





EDIFICIOS PREFABRICADOS EN CHILE: DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO A 40 AÑOS DE SU CONSTRUCCIÓN. CASO DE ESTUDIO: EDIFICIOS KPD, SANTIAGO DE CHILE.

Recibido 29/08/2020
Aceptado 16/12/2020

PREFABRICATED BUILDINGS IN CHILE: ENERGY DIAGNOSIS, 40 YEARS
AFTER THEIR CONSTRUCTION. CASE STUDY: KPD BUILDINGS, SANTIAGO
DE CHILE.

KARIN PAMELA VÁSQUEZ MANQUIÁN

Magíster en Eficiencia Energética y Sustentabilidad mención Edificación
Académico del Departamento de Ciencias de la Construcción,
Facultad de Ciencias de la Construcción y Ordenamiento Territorial
Universidad Tecnológica Metropolitana
Santiago, Chile
<https://orcid.org/0000-0002-1335-9624>
k.vasquezm@utem.cl

ALEJANDRA VERÓNICA DECINTI WEISS

Magíster en Eficiencia Energética y Sustentabilidad mención Edificación
Académico del Departamento de Ciencias de la Construcción,
Facultad de Ciencias de la Construcción y Ordenamiento Territorial
Universidad Tecnológica Metropolitana
Santiago, Chile
<https://orcid.org/0000-0002-3847-1487>
adecinti@utem.cl

MARCO ANTONIO DÍAZ HUENCHUAN

Magíster en Eficiencia Energética y Sustentabilidad mención Edificación
Académico del Departamento de Ciencias de la Construcción,
Facultad de Ciencias de la Construcción y Ordenamiento Territorial
Universidad Tecnológica Metropolitana
Santiago, Chile
<https://orcid.org/0000-0001-9410-5986>
marco.diaz@utem.cl

RESUMEN

Los edificios KPD son construcciones habitacionales sencillas y discretas, pero emblemáticas en Chile. Su recorrido histórico por este país inicia con un terremoto y se entrelaza con los antagónicos gobiernos de Salvador Allende y Augusto Pinochet. Estas construcciones han permanecido ajenas a las actualizaciones de la reglamentación térmica, pasando a formar parte del extenso parque habitacional construido que necesita ser diagnosticado energéticamente, para alinearlo a las exigencias térmicas nacionales y, de ese modo, mejorar la calidad de vida de sus habitantes y aportar a la carbono-neutralidad ya comprometida por Chile. Este artículo presenta un estudio de caso de evaluación de confort térmico en un conjunto habitacional de edificios KPD, ubicado en la Región Metropolitana. En concreto, se analizan cuatro edificios, idénticos en materialidad y distribución, pero con diferentes orientaciones. La metodología de evaluación consideró un triple enfoque: normativo, de etiquetado y subjetivo; e involucra a los habitantes en el diagnóstico, quienes constante e inexplicablemente, han quedado marginados en el análisis de sus propias viviendas. Los resultados del estudio han evidenciado discrepancias entre la percepción de los residentes y el rango de confort que utiliza la calificación energética nacional vigente.

Palabras clave

confort térmico, etiquetado energético, vivienda social

ABSTRACT

KPD residential buildings, although simple and discrete, are emblematic of Chile. Their story in this country starts with an earthquake and is intertwined with the antagonistic governments of Salvador Allende and Augusto Pinochet. These buildings have remained outside current thermal regulations, and have become part of an extensive built housing stock that need to be diagnosed in terms of energy, to align them with domestic thermal requirements and, in this way, improve the quality of life of their inhabitants and contribute to what Chile has already committed to in terms of carbon neutrality. This article presents a thermal comfort evaluation case study of a KPD residential building complex in the Metropolitan Region. Concretely, four buildings are analyzed, each with the same materials and distribution, but with different orientations. The evaluation methodology considered a three-fold approach: regulatory, labeling and subjective and involved their inhabitants in the diagnosis, who had constantly and inexplicably been marginalized in previous analyses of their own homes. The results show discrepancies between the residents' perception and the comfort range used by the current energy rating system in Chile.

Keywords

thermal comfort, energy labeling, social housing

INTRODUCCIÓN

La historia de la KPD en Chile comienza el 8 de julio de 1971, durante el gobierno del presidente Salvador Allende, día en que un terremoto 7,7 Richter destruyó más de 20 mil viviendas. A raíz de ello, la Ex Unión Soviética donó al país una planta de paneles prefabricados de hormigón, incluyendo las maquinarias y asesoría técnica. La fábrica se instaló en Quilpué y se llamó K.P.D. (KrupnoPanelnoyde Domostroyenie), que significa "Panel de Concreto Grande" en ruso.

Los técnicos rusos trabajaron en la puesta en marcha y capacitación de los trabajadores chilenos, por lo que "desde un punto de vista técnico, la planta constituyó para Chile una experiencia única por tratarse de prefabricación pesada avanzada que incorporaba tecnologías nuevas con alto porcentaje de mecanización y automatización, tanto en la producción como el montaje" (Bravo Heitmann, 1996, p. 14).

La KPD se convirtió así en la mayor industria de prefabricación pesada de viviendas del país, capaz de producir 2.000 viviendas por año, ya que los paneles en hormigón integraban dentro de sus componentes todas las canalizaciones y anclajes para su ensamblaje en obra.

Una vez ocurrido el Golpe de Estado, en 1973, la planta fue allanada, se expulsaron a los técnicos soviéticos y se despidió al personal chileno. Posteriormente, estos últimos fueron recontratados, ya que solo ellos estaban capacitados para hacer producir a la fábrica, la que entonces pasó a llamarse VEP, Viviendas Económicas Prefabricadas El Belloto, y funcionó hasta el año 1981. En total, se llegaron a construir 153 edificios de departamentos, ubicados en Viña del Mar, Quilpué y Santiago (Brignardello Valdivia, 2017)

Por otro lado, actualmente el consumo energético residencial en Chile, considerando el uso final que se da a la energía, determina que un 53% viene destinado a calefacción y climatización (Corporación de Desarrollo Tecnológico, In-Data - CDT, 2019), por lo que no es de extrañar que la "Hoja de ruta" establecida por el Ministerio de Energía detecte como brecha en el sector residencial que "El nivel de confort energético, principalmente respecto a la calidad térmica que se experimenta en las edificaciones, es bajo o inexistente. Adicionalmente –y debido a lo anterior–, el consumo energético en las edificaciones en el país es ineficiente" (Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2015, p. 48). La Fundación Europea por el Clima en su último estudio plantea que, para lograr la descarbonización del 100% del sector de la construcción residencial, se requieren políticas en cinco áreas, siendo la primera una mejora en la envolvente de edificios nuevos y existentes (CE Delft, 2020), por lo que el acondicionar dicho parque de viviendas pasa a ser prioritario dentro de la agenda país para dar cumplimiento a los acuerdos pactados en la reciente COP25, donde de manera voluntaria Chile se

compromete a la carbono-neutralidad para el año 2050 (United Nations Climate Change, 2019).

Estas emblemáticas construcciones forman parte del 67% de viviendas construidas antes del año 2000, cuando Chile no contaba con una normativa de exigencias de acondicionamiento térmico (Energy 2 Business SpA, 2020, p. 55), de manera que realizar un diagnóstico de su desempeño energético adquiere relevancia en la medida en que contribuye a visibilizar el problema de confort térmico que afecta a las viviendas sociales del país.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Una vivienda debe ofrecer al morador condiciones de habitabilidad y confort en su interior, sin embargo, esta no constituye un elemento aislado, se enmarca dentro de un lugar, con un clima y una geografía determinados, donde construcciones y actividades vecinas también interactúan y pueden condicionar nuestro confort y la habitabilidad de dicha vivienda.

La descripción de confort es amplia y presenta varias discrepancias. Para este estudio se considera "confort térmico" el estado que describe un equilibrio de factores ambientales y personales que hacen que una persona se sienta satisfecha y cómoda en su entorno térmico (Nicol y Roaf, 2017).

El confort térmico va más allá de una mera satisfacción: la temperatura al interior de una vivienda debe ser suficiente para proteger a los residentes de los efectos nocivos para la salud. En países con climas templados o fríos, se ha propuesto los 18°C como una temperatura interior segura y bien equilibrada para proteger salud de la población en general durante las estaciones frías (World Health Organization [WHO], 2018), lo cual se relaciona con lo afirmado por Howden-Chapman, Roebbel y Chisholm (2017) quienes confirman que los hogares fríos contribuyen al exceso de mortalidad invernal y a morbilidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Otros autores suman a lo anterior la salud mental, ya que la combinación de restricciones económicas y condiciones de vida frías y húmedas conduce directamente a problemas de salud física y estrés, el que una vez activado, junto con la ansiedad y la distorsión del estado anímico, opera globalmente, pudiendo afectar las funciones inmunes, cardiovasculares y hormonales (Liddell y Guiney, 2015).

Contrariamente a lo que pueda parecer en primera instancia, el tener viviendas frías no es exclusivo de climas severos, como evidencia el artículo de Daniel, Baker y Williamson (2019) contextualizado en Australia, que plantea que, aunque las temperaturas externas están lejos de ser extremadamente frías, las temperaturas internas se hallan bajo los estándares y no son satisfactorias para los ocupantes que, la mayoría de las veces, quisieran mayores temperaturas en su hogar. Esta situación se repite en el sur de España, donde un monitoreo en tres viviendas

sociales de edificios multifamiliares construidos antes de las reglamentaciones térmicas arrojó resultados similares, con sobre el 90% de horas fuera de la banda de confort (Escandón, Suárez y Sendra, 2017).

Por consiguiente, se presenta un doble problema: por una parte, un elevado consumo de energía para mantener temperaturas de confort en viviendas deficientes y, por otra, viviendas fuera de confort por la imposibilidad de las familias que las habitan de solventar este gasto. Ambas situaciones repercuten de manera negativa en la sociedad, ya sea generando emisiones por sobre lo admisible, o bien, mermando la salud de los habitantes, lo que impacta en los ya sobre-exigidos establecimientos de salud.

ESTADO DEL ARTE

La vivienda nueva es una demanda constante. En efecto, se estima que se necesitan mil millones de viviendas nuevas en todo el mundo para 2025 (United Nations Human Settlements Programme, UN-Habitat, 2016), lo que se agrega a la necesidad de disminuir y optimizar los consumos energéticos. Es por esto que a nivel mundial los países implementan reglamentaciones térmicas obligatorias hace ya varios años y proliferan numerosas certificaciones energéticas para los nuevos hogares, incorporándose además estrategias pasivas en los diseños; todo en busca de una mayor eficiencia. La vivienda existente también deberá alinearse a este escenario.

MARCO LEGAL EN CHILE

En materia de reglamentación térmica, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, en adelante OGUC (Gobierno de Chile, 1992) impone los requisitos para envolvente opaca y traslúcida, y organiza el país en zonas térmicas. La zonificación a la que hace referencia la OGUC es una zonificación térmica, basada en grados día de calefacción (Ministerio de Vivienda y Urbanismo [MINVU] e Instituto de la Construcción, 2006, p. 8)

Estas exigencias, indicadas en el Artículo 4.1.10, han sido progresivas: la primera fue establecida en el año 2000, donde se definió la obligatoriedad de aislación térmica en techumbre; luego, en el año 2007, se incorporó a las exigencias el resto de la envolvente, abarcando muros, pisos ventilados y ventanas. En noviembre de 2015, se añade el Artículo 4.1.10 Bis, en el que se establece que los Planes de Prevención y/o Descontaminación Atmosférica prevalecen por sobre la Ordenanza. Estos planes son instrumentos de gestión ambiental tienen por finalidad reducir los niveles de contaminación. En la actualidad, existen 15 planes vigentes en Chile, en 10 de los cuales se considera el mejoramiento de la eficiencia térmica en las viviendas, por lo que sus exigencias superan las dictadas por la OGUC (Ministerio del Medio Ambiente, 2020).

Con respecto a viviendas existentes, y en cuanto a materia normativa, los mencionados requerimientos solo se aplican

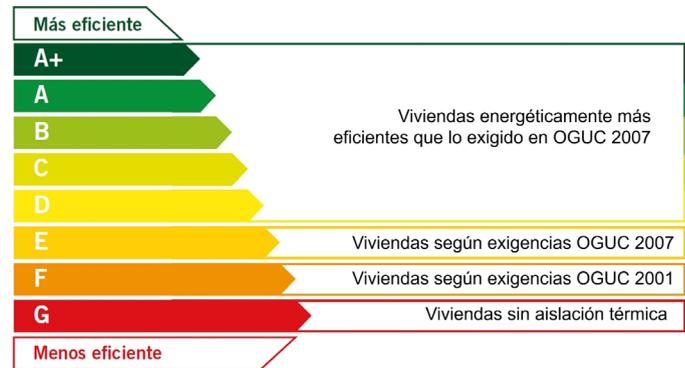


Figura 1. Relación entre etiquetas CEV y la reglamentación térmica nacional. Fuente: Elaboración de los autores en base a Manual CEV (MINVU, 2019).

en caso de ampliación, ya que al tramitar un permiso de construcción es necesario ingresar a la municipalidad respectiva el formulario de acreditación de cumplimiento para normativa de Acondicionamiento Térmico AT-01, en el que se detallan los requisitos a cumplir por la envolvente según la zona térmica y las soluciones constructivas utilizadas para esto, anexando memorias de cálculo, certificados de ensayos, fichas y planos que correspondan.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS (CEV).

La Calificación Energética de Viviendas, en adelante CEV, es un instrumento desarrollado en conjunto por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo y el Ministerio de Energía, vigente desde el año 2012, que hoy se encuentra en su versión 2.2. La CEV está diseñada para el territorio nacional, es aplicable a viviendas nuevas y existentes y se autodefine como una "evaluación objetiva y estandarizada que permite conocer y optimizar el requerimiento energético de una vivienda" (MINVU, 2019). Mediante ella, se busca que la eficiencia energética se transforme en un factor importante para la oferta y la demanda en viviendas, a través de un lenguaje atractivo para el consumidor final.

La CEV emite un informe de calificación energética y una etiqueta de eficiencia energética que entrega, entre otros, los siguientes indicadores:

- Demanda y consumo de calefacción [kWh/ m² año],
- Demanda y consumo de refrigeración [kWh/ m² año]
- Horas de desconfort, sobre y bajo la banda de confort (HD(+)), [h]

Las etiquetas en cambio poseen ocho niveles, desde la "A+" a la "G", los cuales se hallan vinculados a las etapas de la reglamentación térmica nacional, tal como se aprecia en la Figura 1.

Estas etiquetas son el resultado de una estimación teórica de los requerimientos de energía para calefacción,

enfriamiento, agua caliente sanitaria e iluminación de una vivienda en Chile. En ese marco, el sistema CEV trabaja con planillas de balance térmico dinámico llamadas PBDT, las que realizan un balance térmico cada 60 segundos, evaluando la temperatura al interior del recinto, con base en los flujos de las distintas variables de entrada.

Las variables consideradas son:

- Cargas internas: corresponden a potencias tabuladas.
- Radiación: datos climáticos de la zona, que consideran obstrucciones cercanas y lejanas.
- Envoltente: corresponde a la transferencia de calor asociada a esta.
- Infiltraciones: corresponden a renovaciones de aire por infiltraciones (RAH). tabuladas (Universidad del Bío-Bío, Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción, CITEC UBB, Dirección de Extensión en Construcción, DECON UC, 2014).
- Ventilación: renovaciones de aire hora o tasa de ventilación.
- Puentes térmicos: Corresponden a coeficientes de transmitancia [U] asociados a distintos puentes térmicos.
- Inercia térmica: Corresponden a valores tabulados para distintas materialidades.

Estos elementos son evaluados y comparados con una vivienda de referencia calificada con la letra E, que corresponde al estándar actual de construcción, es decir, normado según la OGUC. Es importante destacar que las demandas de referencia son diferentes para viviendas unifamiliares y multifamiliares, denominadas casas y departamentos, respectivamente.

DISEÑO V/S OPERACIÓN

Las certificaciones energéticas y los reacondicionamientos térmicos de viviendas, vienen implementándose hace un tiempo en distintas partes del mundo, acumulando así evidencias y experiencias que abren paso al análisis y al debate.

Así, Ramos, Gago, Labandeira y Linares (2015) afirman que en el rubro residencial las soluciones convencionales de eficiencia energética como las normas de construcción o estándares elevados, no están siendo efectivas, dado que este sector está aumentando su consumo en la mayoría de los países, lo cual se puede atribuir a un problema de comportamiento y de información. Evaluaciones en terreno están encontrando diferencias de hasta 2,5 veces en los ahorros proyectados en energía, de manera que queda cuestionado el enfoque económico de las políticas de eficiencia energética, que las asume como inversiones beneficiosas que se pagan por sí mismas. Los modelos de ingeniería en que tales políticas se basan están siendo desmentidos por la evidencia (Fowlie, Greenstone y Wolfram, 2015), en especial cuando el consumo de energía del edificio después de

la ocupación difiere notablemente del diseñado. En ese sentido, se han registrado muchos edificios ecológicos que ahorran menos energía de lo esperado, a partir de lo cual se ha llegado incluso a postular que no se puede observar una relación clara entre el uso real de energía y el nivel de certificación de los edificios (Geng, Ji, Wa, Lin y Zhu, 2019).

EL FACTOR USUARIO

La vivienda es un elemento diseñado por una persona, pero utilizada por otra y, desde ese punto de vista, la experiencia del usuario con respecto a la operación de dicha vivienda es muy relevante. A la hora de recabar información el habitante podrá señalar realmente cómo funciona la vivienda en operación. Sin embargo, pocas veces este es interpelado con esos propósitos, quedando fuera de la evaluación de su propia residencia. En algunos estudios de caso se ha evidenciado que para lograr condiciones de confort se depende, en gran medida, de la voluntad y capacidad de los usuarios, por lo que debe existir una correcta interacción entre clima, edificio y usuarios que actualmente no se ve en curso (Serghides, Dimitriou, Kyprinou y Papanicolas, 2017).

El rol protagónico de los hábitos de los usuarios en la demanda energética del hogar es un hecho, siendo el manejo ineficiente de los sistemas una importante fuente de desperdicio de energía (Cottone, Gaglio, Lo Re y Ortolani, 2015), por lo que debiera existir de parte de los profesionales de la construcción una transferencia de estrategias operativas al habitante para mermar las diferencias entre el diseño de un proyecto y su evaluación posterior al uso. Efectivamente, en el control personal se encuentran las mayores oportunidades en cuanto a rendimiento energético y satisfacción con el entorno interior (Altomonte, Schiavon y Ken, 2019). En este contexto, el modelo adaptativo es el que mayores ventajas obtendría con la interacción con el usuario (Bienvenido-Huertas, Rubio-Bellido, Pérez-Fargallo y Pulido-Arcas, 2020).

La importancia de incluir a los habitantes en las mejoras energéticas de sus viviendas se evidencia en un estudio de caso realizado en México, que revela que al confrontar viviendas nuevas con aislamiento y mejoras de eficiencia energética v/s otras sin estas características, no se alcanzaron las estimaciones previstas en disminución de consumos, lo cual se adjudicó al comportamiento humano. De esta forma, se alerta sobre la urgencia de incorporar este factor en los modelos utilizados (Davis, Martínez y Taboada, 2020). La educación en materia de energía es compleja ya que se revelan deficiencias en las investigaciones realizadas en alfabetización energética que impiden comparaciones directas y que no logran ser un aporte a las autoridades políticas en materias de educación a los usuarios en la conservación y gestión de la energía doméstica (Van den Broek, 2019).

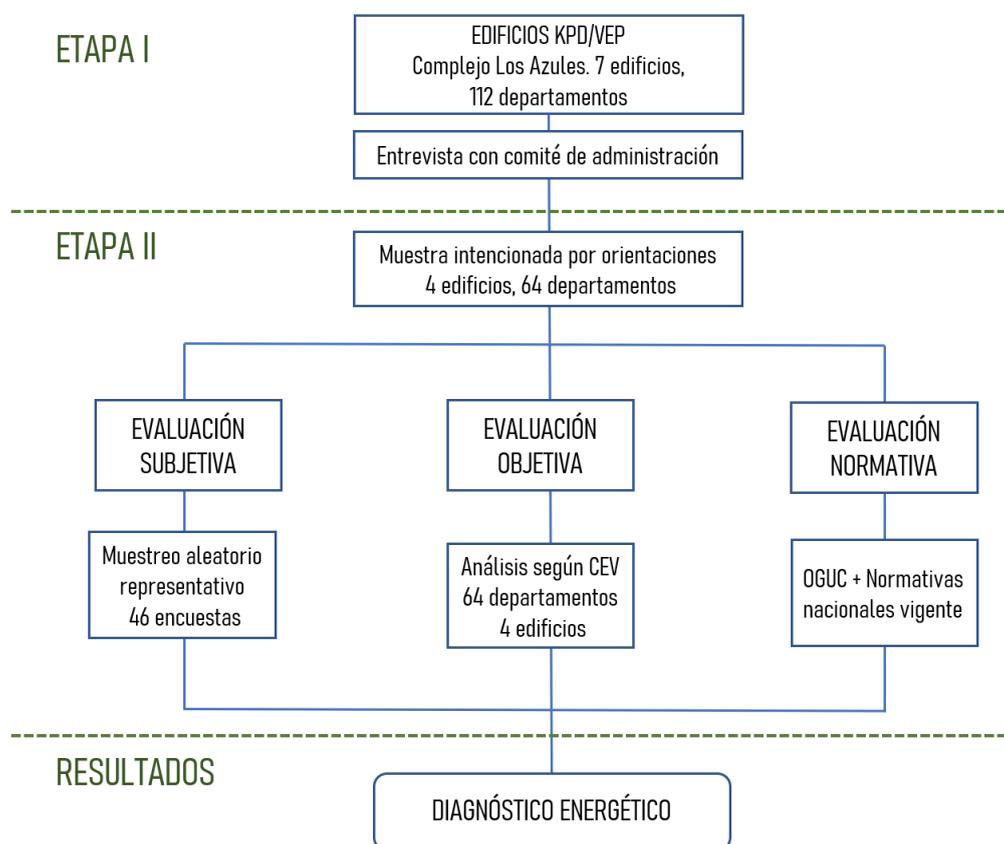


Figura 2: Esquema metodología de diagnóstico. Fuente: Elaboración de los autores.

Es preciso señalar que también existen discrepancias entre encuestas y monitoreos, las que se intentan explicar por una errada ubicación de los sensores o por las variaciones de temperatura, lo cual causaría una disconformidad superior a la esperada (Díaz Lozano Vakalis, Touchiea, Tzekovac y Siegela, 2018).

METODOLOGÍA

La metodología de diagnóstico contempló dos etapas, cuyo esquema puede verse en la Figura 2. La primera etapa correspondió a la recopilación de antecedentes técnicos, para lo cual se escogió una construcción representativa, llevándose a cabo una entrevista con el comité de administración del condominio, quienes aportaron la información inicial y, luego, con el evaluador, que otorga información complementaria. Recopilados los datos, se inició la segunda etapa, que correspondió al análisis del desempeño energético en tres frentes: normativo, que establece el grado de cumplimiento de lo dispuesto en la OGUC y que conlleva la verificación de envolvente translúcida y opaca, donde se utiliza la normativa vigente para el cálculo de transmitancias (Instituto Nacional de Normalización [INN], 2007); de etiquetado, que utiliza la herramienta CEV y que permite evaluar el desempeño energético en forma indirecta; y, de percepción, que posibilita la inclusión del punto de

vista del habitante, lo que es relevante para evidenciar la concordancia (o la incoherencia) de los resultados de la herramienta de calificación energética. En virtud de los resultados de este triple enfoque, se obtuvo el diagnóstico térmico del conjunto habitacional.

CASO DE ESTUDIO

El condominio objeto de este estudio se denomina “Conjunto Los Azules”, se encuentra en la región Metropolitana, en Santiago, comuna de Macul, y fue construido el año 1979, por VEP.

ANTECEDENTES TÉCNICOS

EMPLAZAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN

El “Conjunto Los Azules” se ubica en Avenida Quilín, entre las calles Castillo Urizar y General Óscar Bonilla, comuna de Macul, en la Ciudad de Santiago de Chile y lo componen siete edificios idénticos. La Figura 3 muestra una vista general del conjunto.

Cada edificio consta de cuatro pisos, una planta de 32 x 10 m y una altura aproximada de 12 m, además de dos escaleras y cuatro departamentos por nivel, que suman 16



Figura 3. Vista general del conjunto habitacional "Conjunto Los Azules". Fuente: Elaboración de los autores en base a Google Earth.

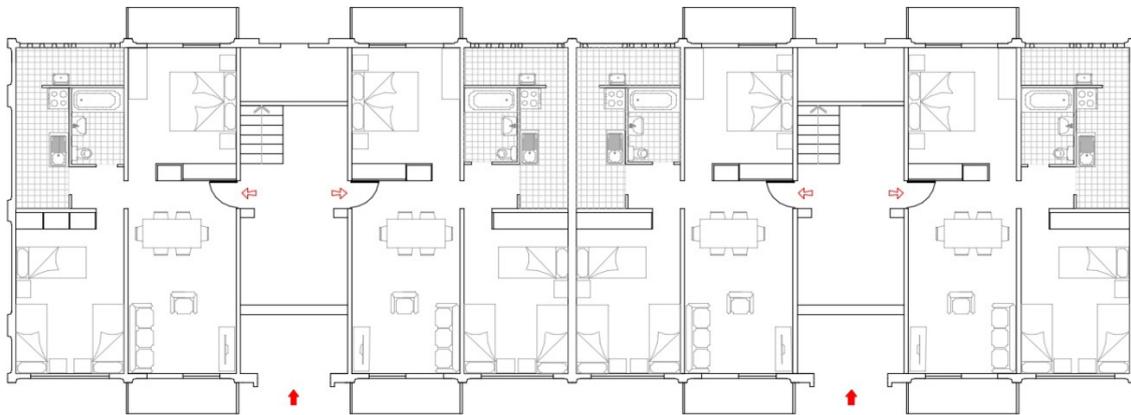


Figura 4. Distribución de los departamentos, piso 1. Fuente: Elaboración de los autores.

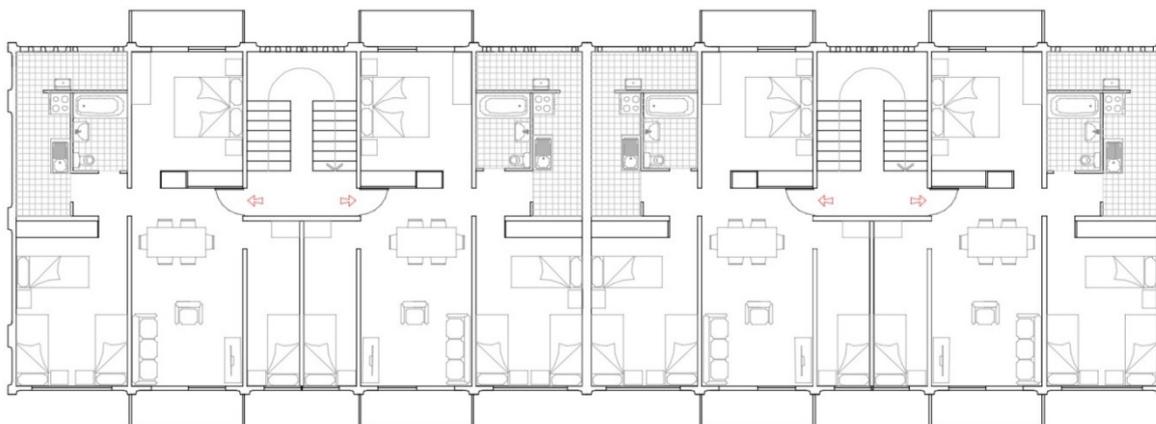


Figura 5. Distribución de los departamentos, pisos 2, 3 y 4. Fuente: Elaboración de los autores.

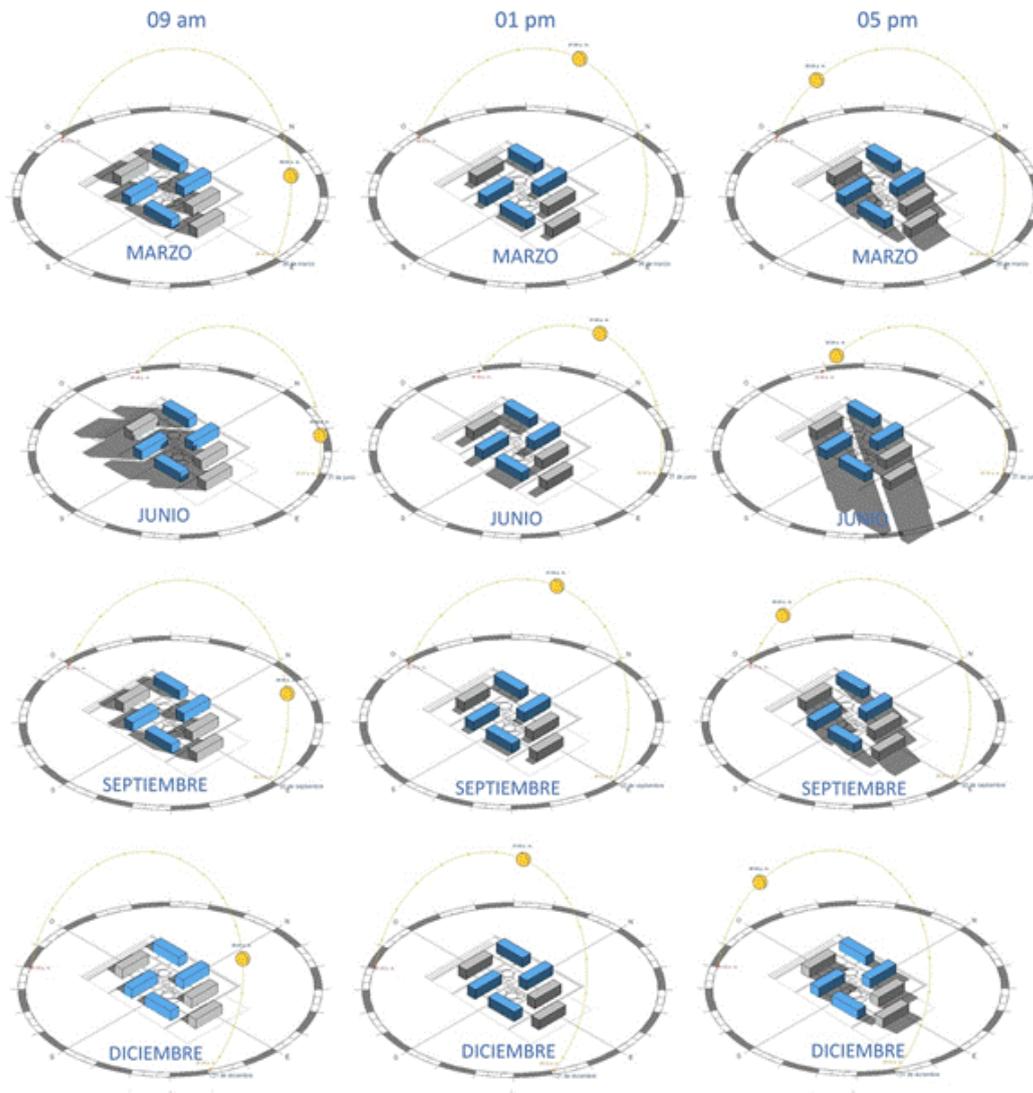


Figura 6. Trayectoria solar en los edificios analizados, en tres horarios y en las cuatro estaciones. Fuente: Elaboración de los autores.

departamentos por edificio y 112 en total. La distribución en planta del edificio se expone en las Figuras 4 y 5. Según se puede apreciar, en el primer piso, estos departamentos son más pequeños pues incluyen dos dormitorios, a diferencia de los pisos superiores que poseen tres dormitorios cada uno.

Estos edificios, si bien idénticos, varían en su orientación, como constata la Figura 3.

El estudio considera la fachada del comedor como la principal, por ser la que posee mayor superficie expuesta, de modo que determina la orientación de los edificios.

La orientación es, sin duda, una de las principales estrategias de diseño pasivo, la que influye de manera importante la demanda energética de calefacción y refrigeración del proyecto. Como ejemplo en este sentido, del conjunto de edificios de este estudio, la Figura 6 muestra la trayectoria

solar anual en tres horarios, para las cuatro estaciones del año.

Estando los departamentos en estudio en la ciudad de Santiago, se advirtió lo que sigue:

- Orientación norte: recibe radiación solar directa durante la mayor parte del día.
- Orientación sur: no recibe radiación solar directa en gran parte del año.
- Orientación este: recibe radiación solar directa por la mañana.
- Orientación oeste: recibe radiación solar durante la tarde.

Cabe notar que la CEV analiza la radiación solar y las posibles obstrucciones a esta, en dos modalidades: factor de accesibilidad de la ventana (FAV), que evalúa cada una de ellas y su orientación, así como también la existencia de

obstrucciones cercanas; y factor de accesibilidad respecto a elementos de sombra remotos (FAR), que evalúa la existencia de obstrucciones remotas para cada fachada. Ambos análisis se incluyen en esta investigación.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Los datos necesarios de considerar para el estudio del comportamiento térmico del Edificio VEP Prefabricado son los correspondientes a la configuración y materialidad de su envolvente.

- Muros: sistema de paneles prefabricados de hormigón armado. Hormigón R28=200 kg/cm²;
- Techumbre: paneles de losa de 4° piso, sobre los cuales descansan cerchas de pino insigne estructural con pares de 2"x 3", con una aislación térmica de lana mineral de 0.05m de espesor;
- Piso: de tipo ventilado, su estructura está constituida por los paneles de losa de 1° piso. Dicho piso posee una sobrelosa de hormigón liviano de 8cm de espesor;
- Ventanas: de tipo corredera, con marco de aluminio y vidrio monolítico.

RESULTADOS

ENFOQUE NORMATIVO

La OGUC presenta requisitos por zona térmica para la envolvente opaca y traslúcida, no considerando la orientación de las construcciones, por lo que el análisis se aboca a la tipología constructiva, es decir, no a un edificio en particular sino a todos.

Para verificar el cumplimiento de transmitancias establecidas en la envolvente opaca se puede optar por cuatro métodos, los que en el caso de una vivienda existente se reducen a dos: certificados de ensayo de un laboratorio reconocido o cálculo. En este estudio se trabajó con memoria de cálculo, realizada según la NCh853-2007 Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas (INN, 2007). En el caso de los muros, fueron calculadas tres tipologías, según espesor.

Para verificar el cumplimiento de la envolvente traslúcida las exigencias varían según el tipo de vidrio involucrado, siendo estas exigencias un porcentaje máximo de superficie vidriada con respecto a los paramentos verticales de la envolvente. Lo anterior se puede realizar mediante cálculo directo de las superficies o mediante ponderaciones; estas últimas son válidas solo en algunas zonas térmicas. Aquí se trabajó con cálculo directo.

La exigencia para ventanas de vidrio monolítico en la zona 3 es del 25%, porcentaje con el que cumplen todos los departamentos evaluados.

La Tabla 1 resume las exigencias normativas y la situación del condominio en estudio.

Elementos de la envolvente	Exigencia normativa	Situación evaluada	Estado
Muros	$U \leq 1,90 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 4,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U = 4,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U = 3,68 \text{ W/m}^2\text{K}$	No cumple
Pisos ventilados	$U \leq 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 1,24 \text{ W/m}^2\text{K}$	No cumple
Techumbre	$U \leq 0,47 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$	No cumple
Ventanas de vidrio monolítico	Superficie < 25% de elementos verticales de la envolvente	Inferior al 20%	Sí cumple

Tabla 1. Evaluación normativa del conjunto.
 Fuente: Elaboración de los autores.

Según la normativa vigente la comuna de Macul corresponde la zona climática Central Interior (CI), la que viene caracterizada como

Zona de temperaturas templadas con oscilación diurna moderada aumentando hacia la precordillera. Nubosidad alta. Radiación solar intensa en verano. Inviernos cortos de 4 a 5 meses. Lluvias moderadas, suele nevar en las partes altas (>500m). Heladas desde mayo a agosto. El sur algo húmedo. Vientos moderados del S y SO. (INN, 2019, p. 5)

Cabe añadir que la comuna de Macul no posee un Plan de Prevención y/o Descontaminación Atmosférica vigente en materia de mejoramiento de la eficiencia térmica en las viviendas, por lo que se aplicaron los valores OGUC.

ENFOQUE DE ETIQUETADO

La CEV, a diferencia de la normativa, sí considera las orientaciones, de modo que los resultados se presentarán por orientación.

La Figura 7 ilustra la ubicación de los siete edificios. En concreto, se analizaron las cuatro orientaciones y se evaluaron los edificios 2, 3, 4 y 5.

La herramienta CEV se aplicó a los cuatro blocks del estudio, cada uno de los cuales posee 16 departamentos, por lo que se realizaron 64 evaluaciones.

En la Figura 8 se puede observar la fachada tipo de los edificios, que luego viene esquematizada según sus diferentes orientaciones para una lectura directa de las etiquetas obtenidas en la calificación.

La herramienta CEV asigna a la vivienda una letra en base a una demanda total, como se observa en la Figura 8 y, a su

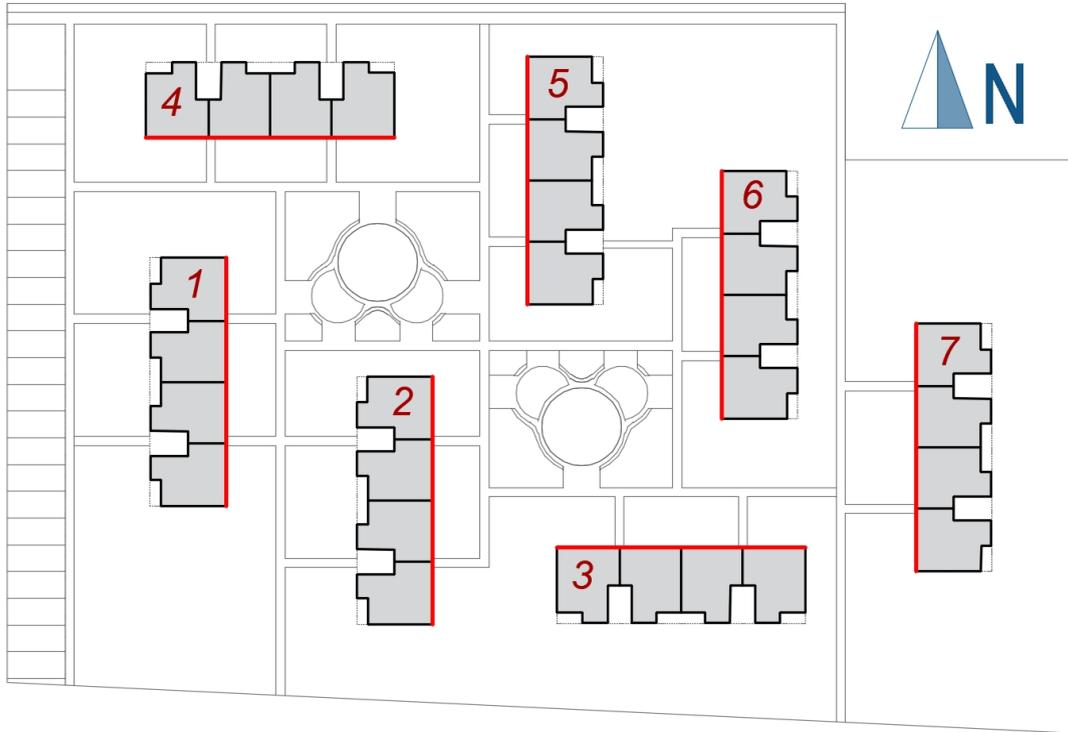


Figura 7. Orientaciones. Fachada principal evidenciada en rojo. Fuente: Elaboración de los autores.

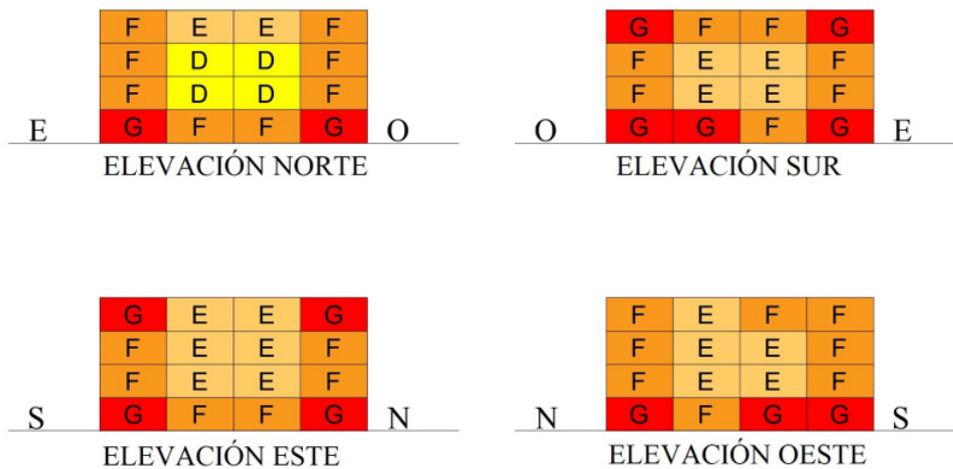
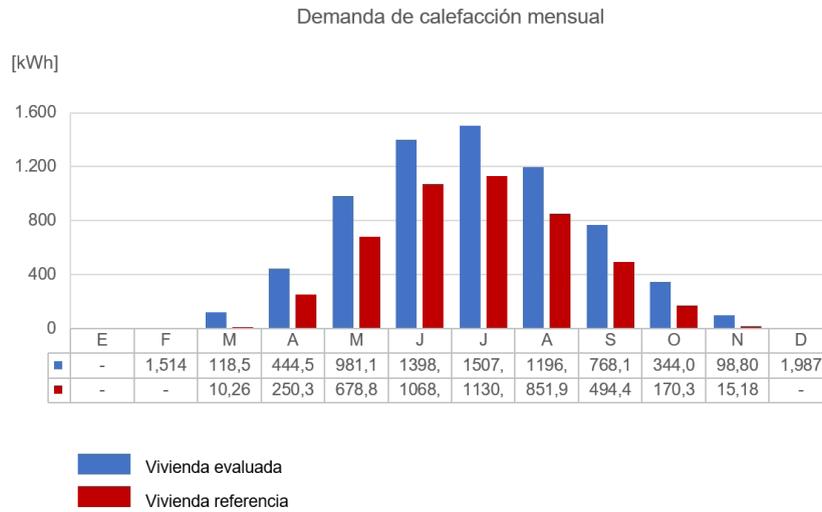


Figura 8. Calificaciones según orientación. Fuente: Elaboración de los autores.



kWh/m²año

100,2	63,0	63,0	100,0
74,7	37,1	37,1	74,3
75,1	37,5	37,4	74,1
155,8	104,8	96,0	154,4

ELEVACIÓN NORTE

kWh/m²año

9,4	4,1	4,1	9,6
13,1	7,2	7,1	13,5
11,9	6,3	6,3	12,5
16,7	0,8	3,4	17,3

ELEVACIÓN NORTE

kWh/m²año

126,8	87,7	86,2	125,1
102,2	61,6	58,7	98,9
105,5	65,0	60,2	100,3
190,8	131,5	123,8	184,5

ELEVACIÓN SUR

kWh/m²año

1,63	0,00	0,00	2,03
1,76	0,00	0,00	3,01
0,86	0,00	0,00	1,78
4,31	0,00	0,00	6,32

ELEVACIÓN SUR

kWh/m²año

113,2	75,2	74,9	110,3
86,1	47,8	47,3	81,0
86,2	48,6	46,7	83,4
163,2	109,3	105,8	167,1

ELEVACIÓN ESTE

kWh/m²año

7,9	5,5	4,2	6,6
10,8	7,9	7,0	11,4
9,9	6,9	7,5	8,3
9,9	2,5	1,0	8,2

ELEVACIÓN ESTE

kWh/m²año

109,5	74,2	80,0	116,3
81,9	47,0	53,5	90,2
86,1	47,7	51,1	89,9
168,1	103,9	116,8	168,2

ELEVACIÓN OESTE

kWh/m²año

7,1	4,1	1,5	6,3
10,4	6,4	2,5	8,9
6,6	5,7	4,9	7,7
9,1	2,1	1,3	8,6

ELEVACIÓN OESTE

Figura 9. Demanda de calefacción mensual para un departamento. Fuente: Elaboración de los autores en base a planilla de datos entregados por CEV.
 Figura 10. Demanda de enfriamiento mensual para un departamento. Fuente: Elaboración de los autores en base a planilla de datos entregados por CEV.
 Figura 11. Demandas de calefacción y enfriamiento según orientación. Fuente: Elaboración de los autores.

Concepto	Sensación térmica	Voto de confort	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Insatisfactorio	Mucho frío	-3				X
	Frío	-2				
Satisfactorio	Algo de frío	-1	X		X	
	Neutro	0				
	Algo de frío	+1				
Insatisfactorio	Calor	+2				
	Mucho calor	+3		X		

Tabla 2. Ejemplo de respuesta sobre sensación térmica del departamento sin calefacción ni climatización. Fuente: Elaboración de los autores.

vez, entrega el detalle para las demandas de calefacción y enfriamiento, tanto en forma mensual (Figura 9 y 10) como anual (Figura 11), que corresponde a los resultados de un departamento usado a manera ilustrativa.

ANÁLISIS SUBJETIVO: ENCUESTAS

Para la evaluación subjetiva se realizó una encuesta en terreno a los habitantes, en persona, con el objetivo de que fueran los usuarios quienes declararan la sensación térmica de su departamento. La encuesta se aplicó a una muestra de la población, utilizando un nivel de confianza del 80% y un error de muestreo del 5% y , con lo cual resultó una muestra de 46 unidades, las que vienen sorteadas para la elección de los departamentos.

La encuesta se efectuó a la dueña o dueño de casa, de quienes se obtuvieron respuestas de un 65% y 35%, respectivamente.

La consulta solicitaba dar un voto de confort para cada estación del año, precisando si la sensación térmica en el departamento es satisfactoria o insatisfactoria, como se expresa en la Tabla 2.

Los resultados del análisis subjetivo se presentan en la Figura 12, donde se agrupan en gráficos por estación.

ANÁLISIS

Como se mencionó más arriba, se analizó, a manera de ejemplo, el comportamiento de un departamento, según el triple enfoque señalado en la metodología de diagnóstico utilizada, confrontando normativa, CEV y encuesta, para ilustrar parte de la información que se nos entrega, más allá de la letra.

Según CEV el rango de confort de la ciudad de Santiago es el indicado en la Tabla 3.

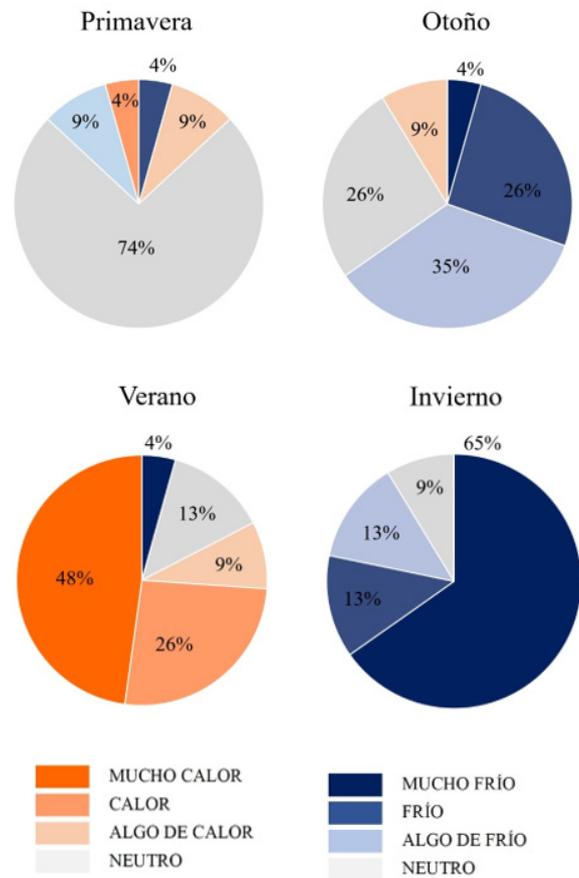


Figura 12. Voto de confort según los habitantes de las viviendas. Fuente: Elaboración de los autores.

La temperatura de confort que considera la CEV para cada zona térmica, corresponde a valores determinados con el método desarrollado por Dear y Brager, modelo adaptativo de aplicación generalizada, que determina la temperatura de confort, solo en base a la temperatura exterior medida con un termómetro de bulbo seco.

	Enero	Abril	Julio	Octubre
T° máx.	26,6 °C	25,0 °C	23,6 °C	25,1 °C
T° mín.	21,6 °C	20,0 °C	18,6 °C	20,1 °C

Tabla 3. Valores límites de temperatura media de confort en °C. Zona térmica de Santiago. Valores determinados con método Dear y Brager. Fuente. Elaboración de los autores en base a Manual de procedimientos. Calificación energética de viviendas en Chile (MINVU, 2019, p. 239).

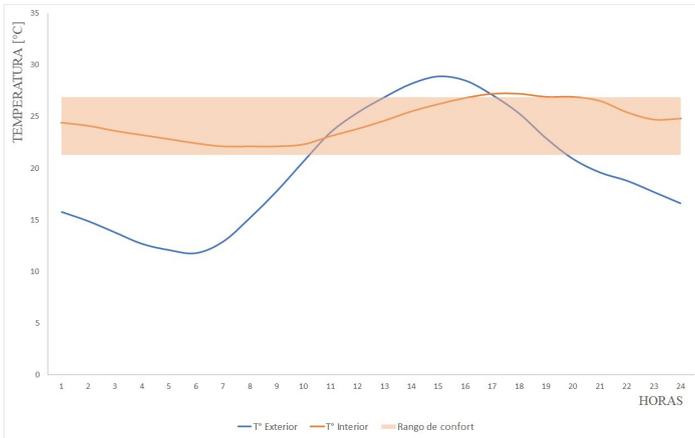


Figura 13. Día representativo de enero (verano). Fuente: Elaboración de los autores en base a planilla de datos entregados por CEV.

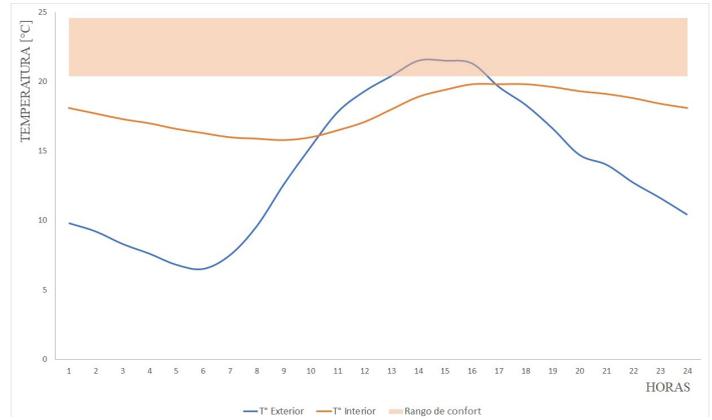


Figura 14. Día representativo de abril (otoño). Fuente: Elaboración de los autores

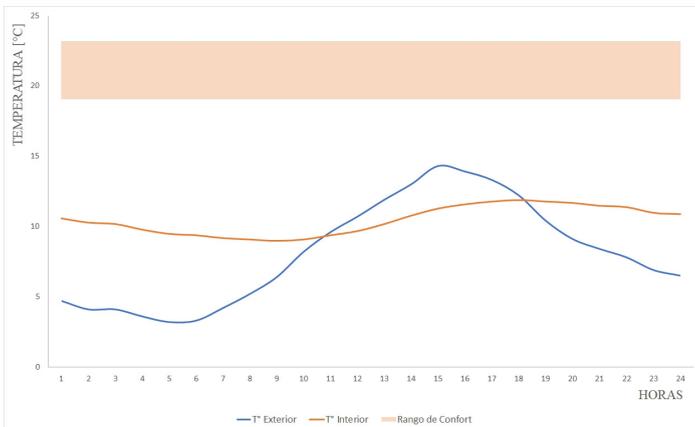


Figura 15: Día representativo de julio (invierno). Fuente: Elaboración de los autores.

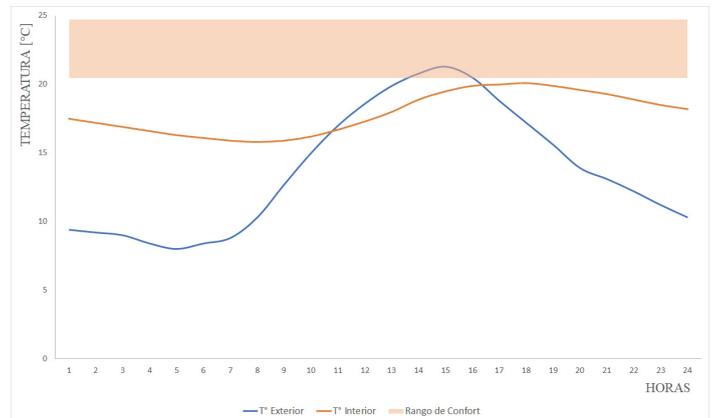


Figura 16. Día representativo de octubre (primavera). Fuente: Elaboración de los autores.

Las Figuras 13, 14, 15 y 16 muestran las oscilaciones de la temperatura al interior y exterior de un departamento, durante las veinticuatro horas de un día, para las cuatro estaciones del año.

Al confrontar esta información con la encuesta de la Tabla 2 (referente al mismo departamento), resulta concordante con la sensación de frío que se declara en invierno, otoño y primavera. Sin embargo, en el mes de enero, si bien la temperatura al interior de la vivienda se encuentra, según la norma, dentro de la zona de confort, el encuestado declara una situación insatisfactoria, con "mucho calor".

CONCLUSIÓN

Después de haber realizado el análisis térmico de una construcción de los años '70, no sorprende el hecho de que todas estas viviendas se encuentren actualmente fuera de norma, no obstante, sí sorprende la resignación de sus habitantes, quienes se manifiestan desinformados e incrédulos ante la posibilidad de mejorar dicha situación.

El triple enfoque del estudio, evidenció puntos de encuentro y de desencuentro entre la normativa, la calificación energética y la información entregada por

el usuario. Por una parte, a pesar de que el 100% de estas viviendas se encuentran fuera de norma, la CEV indica que solo un 67% de los departamentos son deficientes en relación con el actual estándar de reglamentación térmica, es decir, califican como F o G.

Al separar los requerimientos energéticos para calefacción y enfriamiento, la CEV señala que el 100% de las viviendas en verano poseen una demanda de enfriamiento mínima que garantiza que el departamento se encuentre en confort, sin mediar sistemas de climatización, lo que se aleja de la percepción de sus habitantes, quienes declaran -en un 83% de los casos- que durante el verano no se encuentran en un estado de confort térmico, sino con calor. Para la calefacción, en cambio, se evidenció mayor concordancia. Los usuarios declaran, en un 91%, sentir frío, estando, efectivamente, bajo la curva de confort térmico en todas las viviendas. Analizando las orientaciones, el edificio con orientación sur, presenta una mayor cantidad de departamentos en disconformidad, pues 3 de cada 4 son clasificados con letra F o G, pero son estos los que exhiben menor demanda de enfriamiento del conjunto, lo cual concuerda con la percepción del residente. Esta incongruencia en los resultados se debe probablemente a que la calificación energética no consideraba, en sus inicios, el sobrecalentamiento en la evaluación; y, aunque se ha avanzado en ese sentido, sin duda queda camino por recorrer.

El estudio sobre viviendas existentes aquí expuesto otorgó información relevante acerca del confort térmico del habitante, lo que finalmente permitió encontrar esta discrepancia, que podría ser corroborada con mediciones directas, en una futura investigación, con miras a perfeccionar las demandas de enfriamiento que determina la herramienta.

Sería muy útil que la CEV separara las etiquetas de calefacción y enfriamiento, de manera de que el proyecto pudiera ser evaluado fácilmente por el comprador. Actualmente, la etiqueta es única y, si bien, la información desglosada está presente, se expresa a través de gráficos, a veces muy especializados, que se alejan de la comprensión de un comprador promedio. Esto se opone claramente al espíritu de la iniciativa, que pretendía acercarse a los consumidores con un lenguaje claro y atractivo.

No cabe duda de que los icónicos departamentos KPD requieren una rehabilitación energética, la que ahora queda sujeta a la organización de la comunidad, o sea, a la posibilidad de conseguir fondos para concretarlas y al monto de estos. Desde ese horizonte, la encuesta es de gran ayuda ya que se revela como una herramienta de aplicación fácil, práctica y certera, que involucra en primera persona a los residentes en el proceso de evaluación, proporcionando información

relevante del confort térmico familiar e involucrando a las personas en la revalorización del propio domicilio.

La organización, por parte de las comunidades, es una de las principales limitantes que acusa el Ministerio para la entrega de fondos, por lo que considerar la participación del habitante de la vivienda, a través de la encuesta, que incluye la citada metodología, puede contribuir a disminuir la brecha aquí evidenciada para, en definitiva, reforzar el compromiso de los vecinos con su entorno y revalorizar el territorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altomonte, S., Schiavon, S. y Ken, M. (2019). Indoor environmental quality and occupant satisfaction in green-certified buildings. *Building Research & Information*, 47, 255–274. DOI: <https://doi.org/10.1080/09613218.2018.1383715>.

Bienvenido-Huertas, D., Rubio-Bellido, C., Pérez-Fargallo, A. y Pulido-Arcas, J. (2020). Energy saving potential in current and future world built environments based on the adaptive comfort approach. *Journal of Cleaner Production*, 249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119306>.

Bravo Heitmann, L. (1996). Vivienda social industrializada: la experiencia chilena (1960- 1995). *INVI*, 11(28), 14-15. Recuperado de <http://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/206/181>

Brignardello Valdivia, A. (2017). *KPD. Historia social y memoria de una fábrica soviética en Chile*. Chile: América en Movimiento.

CE Delft (2020). *Zero carbon buildings 2050. Background report*. Recuperado de <https://www.cedelft.eu/en/publications/download/2913>

Corporación de Desarrollo tecnológico, In-Data (CDT). (2019). *Informe final de usos de la energía de los hogares de Chile. 2018*. Recuperado de https://www.dropbox.com/s/zika2we9vqv9oc/04%20Caracterizaci%C3%B3n_Residencial_2018.pdf?dl=1

Cottone, P., Gaglio, S., Lo Re, G. y Ortolani, M. (2015). User activity recognition for energy saving in smart homes. *Pervasive and Mobile Computing* 16, 156-170. DOI: [doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.pmcj.2014.08.006](http://dx.doi.org/10.1016/j.pmcj.2014.08.006)

Daniel, L., Baker, E. y Williamson, T. (2019). Cold housing in mild-climate countries: A study of indoor environmental quality and comfort preferences in homes, Adelaide, Australia. *Building and Environment* 151, 207–218 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.01.037>.

- Davis, L., Martínez, S. y Taboada, B. (2020). How effective is energy-efficient housing? *Journal of Development Economics*, 143. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2019.102390>.
- Díaz Lozano, E., Vakalis, D., Touchiea, M., Tzekovac, E. y Siegela, J. (2018). Thermal comfort in multi-unit social housing buildings. *Building and Environment*, 144, 230–237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.08.024>.
- Energy 2 Business SpA (2020). *Trayectoria del Sector Energía hacia la Carbono Neutralidad en el contexto del ODS7*. Recuperado de http://generadoras.cl/media/page-files/1321/Informe_final_Estudio%20Carbono%20Neutralidad.pdf
- Escandón, R., Suárez, R. y Sendra, J. (2017). On the assessment of the energy performance and environmental behaviour of social housing stock for the adjustment between simulated and measured data: The case of mild winters in the Mediterranean climate of southern Europe. *Energy and Buildings*, 152, 418–433. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.063>.
- Fowlie, M., Greenstone, M. y Wolfram, C. (2015). Do Energy Efficiency Investments Deliver? Evidence from the Weatherization Assistance Program. *NBER - National Bureau of Economic Research*, Working Paper 21331. Recuperado de <https://www.nber.org/papers/w21331.pdf>
- Geng, Y., Ji, W., Wa, Z., Lin, B. y Zhu, Y. (2019). A review of operating performance in green buildings: Energy use, indoor environmental quality and occupant satisfaction. *Energy & Buildings* 183, 500–514 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.11.017>.
- Gobierno de Chile (1992). Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones OGUC. Diario Oficial de la República de Chile, Chile. Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=8201&f=2020-06-13>
- Howden-Chapman, P., Roebbel, N. y Chisholm, E. (2017). Setting Housing Standards to Improve Global Health. *International journal of environmental research and public health*, 14(12). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph14121542>.
- Instituto Nacional de Normalización (INN) (2007). NCh853 Acondicionamiento térmico. *Envolvente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas*. Santiago, Chile. Recuperado de <http://tipbook.iapp.cl/ak/7ba2f4bd8e4ba3715cad4afabda5061914006c38/embed/view/nch853>
- Instituto Nacional de Normalización (INN) (2019). NCh1079 Arquitectura y construcción. *Zonificación climática y térmica para el diseño de edificaciones*. Santiago, Chile.
- Liddell, C. y Guiney, C. (2015). Living in a cold and damp home: frameworks for understanding impacts on mental well-being. *Public Health*, 129(3), 191–199. DOI: [10.1016/j.puhe.2014.11.007](https://doi.org/10.1016/j.puhe.2014.11.007).
- Ministerio de Energía, Gobierno de Chile (2015). *Hoja de Ruta al 2050*. Chile. Recuperado de https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/hoja_de_ruta_cc_e2050.pdf
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) (2019). *Manual de procedimientos. Calificación energética de viviendas en Chile*. Recuperado de <https://www.calificacionenergetica.cl/manuales-cev/>
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) e Instituto de la Construcción (2006). Manual de Aplicación Reglamentación Térmica. Chile. Obtenido de https://www.iconstruccion.cl/documentos_sitio/6186_Manual_Parte1.pdf
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA) (2020). *Planes de descontaminación atmosférica*. Recuperado de <https://ppda.mma.gob.cl/>
- Nicol, J. y Roaf, S. (2017). Rethinking thermal comfort. *Building Research & Information*, 45(7), 711–716. DOI: [10.1080/09613218.2017.1301698](https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1301698)
- Ramos, A., Gago, A., Labandeira, X. y Linares, P. (2015). The Role of Information for Energy Efficiency in the Residential Sector. *Energy Economics*, 52, S17–S29. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2015.08.022>.
- Serghides, D., Dimitriou, S., Kyprianou, I. y Papanicolas, C. (2017). The Adaptive Comfort Factor in Evaluating the Energy Performance of Office Buildings in the Mediterranean Coastal Cities. *Energy Procedia*, 134, 683–691. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.588>.
- United Nations Climate Change (2019). *Annual Report 2019*. Recuperado de https://unfccc.int/sites/default/files/resource/unfccc_annual_report_2019.pdf
- United Nations Human Settlements Programme, UN-Habitat. (2016). *Urbanization and Development. Emerging Futures. World Cities Report 2016*. Recuperado de <https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/WCR-2016-WEB.pdf>
- Universidad del Bío-Bío, Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción, CITEC UBB, Dirección de Extensión en Construcción, DECON UC (2014). *Manual de Hermeticidad al Aire de las Edificaciones*. Concepción, Chile. Recuperado de http://construccionsustentable.uc.cl/images/Documentos/Manual_de_hermeticidad_al_aire_de_edificaciones.pdf

Van den Broek, K. (2019). Household Energy Literacy: A critical review and a conceptual typology. *Energy Research & Social Science*, 57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101256>.

World Health Organization (WHO). (2018). *WHO Housing and health guidelines*. Recuperado de <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/276001/9789241550376-eng.pdf>