de sombra cercanos y remotos: La aplicación de aleros horizontales, verticales o lamas es una solución relativamente simple de realizar, sin embargo, el aspecto de la vivienda se ve modificado siendo difícil de aplicar en edificios de departamentos, recomendable para viviendas individuales, dependiendo de la envergadura de la modificación podría necesitar permisos de edificación. La modificación de elementos de sombra remotos es casi imposible.

Sistemas de calefacción: La presencia de sistemas de calefacción aumenta el consumo energético de la vivienda por lo que disminuye su desempeño. Hay que tener especial cuidado en la elección de un sistema de calefacción como medida de reacondicionamiento térmico, debido a características como la eficiencia, el tipo de energético y la contaminación que éste emite, etc.

Sistema de agua caliente sanitaria: La modificación del sistema de agua caliente

sanitaria en ocasiones se limita por el espacio disponible en la vivienda, la modificación de los equipos y su energético y agregar aislación a la red de distribución aumenta el desempeño de la vivienda.

Energías renovables: La instalación de colectores solares térmicos o fotovoltaicos aporta a disminuir el consumo de energía de la vivienda, siendo capaz de darle autonomía respecto a la red de energía central. Hay que considerar el costo y la ingeniería necesarios para la correcta instalación de estos equipos.

Las soluciones aplicables a departamentos son más restringidas, la mejora de la transmitancia térmica del tipo de puerta, tipo de ventana y complejo de muro, son las alternativas recurrentemente utilizadas. La modificación de los sistemas e inclusión de energías renovables deben considerar al edificio completo como mediante un sistema de distribución, considerado una solución compleja de realizar. Las modificaciones o instalación de aleros agregan elementos estructurales al edificio.

Tomando como referencia el departamento peor evaluado, considerado la máxima brecha de mejora necesaria, se desea que la calificación de este mejore, para esto se requiere de una disminución del total de la energía consumida por la vivienda.

3.2.3. Problemas habitacionales.

El hecho de cumplir con los parámetros que evalúa la CEV no siempre garantiza la solución de los problemas habitacionales, en zonas climáticas con características especiales se debe tener consideración de aquellos problemas más propensos a las viviendas. La incorporación de técnicas de ventilación pasivas o activas mejoran la calidad del aire interior de las viviendas.

3.3. Proyectos de reacondicionamiento térmico.

Las modificaciones se aplican sobre el departamento peor evaluado, el departamento F-501 de área $53,2m^2$, en él se estima un consumo de energía total de $164,4kWh/m^2$ año comparado con un consumo de energía de referencia de $200,6kWh/m^2$ año, obtiene una calificación con nota E equivalente a la mínima resistencia térmica de la envolvente permitido por la normativa nacional. (Ver Anexo 3).

1. La primera modificación es un cambio de vidrio en las ventanas tipo 1 y las ventanas tipo 2, señaladas en la sección 2.5.2.3 *Ventanas*. Para las del tipo 1 se propone la instalación de un doble vidrio hermético de $9mm$ de espesor con marco de aluminio con ruptura de puente térmico ($U = 2,9$) y para las del tipo 2 se propone la instalación de un vidrio simple con marco de PVC ($U = 4,97$).
2. La segunda modificación que se propone es un cambio de vidrio en ventanas tipo 1 y ventanas tipo 2. En todo el complejo de ventanas se propone la instalación de doble vidrio hermético de $12mm$ de espesor con marco de PVC con ruptura de puente térmico ($U = 2,79$).
3. La tercera modificación corresponde al complejo de muros, se propone cambiar el muro tipo 1 agregando Poligyp de $60mm$ de espesor ($U = 0,56$). Para esto es necesario cambiar completamente el actual revestimiento de $20mm$ e instalar el deseado.
4. La cuarta modificación es sobre el muro tipo 1 y muro tipo 2: Para el tipo 1 se propone una modificación agregando Poligyp de $60mm$ de espesor ($U = 0,56$) al igual que para el tipo 2.
5. La quinta modificación es para ventanas y muros: Esta solución propone la instalación de doble vidrio hermético de $12mm$ para ventanas tipo 1 y tipo 2 ($U = 2,79$) y Poligyp de $60mm$ de espesor para muros tipo 1 y tipo 2 ($U = 0,56$) más una barrera de vapor para evitar la ocurrencia de puentes térmicos y condensación intersticial.

6. La sexta modificación considera la aplicación de una solución de reacondicionamiento térmico por el exterior de los muros. La solución consiste en la instalación de una placa de yeso cartón de 10mm de espesor, seguido de soleras de madera con aislante de lana mineral en colchonetas de 50mm de espesor, una capa de fieltro asfáltico como barrera de humedad y un revestimiento de fibrocemento de 8mm de espesor, la solución modifica el valor de la transmitancia de muros tipo 1 y 2 ($U = 0,52$). También considera la instalación de doble vidrio hermético de 12mm para ventanas tipo 1 y tipo 2 ($U = 2,79$).
7. La séptima modificación también considera la aplicación de una solución de reacondicionamiento térmico por el exterior de los muros. La solución consiste en la instalación de una capa de poliestireno expandido de alta densidad de 10mm de espesor, mediante mortero altamente adherente, recubierto por una malla de fibra de vidrio también adherida con mortero. Finalmente un revestimiento de mortero térmico Termoplac. La solución modifica el valor de la transmitancia de muros tipo 1 y 2 ($U = 0,54$). También considera la instalación de doble vidrio hermético de 12mm para ventanas tipo 1 y tipo 2 ($U = 2,79$).

Se realiza una evaluación de la calificación energética que obtendría la vivienda de muestra escogida aplicando cada una de las propuestas, la herramienta permite comparar el consumo de energía estimado de la vivienda con las distintas soluciones. La figura 3.1 muestra una comparación del ahorro en el consumo de energía de calefacción que significaría la aplicación de cada medida. Esto significa una mejora máxima en la calificación energética del departamento de una E a una D.

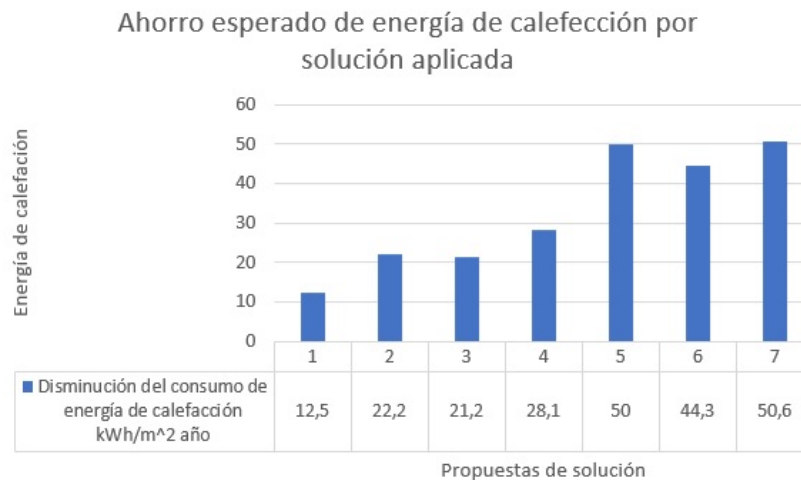


Figura 3.1: Ahorro esperado en el consumo de energía por proyecto de reacondicionamiento.
Fuente: Creación propia

Al ser las viviendas similares en forma y cantidad de ventanas (departamentos gemelos), el impacto de una aplicación resultaría similar en cada uno de los departamentos. El Anexo 4. Muestra la calificación energética que obtendría cada departamento disminuyendo su consumo energético en magnitud similar a la disminución producida por la aplicación de cada una de las soluciones.

Materiales							
Material	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Opción 5	Opción 6	Opción 7
DVH 9mm	✓						
DHV12mm		✓			✓	✓	✓
Vidrio simple	✓						
Poliuretano expandible	✓	✓			✓		
Poligyp 60mm			✓	✓	✓		
Pegamento Romeral			✓	✓	✓		
Masilla			✓	✓	✓		
Remates de carpintería	✓	✓	✓	✓	✓		
Sellante humedad			✓	✓	✓		
Placa yeso carton						✓	
Soleras de madera						✓	
Aislaglass						✓	
Filtro asfáltico						✓	
Revestimiento fibrocemento						✓	
Pintura						✓	✓
Mortero adherente							✓
Poliestireno expandido							✓
Malla de fibra de vidrio							✓
Mortero térmico							✓

Figura 3.2: Materiales según proyecto de reacondicionamiento. Fuente: Creación propia.

3.3.1. Evaluación técnica.

La evaluación técnica es una recopilación de todos los materiales, procesos y herramientas necesarios para realizar el reacondicionamiento térmico de manera correcta. (Figura 3.2)

Para las soluciones que impliquen cambios de ventanas, es necesario tener en consideración: La cantidad y dimensiones de ventanas a instalar, materiales de fijación como tornillos y materiales para sellar la instalación como espuma de poliuretano expandible, herramientas de aplicación como huincha de medir, atornillador eléctrico y pistola de silicona.

Para las soluciones que impliquen un cambio en los muros, es necesario tener en consideración: El área total a intervenir y la cantidad de planchas de Poligyp de 60mm que se necesitan para cubrir dicha área, el pegamento necesario para su instalación, masilla para las juntas, huinchas de fibra de vidrio para los remates de carpintería en los vanos de las ventanas y sellante anti humedad. Herramienta para el corte y modificación de las planchas, herramientas para la manipulación de pegamentos y masillas y aplicación del sellante.

Para la aplicación número 6 de reacondicionamiento por el exterior hay que considerar el área total de muro a cubrir y los materiales necesarios para realizar correctamente la solución de reacondicionamiento, estos son: Plancha de yeso cartón, soleras de madera

rellenas con lana mineral, fieltro asfáltico para evitar filtraciones de humedad, revestimiento de fibrocemento y una capa de pintura impermeable.

Para la aplicación número 7 de reacondicionamiento por el exterior hay que considerar el área total de muro a cubrir y los materiales necesarios para realizar correctamente la solución de reacondicionamiento, estos son: Poliuretano expandido de alta densidad, mortero adherente para la fijación de los elementos, malla de fibra de vidrio, mortero térmico para la terminación y una capa de pintura impermeable.

Es necesario contar con un equipo de personas expertas en el trabajo, aplicar todas las medidas de seguridad necesarias durante el proceso de remodelación, contar con las herramientas indicadas y el transporte de los materiales.

3.3.2. Evaluación financiera.

Se realiza una evaluación de costos de los materiales necesarios para la realización de cada una de las opciones de solución de reacondicionamiento. Determinando el valor unitario por material, se logra determinar el valor de cada aplicación. Se considera una inversión necesaria en herramientas igual al 30 % del costo de materiales de cada solución, un 10 % del costo de materiales de cada solución en implementos de seguridad y un 50 % del costo de materiales de cada solución en mano de obra.

La figura 3.3. Compara el costo de aplicación de cada medida y la cantidad de kWh/m^2 año ahorrados, mientras que la figura 3.4 muestra lo que cuesta reducir el consumo energético en $1kWh/m^2$ año según cada aplicación, definiéndola como el costo unitario de mejorar según la aplicación.

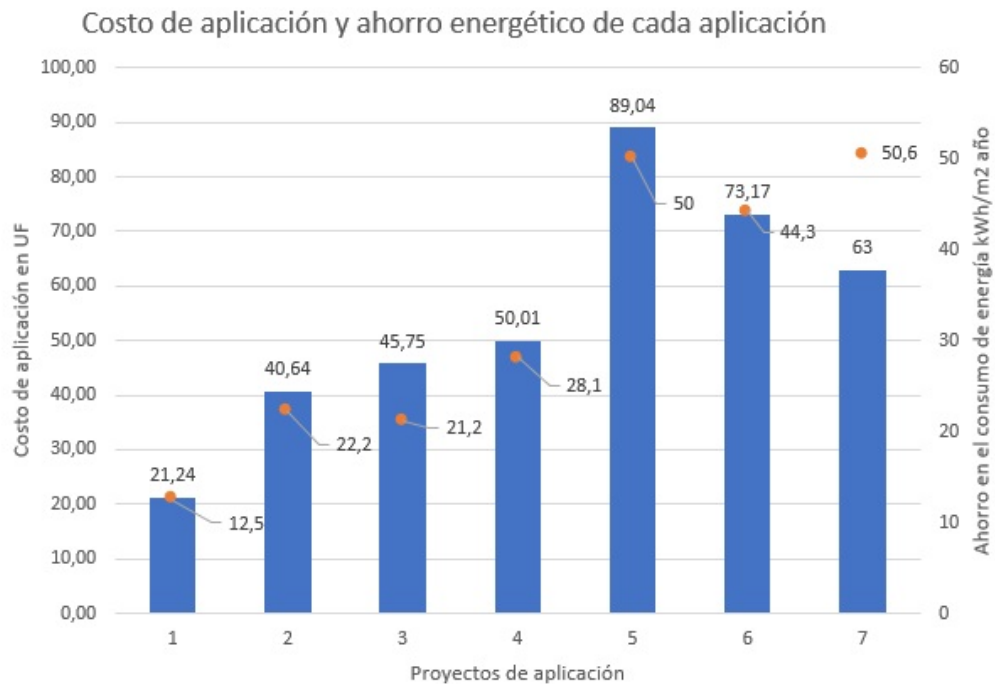


Figura 3.3: Costo de aplicación y ahorro energético por aplicación. Fuente: Creación propia.

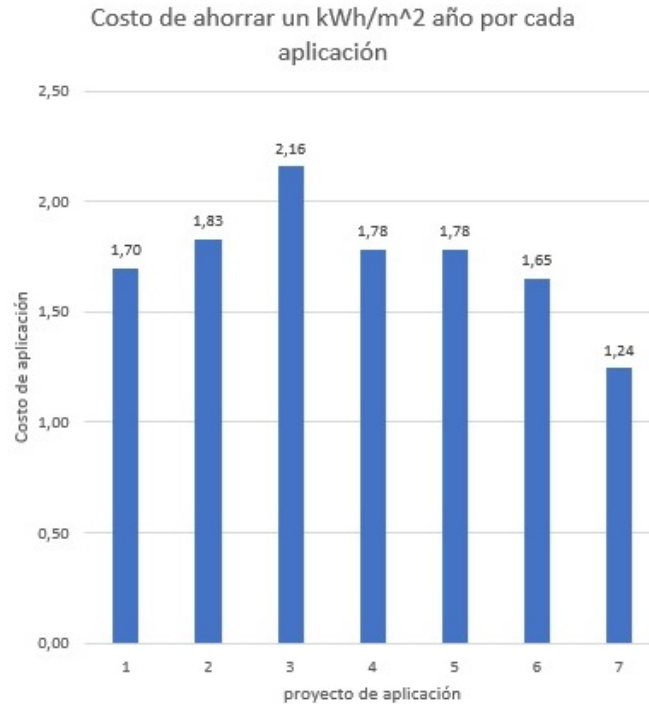


Figura 3.4: Costo de ahorro energético unitario por aplicación. Fuente: Creación propia.

El Anexo 5. Muestra la evaluación de proyectos de reacondicionamiento.

Se calcula el costo de aplicar estas medidas a cada uno de los 120 departamentos del recinto. La aplicación de algún proyecto de reacondicionamiento a la totalidad de departamentos produce efectos sinérgicos en cuanto a la reducción total de la cantidad de energía consumida estimada. Ya que el nivel de mejora estimado por aplicación, sobre departamentos mejor evaluados inicialmente que el de referencia, podría ser mayor a lo calculado. La figura 3.5. Muestra el valor total en UF de aplicar cada medida en el complejo y el porcentaje que significa la inversión en el reacondicionamiento térmico respecto al costo total de construcción de los departamentos.

Costos de Inversión en todo el complejo

UF	\$	27.184			
Costo Edificación		89.655,24			
Aplicación	Costo por depto	Costo implementación total	UF	% respecto a Inversión	
1	\$ 577.292	\$ 69.275.046	2548,38	2,84%	
2	\$ 1.104.707	\$ 132.564.843	4876,58	5,44%	
3	\$ 1.243.601	\$ 149.232.069	5489,70	6,12%	
4	\$ 1.359.563	\$ 163.147.584	6001,60	6,69%	
5	\$ 2.420.460	\$ 290.455.203	10684,79	11,92%	
6	\$ 1.989.030	\$ 238.683.562	8780,30	9,79%	
7	\$ 1.709.199	\$ 205.103.925	7545,02	8,42%	

Figura 3.5: Costo implementación total por proyecto y su ahorro total de consumo estimado.
Fuente: Creación propia.

3.3.3. Evaluación económica.

Con la finalidad de sensibilizar el impacto económico de la inversión en alguna de las alternativas de reacondicionamiento térmico, se cuantifica el costo de ahorro energético utilizando el costo de 1 kWh de energía eléctrica. Para viviendas cuya tarificación sea del nivel BT1A. La compañía Chilquinta S.A. indica que el cargo por energía es de alrededor de 100 pesos el kWh.

Al combinar esta información con la cantidad de total de energía ahorrada al aplicar cada proyecto de reacondicionamiento térmico a un departameto, se obtiene el monto correspondiente al ahorro de energía por año. Se evalúa con un valor de 90 y 120 pesos el kWh de energía eléctrica y se calcula en promedio los años de retorno de la inversión.(Figura 3.6)

Otra comparación interesante para los dueños de casa, se realiza conociendo el poder calorífico del kerosen o parafina, este es 9,58kWh/litro. La figura 3.7 muestra la cantidad de litros de kerosen que se ahorraría anualmente de acuerdo a la aplicación de cada proyecto.

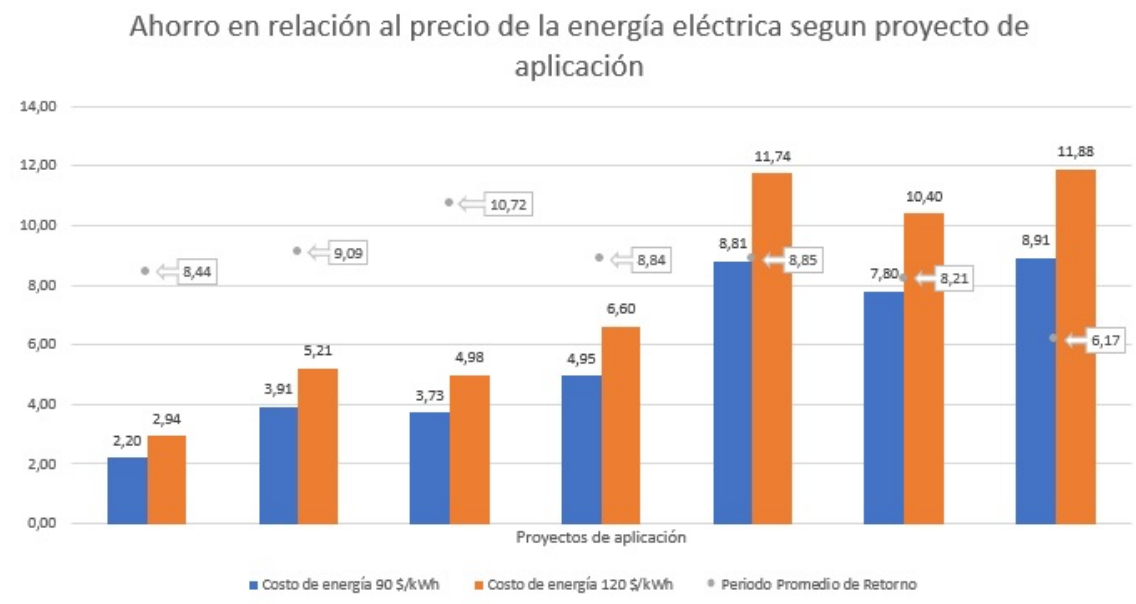


Figura 3.6: Ahorro energético y años de retorno de inversión. Fuente: Creación propia.

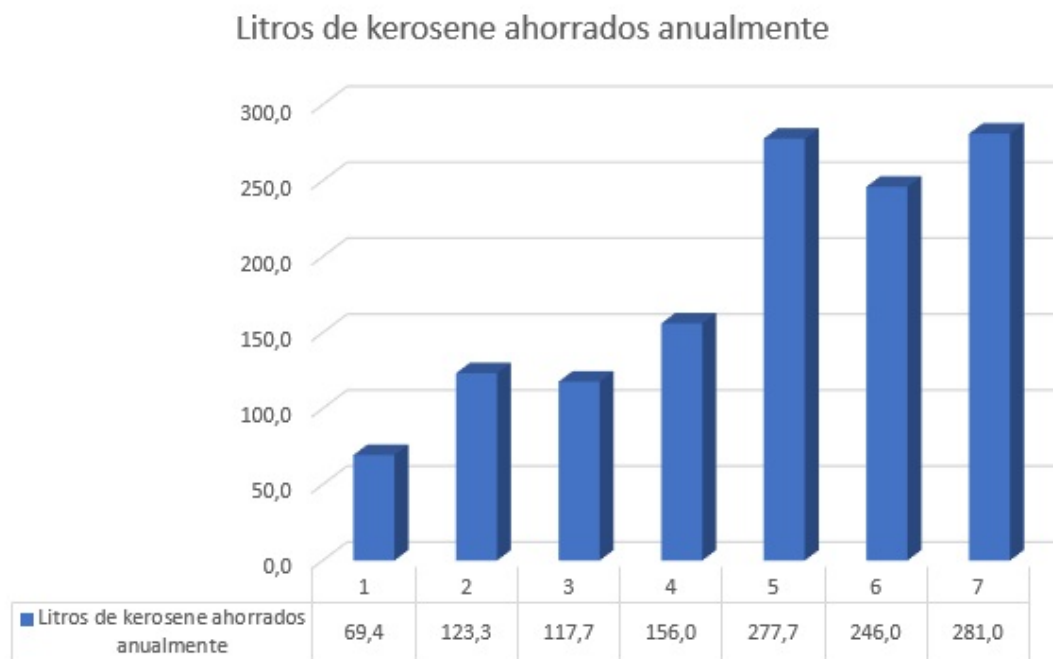


Figura 3.7: Ahorro en litros de gasolina equivalentes. Fuente: Creación propia.

3.4. Conclusiones.

3.4.1. Conclusiones generales.

Luego de conocer las partes que componen la envolvente una vivienda y entender los fenómenos físicos de transferencia de calor que influyen sobre ella, se logra comprender la importancia de las propiedades térmicas de los elementos de construcción y como estos influyen sobre el confort térmico de las personas que habitan estas viviendas.

Al observar la importancia de las decisiones de un país respecto al uso de la energía, en el transcurso de la historia y con el avance de la tecnología se han modificado las normativas térmicas. Con seguridad, la normativa seguirá modificándose hasta lograr mejores estándares de construcción en el país. Esto aclara la oportunidad para profesionales de especializarse en lo que el confort térmico y eficiencia energética respecta. Para así realizar mejores construcciones, considerando las medidas de acondicionamiento térmico desde el inicio de las ideas y los proyectos de construcción.

Estudios teóricos y prácticos han intentado estandarizar el confort térmico, diversas normas y estándares internacionales lo regulan. En este caso, la Calificación Energética de Viviendas es un modelo que logra una buena estimación del consumo de energía de la vivienda, mediante un procedimiento simplificado de mediciones. Es importante el manejo del procedimiento de aplicación del sistema, este conocimiento es visto como una ventaja competitiva en el campo laboral de un ingeniero civil industrial.

La variabilidad y espontaneidad de los factores que influyen sobre el real consumo de energía y real eficiencia energética de la vivienda en todo momento la hacen prácticamente imposible de calcular con exactitud, sin embargo, los valores obtenidos son una buena referencia a su valor real.

Al observar la distribución de los departamentos, se logra identificar una falla en su diseño en cuanto a la orientación de las ventanas. Éstas no priorizan la orientación norte, posible causa de su deficitaria calificación energética. Al no aprovechar bien los patrones naturales de sol, aumenta la posibilidad de retención de humedad y proliferación de hongos y bacterias que deterioran los materiales de construcción. La importancia que tienen los

elementos de sombra locales y remotos en la incidencia de la radiación y las ganancias solares es considerable, los departamentos afectados por la sombra del techo del edificio tienen un rendimiento menor a los de los pisos inferiores.

Se concluye que la causa principal del déficit de confort térmico y problemas de habitabilidad, parece ser la sinergia generada por la sumatoria de efectos causados por el alto porcentaje de humedad relativa en el ambiente propio de la zona de San Antonio y un deficiente diseño arquitectónico de baja aislación térmica sin ventilación y un alto nivel de sombra.

3.4.2. Conclusiones respecto a la evaluación energética de las viviendas.

Luego de la aplicación de la calificación energética al conjunto de viviendas, se observa que la mayoría de las viviendas obtienen una calificación D, incluso algunas obtienen una calificación E. Esta calificación es considerada insuficiente para brindar un nivel de confort óptimo al desarrollo de las personas. Sin embargo, cumple con la normativa térmica actual vigente en el país. Un desafío de la administración social es la actualización de esta norma y asegurar óptimas condiciones de construcción y vivienda.

La aplicación de mejoras tanto en muros como en la superficie vidriada genera sustanciales mejoras respecto al consumo de energía de la vivienda. Al aplicar algún proyecto de reacondicionamiento a la totalidad de viviendas, se genera una mejora de incluso 2 niveles en la escala de la Calificación Energética de Viviendas de algunos departamentos.

La magnitud de la inversión en los proyectos de reacondicionamiento térmico, alcanza el orden del 11 % respecto al costo total de inversión necesario para la edificación de las viviendas. Esta inversión supone un ahorro futuro en energía. Al cuantificar este ahorro se calcula un periodo de retorno de la inversión de entre los 6 y 10 años. A pesar de ser un periodo de tiempo relativamente extenso, se esperan beneficios adicionales tanto para las personas como para el planeta al reducir la energía consumida y la contaminación que esto significa. Es prácticamente invaluable para la salud humana, mejorar la calidad de vida.

3.5. Reflexión y recomendaciones.

Con lo evidenciado en este estudio, se vuelve urgente realizar un estudio de confort térmico y rendimiento energético a todos los proyectos y viviendas del país. La tecnología brinda la capacidad de ser completamente eficientes a la hora de diseñar un hábitat donde proliferar la vida, convirtiendo a la aislación térmica y el aporte de energías renovables en solución al problema de la escasez energética.

La aplicación de cualquier proyecto de reacondicionamiento térmico debe considerar la calidad de la instalación como un punto crítico dentro del proceso. De esta depende la vida útil que tengan los materiales. Se debe evitar la generación de puentes térmicos que son verdaderas fugas de calor, donde se pierde la energía. Los métodos de reacondicionamiento térmico por el exterior de muros son los indicados para ello.

Actualmente existe una oferta de variedad de materiales aislantes con un precio relativamente elevado, encareciendo los proyectos. Un desarrollo de este mercado acercaría la tecnología a las personas quienes incorporaran el reacondicionamiento térmico a su presupuesto de vida.

Se recomienda evaluar la instalación de sistemas de energía solar centrales por edificio o conjunto de viviendas, las instalaciones de paneles fotovoltaicos aportarían energía a todos los departamentos del edificio y mejoraría su calificación.

Finalmente, es agradable pensar e imaginar el día en que cada vivienda tenga un desempeño térmico óptimo y su consumo energético esté sustentado completamente mediante la incorporación de energías limpias con un diseño que optimice su rendimiento.

4 | referencias.

Cámara Chilena de la Construcción. (2015). *Manual Acondicionamiento Térmico: Criterios de Intervención*. Santiago, Chile: Autor.

Chávez Del Valle, F. J. (2002). *Zona variable de confort térmico*. Universitat Politècnica de Catalunya.

Fanger, P. O. (1973). *Thermal Comfort analysis and applications in environmental engineering*. New York: Mac Graw Hill.

Iso, E. (2005). 7730: *Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*.

Ministerio de energía. (2016). *Energía 2050: Política Energética de Chile*. Santiago, Chile: Autor.

Ministerio de energía. (2017). *Balance Nacional de Energía 2015*. Santiago, Chile: Autor.

Ministerio de energía. (2017). *Anuario Estadístico de Energía 2016*. Santiago, Chile. Autor.

Ministerio de vivienda y urbanismo. (2009). *Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la vivienda social*. Santiago, Chile: Autor.

Muñoz, M. (2004). *Patologías en la edificación de viviendas sociales, especialmente con la humedad*. (Memoria para optar al título de constructor civil) Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile: Autor.

Rivera, L. (2012). *Recomendaciones para la prevención y solución de la humedad por condensación en viviendas*. (Memoria para optar al título de ingeniero civil) Universidad de Chile, Santiago, Chile: Autor.

Standard, A.S.H.R.A.E. (2010). *55-2010: Thermal environmental conditions for human occupancy*.

Trebilcock M., Bobadilla A., Muñoz C., Espinoza R., Fritz A., Fookes J., ..., Jerez H. (2014). *Manual de hermeticidad al aire de edificaciones*. Concepción, Chile: Ediciones Universidad del Bío-Bío.

Anexos

Anexo 1: Resultados CEV por departamento

Este anexo digital se encuentra en el CD Evaluación de proyecto de reacondicionamiento térmico en una vivienda social tipo. Contiene los valores obtenidos de las variables utilizadas para la generación de las Calificaciones Energéticas y los resultados de esta para cada departamento.

Anexo 2: Resultados CEV por edificio

Este anexo digital se encuentra en el CD Evaluación de proyecto de reacondicionamiento térmico en una vivienda social tipo. Contiene los valores de la Calificación Energética de cada edificio como conjunto de departamentos y de la totalidad del complejo de viviendas.

Anexo 3: CEV Departamento F-501

Este anexo digital se encuentra en el CD Evaluación de proyecto de reacondicionamiento térmico en una vivienda social tipo. Contiene el detalle de la Calificación Energética del departamento F-501, el departamento peor evaluado del complejo, al cual se le aplican los proyectos de reacondicionamiento térmico.

Anexo 4: Impacto en el consumo energético por la aplicación de cada propuesta

Este anexo digital se encuentra en el CD Evaluación de proyecto de reacondicionamiento térmico en una vivienda social tipo. Contiene el consumo final de energía, el coeficiente C y la nota de calificación que cada departamento obtendría si redujera su consumo en la misma magnitud que reduce la aplicación de cada medida de reacondicionamiento térmico sobre el departamento de prueba F-501.

Anexo 5: Análisis económico de proyectos de reacondicionamiento térmico

Este anexo digital se encuentra en el CD Evaluación de proyecto de reacondicionamiento térmico en una vivienda social tipo. Contiene una evaluación de costos de cada propuesta de reacondicionamiento térmico y un análisis económico donde se cuantifica los beneficios de implementación de cada propuesta.