



Facultad de Ingeniería
Escuela de Construcción Civil

Reconversión energética lumínica en Biblioteca y Salas de Clases del primer piso, del Edificio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Valparaíso.

Por

Matias Herrera Amador

**Trabajo de título para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la
Construcción y al Título de Ingeniero Constructor**

**Profesor Guía
David Jamet Aguilar**

Valparaíso, diciembre de 2025

Índice

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES GENERALES.....	4
1.1 INTRODUCCIÓN	4
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	4
1.3 OBJETIVOS	5
1.4 ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.5 ETAPAS DE TRABAJO	6
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES.....	8
2.1 CAMBIO CLIMÁTICO	8
2.2 ENERGÍA LUMÍNICA	10
2.3 CONCEPTOS LUMÍNICOS PARA EL CONFORT DE UN ESPACIO.....	11
2.4 REGLAMENTACIÓN Y NORMATIVA CHILENA.....	13
2.5 CONFORT LUMÍNICO	14
2.6 EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	15
2.7 PROTECCIÓN DE LOS VALORES PATRIMONIALES URBANOS.	15
2.8 EVALUACIÓN LUMÍNICA.	16
2.9 TECNOLOGÍA LED.....	17
2.10 METODOLOGÍA DEL TRABAJO.....	17
2.11 CARACTERÍSTICAS DEL CASO ESTUDIO.....	18
2.12 DESCRIPCIÓN DEL CASO ESTUDIO.....	18
CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA.....	23
3.1 CUMPLIMIENTO DE LA REGLAMENTACIÓN LUMÍNICA.....	23
3.2 COMPORTAMIENTO LUMÍNICO	29
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.	31
4.1 RESULTADOS DE EVALUACIÓN VIRTUAL.....	31
4.2 BIBLIOTECA.....	32
4.3 SALA 101	33
4.4 SALAS 102, 103 Y 104.....	35
4.5 SALA 105	38
4.6 SALA 107	39
4.7 AUDITORIO.....	40
4.8 MEDICIONES CON LUXÓMETRO.....	41
4.9 EQUIPOS LUMÍNICOS.....	43
CAPITULO 5. EQUIPOS LED COMO PROPUESTA.....	45
5.1 EQUIPOS LED.....	46
5.2 COMPARACIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO.....	54
CAPÍTULO 6. EVALUACIÓN ECONÓMICA	55
6.1 PARÁMETROS DE LA EVALUACIÓN.....	55
6.2 VALORIZACIÓN DEL AHORRO ENERGÉTICO.....	56
6.3 AHORRO ENERGÉTICO Y ECONÓMICO ANUAL.	56
6.4 INDICADORES ECONÓMICOS.	57
6.5 COMPARACIÓN DE ESCENARIOS.....	59

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES	60
BIBLIOGRAFÍA.....	62

Capítulo 1. Antecedentes Generales

1.1 Introducción

El presente trabajo de tesis aborda un reacondicionamiento energético-lumínico en zonas específicas del edificio de la facultad de ingeniería de la Universidad de Valparaíso, ubicado en la ciudad de Valparaíso. Esta edificación, un mecano de acero de 5 pisos, fue trasladado vía marítima desde Europa y ensamblada en el año 1908 en el Barrio Almendral, a una cuadra del Parque Italia, por el arquitecto alemán Otto Anwandter.

El estudio se centra en las salas del primer piso, y biblioteca, ya que, estas zonas fueron las definidas como representativas del edificio. Esta elección busca hacer mas eficiente el análisis, considerando que los sistemas de iluminación y el tipo de uso de los espacios no representan diferencias relevantes en los otros niveles. Evaluar todo el edificio resultaría algo redundante desde el punto de vista del diseño lumínico.

El objetivo es evaluar las condiciones actuales de iluminación artificial en las zonas seleccionadas, considerando los tipos de luminarias instaladas, su disposición en los espacios, el consumo energético asociado y los niveles de luminancia alcanzados. Conforme con estos antecedentes, se identificarán oportunidades de mejora en términos de eficiencia energética y calidad lumínica. Finalmente, el trabajo propondrá una estrategia de reconversión lumínica sustentada en tecnología LED, todo según indica la Norma Chilena NCh 4/2003.

1.2 Planteamiento del problema.

En el contexto actual, la eficiencia energética en edificaciones es una necesidad creciente, tanto por el impacto económico del consumo eléctrico como por la búsqueda de ambientes interiores más confortables y funcionales. Uno de los aspectos más relevantes en este ámbito es el sistema de iluminación artificial, el cual influye directamente en el consumo energético y en la calidad del entorno interior (Energía, 2018)

El concepto de eficiencia energética, como lo plantea Jordi Contreras (2015), se basa en optimizar el uso de la energía sin sacrificar el confort. Esto implica aplicar tecnologías que permitan reducir el consumo, especialmente en un contexto donde la demanda energética crece de manera constante. Entre estas tecnologías, la iluminación LED ha demostrado ser una de las más eficaces, al ofrecer una mayor vida útil, bajo consumo, menor emisión de calor y ausencia de gases o metales pesados contaminantes. Además, permite alcanzar niveles de iluminación adecuados con potencias significativamente menores, lo que se traduce en una reducción de costos operacionales.

En Chile, la política energética ha enfatizado la necesidad de mejorar el desempeño energético de los edificios, especialmente los de uso público y educacional, promoviendo tecnologías eficientes como la iluminación LED (Energía, 2015).

El edificio patrimonial, ubicado en la ciudad de Valparaíso, representa un caso interesante en este contexto, por tratarse de una edificación histórica que cumple funciones académicas. A pesar de que ha recibido mejoras el edificio, surge la necesidad de evaluar de manera técnica, le desempeño energético-lumínico de zonas específicas del edificio con el objetivo de identificar oportunidades de mejora, y analizar la factibilidad de incorporar tecnología LED como estrategia de optimización, en conformidad con la normativa vigente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Evaluar el estado actual del sistema de iluminación en las zonas seleccionadas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Valparaíso y proponer una reconversión energética basada en tecnología LED, orientada a mejorar la eficiencia y el confort lumínico según la normativa vigente.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar el desempeño energético y lumínico de las zonas estudiadas mediante mediciones en terreno y análisis digital.
- Verificar el cumplimiento de la normativa vigente en relación con los niveles de iluminancia requeridos.
- Diseñar una propuesta técnica de iluminación LED para los espacios evaluados e incluir una estimación económica que permita analizar la viabilidad de la reconversión.

1.4 Alcances de la investigación

Dado que este trabajo no implementa directamente la solución propuesta, no se formula una hipótesis formal. En su lugar, se establece un alcance de carácter exploratorio y técnico, orientado a diagnosticar la situación actual del sistema lumínico y evaluar su reconversión energética a partir de una alternativa viable.

En pleno siglo XXI, la obsolescencia tecnológica es un fenómeno inherente al continuo avance científico y técnico. Tecnologías antiguas, como la iluminación fluorescente, han sido superadas por soluciones más eficientes, entre las que destaca la iluminación LED. Esta transición obedece principalmente a la necesidad de modernizar los sistemas existentes y optimizar el rendimiento energético de los espacios.

En este contexto, la renovación del sistema de iluminación del edificio Hucke, declarado patrimonio cultural, mediante la incorporación de tecnología LED, representa una medida pertinente para mejorar el consumo eléctrico y contribuir a la preservación del inmueble. Esta intervención, además de mejorar las condiciones funcionales del edificio, fortalece su conservación y permite una gestión más eficiente de sus recursos.

El estudio será realizado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Valparaíso, edificio patrimonial, ubicado en Calle General Cruz 222, El Almendral, Valparaíso, Chile.

1.5 Etapas de Trabajo

La investigación tendrá una estructura que consta de diferentes etapas.

1. **Recopilación de antecedentes técnicos y normativos:** En esta primera etapa se recopilarán planos del edificio, información general sobre su distribución y uso, y documentación técnica referida a sus sistemas de iluminación actuales. Además, se revisará la normativa vigente, en particular la NCh4/2003, para establecer los criterios mínimos de iluminancia exigidos en espacios educativos. Toda esta información será clave para definir los parámetros del análisis y orientar las decisiones posteriores.
2. **Modelado digital y simulación del sistema actual:** Con los antecedentes recopilados, se elaborará un modelo virtual del primer piso del edificio utilizando el software DIALux. Este modelo incluirá dimensiones reales, ubicación geográfica, distribución de luminarias, alturas de cielo, y materiales predominantes. A través de este entorno digital se simularán las condiciones actuales de iluminación, lo que permitirá estimar el comportamiento lumínico de los espacios y calcular su consumo energético.
3. **Propuesta técnica con iluminación LED:** Luego del diagnóstico inicial, se desarrollará una propuesta de reconversión que considere el reemplazo de las luminarias actuales por equipos LED de alto rendimiento. Esta alternativa será evaluada dentro del modelo digital, lo que permitirá verificar si cumple con los niveles normativos de iluminancia y si representa una mejora significativa en términos de eficiencia y confort visual. También se considerará que la propuesta sea respetuosa con la condición patrimonial del inmueble.
4. **Evaluación de Factibilidad Económica:** Para respaldar los resultados obtenidos en la simulación, se realizarán mediciones in situ de iluminancia utilizando un luxómetro digital. Estas mediciones se llevarán a cabo en puntos representativos de las salas y de la biblioteca, bajo condiciones de iluminación artificial. Los datos obtenidos permitirán comparar los niveles reales, con los proyectados por el programa, los cuales pueden no reflejar con total fidelidad las condiciones reales de los puntos de estudio.
5. **Análisis de resultados y propuesta:** En la última etapa se desarrollará un análisis económico de la propuesta, considerando el costo estimado de implementación, la vida útil de los equipos, los requerimientos de mantención y el ahorro energético proyectado. A partir de estos resultados se elaborarán las conclusiones generales del estudio, junto con recomendaciones técnicas para una posible implementación de la propuesta de reconversión en el edificio estudio.

1.5.1 Carta Gantt

PROGRAMACIÓN TIPO "GANTT" DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO															
Nº	Descripción	21-abr	28-abr	05-may	12-may	19-may	26-may	02-jun	09-jun	16-jun	23-jun	30-jun	07-jul	14-jul	21-jul
1	Revisión bibliográfica y marco normativo														
2	Plantamiento del problema														
3	Definición de objetivos														
4	Marco Teorico														
5	Modelado Virtual														
6	Diagnosticos In-situ														
7	Analisis de resultados														
8	Evaluación técnica y economica														
9	Propuesta de mejora														
10	Conclusiones y propuesta final														

Figura 1.1 Programación de la Metodología

Capítulo 2. Marco Teórico y Antecedentes

2.1 Cambio climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su primer artículo, se define al cambio climático como el "atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables".

En las décadas recientes, las modificaciones en el clima han causado impactos en los sistemas naturales y humanos en todos los continentes y océanos. El cambio climático es un factor de riesgo para el éxito de las acciones encaminadas a la reducción de la pobreza, para la seguridad alimentaria, la salud pública, educación, en general para el desarrollo humano; elementos que de no atenderse aumentan la vulnerabilidad de la población (Zamora Martínez, Marisela Cristina, 2015).

El impacto del cambio climático en el sector energético, ya que, por su carácter estratégico puede ser especialmente grave, ya que incide en la seguridad y calidad del suministro de energía eléctrica y en los combustibles utilizados por todos los sectores productivos. La vulnerabilidad y el peligro definen el riesgo ante cambio climático. El diagnóstico de la vulnerabilidad es el elemento clave para proyectar los impactos y, por lo tanto, es un paso previo e indispensable en el diseño de políticas públicas de adaptación (Zamora Martínez, Marisela Cristina, 2015).

2.1.1 Consumos de energía

Entre la energía y el cambio climático; existe una conexión muy significativa, y es que el alto consumo de energías fósiles, acompañadas de otros factores humanos, han provocado que hoy en día exista la lucha contra el calentamiento climático.

Desde el inicio de la era industrial, el consumo de energía proveniente de los combustibles fósiles, carbón, petróleo y gas natural, ha ido en aumento. La sociedad, tal y como la conocemos hasta ahora, está basada en estas fuentes de energía y en ellas hemos basado nuestra economía. A su vez, la quema de los combustibles fósiles es la responsable de la producción de los gases de efecto invernadero, causantes del calentamiento global.

En Chile el 75% de la energía primaria es a partir de combustibles fósiles. El 57% de aquella energía consumida proviene del petróleo. En 2018 el 38,6% de la electricidad fue generada por carbón, que a su vez es responsable del 26% de las emisiones GEI (gases de efecto invernadero) de Chile (Comisión Nacional de Energía).

A continuación, en la Figura 2.1, se muestra un gráfico, en donde se puede dimensionar el consumo de energías en Chile. Entendiendo que, como bien se mencionó en el párrafo anterior, el mayor consumo a nivel nacional proviene de combustibles fósiles, siendo estos factores negativos en la lucha contra el cambio climático.

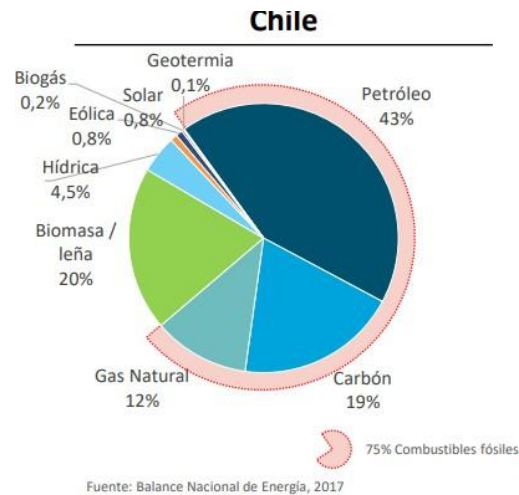


Figura 2.1 Energía Consumida en Chile (Balance Nacional de Energía, 2017)

En Chile, las edificaciones son responsables de un 22% del consumo de energía final en nuestro país, lo que representa un 7% del total del total de emisiones de CO₂. (Ministerio De Energía, 2020)

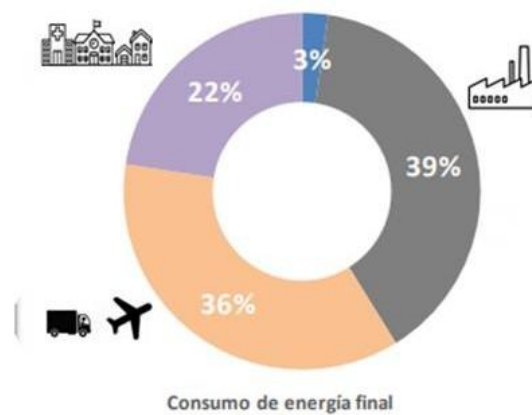


Figura 2.2 Consumos de Energía en Chile Fuente: Balance Nacional de Energía 2018.



Figura 2.3 Porcentaje de Consumos en Chile Fuente: Balance Nacional de energía 2018.

2.2 Energía lumínica

La energía lumínica corresponde a la radiación electromagnética visible para el ojo humano, comprendida entre 380 y 780 nm, y su presencia en un espacio interior determina la capacidad de los usuarios para ejecutar tareas visuales con precisión, rapidez y comodidad. En ingeniería lumínica, el interés no se orienta únicamente a la presencia de luz, sino a su cantidad, distribución, calidad y estabilidad en el tiempo, variables que inciden directamente en el confort visual y en la eficiencia energética del recinto (Aghajari, 2025).

Para evaluar la iluminación interior se utilizan, principalmente, dos magnitudes fotométricas:

- Lumen (lm): cantidad total de flujo luminoso emitido por una fuente.
- Lux (lx): flujo luminoso recibido por unidad de superficie (lm/m^2).

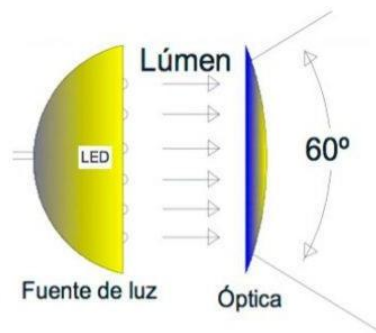


Figura 2.4 Percepción Luminosa Fuente: Buron "Empresa de productos eléctricos y electrónicos"

En espacios interiores, la iluminación se obtiene mediante la combinación de luz natural y luz artificial. La primera depende de factores externos como la hora del día, la orientación, la latitud y las condiciones climáticas; la segunda, en cambio, entrega niveles controlados y constantes, permitiendo asegurar la continuidad de las actividades independientemente de la variabilidad exterior (Budhiyanto, 2024). Es por ello por lo que en recintos con ocupación continua (salas de clases, auditorios y bibliotecas) la iluminación artificial constituye el componente crítico para garantizar condiciones visuales constantes.

La relación entre luz natural y artificial no es competitiva, sino complementaria. Cuando la contribución de luz natural es baja, inexistente o fluctuante, la iluminación artificial debe

asegurar que los niveles de iluminancia no descieran por debajo de lo exigido normativamente, evitando además contrastes excesivos o deslumbramientos que afecten la percepción visual y la concentración (Salomón, 2022). Esto adquiere especial relevancia en contextos educativos, donde las actividades visuales son prolongadas y altamente demandantes, y donde las deficiencias de iluminación pueden afectar el rendimiento cognitivo y la salud visual de los usuarios (Muñoz, 2023).

Por lo anterior, el análisis de energía lumínica en una edificación no se limita al cálculo de iluminancia, sino que requiere estudiar simultáneamente la potencia instalada, la eficacia luminosa de los equipos, la distribución espacial de la luz y las condiciones reales de uso del recinto. Estos factores determinan la calidad de la iluminación tanto desde el punto de vista visual como energético, y fundamentan la necesidad de evaluar el desempeño lumínico actual del edificio en estudio y la pertinencia de una eventual reconversión tecnológica hacia sistemas de mayor rendimiento

2.3 Conceptos lumínicos para el confort de un espacio.

El confort lumínico se refiere al estado en que un usuario puede realizar tareas visuales con precisión y naturalidad, sin experimentar fatiga ocular ni molestias asociadas a la iluminación del entorno. Dicho confort depende de un conjunto de variables cuantitativas y cualitativas que interactúan simultáneamente: nivel de iluminancia, distribución de luminancias, uniformidad, reproducción cromática, temperatura de color y control del deslumbramiento (Aghajari, 2025)

2.3.1 Confort visual

El confort visual corresponde al estado en el que un usuario puede realizar tareas visuales de manera eficiente, precisa y sostenida, sin experimentar fatiga ocular, estrés visual o molestias derivadas de la iluminación del entorno. Según la literatura reciente, el confort visual depende de la adecuada interacción entre parámetros físicos de la iluminación y las capacidades fisiológicas del sistema visual humano (Aghajari, 2025).

Para que exista confort visual, no basta con que la iluminancia supere los valores mínimos requeridos; la calidad de la luz debe ser compatible con las exigencias de la actividad realizada. Entre los factores determinantes se encuentran:

- **Nivel adecuado de iluminancia (lux):** suficiente para discriminar detalles sin forzar la visión.
- **Uniformidad de la iluminación:** evita cambios bruscos entre zonas claras y oscuras que exigen adaptación constante de la pupila.
- **Control del deslumbramiento (UGR):** evita sensaciones de molestia visual asociadas a fuentes luminosas brillantes dentro del campo visual.
- **Reproducción cromática (CRI):** favorece la correcta percepción de formas, colores y contrastes.
- **Temperatura de color (CCT):** influye en el estado de alerta, la concentración y la percepción ambiental.
- **Ausencia de parpadeo (flicker):** reduce la fatiga visual en exposiciones prolongadas.

En entornos educativos, estos factores adquieren especial relevancia, ya que los estudiantes permanecen largos periodos dentro del recinto realizando actividades visuales exigentes como lectura, escritura manual, proyección audiovisual y uso de pantallas digitales. Se ha demostrado que una iluminación deficiente puede provocar disminución de la velocidad de lectura, incremento de errores y mayor fatiga ocular, mientras que una

iluminación bien diseñada promueve atención sostenida y mejor desempeño académico (Muñoz, 2023; Budhiyanto, 2024).

Por lo tanto, el confort visual es el resultado final percibido por los usuarios cuando las condiciones lumínicas del recinto (nivel de iluminancia, distribución, color y control del deslumbramiento) se ajustan a las necesidades de las tareas realizadas. En otras palabras, el confort lumínico es la condición física del espacio y el confort visual es la experiencia humana que resulta de esa condición (Salomón, 2022).

2.3.2 Efectos psicológicos

El estado de ánimo es un reflejo de las sensaciones de una persona. Factores que se sabe influyen en el estado de ánimo son el tiempo atmosférico, y las estaciones, así como las condiciones visuales y el entorno (visual).

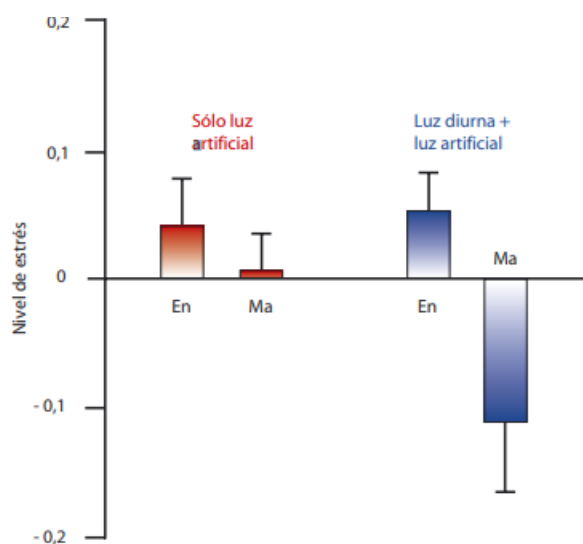


Figura 2.5 Guía técnica para el “aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios”

En el grafico se dimensionan los niveles de estrés de un grupo “equis” de empleados que trabajan sólo con luz eléctrica (barras rojas), y otro grupo que trabaja con la combinación de luz natural y artificial (barras azules).

2.3.3 Efectos biológicos

En el diario vivir, y junto con la comida, el aire y luz, la luz solar es uno de los factores más importantes en la vida humana. La luz natural tiene sobre los seres humanos más efectos que solo visuales y psicológicos.

La luz, además de proporcionar estímulos visuales, ejerce profundos efectos biológicos en los seres humanos y otros mamíferos. Según varias investigaciones anteriores y de la época, se ha demostrado que tanto la iluminación natural como la artificial afectan a la salud de las personas, entre las que se encuentran, el humor, el bienestar, y el estado de alerta (Wurtman, R. J. 1968).

2.4 Reglamentación y normativa chilena.

La iluminación en recintos asistenciales y educacionales en Chile está regulada principalmente por la Norma Chilena NCh 4/2003: Electricidad – Instalaciones interiores en baja tensión, emitida por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC). Esta norma establece los parámetros mínimos que deben cumplirse en materia de iluminación artificial para garantizar condiciones adecuadas de visibilidad y confort visual en los distintos espacios.

Entre los factores que deben considerarse para el diseño de sistemas de alumbrado, la normativa indica que se debe tener en cuenta:

- El nivel de iluminación requerido (expresado en lux)
- El tipo de fuente luminosa
- Área total del recinto a iluminar

La norma también señala que los niveles de iluminancia deben ajustarse según el tipo de local y la actividad que se realiza en él. Estos valores están especificados en la **tabla N.º 11.25** de la normativa, la cual entrega los niveles mínimos recomendados para distintas tipologías de recintos.

A continuación, se puede apreciar los valores relevantes para esta investigación;

Tabla 2.1 Iluminancias mínimas para locales educacionales y asistenciales

Iluminancias Mínimas para Locales Educacionales y Asistenciales

Tipo de Recinto	Iluminancia [Lux]
Atención administrativa	300
Bibliotecas	400
Cocinas	300
Gimnasios	200
Oficinas	400
Pasillos	100
Policlínicos	300
Salas de cirugía menor	500
Salas de cirugía mayor, quirófanos (*)	500
Salas de clases, párvulos	150
Salas de clases, educación básica	200
Salas de clases, educación media	250
Salas de clases, educación superior	300
Salas de Dibujo	600
Salas de Espera	150
Salas de Pacientes	100
Salas de Profesores	400

(*) *Corresponde a la iluminación general del recinto, no considera el aporte de la lámpara quirúrgica.*

Para el desarrollo de este trabajo se tomarán como referencia estos valores normativos, ya que corresponden directamente con los espacios evaluados: salas de clases del primer piso y la biblioteca ubicada en el nivel -1 del edificio Hucke.

Además, es relevante mencionar el Decreto Supremo N° 594/1999 del Ministerio de Salud, el cual regula las condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo. Este decreto establece criterios relacionados con la calidad lumínica, tales como el confort visual, el control del deslumbramiento y la prevención de fatiga ocular en entornos laborales prolongados. Si bien este decreto aplica principalmente a contextos laborales, sus

lineamientos son extrapolables a espacios educacionales, considerando la necesidad de mantener condiciones adecuadas para la concentración y el rendimiento académico.

2.4.1 Brecha normativa internacional

No obstante, cabe señalar que la NCh 4/2003 fue publicada hace más de 22 años, en un contexto tecnológico y social distinto al actual. En ese entonces, el énfasis estaba puesto en garantizar un mínimo de seguridad y visibilidad, más que en optimizar el confort visual o la eficiencia energética. Hoy en día, los avances en ergonomía, neurociencia de la luz y tecnologías LED demuestran que la iluminación tiene un impacto directo en la productividad, la salud visual y el bienestar psicológico de los usuarios (Boyce, 2003; Veitch, 2001).

Esta antigüedad genera una brecha regulatoria importante: mientras la NCh 4/2003 solo establece valores mínimos de iluminancia (lux), normas internacionales más recientes como la ISO 8995-1:2019 / CIE S 008 y la EN 12464-1:2021 incluyen criterios adicionales como uniformidad, limitación del deslumbramiento (UGR), reproducción cromática (CRI), temperatura de color (CCT) e incluso la posibilidad de control individual de la luz, todos factores que influyen en la percepción del confort visual de los usuarios.

La aplicación de estas normas en el extranjero evidencia la diferencia: la ISO 8995-1:2019 / CIE S 008 es utilizada en países de América (Canadá, México, Argentina, Colombia), Asia (Japón, Corea del Sur, Singapur) y Oceanía (Australia, Nueva Zelanda); mientras que la EN 12464-1:2021 es obligatoria en toda la Unión Europea, incluyendo a España, Francia, Alemania, Italia y Portugal, entre otros.

Tabla 2.2 Cuadro comparativa entre normativas internacionales y nacional

Aspecto comparado	NCh 4/2003 (Chile)	ISO 8995-1 / EN 12464-1
Base regulatoria	Iluminancia (lux)	Iluminancia + parámetros cualitativos
Uniformidad	Considerada de forma general	Especificada y cuantificada
Deslumbramiento	Indicaciones generales	Índice UGR obligatorio
Reproducción cromática	No especificada	Índice CRI mínimo exigido
Temperatura de color	No especificada	Recomendaciones por tipo de actividad
Tecnología	Fluorescencia predominante	LED y fuentes modernas

De este modo, mientras Chile continúa utilizando una normativa con más de dos décadas de antigüedad, gran parte del mundo desarrollado ya aplica estándares que integran criterios de confort visual y salud de los usuarios. Esto refuerza la pertinencia de considerar referencias internacionales en la evaluación y diseño lumínico, entendiendo que la iluminación actual no debe limitarse a cumplir con un valor mínimo de lux, sino a garantizar la experiencia visual, la seguridad y el bienestar en los espacios educativos.

2.5 Confort lumínico

El confort lumínico se refiere a la capacidad para realizar actividades con un grado adecuado de luz, donde el ojo humano no presente agotamiento por exceso o falta de iluminación. La evaluación del confort lumínico debe hacerse por medio de la comprobación de la iluminancia, que representa la densidad del flujo luminoso que tiene incidencia sobre una superficie, donde la unidad de medida de esta es el Lux (lx), por lo tanto si se desea tener conocimiento de la incidencia de la luz natural dentro de un espacio interior, es importante conocer el Coeficiente del factor de luz diurna corregido (FLDc), que corresponde a la relación en porcentaje entre la iluminancia Promedio Interior (Eint) producida por la luz natural en el plano de trabajo y la iluminancia Promedio en el Exterior (Eext) determinada en el mismo instante en un cielo uniformemente y sin obstrucciones (Tareb, 2004).

Con lo mencionado, deduce que se puede conocer la cantidad de luz natural que puede ingresar en un determinado momento en una zona específica del interior de una edificación, a manera de conocer las carencias y excesos de iluminación que deben ser suplidos, o potenciados.

- Indicadores de desempeño lumínico, El indicador de iluminación natural más utilizado es el Daylight Factor (DF): Describe la relación de iluminancia en un punto particular dentro de un espacio y la iluminancia exterior para las mismas condiciones del cielo (Marquez, T. 2012).

$$DF = 100 * E_{in} / E_{ext}$$

En donde el promedio interior (E_{in}) dividido por el promedio exterior (E_{ext}), y el resultado multiplicado por 100, dará un porcentaje, el cual tiene que cumplir con:

< 2%, poca iluminación

2% - 5%, iluminado en un rango optimo

>5%, altamente iluminado

Herramientas de cálculo: DIALux.

2.6 Eficiencia energética

El uso racional de la energía también llamado simplemente la eficiencia energética, es utilizar la energía de manera eficiente para obtener un cierto resultado. Por definición, la eficiencia energética es la relación entre la cantidad de energía utilizada en una actividad y la prevista para su realización.

La eficiencia energética es la obtención de los mismos bienes y servicios energéticos, pero con menos energía y conservando la misma o mayor cantidad de vida, provocando una menor contaminación a un precio inferior al actual, prolongando la vida de los recursos y con menos conflicto en su obtención (Aedenat, et al., 1998).

Para poder entenderlo de mejor manera, a continuación, se dará un ejemplo de eficiencia energética lumínica; una lámpara tipo LED de 7W tiene el mismo nivel de alumbramiento que una lámpara incandescente de 60 W. Es decir, existe una variante de 53 vatios por hora o casi 90% de ahorro. Además, la vida útil del LED es 50 veces más alta y el calor que se transfiere al medio ambiente es más pequeño, de modo que en locales acondicionados se gastaran menos energía para enfriar la habitación (Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia, 2002).

En el contexto educacional, el uso de sistemas LED ha demostrado reducir el consumo eléctrico entre un 40 % y un 70 % en comparación con sistemas fluorescentes, y mejorar las condiciones de confort visual de los estudiantes (Choi & Suk, 2020).

En síntesis, la eficiencia energética, busca disminuir los costos en la producción de energía, bajar las emisiones de gases contaminantes, y crear con menos más. Esta investigación, lo que buscara es la eficacia en cuanto al uso de energía lumínica en el Edificio en estudio.

2.7 Protección de los valores patrimoniales urbanos.

En Chile, la protección del patrimonio histórico y cultural se rige principalmente por la Ley N° 17.288 de Monumentos Nacionales (Congreso Nacional de Chile, 1970), la cual otorga al Consejo de Monumentos Nacionales (CMN) la responsabilidad de resguardar aquellos elementos de valor singular que forman parte del acervo cultural del país. Esta ley abarca bienes construidos, naturales, arqueológicos e históricos, distribuidos en contextos urbanos, rurales y marítimos

En complemento, la Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC) y su Ordenanza General asignan a los municipios la función de identificar, conservar y gestionar aquellos inmuebles que otorguen identidad cultural a barrios, sectores o comunidades. El artículo 60°, inciso segundo, establece que:

“El plan regulador señalará los inmuebles o zonas de conservación histórica, en cuyo caso los edificios existentes no podrán ser demolidos o refaccionados sin previa autorización de la Secretaría Regional de Vivienda y Urbanismo correspondiente.”

En este marco normativo se inscribe el caso del Edificio Hucke, ubicado en calle General Cruz N.º 222, en el sector El Almendral de Valparaíso. Este inmueble constituye un destacado ejemplo de patrimonio industrial de inicios del siglo XX. Fue construido entre 1908 y 1910 para albergar la fábrica de chocolates Hucke, destacando por su innovadora estructura metálica prefabricada tipo “mecano”, ensamblada sin soldaduras, bajo la dirección del arquitecto Otto Anwandter. (Ministerio de las Culturas, 2024)

Actualmente, el Edificio Hucke goza de una doble protección patrimonial. A nivel local, está clasificado como Inmueble de Conservación Histórica (ICH) dentro de la Zona de Conservación Histórica Almendral–Brasil, según el Plan Regulador Comunal de Valparaíso. A nivel nacional, fue declarado Monumento Histórico por el Decreto Supremo N° 5 de 2024, bajo la Ley N° 17.288, lo cual impide su intervención sin la autorización del CMN y refuerza su valor cultural. (Ministerio de las Culturas, 2024)

Definiciones:

- **Inmueble de conservación histórico:** El individualizado como tal en un *“Instrumento de Planificación Territorial”* dadas sus características arquitectónicas, históricas o de valor cultural, que no cuenta con declaratoria de Monumento Nacional.
- **Zona de conservación histórica:** Área o sector identificado como tal en un *“Instrumento de Planificación Territorial”*, conformado por uno o más conjuntos de inmuebles de valor urbanístico o cultural cuya asociación genera condiciones que se quieren preservar.

2.8 Evaluación lumínica.

La evaluación lumínica del edificio en estudio se realizará a través del software DIALux, con el objetivo de conocer en detalle el estado actual de los niveles de iluminación en las zonas seleccionadas. Esta herramienta permitirá analizar el comportamiento energético de la iluminación existente y proyectar posibles mejoras mediante la incorporación de nuevas tecnologías. La idea es generar una comparativa técnica entre la situación actual y una propuesta optimizada, lo que permitirá visualizar los beneficios energéticos y lumínicos de aplicar tecnología más eficiente.

El programa seleccionado es DIALux, un software gratuito de uso profesional, ampliamente utilizado en el diseño de sistemas de iluminación. Esta plataforma permite crear simulaciones precisas, apoyadas en librerías de luminarias de fabricantes reconocidos a nivel internacional, y ofrece representaciones fotorrealistas de los resultados.

Entre las funcionalidades más relevantes que ofrece DIALux se encuentran:

- **Luz artificial:** Permite calcular con precisión la distribución de luz artificial en un espacio mediante un sistema de punto a punto. Se pueden ingresar propiedades como candelas, lúmenes, kilowatts, y archivos IES, además de variables como impacto ambiental y análisis CFD (Computational Fluid Dynamics) o FDS (Fire Dynamics Simulation).
- **Eficiencia fotoeléctrica:** Facilita el cálculo del ahorro energético potencial cuando se aplican sistemas de control automático de luz, ya sea mediante atenuación o encendido/apagado programado, entregando proyecciones anuales de ahorro energético.
- **Luz natural:** Realiza cálculos del factor daylight, integrando la luz natural directa, la luz reflejada externa e interna, e incluyendo análisis por diagramas BRE.

Además del modelado virtual, se contempla la utilización de un luxómetro para realizar mediciones reales de iluminancia en los espacios analizados. Este instrumento permite obtener datos precisos en lux (unidad que mide la cantidad de luz que llega a una superficie),

y su uso es fundamental para comparar los resultados obtenidos en DIALux con las condiciones reales del edificio.

De acuerdo con las directrices de la CIE (Commission Internationale de l'Éclairage), las mediciones de iluminancia en ambientes interiores deben ejecutarse minimizando el aporte de luz natural para asegurar que los resultados representen únicamente el sistema de iluminación artificial evaluado (CIE, 2019). De esta forma, se asegura la consistencia metodológica entre los datos reales y simulados. Los resultados serán contrastados con los rangos establecidos por la Norma Chilena NCh4/2003, que define niveles mínimos de iluminación según el tipo de recinto. Esta validación permitirá verificar la confiabilidad del modelo y realizar los ajustes necesarios en el diseño proyectado.

2.9 Tecnología LED

El acrónimo inglés LED (Light Emitting Diode) que en castellano significa literalmente “Diodo Emisor de Luz” es un elemento capaz de recibir una corriente eléctrica moderada y emitir una radiación electromagnética transformada en luz. Coloquialmente es conocido como Diodo Luminoso.

El año 2016, Fundación Chile en conjunto con el Ministerio de Energía, lanzaron la campaña Cambia el Foco, con el objetivo de promover la iluminación eficiente, impulsando la sustentabilidad y competitividad de Chile a través de un innovador sistema de recambio de ampolletas a la tecnología LED.

Este proyecto tuvo grandes resultados: aumento de la presencia de la tecnología en el mercado de la iluminación, pasando de un 2% el año 2015 a tener más de un 40% de presencia para fines del 2019; un ahorro de casi el 12% del consumo eléctrico a nivel residencial; se evitó la emisión de 7.6 millones de toneladas de CO² y se logró la actualización del estándar mínimo de eficiencia energética de iluminación en el país.

2.10 Metodología del trabajo

Este trabajo de investigación busca alcanzar ciertos objetivos definidos desde el inicio, por lo que fue necesario establecer una metodología que permitiera desarrollarlos de forma ordenada y técnica. A continuación, se describen las etapas que guiaron el proceso, desde la recopilación de información del edificio hasta la simulación y evaluación de la propuesta de mejora con tecnología LED.

1-. Recopilación de información del caso estudio: Se realiza un levantamiento de antecedentes técnicos del edificio, como planos arquitectónicos, superficie de las salas, ubicación de luminarias y condiciones de uso. Asimismo, se reúnen antecedentes normativos y bibliográficos relacionados con confort lumínico, eficiencia energética y estándares nacionales.

2-. Verificación normativa: Con la información recopilada, se revisa si la iluminación existente en las salas evaluadas cumple con los requerimientos mínimos establecidos por la normativa chilena NCh4/2003, especialmente en términos de iluminancia (lux) para espacios educacionales.

3-. Modelado digital del edificio: Se desarrolla una representación virtual del primer piso utilizando software DIALux, definiendo las dimensiones reales, los materiales de superficies, el tipo y disposición de luminarias actuales, así como la ubicación geográfica del edificio, para obtener resultados de simulación precisos.

4-. Simulación del sistema actual: Se simulará los niveles de iluminación y consumo energético de las salas evaluadas, basándose en la configuración actual. Esto permitió detectar zonas con deficiencia lumínica o alto consumo, en comparación con los estándares normativos.

5-. Propuesta técnica con tecnología LED: Se reemplazará virtualmente las luminarias fluorescentes por equipos LED de mayor eficiencia. Esta alternativa es seleccionada por su bajo consumo, larga vida útil y menor impacto ambiental.

6-. Simulación de la propuesta LED: Se realizará una nueva simulación con la propuesta de iluminación LED, comparando los resultados con el sistema actual tanto en términos de niveles de iluminancia como de consumo energético.

7-. Mediciones reales con luxómetro: Para validar los datos obtenidos en las simulaciones, se realizarán mediciones reales de iluminancia en terreno, usando un luxómetro digital. Estas mediciones se llevarán a cabo con luz artificial y permitieron comparar directamente los valores simulados con los resultados observados en el edificio.

8-. Evaluación económica: Se desarrollará un análisis de costos asociado a la implementación de la solución LED, incluyendo materiales e instalación. También se estimará el ahorro energético anual y el tiempo estimado de recuperación de la inversión.

9-. Análisis de resultados y conclusiones: Finalmente, se compararán los resultados previos y posteriores a la propuesta, y se evaluará su impacto técnico y económico. Esto permitiría extraer conclusiones sobre la factibilidad de implementar una reconversión energética en el edificio Hucke utilizando tecnología LED.

2.11 Características del caso estudio

El caso de estudio es el Edificio Hucke, actualmente sede de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Valparaíso, ubicado en el sector El Almendral. Este edificio es representativo del patrimonio urbano-industrial de principios del siglo XX y presenta un sistema constructivo singular por su estructura metálica prefabricada.

Como parte del patrimonio cultural de Valparaíso, sus intervenciones están reguladas por el Artículo 60 de la LGUC. A partir del año 2014, el inmueble es utilizado con fines educacionales, lo que ha generado nuevas necesidades funcionales asociadas al confort y eficiencia energética.



Figura 3.1 "Fabrica Hucke (1910)"

2.12 Descripción del caso estudio

La caracterización de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Valparaíso, y la recopilación de datos necesarios para el análisis lumínico y la propuesta de mejora, se llevó a cabo mediante la revisión de documentación técnica existente, como planos arquitectónicos, estudios institucionales, investigaciones previas y tesis relacionadas con edificios destinados a uso educacional. El inmueble se emplaza en un terreno de 1.523 m² y cuenta con una superficie edificada total de 9.028 m², distribuida en cinco niveles. Estos niveles albergan una diversidad de recintos, entre los que se incluyen salas de clases, oficinas administrativas, laboratorios, servicios higiénicos y espacios comunes, todos ellos vinculados a la actividad académica y de gestión universitaria. Según registros oficiales del año 2016, el

avalúo fiscal del edificio asciende a 1.345 millones de pesos, reflejando su relevancia dentro del patrimonio institucional de la universidad (Universidad de Valparaíso, 2016).

En su estado actual, la facultad presenta un uso intensivo por parte de estudiantes, docentes y personal administrativo, lo que conlleva exigencias funcionales específicas en términos de confort ambiental interior, siendo la iluminación uno de los aspectos clave a considerar. Diversos autores han señalado la influencia directa que tiene la calidad lumínica sobre el rendimiento académico, el bienestar psicofisiológico y la percepción del entorno construido. Según Pattini (2011), una iluminación adecuada no solo favorece la realización de tareas visuales con menor esfuerzo, sino que también mejora la concentración, reduce la fatiga y estimula positivamente el estado de ánimo. En esta misma línea, Wurtman (1968) y posteriormente Tareb (2004) advierten que los niveles de iluminancia deben adecuarse tanto a los requerimientos normativos como a las necesidades cognitivas de los usuarios, considerando factores como uniformidad, deslumbramiento, reproducción cromática y temperatura de color.

Estudios aplicados en contextos escolares y universitarios refuerzan esta visión. Por ejemplo, Iluminet (2018) reporta que la implementación de sistemas de iluminación correctamente diseñados, en conjunto con un aprovechamiento eficiente de la luz natural, puede aumentar en un 35 % la velocidad de lectura, reducir en un 45 % la tasa de errores, y disminuir en un 76 % los casos de hiperactividad en entornos de aprendizaje. Estos hallazgos sustentan la necesidad de evaluar el sistema lumínico existente en la Facultad de Ingeniería y de desarrollar una propuesta de reconversión energética que no solo mejore la eficiencia del consumo eléctrico, sino que también contribuya a elevar los estándares de confort visual, de acuerdo con las exigencias contemporáneas de calidad educativa.

En este contexto, el presente estudio se enfoca en las salas de clases del primer piso y biblioteca del edificio, proponiendo una intervención técnica que considere tanto el cumplimiento de la Norma Chilena NCh4/2003 como los lineamientos patrimoniales vigentes, asegurando una solución eficiente, funcional y compatible con el carácter histórico del inmueble.

2.12.1 Zonificación del caso estudio.

a) Biblioteca

- Superficie: 163,70 m² (Sin contar sala de atención y oficina).
- Luminarias Totales Existentes: 32.
- Equipo lumínico: Fluorescente embutido 18W REF: Super lux doble parabólico 3x18W



Figura 3.2 "Recreación virtual Biblioteca Edificio Huckle"

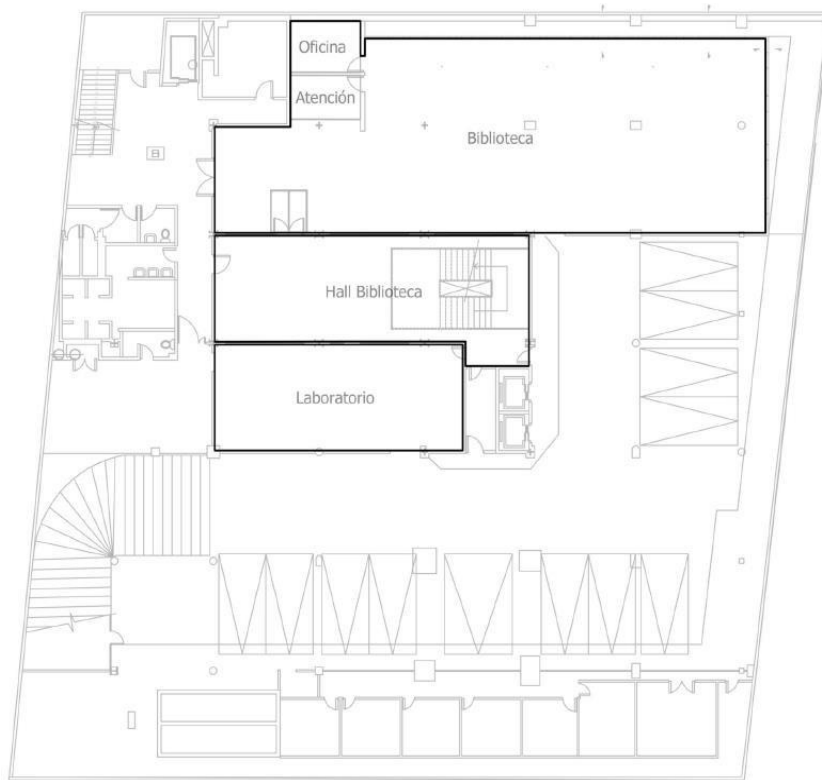


Figura 3.3 "Planta Subterráneo Edificio Huckle"

b) Salas Primer Piso

Sala 101

- Superficie: 67.96 m²
- Luminarias Totales Existentes: 13.
- Equipo Lumínico Existente: Fluorescente suspendido lampara TLD 2x36W.

Salas 102 a 105

- Superficie: 60.21 m²
- Luminarias Totales Existentes: 10 por cada sala.
- Equipo Lumínico Existente: Fluorescente suspendido lampara TLD 2x36W.

Sala 107

- Superficie: 72.58 m²
- Luminarias Totales Existentes: 14.
- Equipo Lumínico Existente: Fluorescente suspendido lampara TLD 2x36W.

Auditorio

- Superficie: 183,02 m²
- Luminarias Totales Existentes: 28.
- Equipo Lumínico Existente: Fluorescente suspendido lampara TLD 2x36W.



Figura 3.4 "Edificio Huckle (2019)"

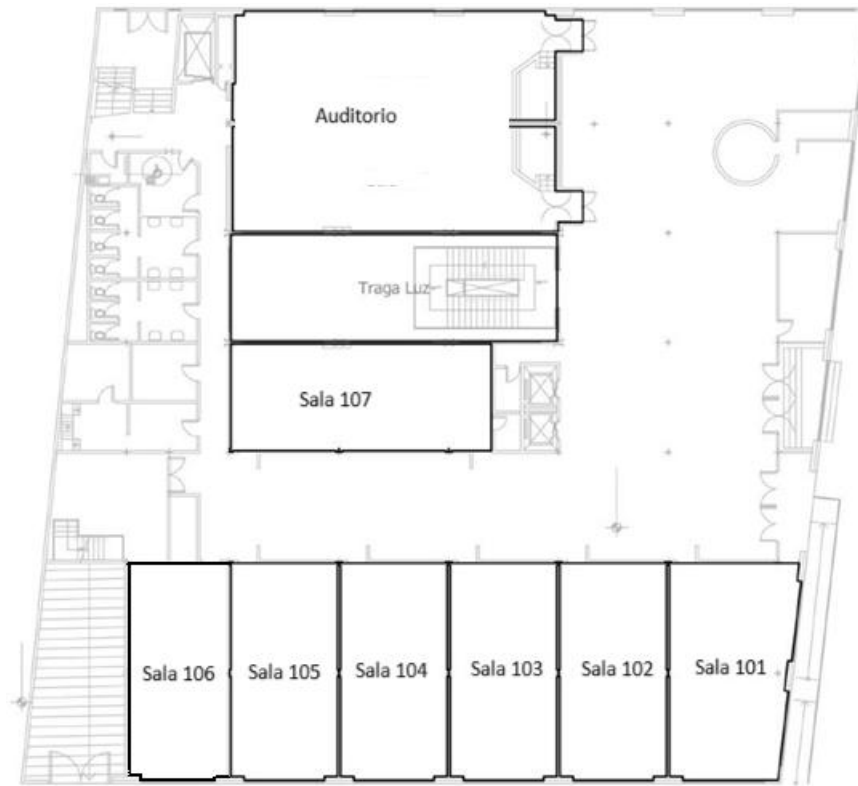


Figura 3.5 "Planta primer piso Edificio Hucke"

Capítulo 3. Desarrollo de la metodología.

Cabe destacar que, la ubicación geográfica del edificio es importante a la hora de realizar la evaluación lumínica del edificio, ya que esta contempla tanto la luz artificial como la luz natural de los espacios en análisis; gracias a DIALux y las coordenadas geográficas del edificio, es que podemos lograr obtener la ubicación más exacta posible, y recrear horarios, clima, y posición del sol para una mejor evaluación del caso en estudio.

Datos utilizados.

- Ubicación: Valparaíso, Chile.
- Longitud: 71.76°
- Latitud: 33.02°
- Modelo de Cielo: Cubierto.

Importante hacer mención en que, la ubicación es solo necesaria para las zonas donde existe luz natural, en este caso, primer piso, ya que la biblioteca del caso en estudio queda ubicada en el subterráneo de este.

3.1 Cumplimiento de la reglamentación lumínica.

Los valores energéticos y lumínicos del caso en estudio son evaluados según lo que dice la superintendencia de Electricidad y Combustibles que, a partir de la normativa chilena NCh 4/2003 Electricidad de instalaciones, exige lo siguiente.

Tabla 4.1 Iluminancias mínimas para locales Educativos y Asistenciales

Iluminancias Mínimas para Locales Educativos y Asistenciales

Tipo de Recinto	Iluminancia [Lux]
Atención administrativa	300
Bibliotecas	400
Cocinas	300
Gimnasios	200
Oficinas	400
Pasillos	100
Policlínicos	300
Salas de cirugía menor	500
Salas de cirugía mayor, quirófanos (*)	500
Salas de clases, párvulos	150
Salas de clases, educación básica	200
Salas de clases, educación media	250
Salas de clases, educación superior	300
Salas de Dibujo	600
Salas de Espera	150
Salas de Pacientes	100
Salas de Profesores	400

(*) Corresponde a la iluminación general del recinto, no considera el aporte de la lámpara quirúrgica.

A partir de la exigencia normativa, es que se determina si los espacios cumplen o no con los requisitos.

A continuación, se muestra una tabla de valores y rendimiento por zonas según el equipo lumínico instalado en cada espacio.

Tabla 4.2 "Rendimiento de los equipos lumínicos existentes"

ZONAS	EQUIPO LUMÍNICO INSTALADO	P	Φ	Rendimiento lumínico
Biblioteca	Fluorescente embutido 18W. SLD 3x18W	18.0 W	1825 lm	101.4 lm/W
Sala 101	Fluorescente suspendido lampara TLD 2x36W.	36.0 W	5161 lm	143.4 lm/W
Sala 102	Fluorescente suspendido lampara TLD 2x36W.	36.0 W	5161 lm	143.4 lm/W
Sala 103	Fluorescente suspendido lampara TLD 2x36W.	36.0 W	5161 lm	143.4 lm/W
Sala 104	Fluorescente suspendido lampara TLD 2x36W.	36.0 W	5161 lm	143.4 lm/W
Sala 105	Fluorescente suspendido lampara TLD 2x36W.	36.0 W	5161 lm	143.4 lm/W
Sala 107	Fluorescente suspendido lampara TLD 2x36W.	36.0 W	5161 lm	143.4 lm/W
Auditorio	Fluorescente suspendido lampara TLD 2x36W.	36.0 W	5161 lm	143.4 lm/W

3.1.1 Cumplimiento normativo por zonas.

Existen 8 espacios evaluados, los cuales tienen distintas características, estas varían desde tamaño del lugar, cantidad de luminarias, como también ubicación respecto a la luz natural que ingresa a cada zona, etc., es por lo anterior que es necesario individualizar cada espacio, y ver si cada uno de ellos cumple con lo exigido según la normativa, a continuación se mostraran los resultados entregados luego de la evaluación realizada en DIALux

A) Biblioteca.

Tabla 4.3 Cumplimiento Normativo Biblioteca

BIBLIOTECA	Calculado	Normativo	Verificación
Ē perpendicular	382 lx	≥ 400 lx	✗
Consumo	6221 kWh/a	n/a	
Potencia específica de conexión	6.23 W/m²		

Según la evaluación realizada, la biblioteca del caso estudio tiene un valor que está por debajo de lo exigido por la normativa chilena, por lo que no cumple con los 400 (lx) exigidos.

B) Sala 101

Tabla 4.4 Cumplimiento Normativo Sala 101

SALA 101	Calculado	Normativo	Verificación
Luz Diurna	7.95%		
$\bar{E}_{\text{perpendicular}}$	912 lx	≥ 600 lx	
Consumo	(810-1300) kWh/a	n/a	
Potencia específica de conexión	6.89 W/m ²		

Según la evaluación realizada, la sala evaluada del caso estudio tiene un valor superior al exigido por la norma chilena, por lo que este espacio si cumple con los 600 (lx) exigidos, vale destacar que esta sala tiene valor mínimo exigido correspondiente al de una sala de dibujos.

C) Sala 102

Tabla 4.5 Cumplimiento Normativo Sala 102

SALA 102	Calculado	Normativo	Verificación
Luz Diurna	2.68%		
$\bar{E}_{\text{perpendicular}}$	697 lx	≥ 300 lx	
Consumo	(620-990) kWh/a	n/a	
Potencia específica de conexión	5.98 W/m ²		

Según la evaluación realizada, la sala evaluada del caso estudio tiene un valor superior al exigido por la norma chilena, por lo que este espacio si cumple con los 300 (lx) exigidos, vale destacar que esta sala tiene un valor mínimo exigido correspondiente al de una sala de clases de educación superior.

D) Sala 103

Tabla 4.6 Cumplimiento Normativo Sala 103

SALA 103	Calculado	Normativo	Verificación
Luz Diurna	2.86%		
$\bar{E}_{\text{perpendicular}}$	701 lx	≥ 300 lx	
Consumo	(620-990) kWh/a	n/a	
Potencia específica de conexión	5.98 W/m ²		

Según la evaluación realizada, la sala evaluada del caso estudio tiene un valor superior al exigido por la norma chilena, por lo que este espacio si cumple con los 300 (lx) exigidos, vale destacar que esta sala tiene un valor mínimo exigido correspondiente al de una sala de clases de educación superior.

E) Sala 104

Tabla 4.7 Cumplimiento Normativo Sala 104

SALA 104	Calculado	Normativo	Verificación
Luz Diurna	2.86%		
$\bar{E}_{\text{perpendicular}}$	702 lx	≥ 300 lx	
Consumo	(620-990) kWh/a	n/a	
Potencia específica de conexión	5.98 W/m ²		

Según la evaluación realizada, la sala evaluada del caso estudio tiene un valor superior al exigido por la norma chilena, por lo que este espacio si cumple con los 300 (lx) exigidos, vale destacar que esta sala tiene un valor mínimo exigido correspondiente al de una sala de clases de educación superior.

F) Sala 105

Tabla 4.8 Cumplimiento Normativo Sala 105

SALA 105	Calculado	Normativo	Verificación
Luz Diurna	2.92%		
$\bar{E}_{\text{perpendicular}}$	711 lx	≥ 300 lx	
Consumo	(620-990) kWh/a	n/a	
Potencia específica de conexión	5.98 W/m ²		

Según la evaluación realizada, la sala evaluada del caso estudio tiene un valor superior al exigido por la norma chilena, por lo que este espacio si cumple con los 300 (lx) exigidos, vale destacar que esta sala tiene un valor mínimo exigido correspondiente al de una sala de clases de educación superior.

G) Sala 107

Tabla 4.9 Cumplimiento Normativo Sala 107

SALA 106	Calculado	Normativo	Verificación
Luz Diurna	0,200%		
$\bar{E}_{\text{perpendicular}}$	705 lx	≥ 300 lx	✓
Consumo	1400 kWh/a	n/a	
Potencia específica de conexión	6.94 W/m ²		

Según la evaluación realizada, la sala evaluada del caso estudio tiene un valor superior al exigido por la norma chilena, por lo que este espacio si cumple con los 300 (lx) exigidos, vale destacar que esta sala tiene un valor mínimo exigido correspondiente al de una sala de clases de educación superior.

H) Auditorio

Tabla 4.10. Cumplimiento Normativo Auditorio

SALA 107	Calculado	Normativo	Verificación
Luz Diurna	0,198%		
$\bar{E}_{\text{perpendicular}}$	474 lx	≥ 300 lx	✓
Consumo	(3930-6237 kWh/a	n/a	
Potencia específica de conexión	17.47 W/m ²		

Según la evaluación realizada, la sala evaluada del caso estudio tiene un valor superior al exigido por la norma chilena, por lo que este espacio si cumple con los 300 (lx) exigidos, vale destacar que esta sala tiene un valor mínimo exigido correspondiente al de una sala de clases de educación superior.

3.2 Comportamiento Lumínico

A partir del modelo virtual del edificio y la simulación lumínica efectuada a partir del programa DIALux, es que se obtienen datos importantes de la situación actual del edificio. Los factores externos (edificios aledaños, árboles, mobiliario urbano, sombras proyectadas, etc.) no fueron considerados en la simulación lumínica porque el objetivo de esta fase del estudio es evaluar el desempeño del sistema lumínico instalado en el edificio, y no la influencia del entorno urbano. La incorporación de estos elementos podría modificar la cantidad de luz natural recibida en ciertos recintos, pero no tendría incidencia en el comportamiento de las luminarias artificiales ni en la eficiencia del sistema actual, que es precisamente la variable evaluada.

Finalmente, la exclusión de factores externos es un criterio estándar en estudios de diagnóstico lumínico en interiores, ya que la iluminación natural se evalúa únicamente en función de:

- La geometría del recinto.
- Las superficies interiores.
- Las aberturas y aperturas reales del edificio.

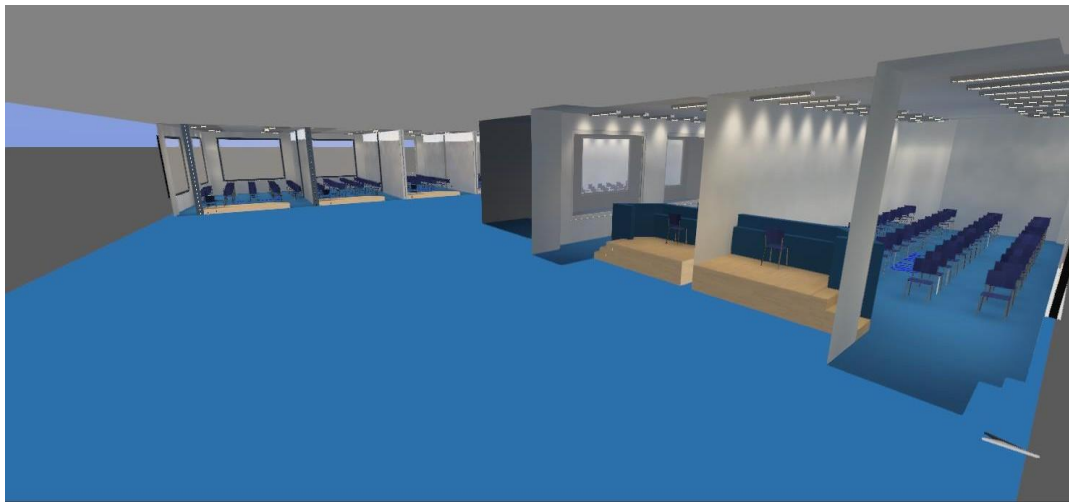


Figura 4.1 "Modelo Virtual Primer Piso, Edificio Huckle"

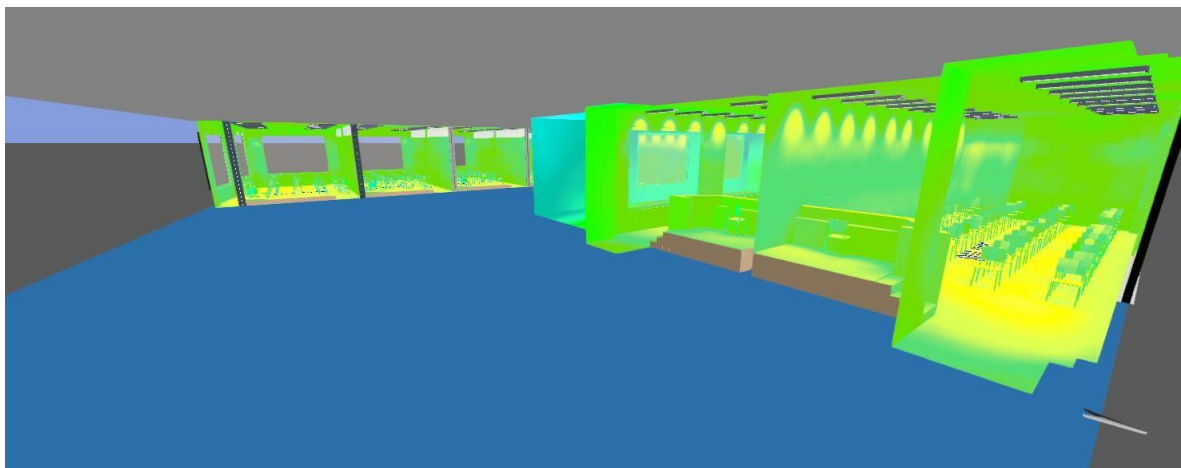


Figura 4.2 "Comportamiento Virtual Lumínico Primer Piso, Edificio Huckle"

En las imágenes anteriores se puede observar la iluminación del edificio en estudio y su comportamiento (virtual), en donde el color verde representa valores que varían desde los 300-400 (lx) y el color amarillo valores que representan entre los 500-750 (lx)

Estas imágenes son complementarias a los datos que se señalaron en el punto 4.1 “*cumplimiento de la reglamentación lumínica*”, en donde se señalaba más detallado el comportamiento lumínico de las zonas evaluadas.

3.2.1 Simulación lumínica

Finalmente, luego de la simulación lumínica de las zonas en estudio, se obtuvo el comportamiento lumínico actual del edificio, con especial foco en la biblioteca y en las salas del primer nivel, que constituyen los recintos definidos para la evaluación. Estos resultados permiten cumplir el primer objetivo específico del proyecto, al identificar el desempeño individual de cada zona y comenzar a establecer conclusiones respecto al estado de la instalación lumínica existente.

Los cálculos entregados por el software corresponden exclusivamente a la posición, cantidad, altura de montaje y tipo de luminarias instaladas actualmente en el edificio. De igual manera, se incorporó la geolocalización del inmueble para los recintos que reciben aporte de luz natural, con el fin de obtener resultados realistas derivados de la ubicación geográfica del edificio.

En esta etapa resulta importante destacar que la cantidad, distancia, ubicación y tecnología de las luminarias influyen directamente en el comportamiento lumínico de cada recinto. El programa representa dicho comportamiento mediante informes automáticos e imágenes interpretativas que permiten visualizar la distribución real de la luz en el plano de trabajo.

El modelo tridimensional empleado en la simulación corresponde al modelo virtual generado directamente en el software DIALux, el cual se construye a partir de la geometría real de cada recinto (alto, ancho y profundidad), reflectancia de superficies interiores, tipo de cielo raso y mobiliario relevante que afecta la distribución lumínica. Gracias a este modelado 3D nativo, no fue necesario importar archivos externos, ya que el propio software genera la representación virtual del espacio y permite visualizar los resultados desde múltiples perspectivas mediante planos de iluminancia, mapas fotométricos y gráficos de distribución de la luz.

Capítulo 4. Resultados y análisis.

4.1 Resultados de evaluación virtual

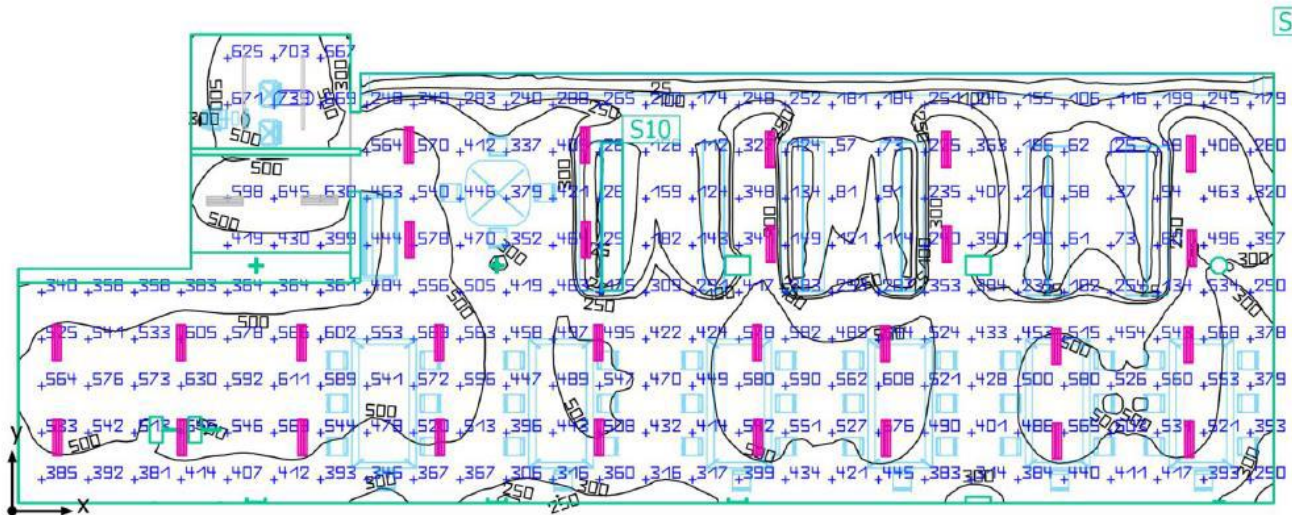
A continuación, se presenta una tabla resumen con los principales resultados obtenidos para los espacios analizados del primer piso del edificio. Se consideraron los niveles de iluminancia promedio (lx), el consumo energético estimado (KWh/a) y el porcentaje de luz natural presente en cada uno de ellos. Es importante indicar que estos resultados corresponden a la evaluación con las luminarias actuales, es decir, luminarias fluorescentes existentes al momento del análisis, sin ninguna intervención ni mejora aplicada.

ESPACIO	ILUMINANCIA	CONSUMO (KWh/a)	% LUZ NATURAL
Biblioteca	382	6221	0
Sala 101	912	810 - 1300	7,95
Sala 102	697	620 - 990	2,86
Sala 103	701	620 - 990	2,86
Sala 104	702	620 - 990	2,86
Sala 105	711	620 - 990	2,86
Sala 107	705	1400	0,2
Auditorio	474	3930 - 6237	0,45

Cómo se puede observar, la mayoría de los espacios evaluados cumplen con el nivel mínimo de iluminancia exigido por la normativa chilena NCh 4/2003, la cual recordemos que establece un mínimo de 400 lux para recintos educacionales. Sin embargo, la biblioteca, presentaría un nivel de iluminancia bajo la exigencia mínima de la norma, lo cual según la evaluación virtual estaría incumpliendo con la norma. Aunque bien cercano al mínimo exigido.

En contraste, las salas 101 a 107, incluyendo auditorio muestran resultados mas que positivos, con niveles de iluminancia que oscilan entre los 400 y 900 luxes aproximadamente. Superando ampliamente los mínimos requeridos. Este comportamiento sugiere una adecuada disposición de luminarias, y un sistema lumínico, que al menos en estas zonas cumple correctamente con la norma.

4.2 Biblioteca



Nota Figura: Base: 276.68 m² | Grado de reflexión: Techo: 70.0 %, Paredes: 62.6 %, Suelo: 20.9 % | Factor de degradación: 0.80 (Global) | Altura interior del local: 3.390 m - 3.720 m | Altura de montaje: 3.390 m

De la Figura se puede observar el comportamiento lumínico medido en luxes por cada metro cuadrado de la sala, cabe destacar que en varios espacios salvo, en estanterías los valores están por sobre los 400 (lx), aun así, el promedio total de la superficie en estudio está por debajo de la norma, esto puede indicar que, la disposición, cantidad, o tipo de luminarias no sea la correcta.

El consumo perteneciente a este espacio es de 6221 KWh/a, los que nos indica un consumo significativo, tomando en cuenta que la biblioteca al estar en un espacio en donde no existe luz natural tiene que estar con luz artificial desde su hora de apertura hasta su hora de cierre (09:00 AM. – 19:00 PM.). Para tener una mejor dimensión del gasto, ocuparemos la fórmula de consumo mensual:

$$\text{CONSUMO MENSUAL (CM)} = \text{Potencia (W)} * \text{horas de uso por día} * \text{días uso al mes}$$

Hay que recordar que en la biblioteca se utilizan 32 luminarias, que cuentan con luminarias fluorescentes de 3x18W, y teniendo en cuenta que la biblioteca aproximadamente está abierta 10 horas al día, podemos obtener lo siguiente.

$$\text{Consumo Mensual} = ((3*18) \text{ W} \times 10 \text{ Hrs.} \times 30 \text{ días}) / 1000 \text{ KWh}$$

$$\text{Consumo Mensual} = 16,2 \text{ KWh}$$

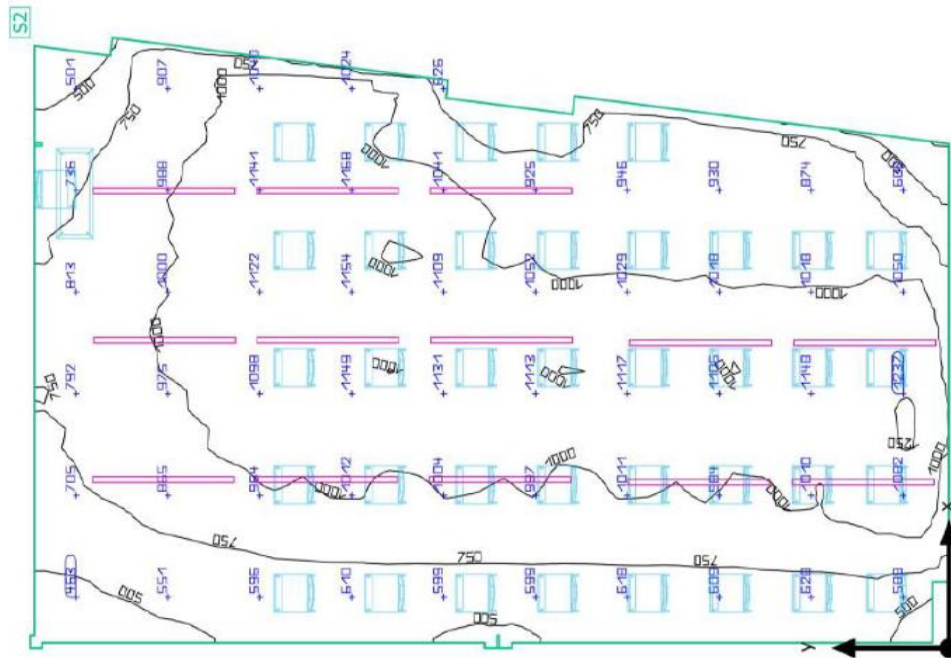
El valor correspondería a solo una luminaria, por lo que, para nuestro caso, esta debe ser multiplicada por la cantidad total de luminarias instaladas, es decir 32.

$$\text{Consumo Mensual Total} = 16,2 \text{ KWh} \times 32 \text{ Luminarias} = 518 \text{ KWh.}$$

El cálculo se realiza por los 30 días del mes para considerar el caso más desfavorable y así tener un mejor parámetro a la hora de evaluar, por lo que el valor real de consumo puede variar con respecto al entregado por el programa.

En este caso la Biblioteca del Edificio Hucke, además de presentar posiblemente un incumplimiento normativo de iluminación, presenta un alto consumo energético lumínico.

4.3 Sala 101

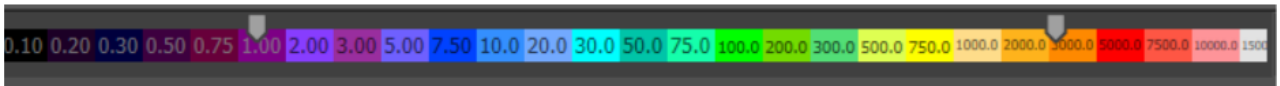
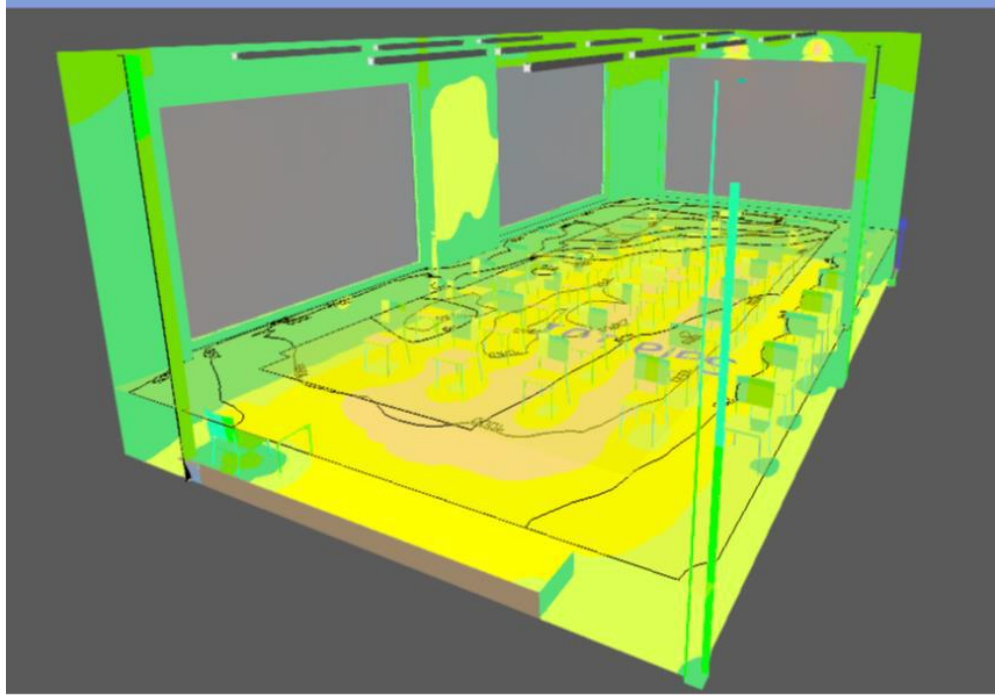


Nota Figura 5.2: Base: 67.96 m² | Grado de reflexión: Techo: 70.0 %, Paredes: 82.3 %, Suelo: 22.2 % | Factor de degradación: 0.80 (Global) | Altura interior del local: 4.320 m | Altura de montaje: 4.320 m

Respecto a la Figura, se puede observar el buen comportamiento lumínico existente, ya que por cada m² los luxes superan en su mayoría los 600 (lx) exigidos por la norma para una sala de dibujo, pero como bien se mencionaba anteriormente, este resultado puede ser engañoso, y no tenemos que quedarnos con solo cumplir una norma básica de exigencia.

El consumo de esta sala varía desde los 810-1300 KW/h, y esta variación nace a partir de las condiciones naturales y de la ubicación geográfica del edificio. El hecho de contar con luz natural hace que esta sala no tenga un alto consumo energético lumínico; haciendo el mismo ejercicio que en el punto anterior obtenemos que el consumo mensual varía entre los 67,5 - 109 KWh. Tomando en cuenta los siguientes parámetros.

- *Ubicación: Valparaíso, Chile.*
- *Longitud: 71.76°*
- *Latitud: 33.02°*
- *Modelo de Cielo: Cubierto.*

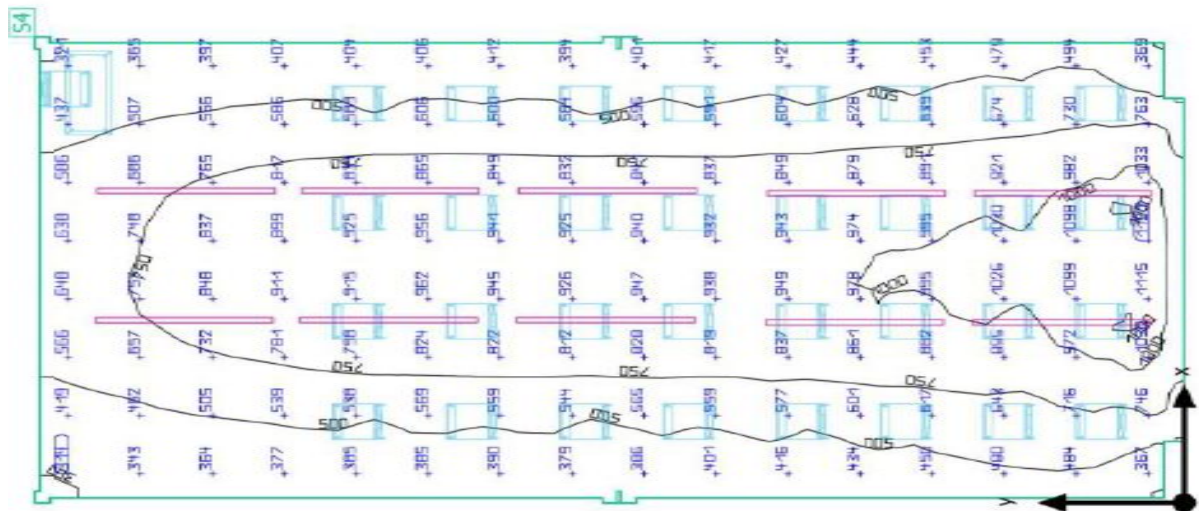


Nota Figura 5.3: Los valores de la paleta de colores, son variaciones de luxes, desde 1 (lx) (color morado), hasta los 7500 (lx) (color naranjado).

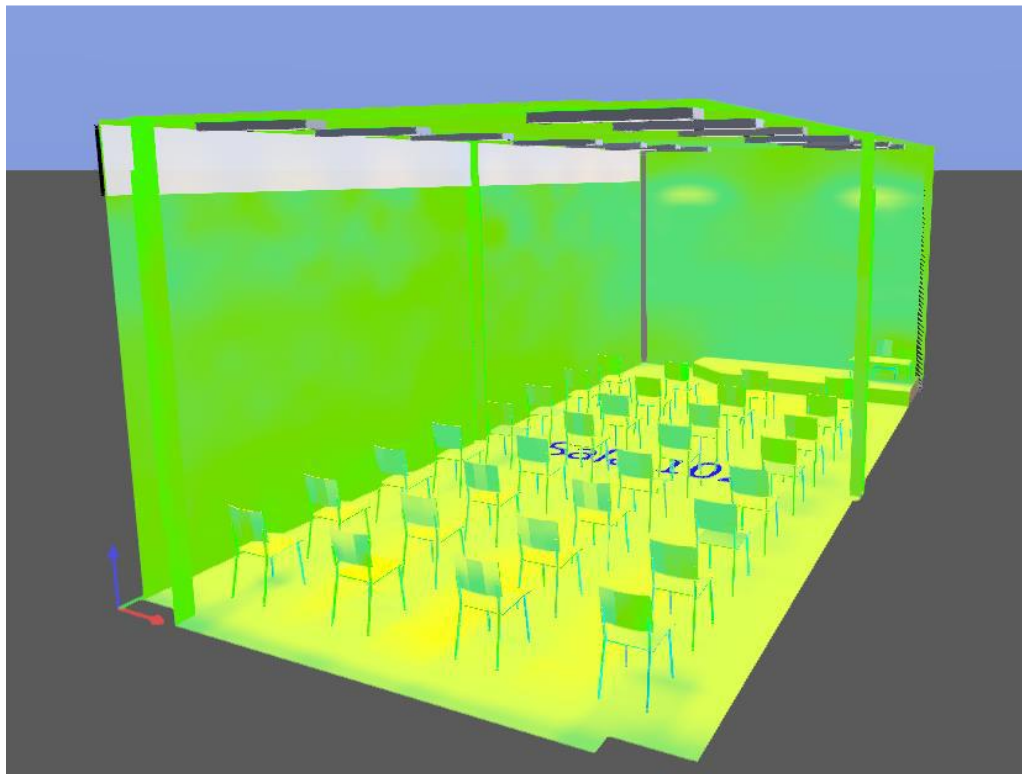
En la Figura 5.3 se puede observar el comportamiento más detallado de iluminación del espacio, en donde con la ayuda de la paleta de colores, podemos observar la variación de luminosidad en cada espacio de la sala. Se puede observar que en el centro de la sala el color amarillo es el que prevalece, color correspondiente a <750 (lx), y también podemos ver como el color verde es el que destaca en las zonas donde ingresa la luz natural por los ventanales, haciendo que pierda fuerza la luz artificial en estas zonas.

4.4 Salas 102, 103 y 104

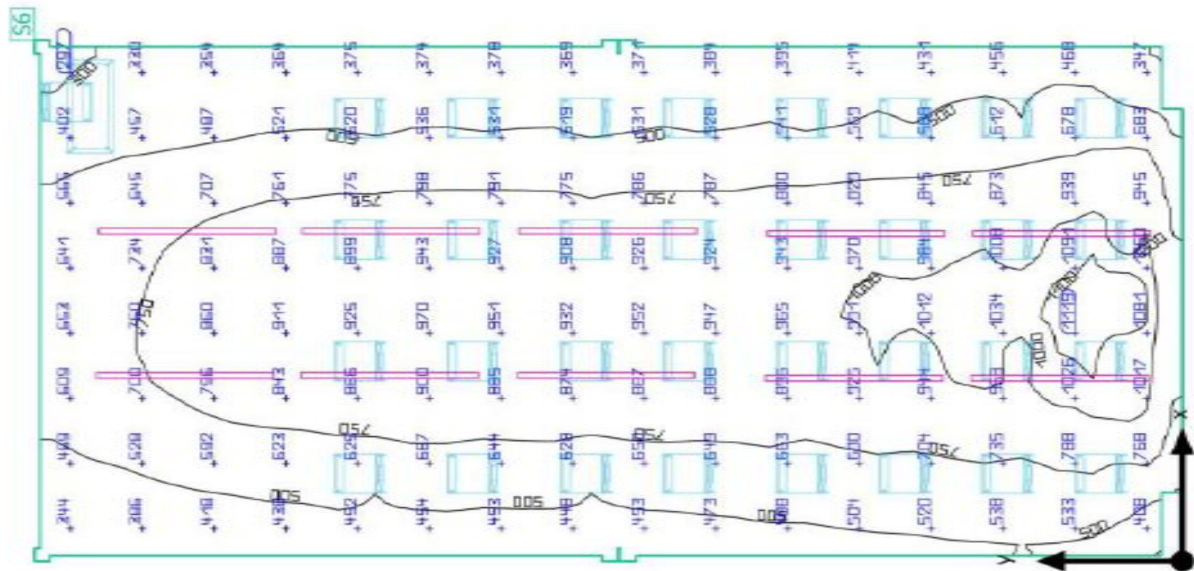
1-. Sala 102



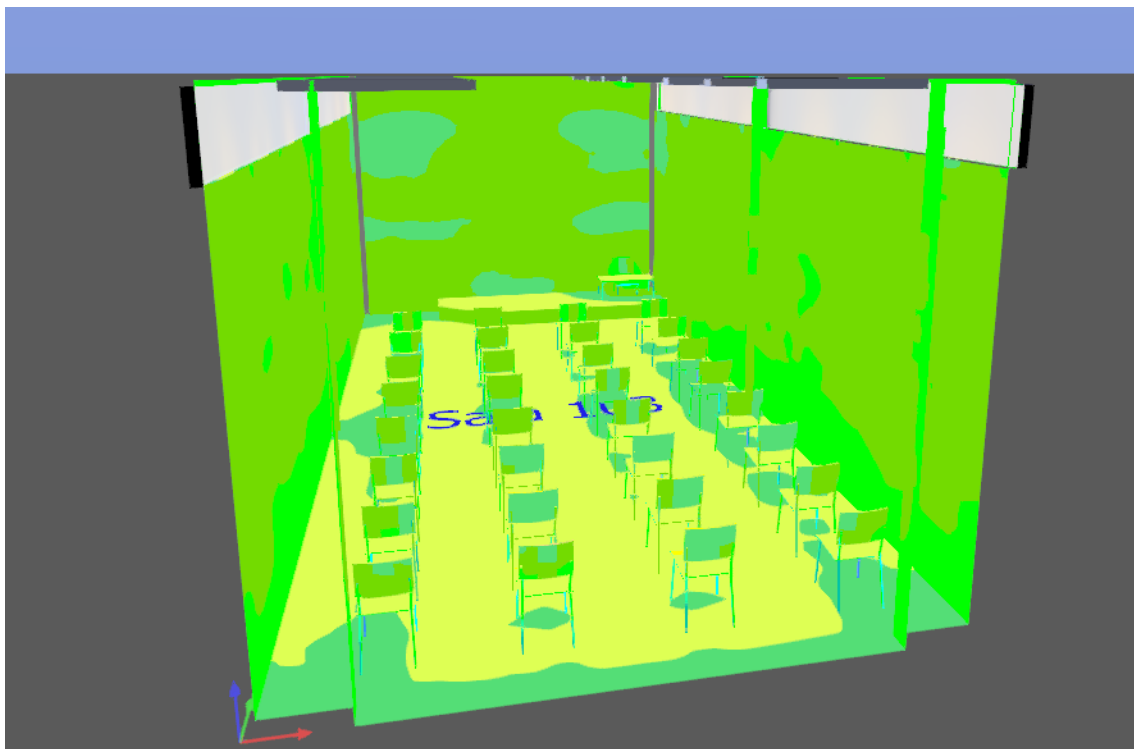
Nota Figura 5.4: Base: 60.21 m² | Grado de reflexión: Techo: 70.0 %, Paredes: 82.5 %, Suelo: 22.5 % | Factor de degradación: 0.80 (Global) | Altura interior del local: 4.320 m | Altura de montaje: 4.320 m



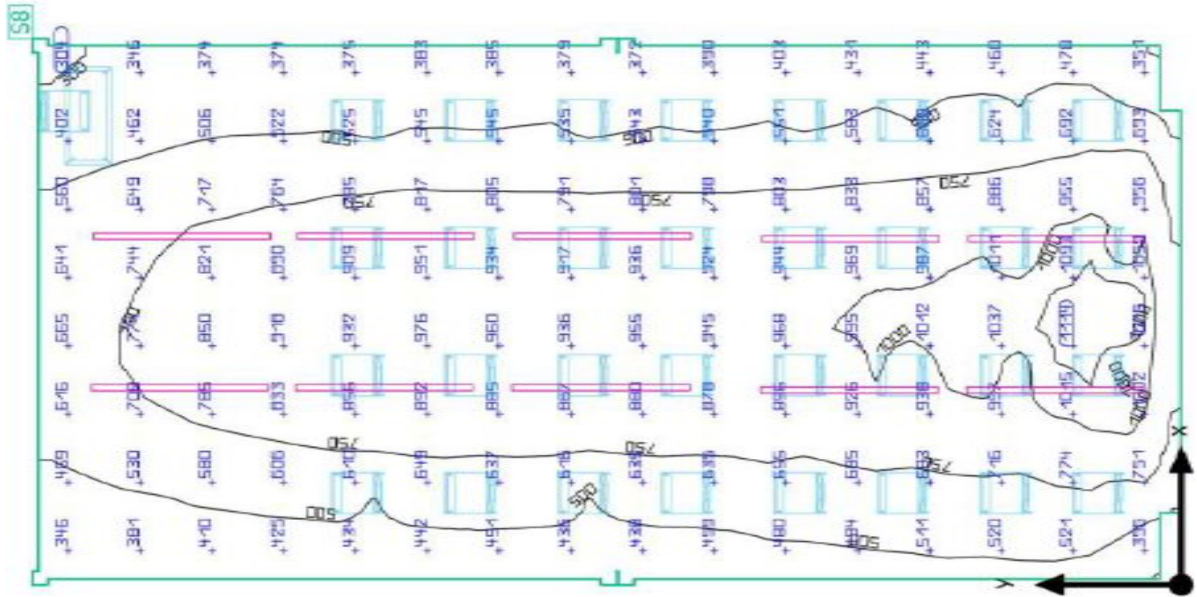
2-. Sala 103



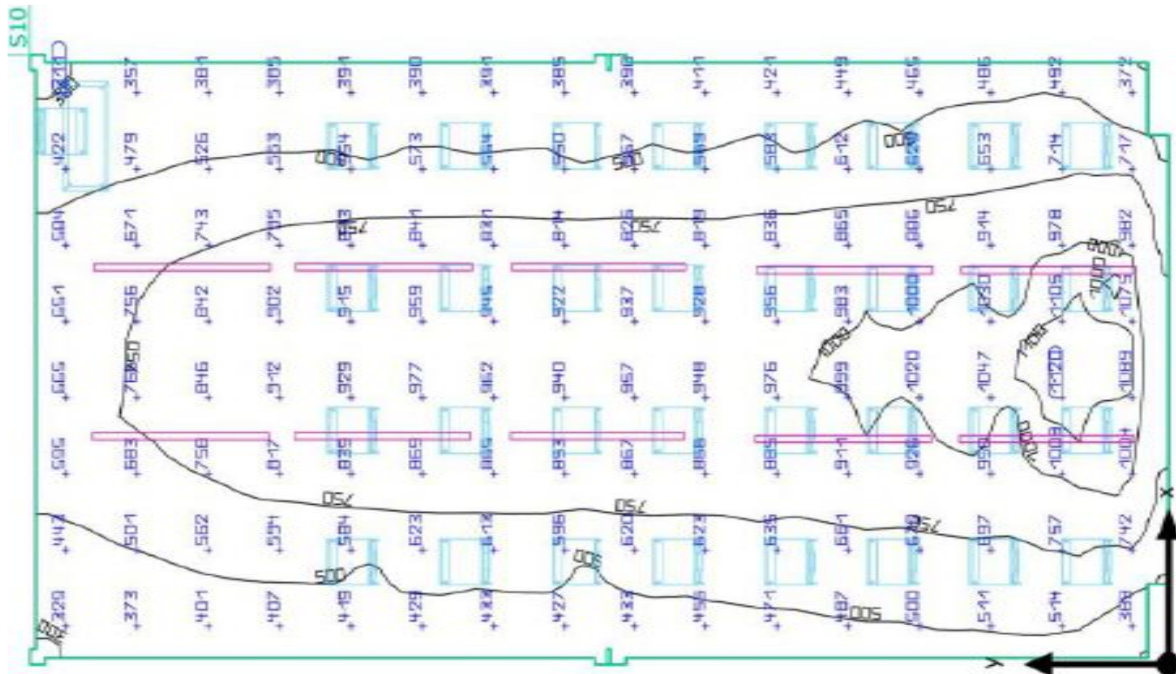
Nota Figura 5.6: Base: 60.21 m² | Grado de reflexión: Techo: 70.0 %, Paredes: 83.0 %, Suelo: 22.5 % | Factor de degradación: 0.80 (Global) | Altura interior del local: 4.320 m | Altura de montaje: 4.320 m



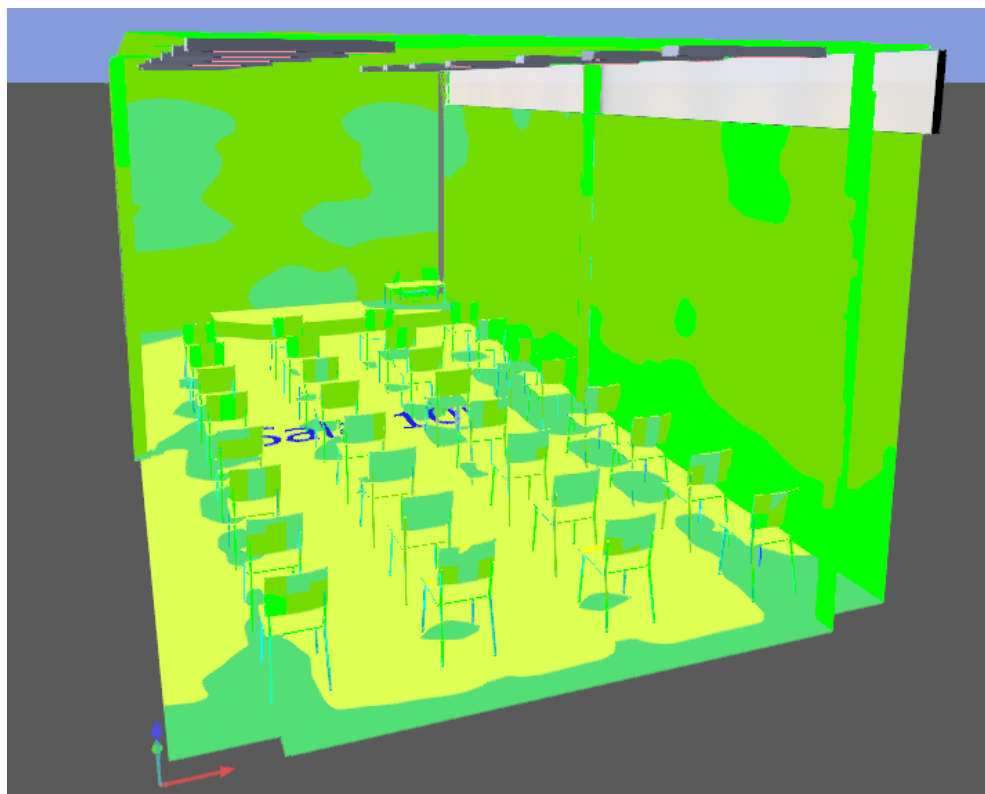
3-. Sala 104



4.5 Sala 105

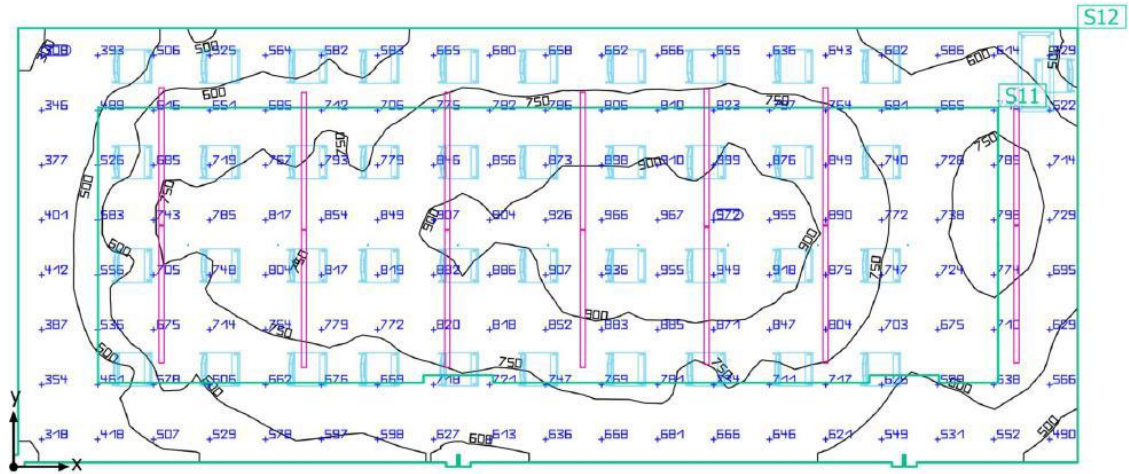


Nota: Base: 60.21 m² | Grado de reflexión: Techo: 70.0 %, Paredes: 83.4 %, Suelo: 22.5 % | Factor de degradación: 0.80 (Global) | Altura interior del local: 4.320 m | Altura de montaje: 4.320 m

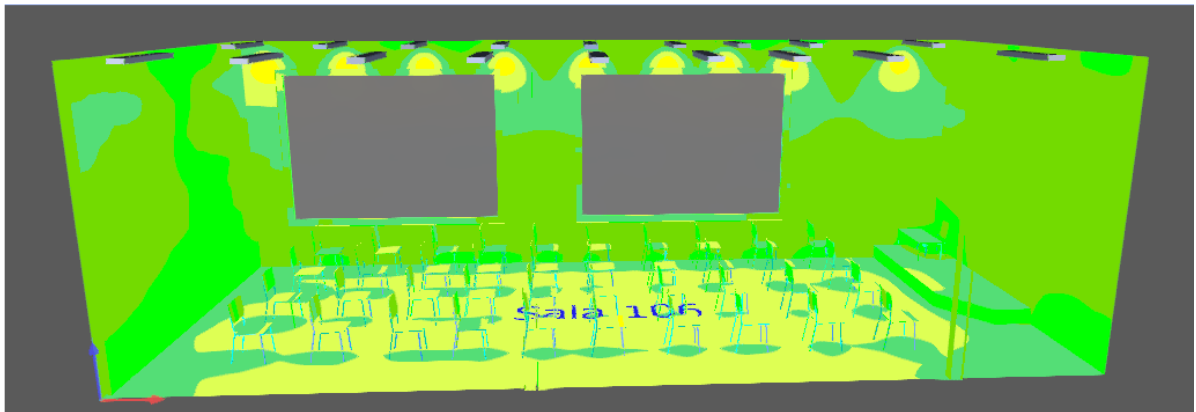


Aunque la sala 105 cuenta con la misma cantidad de luminarias que las salas 102, 103 y 104, presenta una iluminancia ligeramente superior (711 lx frente a 697 lx en la sala 102). Esta diferencia podría deberse a una mayor entrada de luz natural, producto de su ubicación dentro del edificio.

4.6 Sala 107

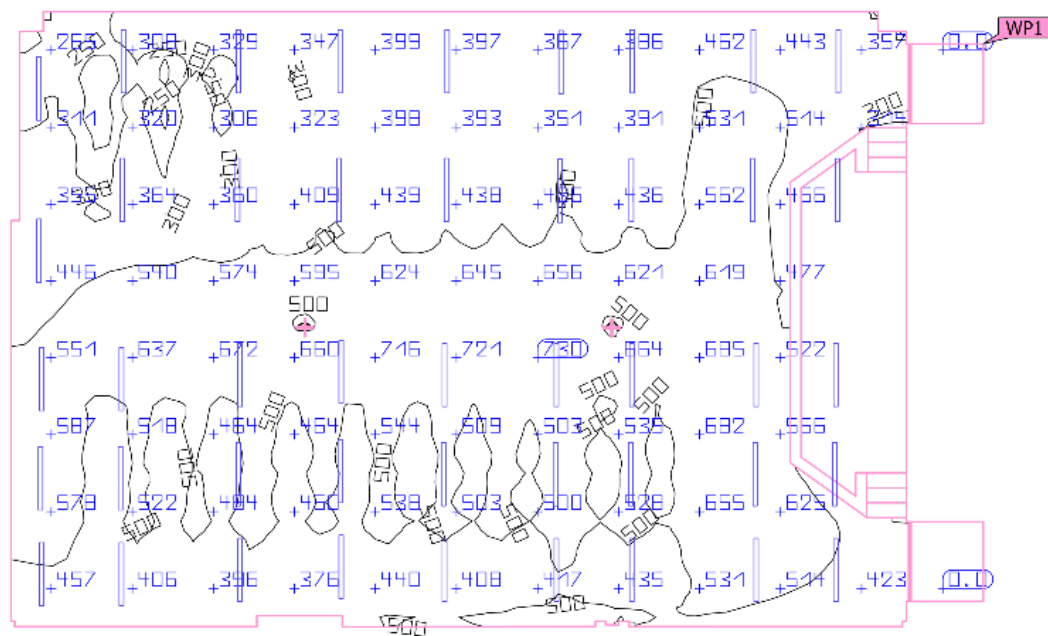


Nota: Base: 72.58 m² | Grado de reflexión: Techo: 70.0 %, Paredes: 89.6 %, Suelo: 21.5 % | Factor de degradación: 0.80 (Global) | Altura interior del local: 4.320 m | Altura de montaje: 4.320 m

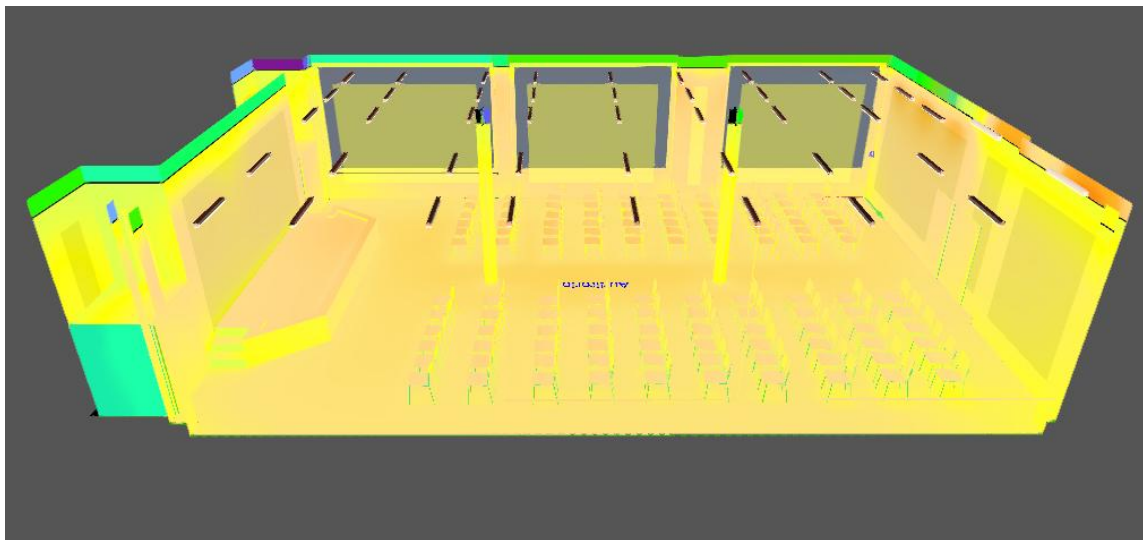


La sala 107 se caracteriza por ser uno de los espacios más amplios dentro del caso de estudio. Si bien cumple con los niveles mínimos de iluminancia exigidos por la normativa, y a simple vista como se puede apreciar en la figura presenta una distribución aparentemente adecuada, en la práctica esto no se traduce en un desempeño eficiente. El uso de luminarias fluorescentes en un recinto de gran tamaño provoca una pérdida de luminosidad efectiva, lo que se traduce en zonas con iluminación insuficiente. Además, se observa una alta reflexión en el sector del pizarrón, lo que impide mantener todas las luminarias encendidas simultáneamente sin afectar la visibilidad.

4.7 Auditorio



Nota: Base: 190.26 m² | Grado de reflexión: Techo: 48.7%, Paredes: 42.0 %, Suelo: 13.6 % | Factor de degradación: 0.80 (Global) | Altura interior del local: 4.320 m | Altura de montaje: 4.320 m



El auditorio presenta una buena distribución lumínica en el plano útil, con niveles uniformes de iluminancia en casi toda la superficie. Las luminarias fluorescentes cumplen adecuadamente su función, ofreciendo una iluminación eficiente y homogénea, sin zonas con sombras marcadas o contrastes excesivos. Esta disposición lumínica permite cumplir con los requisitos de la norma, asegurando valores adecuados de iluminancia y uniformidad en todo el recinto. Además de indicar que auditorio no cuenta con luz natural.

4.8 Mediciones con luxómetro

Si bien las simulaciones lumínicas que se realizaron mediante el programa DIALux, permiten prever el comportamiento de iluminación de los espacios en estudio, estas se basan en condiciones ideales de diseño. Sin embargo, en la práctica existen varios factores que pueden alterar el rendimiento real del sistema lumínico, tales como, deterioro de las luminarias, acumulación de polvo, desalineaciones del montaje, o incluso cambios no informados de los equipos lumínicos.

Por esta razón, es fundamental complementar la modelación virtual con mediciones reales de iluminancia mediante luxómetro, lo que permite verificar el cumplimiento efectivo de los niveles normativos, detectar zonas con posible deficiencia lumínica y validar o comparar los resultados obtenidos con los proyectados en la simulación.

Las mediciones se ejecutaron bajo condiciones operacionales típicas del recinto (luminarias encendidas en régimen, mobiliario habitual). En la biblioteca se controló el aporte de luz natural (sin incidencia solar directa) para asegurar comparabilidad con la simulación. Se utilizó luxómetro digital con calibración vigente, registrando temperatura ambiente y observaciones de reflectancias predominantes.

Plano de trabajo y malla de puntos: se adoptó plano útil 0,80–0,85 m y una malla homogénea de puntos que cubre el área útil.

¿Qué es un luxómetro?

Aparato que mide la intensidad luminosa en luxes (RAE, 2025). En otras palabras, el luxómetro, es un instrumento de medición utilizado para cuantificar la iluminancia de un determinado punto o superficie, expresada en lux (lx). Su uso es clave para evaluar si un espacio cuenta con la iluminación adecuada según las normas vigentes o los requerimientos del usuario.



En la imagen se observa el instrumento utilizado (Digital Lux Meter “Smart Sensor”) el cual tiene un rango de medición de 0 a 200.000 lx para realizar las mediciones de iluminancia en terreno. Es importante señalar que el valor mostrado en pantalla incluye un multiplicador “ $\times 10$ ”, lo que implica que el número visible debe multiplicarse por diez para obtener el resultado real en lux (lx). Lo anterior solo para mediciones sobre 200 (lx)



Luxómetro utilizado en Biblioteca de la facultad.

De acuerdo con la Norma Chilena NCh 4/2003, la evaluación de los niveles de iluminancia en un recinto debe realizarse mediante una cantidad de puntos suficientemente representativa, distribuidos de manera uniforme en el plano útil, de forma que se incluyan zonas centrales y periféricas del espacio.

Si bien esta normativa no establece un número exacto de puntos por metro cuadrado, sí exige que el valor promedio de iluminancia sea estadísticamente representativo del comportamiento lumínico general del recinto.

A continuación, se podrá observar una tabla con las muestras realizadas en terreno.

Espacios	Perímetro (m ²)	ILUMINANCIA (lx)																E Nominal
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	
Biblioteca	276,68	485	482	488	498	402	409	465	492	490	430	392	411	221	385	405	367	426,4
Sala 101	67,96	712	708	698	685	686	701	146	160	719	220	745	142	171	190	750	712	507,8
Sala 102	60,21	735	759	629	564	648	699	520	541	542	672	680	682	516	680	688	509	629,1
Sala 103	60,21	712	662	633	563	528	638	564	511	581	670	653	657	694	549	567	706	618,1
Sala 104	60,21	547	692	688	540	677	700	510	535	684	567	507	531	634	533	689	501	595,9
Sala 105	60,21	627	560	642	653	519	575	762	613	656	571	575	529	674	506	642	659	610,1
Sala 107	72,58	548	699	643	692	544	548	569	560	585	521	685	545	649	635	524	595	596,4
Auditorio	190,26	502	550	513	536	545	549	532	544	524	525	495	493	470	531	455	472	514,7

La tabla presenta los valores de iluminancia medidos en terreno en 16 puntos distribuidos uniformemente en cada recinto, conforme a una malla 4×4 . Esta cantidad de puntos permite garantizar una muestra representativa del comportamiento lumínico general, tal como lo exige la Norma Chilena NCh 4/2003 para la evaluación de iluminancia en interiores.

Además, la elección de una malla de 16 puntos (4×4) responde también a recomendaciones de normativas internacionales de diseño y evaluación lumínica, tales como ISO 8995-1:2019 / EN 12464-1:2021, las cuales sugieren la aplicación de rejillas regulares de medición para asegurar una distribución homogénea de puntos dentro del recinto y obtener resultados estadísticamente representativos del desempeño lumínico real.

- Horario de medición entre las 12:00 y 15:00 Hrs.
- Cielo: Cubierto

Cada valor está expresado en lux (lx), e indica la cantidad de luz efectiva que incide sobre el plano útil. Los resultados se distribuyen horizontalmente en columnas desde el Punto 1 al Punto 16, seguidos de una columna final que muestra el promedio de iluminancia obtenido (E Nominal) para cada espacio evaluado.

Los datos reflejan el comportamiento real del sistema de iluminación fluorescente actualmente instalado, incluyendo:

- Variaciones naturales de iluminancia según ubicación (cerca de ventanas, muros o zonas de circulación).
- Buen nivel de uniformidad, especialmente en recintos como el Auditorio y la Biblioteca, lo que sugiere un diseño lumínico razonablemente distribuido.

En algunos recintos se evidencian niveles de iluminancia elevados, lo que podría indicar situaciones de sobre iluminación, mientras que en otros puntos se observan valores bajos, que podrían reflejar zonas con deficiencia lumínica. Ambos escenarios representan oportunidades claras de mejora en términos de eficiencia energética y calidad del diseño lumínico.

La comparación de estos valores reales con los resultados obtenidos mediante simulación en DIALux permite evaluar la confiabilidad del modelo digital, así como también identificar posibles ajustes en la disposición de luminarias o en los niveles proyectados, con el fin de optimizar el desempeño del sistema de iluminación en cada espacio.

4.9 Equipos lumínicos

Tanto en la biblioteca, como en las salas estudiadas, y modeladas, nos encontramos con equipos lumínicos fluorescentes, si bien las luminarias fluorescentes hasta hace un tiempo representaban un ahorro energético, hoy en día eso ha quedado atrás, si antes el equipo fluorescente fue el que saco de carrera a las luminarias incandescentes, hoy en día, son las luces LED las que están siendo las escogidas por sobre el resto de las luminarias que ofrece el mercado. Una luminaria LED representa hasta un 50% de ahorro energético en comparación con las luces fluorescentes (Creara Energy Experts, 2019).

Para tener una mejor idea de lo que representa las luminarias LED, a continuación, se mostrara una comparación de tecnologías de iluminación fluorescentes, con similares características.

TUBO LED		VALORES COMUNES		TUBOS FLUORESCENTES	
					
TUBO LED	EFICIENCIA TÍPICA 95-140LM/W	RA/CRI	DIMENSIONES TUBO T8	TUBO FLUORESCENTE	EFICIENCIA TÍPICA 60-80LM/W
8w-10w	760-1400lm	>80-90Ra	590xØ26	18W	1100-1200lm
14W-15W	1330-2200lm	>80-90Ra	895xØ26	30W	1800-2000lm
16W-20W	1520-2800lm	>80-90Ra	1200xØ26	36W	2700-2900lm
22W-30W	2090-4200lm	>80-90Ra	1500xØ26	58W	4350-4600lm

En la tabla podemos ver que con un consumo de 30W de un tubo LED obtenemos de eficiencia 4200 lm, en cambio, para obtener esa eficiencia o similar, tenemos que escoger un tubo fluorescente de 58W.

Los tubos LED emiten la luz en un ángulo sólido bastante reducido, típicamente de 120° a 240° y normalmente no requieren de reflector para proyectar su emisión lumínica en una dirección deseada. Debido a esta circunstancia, un tubo LED con mismo valor lumen puede resultar o aparecer bastante más luminoso por ejemplo en la superficie del escritorio en el puesto de trabajo (Illumor, 2021).

Es por lo anterior que una luz LED genera mejor confort lumínico, ya que, a diferencia de la iluminación fluorescente, la iluminación LED no tiene “perdidas” de iluminación, ya que sus ángulos de iluminación son más reducidos que los fluorescentes.

A continuación, se mostrarán otras ventajas de los equipos lumínicos LED.

Criterio	Luminarias LED	Luminarias Fluorescentes
Eficiencia luminosa (lm/W)	Alta (100–180 lm/W)	Media (60–90 lm/W)
Vida útil promedio	25.000 a 50.000 horas	8.000 a 15.000 horas
Encendido y respuesta	Instantáneo, sin parpadeo	Retardo leve, puede parpadear al inicio
Mantenimiento y reemplazo	Bajo, menor frecuencia de cambio	Requiere recambios más frecuentes
Consumo energético	Menor consumo a igual nivel de iluminación	Mayor consumo relativo
Impacto ambiental	No contiene mercurio; reciclable	Contiene mercurio; manejo especial para desecho

4.9.1 Confort lumínico más allá de la tecnología.

El confort lumínico es una condición esencial para el desarrollo adecuado de actividades en espacios interiores, particularmente en ambientes educacionales como los evaluados en el edificio Huckle. Este concepto no se limita al cumplimiento de un umbral mínimo de iluminancia, sino que integra parámetros como la uniformidad de luz, el control del deslumbramiento, la percepción del color, y la adecuación de los niveles de iluminancia a la tarea visual específica.

Aunque la norma chilena NCh 4/2003 establece niveles mínimos de iluminación para distintos recintos, esta data de más de 20 años y, si bien constituye una base regulatoria vigente, no considera ciertos avances en ergonomía visual ni variables de salud visual que hoy se reconocen ampliamente en la literatura científica. Entre ellos, destacan los efectos de la luz sobre el ritmo circadiano, el rendimiento cognitivo y el bienestar psicoemocional de los usuarios (Wurtman, 1968; Pattini, 2011).

Por tanto, cumplir con la normativa no asegura por sí solo un espacio confortable visualmente, especialmente en contextos educativos donde se requiere mantener altos niveles de concentración y permanencia prolongada. La evidencia indica que una buena calidad de iluminación, más allá del valor numérico en lux, puede mejorar significativamente la atención, reducir la fatiga ocular y aumentar la productividad académica.

En este marco, la obsolescencia de los sistemas fluorescentes utilizados actualmente en el edificio no se cuestiona únicamente por motivos de eficiencia energética, sino porque estos

equipos presentan limitaciones técnicas relevantes, como la emisión de parpadeo (flicker), una distribución irregular del flujo luminoso y un rápido deterioro en la calidad de iluminación con el paso del tiempo.

4.9.2 Equipos lumínicos existentes

ESPACIO	EQUIPO LUMINICO INSTALADO	P	Φ	RENDIMIENTO LUMINICO
Biblioteca	Fluorescente embutido 18W. SLD 3x18W	18.0W	1825	101,4 lm/W
Sala 101	Fluorescente suspendido lampara TLD 2x36W	36.0W	5161	143,4 lm/W
Sala 102	Fluorescente suspendido lampara TLD 2x36W	36.0W	5161	143,4 lm/W
Sala 103	Fluorescente suspendido lampara TLD 2x36W	36.0W	5161	143,4 lm/W
Sala 104	Fluorescente suspendido lampara TLD 2x36W	36.0W	5161	143,4 lm/W
Sala 105	Fluorescente suspendido lampara TLD 2x36W	36.0W	5161	143,4 lm/W
Sala 107	Fluorescente suspendido lampara TLD 2x36W	36.0W	5161	143,4 lm/W
Auditorio	Fluorescente suspendido lampara TLD 2x36W	36.0W	5161	143,4 lm/W

Si bien las luminarias fluorescentes actualmente instaladas presentan un rendimiento lumínico aceptable (143,4 lm/W en la mayoría de los recintos), la tecnología LED disponible en el mercado supera ampliamente este valor, alcanzando eficiencias superiores a los 160–180 lm/W, lo que permite obtener igual o mayor iluminancia con un menor consumo energético.

Esto se traduce directamente en que, para alcanzar los mismos niveles de iluminancia requeridos por normativa, se necesita una menor cantidad de luminarias LED o una potencia instalada inferior, optimizando tanto el diseño como el consumo del sistema.

Capítulo 5. Equipos LED como propuesta

Con los resultados del análisis lumínico, es posible comprender cómo se comportan las distintas zonas tanto en términos de desempeño lumínico como de consumo energético. A partir de esta evaluación, se definirá una propuesta de mejora que consistirá en el reemplazo del sistema de iluminación fluorescente por tecnología LED, con el objetivo de incrementar la eficiencia energética lumínica en los espacios estudiados y alinear el proyecto con los estándares y tecnologías disponibles actualmente.

El primer paso consistirá en una nueva simulación lumínica utilizando luminarias LED, considerando un posible ajuste en la cantidad de equipos por recinto.

A partir de esta nueva evaluación se analizarán los resultados obtenidos, identificando si las modificaciones representan una mejora efectiva del desempeño lumínico, tanto en iluminancia como en uniformidad. Finalmente, se elaborará una propuesta técnica y presupuestaria que detalle las características de los equipos LED seleccionados, su distribución y los costos asociados a su implementación.

5.1 Equipos LED

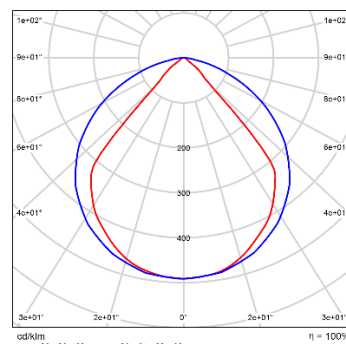
El producto escogido es el mismo que se utilizará en la biblioteca y salas, a continuación, se mostrará la ficha del producto.

Ficha de producto

EAE REVOLED-S EVOLUTION V.3



Nº de artículo	3159184
P	30.0 W
$\Phi_{\text{Lámpara}}$	4000 lm
$\Phi_{\text{Luminaria}}$	4000 lm
η	100.00 %
Rendimiento luminico	133.3 lm/W
CCT	6800 K
CRI	79



CDL polar

Como podemos apreciar en la ficha, el equipo tiene una potencia de 30.0W, y puede generar hasta 4000 lm, obteniendo así un rendimiento de 133.3 lm/w.

La temperatura de color (CCT) es de 6800K, lo cual es equivalente a una luz blanca, y su índice de reproducción cromática (CRI) es de 79, lo que indica una reproducción de color intermedia, suficiente para garantizar una percepción cromática correcta y confortable para el ojo humano, sin distorsiones relevantes en los colores de los objetos iluminados. La selección de luminarias con temperatura de color de 6800 K se fundamenta en su efecto positivo sobre la activación cognitiva y la atención sostenida. A diferencia de temperaturas intermedias (4000 K), que generan una sensación neutra, temperaturas más frías entre 6000 y 7000 K favorecen el estado de alerta, reducen la somnolencia y mejoran el rendimiento en tareas de lectura y análisis prolongado (Borisuit et al., 2015; Sletten et al., 2021). En consecuencia, su aplicación en espacios educativos resulta beneficiosa para actividades intelectuales de alta concentración.

Para evaluar la nueva propuesta lumínica, se replicó íntegramente el procedimiento descrito en el Capítulo 3: Desarrollo de la metodología, con el fin de garantizar la comparabilidad de los resultados con los obtenidos en el diagnóstico inicial. Al igual que en la primera simulación, se mantuvieron constantes las condiciones ambientales del modelo, considerando cielo cubierto y horario de medición al mediodía, de manera de eliminar variaciones externas y asegurar que cualquier diferencia observada en los resultados se deba exclusivamente al cambio de tecnología lumínica propuesta.

5.1.1 Evaluación con equipos LED.

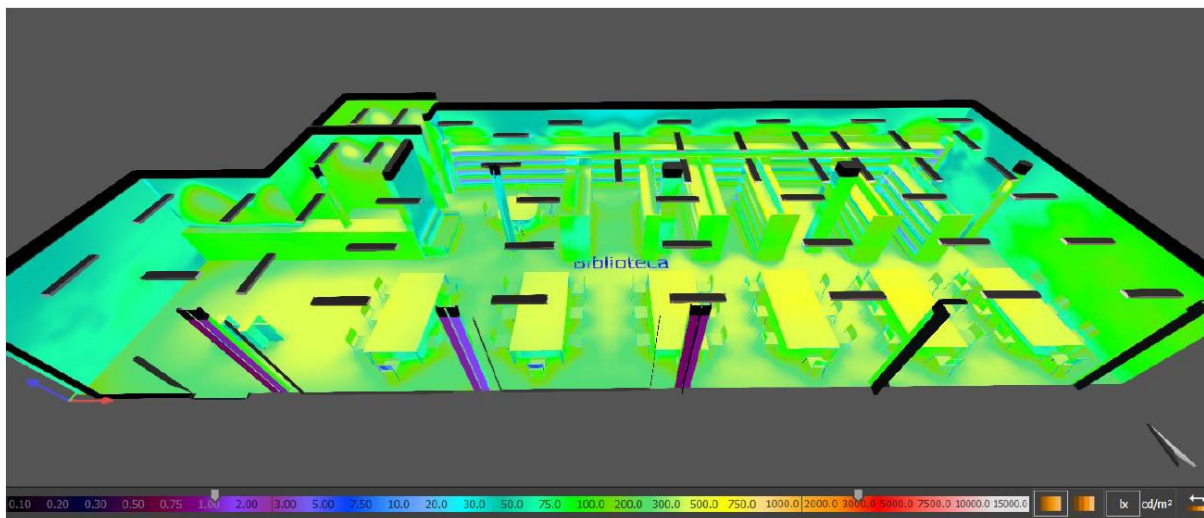
A) Biblioteca

Biblioteca	Calculado	Normativo	Verificación
$\bar{E}_{\text{perpendicular}}$	433 lx	≥ 400 lx	✓
Consumo	4950 kWh/a		
Cantidad de luminarias	50		
Potencia especifica de conexión	4.99 W/m ²		

El primer cambio significativo tras la propuesta de reconversión lumínica es el aumento en el nivel de iluminancia promedio, que pasó de valores inferiores al umbral normativo a 433 lx, superando así la exigencia mínima establecida por la normativa chilena NCh 4/2003 para espacios de trabajo y estudio.

En segundo lugar, se logró una disminución considerable en el consumo energético: mientras que el sistema actual presenta un consumo anual de 6.221 kWh, con la implementación del sistema LED se reduce a 4.950 kWh/año, lo que representa un ahorro energético mensual estimado de 412,5 kWh, frente a los 519 kWh mensuales del sistema fluorescente anterior.

Para alcanzar estos niveles de desempeño, se contempló la instalación de 50 luminarias LED, en reemplazo del sistema existente compuesto por 32 artefactos fluorescentes, cada uno con tres tubos de 18 W (totalizando 96 unidades con una potencia efectiva de 54 W por luminaria). Esta optimización en la cantidad y eficiencia de los equipos permite lograr mejores condiciones de iluminación con menor cantidad de unidades, reduciendo así también los costos de mantenimiento y operación a largo plazo.



Respecto a la imagen respectiva al comportamiento lumínico de la biblioteca, se observa un mejor desempeño lumínico general en comparación con la situación existente. El mapa de iluminancia evidencia que la mayor parte del recinto se encuentra dentro del rango de 300 a 750 lx, lo que concuerda con los valores promedio presentados previamente (433(lx)).

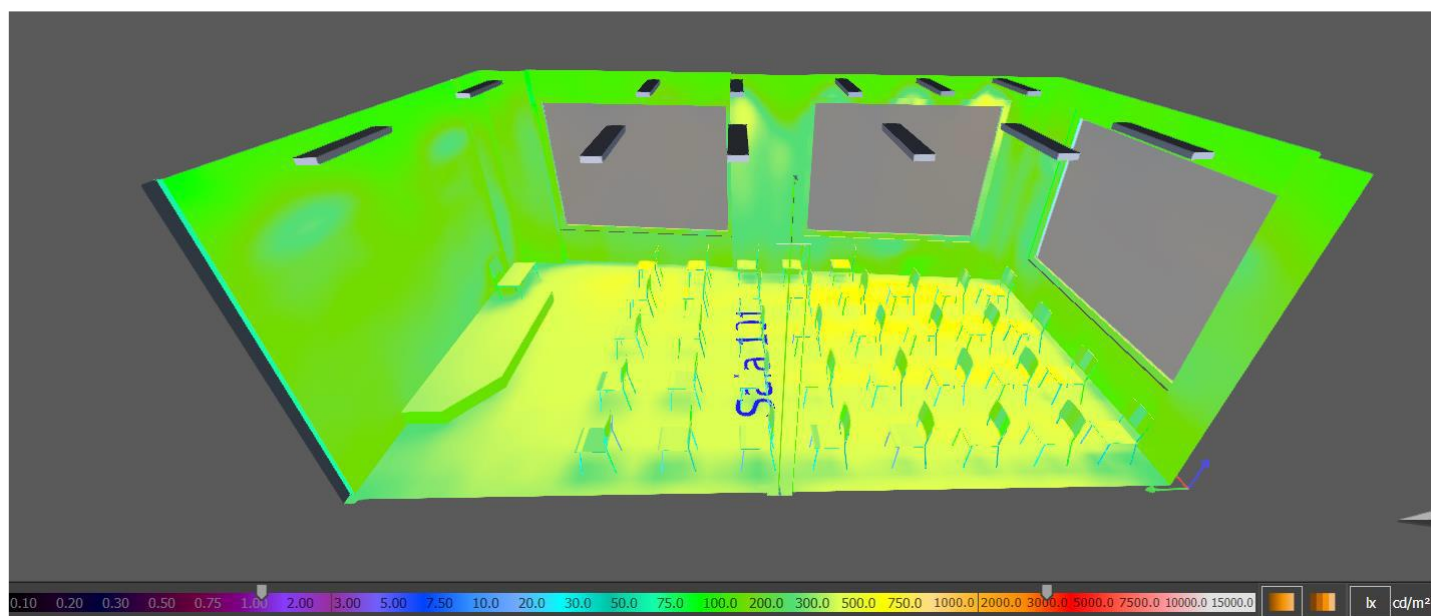
Esta distribución de iluminancia es especialmente relevante considerando que una biblioteca requiere condiciones visuales óptimas para la lectura, el estudio y la concentración, por lo que mantener niveles homogéneos y adecuados es fundamental para el confort de los usuarios.

Si bien el aumento en iluminancia es relevante, lo más significativo es que se supera el valor mínimo exigido por la normativa chilena, asegurando condiciones óptimas para el uso del espacio. A esto se suma una disminución considerable en el consumo energético, consolidando la propuesta como una mejora tanto en desempeño lumínico como en eficiencia energética.

B) Sala 101

Sala 101	Calculado	Normativo	Verificación
Luz Diurna	7,92%		
Ēperpendicular	747 lx	≥ 600 lx	✓
Consumo	(350 - 590)kWh/a		
Cantidad de luminarias	12		
Potencia especifica de conexión	6.18 W/m ²		

Los resultados obtenidos para la Sala 101 muestran una reducción significativa en el consumo energético, estimado en un rango entre 350 y 590 kWh/a, lo que representa un descenso considerable respecto a la evaluación con equipos fluorescentes. La iluminancia perpendicular obtenida es de 747 lx, superando ampliamente los 600 lx exigidos por la normativa chilena para salas de dibujo. Esta disminución en consumo puede atribuirse a factores como el uso de tecnología LED de alta eficiencia, una menor cantidad de luminarias (12 en total), y una mejor orientación de los equipos respecto al plano útil de trabajo. A pesar de una leve disminución en los valores de iluminancia con respecto al sistema anterior, se mantiene un alto nivel de uniformidad y confort visual, cumpliendo cabalmente con los requerimientos normativos y mejorando la eficiencia energética del recinto.



En la figura se aprecia una adecuada distribución de la iluminancia, con predominancia de valores que superan los 300 lx en prácticamente toda la zona de aprendizaje, lo cual permite cumplir con los niveles mínimos exigidos por la normativa vigente. La uniformidad alcanzada evidencia una mejora significativa respecto al sistema de iluminación anterior, tanto en términos de calidad visual como de eficiencia energética. Este resultado respalda la efectividad de la propuesta con tecnología LED implementada en la sala 101.

C) Salas 102, 103 y 104

Sala 102	Calculado	Normativo	Verificación
Luz Diurna	2,67%		
Ēperpendicular	688 lx	≥ 300 lx	✓
Consumo	(300 - 460)kWh/a		
Cantidad de luminarias	12		
Potencia especifica de conexión	5.98 W/m ²		

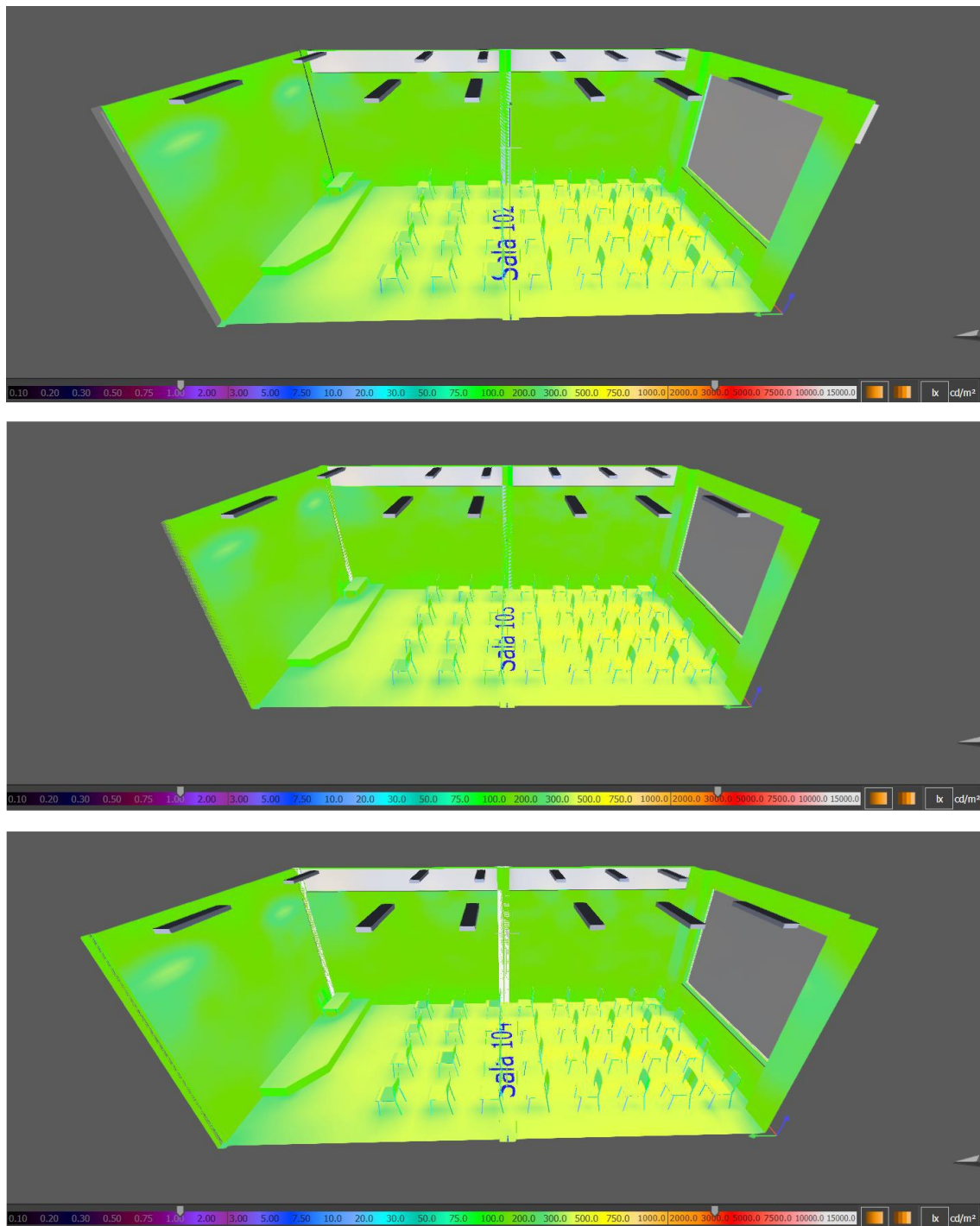
Sala 103	Calculado	Normativo	Verificación
Luz Diurna	2,83%		
Ēperpendicular	693 lx	≥ 300 lx	✓
Consumo	(300 - 460)kWh/a		
Cantidad de luminarias	12		
Potencia especifica de conexión	5.98 W/m ²		

Sala 104	Calculado	Normativo	Verificación
Luz Diurna	2,86%		
Ēperpendicular	693 lx	≥ 300 lx	✓
Consumo	(300 - 460)kWh/a		
Cantidad de luminarias	12		
Potencia especifica de conexión	5.98 W/m ²		

Los resultados obtenidos a partir de la tabla muestran que las salas 102, 103 y 104 presentan niveles de iluminancia muy similares, todos cercanos a los 690 lx, superando con holgura el mínimo normativo de 300 lx. Esta uniformidad es reflejo de un diseño estandarizado que no solo garantiza condiciones visuales óptimas para el trabajo académico, sino que además permite alcanzar eficiencias operativas. El consumo proyectado para cada sala se sitúa entre 300 y 460 kWh/a, lo que representa una reducción aproximada del 50 % respecto a las luminarias fluorescentes originalmente instaladas. Con 12 luminarias por sala

y una potencia específica de $5,98 \text{ W/m}^2$, estos espacios cumplen con parámetros de eficiencia energética esperados para establecimientos educacionales.

A continuación, se podrá visualizar el comportamiento lumínico de cada sala; 102, 103, y 104, en ese orden.



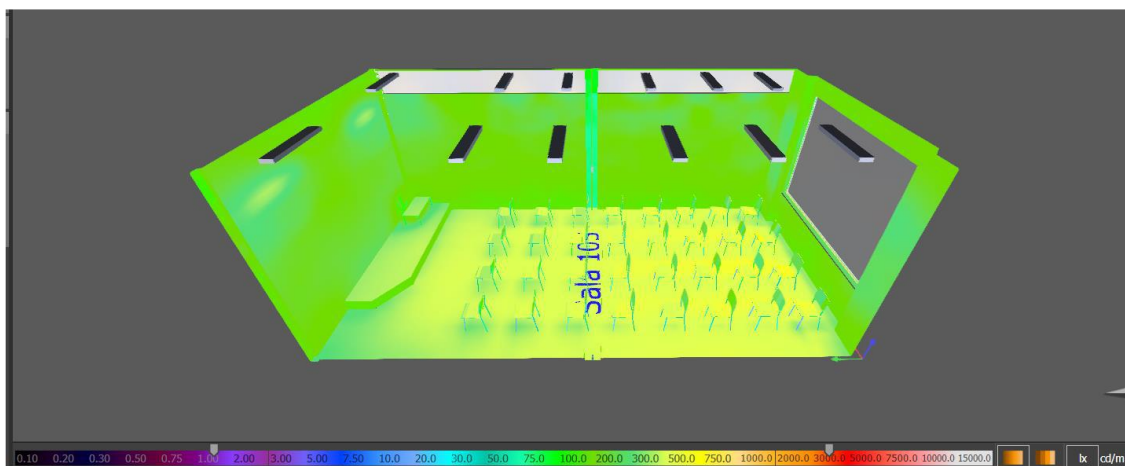
Las imágenes representativas de las simulaciones lumínicas de las salas 102, 103 y 104 evidencian un comportamiento prácticamente idéntico, tanto en distribución como en intensidad de luz. Predominan los tonos verdes y amarillos en las zonas de uso, lo que según la escala cromática corresponde a iluminancias entre 300 y 750 lx, rango que asegura confort visual sin deslumbramientos ni zonas de sombra. La disposición simétrica de las luminarias y su orientación permiten una cobertura eficiente del área útil, con especial énfasis en los puestos de trabajo. Esta homogeneidad visual respalda el buen desempeño de la propuesta

LED no solo desde lo normativo, sino también desde la experiencia espacial del usuario, reforzando su replicabilidad en entornos similares.

D) Sala 105

Sala 105	Calculado	Normativo	Verificación
Luz Diurna	2,87%		
Ēperpendicular	703 lx	≥ 300 lx	✓
Consumo	(300 - 460)kWh/a		
Cantidad de luminarias	12		
Potencia especifica de conexión	5.98 W/m ²		

La sala 105 mantiene las mismas características técnicas que las salas 102, 103 y 104, con una superficie similar, 12 luminarias LED instaladas y una potencia específica de conexión de 5,98 W/m². Según los resultados obtenidos, se alcanzó una iluminancia media de 703 lx, superando con holgura el mínimo normativo de 300 lx establecido para espacios educativos. El consumo energético proyectado se sitúa entre 300 y 460 kWh/a, lo que representa una mejora sustancial respecto al sistema fluorescente original. Estos resultados reafirman la efectividad del diseño estandarizado implementado, tanto en términos de eficiencia energética como de cumplimiento normativo.

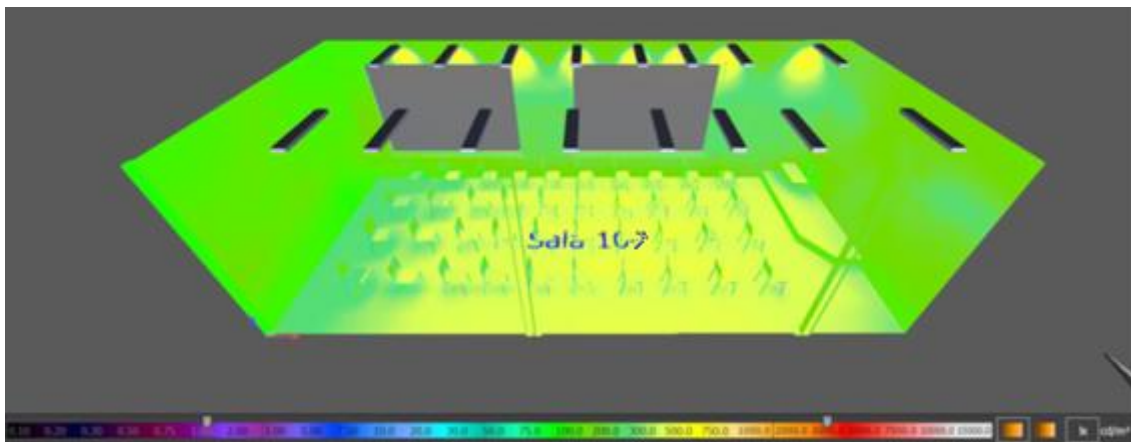


La simulación lumínica de la sala 105 revela una distribución uniforme de la iluminación, con predominancia de tonos verdes y amarillos en el área de trabajo, correspondientes a un rango de 300 a 750 lx. Esta disposición asegura una cobertura homogénea en todo el espacio útil, evitando zonas de sombra o excesos de iluminación. La ubicación simétrica de las luminarias en el cielo contribuye a un reparto eficiente del flujo luminoso, reforzando el confort visual del recinto. Si bien el aporte de luz natural es limitado (2,87 %), complementa el sistema LED y aporta marginalmente a la eficiencia global. En conjunto, la sala 105 reproduce con éxito las condiciones de iluminación óptimas ya observadas en las salas previas.

E) Sala 107

Sala 107	Calculado	Normativo	Verificación
Luz Diurna	0,00%		
Índice de uniformidad	650 lx	≥ 300 lx	✓
Consumo	630 kWh/a		
Cantidad de luminarias	16		
Potencia específica de conexión	6.61 W/m ²		

La evaluación técnica de la sala 107 refleja un desempeño sólido del sistema LED propuesto, con una iluminancia media de 650 lx, muy por encima de los 300 lx exigidos por la normativa chilena. A pesar de no contar con aporte de luz natural (0,00 %), la instalación de 16 luminarias LED permite cubrir eficientemente toda la superficie útil del recinto. El consumo energético anual estimado alcanza los 630 kWh, mientras que la potencia específica de conexión se sitúa en 6,61 W/m². Estos indicadores validan la eficacia de la solución planteada, incluso en espacios de mayor superficie y complejidad técnica.

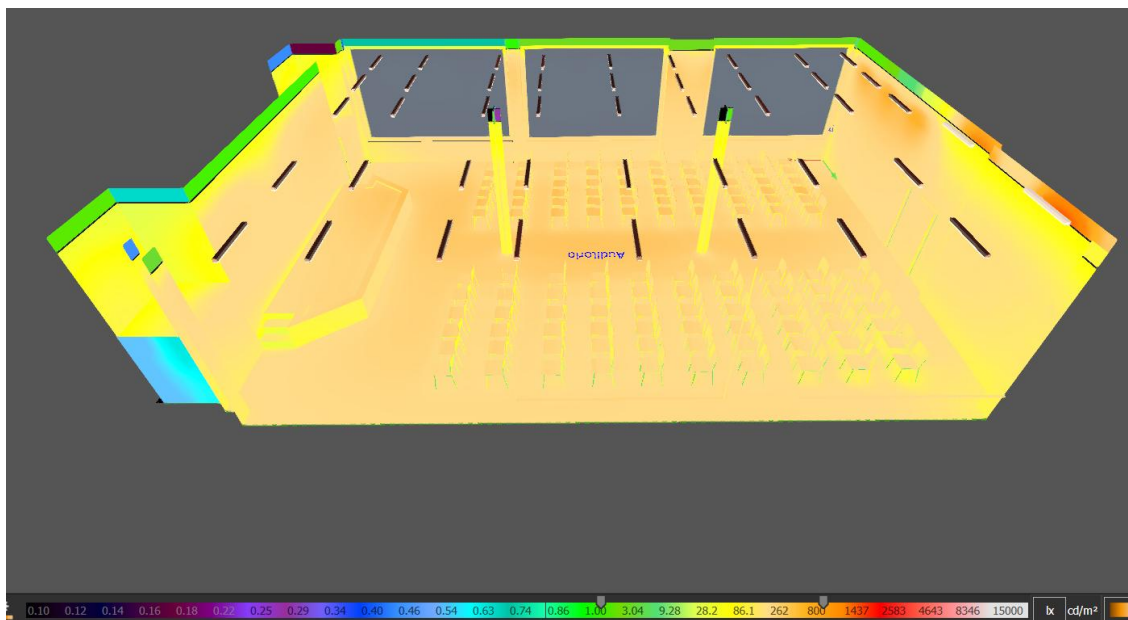


La simulación lumínica de la sala 107 evidencia una distribución uniforme del flujo luminoso, con predominancia de tonalidades verdes y amarillas en el área de ocupación. Este patrón indica niveles de iluminancia comprendidos entre 300 y 750 lx, rango adecuado para tareas académicas según la escala utilizada. La ausencia de luz natural se compensa con una disposición estratégica de los 16 equipos LED, que asegura una cobertura homogénea sin zonas oscuras ni concentraciones de luz excesiva. El resultado visual demuestra que el diseño cumple no solo con los criterios normativos, sino también con estándares de confort y funcionalidad esperados para un entorno educativo eficiente.

F) Auditorio

Auditorio	Calculado	Normativo	Verificacion
Luz Diurna	0,00%		
Ēperpendicular	384 lx	≥ 200 lx	✓
Consumo	1674 kWh/a		
Cantidad de luminarias	46		
Potencia especifica de conexi3n	7,44 W/m ²		

La evaluaci3n t3cnica del auditorio con sistema LED arroja resultados positivos en t3rminos de eficiencia y cumplimiento normativo. La iluminancia media registrada alcanza los 384 lx, superando el m3nimo exigido de 200 lx para este tipo de recinto seg3n la normativa NCh4/2003. Esta condici3n garantiza un nivel de confort visual adecuado para las actividades propias del espacio. Asimismo, el consumo energ3tico proyectado se estima en 1.674 kWh/a, con una potencia especifica de conexi3n de 2,02 W/m², lo que posiciona a esta soluci3n dentro de los m3rgenes de eficiencia energ3tica esperados para grandes recintos interiores.



La simulaci3n lum3nica del auditorio evidencia una distribuci3n equilibrada de la luz en las zonas cr3ticas, especialmente en el 3rea de ocupaci3n y el escenario. Predominan tonalidades correspondientes a un rango de 300 a 500 lx, seg3n la escala crom3tica del modelo, lo que confirma no solo el cumplimiento normativo, sino tambi3n una percepci3n visual confortable. Se aprecia una cobertura uniforme, sin sectores de penumbra ni zonas con iluminaci3n excesiva, lo cual es esencial en espacios destinados a la atenci3n prolongada. Tambi3n se observa un buen control de sombras y una correcta llegada de luz a sectores complejos como esquinas y bordes, resultado de una adecuada selecci3n y orientaci3n de los equipos LED.

5.2 Comparación de consumo energético

A continuación, se presenta una tabla comparativa que resume el comportamiento energético lumínico de los distintos espacios evaluados, antes y después de la propuesta de reconversión tecnológica. En ella se detallan tanto la cantidad de luminarias existentes como las proyectadas con tecnología LED, junto con los consumos anuales estimados para cada escenario. Además, se incluye la diferencia de consumo y el porcentaje de ahorro energético obtenido en cada caso. Esta información permite visualizar de forma clara el impacto que tendría la implementación de luminarias LED en términos de eficiencia energética, permitiendo justificar técnicamente la viabilidad de la propuesta.

Espacios	Luminarias Originales	Luminarias LED	CONSUMO ENERGETICO LUMINICO (kWh/a)		Diferencias de consumo	% ahorro
			Fluorescentes	LED		
Biblioteca	32	46	6221	4950	1271	20,4
Sala 101	13	12	810 - 1300	350 - 590	460 - 710	54,6
Sala 102	10	12	620 - 990	300 - 460	320 - 530	53,5
Sala 103	10	12	620 - 990	300 - 460	320 - 530	53,5
Sala 104	10	12	620 - 990	300 - 460	320 - 530	53,5
Sala 105	10	12	620 - 990	300 - 460	320 - 530	53,5
Sala 107	14	16	1400	770	630	55
Auditorio	46	46	3930	1674	2256	42,6

La tabla resume el impacto energético de la propuesta de reconversión a tecnología LED en los distintos espacios evaluados. Se observa una disminución generalizada en el consumo energético anual, con reducciones que oscilan entre un 20,4 % en la biblioteca y hasta un 55 % en la sala 107. Si bien algunos espacios, como la biblioteca, presentan un porcentaje de ahorro más moderado, esto se debe al aumento en la cantidad de luminarias LED instaladas, necesario para cumplir con los niveles exigidos por la normativa y, sobre todo, con criterios de confort lumínico. Aun así, se logra una mejora evidente en la eficiencia en comparación con los equipos fluorescentes originales. En las salas de clases 102 a 105, cuyos consumos originales fluctuaban entre 620 y 990 kWh/a, se alcanza una estabilización dentro del rango de 300 a 460 kWh/a, lo que representa un ahorro promedio superior al 53 %. En el caso del auditorio, se registra una reducción desde 3.930 a 1.674 kWh/a, con un ahorro del 42,6 %, manteniendo el cumplimiento normativo y mejorando la distribución lumínica. En conjunto, estos resultados validan la propuesta técnica, confirmando su viabilidad en términos de eficiencia energética, confort visual y sustentabilidad.

La tecnología LED garantiza vida útil extensa ($L70 > 50.000$ h), lo que reduce costos de mantención y riesgos por trabajos en altura. Además, aporta uniformidad superior, estabilidad de flujo luminoso y opciones de CRI y CCT que favorecen el confort visual en tareas de lectura y docencia.

Estos aspectos ubican la propuesta no solo como una solución normativa, sino también como una mejora en la seguridad y el bienestar de los usuarios.

Capítulo 6. Evaluación económica

El presente capítulo tiene por objetivo determinar la viabilidad económica del proyecto de reconversión energética en la Biblioteca y Salas de Clases del primer piso de la Facultad de Ingeniería. Para ello, se comparan los costos de inversión inicial, asociados al recambio tecnológico frente a los beneficios económicos generados por el ahorro en el consumo eléctrico durante la vida útil del proyecto.

6.1 Parámetros de la evaluación

Para la construcción del flujo de caja y el cálculo de indicadores de rentabilidad, se han definido las siguientes bases de cálculo, considerando las condiciones de mercado vigentes a noviembre de 2025:

- **Moneda:** pesos chilenos (CLP).
- **Horizonte de Evaluación:** 14 años (correspondiente a la vida útil estimada de las luminarias LED propuestas, >50.000 horas).
- **Tasa de Descuento:** 6% anual (Tasa social de descuento recomendada para proyectos de infraestructura universitaria. Permite determinar cuánto vale hoy una cantidad de dinero que se recibirá en el futuro, teniendo en cuenta factores como la inflación, el riesgo y el costo de oportunidad.).
- **Tarifa eléctrica:** Se utiliza la tarifa vigente (\$200/kWh) (noviembre 2025). La tarifa utilizada corresponde al cargo variable del pliego tarifario de Chilquinta Distribución vigente a noviembre de 2025. Existen variaciones menores dependiendo del componente tarifario considerado; sin embargo, para la evaluación económica se adoptó el valor que representa el costo efectivo de consumo para la Facultad de Ingeniería.

La elección de un horizonte de evaluación de 14 años se justifica por la larga vida útil de los equipos LED y por las políticas institucionales de reducción de consumo energético y costos operacionales en el largo plazo.

6.1.1 Determinación de la inversión inicial.

El proyecto considera dos escenarios:

- **Escenario A:** Recambio de luminarias LED + cambio de soportes metálicos.
- **Escenario B:** Solo recambio de luminarias LED.

Las luminarias fluorescentes originales presentaban las siguientes potencias:

- **Biblioteca:** $3 \times 18 \text{ W} = 54 \text{ W}$ por luminaria
- **Salas y auditorio:** $2 \times 36 \text{ W} = 72 \text{ W}$ por luminaria

La solución LED corresponde a paneles con potencia de 30 W.

6.2 Valorización del ahorro energético

6.2.1 Inversión inicial del escenario A

A continuación, se mostrará el análisis de precio considerando cambio de sentido de los soportes metálicos.

Escenario A — Recambio de luminarias LED + cambio de soportes					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
1	SUMINISTRO DE EQUIPOS				
1.1	Luminaria LED 30W 4000lm	Unid	168	\$22.500	\$ 3.780.000
1.2	Kit de Soportes / Fijaciones	Unid	168	\$15.000	\$ 2.520.000
1.3	Materiales Menores (Cables/Conectores)	Gl	1	\$50.000	\$ 50.000
2	MANO DE OBRA				
2.1	Desmontaje, Montaje y Conexión	Unid	168	\$30.000	\$ 5.040.000
	COSTO DIRECTO				\$ 11.390.000
	Gastos Generales y Utilidades (15%)				\$ 1.708.500
	TOTAL INVERSIÓN (NETO)				\$ 13.098.500

Fuente: Elaboración propia en base a precios de mercado y ONDAC 2025.

Nota: Se considera la evaluación con valores netos (sin IVA) asumiendo que la institución recupera el crédito fiscal. De no ser así, la inversión total asciende a \$ [TOTAL NETO x 1.19] (IVA Incluido).

6.2.2 Inversión inicial del escenario B

En esta segunda tabla se muestra el análisis de precio considerando solo el cambio de luminarias fluorescentes por LED.

Escenario B — Recambio de luminarias LED					
Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
1	SUMINISTRO DE EQUIPOS				
1.1	Luminaria LED 30W 4000lm	Unid	168	\$22.500	\$ 3.780.000
1.2	Materiales Menores (Cables/Conectores)	Gl	1	\$50.000	\$ 50.000
2	MANO DE OBRA				
2.1	Desmontaje, Montaje y Conexión	Unid	168	\$20.000	\$ 3.360.000
	COSTO DIRECTO				\$ 7.190.000
	Gastos Generales y Utilidades (15%)				\$ 1.078.500
	TOTAL INVERSIÓN (NETO)				\$ 8.268.500

Fuente: Elaboración propia en base a precios de mercado y ONDAC 2025.

Nota: Se considera la evaluación con valores netos (sin IVA) asumiendo que la institución recupera el crédito fiscal. De no ser así, la inversión total asciende a \$ [TOTAL NETO x 1.19] (IVA Incluido).

6.3 Ahorro energético y económico anual.

Se calculo el consumo energético de cada recinto a 3.600 horas de uno anual (uso de 10 h/día × 30 días/mes × 12 meses = 3.600 horas/año), esto respaldado por International Energy Agency (IEA, 2020) que indica que los edificios educativos presentan uso intensivo de iluminación, con jornadas promedio entre 8 y 12 horas diarias.

6.3.1 Potencias reales utilizadas:

El consumo anual de cada sistema se obtuvo multiplicando la potencia total instalada en cada recinto por 3.600 horas de uso al año, y luego sumando todos los recintos. El sistema fluorescente totaliza 30.844,8 kWh/año, mientras que el sistema LED alcanza 13.716 kWh/año.

Sistema	Consumo anual (kWh/año)
Fluorescente	30.844,8 kWh/año
LED	13.716,0 kWh/año
Ahorro energético	17.128,8 kWh/año

$$\text{Ahorro anual} = 17.128,8 \text{ kWh/año} \times 200 \text{ \$/kWh} = \mathbf{3.425.760 \text{ \$/año}}$$

Este valor se aplica en ambos escenarios, ya que técnicamente ambos generan la misma reducción de consumo.

6.4 Indicadores económicos.

Los indicadores económicos permiten determinar la conveniencia financiera de la reconversión lumínica propuesta. Para esta evaluación se consideraron tres métricas ampliamente utilizadas en la formulación y análisis de proyectos de inversión: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI).

6.4.1 Valor actual neto (VAN)

El VAN representa el valor presente de los ahorros futuros generados por el proyecto descontados a una tasa del 6%, que corresponde a la tasa social de descuento recomendada para proyectos de infraestructura educacional. Se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} - I_0$$

Donde:

- F_t = flujo neto anual de ahorros (en este proyecto, constante e igual a \$3.425.760).
- r = tasa de descuento (6%).
- n = horizonte de evaluación (14 años).
- I_0 = inversión inicial del escenario evaluado.

Un **VAN positivo** indica que el proyecto genera beneficios superiores al costo de inversión, por lo cual resulta económicamente conveniente. Siguiendo la formula obtenemos lo siguiente;

- Escenario A tiene VAN = \$18.755.988-.
- Escenario B tiene VAN = \$23.585.988-.

Es necesario entender lo siguiente; si la inversión sube, el valor actual neto (VAN) baja, y si la inversión es baja, el valor actual neto (VAN) sube.

En términos prácticos, esto significa que el Escenario B genera mayor valor económico para la institución, ya que requiere una inversión inicial menor mientras produce exactamente el mismo ahorro energético anual.

Por esta razón, desde la perspectiva estrictamente financiera, el Escenario B es la alternativa más conveniente, mientras que el Escenario A sigue siendo rentable, aunque con un retorno económico inferior.

6.4.2 Periodo de recuperación (PIR)

El Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) corresponde al tiempo necesario para que los ahorros generados por el proyecto igualen la inversión inicial. Se trata de un indicador simple, ampliamente utilizado en proyectos de eficiencia energética, ya que permite identificar en qué momento la inversión comienza a generar beneficios netos.

En este estudio, el PRI se calcula mediante la relación directa entre la inversión inicial y el ahorro económico anual derivado de la disminución del consumo eléctrico.

$$PRI = \frac{I_0}{Ahorro\ anual}$$

Donde:

- I_0 = inversión inicial del escenario evaluado.

Así, el escenario A (LED + soportes) presenta un PRI de **3,82 años**, debido a su mayor inversión inicial, y el escenario B (solo recambio de luminarias LED) presenta un PRI de **2,41 años**, lo cual indica una recuperación rápida del capital invertido.

Ambos tiempos de recuperación son considerados favorables en proyectos de reconversión tecnológica, especialmente considerando que el sistema LED tiene una vida útil igual o cercana a 50.000 horas. Esto implica que, una vez recuperada la inversión, los siguientes años corresponden íntegramente a beneficios económicos para la institución

6.4.3 Tasa de retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es un indicador que permite evaluar la rentabilidad porcentual de un proyecto, expresando la tasa a la cual el Valor Actual Neto (VAN) se hace igual a cero. En términos prácticos, la TIR representa el rendimiento anual que genera la inversión a partir de los ahorros futuros. Un proyecto se considera económicamente viable cuando su TIR supera la tasa de descuento utilizada para evaluar los flujos; en este estudio, dicha tasa corresponde a un 6 % anual. TIR se expresa con la siguiente formula;

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I_0$$

Donde:

- F_t = flujo neto anual de ahorros (en este proyecto, constante e igual a \$3.425.760).
- n = horizonte de evaluación (14 años).
- TIR = tasa interna de retorno que se busca
- I_0 = inversión inicial del escenario evaluado.

Siguiendo la formula, obtenemos el siguiente desglose:

El Escenario B (solo recambio de luminarias LED) presenta una TIR aproximada de **38,0 %**, lo que refleja una rentabilidad significativamente superior a la tasa de descuento. Este valor indica que la alternativa LED sin intervención estructural genera un retorno financiero muy alto en relación con su bajo costo de inversión.

El Escenario A (LED + soportes) alcanza una TIR cercana a **23,5 %**, también superior al 6 % requerido, lo que confirma la conveniencia económica de esta alternativa. No obstante, su rentabilidad es menor debido al incremento en la inversión inicial que implica el recambio de soportes metálicos.

En conclusión, ambas alternativas resultan financieramente atractivas; sin embargo, la TIR evidencia que el Escenario B es la opción más rentable, al ofrecer una tasa de retorno considerablemente mayor, lo que lo posiciona como la alternativa óptima cuando el criterio de evaluación es estrictamente económico.

6.5 Comparación de escenarios.

Cuadro Resumen		
Indicador	Escenario A (LED + soportes)	Escenario B (solo LED)
Inversión total	\$13.098.500	\$8.268.500
Ahorro anual	\$3.425.760	\$3.425.760
PRI	3,82 años	2,41 años
VAN (14 años, 6%)	\$18.755.988	\$23.585.988
TIR	23,50%	38,00%
Evaluación final	Rentable	Más rentable y recomendada

Los resultados de la evaluación económica permiten establecer que la reconversión lumínica propuesta es financieramente conveniente para la Facultad de Ingeniería, independientemente del escenario analizado. Tanto el Escenario A (recambio de luminarias LED y soportes) como el Escenario B (solo recambio de luminarias LED) presentan valores positivos de VAN y tasas internas de retorno superiores a la tasa de descuento del 6 %, lo que confirma la rentabilidad del proyecto en ambos casos.

No obstante, al comparar los escenarios, el Escenario B se posiciona como la alternativa más favorable desde el punto de vista económico, debido a su menor inversión inicial, un periodo de recuperación más breve y una TIR considerablemente mayor. Este escenario genera el mayor valor económico acumulado durante la vida útil del sistema y representa la opción más eficiente cuando el criterio de decisión prioriza la relación costo–beneficio.

El Escenario A, si bien es económicamente viable, presenta una rentabilidad inferior como consecuencia del incremento en los costos asociados al cambio de soportes. Por lo tanto, su elección se justifica principalmente en situaciones donde existan requerimientos de mantención, seguridad o estandarización que hagan necesario intervenir la infraestructura de montaje.

En síntesis, la reconversión tecnológica a iluminación LED demuestra ser una inversión sólida, de rápida recuperación y con beneficios sostenidos en el tiempo, contribuyendo tanto a la eficiencia energética del edificio como a la reducción de los costos operacionales institucionales.

Capítulo 7. Conclusiones

La presente investigación permitió diagnosticar, evaluar y proponer una solución técnica para el sistema de iluminación artificial del primer piso de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Valparaíso. Mediante mediciones en terreno, simulaciones digitales con DIALux y el análisis de la normativa vigente, se abordó de manera integral el comportamiento lumínico de los recintos, considerando tanto el desempeño energético como la calidad visual percibida por los usuarios.

Si bien el sistema fluorescente actualmente instalado cumple con los niveles mínimos de iluminancia establecidos por la NCh4/2003 en la mayoría de los espacios, dicho cumplimiento resulta limitado cuando se observa el desempeño global. Las mediciones evidenciaron una distribución poco uniforme, presencia de sobre iluminación en ciertos sectores y zonas sub iluminadas en otros, condiciones que pueden afectar el confort visual y generar un uso ineficiente de la energía disponible.

Los antecedentes revisados refuerzan la importancia de comprender la iluminación no solo como una magnitud física medida en lux, sino como un componente que influye directamente en la concentración, la percepción del espacio y el bienestar de las personas. Como señalan Pattini (2011), así como Boyce (2003) y Veitch (2001), la calidad de la iluminación depende de múltiples factores como la uniformidad, el deslumbramiento, la temperatura de color y la reproducción cromática, los cuales inciden en la comodidad visual y el desempeño de las tareas. Asimismo, estudios compilados por Illuminet (2018) muestran que una correcta iluminación puede mejorar significativamente la velocidad de lectura, reducir errores y favorecer conductas más estables en ambientes educativos.

En el contexto actual, el confort lumínico ha adquirido una importancia creciente en el diseño de espacios educativos y laborales, especialmente debido a la mayor exposición a tareas visuales prolongadas y al uso intensivo de dispositivos digitales. La Comisión Internacional de Iluminación (CIE, 2019) destaca que el confort visual es un componente esencial de la calidad ambiental interior, ya que influye directamente en la fatiga ocular, el rendimiento cognitivo y la percepción psicológica del espacio. En esta misma línea, Veitch (2021) sostiene que “las condiciones visuales de un ambiente interior no solo afectan la eficiencia con que las personas realizan sus tareas, sino también su bienestar general y su disposición emocional frente al entorno” (p. 12). Este enfoque evidencia que la iluminación debe ser entendida como un factor ambiental integral, no únicamente técnico, que contribuye al bienestar y al desempeño humano.

La propuesta de reconversión a luminarias LED permitió rediseñar la distribución lumínica en los recintos estudiados, logrando mejoras evidentes en uniformidad, estabilidad y confort visual, especialmente en áreas críticas como la Biblioteca y el Auditorio. Los resultados de las simulaciones muestran una iluminación más homogénea y funcional, coherente con estándares contemporáneos de calidad ambiental interior, que avanza más allá de lo que exige la normativa chilena vigente.

En términos económicos, la evaluación basada en precios unitarios actualizados del Manual ONDAC y valores reales de mercado confirmó la viabilidad de la intervención en ambos escenarios analizados. El ahorro energético anual estimado asciende a 17.129 kWh/año, cifra coherente con las diferencias de potencia entre los sistemas y con un régimen de funcionamiento de 3.600 horas anuales. Considerando la vida útil real aproximada de 14 años para los equipos LED, se obtuvieron periodos de recuperación de 2,4 años para la alternativa sin cambio de soportes y 3,8 años para la alternativa que incluye su reemplazo, ambos inferiores al tiempo de vida útil proyectado. Además, los dos escenarios presentan VAN positivo y TIR superior al 6%, lo que demuestra que la reconversión genera beneficios económicos sostenidos en el tiempo.

Los resultados obtenidos en los 848,32 m² evaluados permiten proyectar beneficios energéticos más amplios si la intervención se extendiera al resto de los espacios docentes del edificio (1.877,18 m²). Bajo este escenario ampliado, las mejoras podrían alcanzar ahorros

del orden de 38.000 kWh/año, reforzando el potencial del proyecto como una estrategia institucional de gestión energética y modernización de infraestructura.

En síntesis, la reconversión lumínica propuesta constituye una mejora integral del sistema de iluminación del edificio, al abordar de forma conjunta la eficiencia energética, el confort visual y la sostenibilidad operativa. La implementación de tecnología LED no solo optimiza el consumo eléctrico, sino que también mejora las condiciones lumínicas de los espacios educativos, fortaleciendo la calidad del ambiente interior y contribuyendo al bienestar de sus usuarios. La propuesta final se presenta como una solución coherente, técnicamente fundamentada y económicamente atractiva para la Facultad de Ingeniería.

Bibliografía.

1. Grupo de Trabajo COP25, Gerencia de Estudios de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC) (2019)
2. Mardones C. Muñoz T. (abril 2017). Impuesto al CO2 en el sector eléctrico chileno: efectividad y efectos macroeconómicos. Economía Chilena, 20, 22. 10/04/2018, De Banco Central de Chile Base de datos
3. Jordi Contreras (mayo 2015), Product Manager Home Automation de Legrand Group España. Soluciones domóticas para la rehabilitación de edificios y viviendas. Publicación en <https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/143472-Soluciones-domoticas-para-la-rehabilitacion-de-edificios-y-viviendas.html>
4. Zamora Martínez, Marisela Cristina. (2015). Cambio climático. Revista mexicana de ciencias forestales, 6(31), 04-07. Recuperado en 14 de noviembre de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S20071132201500050001&lng=es&tlng=es
5. Ministerio de Energía (Julio 2020) Eficiencia Energética en Edificios Públicos: Estándares, programas relacionados y proyectos en la región de Aysén. https://energia.gob.cl/sites/default/files/01._eficiencia_energetica_en_edificios_publicos_y_programas_relacionados.pdf
6. “Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios” (2005), La presente publicación ha sido elaborada por el Grupo de Trabajo formado por el Comité Español de Iluminación (CEI) y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), con la colaboración del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España (CSCAE).
7. AEDENAT, et al. (1998). Ante el cambio climático, menos CO2. Madrid, España: Instituto Juan de Herrera.
8. Pérez D’Gregorio, Rogelio. (2002). Sistema Internacional de Unidades SI. Revista de Obstetricia y Ginecología de Venezuela, 62(1), 47-68.
9. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S004877322002000100010&lng=es&tlng=es
10. Nuria Castilla Cabanes (mayo 2015) La iluminación artificial en los espacios docentes. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. Escuela técnica superior de arquitectura.
11. Pattini A., 2011, Confort visual: aulas y oficinas. Jornada Técnica Tecnalia, Arquitectura y confort humano.
12. Astroza, M. & Moroni, M. (2011). Comportamiento estructural de edificaciones metálicas patrimoniales.

13. CMN. (2015). Recomendaciones para la intervencion de inmuebles patrimoniales. Obtenido de Consejo de Monumentos Nacionales: <https://www.monumentos.gob.cl>
14. Astroza, M. & Moroni, M. (2011). Comportamiento estructural de edificaciones metalicas patrimoniales.
15. CMN. (2015). Recomendaciones para la intervencion de inmuebles patrimoniales. Obtenido de Consejo de Monumentos Nacionales: <https://www.monumentos.gob.cl>
16. Congreso Nacional de Chile. (4 de Febrero de 1970). Ley Chile. Obtenido de Ley Chile: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=28892>
17. Energia, M. d. (2015). Plan Nacional de Eficiencia Energetica 2015-2035. Obtenido de Energia 2050: https://energia.gob.cl/sites/default/files/energia_2050_-_politica_energetica_de_chile.pdf
18. Energía, M. d. (15 de Abril de 2018). Gobierno de Chile. Obtenido de Ministerio de Energia: <https://energia.gob.cl/pelp/balance-nacional-de-energia>
19. Iluminet. (octubre de 2018). La Luz en el aula mejora el rendimiento academico. Obtenido de Iluminet: <https://www.iluminet.com/la-luz-en-el-aula-mejora-el-rendimiento-academico>
20. Lagos, R y Rebolledo. (2012). Evaluación post-terremoto de edificaciones industriales.
21. Ministerio de las Culturas, I. A. (19 de Marzo de 2024). Ley Chile. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1201955>
22. Wurtman, R. J., 1968, Biological Implications of Artificial Illumination, A paper presented at the National Technical Conference of the Illuminating Engineering Society, Phoenix, Arizona, 63, 10, pp 523-529, Citado por Baas, A.M., 1973, *op.cit.*, p.2.
23. TAREB, 2004., publicación “Iluminacion”. España.
24. Marquez, T (2012) “Diseño con iluminación Natural” Chile, Universidad Mayor.
25. La correcta iluminación beneficia el rendimiento escolar (2011). ILUMINET, Revista Salud y biología.
26. Creara Energy Experts, 2019., publicación LED más allá del ahorro, Madrid.
27. Illumor, 2021., publicación: pasión por la eficiencia energética, España 2021.
28. Aghajari, S. (2025). Optimizing classroom lighting for enhanced visual comfort and reduced energy consumption. *Buildings*, 15(8), 1233–1246.
29. Budhiyanto, A. (2024). Visual comfort and energy savings in classrooms using optimized artificial lighting. *Energy & Built Environment*, 46(2), 88–101.

30. Muñoz, L. H. G. (2023). The importance of lighting quality in university classrooms. *Journal of Development and Education*, 12(3), 50–63.
31. Salomón, D. (2022). Uso de luz natural para confort visual en aulas universitarias. *Revista Hábitat y Sociedad*, 14(2), 77–91.