



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL EN OBRAS CIVILES

ANÁLISIS DE LA ILUMINACIÓN AMBIENTAL EN EDIFICIOS PÚBLICOS DE SANTIAGO DE CHILE

RODRIGO ANDRÉS MÉNDEZ ALARCÓN

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero
Civil en Obras Civiles

Profesor guía:
Marco Antonio Alsina Corvalán

Curicó - Chile
2023

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Two circular official stamps and handwritten signatures in blue ink. The left stamp is from the 'DIRECCIÓN SISTEMA DE BIBLIOTECAS' of the 'UNIVERSIDAD DE TALCA'. The right stamp is from the 'SISTEMA DE BIBLIOTECAS CAMPUS CURICO' of the 'UNIVERSIDAD DE TALCA'.

Curicó, 2023

RESUMEN EJECUTIVO

La construcción sustentable es esencial para poder optimizar el uso de los materiales y consumo de energía, reducir el impacto ambiental asociado a la construcción, y mejorar la calidad de vida de las personas en el ambiente construido. Al respecto, el consumo energético de edificaciones es un factor relevante a la hora de evaluar su eficiencia energética, la cual depende de parámetros tales como la materialidad de la edificación, su Factor Forma (FF) y factores ambientales, tales como iluminación natural.

El principal objetivo de esta investigación es realizar un análisis de la iluminación ambiental sobre las edificaciones, además de considerar su Factor Forma, para poder encontrar una relación entre dichas variables con el consumo energético obtenido y de esta forma poder explicar la variación que existe entre las estructuras que presentan cercanía.

Para realizar el análisis de la iluminación ambiental se ocupó el software *Blender* el cual permite realizar modelaciones en 3D y simulaciones en cuanto a la energía, radiación y sombreado. Por ello se debe obtener el modelo de la estructura y su entorno con la ubicación y las características climáticas de la zona.

El Factor Forma (FF) de la estructura se calcula en dos modalidades, la primera, FF_{ed} se obtiene considerando toda la forma de la edificación, mientras que la segunda, FF_{hab} considera la forma del recinto o habitación descontando los muros adiabáticos, con una altura H la cual se estima como la cantidad de pisos multiplicado por una altura de entrepiso promedio de 3.4 metros.

Los resultados obtenidos, junto con la comparación correspondiente entre el consumo energético y las sombras ambientales fueron irregulares, sin presentar una relación clara. Por lo tanto, se concluye que las sombras ambientales proyectadas en la estructura no son determinantes para estimar el consumo energético y explicar la drástica variación que presentan las edificaciones con cercanía geográfica.

Para el caso del Factor Forma, los resultados tampoco permiten establecer una relación clara con respecto al consumo energético, por lo que ambas hipótesis fueron rechazadas. Sin embargo, se recomienda obtener la información de la morfología del edificio, su envolvente al detalle y la geometría de la misma, ya que combinadas con la iluminación ambiental pueden ser factores que podrían explicar dicha variación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Ítem	Página
RESUMEN EJECUTIVO	2
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	6
1.1 Introducción	6
1.2 Objetivos	7
1.2.1 Objetivo General	7
1.2.2 Objetivos específicos.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Industria de la Construcción	8
2.2 Energía en las edificaciones	9
2.3 Construcción Sustentable	11
2.4 Eficiencia energética	11
2.4.1 Desempeño energético.....	12
2.4.2 Factor forma.....	12
2.5 Envolvente	12
2.5.1 Muros	13
2.5.2 Cubiertas	14
2.5.3 Pisos	14
2.5.4 Puentes térmicos.....	15
2.5.5 Ventanas.....	17
2.6 Parámetros de luminosidad.....	17
2.6.1 Sombras ambientales	17
2.6.2 Radiación e iluminación	18
2.6.3 Luminosidad.....	20
2.7 Herramientas computacionales.....	21

	4
2.7.1 Blender	22
2.7.2 VI-Suite	22
2.7.3 Mapeo de Sombras	23
2.7.4 Geometría.....	23
2.7.5 Área de estudio.....	24
2.8 Certificaciones sustentables.....	25
2.8.1 Certificación de Edificio Sustentable (CES).....	25
2.8.2 Certificación de Vivienda Sustentable (CVS).....	30
2.8.3 Calificación Energética de Viviendas (CEV)	31
2.8.4 Certificación LEED	34
2.9 Hipótesis de investigación.....	36
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	37
3.1 Diseño de la investigación.....	37
3.2 Selección de la muestra	37
3.3 Operacionalización de variables	40
3.4 Recolección de datos	41
3.4.1 Consumo energético	41
3.4.2 Iluminación solar y sombreado.....	42
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	45
4.1 Iluminación y sombreado	45
4.1.1 Servicio Nacional del Patrimonio Cultural (Id 4)	45
4.1.2 Superintendencia de Insolvencia y Reemprendimiento (Id 23).....	48
4.1.3 Dirección de Compras y Contratación Pública (Id 39)	50
4.1.4 Instituto de Seguridad Laboral (Id 40).....	53
4.1.5 Subsecretaría de Educación (Id 41)	56
4.1.6 Comisión Chilena del Cobre (Id 46).....	59
4.1.7 Subsecretaría de Salud Pública (Id 81)	62

4.1.8 Fondo Nacional de Salud (Id 85).....	65
4.1.9 Subsecretaría de Redes Asistenciales (Id 122)	68
4.1.10 Serv. Nal. para Prevención y Rehabilitación Consumo de Drogas y Alcohol (Id 152) ..	71
4.1.11 Análisis de la muestra.....	74
4.2 Factor forma.....	74
4.2.1 Factor Forma de la Edificación.....	75
4.2.2 Factor Forma de la Habitación	77
CAPÍTULO V: CONCLUSIÓN	79
BIBLIOGRAFÍA	80

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

La construcción es un pilar fundamental para el desarrollo de las ciudades, mejorando la calidad de vida de las personas en el ambiente construido, ofreciendo empleos, y participando activamente en el desarrollo económico nacional. Sin embargo, la construcción también genera impactos ambientales, incluyendo generación de residuos sólidos y gases de efecto invernadero, entre otros.

Las consecuencias ambientales derivadas de la construcción han motivado la búsqueda de soluciones integrales para la industria. En este contexto, el enfoque de la construcción sustentable ha permitido que el sector sea más responsable con el impacto ambiental generado hacia el ambiente, junto con mejorar la calidad del entorno construido.

Ligada a la construcción sustentable también se encuentra el concepto de eficiencia energética, la cual busca un uso racional de la energía para satisfacer las necesidades de climatización, iluminación, generación de agua caliente, entre otras, mejorando así la calidad y el confort del ambiente construido. Además, la construcción sustentable orienta hacia cambiar los hábitos de producción de materiales actualmente utilizados en el sector, para lograr una reducción del impacto ambiental de tales materiales durante la construcción, operación y deconstrucción de edificaciones.

El deseo de aportar hacia el establecimiento de una cultura de construcción sustentable y eficiente a nivel nacional ha motivado el desarrollo de esta memoria de tesis.

Al respecto, se ha observado que el consumo energético que tienen los edificios ubicados en la ciudad de Santiago de Chile puede variar drásticamente, inclusive dentro de un mismo sector urbano. Por ende, esta memoria busca analizar el efecto de la iluminación ambiental de los edificios comprometidos, y cuantificar el efecto de las sombras ambientales proyectadas en la estructura sobre el consumo energético, evaluando si éstas permiten explicar tal variabilidad y deficiencia en los consumos energéticos.

Para determinar los efectos que tienen las sombras ambientales sobre la envolvente de una estructura, se estudiará y cuantificará la cantidad de radiación e iluminación que es recibida por edificios públicos ubicados en la ciudad de Santiago de Chile, realizando un levantamiento de información con los consumos energéticos reales de estos edificios en conjunto con una modelación de iluminación recibida que incluya efectos de sombras ambientales. Se espera que los resultados de esta memoria ayuden a la evaluación energética de edificios ubicados en entornos urbanos, considerando en particular el efecto de sombras ambientales.

1.2 Objetivos

El consumo energético de edificios públicos ubicados en la Región Metropolitana varía drásticamente incluso cuando se encuentran en una misma área urbana. Por lo tanto, esta memoria busca analizar la cantidad de radiación e iluminación ambiental que es recibida por los edificios públicos considerando la proyección de las sombras sobre la envolvente de la estructura, comprobando de esta forma si la iluminación recibida se correlaciona con el consumo energético del edificio, y si el efecto de las sombras ambientales permite explicar las variaciones observadas en el consumo.

1.2.1 Objetivo General

Realizar un análisis de la radiación e iluminación recibida por los edificios afectados por sombras ambientales mediante modelación computacional en 3D, para evaluar la correlación de estas variables con el consumo energético de los edificios.

1.2.2 Objetivos específicos

- Seleccionar un conjunto de edificios urbanos en la ciudad de Santiago que presenten cercanía geográfica y que tengan consumos energéticos variados.
- Realizar un levantamiento tridimensional del conjunto urbano previamente seleccionado incluyendo el entorno circundante en un radio de 100 metros.
- Realizar una simulación de la radiación e iluminación mensual sobre el conjunto de edificios urbanos previamente seleccionados.
- Realizar un análisis de las sombras ambientales proyectadas sobre el conjunto de edificios urbanos previamente seleccionados.
- Analizar los resultados obtenidos en base a los consumos energéticos mensuales del conjunto de edificios.

Los resultados de esta investigación serán de gran utilidad, ya que permitirán abordar las razones detrás de la diferencia en desempeño energético entre edificios ubicados en un mismo entorno urbano, y con ello proponer estrategias de gestión para mejorar la eficiencia energética y con ello disminuir el gasto asociado a estos edificios públicos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Este capítulo aborda los conceptos y teoría necesaria para una correcta comprensión de la memoria, presentando antecedentes relevantes de la industria de la construcción en Chile y de la sustentabilidad, los cuales fueron los motivadores de la presente memoria de tesis.

2.1 Industria de la Construcción

Según datos del Banco Mundial, la industria de la construcción en Chile es uno de los sectores más importantes para la economía, constituyendo aproximadamente un 6,4% del producto interno bruto (PIB), valor incluso mayor al promedio de 5,2% para la OCDE (*Ilustración 1*).

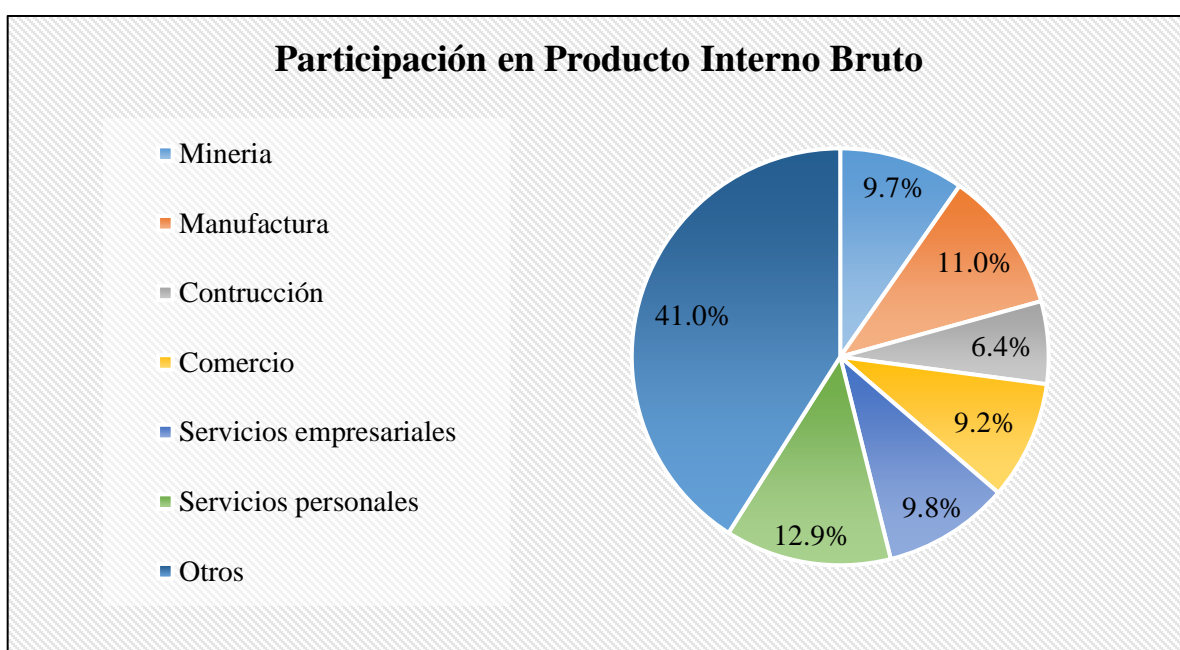
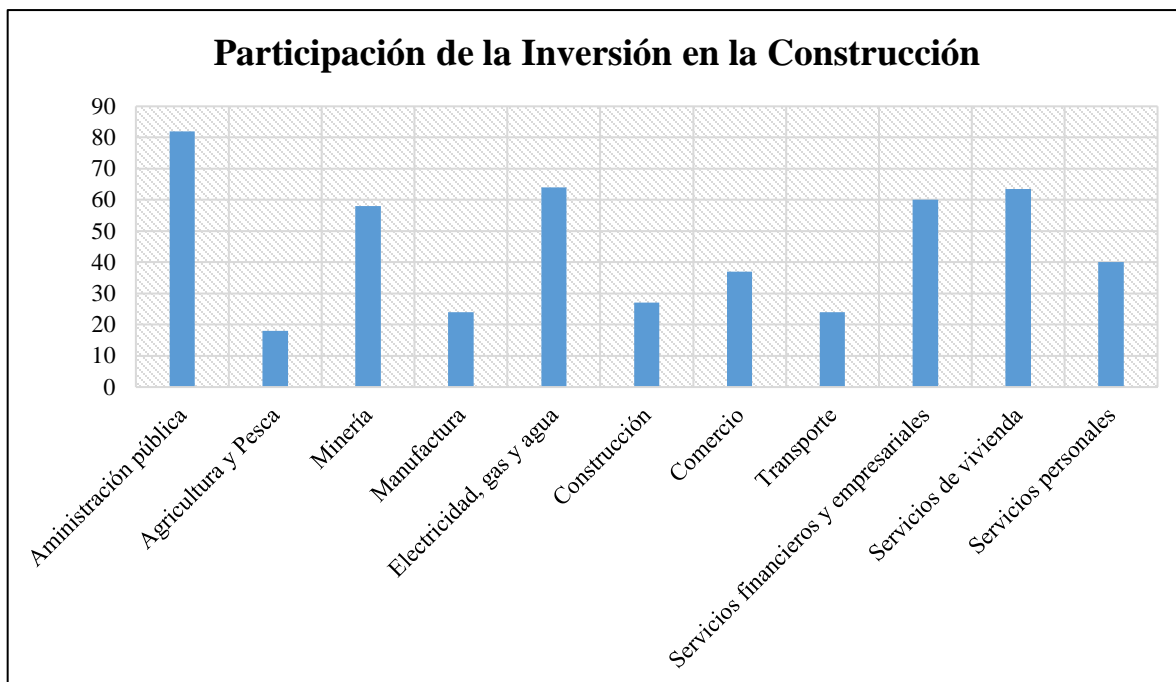


Ilustración 1 - Participación de la construcción en Chile.

Fuente: Elaboración propia en base a World Wide Governance Indicators del Banco Mundial (2017).

Además, el 8,5% de los ocupados del país trabajan en el rubro de la construcción, y un 63,5% del total de la inversión en Chile corresponde a la construcción de viviendas, edificaciones no residenciales y obras de ingeniería (*CPI, 2018*). La participación de la inversión de cada actividad económica que es destinada a la construcción se presenta a continuación en la *Ilustración 2*.



*Ilustración 2 - Participación de la inversión en construcción de obras en el total de la inversión por actividad en Chile.
Fuente: Elaboración propia en base a Solminihac (2018).*

Los datos anteriores evidencian lo fundamental que es la construcción para la economía y el desarrollo del país. No obstante, el desarrollo y crecimiento de este sector también trae consecuencias negativas, como lo es la contaminación. A nivel internacional la construcción genera cerca de un 30% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y a nivel nacional, se puede estimar que el sector aporta cerca del 23% de las emisiones de dichos gases. Además, aproximadamente un 35% de los desechos sólidos proviene del área de la construcción (CChC, 2019).

Durante el año 2018 la construcción en Chile creció un 2,6% y con ello la superficie total para la edificación aumentó en un 29,1% (Construye2025, 2019). Estos datos implican que tanto los residuos como también el consumo energético que necesita una edificación, en un futuro tendrán un aumento, contribuyendo aún más a la contaminación.

2.2 Energía en las edificaciones

La energía es de vital importancia para poder realizar cualquier tipo de trabajo. En específico, las edificaciones deben ser abastecidas de electricidad para poder cumplir con sus funciones básicas como lo puede ser el iluminar un área, calefaccionar un ambiente, bombear agua, entre otros.

El consumo energético de un edificio va a depender del uso para el que se encuentre destinado. Para el caso de Chile, el sector público en particular consume un 5% de la energía (Ilustración 3). Por otro lado, los beneficios que se puedan obtener de este estudio también podrían ser útiles para poder

disminuir el consumo en el sector residencial, ya que representa el 70% del consumo energético en edificaciones (*Ministerio de energía, 2018*).

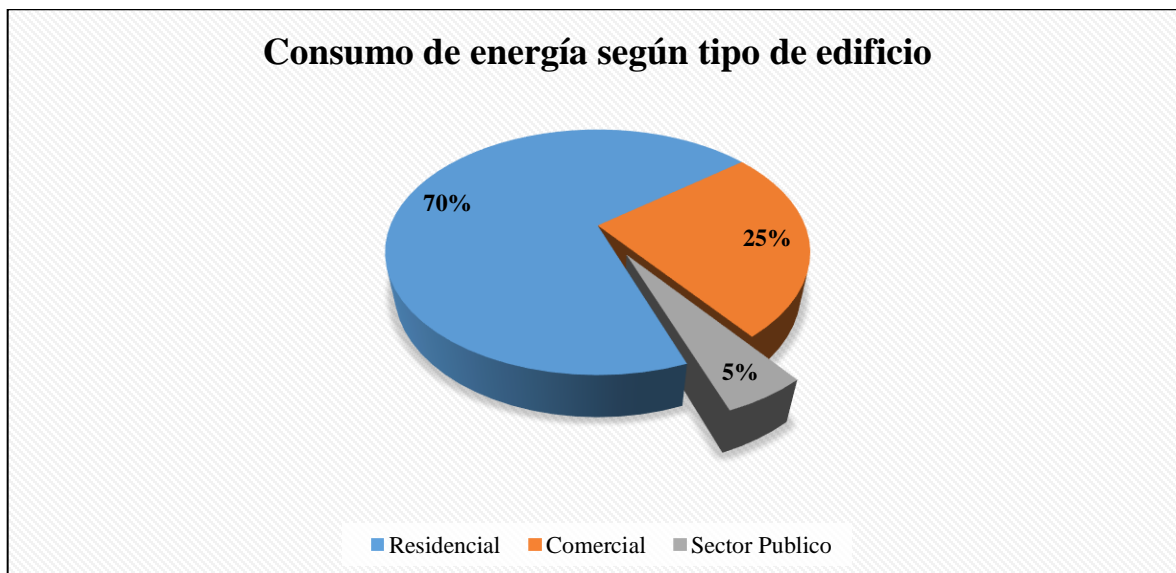


Ilustración 3 - Consumo de energía según tipo de edificación.

Fuente: Elaboración propia en base al Balance Nacional de Energía 2018. Minenergía.

Ahora bien, si se desglosa por tipo de energía, se puede observar que de la totalidad del consumo energético, un 33% corresponde a la electricidad (*Ilustración 4*), del cual más del 70% de los consumos de energía está destinado a usos térmicos como la calefacción, agua caliente y cocción de alimentos entre otros, y cerca de un 30% para usos eléctricos, por ejemplo, la iluminación, climatización y equipos eléctricos (*Ministerio de energía, 2018*).

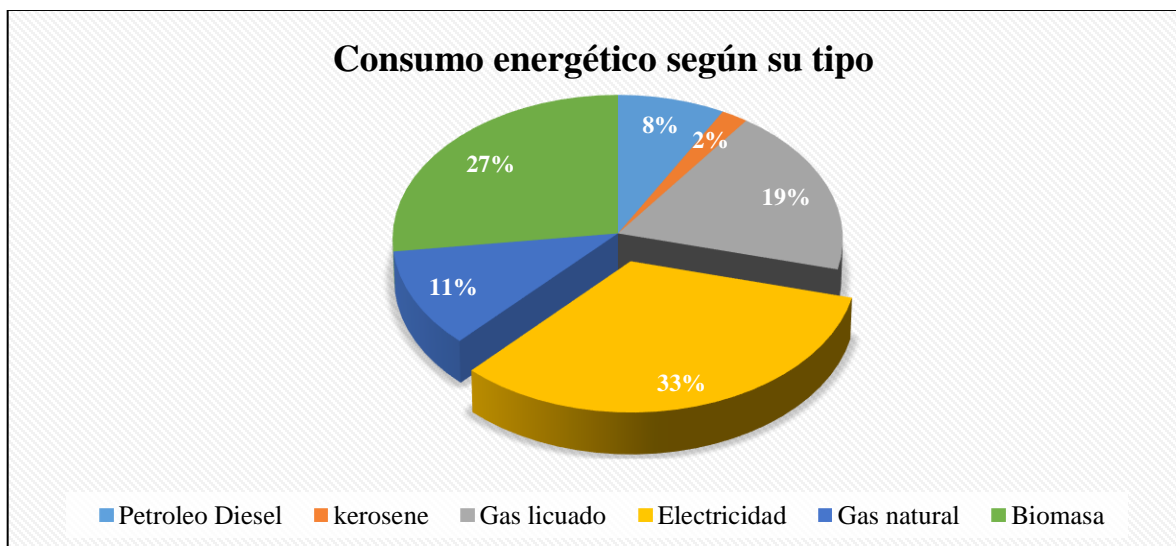


Ilustración 4 - Consumo energético en edificaciones según su fuente.

Fuente: Elaboración propia en base al Balance Nacional de energía 2018. Minenergía.

Los datos anteriores reflejan la importancia de la energía en el sector de la construcción, sin embargo, también es responsable de un 22% de las emisiones de CO₂ en Chile y un 39% a nivel mundial y, según el Ministerio de Energía, para el año 2050 se duplicará el stock de edificios construidos generando que el consumo de energía y emisiones de CO₂ del sector aumenten un 1% y 2% cada año respectivamente.

2.3 Construcción Sustentable

La contaminación que genera la producción de materiales y de energía, independiente de cuál sea el rubro al que va dirigido, es de alto impacto para el medio ambiente. Por otro lado, un posible sobreconsumo de energía generaría un impacto negativo en la sociedad, aumentaría la dependencia de los mercados, la contaminación intradomiciliaria, aumentan los costos de producción y con ello los gastos de las familias, entre otros efectos.

La sustentabilidad se entiende como un proceso que tiene por objetivo encontrar un equilibrio entre el impacto generado al medio ambiente y el uso de recursos naturales, para de esta manera lograr un uso eficiente y consciente de los recursos con tal de garantizar su existencia a generaciones futuras (RSS, 2022).

Por ende, la construcción sustentable debe entenderse como el desarrollo de la construcción tradicional, pero con una responsabilidad hacia el medio ambiente. Lo anterior implica un análisis de todas las etapas de la construcción, considerando las diferentes alternativas en el proceso de construcción, en favor de la minimización del agotamiento de los recursos, previniendo la degradación ambiental o los prejuicios, y proporcionar un ambiente saludable tanto en el interior de los edificios como en su entorno (Kibert, 1994).

2.4 Eficiencia energética

Enmarcado en el desarrollo de la construcción sustentable, la eficiencia energética también juega un papel fundamental. Ésta se puede entender como la optimización del recurso energético para alcanzar unos niveles de confort y servicio que cumplan con las necesidades reales sin generar pérdidas en los recursos (BBVA, 2022).

Un uso eficiente de la energía acarrea beneficios para la persona, la comunidad y el medio ambiente. Desde el punto de vista económico se produciría una reducción de los costos de producción y operación, y para efectos del medio ambiente, existiría un menor consumo de los recursos naturales y una disminución de los gases contaminantes, beneficios considerables dada la contingencia que se vive.

2.4.1 Desempeño energético

Otro concepto ligado a la construcción sustentable es el desempeño energético, el cual corresponde a un indicador para monitorear los cambios en el rendimiento energético para así lograr reducir las pérdidas.

Este concepto es fundamental para esta memoria, ya que permite caracterizar de manera certera el conjunto urbano y poder seleccionar una edificación.

A modo de ejemplo se presentan los siguientes indicadores para el desempeño energético que serán considerados en la presente memoria:

- Consumo energético / Superficie del edificio
- Consumo energético / Horas de trabajo

Este indicador va a variar según el parámetro y sector que se quiera analizar, como lo puede ser el sector comercial, residencial, de transporte, entre otros.

2.4.2 Factor forma

El factor forma es un tema clave para la eficiencia energética. Uno de los principales indicadores morfológicos predictores del consumo energético, ya que determina la relación con la radiación solar, lumínica, condiciones del viento, entre otros, todo vinculado al balance térmico, expresando el potencial de intercambio interior-exterior (*Vásquez et al, 2015*).

Ésta se presenta como la relación entre la superficie de la envolvente (piso, techos y paredes) con el volumen habitable contenido por estas superficies, con una unidad de medida de m^2/m^3 . El factor permite cuantificar la relación entre la forma de un edificio y su capacidad de intercambio con el exterior. A mayor superficie de la envolvente, mayor es el intercambio térmico con el ambiente exterior.

Por lo tanto, el factor forma, como se indica en estudios previos (*Vásquez et al, 2015*), es un concepto que se debe tener en cuenta, ya que se ha mostrado que el tamaño de los edificios no explica el consumo energético, por ende, las características morfológicas de los edificios podrían jugar un rol fundamental para el desempeño y eficiencia energética.

2.5 Envolvente

La envolvente es un elemento arquitectónico que permite la interacción entre el exterior y el interior, en otras palabras, es la “piel” del edificio que separa el interior del exterior, generando una mediación

y buscando ser confortable para los ocupantes. Este es un parámetro importante dado que dependiendo de la envolvente del edificio puede variar el consumo energético el cual es uno de los indicadores a considerar.

Un edificio con una buena envolvente, además de tener un mejor consumo energético al reducir la demanda en términos de calefacción y/o refrigeración, evita pérdidas de calor por conducción y por infiltración, tendrá un menor riesgo de ocurrencia de condensación y da una mayor durabilidad para la estructura (MDPEEP, 2012).

La envolvente se compone por elementos de cubiertas, fachadas, pisos y cerramientos en contacto con el terreno, los cuales serán descritos a continuación.







Cubiertas		
	Cubiertas en contacto con el aire	Cubiertas en contacto con espacio no habitables
Fachadas		
	Muros envolventes	Vanos
Pisos		
	Pisos en contacto con el terreno	Pisos en contacto con el aire

Ilustración 5 - Componentes de la envolvente

Fuente: Manual de diseño pasivo y eficiencia energética de edificios públicos

2.5.1 Muros

Los muros de la envolvente son aquellos cerramientos exteriores en contacto con el aire cuya inclinación es superior a los 60° respecto de la horizontal, cumpliendo el rol de confinar la envolvente térmica del edificio por lo que deben alcanzar un buen estándar de aislación (MDPEEP, 2012). Los valores recomendados para la transmitancia térmica (U) y la resistencia térmica (R100: Resistencia térmica multiplicado por 100) según la zona climática son los que se muestran en la *Tabla 1*.

	ZONA CLIMÁTICA								
	1 NL	2 ND	3 NVT	4 CL	5 CI	6 SL	7 SI	8 SE	9 AN
Valor U Muros [W/m ² K]	2	0.5	0.8	0.8	0.6	0.6	0.5	0.3	0.3
R100 Muros [m ² K/W*100]	33	183	108	108	150	150	183	233	316

Tabla 1 - Transmitancia térmica y R100 para muros
Fuente: Manual de diseño pasivo y eficiencia energética de edificios públicos

2.5.2 Cubiertas

Las cubiertas son los cerramientos superiores en contacto con la envolvente cuya inclinación es igual o inferior a los 60° con respecto a la horizontal y al igual que todo elemento de la envolvente su aislación térmica es de vital importancia (MDPEEP, 2012).

Los valores recomendados según la zona climática son los que se muestran en la Tabla 2.

	ZONA CLIMÁTICA								
	1 NL	2 ND	3 NVT	4 CL	5 CI	6 SL	7 SI	8 SE	9 AN
Valor U [W/m ² K]	0.8	0.8	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.25	0.25
R100 [m ² K/W*100]	111	111	153	153	236	236	319	386	386

Tabla 2 - Transmitancia térmica y R100 para cubiertas
Fuente: Manual de diseño pasivo y eficiencia energética de edificios públicos

2.5.3 Pisos

Los pisos son aquellos cerramientos inferiores horizontales en contacto con el aire, terreno o un espacio no habitable.

- Complejo de pisos ventilados:

El complejo es el conjunto de elementos que lo conforman y que se encuentran en contacto con el exterior y no directamente con el terreno, sucede cuando un espacio se encuentra sobre

un estacionamiento o sobre espacios no calefaccionados generalmente no habitables lo que genera un flujo de calor, de las zonas calefaccionadas a las zonas frías (MDPEEP, 2012).

Los valores recomendados para los pisos ventilados según la zona climática son los que se muestran en la Tabla 3.

	ZONA CLIMÁTICA								
	1 NL	2 ND	3 NVT	4 CL	5 CI	6 SL	7 SI	8 SE	9 AN
Valor U [W/m ² K]	3	0.7	1.2	1.2	0.8	0.8	0.7	0.5	0.4
R100 [m ² K/W*100]	11	121	61	61	103	103	121	178	228

Tabla 3 - Transmitancia térmica y R100 para pisos ventilados
Fuente: Manual de diseño pasivo y eficiencia energética de edificios públicos

- Piso en contacto con el terreno:
 Son los pisos que se encuentran en contacto con el exterior, directamente con el terreno, y sus valores recomendados son lo que se muestran en la Tabla 4.

	ZONA CLIMÁTICA								
	1 NL	2 ND	3 NVT	4 CL	5 CI	6 SL	7 SI	8 SE	9 AN
Valor U [W/m ² K]	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.3

Tabla 4 - Transmitancia térmica para pisos en contacto con el terreno
Fuente: Manual de diseño pasivo y eficiencia energética d

2.5.4 Puentes térmicos

Los puentes térmicos son zonas concretas de la envolvente las cuales tienen una drástica variación de la resistencia térmica, dado por un cambio en la geometría; un cambio en los materiales o por un cambio en el espesor del revestimiento (MDPEEP, 2012).

Los puentes térmicos se clasifican en:

- Puentes térmicos puntuales: Se presentan en zonas de intersección, formando un vértice de la envolvente.

- Puentes térmicos lineales: Estas se presentan a lo largo de una determinada sección, como lo puede ser la intersección de dos cerramientos verticales formando una esquina al exterior.
- Puentes térmicos por geometría: Se ubican en aquellas zonas donde hay un cambio de dirección en la envolvente sin tener cambios de la materialidad.
- Puentes térmicos constructivos: Se presentan en aquellas zonas donde se encuentran materiales con diferentes resistencias térmicas, no necesariamente teniendo un cambio en la dirección.

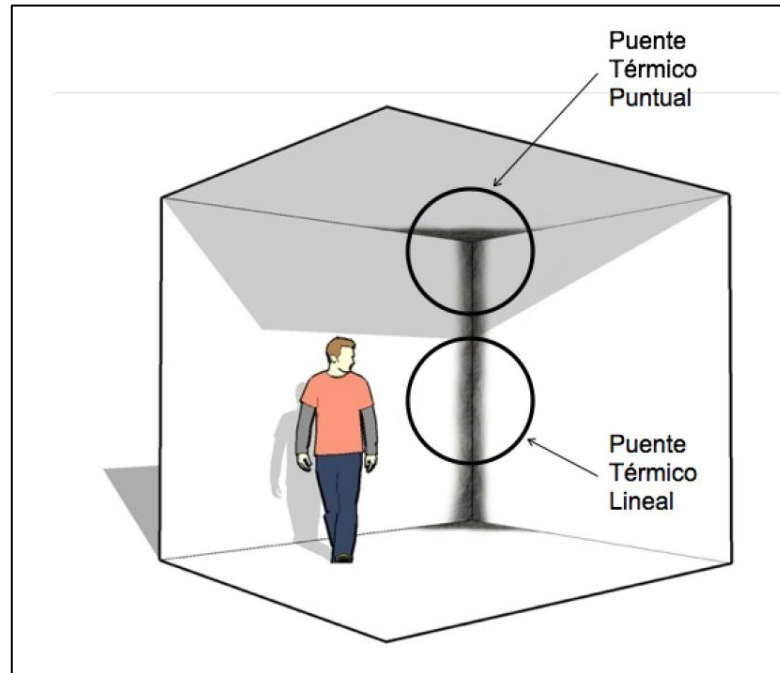


Ilustración 6 – Ejemplo de puentes térmicos lineales y puntuales
Fuente: Manual de diseño pasivo y eficiencia energética de edificios públicos

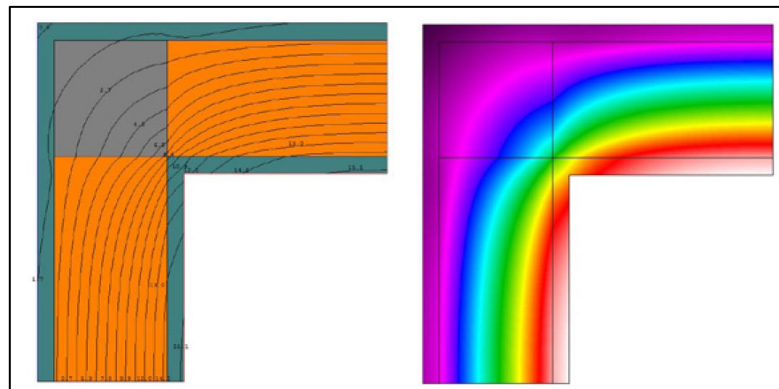


Ilustración 7 – Ejemplo de puente térmico por geometría – Muro perimetral
Fuente: Manual de diseño pasivo y eficiencia energética de edificios públicos

2.5.5 Ventanas

Las ventanas conforman parte de la envolvente siendo la cual permite el ingreso de luz natural hacia el interior del edificio contribuyendo en gran medida a conseguir estructuras energéticamente eficientes, seguras y confortables. La ventana además de permitir el ingreso de luz permite el intercambio de aire, contaminantes, ruidos, etc., puntos que se deben saber controlar, evitar o aprovechar (MDPEEP, 2012).

Los valores recomendados de la transmitancia térmica se muestran a continuación en la Tabla 5.

	ZONA CLIMÁTICA								
	1 NL	2 ND	3 NVT	4 CL	5 CI	6 SL	7 SI	8 SE	9 AN
Valor U [W/m²K]	5.8	3	3	3	3	3	3	2.4	2.4

*Tabla 5 - Transmitancia térmica máxima recomendada para ventanas
Fuente: Manual de diseño pasivo y eficiencia energética de edificios públicos*

2.6 Parámetros de luminosidad

Esta sección es importante para el desarrollo de esta memoria, ya que con los parámetros de luminosidad puede cuantificarse la cantidad de luz que recibe la edificación junto con el efecto de las sombras ambientales.

La iluminación permite un bienestar y un correcto rendimiento del trabajo de las personas; una iluminación inadecuada puede traer problemas para la salud, como cansancio, fatiga ocular, dolor de cabeza, entre otros; por otro lado, un ambiente bien iluminado mejora el grado de seguridad y el confort que se tiene de él (Outside Tech Light, 2022). A continuación, se describen los parámetros de luminosidad considerados para esta memoria.

2.6.1 Sombras ambientales

Las sombras ambientales se definen como aquellas sombras producidas sobre una edificación por parte del medio ambiente que lo rodea incluyendo árboles, construcciones colindantes, letreros, entre otros.

Las sombras ambientales pueden provocar un efecto negativo en el aprovechamiento de la radiación solar durante los meses de invierno, pero asimismo pueden proveer un efecto positivo de disminución de la radiación solar durante los meses de verano. La incidencia de la luz solar condiciona la calidad

y el bienestar que se tenga al interior de la edificación, pudiendo reducir el consumo eléctrico requerido para la calefacción y refrigeración.

La proyección de las sombras ambientales juega un papel fundamental en el estudio, ya que es la razón principal que se busca cuantificar para explicar potencialmente la variación en el consumo energético de los edificios públicos a estudiar.

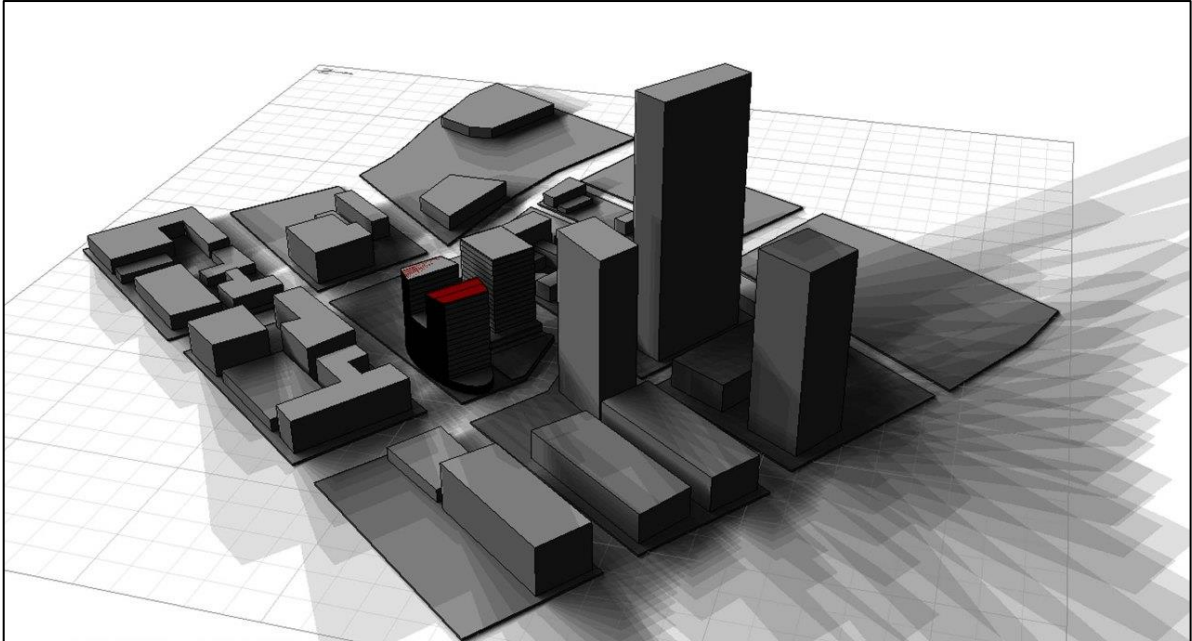


Ilustración 8 - Sombras ambientales - Análisis de sombras
Fuente: cursosrevitbogota.wordpress.com

2.6.2 Radiación e iluminación

La radiación afecta notablemente el consumo energético que tenga la estructura. Como se dijo anteriormente la incidencia de la luz solar es fundamental para un buen uso energético, si la estructura recibe una mayor radiación solar, tendrá luz natural por mayor tiempo evitando el uso de la luz artificial.

Por otro lado, mejorará el confort térmico, evitando un gasto excesivo en calefacción, además, existen beneficios para la salud. Sin embargo, el exceso de radiación es perjudicial para el ambiente interior, ya que se puede sobrecalentar, aumentando los costos de refrigeración particularmente en los meses de verano.

La radiación se entiende como la energía emitida por el sol propagada en todas las direcciones y en forma de ondas electromagnéticas. Esta es la energía que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima (*Ideam, 2022*), la cual tiene distintas magnitudes relativas:

- Radiación solar: Es la energía emitida por el sol.
- Radiación solar extraterrestre: Es la radiación solar que incide en el límite de la atmósfera.
- Radiación de onda corta: Es la parte de la radiación solar extraterrestre que se dispersa y/o es absorbida por la atmósfera, la cual se halla comprendida en un intervalo de 0,25 a 4,0 μm .
- Radiación solar directa: Es la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra sin cambios de dirección.
- Radiación solar difusa: Es la cantidad de energía solar que incide sobre una superficie horizontal.
- Radiación solar reflejada: Radiación solar dirigida hacia arriba luego de haber sido reflejada.
- Radiación terrestre: Es la energía electromagnética de onda larga emitida por la superficie terrestre.
- Radiación solar global: Es la cantidad de energía solar que incide sobre la superficie, la suma entre la radiación solar directa y difusa en Wh/m^2 durante un intervalo de tiempo, por lo general desde las 06:00 hasta las 18:00 hrs., y sus valores oscilan entre 300 a 9800 Wh/m^2 . Esta será la magnitud que se utilizará para realizar el análisis de la radiación.

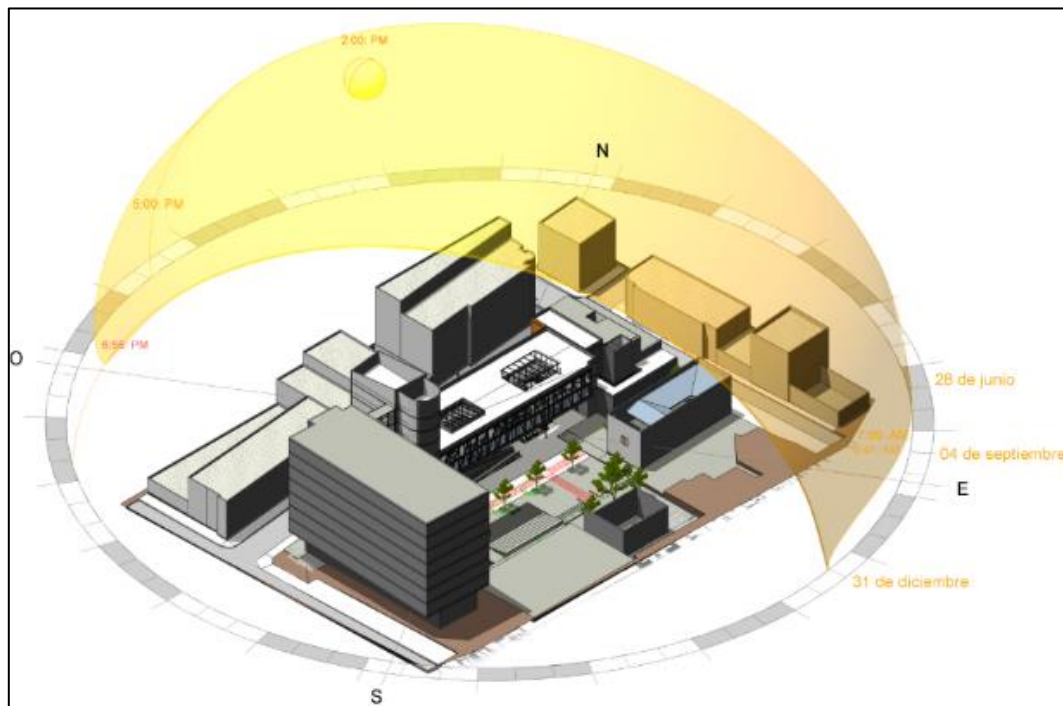


Ilustración 9 - Recorrido solar
Fuente: cursosrevitbogota.wordpress.com

2.6.3 Luminosidad

El flujo luminoso (Lumen) describe la cantidad de luz emitido, es una relación entre el flujo luminoso y la potencia eléctrica consumida. La iluminancia o más conocida como Lux es la cantidad de luz que se proyecta sobre una superficie, es igual a un lumen por metro cuadrado, descripción que se ve reflejada en la ilustración 10.

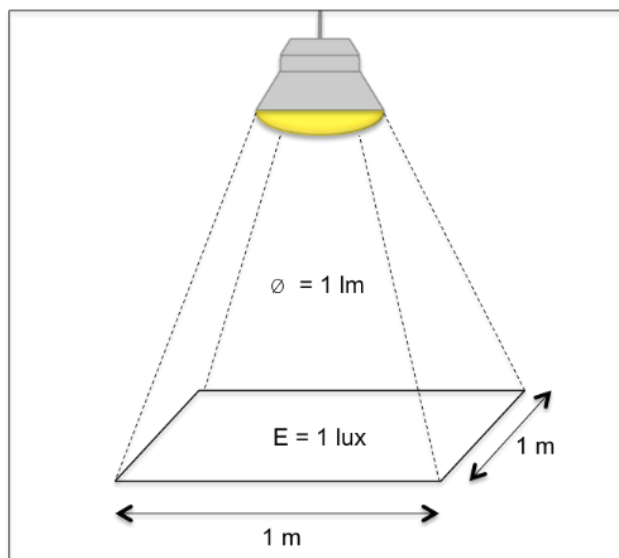


Ilustración 10 - Lumen (lm) y Lux (lx)
Fuente: grlum.dpe.upc.edu

Dicho esto, se especificarán algunos niveles de iluminación recomendables para tener en consideración respecto de los edificios públicos.

Sector comercial	
Ítem	Lux
Alumbrado general	300 a 600
Escaparate interior	1000 a 3000
Escaparate exterior	1000
Vitrinas	1000 a 3000
Mostradores	500 a 900
Estantes	200 a 400

Tabla 6 - Niveles de iluminación
Fuente: Elaboración propia en base a OutsideTechLight

Centros docentes	
Ítem	Lux
Alumbrado general	300 a 1000
Gimnasios	250 a 500
Laboratorios	250 a 1000
Pizarras	300 a 700
Salas de conferencias	200 a 1000
Zonas de paseo	150 a 700
Vestuarios	50 a 300
Bibliotecas	300 a 750

Tabla 7 - Niveles de iluminación
Fuente: Elaboración propia en base a OutsideTechLight

Oficinas con iluminación LED	
Ítem	Lux
Mesas de trabajo	400 a 700
Mesas de dibujo	600 a 1500
Salas de reuniones	200 a 350
Salas de reuniones (sobre la mesa)	400 a 700
Archivos	100 a 400
Zonas de paseo	150 a 500

Tabla 8 - Niveles de iluminación
Fuente: Elaboración propia en base a OutsideTechLight

2.7 Herramientas computacionales

Para poder desarrollar este estudio y analizar los datos será necesario el uso de softwares como lo es Blender, en el cual se modelará el conjunto de edificios seleccionados, el que debe ser lo más representativo para así poder usarlo como un parámetro de cálculo y posible estimación.

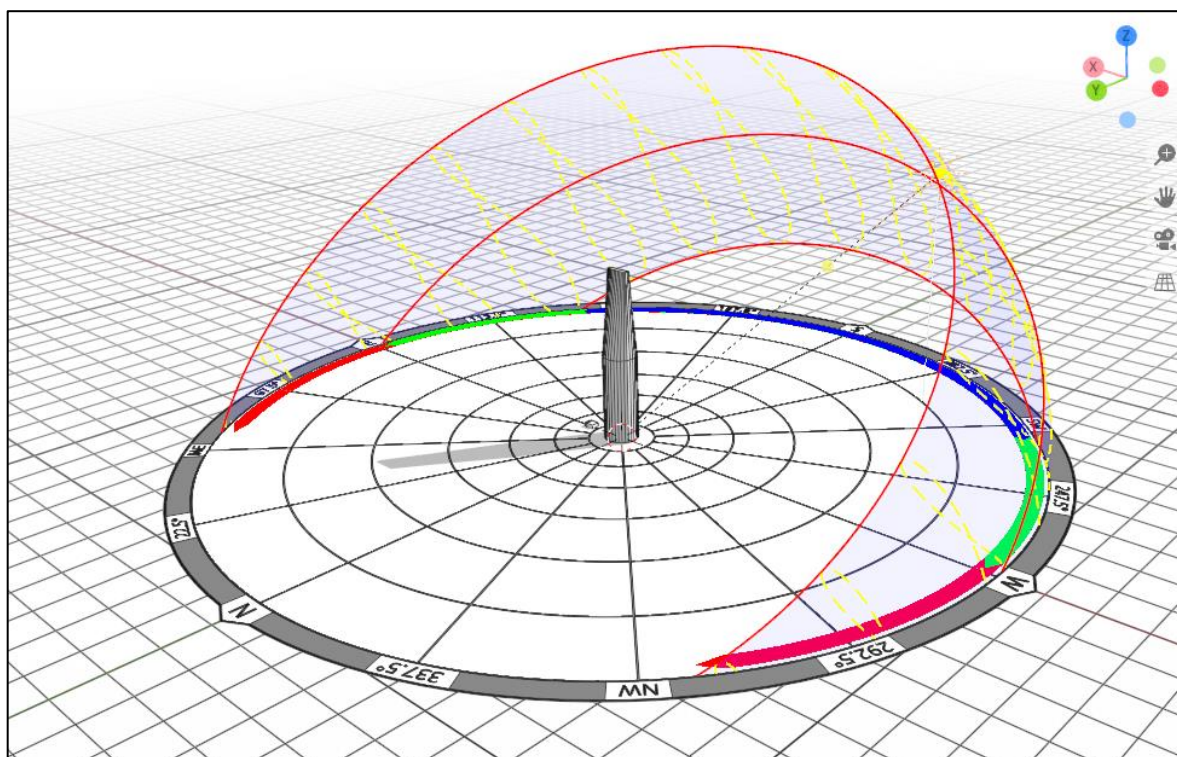
Se decidió seleccionar un área determinada dado que analizar edificio por edificio requiere de un consumo computacional demasiado elevado, además de un gasto excesivo de tiempo. Por esta razón se hace indispensable conocer el efecto que tienen las sombras sobre la envolvente, ya que el consumo energético puede variar por diversos factores, uno de estos es la iluminación ambiental, de esta forma se podrán extraer conjuntos característicos y poder replicarlos en otras ciudades.

2.7.1 Blender

Blender es un programa informático multiplataforma de código abierto, dedicado especialmente al modelado, iluminación, renderizado, simulación y animación entre otros, idóneo para realizar los análisis que busca este estudio (Blender Online Community, 2018).

2.7.2 VI-Suite

VI-Suite es un complemento de Blender el cual proporciona un conjunto de herramientas para el análisis de factores ambientales dentro y alrededor de los edificios, importa mapas de altura, análisis de la trayectoria del sol, factores de vista del cielo y sombras, predicciones de la iluminación y el rendimiento energético entre muchas otras. VI-Suite trabaja con 3 componentes principales que ayudan en el pre y postproceso para el análisis. LiVi, el cual procesa y simula la iluminación y radiación, EnVi es un motor de simulación térmica y, finalmente FloVi el cual crea las interacciones (Southall y Biljecki, 2017).

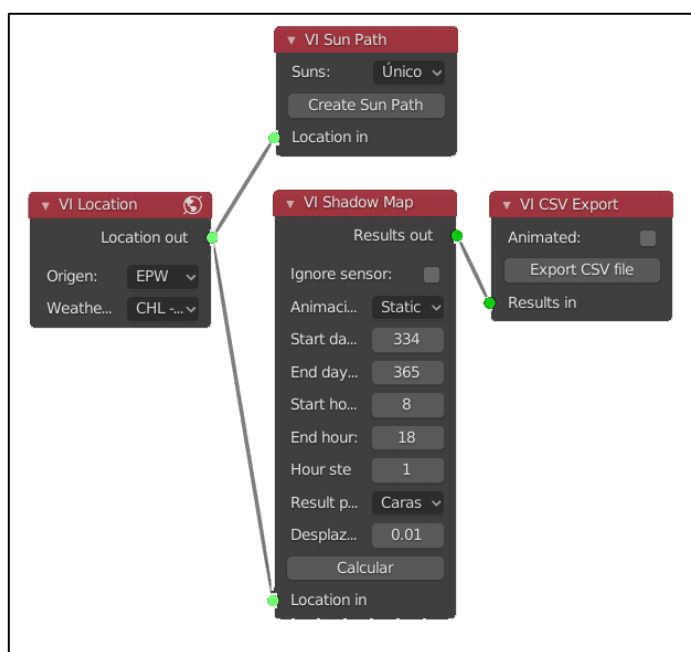


*Ilustración 11 - Ejemplo de la proyección del sol
Fuente: Simulaciones y visualizaciones con VI-Suite*

2.7.3 Mapeo de Sombras

Blender con su complemento VI-Suite es capaz de realizar un análisis de sombras lo que es fundamental para el estudio, y para esto se requiere de la ubicación de los edificios, proporcionando coordenadas de latitud y longitud.

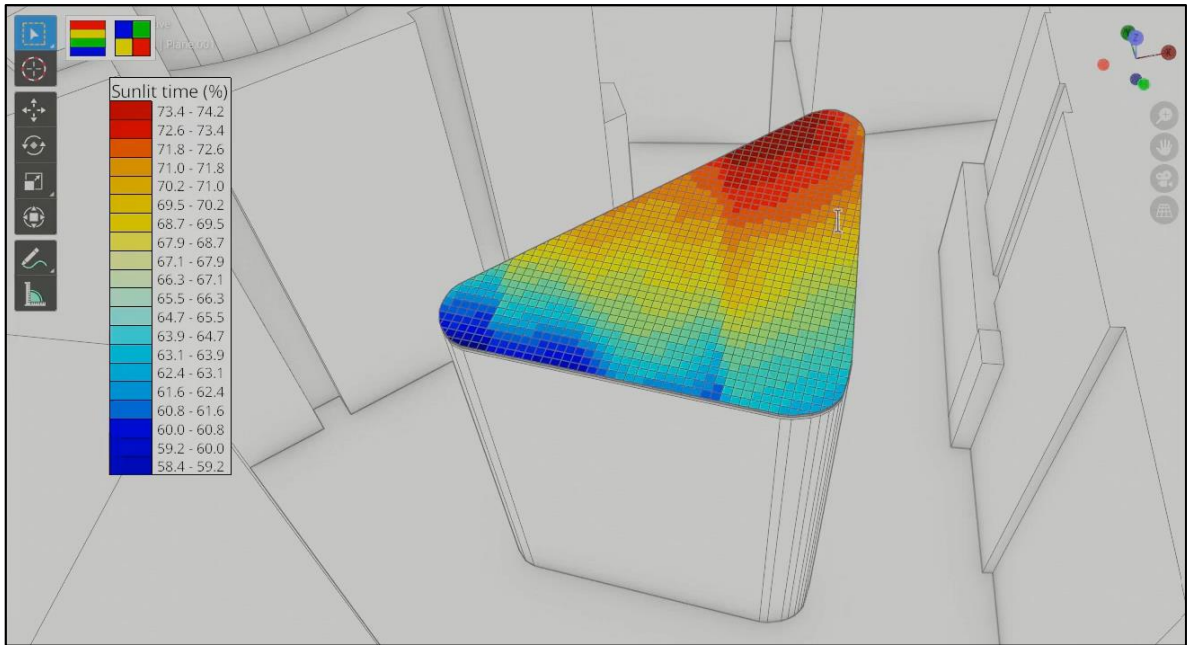
Además, en los nodos se puede establecer el día de inicio y la hora, inicio del mes y termino en conjunto con los intervalos de la simulación, de esta forma se pueden tener resultados más específicos de ciertos periodos de tiempo que se requieran analizar. Se pueden obtener resultados de horas específicas, como las horas laborales o de estaciones, como los son el verano e invierno ya que presentan variaciones en el consumo energético.



*Ilustración 12 - Nodos para el mapeo de sombras
Fuente: Elaboración propia*

2.7.4 Geometría

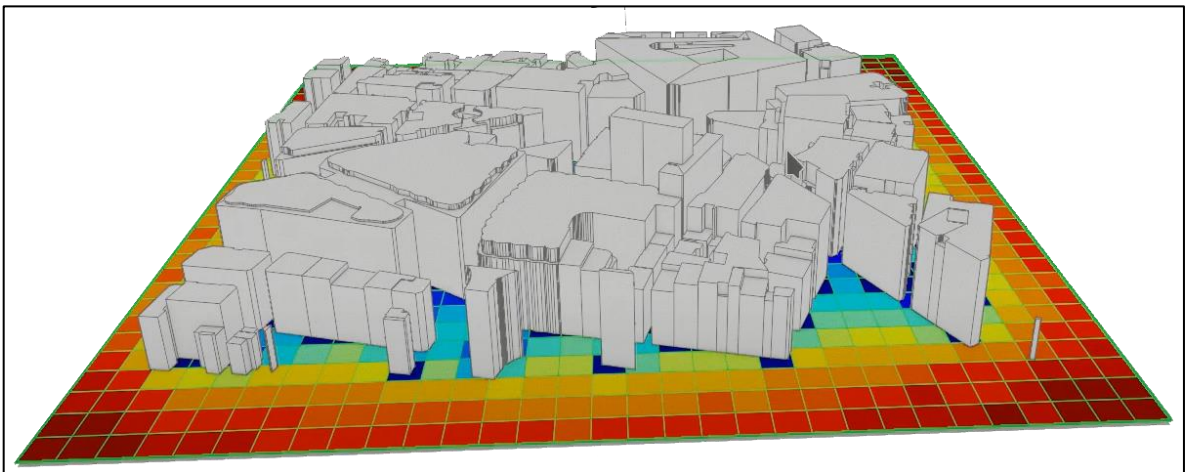
La geometría de la estructura como también la envolvente prestan importancia a la hora de analizar la iluminación, ya que dependiendo de ésta puede proyectar sombras generando que reciba una mayor o menor cantidad de luz natural al interior, es por esto, que el modelado del edificio debe ser lo más fiel y representativo a la estructura original, ya que Blender utilizara las “caras” de los edificios para ver la radiación que es recibida.



*Ilustración 13 – Factor de vista del cielo - Tiempo de iluminación del sol
Fuente: VI-SuiteV0.6 – Ryan Southall*

2.7.5 Área de estudio

Es necesario conocer el área alrededor del edificio, es por esto, que se estableció como parámetro un área de análisis de 10.000 m². De esta manera se conocerán todas las sombras ambientales que son proyectadas y afectan a la estructura, como por ejemplo las sombras de una casa cercana, una construcción en altura o un árbol adyacente, ya que con el transcurso del tiempo el recorrido del sol varia mostrando una menor o mayor altura, por lo que las sombras son variables.



*Ilustración 14 - Área de análisis
Fuente: VI-SuiteV0.6 – Ryan Southall*

2.8 Certificaciones sustentables

En este apartado se nombrarán las certificaciones y/o normativas que rigen la sustentabilidad de manera nacional e internacional dado que está en el área de aplicación de la presente memoria. Las normativas y certificaciones especifican criterios de diseño mínimo para obtener una correcta ejecución de la sustentabilidad y eficiencia en el campo de la construcción.

2.8.1 Certificación de Edificio Sustentable (CES)

La certificación de edificio sustentable es una certificación nacional con el objetivo de evaluar, calificar y certificar el grado de sustentabilidad ambiental del edificio, lo que se entiende como la capacidad de un edificio de lograr niveles adecuados de calidad ambiental interior, con un uso eficiente de recursos y baja generación de residuos y emisiones.

Este sistema de certificación podrá ser aplicado a edificios de uso público, destinados a la educación, salud, seguridad, sociales, entre otros, orientadas a edificaciones con superficies construidas desde 5.000 m² en adelante, sin restricciones.

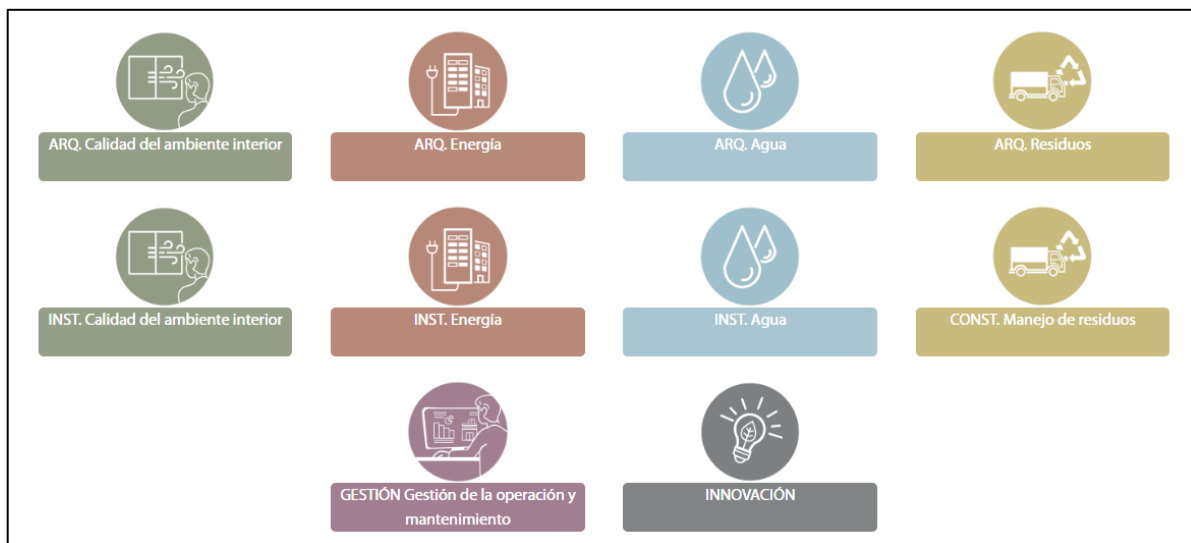


Ilustración 15 - Categorías de certificación

Fuente: Certificacionsustentable.cl

CES se basa en el cumplimiento de un conjunto de variables, requerimientos obligatorios y opcionales que entregan puntaje. Para poder optar a la certificación se debe cumplir con los requerimientos obligatorios y tener un mínimo de 30 puntos.

Contempla tres variables presentadas *grosso modo* con requerimientos obligatorios y voluntarios:

- Pre-certificado “Edificio sustentable”: Evalúa la arquitectura e instalaciones del edificio. Se establece principalmente como una instancia de evaluación de la etapa de diseño que permite introducir mejoras a su arquitectura e instalaciones, incluido posibles modificaciones durante la etapa de construcción.
- Certificado “Edificio sustentable”: Evalúa la arquitectura, instalaciones y construcción del edificio. Se obtiene una vez que se ha efectuado la recepción municipal, de manera de efectuarse sobre el edificio construido definitivamente y en condiciones de ser ocupado.
- Sello “Plus operación”: Evalúa la gestión durante la operación del edificio. Es una certificación adicional y opcional, que tiene por objetivo promover la mantención en el tiempo con las cuales fue certificado el edificio, como también promover y facilitar el mejoramiento continuo de la gestión de dichas condiciones.

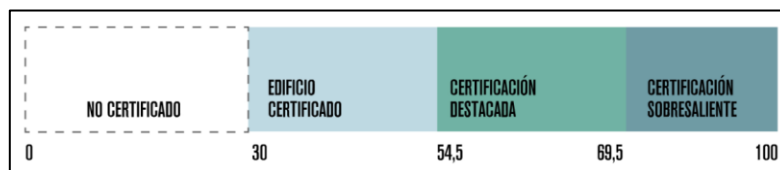


Ilustración 16 - Niveles de certificación

Fuente: Certifiacionsustentable.cl

En las ilustraciones presentadas a continuación se muestran las variables, sus requerimientos obligatorios y voluntarios junto con sus puntajes, en función de la zona climática y el destino del edificio.



Tabla 1: Variables y requerimientos.								
Variable	Requisitos Obligatorios 	Requerimientos Voluntarios con puntaje 	Puntaje (máx. 100)					
			NL-NVT-ND-CI-CL		SI-SI-SE-An			
			Oficinas y servicios	Educación y salud	Oficinas y servicios	Educación y salud		
ARQ. Calidad del Ambiente Interior	ARQ.CAI 1 Confort térmico - pasivo	- Ver 5R	1.1	% de tiempo que la T° se encuentra dentro del rango de confort de manera pasiva.	16	10	16	10
	ARQ.CAI 2 Confort visual - pasivo	2R Factor Luz Día o Iluminancia útil mínimos.	2.1	Aporte luz natural, en Factor Luz Día (FLD), Iluminancia Útil o Autonomía de Iluminación (SDA).	5,0	6,5	5,0	6,5
				Control de Deslumbramiento (DGP)	1,0	1,0	1,0	1,0
			2.2	Acceso visual al exterior	1,0	1,5	1,0	1,5
	ARQ.CAI 3 Calidad del aire - pasivo	3R Superficie mínima de ventana o caudal mínimo de aire.	3.1	Cobertura de las tasas de renovación por ventilación natural	6,0	7,5	6,0	7,5
			3.2	Concentración máxima de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)	2,5	3,0	2,5	3,0
	ARQ.CAI 4 Confort acústico	4R Aislación acústica mínima de fachadas exteriores	4.1	Aislamiento acústico de fachada	2,0	3,0	2,0	3,0
				Aislamiento acústico al ruido aéreo entre dos recintos	1,0	2,0	1,0	2,0
			4.2	Acondicionamiento acústico - tiempo de reverberación	1,5	1,5	1,5	1,5
				Acondicionamiento acústico - inteligibilidad de la palabra (STI)	0,5	0,5	0,5	0,5
ARQ. Energía	ARQ. Energía 5 Demanda de energía	5R Transmitancia térmica de la envolvente y Factor Solar Modificado	5.	<i>Opción 1.</i> Evaluación prestacional: disminución de la demanda de energía para calefacción, enfriamiento e iluminación.	18	18	18	18
				<i>Opción 2.</i> Evaluación prescriptiva – Transmitancia térmica y factor solar modificado (FSM)*	10	10	10	10
	ARQ. Energía 6 Hermeticidad de la envolvente	6R Sellos exteriores para carpintería y paso de instalaciones	6.	Infiltraciones por la envolvente y permeabilidad al aire de carpinterías de ventana.	3,0	3,0	3,0	3,0
	ARQ. Energía 7 Energía incorporada	- N/A	7.	Porcentaje de los materiales estructurales del edificio en que se declara la información de energía incorporada.	4,0	4,0	4,0	4,0

Ilustración 17 - Variables y requerimientos (1)
Fuente: Manual de evaluación y calificación CES



Tabla 1: Variables y requerimientos.								
Variable	Requisitos Obligatorios 	Requerimientos Voluntarios con puntaje 	Puntaje (máx. 100)					
			NL-NVT-ND-CI-CL		SL-SI-SE-An			
			Oficinas y servicios	Educación y salud	Oficinas y servicios	Educación y salud		
ARQ. Agua	8 ARQ. Agua Paisajismo	8R Reducir en un 20% la evapotranspiración	8.	Disminución de la evapotranspiración del proyecto de paisajismo	2,0	2,0	1,0	1,0
	9 ARQ. Agua Agua incorporada	- N/A	9.	Porcentaje de los materiales estructurales del edificio en que se declara la información de agua incorporada.	1,0	1,0	1,0	1,0
ARQ. Residuos	10 ARQ. Residuos Manejo de residuos	- N/A	10.	Incorporar equipamiento y elementos que permitan la separación de los residuos durante la operación del edificio	1,0	1,5	1,0	1,5
INST. Calidad del Ambiente Interior	11 INST. CAI Calidad del aire - activo	11R1 Tasas mínimas de ventilación	11.1	Ventilación Mecánica - Caudal de diseño	3,0	3,0	6,0	6,0
		11R2 Eficiencia mínima de filtraje.	11.2	Ventilación Mecánica - Filtraje	1,0	1,0	2,0	2,0
		11R3 No utilizar sistemas de calefacción de combustión en base a llama abierta	11.3	Monitoreo de la calidad del aire	1,0	1,0	1,0	1,0
	12 INST. CAI Ruido equipos	- N/A	12.	Control del ruido proveniente de equipos	1,0	0,5	1,0	0,5
	13 INST. CAI Confort visual - activo	13R Condiciones de diseño mínimas	13.	<ul style="list-style-type: none"> Índice de Deslumbramiento UGR ≤ 19 ó 22 Rendimiento cromático (IRC) > 80 Uniformidad media ≥ 0.5 En un 100% de los recintos regularmente ocupados	1,0	1,0	2,0	2,0
14 INST. CAI Confort térmico - activo	14R Definir condiciones de diseño de climatización	14.	Controlabilidad de la climatización	2,0	2,0	2,0	2,0	
INST. Energía	15 INST. Energía Iluminación artificial	- N/A	15.1	Potencia instalada, en w/m^2	3,0**	3,0**	3,0**	3,0**
		- N/A	15.2	Sistemas de control	2,0**	2,0**	2,0**	2,0**
	16 INST. Energía Climatización y ACS	16R Aislación térmica en distribución de calor y frío	16.1	Relación de la potencia requerida e instalada	2,0**	2,0**	2,0**	2,0**
		Ver también 14R	16.2	Rendimiento nominal de equipos de climatización y ACS	8,0**	8,0**	8,0**	8,0**

Ilustración 18 - Variables y requerimientos (2)
Fuente: Manual de evaluación y calificación CES



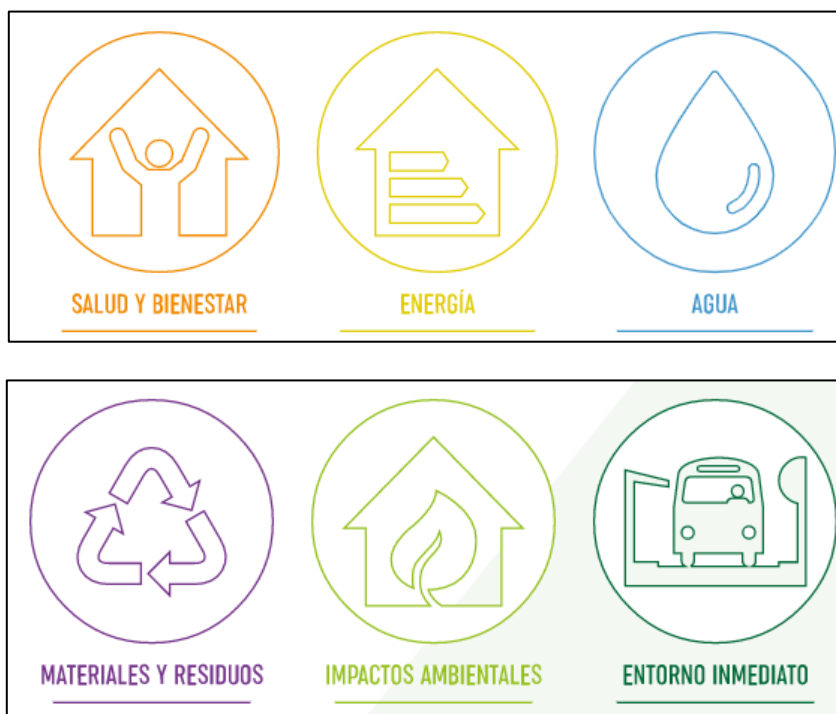
Tabla 1: Variables y requerimientos.									
Variable	Requerimientos Obligatorios 		Requerimientos Voluntarios con puntaje 		Puntaje (máx. 100)				
					NL-NVT-ND-CI-CL		SL-SI-SE-An		
					Oficinas y servicios	Educación y salud	Oficinas y servicios	Educación y salud	
INST. Energía	17 INST.Energía Otros consumos	-	N/A	17	Reducción de la potencia de equipos y artefactos	1,0 **	1,0**	1,0**	1,0**
	18 INST.Energía ERNC	-	N/A	18	Cobertura del consumo de energía mediante ERNC o procesos de cogeneración de alta eficiencia.	2,0 **	2,0**	2,0**	2,0**
INST. Agua	19 INST. Agua Sistemas de Agua Potable	19R	Reducir en un 20% el consumo de agua potable.	19.1	Reducción del consumo de agua potable, en m3 año	6,0	6,0	2,5	2,5
				19.2	Reducción de la dureza del agua	0,5	0,5	0,5	0,5
	20 INST. Agua Riego	20R	Reducir en un 20% el consumo de agua para riego	20.	Eficiencia hídrica del sistema de riego	1,0	1,0	0,5	0,5
CONST.	21 CONST. Manejo de Residuos	21R	"Medidas de control y mitigación" durante la construcción	21.	Separación, control y reciclaje de residuos generados durante la construcción	1 Este puntaje es adicional al total del 100.			
GESTION	22 GESTION Diseño Integrado de Anteproyecto	-	N/A	22.	Generar las condiciones y desarrollar un proceso de diseño integrado	4 Este puntaje es adicional al total del 100.			
	23 GESTION Gestión de la Operación y mantenimiento	-	N/A	23.	<ul style="list-style-type: none"> • Obtención Sello • Plan anual de gestión, mantención y reposición de los sistemas del edificio. • Compromiso de registro y entrega de información de consumos mensuales de energía, agua, mantenciones y reposiciones. • Compromiso de realizar encuestas de satisfacción a los usuarios del edificio. • Revisión anual Entregar informe de auto-diagnóstico para revisión. Al tercer año se renueva el sello.	"SELLO PLUS OPERACIÓN"			

Ilustración 19 - Variables y requerimientos (3)
Fuente: Manual de evaluación y calificación CES

2.8.2 Certificación de Vivienda Sustentable (CVS)

Este es un sistema voluntario de certificación ambiental que evalúa la implementación de buenas prácticas de diseño y construcción, valorando diferentes aspectos del desempeño ambiental, económico y social. La CVS evalúa dicho desempeño en 6 categorías:

- **Salud y Bienestar:** Promueve ambientes interiores confortables que contribuyen a la buena salud y el bienestar físico y psicológico de sus ocupantes.
- **Energía:** Promueve la eficiencia energética en temas como la calefacción, enfriamiento, iluminación artificial y uso de las energías renovables.
- **Agua:** promueve el abastecimiento, calidad, consumo y reutilización del agua de manera responsable, de acuerdo con la realidad hídrica de la zona.
- **Materiales y residuos:** Promueve el uso eficiente de materiales de construcción con atributos sustentables, junto con la gestión de residuos durante la construcción y operación.
- **Impactos ambientales:** Promueve la minimización de impactos producidos por la construcción hacia la atmosfera, el suelo y los ecosistemas.
- **Entorno inmediato:** Promueve proyectos residenciales con buena conectividad al transporte y servicios, además de un diseño respetuoso con el entorno y la integración cultural.



*Ilustración 20 - Categorías del desempeño sustentable.
Fuente: cvschile.cl*

CVS se aplica indistintamente en viviendas nuevas las cuales cumplan con las siguientes características:

- Viviendas sociales y privadas.
- Pareadas, aisladas o continuas.
- Pertenecientes a condominio o edificios de altura.
- Emplazadas en sitios rurales o urbanos.
- Cualquier región de Chile.

Las viviendas certificadas tienen un estándar de sustentabilidad superior al promedio lo que significa una mejora en la calidad de vida de las personas, una reducción en los costos y un menor impacto ambiental. Son construcciones de alto desempeño ambiental y energético, destacando en los siguientes puntos (CVS, 2021):

- Calidad del aire.
- Temperatura confortable.
- Iluminación natural.
- Sistemas de climatización eficientes.
- Sellos contra infiltraciones.
- Artefactos sanitarios eficientes.
- Sistemas de riego.
- Relación con el medio ambiente.
- Uso eficiente de los materiales
- Manejo de los residuos generados por la construcción.
- Manejo de los residuos generados por los usuarios.
- Conectividad con transporte y servicios, entre muchos otros.

2.8.3 Calificación Energética de Viviendas (CEV)

La Calificación Energética de Viviendas en Chile es un instrumento creado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, en conjunto con el Ministerio de Energía, el cual se aplica voluntariamente para calificar y evaluar objetiva y estandarizadamente proyectos de vivienda, respecto de sus requerimientos de energía para calefacción, agua caliente, iluminación y enfriamiento (*Manual CEV, 2019*).

Para realizar la evaluación se consideran aspectos como la transmitancia térmica de la envolvente, inercia térmica, orientación de la vivienda, puentes térmicos de la envolvente, infiltraciones y tipo de ventilación. Parámetros que son evaluados y comparados con una vivienda de referencia que cumple con el estándar mínimo (*Manual CEV, 2019*).

En cuanto al consumo energético de la vivienda, se consideran aspectos como el desempeño de los equipos y la incorporación de energías renovables no convencionales generadas por la vivienda (*Manual CEV, 2019*).

De esta manera se entrega una letra que indica el tipo de eficiencia que se obtuvo mediante la calificación CEV.

Más eficiente	Ahorro Energético	
	≤	>
A+	100%	85%
A	85%	70%
B	70%	55%
C	55%	40%
D	40%	20%
E	20%	-10%
F	-10%	-35%
G	-35%	-
Menos eficiente		

Ilustración 21 - Escala de la CEV
Fuente: Manual CEV 2019

Para la CEV existen dos tipos de calificaciones, una Precalificación y la Calificación, la primera de éstas se desarrolla en proyectos que tengan permiso de edificación aprobado, es provisoria y su vigencia es válida hasta que el proyecto obtenga la recepción municipal, la segunda, corresponde a la evaluación final y definitiva, para poder recibirla se califica nuevamente el proyecto, esta calificación tiene una duración de 10 años o hasta que se realice alguna modificación que altere los parámetros en las cuales son evaluadas.

Los elementos que influyen para la obtención de la calificación son los siguientes:

- Envoltente térmica:
 - La transmitancia térmica se entiende como el flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre dos ambientes separados. Su importancia radica en que afecta a la envoltente, en la aislación térmica que tiene el techo, muro y piso ya que es en estos puntos donde existe una mayor pérdida de energía (*calificación energética, 2022*).

- La inercia térmica es la resistencia que tiene un cuerpo a cambiar su temperatura. Relevante ya que esto contribuye a estabilizar la temperatura al interior de la vivienda, ya que cuando hay un material con una buena inercia térmica, almacena el calor y lo libera paulatinamente (*calificación energética, 2022*).
- Puentes térmicos: Importante ya que es aquí donde puntualmente se general las perdidas al no existir una continuidad de la superficie aislante.
- Radiación: Son las ganancias de calor producto de la radiación solar incidente en la vivienda. Estas se obtienen de forma directa a través de los elementos translúcidos de su envolvente, generando ganancias solares que reducen la demanda energética para calefacción (*calificación energética, 2022*).
 - Factor de asoleamiento de ventanas: Corresponde a la radiación incidente en el complejo de ventanas.
 - Orientación y superficie de ventanas: La cantidad de energía generada por ganancias solares depende de la orientación, el emplazamiento y la superficie de la vivienda, teniendo una incidencia importante en su desempeño energético (*calificación energética, 2022*).
 - Factor solar del vidrio: Corresponde al factor solar del vidrio para incidencia normal.
- Cargas internas: Las ganancias internas provienen de fuentes de calor que están situadas al interior de la vivienda (personas, iluminación, equipos eléctricos y artefactos de cocina, etc.) (*calificación energética, 2022*).
- Renovación del aire:
 - Ventilación: Sirve para tener un flujo de aire permitiendo su renovación, ésta puede ser mecánica, pasiva (natural) o mixta.
 - Infiltraciones: Este es el paso de aire a través de aberturas o previstas en la envolvente de la cual no se tiene un control e indican en el desempeño energético.
- Comportamiento energético de los equipos: Este punto se califica según el rendimiento, tipo de energía, perdidas, etc.
- Incorporación de energías renovables no convencionales:
 - Aporte solar térmico para agua caliente sanitaria y/o calefacción.
 - Aporte solar de sistema fotovoltaico para iluminación.

2.8.4 Certificación LEED

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design o Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental) es una certificación internacional voluntaria y consensuada para la edificación sustentable, desarrollada en el año 2000 por USGBC (United States Green Building Council) en conjunto con profesionales de la construcción (*GBC Chile, 2022*).

La importancia de contar con un sistema de certificación es la seriedad y confianza que otorga la verificación por parte de un tercero y el uso de los estándares más exigentes de forma de lograr que los proyectos certificados tengan un desempeño medioambiental muy por sobre sus pares (*GBC Chile, 2022*).

El objetivo de esta certificación es mejorar la forma de diseñar, construir, operar y mantener las edificaciones con el fin de disminuir los impactos ambientales y obtener espacios más saludables, seguros y confortables.

Según la United States Green Building Council, a modo general se pueden observar los siguientes puntos:

- Reducir la contribución al cambio climático global
- Mejorar la salud humana individual
- Proteger y restaurar los recursos hídricos
- Proteger y mejorar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos
- Promover ciclos de materiales sostenibles y regenerativos
- Mejorar la calidad de vida de la comunidad

LEED es un sistema que no se enfoca simplemente en un elemento de un edificio, sino que analiza el panorama general teniendo en cuenta todos los elementos críticos que trabajan juntos para crear el mejor edificio posible (*USGBC, 2022*). De esta manera se asignan puntajes según la categoría de evaluación (*ilustración 21*) y un porcentaje según la categoría de impacto. De hecho, para las categorías principales el 35 % de los créditos en LEED están relacionados con el cambio climático, el 20 % de los créditos impactan directamente en la salud humana, el 15 % de los créditos impactan en los recursos hídricos, estos porcentajes se pueden apreciar de mejor manera en la siguiente Ilustración contando con todas las categorías (*ilustración 22*).

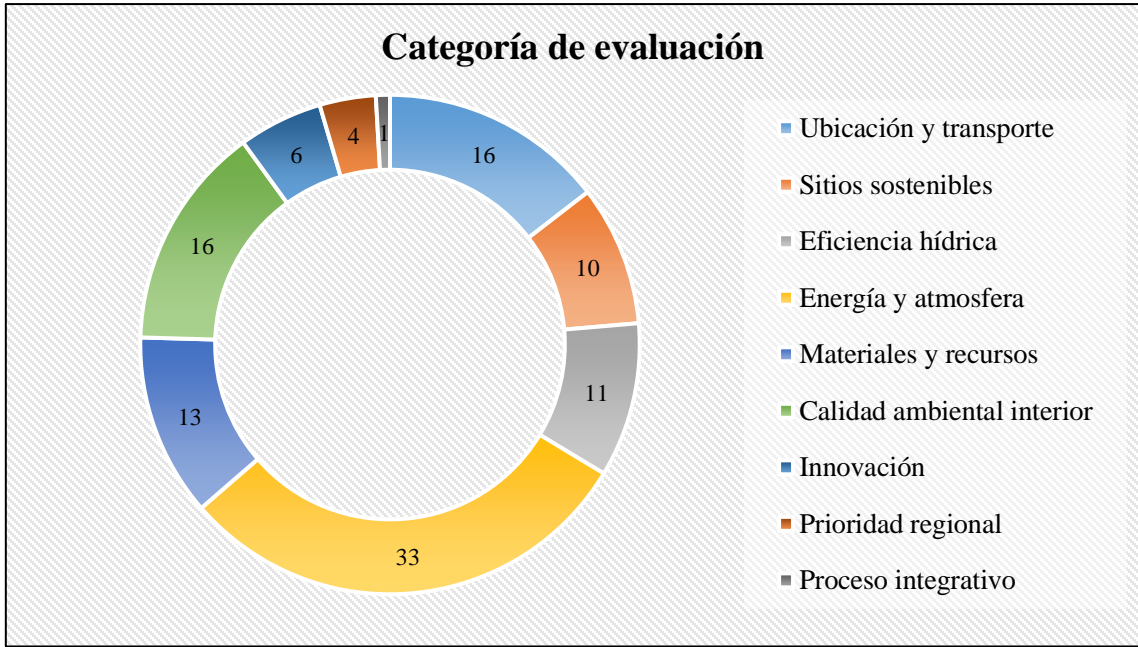


Ilustración 22 - Puntajes por categoría de evaluación
Fuente: Elaboración propia en base a GBC Chile

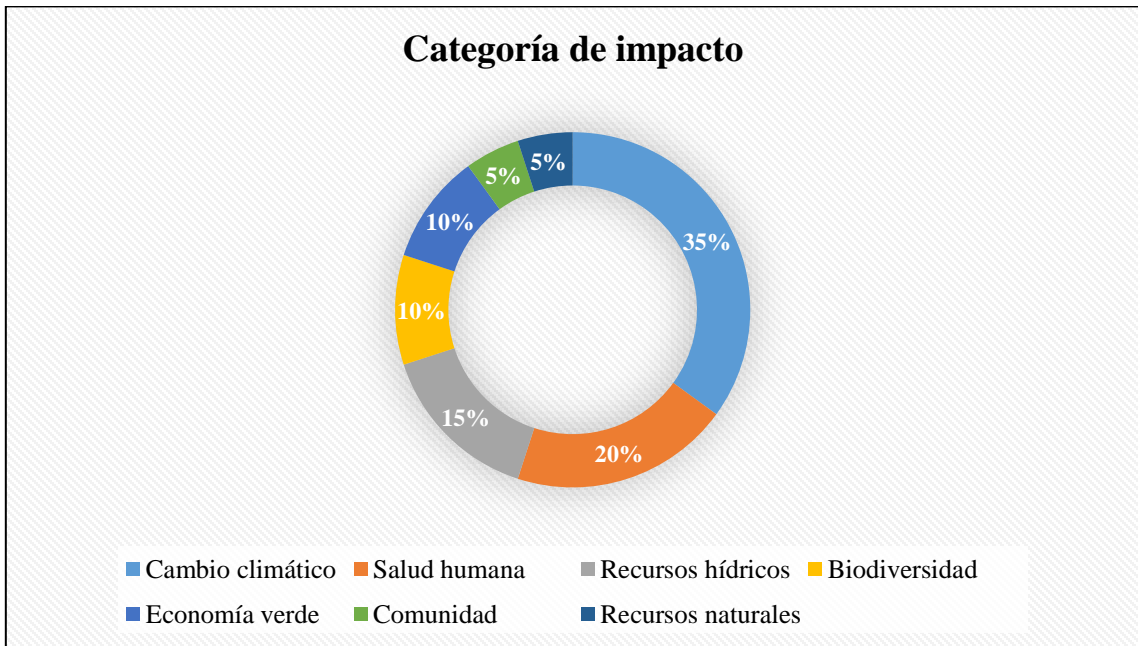


Ilustración 23 - Puntajes por categoría de impacto
Fuente: Elaboración propia en base a United States Green Building Council

Finalmente LEED tiene 4 categorías: Certificado; Plata; Oro y Platino, dependiendo de los puntos asignados, en donde el mínimo es de 40 puntos y el máximo de 110. Lo puntos asignados a los créditos, son siempre números enteros, en donde el mínimo es 1 y el máximo 21 dependiendo del crédito y la tipología de proyecto.



Ilustración 24 – Categorías de certificación
Fuente: United States Green Building Council

2.9 Hipótesis de investigación

Con los antecedentes presentados previamente en este documento se pueden establecer las siguientes hipótesis de investigación:

- La cantidad de iluminación que recibe un edificio afectado por sombras ambientales es proporcional al consumo energético.
- El Factor Forma de una edificación es proporcional al consumo energético.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

En el contexto de la presente memoria se desarrolla un diseño de investigación basado en la experimentación, donde se analizará la iluminación ambiental recibida por el edificio. Por otro lado, se considerará el análisis del Factor Forma del edificio, ambos estudios con la finalidad de establecer la relación sobre el consumo energético del edificio, comprobando si son proporcionales.

3.1 Diseño de la investigación

Este estudio contará con dos fases de investigación, la primera se centrará en un levantamiento de información de datos históricos en intervalos de tiempo definidos sobre el consumo energético que tenga el edificio seleccionado, esto para conocer al detalle la cantidad de energía que tiene en un periodo establecido. La segunda será realizada en un software de modelado en 3D como lo es *Blender*, en el cual se llevará a cabo el levantamiento de la estructura en conjunto con su perímetro circundante para así poder obtener los resultados de la cuantía de las sombras que son proyectadas por el entorno.

Para lograr un modelado correcto y un buen análisis es necesario primeramente definir el área que se estudiará, ya que dependiendo de las alturas de las edificaciones podrán tener cierta incidencia en el cálculo de las sombras. También se debe conocer la localidad en la cual está emplazada la estructura, con el fin de establecer la trayectoria del sol y obtener la radiación incidente en cierto periodo de tiempo.

Por lo tanto, para comprender el estudio se identifican tres variables, (i) las sombras que son proyectadas sobre la estructura, (ii) el factor forma y (iii) el consumo energético, para el cual se determinará si tiene relación alguna con las variables anteriores.

3.2 Selección de la muestra

La muestra corresponde a una no probabilística ya que sus características estarán en función de la investigación. Por lo tanto, para la modelación de las estructuras en *Blender* y obtención de datos es necesario seleccionar edificaciones específicas para luego ser analizadas y comparadas, las que se determinarán bajo los siguientes criterios: ubicación geográfica, superficie, clasificación y tipo de la estructura, y finalmente su consumo energético.

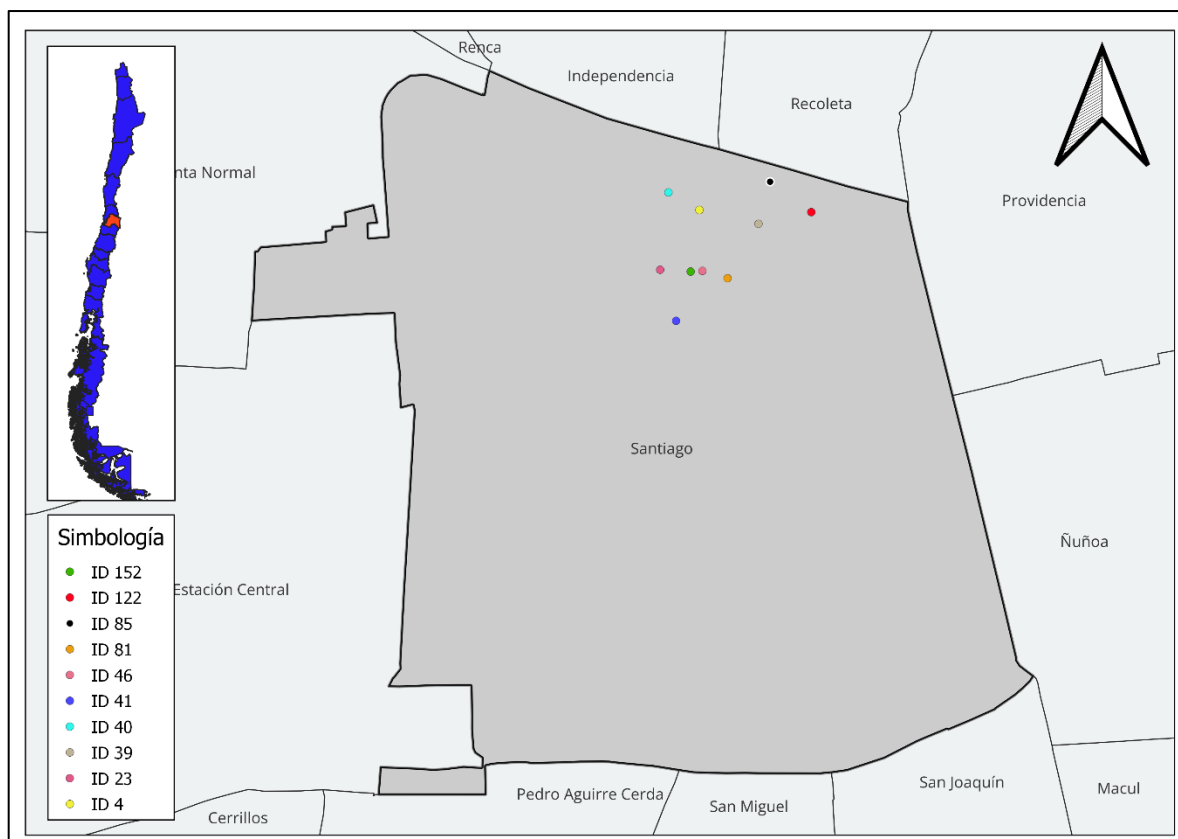


Ilustración 25 – Ubicación edificaciones.
Fuente: Elaboración propia en software QGIS.

La ubicación establecida para realizar el estudio corresponde a la comuna de Santiago de la Región Metropolitana, ya que cuenta con una gran densidad respecto de las edificaciones. Por otro lado, la superficie es determinante ya que de esta forma se obtendrá su factor forma, además, de que será útil para realizar la comparación entre estructuras normalizando su consumo energético por superficie. La clasificación y el tipo de la estructura hace referencia a su uso público y consumo, en este caso eléctrico. Finalmente, el consumo energético mostrará la drástica variación que existe entre las edificaciones, éste se obtendrá de manera mensual en un periodo de un año.

Las edificaciones seleccionadas son detalladas a continuación:

Id	Institución	Servicio	Latitud	Longitud	Superficie m²	Clasificación
4	Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio	Servicio Nacional del Patrimonio Cultural	-33.4363	-70.6533	1500	Oficinas administrativas

23	Ministerio de Economía, Fomento y Turismo	Superintendencia de Insolvencia y Reemprendimiento	-33.4407	-70.6566	441.6	Oficinas administrativas
39	Ministerio de Hacienda	Dirección de Compras y Contratación Pública	-33.4375	-70.6483	198	Oficinas administrativas
40	Ministerio del Trabajo y Previsión Social	Instituto de Seguridad Laboral	-33.4351	-70.6560	4340	Oficinas administrativas
41	Ministerio de Educación	Subsecretaría de Educación	-33.4443	-70.6553	14000	Oficinas administrativas
46	Ministerio de Minería	Comisión Chilena del Cobre	-33.4450	-70.6544	1058	Oficinas administrativas
81	Ministerio de Salud	Subsecretaría de Salud Pública	-33.4416	-70.6509	1518	Oficinas administrativas
85	Ministerio de Salud	Fondo Nacional de Salud	-33.4344	-70.6471	210	Oficinas administrativas
122	Ministerio de Salud	Subsecretaría de Redes Asistenciales	-33.4367	-70.6437	205	Oficinas administrativas
152	Ministerio del Interior y Seguridad Pública	Servicio Nacional para Prevención y Rehabilitación Consumo de Drogas y Alcohol	-33.4410	-70.6541	903	Oficinas administrativas

Tabla 9 - Selección de edificaciones.

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Operacionalización de variables

En este punto se procede a identificar variables, definir las y clasificarlas según su respectiva naturaleza, características observables, unidades de medidas y el rango de variación que puedan tener en la experimentación y recolección de datos. Las variables se ven expresadas en la siguiente tabla.

Variable	Indicador	Unidad	Rango
Sombras ambientales (Independiente)	Cantidad de sombras que son proyectadas en la edificación	%	0% – 100%
Factor Forma (Independiente)	Relación entre el área de la envolvente y su volumen	m ² /m ³	0 – 2,0 m ² /m ³
Consumo energético (Dependiente)	Cantidad de energía consumida	kWh/m ²	0 - 9999 kWh

*Tabla 10 – Variables.
Fuente: Elaboración propia.*

Donde:

- Sombras ambientales: Variable independiente que corresponde a la zona en donde se obstaculiza la incidencia de la luz dejando una región más oscura en un cuerpo, en este caso específico se estudiará las sombras que produce el entorno del edificio seleccionado y se medirá en porcentaje según la relación m² (envolvente) / m² (sombra proyectada). Para el cálculo también se considerará un valor de 0 para la cobertura total del cielo lo que indica que no hay elementos que bloqueen la incidencia de la iluminación como lo puede ser la nubosidad.
- Factor forma: Variable independiente el cual es un indicador de la forma del edificio, relación entre los m² de la envolvente y el volumen comprendido por la misma, su unidad corresponde a m²/m³.

- Consumo energético: Variable dependiente de la cantidad de radiación que incide en la envolvente de la estructura afectada por las sombras. Este es el gasto total de energía que tiene una residencia en la se consideran como un gasto la energía eléctrica, gas, eólica, etc. En particular para este estudio se utilizará solo el consumo de energía eléctrica y esta se mide en kWh/m².

3.4 Recolección de datos

3.4.1 Consumo energético

Los datos de los consumos energéticos se obtuvieron de la base de datos perteneciente al Centro Tecnológico Kipus de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Talca, entregados de forma mensual y correspondientes al año 2017. Es importante mencionar que los valores fueron normalizados, es decir que se obtuvo el consumo por cada metro cuadrado de superficie [kWh/m²], esto con el fin de poder ser comparado con cada edificio sin importar el área que tenga.

Los consumos de cada edificio se muestran en la siguiente tabla:

		ID del edificio									
		4	23	39	40	41	46	81	85	122	152
Consumo energético [kWh/m ²]	Enero	11.94	6.74	8.55	5.69	2.64	14.98	8.55	18.98	5.61	5.71
	Febrero	10.53	6.14	7.13	5.09	2.39	13.46	6.49	14.16	5.07	5.13
	Marzo	10.16	6.70	5.84	5.11	2.25	13.57	6.79	12.50	4.53	5.26
	Abril	6.74	5.84	4.35	3.95	1.92	11.63	5.66	8.84	3.45	4.69
	Mayo	8.49	6.09	6.19	5.12	2.18	13.25	6.48	11.78	4.57	6.22
	Junio	9.55	5.93	7.24	5.93	2.37	14.37	6.58	12.53	4.83	7.43
	Julio	9.71	5.91	7.87	5.70	2.45	14.94	6.71	11.53	4.70	7.20
	Agosto	9.67	5.91	7.22	5.75	2.44	15.51	6.32	11.51	4.32	6.20
	Septiembre	8.54	5.77	5.08	5.00	2.09	13.55	5.91	9.02	3.54	4.75
	Octubre	7.34	6.04	4.37	4.52	1.85	12.41	5.52	8.46	3.72	4.45
	Noviembre	8.29	6.04	4.93	4.45	1.94	13.11	5.90	10.29	5.00	4.75
	Diciembre	9.77	6.70	7.08	5.07	2.20	15.42	6.31	11.54	6.20	4.87

*Tabla 11 - Consumo energético por edificio en kWh
Fuente: Elaboración propia*

La elección de los edificios como se mencionó anteriormente se realizó bajo ciertos criterios, uno de ellos es el consumo energético, el cual debe presentar una drástica variabilidad entre los establecimientos a comparar, lo que se puede ver de forma gráfica en la *Ilustración 26*.

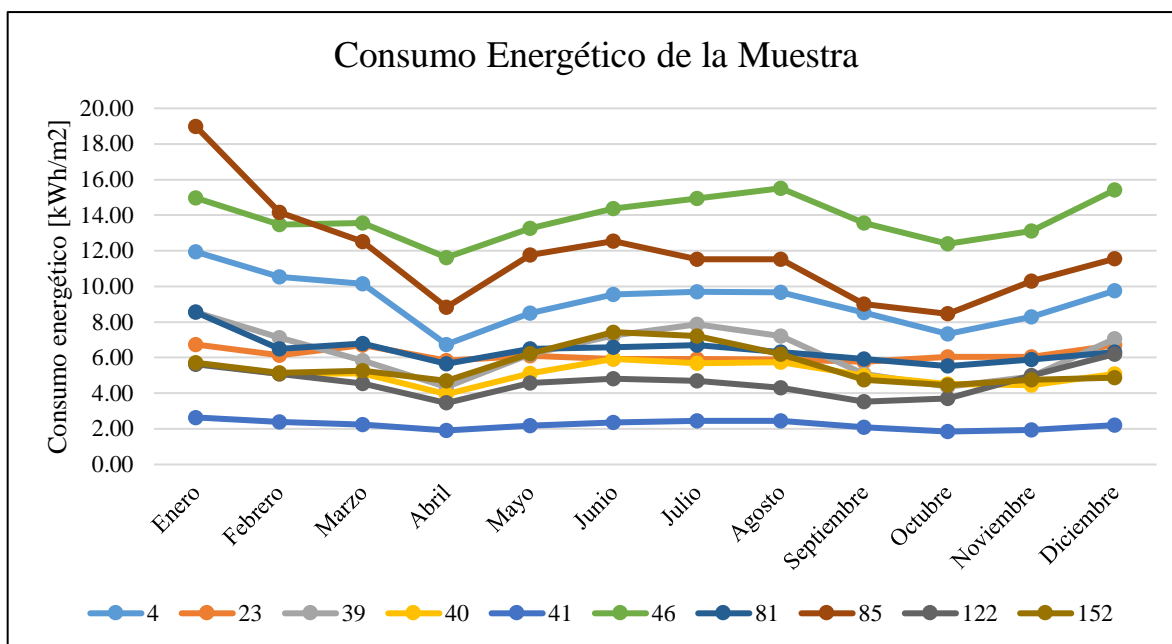


Ilustración 26 - Comparación de los consumos energéticos
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en un principio e independientemente de la superficie que tenga el inmueble en estudio, existe una gran variación de consumos energéticos a pesar de estar ubicados en la misma zona urbana, pertenecer a instituciones públicas y estar destinadas al uso de oficinas.

3.4.2 Iluminación solar y sombreado

Para obtener el tiempo de iluminación de cada estructura se debe establecer la ubicación entregando la latitud y longitud, o en su reemplazo un archivo EPW con la información climática de la zona en el complemento *VI-Suite* de *Blender*. En este caso, y, para que todas las estructuras tengan la ubicación y el clima de la ciudad de Santiago se cargó un archivo EPW con la información climatológica de la estación de Quinta Normal obtenida de climate.onebuilding.org.

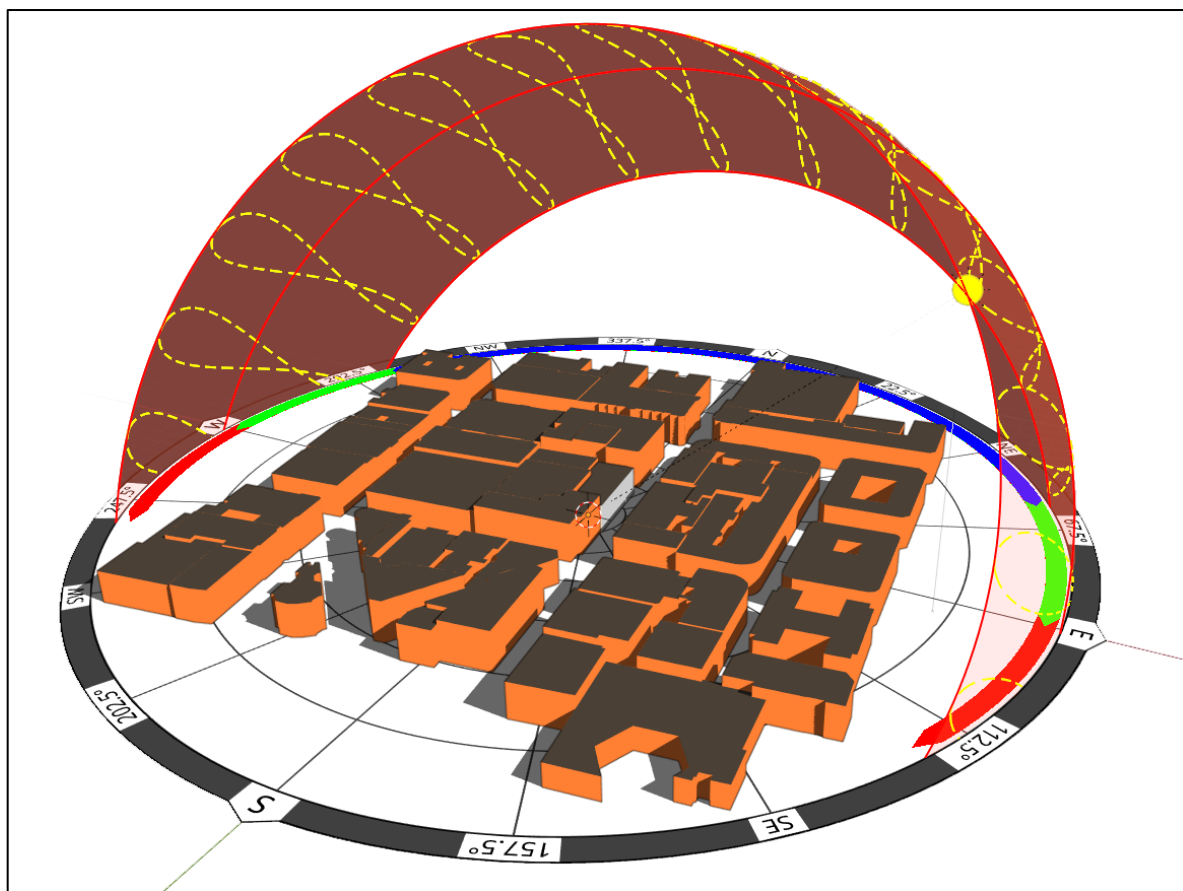
Una vez cargada la zona de estudio se procede con el modelamiento de la estructura en el software. Este se hizo mediante el complemento *Blender-OSM* por medio de *OpenStreetMap*, el cual descarga el polígono de la estructura 3D en conjunto con su área de 10.000 m² para finalmente recrear la trayectoria del sol y obtener la iluminación según su posicionamiento y el área circundante.

Una vez modelada la estructura y su perímetro junto con la información climatológica, se continúa con un mapeo de sombras, el cual dará los resultados de la iluminación solar en un periodo establecido y las sombras que son proyectadas.

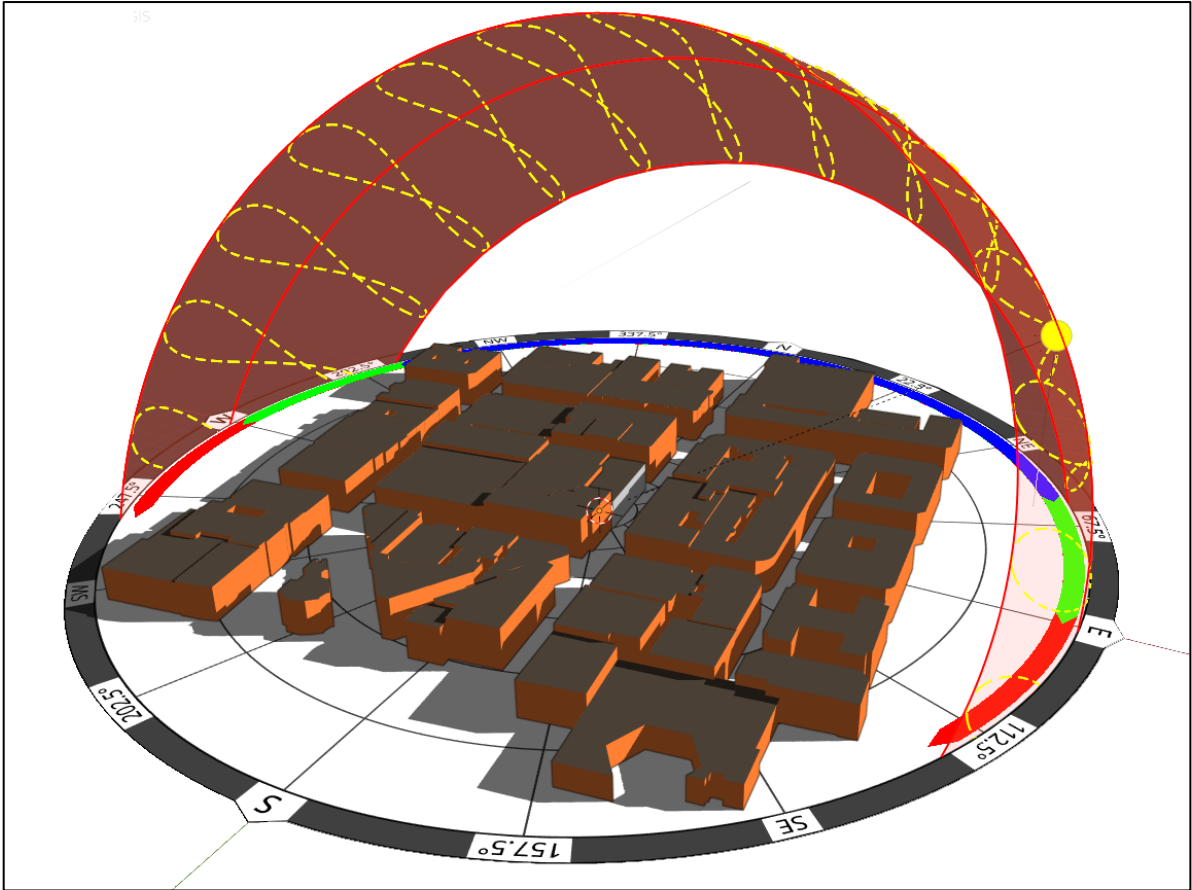
El periodo establecido corresponde al rango de 08:00 a 18:00 horas, esto considerando que comprende las horas laborales y donde se concentra la mayor irradiancia solar, realizando un cálculo de manera mensual con un énfasis en verano con el inicio del día el 21 de diciembre y término el 20 de marzo, y en invierno el cual inicia el 21 de junio hasta el 23 de septiembre. Esto debido a que en verano la posición del sol es más alta por lo que la ganancia solar generada es mayor al periodo de invierno, esto se puede observar en las *ilustraciones 27 y 28*.

Finalmente, una vez obtenido el tiempo de iluminación en porcentajes se puede conseguir directamente la cuantía de horas que la superficie indicada recibe luz solar y con ello se podrá saber cuántas horas la estructura está expuesta a sombras.

Este procedimiento se repite para todas las estructuras a analizar.



*Ilustración 27 - Mapeo de sombras durante temporada de verano a las 8:00 hrs.
Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 28 - Mapeo de sombras durante temporada de invierno a las 8:00 hrs.
Fuente: Elaboración propia.*

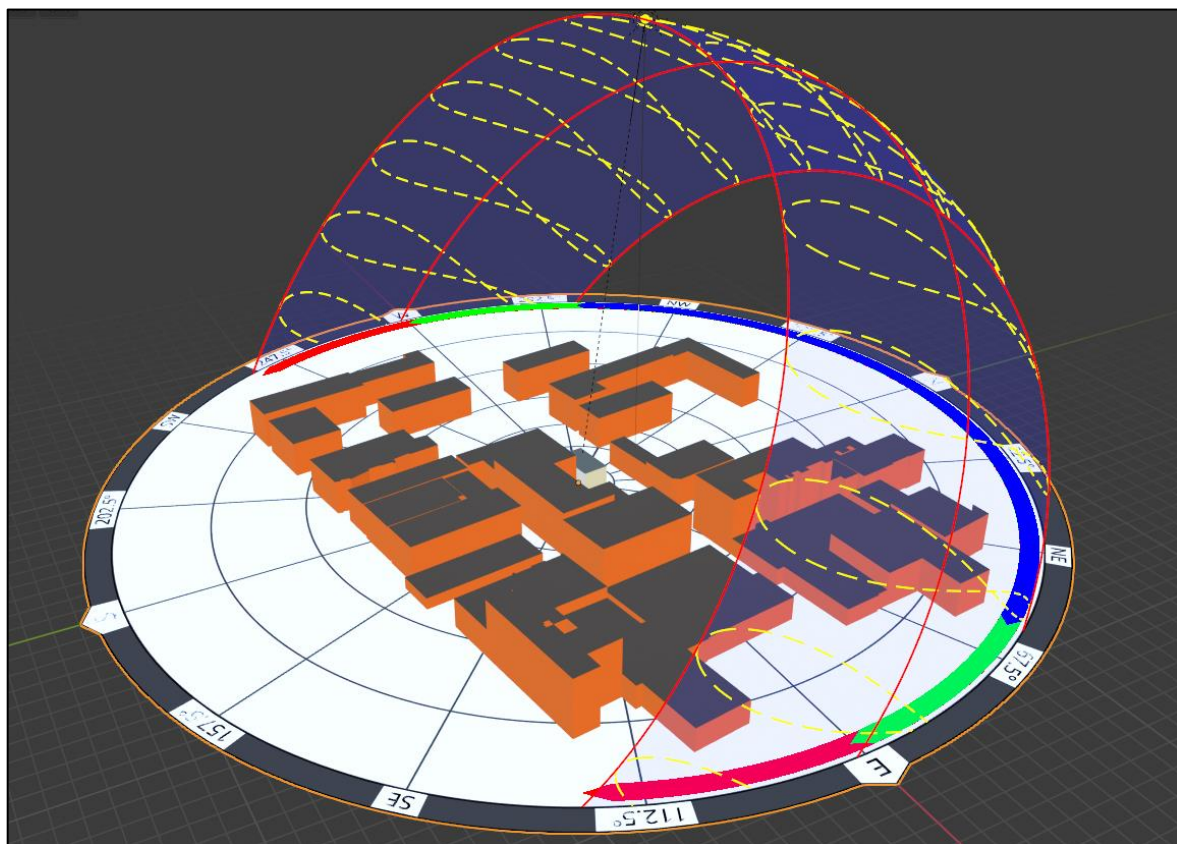
CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Iluminación y sombreado

A continuación, se entregan los resultados obtenidos de la cantidad de iluminación y sombras que recibe cada edificio en estudio, esto mediante la modelación en 3D en el software *Blender*.

4.1.1 Servicio Nacional del Patrimonio Cultural (Id 4)

La estructura correspondiente pertenece a un establecimiento del Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio, en donde se analizaron sus 5 superficies, Sur, Este, Oeste, Norte y la cubierta, ya que todas se encuentran en contacto con el exterior, pudiendo presentar sombras ambientales en todas sus superficies.



*Ilustración 29 – Análisis de iluminación ambiental edificio 4.
Fuente: Elaboración propia.*

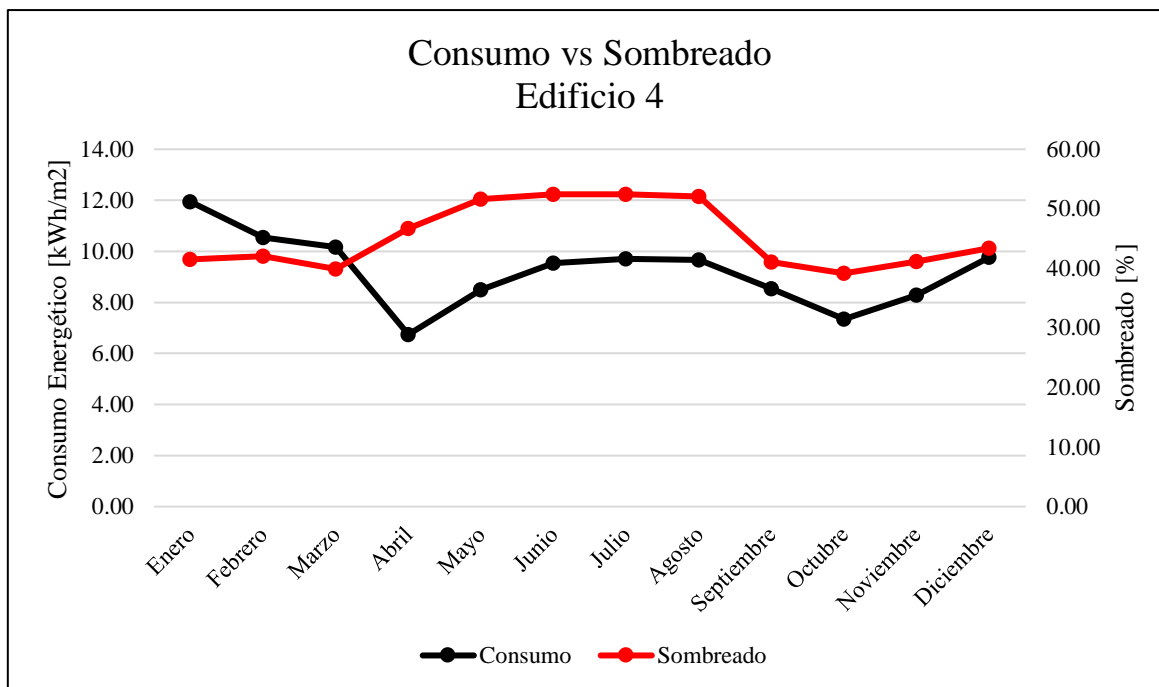
Los resultados obtenidos del análisis de la iluminación son presentados a continuación, mientras que las sombras ambientales corresponden a la inversa de la iluminación.

Iluminación Solar [%]						
	Sup. Oeste	Sup. Sur	Sup. Este	Sup. Norte	Cubierta	\bar{X} Ponderado
Enero	51.31	21.41	45.47	68.06	100.00	58.45
febrero	45.47	7.52	45.47	83.69	100.00	57.99
Marzo	45.47	0.00	52.00	96.00	100.00	60.10
Abril	37.53	0.00	47.22	81.81	93.25	53.30
Mayo	32.72	0.00	39.88	71.94	89.75	48.35
Junio	30.00	0.00	40.00	70.00	90.00	47.56
Julio	30.00	0.00	40.00	70.00	90.00	47.56
Agosto	33.16	0.00	41.44	72.31	86.31	47.95
Septiembre	49.84	0.00	45.75	92.38	100.00	58.96
Octubre	54.53	6.54	45.16	91.19	100.00	60.84
Noviembre	54.53	16.42	45.47	72.75	100.00	58.86
Diciembre	50.56	24.44	45.47	57.66	100.00	56.60

Tabla 12 – Iluminación solar edificio 4
Fuente: Elaboración propia

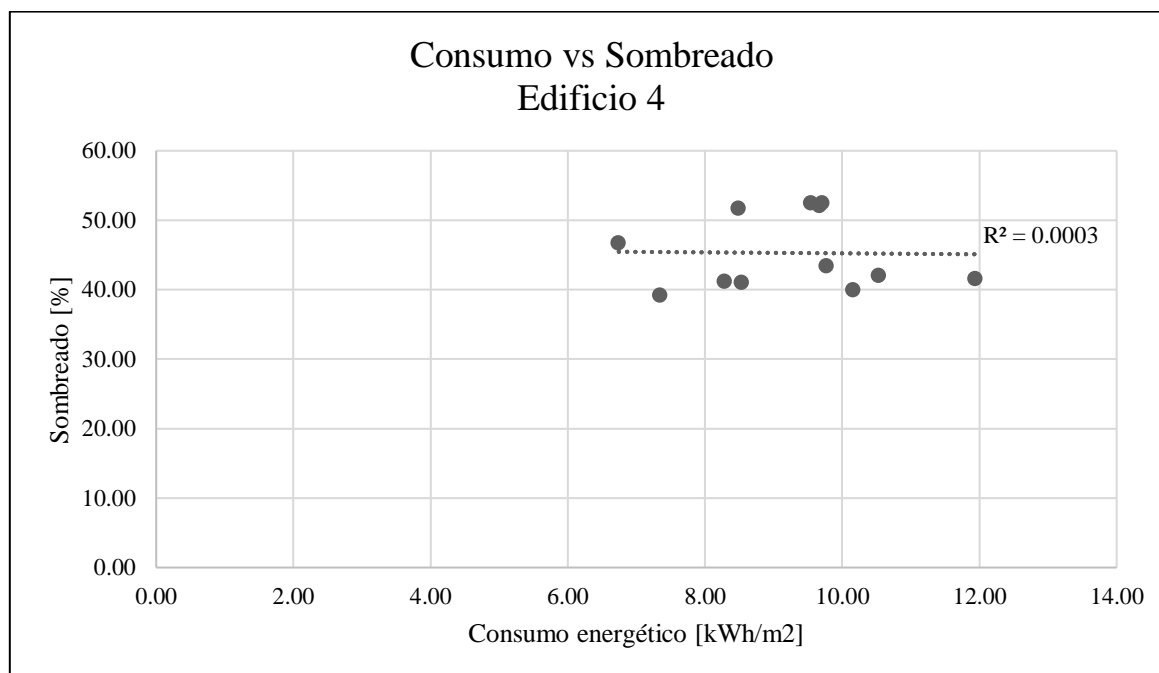
De acá se puede observar que debido al posicionamiento del sol en los meses de primavera y verano en donde la radiación incide de una manera más directa, es donde se produce una mayor cantidad de iluminación y por ende una menor cantidad de sombras, en contraste, en los meses de otoño e invierno el porcentaje de sombreado aumenta en las superficies estudiadas.

Ahora, realizando una comparación entre el consumo energético de la edificación y el sombreado que se tiene de forma mensual (*Ilustración 30*), se observa que, en los meses de otoño-invierno a medida que aumenta la cantidad de sombras también lo hace su consumo energético, al igual que en los meses de primavera-verano, el comportamiento es similar.



*Ilustración 30 – Consumo versus sombreado edificio 4.
Fuente: Elaboración propia.*

Sin embargo, en la *Ilustración 31*, realizando la comparación con un gráfico de dispersión entre el sombreado (eje y) y el consumo energético (eje x), se muestra la pobre relación que existe entre estas variables, con una curva lineal que no explica de forma significativa la varianza observada ($R^2 \sim 0$).



*Ilustración 31 – Consumo versus sombreado edificio 4.
Fuente: Elaboración propia*

4.1.2 Superintendencia de Insolvencia y Reemprendimiento (Id 23)

La estructura correspondiente al Id 23 pertenece a un establecimiento del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, para el cual se analizaron sus 5 superficies, Sur, Este, Oeste, Norte y la cubierta.

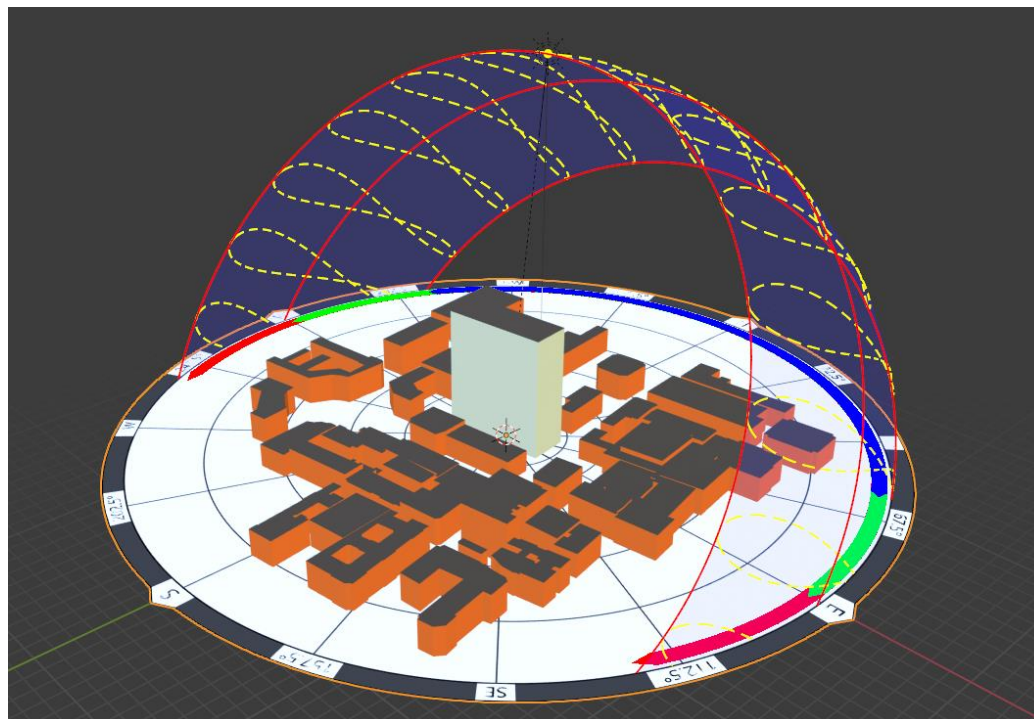


Ilustración 32 – Análisis de iluminación ambiental edificio 23

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos del análisis de la iluminación se muestran a continuación.

Iluminación Solar [%]						
	Sup Oeste	Sup Sur	Sup Este	Sup Norte	Cubierta	X̄ Ponderado
Enero	51.03	32.25	49.28	67.75	100.00	55.29
febrero	45.47	16.61	54.53	83.38	100.00	55.24
Marzo	45.47	4.26	54.53	95.75	100.00	55.25
Abril	45.47	0.00	54.53	100.00	100.00	55.25
Mayo	40.19	0.00	59.81	100.00	100.00	55.25
Junio	40.00	0.00	60.00	100.00	100.00	55.25
Julio	40.00	0.00	60.00	100.00	100.00	55.25
Agosto	45.16	0.00	54.84	100.00	100.00	55.25
Septiembre	53.66	0.00	46.34	100.00	100.00	55.25
Octubre	54.53	9.09	45.47	90.94	100.00	55.26
Noviembre	54.53	27.27	45.47	73.00	100.00	55.33
Diciembre	54.53	42.91	45.47	57.09	100.00	55.25

Tabla 13 - Iluminación solar edificio 23

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que la cantidad de iluminación recibida en promedio es continua, no presenta variaciones considerables, por lo tanto, las sombras también lo son.

Por lo que, al comparar el sombreado versus el consumo energético obtenido, no se puede apreciar algún tipo de relación, ya que durante los meses de febrero a octubre las sombras en promedio son constantes y no lo es así su consumo, presentando variaciones.

De igual forma, se puede observar que de enero a febrero hay un aumento en la cantidad de sombras y una disminución del consumo por lo que se presenta una relación inversa, pero, esto no es así en el mes noviembre a diciembre, en donde se obtiene un mismo comportamiento entre la cantidad de sombras y el consumo, ambos aumentan de forma similar. Esto se puede observar en la *ilustración 33*.

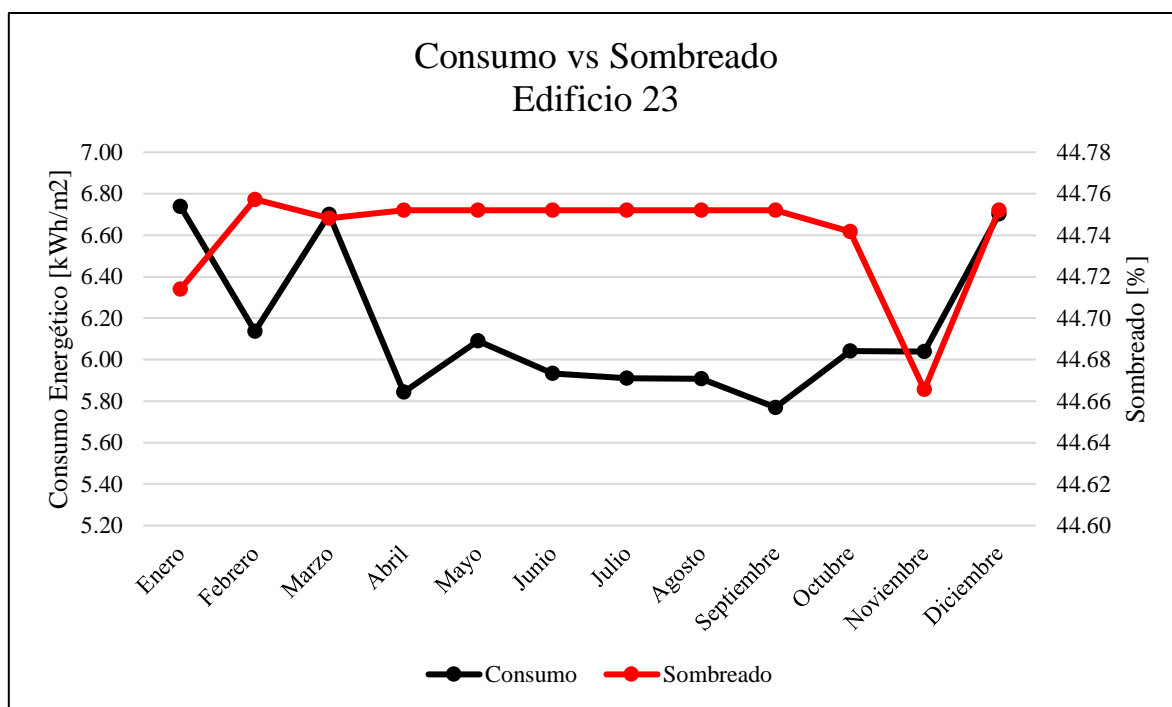


Ilustración 33 – Consumo versus sombreado edificio 23.
Fuente: Elaboración propia.

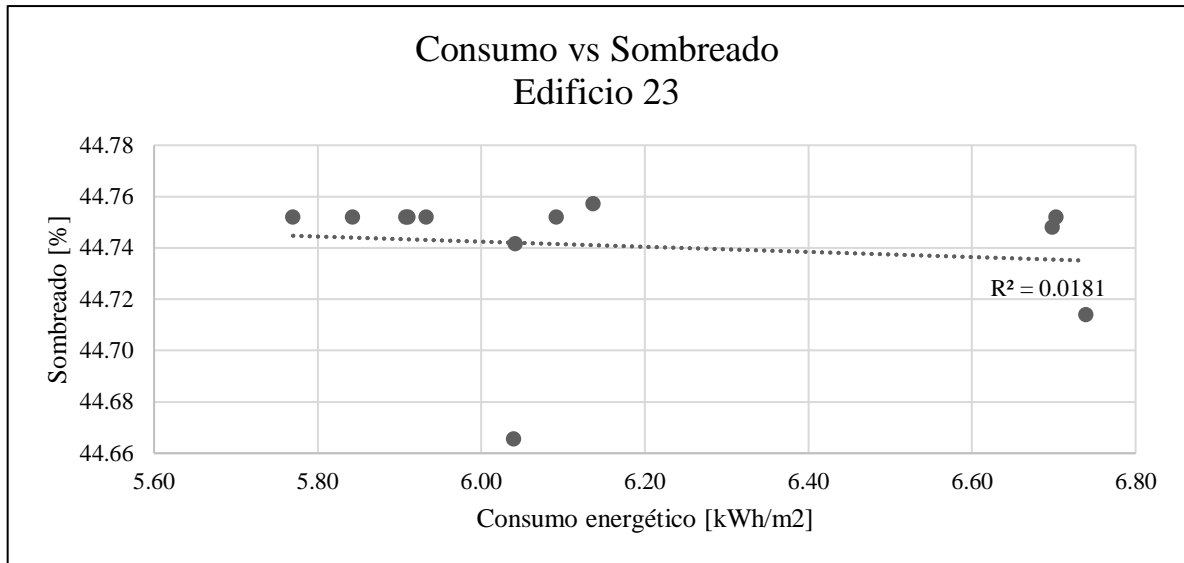


Ilustración 34 – Consumo versus sombreado edificio 23.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Dirección de Compras y Contratación Pública (Id 39)

La estructura correspondiente al Id 39 pertenece a un establecimiento del Ministerio de Hacienda, para el cual se analizaron sus 5 superficies, Sur, Este, Oeste, Norte y la cubierta, ya que todas se encuentran en contacto con el exterior, pudiendo presentar sombras ambientales en su superficie.

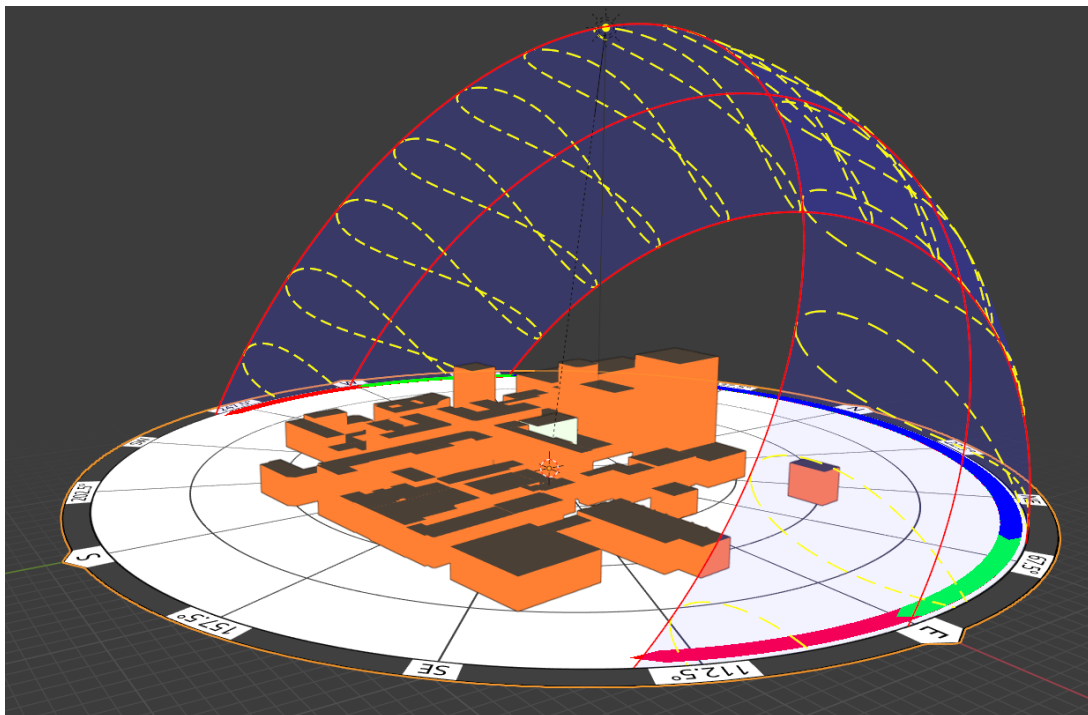


Ilustración 35 – Análisis de iluminación ambiental edificio 39

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos del análisis de la iluminación se muestran a continuación.

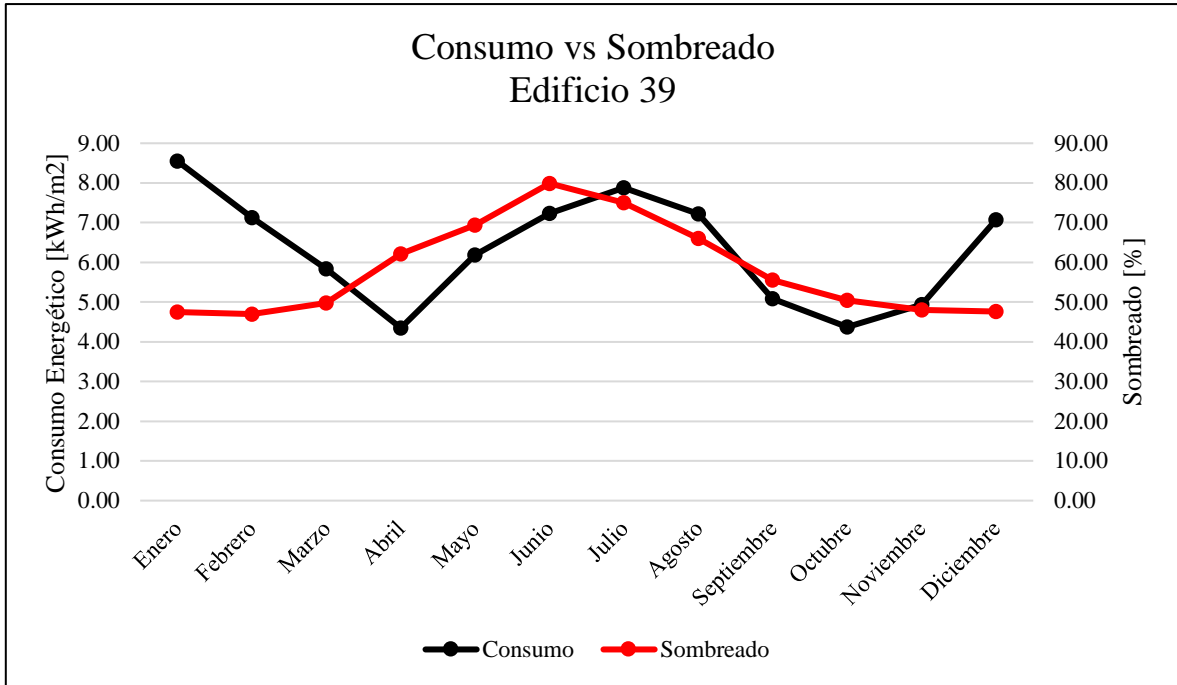
Iluminación solar [%]						
	Sup. Norte	Sup. Oeste	Sup. Sur	Sup. Este	Cubierta	X Ponderado
Enero	67.75	33.13	23.45	48.97	100.00	52.46
Febrero	80.88	27.27	14.73	54.53	100.00	53.01
Marzo	79.25	24.14	3.98	54.25	99.13	50.16
Abril	44.00	20.83	0.00	37.25	92.38	37.87
Mayo	9.66	25.55	0.00	34.59	75.38	30.58
Junio	0.00	20.00	0.00	10.00	70.00	20.12
Julio	0.31	23.75	0.00	23.44	70.63	24.92
Agosto	24.58	20.86	0.00	36.28	87.69	34.02
Septiembre	75.94	27.27	0.00	39.28	90.94	44.51
Octubre	82.94	27.27	6.25	45.47	99.69	49.59
Noviembre	71.88	34.91	18.77	45.47	100.00	51.92
Diciembre	57.66	36.38	33.25	45.47	100.00	52.35

Tabla 14 – Iluminación solar edificio 39
Fuente: Elaboración propia

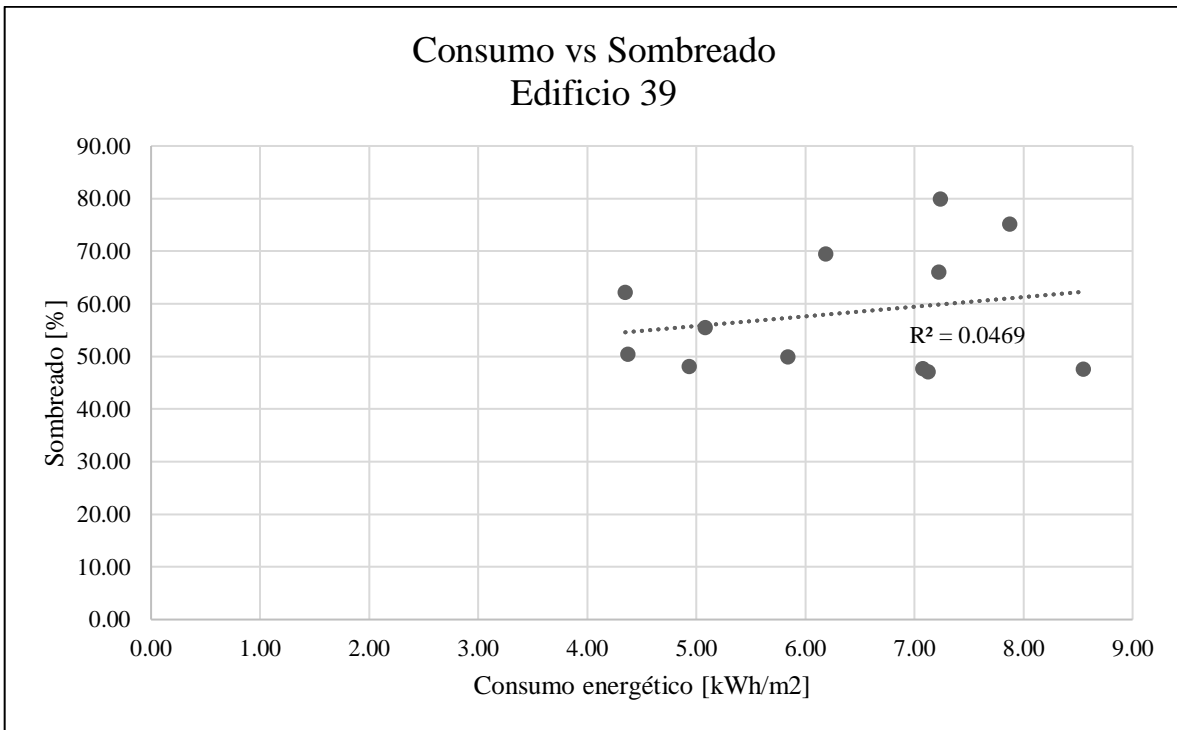
En el mapeo de sombras, como se puede observar en las tablas muestra una variación similar a las estructuras anteriores, teniendo un aumento de la cantidad de sombras en los meses de otoño-invierno y una reducción en los meses de primavera-verano.

Ahora bien, comparando el consumo energético con la cantidad de sombras incidentes en la edificación se obtiene que solo en los meses de abril a septiembre hay una relación entre estas variables, las curvas son similares presentando pendientes parecidas, por lo que la relación es directa.

Sin embargo, para los meses de verano esto no sucede, no hay una relación clara, por ejemplo, de enero a abril el consumo obtenido va a la baja, mientras que el porcentaje de sombras en los primeros 3 meses se mantiene relativamente constante. También se puede notar que del mes de noviembre a diciembre las sombras no varían, mientras que, si lo hace el consumo de forma drástica, esto se puede observar en la *ilustración 36*.



*Ilustración 36 – Consumo versus sombreado edificio 39.
Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 37 – Consumo versus sombreado edificio 39.
Fuente: Elaboración propia.*

4.1.4 Instituto de Seguridad Laboral (Id 40)

La estructura correspondiente al Id 40 pertenece a un establecimiento del Ministerio de del Trabajo y Previsión Social, para el cual se analizaron sus 7 superficies en sus 4 orientaciones.

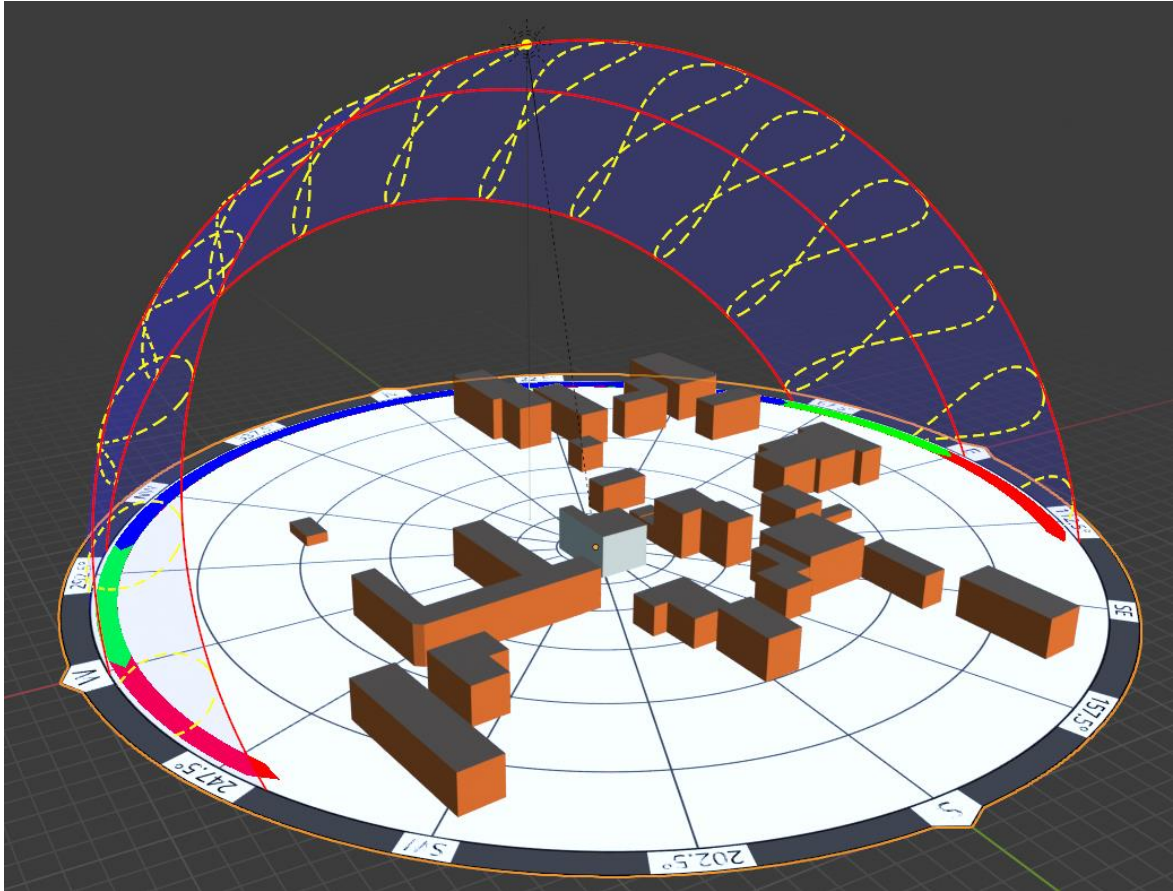


Ilustración 38 - Análisis de iluminación ambiental edificio 40
Fuente: Elaboración propia

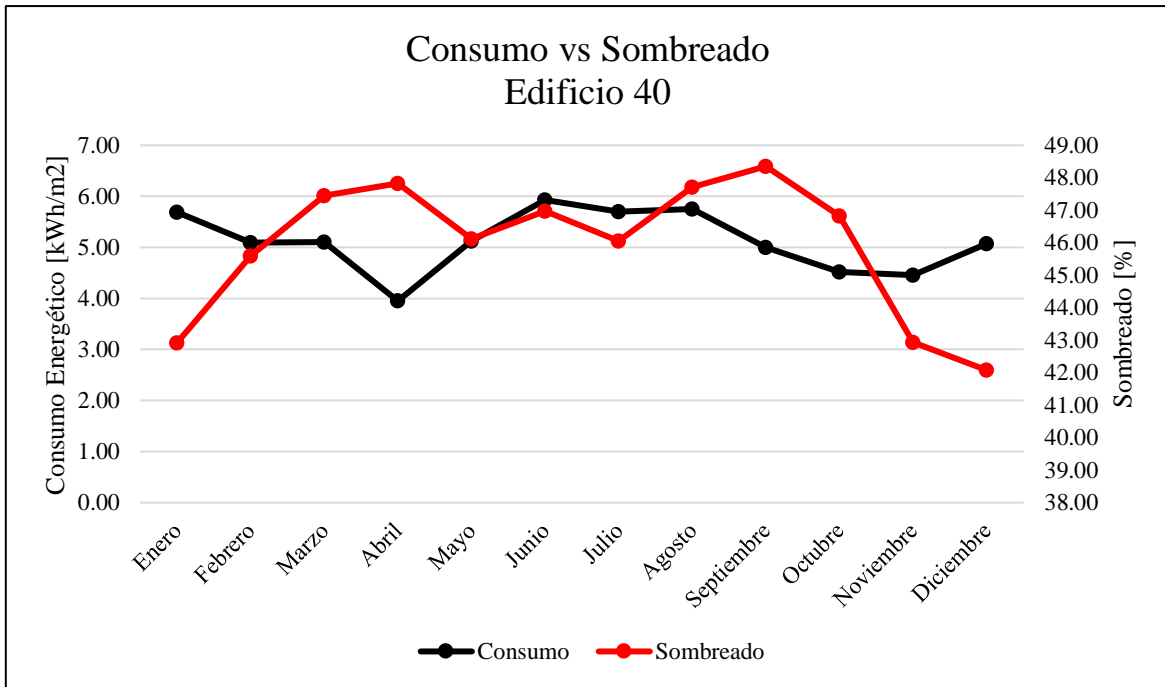
Los resultados obtenidos del análisis de la iluminación se muestran a continuación.

Iluminación Solar [%]								
	Sup. Oeste	Sup. Sur	Sup. Este	Sup. Norte 1	Sup. Este 2	Sup. Norte 2	Cubierta	\bar{X} Ponderado
Enero	54.53	33.13	33.13	54.53	45.47	66.88	100	57.08
febrero	46.72	10.66	35.75	61.44	54.22	83.69	100	54.40
Marzo	45.75	0.00	29.55	71.56	47.72	93.19	100	52.55
Abril	43.41	0.00	35.78	65.38	45.47	96.50	100	52.18
Mayo	39.88	0.00	49.53	69.81	47.03	94.06	100	53.89
Junio	40.00	0.00	50.00	68.69	40.00	90.00	100	53.03
Julio	40.00	0.00	50.00	74.38	43.13	90.00	100	53.95
Agosto	42.28	0.00	38.84	64.00	45.72	97.69	100	52.29
Septiembre	45.47	0.00	31.97	63.63	45.47	90.94	100	51.65
Octubre	45.47	6.82	32.09	68.75	45.47	88.06	100	53.18
Noviembre	51.63	29.33	36.38	59.81	45.47	71.25	100	57.06
Diciembre	54.53	36.38	36.38	54.53	45.47	63.63	100	57.92

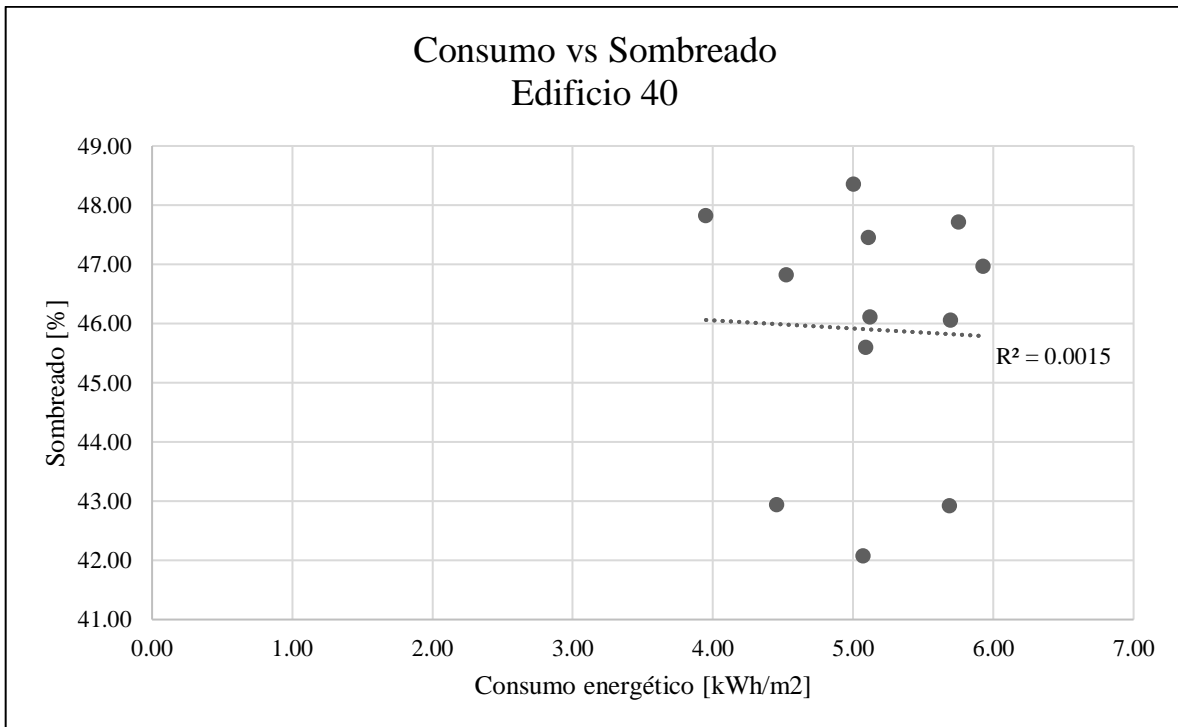
*Tabla 15 – Iluminación solar edificio 40.
Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede observar en las tablas anteriores, la iluminación y el sombreado no presentan grandes variaciones en los meses, es más bien un rango constante, para la cantidad de iluminación, estas se mantienen entre un 51% a 57%.

Realizando la comparación entre el consumo y la cantidad de sombras, se obtiene que no hay una relación directa para los meses de otoño-invierno, sin embargo, para los meses comprendidos entre octubre a marzo, las variables presentan la misma curva, ambos aumentan y ambos disminuyen a la vez. Esto se puede demostrar gráficamente en la siguiente ilustración.



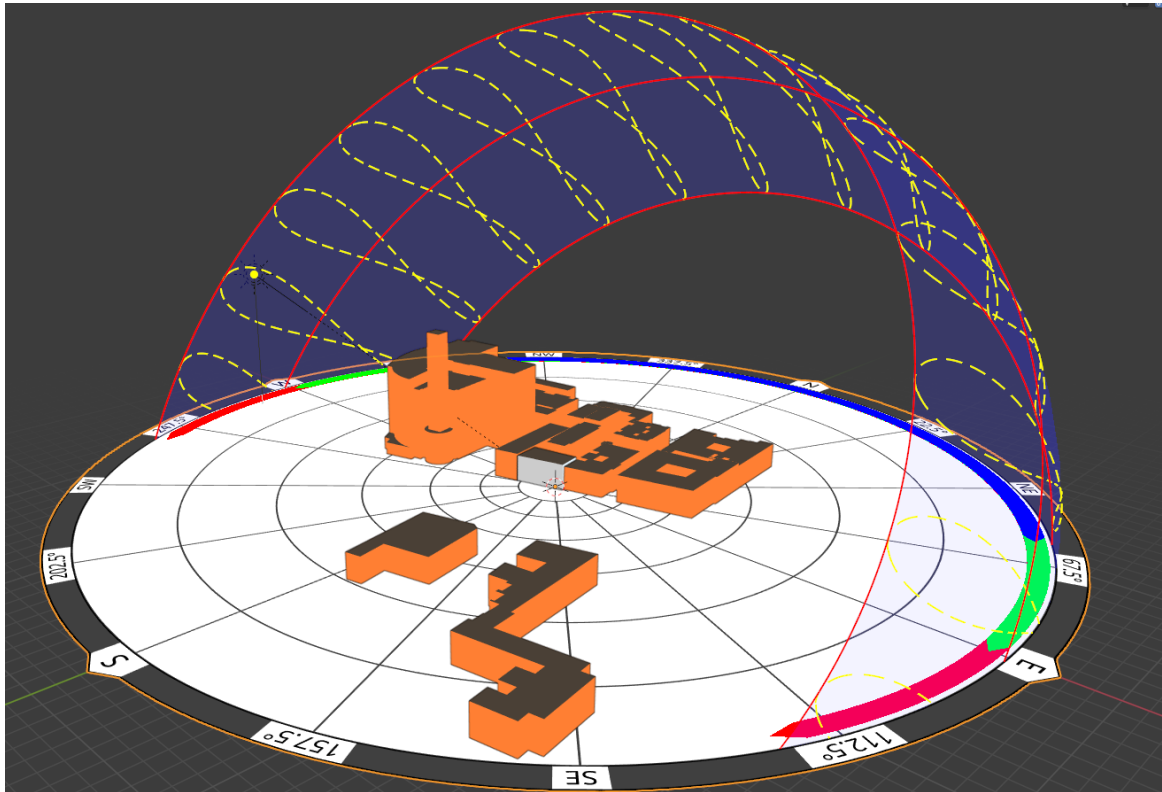
*Ilustración 39 – Consumo versus sombreado edificio 40.
Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 40 – Consumo versus sombreado edificio 40.
Fuente: Elaboración propia.*

4.1.5 Subsecretaría de Educación (Id 41)

La estructura correspondiente al Id 41 pertenece a un establecimiento del Ministerio de Educación, para el cual se analizaron 3 superficies, Sur, Norte y su cubierta, esto debido a que la edificación en la elevación Este y Oeste colindan con otras estructuras, ósea que comparten su división por lo tanto se omiten del análisis.



*Ilustración 41 – Análisis de iluminación ambiental edificio 41.
Fuente: Elaboración propia.*

Los resultados obtenidos del análisis de la iluminación se muestran a continuación.

Iluminación Solar [%]				
	Sup Sur	Sup Norte	Cubierta	\bar{X} Ponderado
Enero	27.27	0.00	90.94	39.73
febrero	22.89	0.00	90.94	38.26
Marzo	12.78	0.00	81.81	31.79
Abril	2.05	0.00	72.75	25.14
Mayo	0.00	0.00	76.31	25.65
Junio	0.00	0.00	64.50	21.68
Julio	0.00	0.00	71.56	24.05
Agosto	0.00	0.00	74.88	25.16
Septiembre	6.45	0.00	72.75	26.62
Octubre	15.06	0.00	84.94	33.60
Noviembre	24.05	0.00	90.94	38.64
Diciembre	27.27	0.00	90.94	39.73

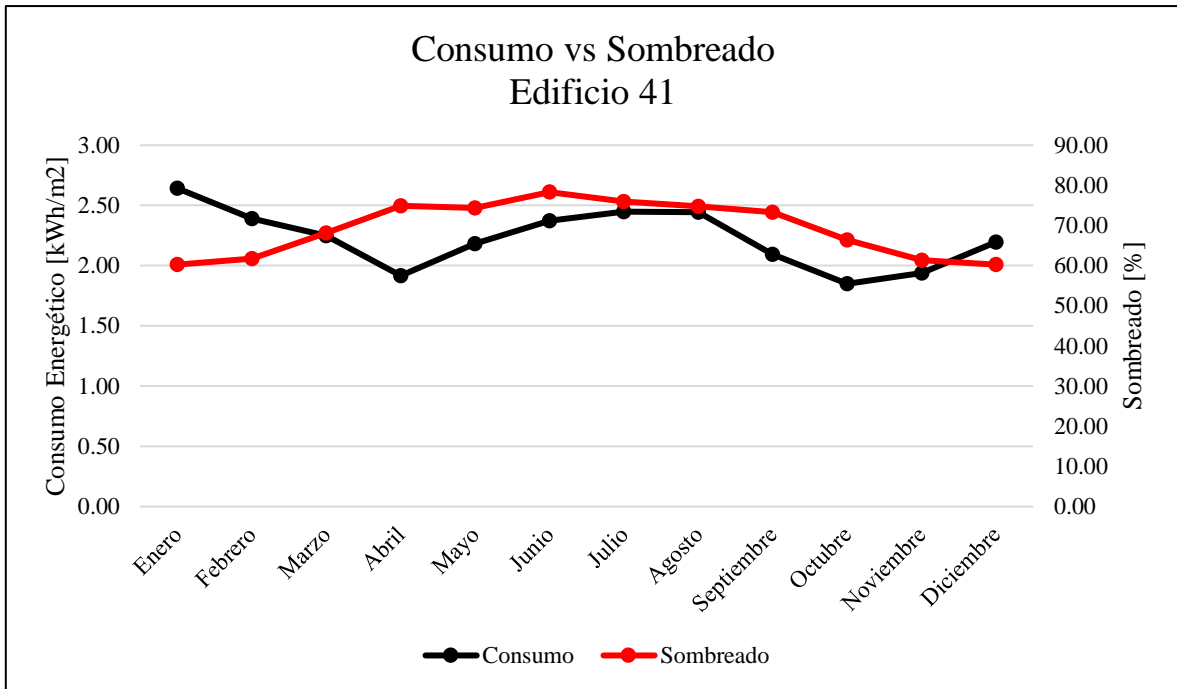
Tabla 16 – Iluminación solar edificio 41.

Fuente: Elaboración propia.

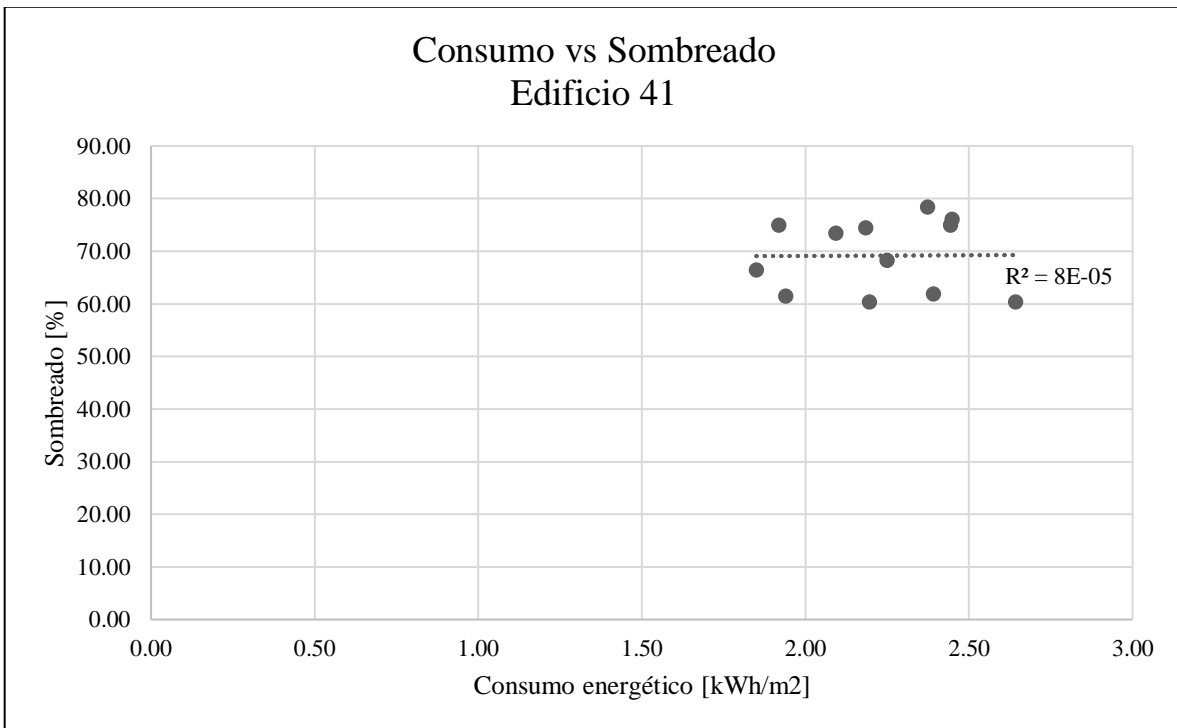
Al igual que algunas edificaciones, ésta muestra un aumento de la cantidad de sombras a mitad de año, mientras que es menor en los meses de primavera-verano.

Comparando el consumo energético versus la cantidad de sombras, se puede notar que en los extremos hay una relación inversamente proporcional, es decir que en los meses de noviembre a diciembre y de enero a marzo, mientras las sombras disminuyen el consumo aumenta y viceversa.

Por otro lado, de abril a octubre, la curva de las sombras no se asemeja al consumo, mientras este último va en aumento, el sombreado no lo hace, esto se puede observar en la *ilustración 42*.



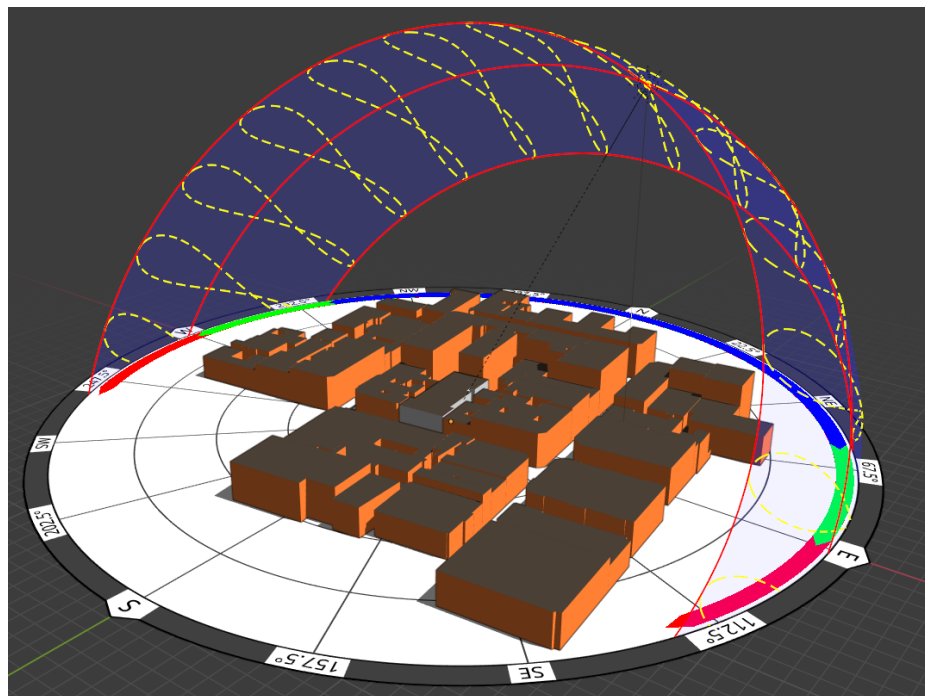
*Ilustración 42 - Consumo versus sombreado edificio 41.
Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 43 - Consumo versus sombreado edificio 41.
Fuente: Elaboración propia.*

4.1.6 Comisión Chilena del Cobre (Id 46)

La estructura correspondiente al Id 46 pertenece a un establecimiento del Ministerio de Minería para el cual se analizaron 9 superficies en sus 4 orientaciones.



*Ilustración 44 – Análisis de iluminación ambiental edificio 46.
Fuente: Elaboración propia.*

Los resultados obtenidos del análisis de la iluminación se muestran a continuación.

	Iluminación Solar [%]				
	Sup. Norte 2	Sup. Sur	Sup. Oeste 1	Sup. Norte 1	Sup. Oeste 2
Enero	18.19	32.25	12.32	27.27	19.94
Febrero	26.02	15.36	18.19	19.13	9.41
Marzo	9.66	4.26	24.44	10.23	1.42
Abril	9.09	0.00	27.27	4.11	0.00
Mayo	9.97	0.00	20.25	0.00	0.00
Junio	10.00	0.00	10.00	0.00	0.00
Julio	10.00	0.00	15.63	0.00	0.00
Agosto	9.14	0.00	29.42	0.86	0.00
Septiembre	9.09	0.00	18.19	10.27	0.00
Octubre	16.19	8.52	16.19	24.14	2.56
Noviembre	27.27	27.56	9.09	27.27	23.17
Diciembre	19.03	42.91	9.09	27.27	27.27

*Tabla 17 – Iluminación solar edificio 46 (1).
Fuente: Elaboración propia.*

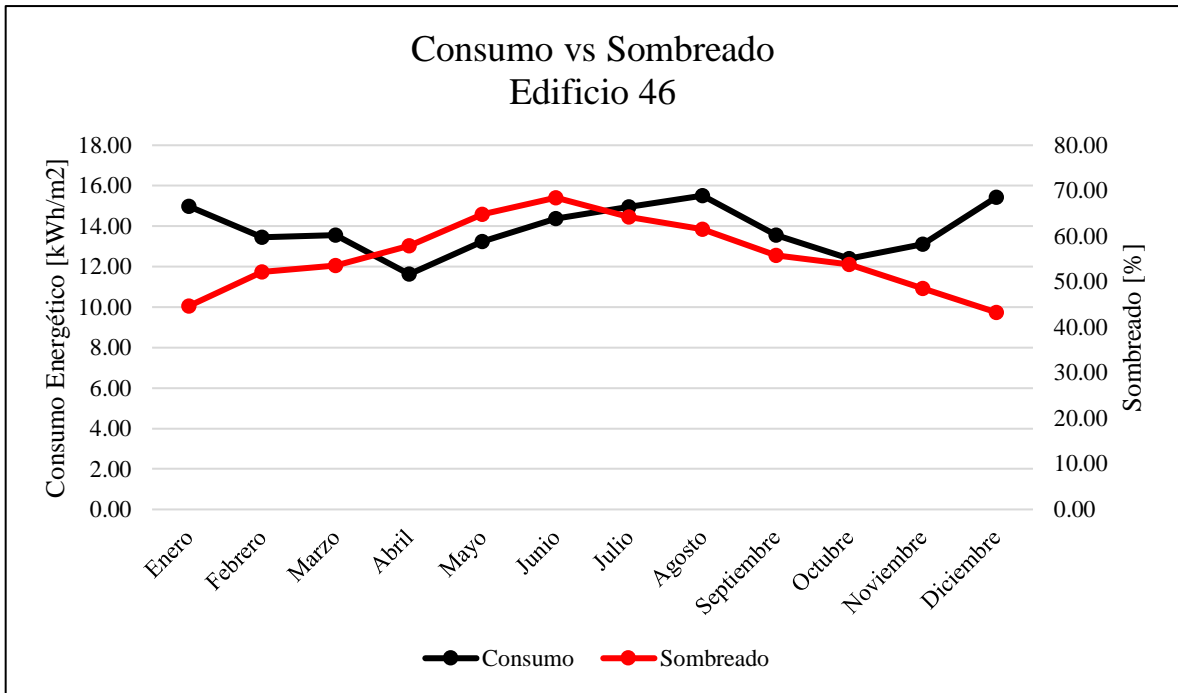
Iluminación Solar [%]					
	Sup. Sur 2	Sup. Oeste 3	Sup. Este	Cubierta	\bar{X} Ponderado
Enero	0.00	39.59	26.09	100.00	55.29
Febrero	0.00	38.88	0.00	100.00	47.85
Marzo	0.00	36.38	0.00	100.00	46.39
Abril	0.00	32.25	0.00	90.94	42.07
Mayo	0.00	28.34	0.00	76.63	35.20
Junio	0.00	30.00	0.00	70.00	31.51
Julio	0.00	30.00	0.00	79.06	35.77
Agosto	0.00	34.56	0.00	80.88	38.43
Septiembre	0.00	27.27	0.00	99.69	44.22
Octubre	0.00	35.22	0.00	100.00	46.24
Noviembre	0.00	36.38	13.20	100.00	51.47
Diciembre	0.00	36.38	28.13	100.00	56.70

Tabla 18 – Iluminación solar edificio 46 (2).

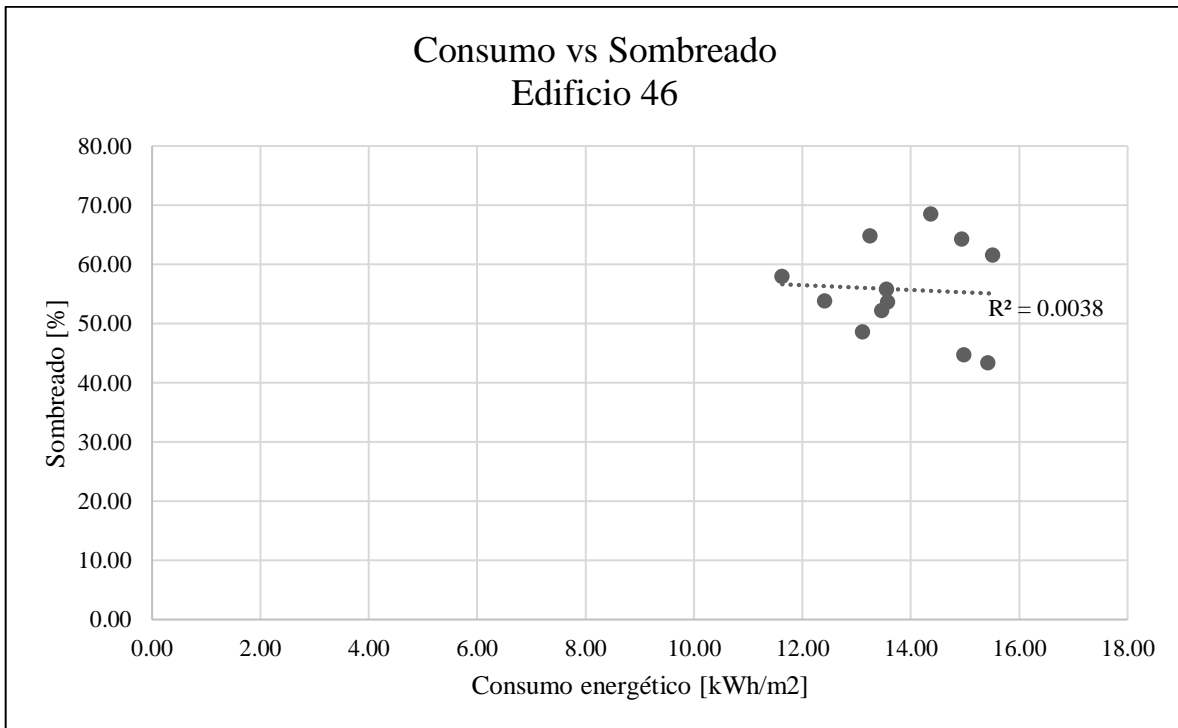
Fuente: Elaboración propia.

El mapeo de sombras de la misma forma que en las edificaciones anteriores muestra un aumento en los meses de otoño-invierno y una reducción en los meses de verano.

Ahora bien, realizando la comparación entre el consumo y la cuantía de sombras se puede observar que no existe una relación entre estos factores. De forma particular, en los meses de noviembre a diciembre y de enero a febrero se observa una relación inversa, esto queda demostrado en la siguiente ilustración.



*Ilustración 45 – Consumo versus sombreado edificio 46.
Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 46 – Consumo versus sombreado edificio 46.
Fuente: Elaboración propia.*

Los resultados obtenidos del análisis de la iluminación se muestran a continuación.

Iluminación Solar [%]				
	Sup Norte	Sup Este	Cubierta	X̄ Ponderado
Enero	67.75	39.88	94.75	69.66
febrero	83.06	45.47	100.00	76.74
Marzo	28.13	38.06	95.19	62.49
Abril	9.97	33.72	88.56	54.77
Mayo	0.00	32.09	81.31	49.17
Junio	0.00	30.00	80.00	47.79
Julio	0.00	30.00	81.88	48.64
Agosto	3.14	34.00	84.56	51.90
Septiembre	14.95	30.80	90.94	55.61
Octubre	65.31	36.38	92.31	66.82
Noviembre	72.13	40.47	90.94	68.88
Diciembre	57.97	41.19	90.94	66.76

*Tabla 19 – Iluminación solar edificio 81.
Fuente: Elaboración propia.*

En esta edificación se puede ver una variación más notoria en los porcentajes de sombras obtenidos en los distintos meses, una diferencia entre verano e invierno.

Realizando la comparación entre el consumo energético y las sombras que inciden en la edificación, se pueden observar algunas similitudes, por ejemplo, en los meses de enero a febrero y de noviembre a diciembre, el consumo y la cantidad de sombras son similares, mientras uno va a la baja, el otro factor también lo hace.

También se puede notar que, desde el mes de abril al mes de septiembre las variables están relacionadas teniendo un comportamiento similar, esto se puede observar de manera grafica en la *ilustración 48*.

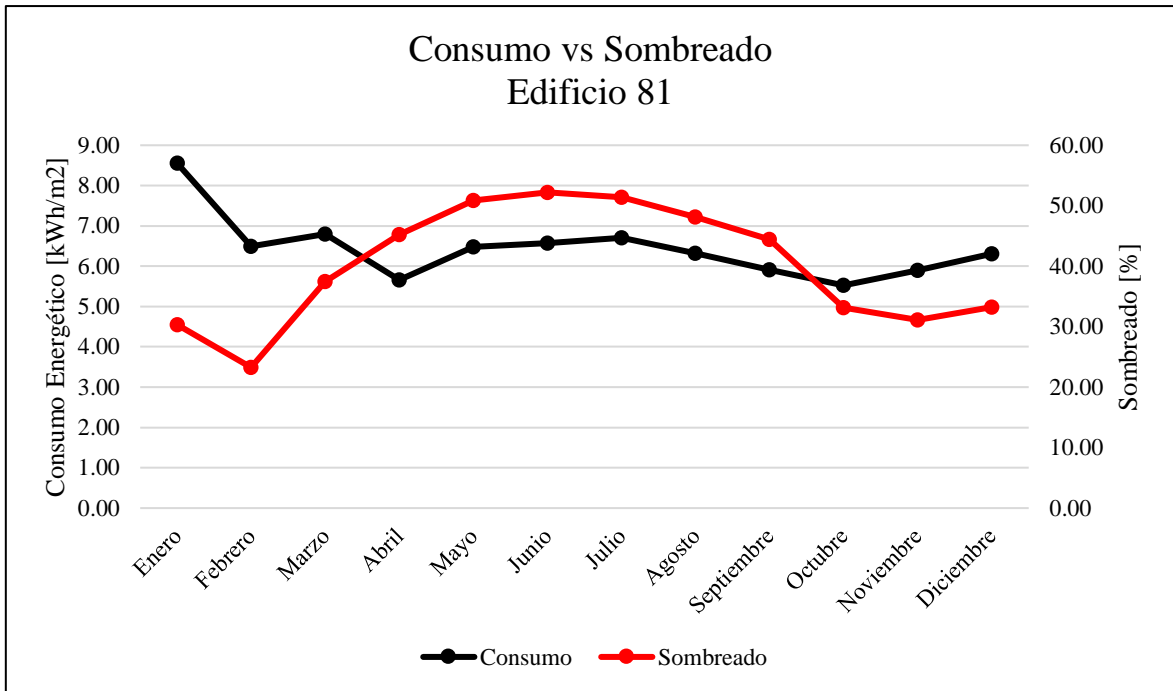


Ilustración 48 – Consumo versus sombreado edificio 81.
 Fuente: Elaboración propia.

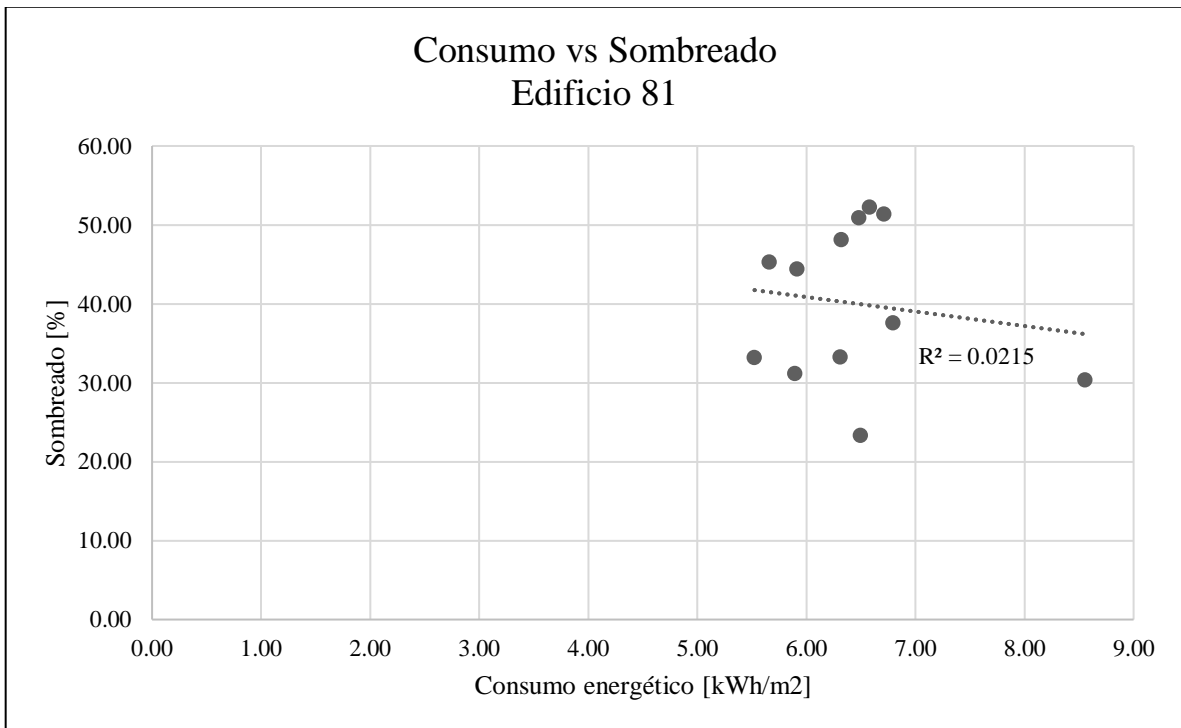
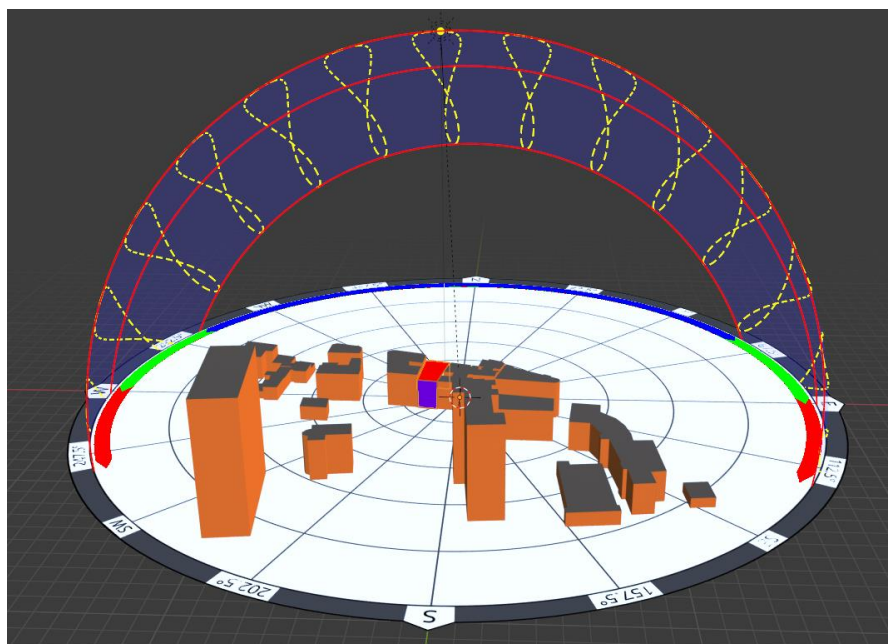


Ilustración 49 – Consumo versus sombreado edificio 81.
 Fuente: Elaboración propia.

4.1.8 Fondo Nacional de Salud (Id 85)

La estructura correspondiente al Id 85 pertenece a un establecimiento público del Ministerio de Salud y está comprendido por 3 partes en su envoltente, una superficie Sur, Norte y la cubierta, las cuales fueron sometidas a un análisis de iluminación ambiental.



*Ilustración 50 - Análisis de iluminación ambiental edificio 85.
Fuente: Elaboración propia.*

Los resultados obtenidos del análisis de la iluminación se muestran a continuación.

Iluminación Solar [%]				
	Sup. Sur	Sup. Norte	Cubierta	\bar{X} Ponderado
Enero	33.13	68.06	99.13	73.67
Febrero	17.56	72.75	85.25	65.05
Marzo	7.95	79.81	81.81	63.33
Abril	0.00	87.38	74.19	60.26
Mayo	0.00	99.69	79.75	66.54
Junio	0.00	100.00	80.00	66.75
Julio	0.00	100.00	80.00	66.75
Agosto	0.00	91.13	73.13	60.93
Septiembre	4.69	80.38	76.56	60.34
Octubre	18.19	72.75	81.81	63.65
Noviembre	27.27	66.00	90.63	67.77
Diciembre	35.50	63.63	97.44	72.12

*Tabla 20 - Iluminación Solar Edificio 85.
Fuente: Elaboración propia.*

De acá se puede observar que debido al posicionamiento del sol en los meses de verano en donde la radiación incide de una manera más directa, es que se produce una mayor cantidad de iluminación y por ende una menor cantidad de sombras, en contraste, en los meses de invierno el porcentaje de sombreado aumenta en las superficies estudiadas.

Ahora, realizando una comparación entre el consumo energético de la estructura y el sombreado que se tiene de forma mensual (*Ilustración 51*), se observa que, en los meses de verano, mientras la cantidad de sombras va en aumento, el consumo se reduce y viceversa. De la misma manera se puede notar que en los meses de mayo a julio el comportamiento de las sombras es constante, de igual forma que el consumo, este presenta variaciones pequeñas.

Por lo tanto, se podría decir que esta edificación en todo el periodo de estudio el cual comprende un año presenta una relación inversamente proporcional, siendo la primera en el estudio.

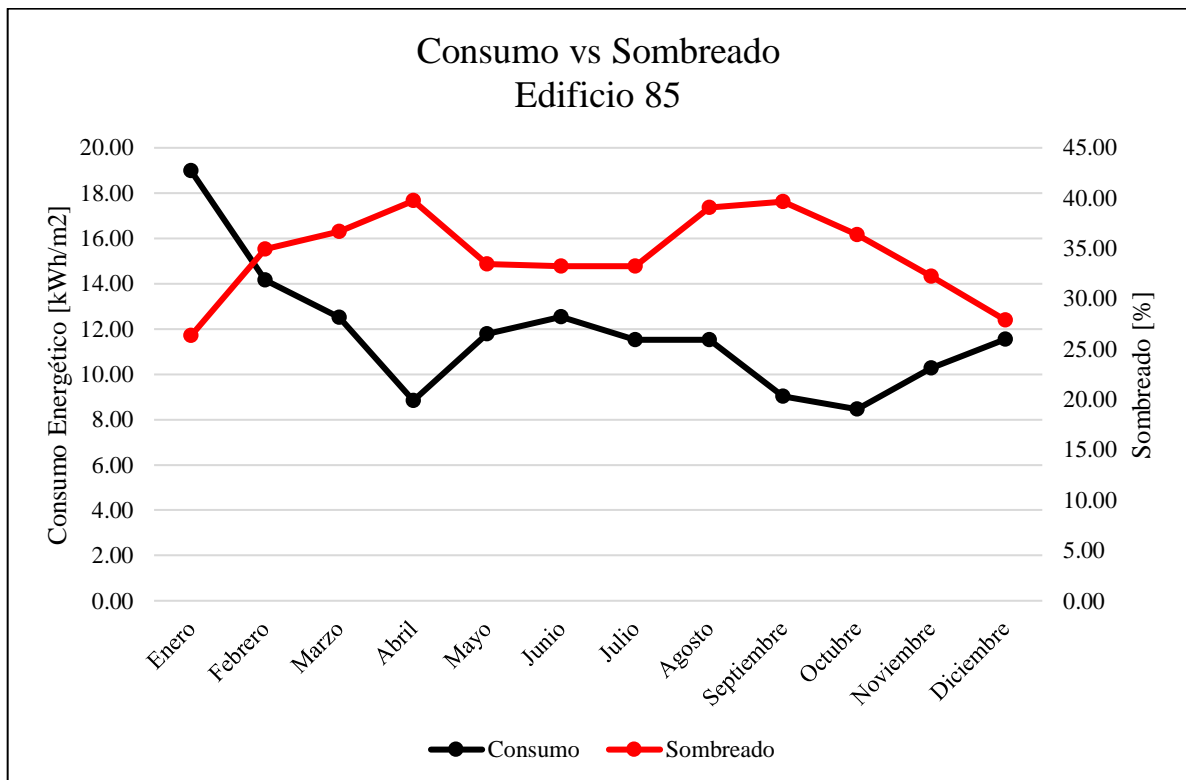


Ilustración 51 – Consumo versus sombreado edificio 85.
Fuente: Elaboración propia.

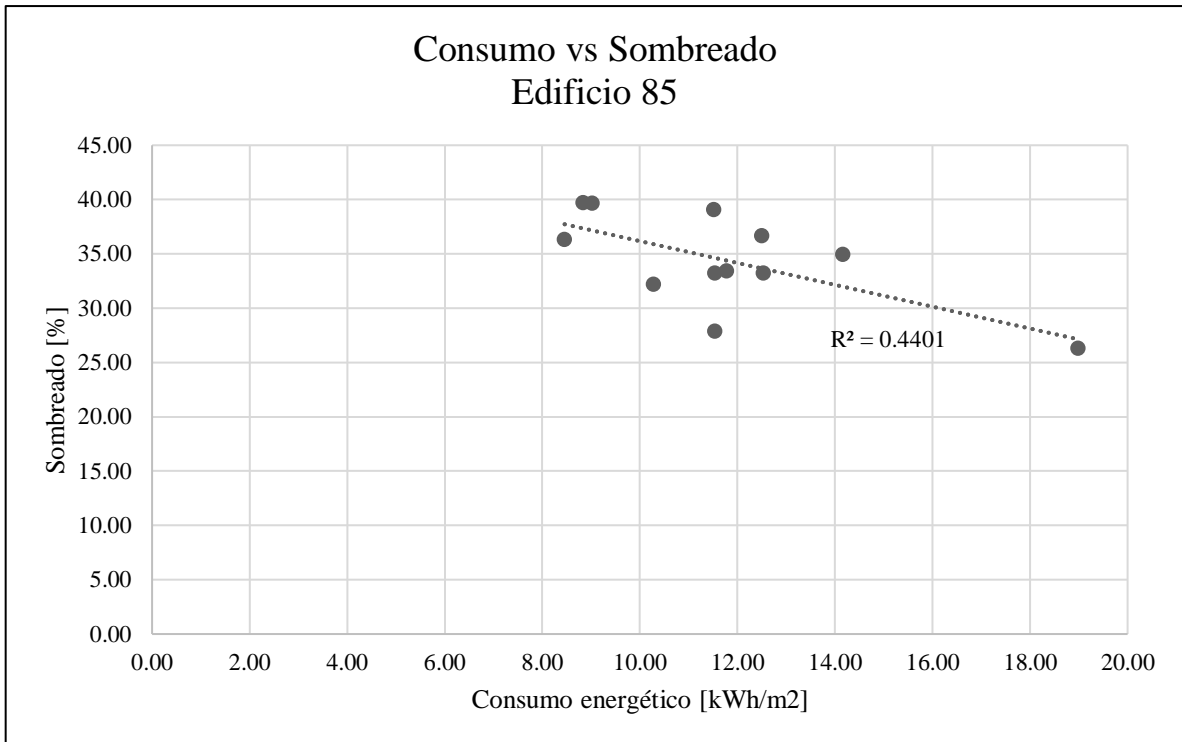
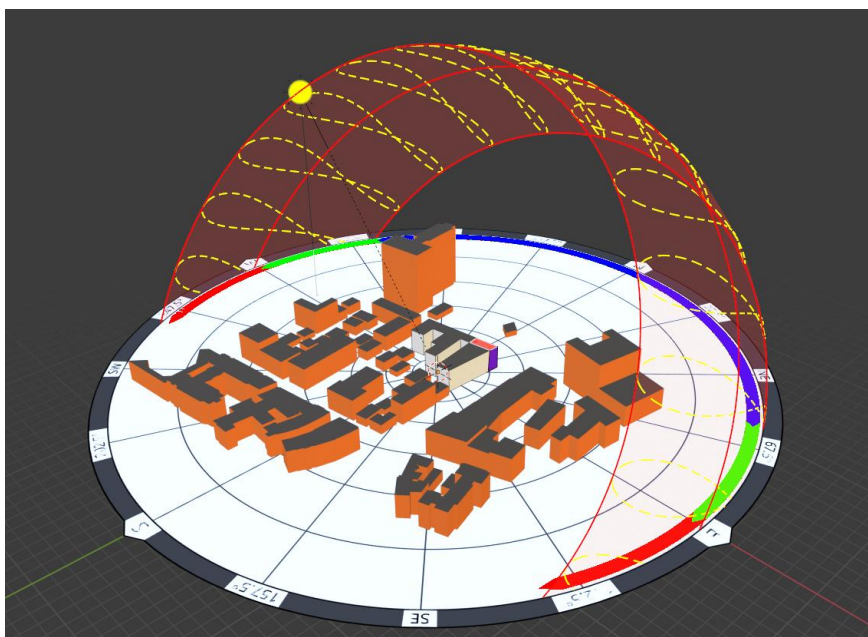


Ilustración 52 – Consumo versus sombreado edificio 85.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.9 Subsecretaría de Redes Asistenciales (Id 122)

La estructura correspondiente al Id 122 pertenece a un establecimiento público del Ministerio de Salud y está comprendido por 3 partes en su envolvente, una superficie Norte, Este y la cubierta, las cuales fueron sometidas a un análisis de iluminación ambiental.



*Ilustración 53 - Análisis de iluminación ambiental edificio 122.
Fuente: Elaboración propia.*

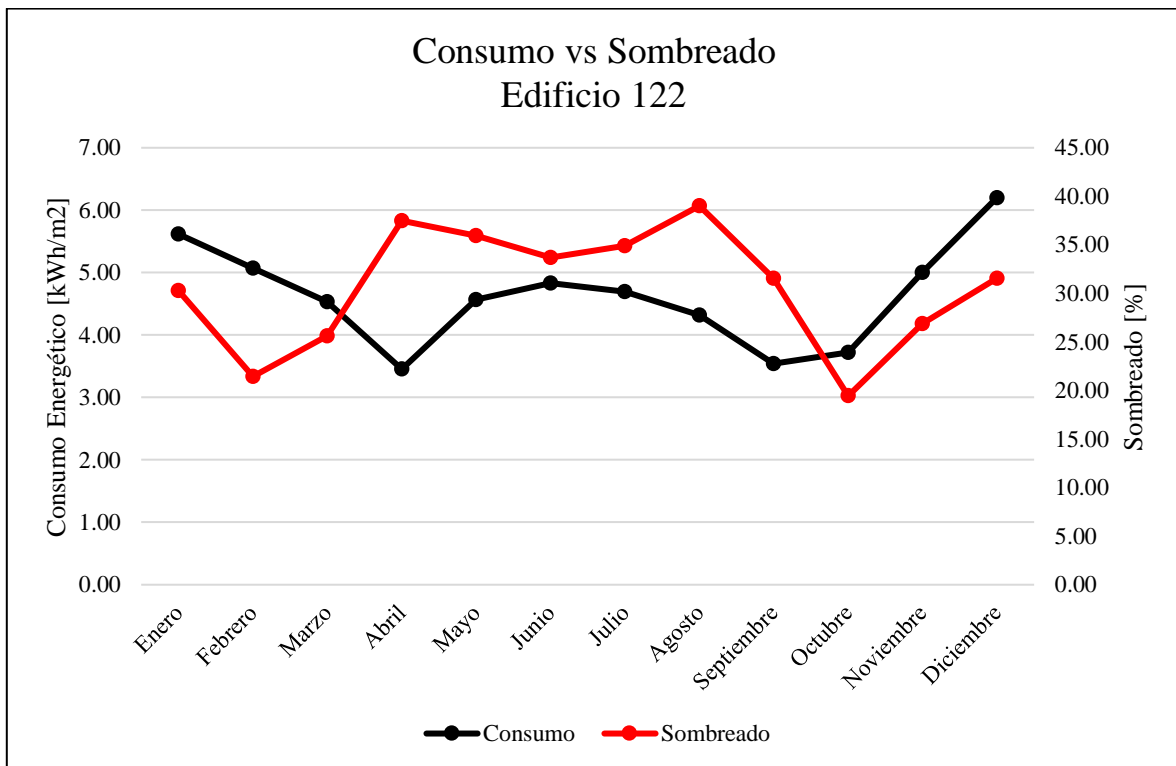
Los resultados obtenidos del análisis de la iluminación se muestran a continuación.

	Iluminación Solar [%]			
	Sup. Norte	Cubierta	Sup. Este	\bar{X} Ponderado
Enero	66.88	100.00	45.47	69.72
febrero	83.69	100.00	45.47	78.55
Marzo	79.00	94.88	43.47	74.39
Abril	72.75	74.75	27.27	62.49
Mayo	72.25	79.75	29.91	64.04
Junio	76.44	80.00	30.00	66.32
Julio	74.06	80.00	30.00	65.07
Agosto	70.56	73.13	27.42	60.99
Septiembre	76.25	83.31	36.06	68.44
Octubre	87.50	100.00	45.47	80.55
Noviembre	73.31	100.00	45.47	73.10
Diciembre	64.50	100.00	45.47	68.46

*Tabla 21 - Iluminación Solar Edificio 122.
Fuente: Elaboración propia.*

De la misma forma que las edificaciones anteriores, se puede observar que en los meses de verano es donde la radiación incide de una manera más directa, lo que produce una mayor cantidad de iluminación y por ende una menor cantidad de sombras, en contraste, en los meses de invierno el porcentaje de sombreado aumenta en las superficies estudiadas.

Realizando la comparación entre el consumo y la cantidad de sombras, se obtiene que para los meses comprendidos desde octubre a diciembre se tiene una relación directamente proporcional, pero para los meses entre abril a agosto la relación es inversamente proporcional, esto se puede observar en la *ilustración 54*.



*Ilustración 54 – Consumo versus sombreado edificio 122.
Fuente: Elaboración propia.*

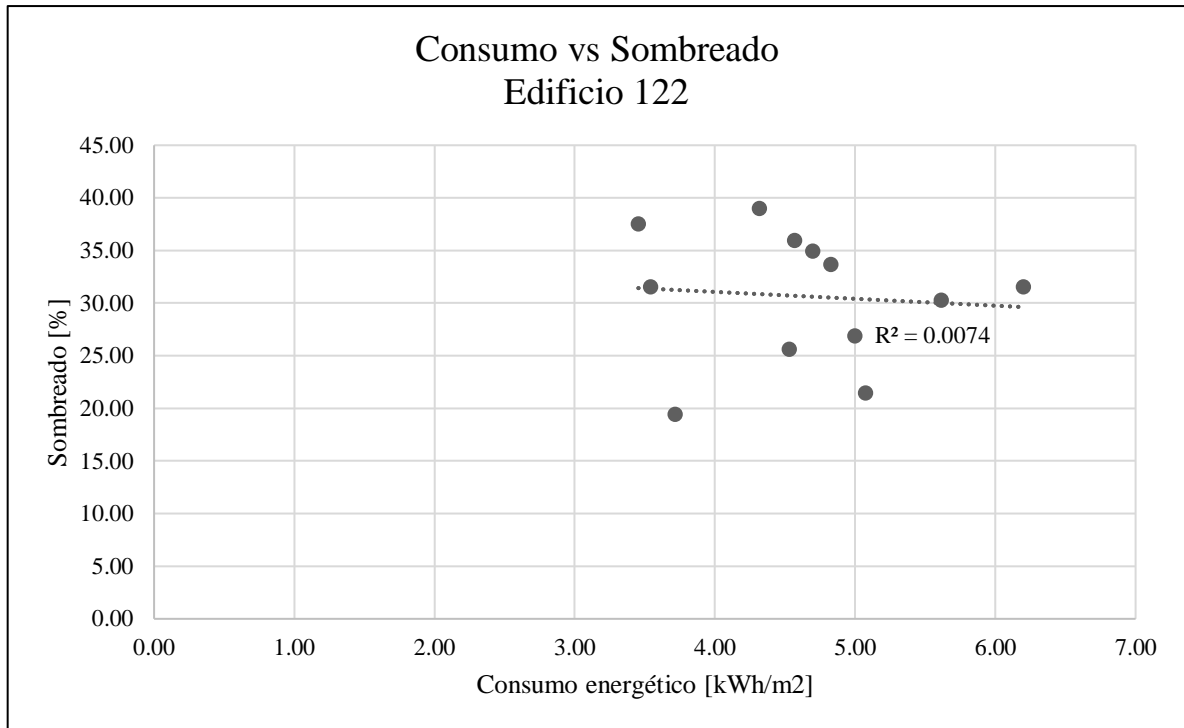


Ilustración 55 – Consumo versus sombreado edificio 122.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.10 Serv. Nal. para Prevención y Rehabilitación Consumo de Drogas y Alcohol (Id 152)

La estructura correspondiente al Id 152 pertenece a un establecimiento público del Ministerio del Interior y Seguridad pública y cuenta con 9 superficies a analizar en sus 4 orientaciones.

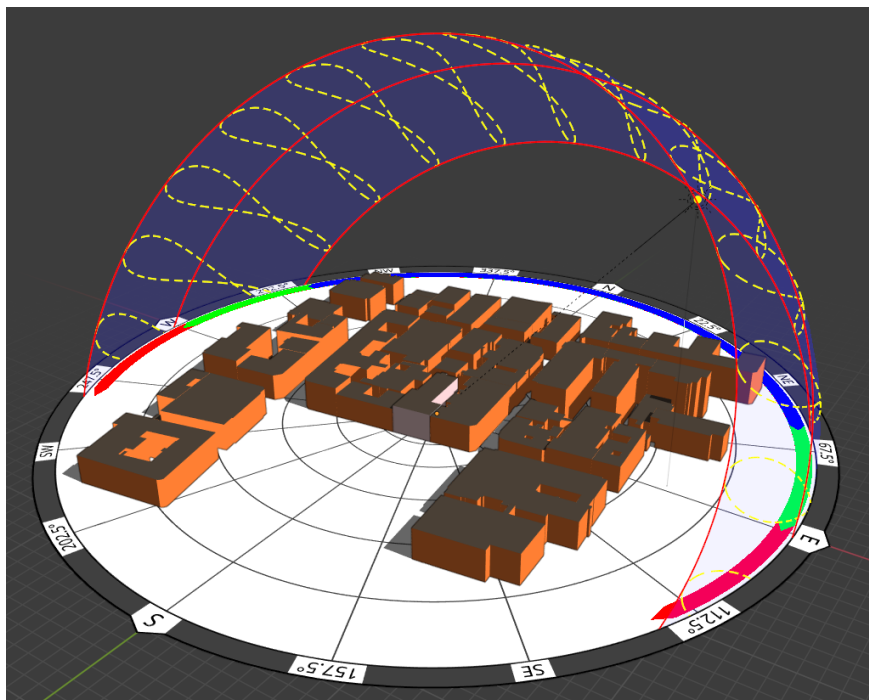


Ilustración 56 - Análisis de iluminación ambiental edificio 152.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos del análisis de la iluminación se muestran a continuación.

	Iluminación Solar [%]				
	Sur	Este	Norte 2	Norte 3	Norte 4
Enero	32.56	24.64	46.63	68.94	44.28
febrero	16.61	27.27	58.63	76.81	37.00
Marzo	4.26	27.27	64.75	65.63	45.47
Abril	0.00	23.45	29.03	2.93	19.64
Mayo	0.00	21.50	11.22	0.00	0.00
Junio	0.00	20.00	10.00	0.00	0.00
Julio	0.00	22.19	10.00	0.00	0.00
Agosto	0.00	26.86	15.71	0.00	6.00
Septiembre	0.00	18.19	56.59	34.91	42.81
Octubre	9.09	26.42	60.22	72.75	45.47
Noviembre	27.56	27.27	50.72	69.19	44.00
Diciembre	42.91	27.27	40.06	58.81	36.38

Tabla 22 - Iluminación Solar Edificio 152 (1).

Fuente: Elaboración propia.

Iluminación Solar [%]					
	Oeste	Norte 5	Cubierta	Norte 1	\bar{X} Ponderado
Enero	15.25	34.59	100.00	0.00	49.65
febrero	9.09	28.53	100.00	0.00	47.32
Marzo	9.09	27.27	100.00	0.00	45.55
Abril	13.78	27.27	95.88	0.00	39.75
Mayo	15.89	21.50	89.75	0.00	36.30
Junio	10.00	12.58	90.00	0.00	34.87
Julio	10.00	21.56	90.00	0.00	35.54
Agosto	10.00	27.42	90.56	0.00	37.26
Septiembre	18.19	27.27	100.00	0.00	43.15
Octubre	18.19	34.09	100.00	0.00	47.63
Noviembre	18.19	36.38	100.00	0.00	50.15
Diciembre	18.19	34.66	100.00	0.00	51.60

Tabla 23 - Iluminación Solar Edificio 152 (2).

Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento de las sombras es similar a todas las demás edificaciones en estudio y al realizar la comparación entre el consumo energético y la cantidad de sombras incidentes en la estructura se obtiene unas curvas directamente proporcionales, ambas variables aumentan y disminuyen a la vez, eso se puede observar en la siguiente ilustración.

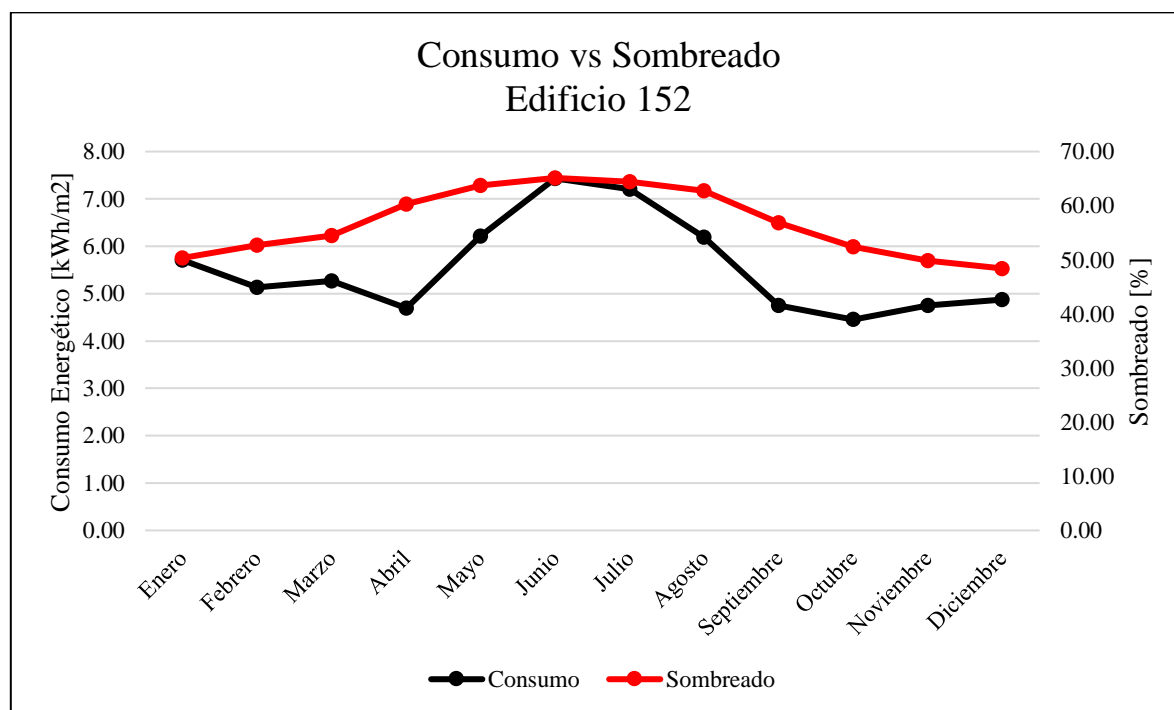


Ilustración 57 – Consumo versus sombreado edificio 152.

Fuente: Elaboración propia.

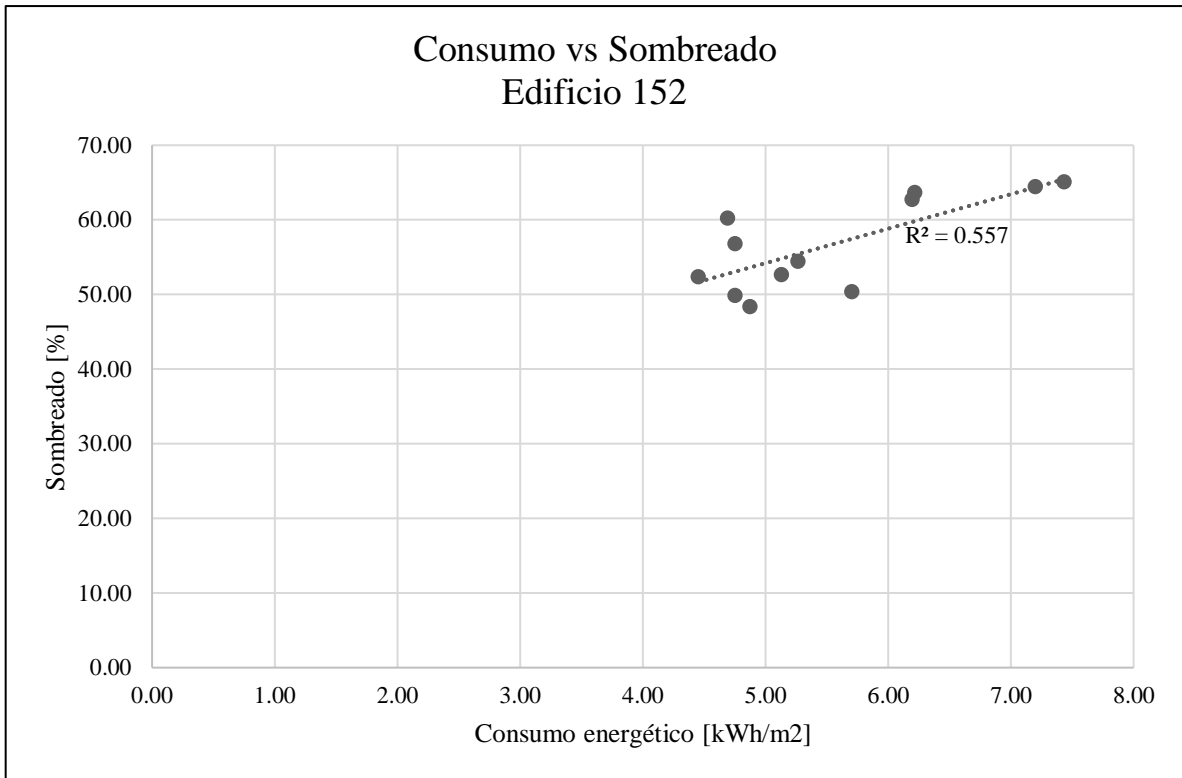
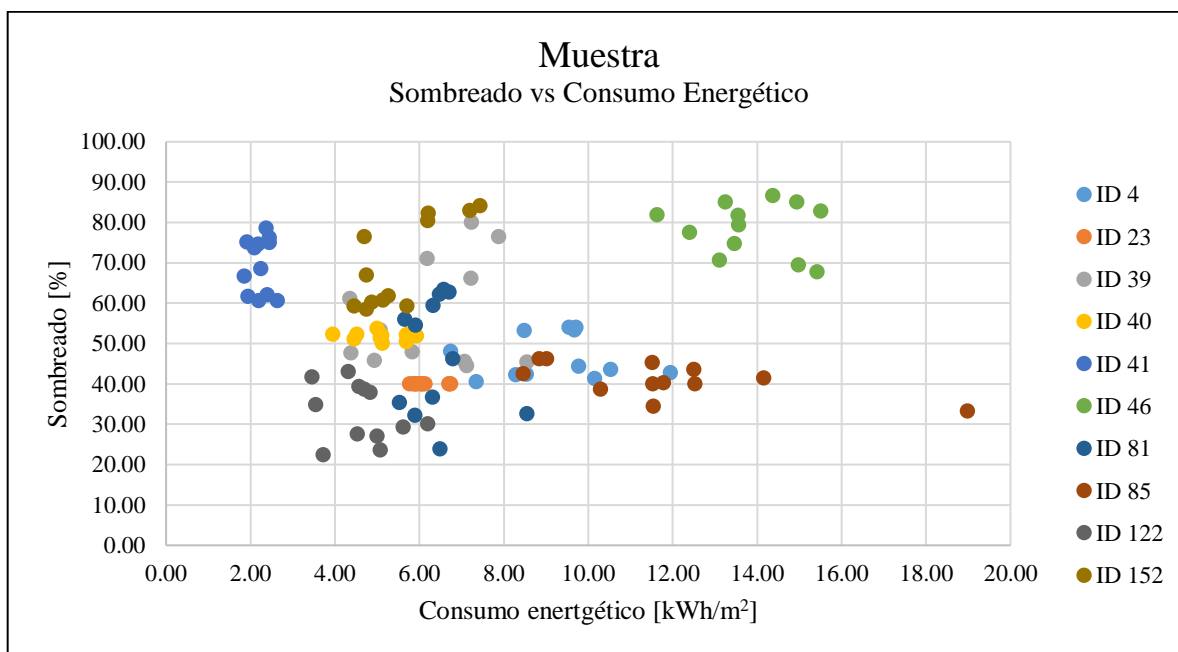


Ilustración 58 – Consumo versus sombreado edificio 152.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.11 Análisis de la muestra

Una vez obtenido todos los resultados de las 10 edificaciones en estudio se puede realizar un análisis general con un gráfico de dispersión entre el consumo energético (eje x) y el % de sombreado (eje y) el cual se muestra a continuación.



*Ilustración 59 – Gráfico de dispersión consumo energético vs sombreado.
Fuente: Elaboración propia.*

De este gráfico se observa que no hay una relación entre las variables, sin un patrón definido o alguna línea de tendencia significativa. Adicionalmente, el valor de R^2 está muy por debajo de 1, lo que indicaría una pobre explicación de la varianza observada mediante relaciones lineales.

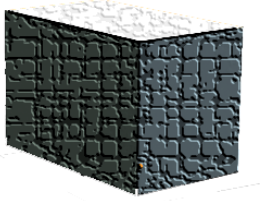


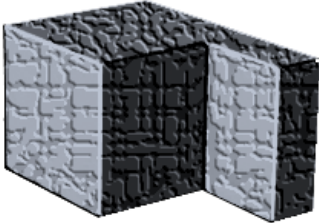
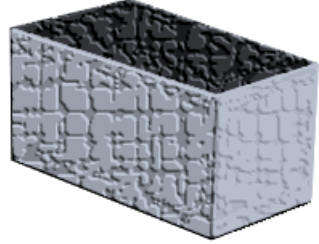
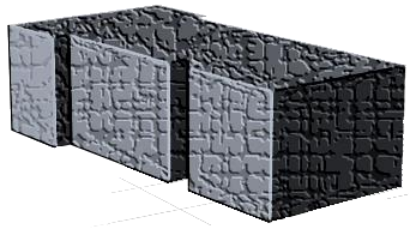
4.2 Factor forma

El Factor Forma de cada edificación se calculó mediante la relación de la superficie de la envolvente en su totalidad (muros, losas y cubiertas) y el volumen comprendido por éste. Para el caso particular de esta memoria de tesis se decidió obtener dos Factores Forma (FF), el factor forma de la edificación (FF_{ed}) y el factor forma de la habitación (FF_{hab}).

El factor forma de la edificación (FF_{ed}) como lo dice su nombre está comprendido por la estructura completa, independientemente de cuantos departamentos, recintos o habitaciones contenga. Por otro lado, el factor forma de la habitación (FF_{hab}) está comprendido solo por la superficie entregada en la base de datos del Centro Tecnológico Kipus de la facultad de ingeniería de la Universidad de Talca, considerando la forma de éste excluyendo los muros adiabáticos, con una altura obtenida de la

multiplicación del número de pisos por una altura promedio de 3.4 metros para así conseguir su volumen.

4.2.1 Factor Forma de la Edificación

ID 4	ID 23
	
FF_{ed} = 0.40	FF_{ed} = 0.14
ID 39	ID 40
	
FF_{ed} = 0.24	FF_{ed} = 0.34
ID 41	ID 46
	
FF_{ed} = 0.34	FF_{ed} = 0.26

*Tabla 24 – Factor Forma de la edificación (1).
Fuente: Elaboración propia.*

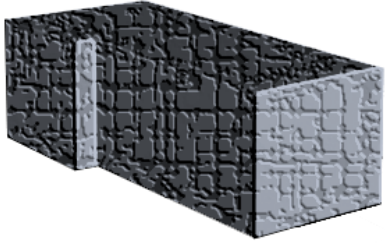


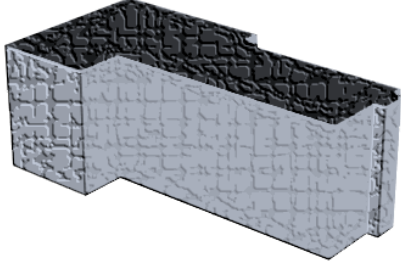
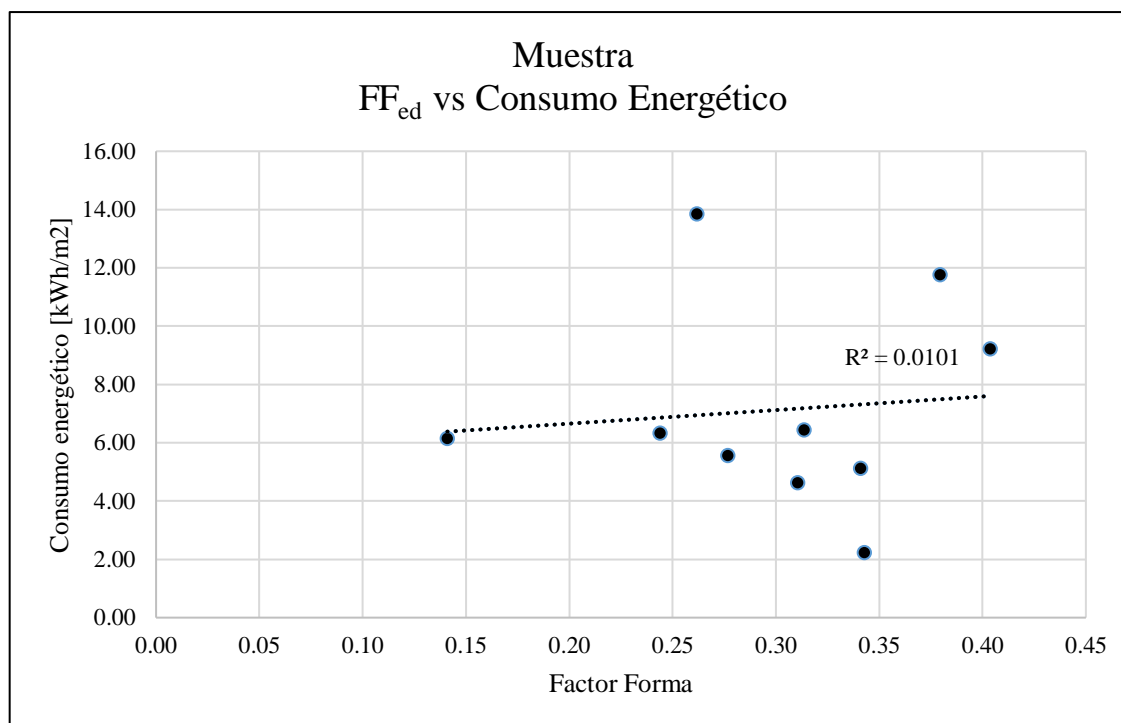
ID 81	ID 85
	
FF_{ed} = 0.31	FF_{ed} = 0.38
ID 122	ID 152
	
FF_{ed} = 0.31	FF_{ed} = 0.28

Tabla 36 – Factor Forma de la edificación (2).
Fuente: *Elaboración propia.*

Una vez obtenidos los resultados de cada edificación se compara con el consumo energético promedio anual para ver la relación que existe entre estas variables, para ver esto de forma visual se realizó un gráfico de dispersión entre el factor forma (eje x) y el consumo de la estructura (eje y), este se muestra en la *ilustración 60*.

De la gráfica se puede observar que los datos están dispersos, no se muestra una relación evidente, a pesar de tener un indicador del factor forma parecido el consumo no lo es, de igual forma el consumo, si éste es similar existe una variación en el factor forma.



*Ilustración 60 – Gráfico de dispersión FF_{ed} vs consumo energético.
Fuente: Elaboración propia.*

4.2.2 Factor Forma de la Habitación

El FF_{hab} se muestra en la siguiente tabla.

ID	Sup. Base m ²	Nº Pisos	Altura piso m	Sup. Envolvente m ²	Vol. m ³	FF _{hab}
4	1500.00	3	3.4	1161.38	15300.00	0.08
23	441.60	1	3.4	2145.62	1501.44	1.43
39	198.00	1	3.4	940.02	673.20	1.40
40	4340.00	9	3.4	3551.45	132804.00	0.03
41	14000.00	1	3.4	627.09	47600.00	0.01
46	1058.00	1	3.4	1656.27	3597.20	0.46
81	1518.00	2	3.4	1115.22	10322.40	0.11
85	210.00	1	3.4	395.90	714.00	0.55
122	205.00	1	3.4	227.68	697.00	0.33
152	903.00	1	3.4	1287.57	3070.20	0.42

*Tabla 25 – Factor Forma de la habitación.
Fuente: Elaboración propia.*

Ahora, realizando la comparación del FF_{hab} con el consumo energético promedio anual se obtiene la siguiente gráfica. Como se puede observar el coeficiente de determinación (R^2) es cercano a 0, indicando una pobre explicación de la varianza observada para la relación lineal.

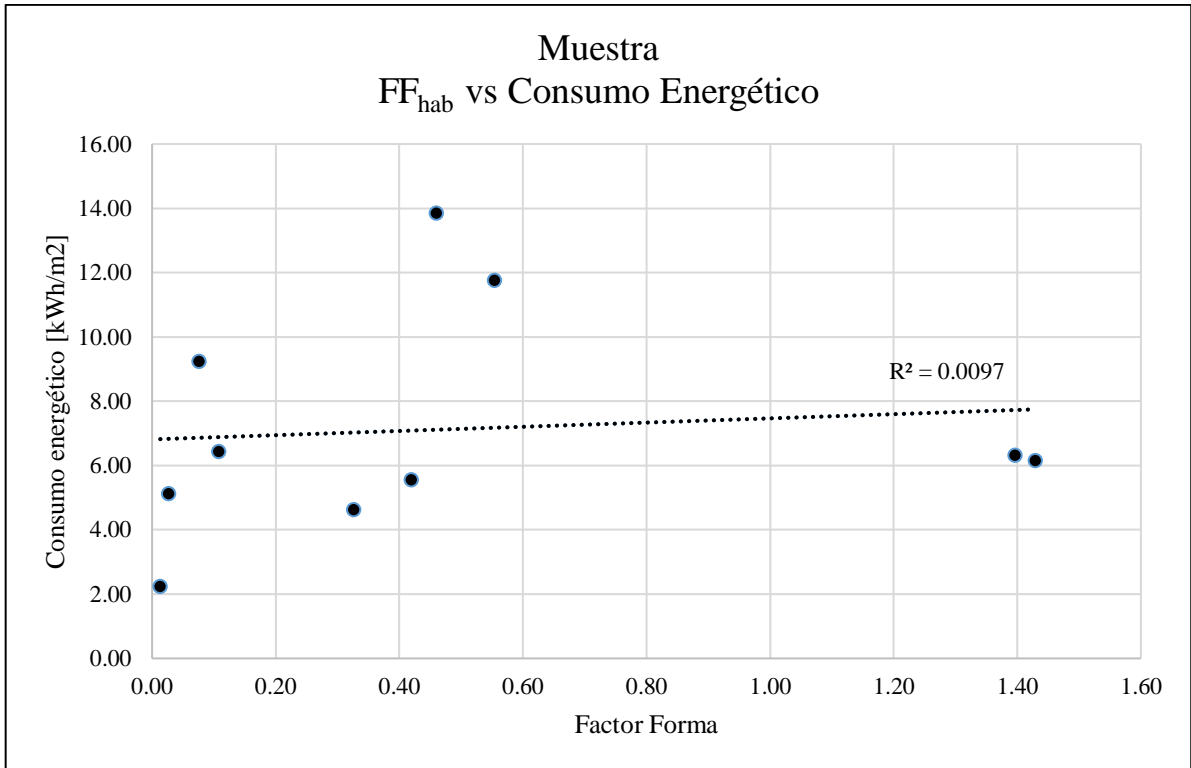


Ilustración 61 – Gráfico de dispersión FF_{hab} vs consumo energético.
Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V: CONCLUSIÓN

La presente memoria buscó analizar la iluminación ambiental de los edificios públicos como posible variable explicativa del consumo energético entre edificaciones cercanas. Debido a esto se establecieron dos hipótesis, la primera de ellas referida a que el consumo energético producido por la edificación en estudio es proporcional a la cantidad de sombras que inciden sobre la envolvente, mientras que la segunda se enfoca en el Factor Forma de la estructura, y su relación proporcional con el consumo energético.

Los resultados obtenidos respecto del análisis de sombras ambientales sobre la envolvente demuestran que no existe una relación significativa entre el consumo y el sombreado, ni de forma directa o inversa. De las 10 edificaciones estudiadas solo dos presentaron relaciones con un R^2 superior a 0.4 (edificio 85 y edificio 152), de los cuales solo uno presentó una relación inversa entre consumo energético y porcentaje de sombras (Edificio 85; $R^2 = 0.44$). Por otro lado, el edificio 152 tuvo un $R^2 = 0.55$, presentado una relación proporcional entre el consumo energético y el porcentaje de sombras. Los 8 edificios restantes presentan relaciones variadas, con coeficientes de determinación cercanos a cero. Lo anterior se puede observar la *ilustración 59* sobre la dispersión de toda la muestra, dejando en claro la irregularidad que presentan los resultados. De esta forma se concluye que las sombras ambientales no son influyentes o determinantes en el consumo energético de una edificación.

Por otro lado, enfocándonos en la segunda hipótesis, los resultados obtenidos sobre el Factor Forma demuestran que no hay una correlación entre el FF y el consumo energético para la muestra estudiada (*ilustración 60 y 61*). Entonces, se establece que los resultados obtenidos sobre el Factor Forma en sus dos variantes no inciden en el consumo energético que tiene la estructura.

Finalmente, según los resultados obtenidos, se determina que tanto las sombras ambientales como el Factor Forma no explican esta drástica variación que existe en los edificios públicos ubicados en la comuna de Santiago de la Región Metropolitana. Sin embargo, se recomienda estudiar la morfología de la construcción y combinarlo con la iluminación ambiental para poder conocer o dar con el factor que genera esta situación.

Realizar otros supuestos y estudios, ya que como se estableció en el desarrollo de la memoria las características tanto de la geometría como de la envolvente son fundamentales, por lo que, dependiendo del porcentaje de vanos que contenga la envolvente, el material utilizado y sumado a la iluminación ambiental, una fachada liviana con un alto porcentaje de vanos podría presentar un pésimo desempeño energético y, por el contrario, fachadas compuestas de muros con una cantidad de vanos baja podría presentar un mejor desempeño energético.

BIBLIOGRAFÍA

- BBVA. (2022). *¿Qué es la eficiencia energética y como se calcula?* <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-eficiencia-energetica-y-como-se-calcula/>
- Blender (2022). *Manual*. <https://www.blender.org/>
- Calificación Energética (2021). *CEV*. <https://www.calificacionenergetica.cl/que-evalua-la-calificacion-energetica-de-viviendas/>
- CChC (2019). *El sector de la construcción ante el Desafío Climático Global*.
- Certificación de edificio sustentable (2014). *Manual: Evaluación y Calificación*. (versión 1).
- Certificación de vivienda sustentable (2021). *Manual de aplicación de la certificación vivienda sustentable*. (Versión oficial 2021).
- Community, B. O. (2018). *Blender - a 3D modelling and rendering package*. Stichting Blender Foundation, Amsterdam. Retrieved. <http://www.blender.org>
- Construye2025 (2019). *Escombros en la construcción*. <https://construye2025.cl/2019/11/05/escombros-de-la-construccion-llenarian-15-veces-el-estadio-nacional-para-2025-que-hacemos-para-evitarlo/>
- CPI Consejo Políticas de Infraestructura (2018). *Industria de la construcción en Chile: ¿Por qué es el “termómetro” de la economía?* <https://www.infraestructurapublica.cl/industria-de-la-construccion-en-chile-por-que-es-el-termometro-de-la-economia/>
- Dr. Ryan Southall (2017). *Simulations and Visualisations whit the VI-Suite*
- CBG Chile Green Building Council (2022). *Zona certificaciones*. <https://www.chilegbc.cl/index.php?sec=proyectos-lead#:~:text=Generalidades,estrategias%20y%20pr%C3%A1cticas%20de%20construcci%C3%B3n>.
- IDEAM (2022). Características de la radiación solar. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar#:~:text=De%20la%20radiaci%C3%B3n%20emitida%20por,400%20y%20los%20700%20nan%C3%B3metros>.
- Kibert, Charles (1994 et al.) CIB-TG16, First International Conference on Sustainable Construction, Florida.
- Lorena Ibarguen et al (2017). Indicadores de desempeño energético: Una ruta hacia la sustentabilidad. *DYNA Ingeniería e Industria*. 184-191
- Manual CEV (2019). *Manual de procedimientos calificación energética de viviendas en Chile*. Versión enero 2019.

- Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos MDPEEP (2012). *Evaluación de Estrategias de Diseño Constructivo y de Estándares de Calidad Ambiental y Uso Eficiente de Energía en Edificaciones Públicas, Mediante Monitorización de Edificios Construidos*
- Ministerio de energía (2022). *Edificación*. <https://energia.gob.cl/edificacion>
- Ministerio de energía (2022). *Eficiencia energética*. <https://energia.gob.cl/panel/eficiencia-energetica>
- Ministerio de energía (2018). *Eficiencia energética en edificios Públicos*.
- MINVU (2022). *Construcción sustentable*. <https://csustentable.minvu.gob.cl/>
- OutsideTechLight (2022). *Proyectos de iluminación. Estudio de los parámetros normativos y lumínicos*. <https://outsidebcn.com/proyectos-de-iluminacion-estudio-de-los-parametros-normativos-y-luminicos/>
- RSS Responsabilidad Social Empresarial y Sustentabilidad (2022). *Sustentabilidad: qué es, definición, concepto, principios y tipos*. https://responsabilidadesocial.net/sustentabilidad-que-es-definicion-concepto-principios-y-tipos/?amp#Concepto_de_Sustentabilidad
- Ryan Southall & Filip Biljecki (2017). *The VI-Suite: a set of environmental analysis tools with geospatial data applications*. <https://link.springer.com/article/10.1186/s40965-017-0036-1>
- Solminihac (2022). *Industria de la construcción en Chile; ¿Por qué es el “termómetro” de la economía?* <https://www.claseejecutiva.uc.cl/blog/articulos/industria-de-la-construccion-en-chile-por-que-es-el-termometro-de-la-economia/>
- United States Green Building Council - USGBC (2022). <https://www.usgbc.org/leed>
- Vásquez, Claudio, Encinas, Felipe, & D'Alençon, Renato. (2015). *Edificios de oficinas en Santiago: ¿Qué estamos haciendo desde el punto de vista del consumo energético? ARQ (Santiago)*, (89), 50-61. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962015000100008>