

Diagnóstico energético para el Liceo Técnico Profesional El Sauce de Talca

Franco Gallardo¹, Hugo Valdés^{2*}

¹Programa de Magíster en Construcción Sustentable, Departamento de Obras Civiles, Universidad Católica del Maule, Avenida San Miguel 3605, Talca (Chile)

²Centro de Innovación en Ingeniería Aplicada, Departamento de Computación e Industrias, Universidad Católica del Maule, Avenida San Miguel 3605, Talca (Chile).

*hvaldes@ucm.cl

Resumen

El objetivo de esta investigación es realizar un estudio exhaustivo sobre el confort térmico y el consumo energético del Liceo Técnico Profesional El Sauce de Talca. A través de un análisis detallado, se evalúan los patrones de consumo de energía en el Liceo, identificando áreas de eficiencia y posibles oportunidades de mejora. Se utilizan herramientas y metodologías específicas para recopilar datos precisos sobre el uso de electricidad, agua y otros recursos energéticos. Los resultados obtenidos permiten proponer recomendaciones y estrategias para optimizar el consumo energético, reducir costos y promover prácticas sostenibles dentro del establecimiento educativo. Este diagnóstico energético ofrece una base sólida para la implementación de medidas de eficiencia energética que beneficien tanto al Liceo como al ambiente.

Palabras clave: Confort térmico, Método de Fanger, Chile, Satisfacción térmica.

Abstract

The aim of this research is to conduct a comprehensive study on the thermal comfort and energy consumption of Liceo El Sauce de Talca. Through a detailed analysis, the energy consumption patterns at the school are evaluated, identifying areas of efficiency and potential opportunities for improvement. Specific tools and methodologies are used to gather precise data on the use of electricity, water, and other energy resources. The results obtained allow for the proposal of recommendations and strategies to optimize energy consumption, reduce costs, and promote sustainable practices within the educational establishment. This energy diagnosis provides a solid foundation for the implementation of energy efficiency measures that benefit both the school and the environment.

Key words: Thermal comfort, Fanger's Method, Chile, Thermal satisfaction.

Introducción

El sistema educativo en su conjunto debe estar constantemente actualizando contenidos, normativa o marcos regulatorios que vayan en mejora del estándar educacional. Hoy, lo que se requiere en los programas vigentes es mejorar la infraestructura mediante remodelación de los espacios educativos de acuerdo a la superficie por alumno (m^2 /alumno), sumando nuevos espacios educativos de acuerdo a un nivel de construcción acorde a certificación CES (Construcción de Edificaciones Sustentables), para contribuir a

la integración y aplicación del alumnado en diferentes ámbitos (investigación, proyectos de innovación, talleres prácticos, acercamiento a la universidad, entre otros) (Salazar-Vera, 2022; Alhilli y Burhan, 2021; Peterssen-Soffia, 2020). Estos factores, están directamente orientados a mejorar las condiciones de habitabilidad (confort), ya que una significativa inversión en esta materia irá en vías del desarrollo cultural, tecnológico y motivacional para los mismos alumnos (Lamberti *et al.*, 2021; Rodríguez *et al.*, 2021; Zomorodian *et al.*, 2016).

El confort térmico, acústico y lumínico, son variables que resumen bien el confort ambiental. Si alguno de los factores que influyen en el confort del usuario se eleva por sobre ciertos límites, a largo plazo se produce un estrés negativo en el cuerpo que puede desencadenar diversas enfermedades físicas y psicológicas asociadas (De Dear *et al.*, 2020; Paul y Taylor, 2008). El impacto del diseño del aula en el aprendizaje de los alumnos es determinante, ya que puede afectar directamente en el rendimiento, como también en el aspecto emocional y salud del estudiante (Barrett *et al.*, 2015). El confort térmico se logra a través del mantenimiento de la temperatura, la humedad y el movimiento del aire y las condiciones de la actividad humana en un determinado rango (Adrián *et al.*, 2016). En Chile, en el marco de un seminario internacional realizado por la Universidad del Bío-Bío con la finalidad de crear criterios en materia de sustentabilidad, Trebilcock (2020) señaló que “Los colegios en nuestro país tienen un estándar de confort térmico que es bastante bajo, con temperaturas interiores en las aulas que van de los 8 °C a los 13 °C (meses de invierno) en horario de ocupación” y enfatizó que en los mismos colegios durante los meses de verano se registran temperaturas entre 18 °C y 32 °C. Además, presentó que el confort térmico se relaciona positivamente con la asistencia del alumno a clases.

Además del confort referido, los establecimientos educacionales se enfocan cada vez más en la productividad tecnológica, con el fin de complementar procesos educativos, utilizando recursos audiovisuales como pizarras interactivas, proyectores de imagen, equipos de laboratorio, entre otros, los cuales permiten la absorción de conocimiento de manera más interactiva. Para el funcionamiento de esta tecnología se requiere conexión a la red eléctrica, el problema radica cuando la red de los establecimientos es antigua o no contempla en su diseño artefactos de primera generación.

El objetivo de este trabajo es diagnosticar energéticamente un Liceo rural, estableciendo una línea base energética y, a partir de ello, proponer soluciones tecnológicas en beneficio de la comunidad escolar.

Metodología

Recopilación de información que define el caso estudio: En el Liceo Técnico Profesional El Sauce (LTP-ES) (ver Figura 1a) se educa a 378 estudiantes (pre-kínder a cuarto medio) de Talca y San Clemente, principalmente del sector rural Mercedes. En esta Institución educativa, los estudiantes se gradúan con el título de Técnico en Gastronomía. El LTP-ES cuenta con 65 profesionales (docentes y paradocentes), está ubicado entre Talca y San Clemente (km 10, Ruta Ch-115). El edificio se construyó en 2003. La Figura 1b muestra un esquema de distribución de los diversos recintos que conforman el LTP-ES, donde se observa una superficie construida de 2337 m², siendo la planta 1 (primer piso) de 1989 m² y la planta 2 (segundo piso) de 348 m². Cuenta con doce salas de clases, una sala de computación, biblioteca, aula de integración, comedor y multicancha.

La Figura 2 muestra que la materialidad de algunos edificios, cuya infraestructura de ambas plantas es albañilería armada, está reforzada con pilares y cadenas de hormigón armado, tiene revestimiento de piso cerámica, terminación de muros de ladrillo estucado con mortero tanto en cara interior como exterior. Sin otra aislación, el revestimiento de cielo tiene un acabado de yeso-cartón en las zonas donde solo el edificio es de una planta y una terminación de yeso en la parte inferior donde se encuentra la losa de la planta dos. Las ventanas son de vidrio simple con marco de aluminio. La estructura de techumbre está conformada principalmente por madera y el revestimiento exterior del techo es teja de arcilla. El LTP-ES presenta un estándar de menor calidad de construcción de acuerdo a los requisitos que hoy el país, por medio del MINVU, está determinando mediante la Certificación de Edificaciones Sustentables (CES).

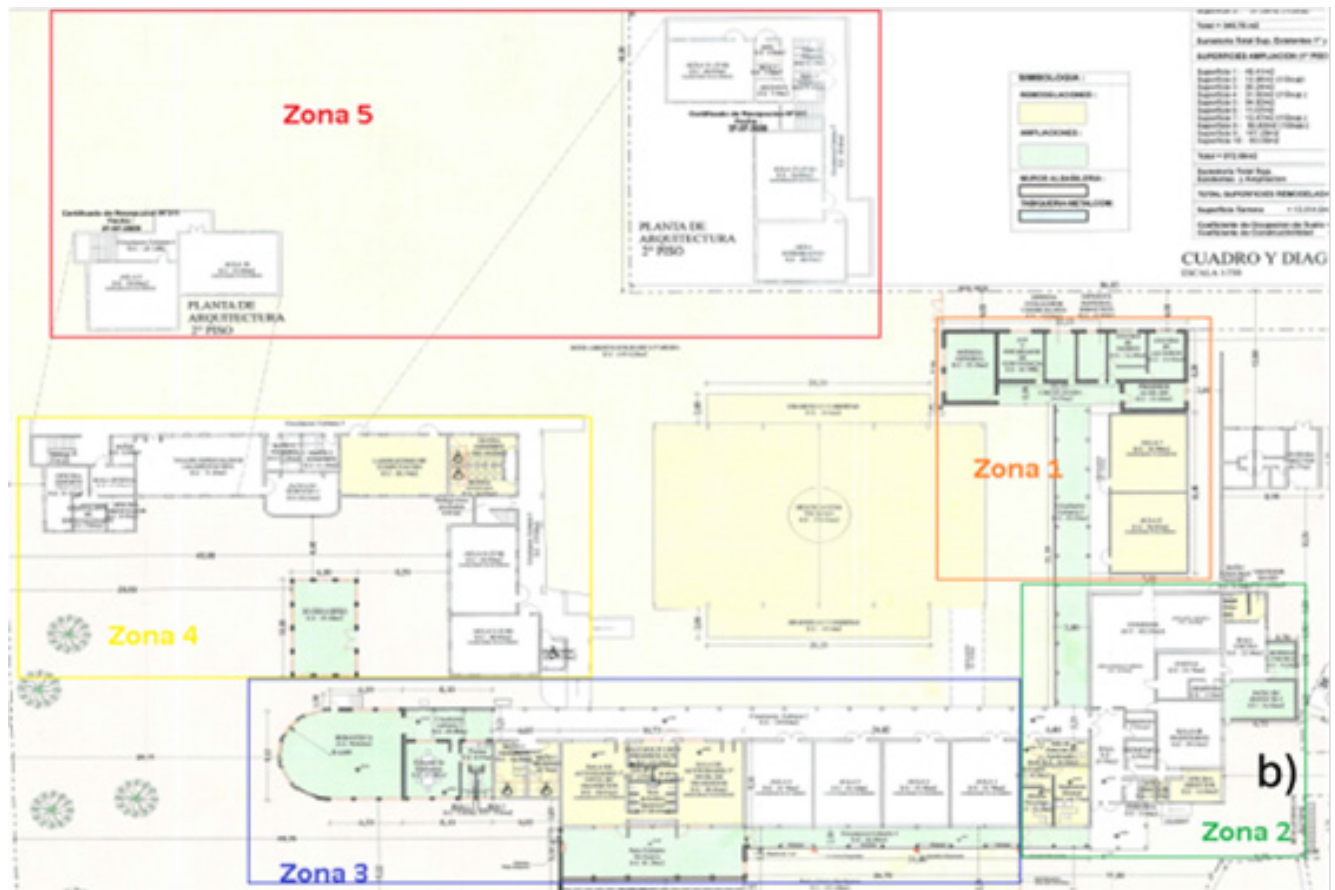


Figura 1. a) Imagen satelital de la ubicación del Liceo El Sauce. El borde rojo indica la delimitación del terreno. b) Esquema del LTP-ES, destacando las zonas estudiadas.



Figura 2. Fotografías del exterior del LTP-ES. a) Vista sur del LTP-ES, sector salas de clases b) Vista este del LTP-ES, sector salas de clases.

Tabla 1. Valores promedios mensuales de temperaturas y precipitación de la zona de Talca.

Mes	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Temperatura promedio (°C)	Precipitación (mm)
Ene	29 ± 3	12 ± 2	21 ± 3	7 ± 3
Feb	28 ± 2	11 ± 3	20 ± 3	12 ± 2
Mar	25 ± 3	9 ± 3	17 ± 3	24 ± 7
Abr	20 ± 3	6 ± 2	13 ± 3	63 ± 20
May	17 ± 3	5 ± 3	11 ± 3	111 ± 30
Jun	13 ± 2	4 ± 3	9 ± 3	121 ± 30
Jul	13 ± 2	3 ± 3	8 ± 3	90 ± 40
Ago	15 ± 2	4 ± 2	9 ± 2	70 ± 20
Sep	17 ± 2	5 ± 3	11 ± 2	49 ± 20
Oct	20 ± 2	7 ± 2	14 ± 2	26 ± 15
Nov	24 ± 3	8 ± 2	16 ± 2	15 ± 5
Dic	27 ± 2	11 ± 2	19 ± 2	7 ± 3

La Tabla 1 muestra las variables climáticas de la zona geográfica de la ubicación del LTP-ES, dando cuenta de un clima templado y cálido. Los inviernos son más lluviosos que los veranos.

El clima se clasifica como Csb por el sistema Köppen-Geiger, es decir, clima mediterráneo con veranos secos y frescos (Beck *et al.*, 2018).

El Diagnóstico Energético (DE) permite establecer los parámetros adecuados de uso y demanda de energía del establecimiento para analizar su materialidad y hábitos de la población del LTP-ES, en función del consumo energético (térmico y eléctrico) (González-Galvez *et al.*, 2018). En este caso se aplica un DE fundamental, es decir, el DE proporciona información sobre el consumo de energía, ya sea eléctrica o térmica, en áreas funcionales o en procesos de operación específicos. Este nivel de análisis es el más útil para determinar el ahorro potencial en una instalación debido a su análisis cualitativo y cuantitativo sobre la mayoría de los equipos que consumen energía. Este nivel ofrece datos sobre el ahorro de energía y la reducción de costos, estableciendo así objetivos para lograr una mayor eficiencia energética. Para este nivel de DE es importante disponer del equipo e instrumentos necesarios para la evaluación de los parámetros energéticos (González-Galvez *et al.*, 2018).

Dado lo anterior, se comenzó realizando una evaluación del ambiente de la sala de clases, donde se midieron las propiedades del aire que

influyen con el equilibrio térmico del cuerpo: temperatura, velocidad y humedad, según el Método Fanger (Holopainen *et al.*, 2014). Este método permite cuantificar la insatisfacción térmica de la población escolar al interior de la sala de clases (Martínez-Molina *et al.*, 2017; Campano *et al.*, 2017; Ter Mors *et al.*, 2011). El porcentaje promedio de insatisfechos térmicos (PPD, por su nombre en inglés) se determina mediante la ecuación siguiente (Broday *et al.*, 2020):

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{(-0.03353 \cdot IVM^4 - 0.2179 \cdot IVM^2)} \quad (1)$$

donde, *IVM* es el índice de valoración media estimado que refleja el valor medio de votos emitidos por un grupo de personas respecto a una escala de sensación térmica -3 al +3 (Figura 3), válido para ambientes térmicos en los que las variables implicadas permanezcan comprendidas dentro de los rangos mostrados en la Tabla 2. Este IVM depende de factores como actividad, vestimenta, temperatura operativa y velocidad relativa del aire.

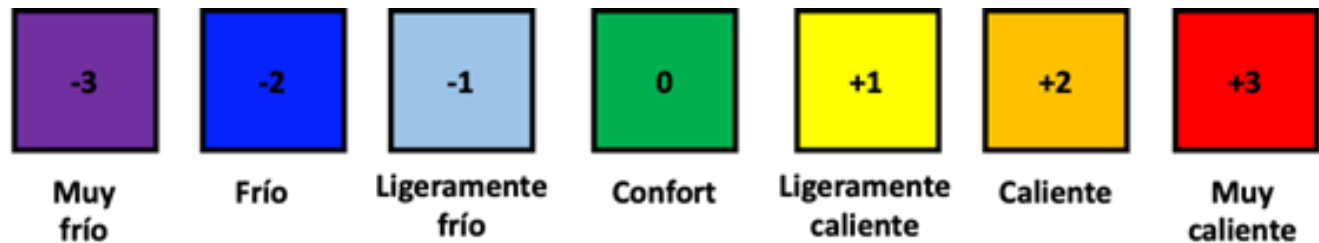


Figura 3. Esquema de la escala de sensación térmica.

Tabla 2. Rangos de parámetros para determinar IVM y PPD mediante el Método Fanger (basado en UNE-EN ISO 7730:2006).

Parámetro	Tolerancia	Unidades
Tasa metabólica	46 - 232 0.8 - 4.0	W/m ² Met
Aislamiento de la ropa	0.00 - 0.31 0 - 2	m ² K/W clo
Temperatura del aire	10 - 30	°C
Temperatura radiante media	10 - 40	°C
Velocidad del aire	0 - 1	m/s
Presión del vapor de agua	0 - 2700	Pa

El IVM se estima a partir de tablas en UNE-EN ISO 7730 (2006), las cuales están calculadas bajo la condición de humedad relativa del aire del 50%, por lo cual, se debe realizar la corrección de esta a través de la ecuación:

$$IVM_{final} = IVM + F_H \cdot (HR - 50) + F_R \cdot (TRM - t_a) \quad (2)$$

donde, IVM es el índice de valoración media, F_H es el factor de corrección del IVM en función de la humedad relativa (ver Figura 4), HR es la medida (%) de la humedad relativa promedio del aire,

F_R es el factor de corrección del IVM en función de la temperatura radiante media (ver Figura 5), t_a es la temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$) y TRM es la temperatura radiante media ($^{\circ}\text{C}$) que se obtiene por la ecuación siguiente:

$$TRM = TG + 1.9 \cdot \sqrt{v} \cdot (TG - TS) \quad (3)$$

donde, TG es la temperatura de globo ($^{\circ}\text{C}$), TS es la temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$) y v es la velocidad relativa del aire (m/s).

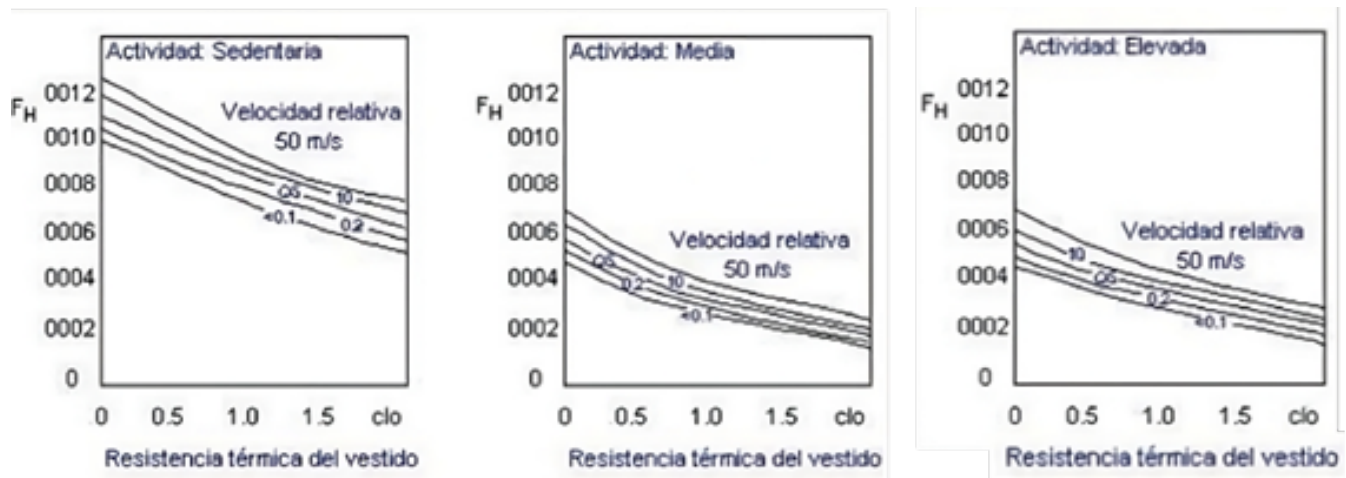


Figura 4. Factor de corrección para la humedad en la ecuación de IVM en función del nivel de actividad: a) sedentaria, b) media, c) elevada (Castejón, 1983).

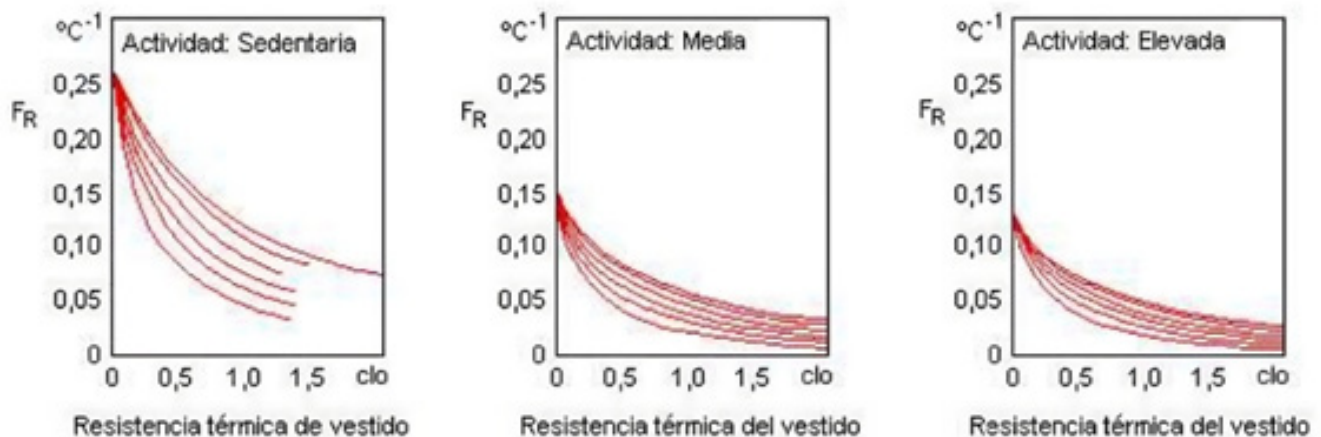


Figura 5. Factor de corrección para la temperatura radiante media en la ecuación de PMV en función del nivel de actividad: a) sedentaria, b) media, c) elevada (Castejón, 1983).

Para este estudio se eligió una sala de clases como caso de estudio tipo (Figura 6), determinada de manera unánime por el cuerpo docente de acuerdo con condiciones desfavorables (temperatura principalmente) de ambiente y en función al comportamiento de los estudiantes, el cual permitiese realizar las mediciones sin interferencias. El curso que ocupa la sala de clases tuvo una asistencia máxima de 23 estudiantes.



Figura 6. Sala de clase utilizada para la realización de las mediciones mediante el equipo de estrés térmico (Castejón, 1983).

Las mediciones se realizaron durante el periodo de invierno entre 21 de junio y 21 de septiembre, en dos ocasiones por día de la semana y se efectuaron entre 08:45 y 13:30 h. Se utilizó un medidor de estrés térmico (Lutron, modelo WBGT-2010SD) para tener el registro de la temperatura del aire, humedad relativa del aire y temperatura de globo. Además, la velocidad del aire se midió con un anemómetro portátil (LA CROSSE® Technology, Modelo EA-3010U). El resultado permitirá lograr una visión más amplia de la satisfacción térmica que puede haber en una sala de clases de este establecimiento. A pesar de que el levantamiento fue realizado durante el invierno, siempre se contó con más de un 90% de la asistencia de alumnos. La edad de los jóvenes oscila entre 12 y 13 años.

Por otro lado, el diagnóstico energético implica etapas de autorización necesaria para trabajar, revisión de facturación del uso de energía y recopilación de datos, enfocándose en el conocimiento de la demanda energética en edificios (González-Galvez *et al.*, 2018). Por lo tanto, los pasos realizados fueron:

- Solicitar el permiso a autoridades responsables del LTP-ES, para recopilar la información competente.
- Análisis de la facturación eléctrica de 24 meses (enero 2018 a diciembre 2019).
- Conocer el tipo de actividad en cada área de establecimiento, para orientar la obtención de datos de los artefactos eléctricos (potencia instalada principalmente) de: cargas de iluminación, climatización y artefactos eléctricos, detallando las cantidades por cada recinto perteneciente al Liceo. Además, se estableció durante qué periodo se usa en el día y cuántos días de uso al mes (demanda de consumo diario y mensual). Esto se hizo dividiendo en zonas el recinto como lo muestra la Figura 6 en los espacios que componen el colegio (salas de clases, oficinas, bodegas, etc.).
- Comparar el sistema de gestión de la energía del establecimiento con los requisitos que debiese tener uno de manera estándar según la norma ISO 50001.
- Cuantificar la demanda energética de la envolvente de una sala de clases. Esta demanda surge de la suma de las pérdidas de calor a través de la envolvente:

$$Q = Q_{\text{muros}} + Q_{\text{ventanas}} + Q_{\text{cielo}} + Q_{\text{puertas}} + Q_{\text{piso}} \quad (4)$$

Utilizando el principio de Fourier de transferencia de energía a través de la envolvente (Davies, 2004):

$$Q_i = U_i \cdot A_i \cdot (T_{ai} - T_{ae}) \quad (5)$$

donde, Q_i es el flujo de calor que pasa a través del elemento de la envolvente (W), A_i es el área del elemento de la envolvente (m^2), T_{ai} es la temperatura del aire interior ($^{\circ}C$), T_{ae} es la temperatura del aire exterior ($^{\circ}C$) y U_i es transmitancia térmica del elemento de la envolvente (W/m^2K). Esta última variable se

$$U = \frac{1}{R_{Si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{Se}} \quad (6)$$

expresa dependiendo de su aplicación en el cielo, piso, muro, ventanas y puertas:

donde, U es la transmitancia térmica ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$), R_{Si} es la resistencia superficial del aire interior (m^2/WK), R_{Se} es la resistencia superficial del aire exterior (m^2/WK), e es el espesor del elemento a calcular (m) y λ es la conductividad térmica (W/mK) (MINVU, 2014). En caso de análisis de sistemas de transmitancia térmica de elementos heterogéneos se utiliza:

$$U = \frac{\sum U_i A_i}{\sum A_i} \quad (7)$$

donde, U es la transmitancia térmica (m^2/WK), A_i la superficie del elemento a la cual corresponda una transmitancia térmica U_i (MINVU, 2014). En el Liceo hay calefacción sólo en espacios interiores del LTP-ES de más uso por la comunidad escolar en salas de clases y oficinas de administración de uso diario:

- Salas de clases (numerada del 1 al 12).
- Oficina del director, Sala de profesores, Secretaría, Inspectoría, Inspectoría general, Comedor, Oficina Psicólogo, Laboratorio de computación, Sala de actividades nivel de transición 1 y 2.

Resultados

Confort térmico

La Tabla 3 muestra la satisfacción térmica de una sala de clases de este establecimiento. La oscilación de la temperatura ambiental en invierno entre 8:30 y 13:00 h al interior de la sala varió entre los 12.7 y 16.3 °C, lo cual está por debajo del estándar de confort térmico 22 ± 3 °C en invierno en aulas (AENOR, 2006). La temperatura promedio exterior al aula durante los días de medición fue de 17.3 °C, en cambio la temperatura interior del aula durante los mismos días fue 14.1 °C. Durante la mayor parte del tiempo de medición, la humedad relativa excedió el valor máximo recomendado para el interior del recinto (Minvu, 2018).

La Figura 7a muestra que la temperatura al interior del aula se incrementa a medida que transcurre la jornada, apreciándose fluctuaciones en la curva en los momentos de recreo (10:15 y 12:00 h) donde se observan una caída en la temperatura ambiental interior de la sala, ello se asocia a la inactividad de los individuos al interior, además

Tabla 3. Resultados obtenidos de las mediciones en la sala de clases N°8 del LTP-ES, con el medidor de estrés térmico.

Fecha	Día	Alumnos	Interior	Temperatura		Humedad relativa	
				Exterior Máximo	Mínimo	Interior	Exterior
26-07	viernes	22	14.1 ± 0.8	15 ± 0.1	4 ± 0.1	69 ± 3	88 ± 4
31-07	miércoles	23	16.3 ± 1.1	20 ± 0.1	4 ± 0.1	71 ± 6	87 ± 4
08-08	viernes	23	12.7 ± 1.5	20 ± 0.1	4 ± 0.1	60 ± 3	90 ± 3
12-08	lunes	23	12.8 ± 2.0	15 ± 0.1	0 ± 0.1	70 ± 3	87 ± 3
13-08	martes	23	13.6 ± 1.3	13 ± 0.1	2 ± 0.1	65 ± 3	85 ± 2
14-08	miércoles	22	13.4 ± 2.0	21 ± 0.1	2 ± 0.1	71 ± 3	81 ± 2
22-08	jueves	21	14.9 ± 1.3	19 ± 0.1	8 ± 0.1	69 ± 2	83 ± 2
29-08	jueves	23	16.0 ± 1.6	16 ± 0.1	4 ± 0.1	60 ± 2	86 ± 3
02-09	lunes	24	14.0 ± 1.2	16 ± 0.1	2 ± 0.1	54 ± 2	82 ± 2
03-09	martes	23	14.1 ± 2.0	18 ± 0.1	-1 ± 0.1	56 ± 4	73 ± 3

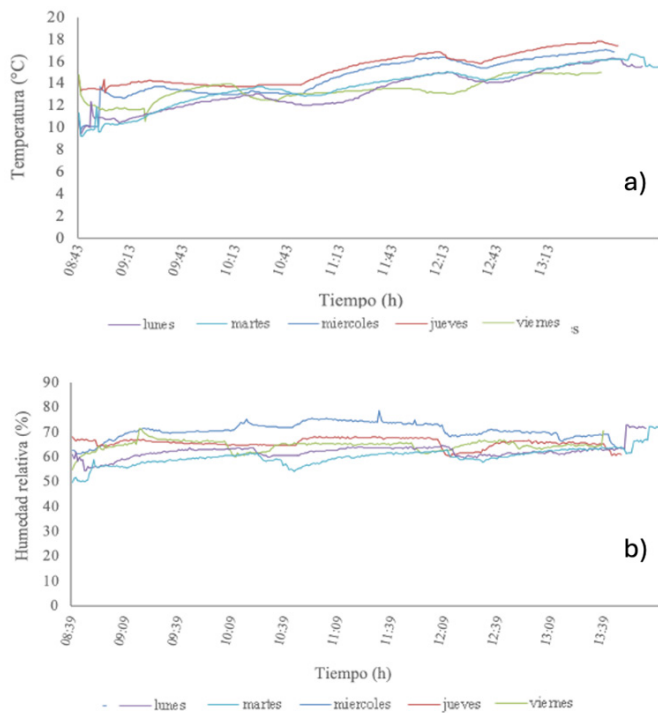


Figura 7. Representación gráfica de: a) la temperatura medida en el aula del LTP-ES. b) la humedad relativa medida en el aula del LTP-ES.

en la curva del viernes se aprecia un descenso entre 10:30 y 12:30 h (segundo bloque) debido a la clase de educación Física al exterior de la sala.

La Tabla 4 muestra la magnitud recomendada para los parámetros de estimación del confort térmico, donde la vestimenta es la estimación de acuerdo a la estación del año al interior de la sala, según el personal docente del establecimiento, se considera ropa interior (corta y larga), camisa o blusa (normal manga larga), pantalón largo normal, chaleco, calcetín largo, zapato y chaqueta. Con esto se completa una estimación de aislamiento de 1.5 clo ó 0.233 m²K/W. Por otro lado, la tasa metabólica considera que una actividad sedentaria (oficina, domicilio, escuela, laboratorio, industria ligera), es de 70 W/m² o 1.2 Met (Unión Europea, 2006). Estas tasas están dadas para personas jóvenes y adultas. Además, para la temperatura operativa se consideró un promedio de temperatura interior en la sala de clases medidas en el lugar, siendo 14.0 °C. Finalmente, la velocidad del aire es el promedio de las mediciones equivalente a 0.2 m/s.

Tabla 4. Valores de los parámetros por la actividad en el aula, según el criterio UNE-EN ISO 7730 (Unión Europea, 2006).

Parámetro	Valor	Unidad de medida
Vestimenta	0.233	m ² K/W
Tasa metabólica	70	W/m ²
Temperatura operativa	14.0	°C
Velocidad del aire	0.2	m/s

Con los valores anteriores se obtiene el IVM de -0.93, representando con ello el valor medio de la sensación térmica que emitirá un grupo de personas sometidas al mismo ambiente en el rango de -3 a 3 para una humedad relativa del aire de 50%. Corrigiendo la humedad relativa respecto al promedio de la humedad relativa del aire interior de la sala (64.5%), utilizando la ecuación 2 y 3 de la metodología, el nuevo IVM es -0.61 (considerando el FH: 0.007 y FR: 0.05).

El PPD que representa el porcentaje de insatisfacción de un grupo de personas es 13%. A través de los resultados del IVM y PPD, se obtiene la distribución de los votos de sensación térmica tal como lo señala la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de la distribución de los votos de sensación térmica correspondiente al PMV y PPD obtenidos.

PMV	PPD	Porcentaje acumulativo de personas que se estima que voten por una escala de sensación térmica (%)		
	%	0	-1, 0, 1	-2, -1, 0, 1, 2
-0.61	13	50	87	97

Respecto a la sensación de confort térmico se estima según los resultados obtenidos que solo un 50% de las personas votan por un confort absoluto. A su vez, el 10% tiene sensación de “muy frío”, lo cual implica que se puede estimar que las medidas de mejoramiento térmico permitirán que todas las personas en la sala alcancen una sensación térmica de confort.

Consumo Energético

Se realizó una recopilación de la información de consumo de energía eléctrica del LTP-ES a través de boletas de consumo eléctrico, para ello se consideraron los últimos dos años, con ello se pretende obtener la demanda por mes. Con el promedio de consumo eléctrico por mes de ambos años (Figura 8). La demanda máxima de energía eléctrica fue en el mes de junio con 7,378 kWh/mes, considerando 20 días de uso durante un mes y una jornada de 10 h (08:00 a 18:00 h), la demanda máxima promedio es de 37 kW.

La tarifa eléctrica que tiene el LTP-ES corresponde a una BT4.3, ello significa que esta tarifa separa los cobros por energía en potencia suministrada (demanda máxima del mes) y potencia en horas de punta. Habitualmente, son utilizadas por clientes que tienen la posibilidad de reducir su potencia demandada durante las horas de punta. El Liceo durante un periodo de 12 meses, presentó un gasto total en energía eléctrica de \$8,904,336 CLP.

También se cuantificó el gasto de gas del LTP-ES en un año. Considerando que el gas se utiliza en la cocina, el taller de cocina (especialidad del técnico profesional) y algunas estufas relacionadas a la calefacción de espacios (Tabla 7). Se estima que en un año se utilizan alrededor de 1,300 kg o 2.5 m³ de gas licuado.

Tabla 7. Gasto por consumo energético en gas del LTP-ES.

Ítem de gasto	Gasto anual aproximado (CLP)*
Cocina del Liceo	\$ 890,000
Taller de especialidad	\$ 267,000
Gas de 45 kg para oficina de Adm.	\$ 162,000
Gas de 15 kg para estufas	\$ 132,000
Gas de 5 kg para estufas	\$ 92,000
Total	\$ 1,543,000
*1 US\$ = \$900 CLP	

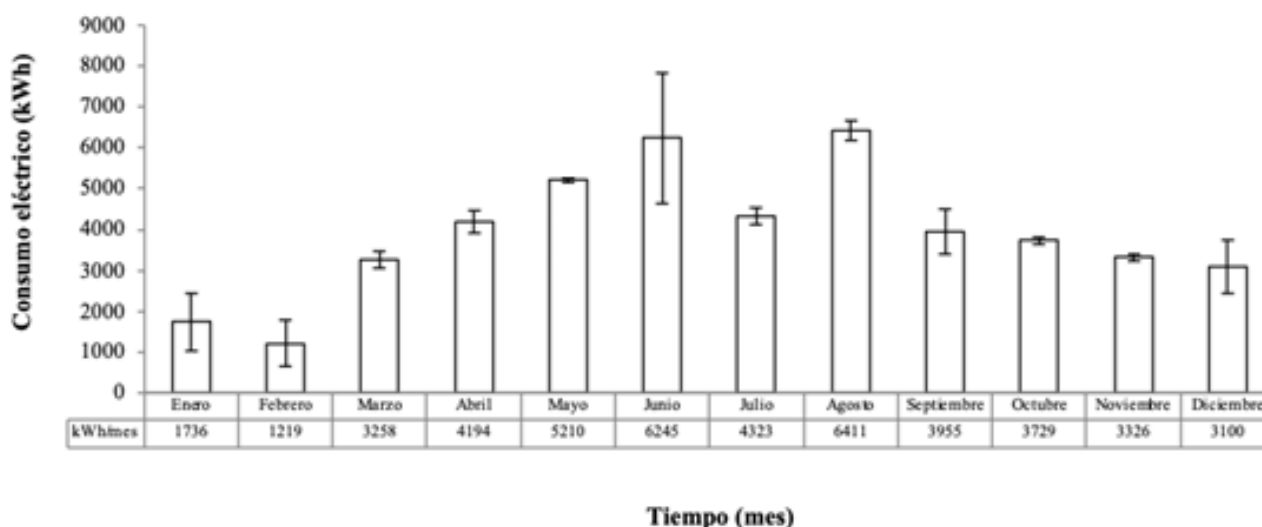


Figura 8. Representación gráfica del promedio de consumo eléctrico del LTP-ES durante dos años y la desviación estándar correspondientemente.

Potencia instalada

Se realizó un diagnóstico de la potencia instalada del LTP-ES considerando cuantificar los consumos de climatización, iluminación, electrodomésticos, entre otros. Esto se presenta en la Tabla 8. Con ello se determinó el tamaño del equipo de cogeneración adecuado para cubrir la demanda energética del LTP-ES. Las potencias consideradas para la estimación están fijadas según los equipos o electrodomésticos que actualmente se cotizan en el mercado. Respecto a la recopilación realizada, la potencia máxima es de 63.4 kW, siendo el 94.3% en equipos de climatización. Por otro lado, de acuerdo con el levantamiento de la información del consumo eléctrico mediante la revisión del detalle en las boletas de consumo, se observa que la demanda promedio máxima de potencia suministrada mensual es 49.7 kW, mientras que la demanda promedio de potencia suministrada mensualmente en hora punta está entre 14 y 20 kW.

Tabla 8. Resumen de estimación de potencia en las zonas designadas en el LTP-ES.

Zonas	Potencia de Iluminación (kW)	Potencia de Corriente (kW)
Zona 1	0.32	5.4
Zona 2	0.76	14.6
Zona 3	1.12	17.9
Zona 4	0.88	17.8
Zona 5	0.84	7.7
Total	3.92	63.4
Zona 1: aulas 7 y 8, oficinas y bodega; Zona 2: comedor, cocina y oficinas; Zona 3: aulas 1, 2, 3 y 4, sala de actividades y biblioteca; Zona 4: aulas 5 y 6, taller, laboratorio, oficinas y baños; Zona 5: aulas 9, 10, 11 y 12, y baños.		

Transmitancia térmica

La materialidad de construcción del establecimiento es de albañilería armada con pilares y cadenas de hormigón armado, estucada por exterior e interior enlucido de yeso. Unidad de ladrillo Santiago Te 7 con mortero de pega (1.5 cm

de yaga y tendel) más estuco de mortero exterior de 2 cm de espesor y enlucido de yeso interior del muro con espesor de 1.5 cm. Esta secuencia de materialidad está descrita en el código 1.2.M.B8.2 del “Listado oficial de soluciones constructivas para el acondicionamiento térmico” (Minvu, 2007), donde resulta una resistencia térmica de 0.59 m²K/W y transmitancia térmica de 1.69 W/Km². Luego, la transmitancia térmica para los elementos de hormigón armado (λ : 1.63 W/mK) de 20 cm de espesor, más el enlucido de yeso (λ : 0.44 W/mK) y estuco de mortero (λ : 1.40 W/mK) (MINVU, 2014), se obtiene con la ecuación (6). Con base a los valores de las superficies pilares y cadenas (1.06 m²) y de la superficie de muro albañilería (6.44 m²) se realiza la ponderación de 14 % y 86 % según corresponda para el cálculo de la transmitancia total del muro, mediante la ecuación (7). La ecuación (6) permite determinar la transmitancia térmica del complejo constructivo ventanas de vidrio monolítico incoloro, cristal simple de 3 mm de espesor y marco de aluminio color gris (ver Figura 9).

La ecuación (6) permitió determinar la transmitancia térmica del complejo constructivo de la estructura del cielo que está conformada por cerchas de madera cepillada de 1" x 4", un sistema de empalizado de madera 2" x 2" con un cuadrículado de 40 x 40 cm da soporte al revestimiento de cielo, el cual correspondiente a yeso cartón normal de 1.5 cm. La aislación es de poliestireno expandido de 5 cm de espesor dispuesto en los cuadrados de 40 x 40 cm que forma el empalizado. La ecuación (6) permite determinar la transmitancia térmica del complejo constructivo de la puerta que corresponde a un materialidad de pino macizo. Finalmente, conociendo la transmitancia térmica de la envolvente se calcula el flujo de calor que se transfiere por esta, contemplando una temperatura interior en la sala de 295.2 K (22 °C) cumpliendo con ello el confort térmico, además se considera para el exterior de la sala una temperatura mínima promedio de invierno de 276.4 K (3.2 °C) (Tabla 9).

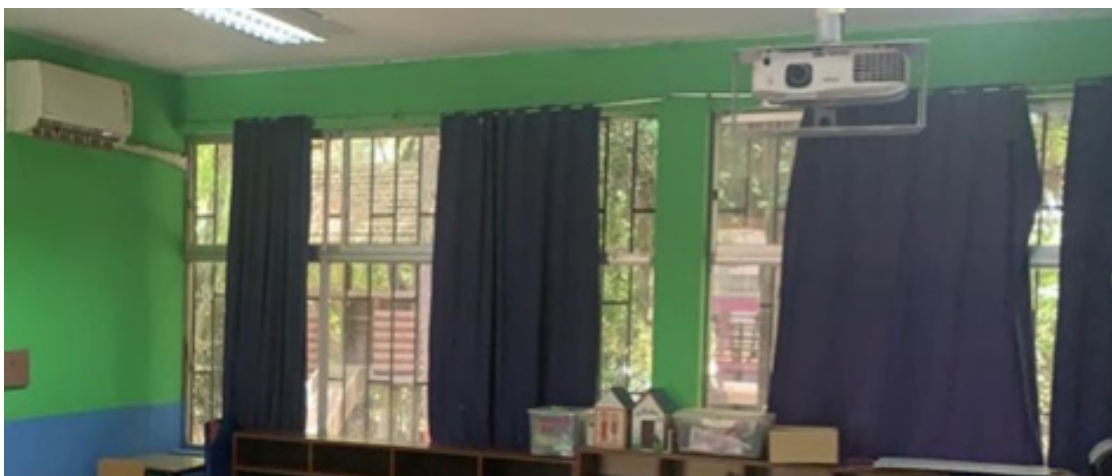


Figura 9. Fotografía de las ventanas de la sala de clases.

Tabla 9. Resumen de los resultados del flujo de energía transferida en la sala de clases.

Elemento	Superficie (m ²)	Temperatura (K)		Diferencia de temperatura (K)	Transmitancia térmica (W/m ² *K)	E n e r g í a traspasada (W)
		Interior	Exterior			
Muros perimetrales con el exterior	28.8	295.2	276.4	18.8	1.85	1,001.6
Muros perimetrales con el interior	30.0	295.2	295,2	0.0	1.85	0.0
Cielo	48.0	295.2	276,4	18.8	0.87	785.1
Ventanas	11.2	295.2	276,4	18.8	5.80	1,221.2
Puerta	1.8	295.2	276,4	18.8	1.54	52.1
					Total (W)	3,060

El flujo de energía total transferido por los componentes de la sala (cielo, muro, ventana y puerta) es equivalente a la energía que se necesita al interior de ella para mantener la temperatura de confort en un día de invierno, (22 °C al interior de la sala de clases y 3.2 °C al exterior de esta) la cual asciende a 3.06 kW. La tasa de calefacción se obtiene dividiendo la energía total necesaria para mantener la temperatura de confort en invierno por los metros cuadrados de la sala de clase en cuestión, dando así 63.8 W/m². Por lo tanto, sabiendo que la superficie total que será calefaccionada es 989 m², entonces la energía calórica total es de 63.1 kW.

Conclusiones

En relación con la demanda energética del LTP-ES, se observó que el confort térmico estudiado permitió visualizar la satisfacción térmica de una sala de clases del Liceo rural, donde el 50% de estudiantes están en la condición máxima de satisfacción térmica y un 13% en condición de insatisfacción térmica.

Mediante la recopilación de consumo eléctrico se logró determinar que en el mes de junio se produce el mayor consumo de electricidad en el Liceo con 7,378 kWh/mes, de acuerdo al levantamiento de la información del consumo eléctrico, en la revisión del detalle en las boletas de

consumo, se observó que la demanda promedio máxima de potencia suministrada mensual fue de 49.7 kW, mientras que la demanda promedio de potencia suministrada mensualmente en hora punta está entre 14 y 20 kW.

Se determinó que la energía que necesita una sala para mantener el confort térmico en invierno equivale a 3.06 kW (22 °C al interior de la sala de clases y 3.2 °C al exterior de esta). También se obtuvo la transmitancia térmica de muros la cual está al límite de acuerdo con lo que establece la OGUC (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones) y por debajo de lo señalado por el PPDA (Plan de Prevención y/o Descontaminación Atmosférica) para Talca.

Los hallazgos de este estudio permiten proponer soluciones de aislación térmica en los lugares de estudio, para luego idear una solución tecnológica basada en la recuperación de residuos orgánicos del sector rural, que permita al Liceo ser independiente energéticamente.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a la red de eficiencia térmica industrial RIETI-CYTED por brindarnos la invaluable oportunidad de compartir experiencias en el campo de las energías renovables y enriquecernos con los conocimientos aportados por los estudios realizados en las instituciones colaboradoras. Asimismo, agradecemos al Dr. Efraín Gómez y a un revisor anónimo las observaciones a nuestro manuscrito, las cuales ayudaron a mejorar el documento.

Referencias

- López-Chao, V.A. (2016). El impacto del diseño del espacio y otras variables socio-físicas en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Tesis de Doctorado, Universidad de Coruña, España, 559 pp. <https://core.ac.uk/download/pdf/75988539.pdf>
- Aeonor (2006). Ergonomía del ambiente térmico. Une-en 7730:2005
- Alhilli, H.K., Burhan, A.M. (2021). Developing a system for assessing the sustainability in school building projects. *Environment Development and Sustainability*, 23(12), 17483-17502. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01397-x>
- Barrett, P., Davies, F., Zhang, Y., Barrett, L. (2015). The impact of classroom design on pupils' learning: final results of a holistic, multi-level analysis. *Building and environment*, 89, 118–133. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.013>
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., Wood, E. F. (2018). Present and future köppen-geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific data*, 5, 180214. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Brodar, E. E., Ruivo, C. R., Da Silva, M. G. (2020). The use of Monte Carlo Method to assess the uncertainty of thermal comfort indices PMV and PPD: benefits of using a measuring set with an operative temperature probe. *Journal of building engineering*, 101961. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101961>
- Campano, M. A., Pinto, A., Acosta, I., Muñoz-González, C. (2017). Analysis of the perceived thermal comfort in a portuguese secondary school: methodology and results. *Int. J. Eng. Technol*, 9, 448-455. <https://doi.org/10.7763/ijet.2017.v9.1015>
- Castejón, E. (1983). Documentación NTP 74 : confort térmico - Método de Fanger para su evaluación. Notas técnicas de prevención. Insht, 1–14.

- Davies, M. G. (2004). Building Heat Transfer. John Wiley & sons, England. ISBN 0-470-84731-x
- De Dear, R., Xiong, J., Kim, J., Cao, B. (2020). A review of adaptive thermal comfort research since 1998. *Energy and buildings*, 214, 109893. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109893>
- González-Galvez, O., Morales, M., Seefoó, C., Morillón, D., Valdés, H. (2018). Energy diagnosis of university buildings: Renewable Energy Institute from UNAM. *Buildings*, 8(10), 136. <https://doi.org/10.3390/buildings8100136>
- Holopainen, R., Tuomaala, P., Hernandez, P., Häkkinen, T., Piira, K., Piippo, J. (2014). Comfort assessment in the context of sustainable buildings: comparison of simplified and detailed human thermal sensation methods. *Building and environment*, 71, 60-70. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.09.009>
- Lamberti, G., Salvadori, G., Leccese, F., Fantozzi, F., Bluysen, P. M. (2021). Advancement on thermal comfort in educational buildings: current issues and way forward. *Sustainability*, 13(18), 10315. <https://doi.org/10.3390/su131810315>
- Martínez-Molina, A., Boarin, P., Tort-Ausina, I., Vivancos, J. L. (2017). Post-occupancy evaluation of a historic primary school in Spain: comparing PMV, TSV and PPD for teachers' and pupils' thermal comfort. *Building and environment*, 117, 248-259. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.03.010>
- MINVU (2018). Estándares de Construcción Sustentable para viviendas de Chile. Gobierno de Chile. 1, 182.
- MINVU (2014). Norma chilena 853: acondicionamiento térmico - envolvente térmica de edificios - cálculo de resistencia y transmitancia térmicas. Gobierno de Chile.
- MINVU (2007). Listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico. Gobierno de Chile. 3582.
- Paul, W. L., Taylor, P. A. (2008). A comparison of occupant comfort and satisfaction between a green building and a conventional building. *Building and Environment*, 43(11), 1858-1870. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.11.006>
- Peterssen-Soffia, G. (2020). Los materiales de construcción, su ausencia en la certificación de edificio sustentable (CES), Chile. *Arquitectura y Urbanismo*, 41(2). ISSN 1815-5898.
- Rodríguez, C. M., Coronado, M. C., Medina, J. M. (2021). Thermal comfort in educational buildings: the classroom-comfort-data method applied to schools in Bogotá, Colombia. *Building and Environment*, 194, 107682. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107682>
- Salazar-Vera, C. (2022). Satisfacción de ocupantes en edificios de oficina certificados verde: análisis de los parámetros de calidad del ambiente interior utilizados en edificios certificados CES en Chile. Tesis de magister en hábitat sustentable y eficiencia energética, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile, 113 pp. <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/4133>
- Ter-Mors, S., Hensen, J.L.M., Loomans, M.G.L.C., Boerstra, A.C. (2011). Adaptive thermal comfort in primary school classrooms: creating and validating pmv-based comfort charts. *Building and environment*, 46(12), 2454-2461. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.025>

Trebilcock, M. (2020). Inauguración del Seminario Internacional. Seminario Internacional “Resiliencia y Sustentabilidad: El rol de los Edificios Escolares”. Magíster en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética y Doctorado en Arquitectura y Urbanismo, Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bio-Bio. Concepción, Chile.

Unión Europea (2006). Norma europea 7730 determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local. Norma aprobada por CEN el 21 de octubre 2005. El texto de la norma ha sido elaborado por el comité técnico iso/tc 159 ergonomía en colaboración con el comité técnico cen/tc 122 ergonomía, cuya secretaría está desempeñada por DIN. Octubre de 2006, núm. 7730, 1-60.

Zomorodian, Z. S., Tahsildoost, M., Hafezi, M. (2016). Thermal comfort in educational buildings: a review article. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 895-906. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.033>

Manuscrito recibido: 9 de agosto de 2024

Recepción del manuscrito corregido: 12 de noviembre de 2024

Manuscrito aceptado: 22 de noviembre de 2024