

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Análisis de la implementación de Net Zero en un edificio comercial en zona
15 de Ciudad de Guatemala

Trabajo de graduación presentado por Javier Andrés Patal López para optar al
grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala,

2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



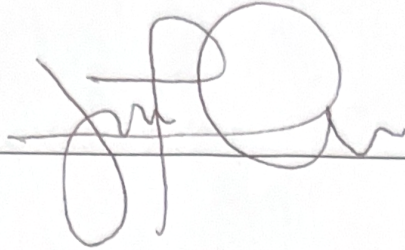
Análisis de la implementación de Net Zero en un edificio comercial en zona
15 de Ciudad de Guatemala

Trabajo de graduación presentado por Javier Andrés Patal López para optar al
grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala,

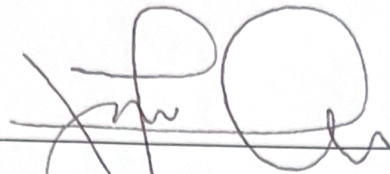
2024

V.° B.°

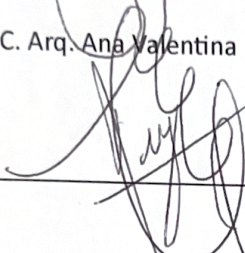


MSC. Arq. Ana Valentina Leal Ordoñez

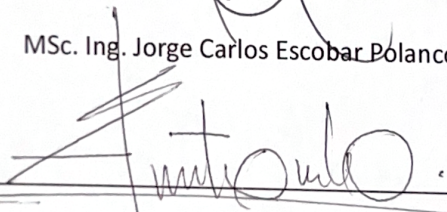
Tribunal examinador:



MSC. Arq. Ana Valentina Leal Ordoñez



MSc. Ing. Jorge Carlos Escobar Polanco



MSc. Ing. Danilo Antonio Rodríguez Cerón

Fecha de aprobación del examen de graduación:

Guatemala, 10 de enero de 2025

Prefacio

La presente tesis titulada "Análisis de la implementación de Net Zero en un edificio comercial en zona 15 de Ciudad de Guatemala" es el resultado de un arduo trabajo de investigación y análisis en el ámbito de la sostenibilidad y eficiencia energética aplicada a la edificación. Este estudio nace de la inquietud por contribuir al desarrollo de construcciones más responsables con el medio ambiente, en un contexto donde la reducción del consumo energético y la optimización de los recursos se han convertido en prioridades globales.

A lo largo de este proceso, enfrenté diversos desafíos técnicos y metodológicos que enriquecieron mi conocimiento y reafirmaron mi compromiso con la ingeniería civil. La integración de estrategias para alcanzar un consumo energético neto cero en edificaciones comerciales representa no solo un reto académico, sino también una oportunidad para impulsar el cambio en la industria de la construcción en Guatemala.

Este trabajo no habría sido posible sin el apoyo y guía de mi asesora, Valentina Leal, cuyo conocimiento y experiencia fueron de gran ayuda para estructurar y desarrollar la investigación. Además, agradezco su paciencia en todos los momentos en que me abocaba a ella. Asimismo, agradezco a mi familia y amigos por su constante motivación y apoyo incondicional, quienes, con su confianza y palabras de aliento, me acompañaron en cada etapa de este camino.

Espero que esta investigación sirva como referencia para futuros estudios en la implementación de edificaciones sostenibles y que inspire a otros a seguir explorando soluciones innovadoras en pro de un futuro más sustentable.

Prefacio	iii
Índice general	i
Índice cuadros	iii
Índice figuras.....	iv
Resumen.....	vi
Abstract	vi
Introducción	1
Justificación.....	3
Objetivos	5
A. Objetivo general	5
B. Objetivos específicos	5
Marco teórico	6
A. Conceptos fundamentales	6
1. Net Zero	6
2. Net Zero <i>Energy Buildings</i> (edificios de energía neto cero).....	9
3. Iluminación sostenible	11
4. Zona 15 de la Ciudad de Guatemala como estudio de caso.....	13
B. Fundamentos de iluminación eficiente	16
1. Tipos de iluminación	16
2. Normativas y estándares de iluminación	18
C. Estrategias para alcanzar el Net Zero en iluminación	21
1. Diseño de iluminación eficiente	21
D. Casos de éxito	23
1. Edificios Net Zero en el mundo	23
2. Estudios de casos relevantes en Guatemala	24
Metodología	27
A. Etapa 1 – Recopilación de datos	27
B. Etapa 2 – Implementación	27
C. Etapa 3 – Análisis de datos y resultados	28

D. Etapa 4 – Discusión / examen crítico	28
Resultados y discusión	29
Conclusiones	60
Recomendaciones.....	62
Bibliografía	64
Anexos.....	69

Índice cuadros

Cuadro 1: Metros cuadrados por nivel del C.C Plaza Videre	31
Cuadro 2: Condiciones de luz natural esperadas para diferentes rangos de puntuaciones VSC	41
Cuadro 3: Resumen de transmitancia térmica de los materiales de fachada de Plaza Videre.	56

Índice figuras

Figura 1: Mapa de Zona 15 Ciudad de Guatemala	14
Figura 2: Ubicación geográfica del Centro Comercial Plaza Videre	15
Figura 3: Horas solares de la Ciudad de Guatemala	16
Figura 4: C.C. Plaza Videre - Fachada Boulevard / 19 Avenida	30
Figura 5: C.C. Plaza Videre - Fachada 19 Avenida A	30
Figura 6: Atrio principal de C.C. Plaza Videre	31
Figura 7: Modelo del C.C. Plaza Videre realizado con el software FORMA – Fachada Boulevard / 19 Avenida	32
Figura 8: Modelo del C.C. Plaza Videre realizado con el software FORMA – Fachada 19 Avenida A	32
Figura 9: Análisis Sun hours realizado en el mes de abril - Vista fachada Boulevard / 19 Avenida	34
Figura 10: Cantidad de horas de sol sobre fachada en el mes de abril - Vista fachada Boulevard / 19 Avenida	34
Figura 11: Análisis Sun hours realizado en el mes de abril - vista fachada 19 Avenida A	35
Figura 12: Cantidad de horas de sol sobre fachada en el mes de abril - vista fachada 19 Avenida A	35
Figura 13: Nivel 3 - Asignado para área de restaurantes	36
Figura 14: Análisis Sun hours realizado en el mes de abril - atrio principal	36
Figura 15: Análisis Sun hours realizado en el mes de diciembre - vista fachada Boulevard / 19 Avenida	37
Figura 16: Cantidad de horas de sol sobre fachada en el mes de diciembre - vista fachada Boulevard / 19 Avenida	37
Figura 17: Análisis Sun hours realizado en el mes de diciembre - vista fachada 19 Avenida A	38
Figura 18: Cantidad de horas de sol sobre fachada en el mes de diciembre - vista fachada 19 Avenida A	39
Figura 19: Análisis Sun hours realizado en el mes de diciembre - atrio principal	39
Figura 20: Análisis daylight potential - fachada Boulevard / 19 Avenida	40
Figura 21: Porcentaje de iluminación sobre la fachada boulevard / 19 Avenida	40
Figura 22: Análisis daylight potential - fachada 19 Avenida A	41
Figura 23: Porcentaje de iluminación sobre la fachada 19 Avenida A	42
Figura 24: Diseño de ventana considerado para el nivel 5	42
Figura 25: Porcentaje de iluminación sobre atrio principal	43
Figura 26: Análisis solar energy sobre la azotea y losa deprimida - Boulevard / 19 Avenida .	44
Figura 27: Energía solar promedio sobre Boulevard / 19 Avenida	44
Figura 28: Análisis solar energy sobre la azotea y losa deprimida - 19 Avenida A	45
Figura 29: Energía solar promedio sobre 19 Avenida A	45
Figura 30: Reporte BEPU caso propuesto	46
Figura 31: Diseño original del C.C. Plaza Videre	47

Figura 32: Área asignada para paneles solares en azotea de nivel 6	48
Figura 33: Fotografía en campo del área asignada para paneles solares en azotea de nivel 6	48
Figura 34: Plano de terraza en nivel 4 - área asignada para paneles solares.....	50
Figura 35: Fotografía en campo de terraza de nivel 4	50
Figura 36: Plano de losa deprimidas en nivel 3 - área asignada para paneles solares	51
Figura 37: Plano de techo metálico de gimnasio en nivel 5 - área asignada para paneles solares	51
Figura 38: Cotización realizada por 176 módulos	53
Figura 39: Plano - Diagrama Unifilar del C.C. Plaza Videre	69
Figura 40: Información general original de los 176 módulos solares	70
Figura 41: Ficha informativa del panel solar a utilizar en C.C. Plaza Videre	70
Figura 42: Comparativo de paneles realizados para el C.C. Plaza Videre	71
Figura 43: Plano de ventanearía donde se indica el tipo de vidrio utilizado en niveles 1, 2 y 3	71
Figura 44: Plano de ventanearía donde se indica el tipo de vidrio utilizado en niveles 4 y 5..	72
Figura 45: Diagrama de los materiales utilizados en las capas de STO	72
Figura 46: Vista de fachada desde apartamentos Baden y Hessen	73
Figura 47: Vista de fachada desde apartamentos Gaura.....	74
Figura 48: Render C.C. Plaza Videre - Vista 19 Avenida / boulevard Vista Hermosa	74

Resumen

La presente tesis titulada "Análisis de la implementación de Net Zero en un edificio comercial en zona 15 de Ciudad de Guatemala", que aborda el desafío de reducir el consumo neto de energía en la iluminación en el Centro Comercial Plaza Videre ubicado en la zona 15 de la Ciudad de Guatemala. La tesis se enfoca en el concepto de "Net Zero", que implica equilibrar la cantidad de energía consumida con la cantidad de energía producida de manera renovable en un sistema cerrado. En este caso, el objetivo es lograr un consumo neto nulo de energía en el ámbito lumínico de un edificio, contribuyendo así a la sostenibilidad energética y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

El logro de Net Zero en la iluminación emerge como una prioridad imperante en la era de la sostenibilidad. La eficiencia energética en la iluminación se consolida como un componente esencial para reducir la demanda de energía y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, alineándose con los objetivos globales de cambio climático. Es importante lograr hacer esta transición en el ámbito de la construcción, ya que se desarrolla un modelo sostenible. Al dejar a un lado los combustibles fósiles se reducen las emisiones de CO₂, ayudando a crear un ambiente más saludable para los habitantes. Para cumplir con este propósito, se realizaron estudios de eficiencia energética y simulaciones de iluminación natural, tomando como base los estándares internacionales como el ASHRAE 90.1 y normativas, por ejemplo, LEED. Asimismo, se realizaron los diferentes cálculos para indicar si es factible alcanzar la Net Zero en Plaza Videre.

Los resultados de esta investigación pueden revelar un camino prometedor hacia el objetivo de Net Zero. Ya que el diseño del sistema de iluminación y la integración de energía solar permiten reducir el consumo neto de energía a niveles nulos. Además, al realizar los análisis de viabilidad se puede demostrar que, a largo plazo, los ahorros en costos operativos superan la inversión inicial, lo que resalta la rentabilidad económica de esta transición. Y observando que no solo es beneficioso en el ámbito económico, sino también en el tema ambiental y sostenible.

Abstract

This thesis, entitled “Analysis of the implementation of Net Zero in a commercial building in zone 15 of Guatemala City”, addresses the challenge of reducing net energy consumption in lighting in the Plaza Videre shopping center located in zone 15 of Guatemala City. The thesis focuses on the concept of “Net Zero”, which involves balancing the amount of energy consumed with the amount of energy produced renewably in a closed system. In this case, the goal is to achieve net zero energy consumption in the lighting of a building, thus contributing to energy sustainability and the reduction of greenhouse gas emissions.

Achieving Net Zero in lighting emerges as a prevailing priority in the era of sustainability. Energy efficiency in lighting is consolidated as an essential component to reduce energy demand and mitigate greenhouse gas emissions, aligning with global climate change goals. It is important to achieve this transition in the building sector as a sustainable model is developed. By leaving aside fossil fuels, CO₂ emissions are reduced, helping to create a healthier environment for the inhabitants. To fulfill this purpose, energy efficiency studies and daylighting simulations were carried out, based on international standards such as ASHRAE 90.1 and regulations such as LEED. Likewise, different calculations were made to indicate whether it is feasible to achieve Net Zero in Plaza Videre.

The results of this research may reveal a promising path towards the Net Zero goal. Since the design of the lighting system and the integration of solar energy allow reducing the net energy consumption to zero levels. Furthermore, by conducting feasibility analyses it can be demonstrated that, in the long term, the savings in operating costs exceed the initial

investment, highlighting the economic profitability of this transition. And noting that it is not only economically beneficial, but also environmentally beneficial and sustainable.

El cambio climático y la creciente demanda de energía han impulsado a diversos sectores a buscar soluciones sostenibles que minimicen el impacto ambiental y promuevan el uso eficiente de los recursos. En este contexto, el concepto de Net Zero, que se refiere a la capacidad de un edificio para generar tanta energía como la que consume, ha ganado relevancia en el diseño y operación de edificaciones, especialmente en zonas urbanas de rápido crecimiento. Uno de los componentes clave para alcanzar este objetivo es la iluminación, que representa una parte significativa del consumo energético en edificaciones de uso comercial.

La zona 15 de la Ciudad de Guatemala ha experimentado un notable desarrollo en infraestructuras comerciales, lo que ha incrementado la demanda de soluciones energéticas más sostenibles. Este crecimiento plantea un desafío para integrar nuevas tecnologías y estrategias que permitan reducir el consumo energético sin comprometer la funcionalidad y el confort de los ocupantes. Alcanzar el Net Zero en la iluminación en edificaciones comerciales es una de las principales formas de contribuir a esta meta, al reducir el uso de electricidad proveniente de la red mediante un diseño eficiente que maximice la luz natural y la implementación de sistemas de iluminación eficientes. Además, implementando energías renovables para alcanzar los objetivos.

Este trabajo se centra en la evaluación de distintas estrategias para lograr la autosuficiencia energética en la iluminación en el centro comercial Plaza Videre en la zona 15 de la ciudad, considerando factores como la orientación del edificio, la cantidad de radiación solar, el

porcentaje de luz natural que recibe sobre fachada, el uso de tecnologías de iluminación de bajo consumo y la integración de paneles solares para generar energía limpia. Además, se analiza el impacto económico y ambiental de estas medidas, demostrando que la inversión en tecnologías y sistemas eficientes no solo es viable, sino que también ofrece beneficios económicos a largo plazo.

Con esta investigación, se busca que, al alcanzar Net Zero en Plaza Videre, contribuya al desarrollo de construcciones más sostenibles en Guatemala y posicione al edificio como un ejemplo en la implementación de soluciones energéticas innovadoras y demuestre que es posible lograr la autosuficiencia energética en iluminación.

II

Justificación

En la actualidad, uno de los mayores responsables de producir emisiones de carbono y el cambio climático es el uso de combustibles fósiles. Uno de los objetivos de la ONU y de las diferentes agendas internacionales es promover el uso de energías limpias y reducir los combustibles fósiles. Los edificios Net Zero buscan reducir las emisiones de CO₂, las características de estos edificios es incorporar nuevas tecnologías de energías renovables. Asimismo, según *Global Alliance for Building and Construction (GABC)* las actividades constructoras son las mayores responsables de consumir los recursos naturales. Solo en Europa las construcciones son las responsables de consumir el 40 % de energía no renovable, más del 20 % de las extracciones de materiales de la corteza terrestre, entre el 30 % y 40 % de los residuos sólidos generados y el 20 % de la huella de carbono (Ballén y Bosh, 2022). Asimismo, Guatemala en el 2022 según *Statista Research Department* únicamente produjo 2,878 megavatios de energía renovable (Statista, 2022).

La energía renovable será la responsable de reemplazar los combustibles fósiles. Hoy en día ha ganado un porcentaje cada vez mayor. Por ejemplo, en Reino Unido entre los meses de abril a junio del año 2017 el 30 % de energía provino de fuentes renovables. Además, la Unión Europea promueve la descarbonización y el uso de energías renovables. Al promover estos temas estimula el desarrollo de más edificios Net Zero o edificios con cero emisiones de carbono por un tiempo definido (Wu y Skye, 2021).

El consumo energético en edificaciones comerciales representa uno de los principales factores que contribuyen al aumento de la demanda eléctrica en las ciudades. En Ciudad de Guatemala, la zona 15 ha experimentado un crecimiento acelerado en infraestructuras de uso comercial, lo que ha generado un aumento significativo en el consumo de energía, particularmente en iluminación. Este escenario plantea la necesidad de implementar estrategias más eficientes y sostenibles que permitan reducir la dependencia de fuentes tradicionales de energía, así como mitigar el impacto ambiental derivado de su uso.

La importancia de alcanzar Net Zero en la iluminación radica en que este componente es responsable de una proporción considerable del consumo energético total de un edificio. Por lo tanto, la reducción o eliminación de este consumo mediante el aprovechamiento de la luz natural, tecnologías de iluminación eficientes y la integración de fuentes renovables, como los paneles solares, no solo contribuirá a la sostenibilidad ambiental, sino que también reducirá los costos operativos de los edificios comerciales. Además, es importante alcanzar el objetivo de cero emisiones para evitar un aumento de 1.5 °C arriba de los niveles preindustriales en la temperatura global. Esta cifra es el límite que fijó el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) para evitar graves daños en el ecosistema y evitar un aumento en el calentamiento global (Enel X, 2015).

Además, al lograr edificios Net Zero en iluminación, se contribuye a la transformación del sector inmobiliario hacia prácticas más responsables y resilientes frente a los retos energéticos del futuro. Esta investigación no solo aporta conocimiento técnico sobre las alternativas viables para lograr la autosuficiencia energética en iluminación, sino que también sienta un precedente para que otros desarrollos urbanos puedan replicar este modelo, mejorando así la calidad de vida y el entorno urbano en Guatemala.

A. Objetivo general

Diseñar una estrategia para alcanzar la Net Zero en la iluminación en el Centro Comercial Videre ubicado en zona 15 de la Ciudad de Guatemala, con el fin de contribuir a la transición hacia un entorno urbano más sostenible y eficiente.

B. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico energético del edificio seleccionado. Evaluar el consumo energético actual de la iluminación del edificio, identificando patrones de uso, equipos y sistemas de iluminación empleados, y determinando las oportunidades de mejora.
- Utilizar herramientas de simulación para evaluar el desempeño energético del edificio después de aplicar las mejoras propuestas. Realizar un análisis económico para determinar la viabilidad financiera y el tiempo de retorno de la inversión.
- Evaluar el potencial de generación de energía renovable en el entorno del edificio, particularmente la posibilidad de emplear fuentes renovables para abastecer la demanda energética de la iluminación.
- Generar una comparativa de los materiales que se utilizan vs los materiales con el cual aportaría para alcanzar Net Zero y verificar con cual se obtiene una mejor inversión.

A. Conceptos fundamentales

1. Net Zero

a. ¿Qué es Net Zero?

Net Zero se refiere a la reducción de los gases de efecto invernadero que se emite hacia la atmosfera y mantenerlas lo más cercano a la neutralidad. Este concepto es clave para la lucha contra el cambio climático (García y Martínez, 2020). Para que el planeta pueda alcanzar la Net Zero las entidades comprometidas deben reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero tanto como sea posible. Avanzar con la descarbonización es importante debido a que se tiene que adoptar energías renovables y cambiar los patrones de consumo (Pérez y López, 2019).

Al utilizar la palabra “Net” se refiere a que la reducción debe ser nula. Pero, alcanzar esta neutralidad es difícil, porque existen emisiones de GEI en algunos sectores y procesos que son difíciles de descarbonizar debido a las limitaciones tecnológicas, económicas o prácticas. La aviación y transporte son dependientes de combustibles de alta densidad y aún están en desarrollo alternativas viables como biocombustibles, hidrógeno, entre otros. La agricultura es otro sector muy

difícil de reducir el metano y óxido nitroso que produce, ya que, en este caso, las emisiones biogénicas naturales de los animales no se pueden detener debido a la producción de alimentos. En la industria pesada existe diferentes procesos que emiten grandes cantidades de CO₂, para el ámbito de la construcción podemos resaltar la producción de cemento y acero, que en conjunto representa aproximadamente el 14-17 % de las emisiones globales de CO₂. Estas cifras resaltan la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías y prácticas más sostenibles para reducir su impacto climático (IAP, 2022).

El sector energético es responsable de aproximadamente el 75 % de las emisiones de efecto invernadero esto incluye todas las actividades relacionadas con la producción, transformación y consumo de energía. Según el informe de la International Energy Agency (IEA) los edificios representan aproximadamente el 10% de las emisiones globales de CO₂. Debido al consumo de energía para calefacción, refrigeración, iluminación, electrodomésticos, que a menudo dependen de la electricidad y combustibles fósiles. Asimismo, este informe resalta que alrededor del 55% de las reducciones de emisiones están vinculadas a las decisiones de los consumidores (IEA, 2021).

A pesar de que alcanzar el estado Net Zero puede sonar ambicioso. Conforme pasan los años cada vez es más necesaria para luchar contra el cambio climático. Algunas de las estrategias para alcanzar la Net Zero son los siguientes (Pérez y Hernández, 2020):

- Descarbonización de la energía: como se mencionó con anterioridad la transición más complicada es cambiar las fuentes de energía utilizadas actualmente, carbón, petróleo, gas natural, entre otras; por fuentes renovables, energía solar, eólica, hidroeléctrica. Se debe aclarar que para realizar este cambio se debe entender los riesgos y oportunidades. Previo al cambio se debe hacer un estudio de impacto para minimizar riesgos.
- Almacenamiento de carbono: es un proceso clave para reducir las emisiones de carbono. De primero, se separa el dióxido de carbono de los procesos industriales, por ejemplo, la producción de acero. Luego, el CO₂ se comprime y se lleva por tuberías hasta su lugar de almacenamiento. Por último, se inyecta el CO₂ a formaciones geológicas profunda. O bien, se puede buscar la reutilización en procesos industriales, como la creación de biocombustibles.
- Iniciativas: la creación de iniciativas como la reforestación, protección de manglares, entre otros ecosistemas. Ayudaría a absorber el CO₂ de la atmósfera, compensando las emisiones que no se pueden disminuir. Asimismo, los gobiernos alrededor del mundo deben crear iniciativas para promover la reducción de CO₂. Por ejemplo, incluir impuestos por el uso de

carbono y regular su uso y crear subsidios a las fuentes renovables y beneficios al optar por una fuente renovable.

b. Importancia de alcanzar Net Zero

La importancia es grande debido a que está vinculada a la sostenibilidad del planeta, estabilidad económica y bienestar humano. Se debe limitar el calentamiento global a 1.5 °C por encima de los niveles preindustriales, como lo menciona el Acuerdo de París. Este es un tratado internacional el cual tuvo lugar en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en París. El acuerdo establece limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2 °C con esfuerzo de limitarlo a 1.5 °C. Cada país involucrado debe presentar las contribuciones para reducir los GEI a nivel nacional cada cinco años. Los países deben alcanzar un equilibrio entre las emisiones de gases de efecto invernadero y su forma de mitigación (Enel X, 2015). El acuerdo entro en vigor el 4 de noviembre de 2016 y actualmente cuenta con el apoyo de 193 países más la unión europea, incluyendo Guatemala. Esto es importante porque al ser miembros, el país cuenta con acceso a financiamiento internacional y asistencia para implementar políticas climáticas. Además, el acuerdo protege los recursos naturales mediante la reducción de emisiones y la implementación de medidas de adaptación (BID, 2023).

Al mitigar el cambio climático prevemos los desastres naturales, ya que, si continuamos al mismo ritmo, la temperatura seguirá aumentando, ocasionando fenómenos meteorológicos extremos como sequias, inundaciones, huracanes, entre otros. Asimismo, conservamos los diferentes ecosistemas evitando poner en riesgo los diferentes habitas y especies.

Otra razón por la cual es importante alcanzar la Net Zero es por la salud pública, puesto que al producir gases de efecto invernadero, este crea contaminantes que afectan la calidad del aire, afectando a la salud de los humanos. Al disminuir los GEI se puede reducir las enfermedades respiratorias, cardiovasculares, etc. Otra, rama que se ve afectado es la agricultura debido a que se puede ver afectada poniendo en riesgo el suministro de alimento, representando riesgos financieros significativos (García & Hernández, 2020). Es fundamental preservar nuestro planeta y garantizar un futuro sostenible para todos, asegurando un plantea saludable y habitable y no solo estamos asegurando nuestro futuro, sino el de las futuras generaciones.

Alcanzar la Net Zero es importante para el planeta y a pesar de no ser una tarea fácil. Debemos optar por energías renovables, procesos industriales más

sostenibles y energías limpias. Por eso se debe cumplir con los compromisos establecidos en el acuerdo de París dado que es fundamental la lucha contra el cambio climático (Enel X, 2015).

2. Net Zero *Energy Buildings* (edificios de energía neto cero)

a. ¿Qué son los edificios Net Zero?

Los edificios de energía Net Zero son estructuras diseñadas para producir la totalidad de energía a través de fuentes renovables. La cantidad de energía que consumen durante un cierto periodo de tiempo debe ser la misma que generan. Las edificaciones están diseñadas con tecnologías y materiales de construcción eficientes, desde aislamiento térmico avanzado, sistema de iluminación y climatización eficiente, entre otras tecnologías.

Los avances en la próxima década serán fundamentales para el futuro ya que se debe encontrar formas de reducir el carbono que se produce, ya que, según cifras de la ONU, las metrópolis a pesar de ocupar menos del 2 % de la superficie de la Tierra; estas consumen el 78 % de la energía mundial. Además, emiten el 60 % de las emisiones de gases de efecto invernadero. Asimismo, los edificios son los responsables del 39 % de las emisiones de carbono. El 11 % proviene al momento de realizar su construcción, el uso de materiales como el acero y el concreto, la basura y el polvo producido. Y el 28 % durante su operación, uso de luz, aire acondicionado, calefacción, entre otros (United Nations, 2018).

Al optar por la construcción de un edificio Net Zero se obtienen los siguientes beneficios:

- **Reducción de los costos energéticos:** uno de los beneficios más evidentes de los edificios de energía neto cero es la disminución drástica en los costos de energía, ya que estos edificios producen tanta energía como la que consumen a lo largo del año. Al generar energía propia mediante fuentes renovables, como paneles solares, los propietarios pueden evitar la dependencia de la red eléctrica, lo que reduce los costos operativos (Pérez y Martínez, 2020).
- **Contribución a la sostenibilidad y reducción de la huella de carbono:** los edificios de energía neto cero están diseñados para minimizar su impacto ambiental al depender en gran medida de fuentes de energía renovable y eficientes. Esto no solo reduce la huella de carbono de los

edificios, sino que también contribuye a los objetivos globales de mitigación del cambio climático. Al optar por un edificio neto cero, se disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que favorece un entorno más saludable y sostenible (Gómez y Hernández, 2019).

b. Características principales de los edificios Net Zero

- Eficiencia energética optimizada: los edificios de energía neto cero se diseñan con estrategias que minimizan el consumo energético a través de un alto nivel de eficiencia en todos los sistemas, desde la iluminación hasta la climatización. Esto incluye el uso de electrodomésticos y equipos de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) de alta eficiencia, así como el empleo de materiales con un alto nivel de aislamiento térmico (García y Hernández, 2019).
- Uso de energías renovables: una característica esencial es la integración de fuentes de energía renovable, como paneles solares fotovoltaicos, energía eólica o sistemas de energía geotérmica. Estas tecnologías permiten que el edificio genere energía para cubrir sus necesidades y, en algunos casos, incluso excederlas, inyectando el excedente en la red eléctrica (Martínez y Sánchez, 2018).
- Diseño pasivo: el diseño arquitectónico incluye elementos pasivos que optimizan la relación del edificio con el entorno, aprovechando al máximo la luz natural, la ventilación cruzada y el control térmico a través de la orientación y la disposición de las ventanas, paredes y techos. El uso de técnicas de diseño pasivo reduce la dependencia de la climatización artificial, lo que contribuye a la eficiencia energética general del edificio (Rodríguez, 2019).
- Sistemas de gestión energética inteligente: suelen estar equipados con sistemas de gestión energética que controlan y optimizan el uso de la energía en tiempo real. Estos sistemas permiten ajustar automáticamente la demanda energética del edificio en función de las condiciones ambientales o la ocupación del espacio, lo que maximiza la eficiencia y minimiza el desperdicio (Ruiz y Morales, 2021).
- Envolvente térmica de alto rendimiento: la envolvente del edificio (paredes, techos, suelos y ventanas) es un elemento crucial para evitar la pérdida de calor en invierno y la ganancia de calor en verano. Utilizan materiales de alta eficiencia térmica que mejoran el

aislamiento y reducen la necesidad de calefacción o refrigeración, lo que disminuye el consumo energético (Gómez y Pérez, 2020).

- Cero emisiones netas: están diseñados para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero a cero, al depender casi exclusivamente de fuentes de energía limpia y eficiente. Además de generar su propia energía renovable, estos edificios suelen compensar cualquier consumo residual de energía mediante la compra de créditos de energía limpia (López y Fernández, 2021).

3. Iluminación sostenible

a. Importancia de la iluminación en edificios

La iluminación es un factor clave en la planificación de espacios arquitectónicos, ya que influye directamente en la percepción y el bienestar de las personas que ocupan dichos espacios (Rodríguez y Pérez, 2020). Una iluminación adecuada no solo mejora la visibilidad, sino que también tiene un impacto en la productividad, el estado de ánimo y la seguridad. Los estudios muestran que una correcta iluminación natural y artificial contribuye a la reducción de la fatiga visual y a la mejora del rendimiento en entornos laborales (Gómez y Hernández, 2019).

Por otro lado, la iluminación también desempeña un rol crucial en la eficiencia energética. El uso de tecnologías de iluminación sostenibles, como los sistemas LED y la automatización de luces, puede reducir significativamente el consumo de energía en edificios residenciales y comerciales (Martínez, 2021). En resumen, la iluminación no solo mejora la estética y funcionalidad de un espacio, sino que también contribuye al confort de los usuarios y al ahorro energético a largo plazo.

Algunos de los aspectos clave que resaltan la importancia de la iluminación en edificios:

- Bienestar y productividad de los ocupantes: la iluminación adecuada influye en la salud y el bienestar de los ocupantes. Una buena iluminación natural y artificial puede mejorar el estado de ánimo, reducir la fatiga visual y aumentar la productividad.

- Seguridad: la iluminación es esencial para garantizar la seguridad en un edificio. Áreas bien iluminadas previenen accidentes y ayudan a identificar posibles riesgos.
- Confort visual: La iluminación inadecuada puede causar fatiga visual, dolores de cabeza y molestias. Un buen diseño de iluminación proporciona un ambiente visualmente cómodo y funcional.
- Estética y diseño: la iluminación también tiene un impacto significativo en el aspecto estético de un edificio. Puede realzar la arquitectura, resaltar características específicas y crear ambientes agradables.

(Calabuig, 2021)

b. Eficiencia energética en la iluminación

La eficiencia energética en la iluminación se refiere a la capacidad de un sistema de iluminación para proporcionar la cantidad adecuada de luz utilizando la menor cantidad posible de energía eléctrica. Este concepto es clave en el diseño sostenible y la ingeniería moderna, ya que busca optimizar el uso de los recursos energéticos y reducir el impacto ambiental asociado con la generación de electricidad (Martínez y López, 2020). Algunas estrategias clave para lograr la eficiencia energética en la iluminación son:

- Bombillas y lámparas de alta eficiencia: utilizando bombillas y lámparas eficientes desde el punto de vista energético. Las opciones más comunes incluyen bombillas LED (diodos emisores de luz) y lámparas fluorescentes compactas (CFL). Estas tecnologías consumen significativamente menos energía que las bombillas incandescentes tradicionales y tienen una vida útil más larga (Gómez, 2018).
- Sensores de presencia y movimiento: instalar sensores de presencia o movimiento que apaguen o atenúen las luces cuando no hay nadie en la habitación o cuando la iluminación natural es suficiente. Esto evita que las luces permanezcan encendidas innecesariamente.
- Control de iluminación zonificado: dividir los espacios en zonas y utilizando controles de iluminación para ajustar la intensidad de la luz en función de las necesidades. Esto permite iluminar áreas específicas en lugar de iluminar todo un espacio.
- Bombillas regulables: empleando bombillas y lámparas regulables para que los usuarios puedan ajustar la intensidad de la luz según sus preferencias y necesidades, lo que puede ahorrar energía en momentos en que no se requiere una iluminación completa.

- Tecnología de control inteligente: los sistemas de control de iluminación inteligente permiten programar horarios de encendido y apagado, ajustar la temperatura de color de la luz y crear escenas de iluminación personalizadas. Esto mejora la eficiencia y la flexibilidad. (Ballén y Bosh, 2021)

c. Aprovechamiento de la luz natural en el diseño arquitectónico

El aprovechamiento de la luz natural en el diseño arquitectónico se refiere a la integración de estrategias y técnicas de diseño que maximizan la entrada y distribución de la luz solar dentro de los edificios. Este enfoque no solo reduce la necesidad de iluminación artificial, sino que también promueve la eficiencia energética, mejora el confort visual y contribuye al bienestar de los ocupantes (García y Martínez, 2019).

Una de las principales estrategias es el diseño pasivo, que incluye la orientación de los edificios y la disposición de las ventanas, claraboyas y tragaluces para optimizar la cantidad de luz natural que ingresa a los espacios interiores. Según Pérez y López (2020), la correcta ubicación de las aberturas en la fachada puede aprovechar la luz solar durante todo el día, reduciendo así el consumo de energía eléctrica. Además, el uso de materiales reflectantes en paredes y techos puede dispersar la luz natural, mejorando su distribución en el interior del edificio (Rodríguez, 2018).

Otra técnica es el uso de sistemas de control solar, como parasoles y cortinas automáticas, que regulan la intensidad de la luz natural, evitando el deslumbramiento y el sobrecalentamiento de los espacios (Hernández y Ruiz, 2021). Estas estrategias no solo contribuyen al ahorro energético, sino que también influyen positivamente en la salud de los usuarios, ya que la exposición a la luz natural está relacionada con mejoras en el ritmo circadiano y la productividad (Sánchez, 2020).

4. Zona 15 de la Ciudad de Guatemala como estudio de caso

a. Descripción geográfica y climática

Guatemala está ubicada en el trópico de Cáncer, lo que significa que no tiene las cuatro estaciones distintas como en los hemisferios norte y sur. Sin embargo, debido a las horas de luz que varían solo dos horas a lo largo del año, su clima es más similar al del hemisferio norte. Limita al norte con la

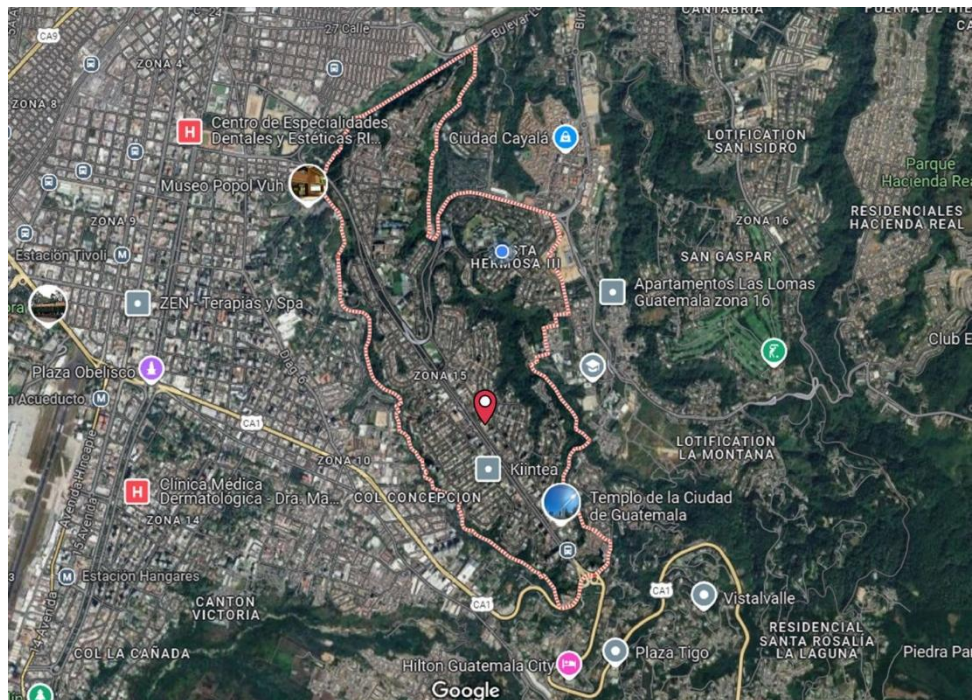
zona 16, al oeste con la zona 5, al sur con la zona 10, y al este con las zonas 16 y 18 (Municipalidad de Guatemala, 2020). Esta zona se caracteriza por ser una de las áreas residenciales y comerciales en crecimiento de la ciudad, con colonias residenciales como Vista Hermosa I y II, Colonia El Maestro y Colonia El Campo (Mejía, 2019).

La zona 15 de la Ciudad de Guatemala es una de las zonas urbanas más importantes de la capital guatemalteca y forma parte del área metropolitana de la ciudad. La descripción geográfica y climática de esta zona:

Descripción geográfica:

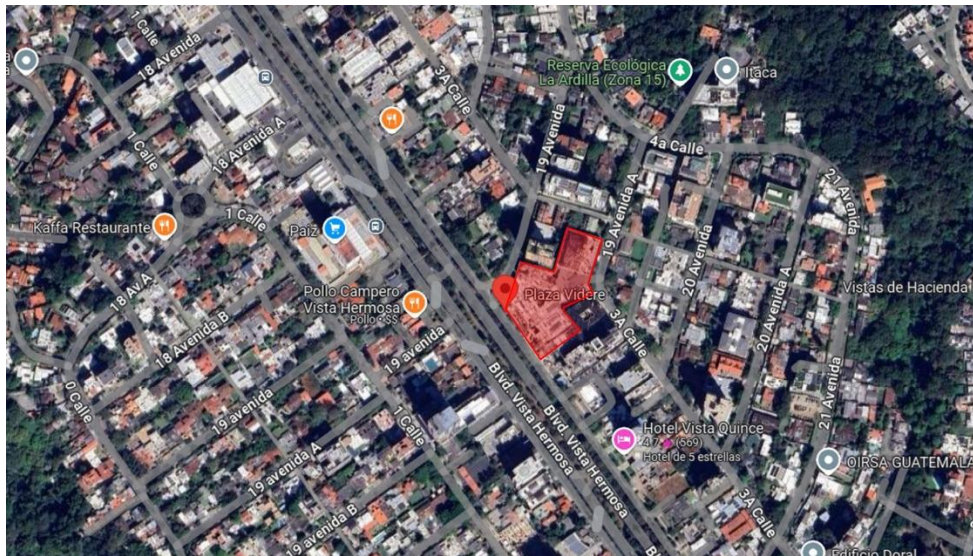
- Ubicación: la zona 15 de la Ciudad de Guatemala se encuentra en la parte central y oriental de la ciudad.
- Altitud: la altitud promedio de la Ciudad de Guatemala es de aproximadamente 1,650 metros sobre el nivel del mar. La zona 15 se encuentra a una altitud similar debido a su ubicación en el centro del Valle de la Ciudad de Guatemala.
(Topographic, 2024)

Figura 1: Mapa de Zona 15 Ciudad de Guatemala



Fuente: Google Maps (2024)

Figura 2: Ubicación geográfica del Centro Comercial Plaza Videre



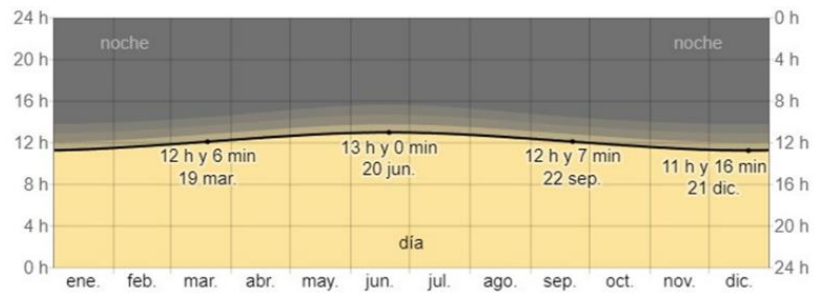
Fuente: Google Maps (2024)

La vegetación en la zona 15 es característica de áreas urbanas que combinan desarrollos residenciales con espacios verdes. Existen zonas de áreas boscosas, aunque han sido reducidas por el crecimiento urbano. Sin embargo, áreas como el bulevar Vista Hermosa mantienen algunos espacios arbolados que contribuyen a la biodiversidad urbana (Martínez, 2021).

Descripción climática (Weather Spark, 2024):

- Clima: la Ciudad de Guatemala, incluida la zona 15, tiene un clima de tipo subtropical de altitud. Este clima se caracteriza por temperaturas moderadas a lo largo del año.
- Temperaturas: las temperaturas en la zona 15 suelen oscilar entre los 15 °C y los 25 °C, con variaciones estacionales relativamente suaves. Las noches pueden ser más frescas, especialmente durante la temporada de lluvias.
- Estaciones: Guatemala experimenta dos estaciones principales; la temporada seca y la temporada de lluvias.
- Horas solares: las horas solares depende de las estaciones del año. Los meses que tienen el punto más alto de horas solares es entre mayo y julio.

Figura 3: Horas solares de la Ciudad de Guatemala



Fuente: Weather Spark (2024)

B. Fundamentos de iluminación eficiente

1. Tipos de iluminación

a. Iluminación convencional vs. iluminación LED

La evolución de la tecnología de iluminación ha permitido el desarrollo de alternativas más eficientes y sostenibles. A continuación, se comparan la iluminación convencional y la iluminación LED, destacando aspectos como la eficiencia energética, vida útil, impacto ambiental y costos.

- **Eficiencia energética:** la iluminación convencional, como las bombillas incandescentes y las fluorescentes, tiene una eficiencia energética considerablemente menor en comparación con la tecnología LED. Las bombillas incandescentes solo convierten un 10 % de la energía en luz, mientras que el resto se pierde como calor, lo que genera un uso ineficiente de energía (González y Rodríguez, 2017). En contraste, las bombillas LED son capaces de transformar hasta un 85 % de la energía consumida en luz, reduciendo significativamente el consumo energético (Martínez y Lara, 2018).
- **Vida útil:** la vida útil de las bombillas convencionales es notablemente inferior a la de las bombillas LED. Las incandescentes tienen una duración aproximada de 1,200 horas, mientras que las fluorescentes alcanzan entre 8,000 y 12,000 horas (Cordero y Silva, 2016). Las bombillas LED, por otro lado, pueden durar entre 25,000 y 50,000 horas, lo que disminuye los costos de mantenimiento y reemplazo (Álvarez y Pérez, 2019).
- **Impacto ambiental:** la iluminación convencional tiene un mayor impacto ambiental debido a su alto consumo energético y la presencia de materiales contaminantes, como el mercurio en las bombillas fluorescentes (Hernández y Ruiz, 2018). Por el contrario, la tecnología

LED no utiliza materiales tóxicos y, debido a su mayor eficiencia, contribuye a la reducción de las emisiones de carbono asociadas a la producción de electricidad (López y Vargas, 2020).

- Costos: aunque las bombillas LED suelen tener un costo inicial más elevado, su eficiencia energética y larga vida útil las hacen más rentables a largo plazo. Los ahorros en el consumo de electricidad y la menor frecuencia de reemplazo compensan el costo inicial más alto (Mora y Castellanos, 2021). Por otro lado, las bombillas incandescentes y fluorescentes, aunque más baratas inicialmente, generan mayores costos operativos a lo largo del tiempo debido a su menor duración y mayor consumo energético (Pérez y Domínguez, 2017).
- Calidad de la luz: las bombillas LED proporcionan una luz de mayor calidad en comparación con la iluminación convencional. Las incandescentes emiten una luz cálida, mientras que las fluorescentes pueden tener problemas de parpadeo y variaciones en el color. Las LED, en cambio, ofrecen una mayor estabilidad de color y una amplia gama de tonalidades que las hace adecuadas para diferentes aplicaciones (Navarro y González, 2020).

b. Luz natural contra luz artificial

La principal diferencia entre la luz natural y la luz artificial radica en cómo se controlan y utilizan en el diseño de espacios. La luz natural se ve influenciada por la arquitectura exterior del lugar, donde elementos como pérgolas, ventanas o sombrillas pueden modificar la percepción del espacio al interactuar con la luz solar. Esto permite que en lugares orientados hacia el exterior haya luz durante la mayor parte del día. Por otro lado, la luz artificial se controla de manera más directa a través de su disposición en el interior, lo que facilita la creación de ambientes iluminados durante la noche o al atardecer (Tecnolite, 2016). Además, la luz indirecta se logra más fácilmente con fuentes artificiales.

Los expertos destacan que leer y estudiar con luz natural es más saludable para la vista. Sin embargo, cuando no hay suficiente luz natural, es fundamental usar la luz artificial de forma consciente para evitar el cansancio visual. Encontrar un equilibrio entre ambos tipos de iluminación es crucial para cuidar la salud ocular. La iluminación natural se define como el uso de la luz del día para iluminar espacios de manera eficiente, evitando deslumbramientos y excesos de calor. Esto no solo ayuda a reducir el consumo

energético, sino que también crea ambientes agradables y saludables que mejoran la calidad de vida de quienes ocupan esos espacios (Martínez, 2024). La consideración de la luz natural y artificial es vital en el diseño arquitectónico, ya que la luz tiene el poder de resaltar formas, modelar objetos y destacar puntos clave. Mientras la luz natural aporta calidez y conexión con el entorno, la luz artificial complementa la natural al crear atmósferas específicas y resaltar detalles arquitectónicos (Tecnolite, 2016). Ambas formas de iluminación colaboran para realzar la belleza y funcionalidad de un espacio.

A pesar de los beneficios de la luz natural, su incorporación en edificios presenta desafíos, como la correcta gestión para evitar el sobrecalentamiento en verano y la pérdida de calor en invierno. Además, es necesario diseñar adecuadamente el edificio y su ubicación para maximizar la entrada de luz natural y minimizar sombras. También, la luz natural puede generar deslumbramientos y contrastes excesivos, por lo que encontrar un equilibrio es crucial para garantizar un ambiente cómodo (Montes, 2021).

En cuanto a la luz artificial, esta debe ser considerada más que un simple apoyo funcional. Durante la noche, puede redefinir la estética de un espacio, acentuando colores y creando texturas y volúmenes que la luz natural no puede ofrecer. La luz es un elemento clave en el diseño, no solo por su impacto en la calidad arquitectónica, sino también por su influencia en las experiencias visuales y estados de ánimo de las personas (Martínez, 2024).

2. Normativas y estándares de iluminación

a. Normativas y certificaciones

Las normativas y estándares de iluminación son pautas establecidas por organizaciones y autoridades reguladoras para garantizar la seguridad, la eficiencia energética, la calidad de luz y la funcionalidad en diversos tipos de entornos. Estas normativas y estándares ayudan a establecer requisitos mínimos y mejores prácticas en el diseño, la instalación y el mantenimiento de sistemas de iluminación (Iluminica, 2020). Algunas de las normativas y estándares más importantes en el campo de la iluminación incluyen:

Normativa

- **ANSI/ASHRAE/IES 90.1:** es una norma establecida por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE, por sus siglas en inglés) que establece los requisitos mínimos de eficiencia energética para edificios, excepto para viviendas unifamiliares. Esta norma se utiliza en los Estados Unidos y se considera una guía fundamental para diseñadores, arquitectos e ingenieros con el objetivo de promover la eficiencia energética en la construcción y operación de edificios (ASHRAE, 2022).

La norma cubre diversos aspectos de la eficiencia energética, incluyendo el diseño de sistemas de iluminación, calefacción, refrigeración y ventilación. A través de la implementación de ASHRAE 90.1, se busca reducir el consumo de energía en los edificios, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y fomentar un entorno construido más sostenible. ASHRAE 90.1 se actualiza periódicamente para reflejar los avances tecnológicos y las mejores prácticas en el sector de la construcción.

Esta norma es una herramienta importante para los profesionales de la industria, ya que proporciona un marco para cumplir con los estándares de eficiencia energética requeridos por los códigos de construcción locales y nacionales. La adopción de ASHRAE 90.1 contribuye a la creación de edificios más sostenibles y energéticamente eficientes, lo que a su vez beneficia tanto a los ocupantes como al medio ambiente (ASHRAE, 2022).

Certificaciones

- **LEED:** la certificación LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) es un sistema de evaluación y certificación de edificios sostenibles, desarrollado por el Consejo de Edificios Ecológicos de Estados Unidos (*U.S. Green Building Council, USGBC*). Esta certificación reconoce los diseños y construcciones de edificios que cumplen con criterios específicos de sostenibilidad y eficiencia energética. (*LEED rating system, 2024*)

LEED ofrece diferentes niveles de certificación (Certificado, Plata, Oro y Platino) basados en la cantidad de puntos que un proyecto acumula a través de diversas categorías, como:

- Ubicación y transporte: considera la accesibilidad del sitio y el uso del transporte público.
- Sostenibilidad del sitio: incluye estrategias para minimizar el impacto ambiental.
- Eficiencia en el uso del agua: promueve la reducción del consumo de agua.
- Energía y atmósfera: fomenta la eficiencia energética y el uso de fuentes de energía renovables.
- Materiales y recursos: Incentiva el uso de materiales sostenibles y la gestión de residuos.
- Calidad ambiental interior: se enfoca en el bienestar de los ocupantes a través de una buena calidad del aire y la luz natural.

Los proyectos que buscan la certificación LEED deben completar un proceso de documentación que demuestra cómo cumplen con los requisitos de cada categoría. Un equipo de revisores del USGBC evalúa la documentación y otorga los puntos correspondientes (*LEED rating system*, 2024).

- **EDGE:** La certificación EDGE (*Excellence in Design for Greater Efficiencies*) es un sistema de certificación internacional diseñado para evaluar la sostenibilidad de edificios nuevos y renovados. Desarrollada por la *International Finance Corporation* (IFC), parte del Banco Mundial, EDGE se enfoca en promover prácticas de construcción más sostenibles y eficientes en términos de uso de recursos (EDGE, 2024).

La certificación se centra en la eficiencia energética, hídrica y el uso de materiales en la construcción. Su objetivo es ayudar a los desarrolladores y arquitectos a reducir el consumo de recursos y, por ende, los costos operativos de los edificios. Además, se basa en un enfoque cuantitativo que permite a los diseñadores y propietarios evaluar el rendimiento esperado de un edificio en comparación con un estándar de referencia. Esto se realiza mediante herramientas de modelado que calculan el ahorro en energía, agua y materiales.

Al obtener la certificación EDGE, los edificios no solo demuestran su compromiso con la sostenibilidad, sino que también pueden beneficiarse de ahorros significativos en costos operativos. Además, los edificios certificados suelen ser más atractivos para los inquilinos y compradores, lo que puede aumentar su valor de mercado. La certificación es flexible y se puede aplicar a diferentes tipos de edificios, incluidos residenciales, comerciales e industriales. Además, está diseñada para ser accesible a los desarrolladores de todos los tamaños, incluidos aquellos que trabajan en mercados emergentes (EDGE, 2024).

C. Estrategias para alcanzar el Net Zero en iluminación

1. Diseño de iluminación eficiente

a. Diseño lumínico sostenible:

El diseño lumínico sostenible se refiere a la planificación y aplicación de sistemas de iluminación en entornos arquitectónicos y urbanos de una manera que minimiza el consumo de energía, reduce el impacto ambiental y promueve un uso eficiente de la luz. Algunos aspectos clave del diseño lumínico sostenible incluyen (Expo Lighting America, 2022):

- Eficiencia energética: utiliza fuentes de luz eficientes, como bombillas LED, y sistemas de control que regulan la intensidad de la luz según las necesidades, evitando el desperdicio de energía.
- Uso de luz natural: maximiza la utilización de la luz natural a través de ventanas, tragaluces, techos retractiles, reduciendo la dependencia de la iluminación artificial durante el día.
- Control de iluminación: incorpora sistemas de control inteligentes que ajustan la iluminación según la presencia de personas o la cantidad de luz natural disponible.
- Selección de materiales sostenibles: utiliza materiales y accesorios de iluminación que sean respetuosos con el medio ambiente y duraderos. Asimismo, el uso de diferentes materiales en la fachada del edificio ayuda a la iluminación dependiendo del diseño. Por ejemplo, si se considera un diseño en el cual la fachada será en su mayoría ventanearía, el uso de iluminación durante el día será menor a comparación de un diseño de fachada cerrada.

- Diseño orientado al usuario: considera las necesidades y preferencias de los usuarios, creando ambientes agradables y funcionales.

b. Estrategias de diseño bioclimático

Las estrategias de diseño bioclimático se centran en aprovechar las condiciones climáticas y los recursos naturales para lograr un entorno construido más eficiente y sostenible desde el punto de vista energético y ambiental. Estas estrategias buscan optimizar la relación entre el edificio y su entorno para reducir la necesidad de energía para calefacción, refrigeración e iluminación, y promover el confort interior. Algunas estrategias comunes de diseño bioclimático incluyen (RDT Simulation, 2018):

- Orientación y ubicación: colocar el edificio de manera que aproveche al máximo la luz solar y la ventilación natural. La orientación adecuada puede reducir la ganancia de calor en verano y aumentarla en invierno.
- Diseño pasivo: utilizar técnicas de diseño que permitan la entrada de luz natural y la captación de calor solar en invierno, y la sombra y la ventilación cruzada en verano.
- Aislamiento y materiales: emplear aislamiento térmico eficiente en paredes, techos y suelos para reducir la pérdida de calor en invierno y la ganancia de calor en verano. Utilizar materiales de construcción sostenibles.
- Ventilación: diseñar sistemas de ventilación que aprovechen la brisa natural para enfriar los espacios y eliminar el aire caliente.
- Acristalamiento eficiente: utilizar vidrios de alta eficiencia energética para minimizar la pérdida de calor y la ganancia de calor no deseada.
- Sistemas de captación solar: incorporar colectores solares o sistemas fotovoltaicos para generar electricidad o calor a partir de la energía solar.

c. Generación de energía *in situ*

La generación de energía *in situ*, se refiere a la producción de energía eléctrica en el lugar donde se consume, en contraposición a la generación centralizada en plantas de energía eléctrica lejanas, como centrales eléctricas de carbón o nucleares, desde las cuales la electricidad se transmite a largas distancias a través de redes de distribución (Jenbacher, 2024).

La generación de energía *in situ* implica el uso de fuentes de energía más pequeñas y descentralizadas, como paneles solares, turbinas eólicas, microturbinas de gas natural, generadores diésel, entre otros, para satisfacer las necesidades de electricidad de un edificio, una empresa o incluso una vivienda. Algunos ejemplos son (Mack, 2022):

- Paneles solares en techos de edificios
- Turbinas eólicas pequeñas
- Generadores diésel o de gas natural
- Cogeneración (CHP)

Las ventajas de la generación de energía *in situ* incluyen una mayor eficiencia en la distribución de energía, la reducción de pérdidas de transmisión y la capacidad de utilizar fuentes de energía renovable en el punto de consumo, lo que puede ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y aumentar la resiliencia energética. Además, esta forma de generación puede ser especialmente beneficiosa en áreas remotas o donde la infraestructura de energía centralizada es limitada.

Sin embargo, la generación *in situ* también presenta desafíos en términos de costos iniciales, mantenimiento y la necesidad de coordinar la gestión de múltiples sistemas de generación en un entorno determinado. La elección de la generación de energía *in situ* o centralizada depende de diversos factores, como las necesidades de energía específicas y las condiciones locales (Mack, 2022).

D. Casos de éxito

1. Edificios Net Zero en el mundo

Aunque el número de edificios Net Zero en el mundo no son mayoría, estos edificios, comúnmente son utilizados para fines comerciales. Desempeñan un papel importante al servir como ejemplos emblemáticos que nos ayudan a perfeccionar y avanzar en futuros proyectos. Su monitorización constante contribuye al desarrollo continuo de esta tendencia. Algunos de los más conocidos son:

- Comunidad BedZED (UK, 2002)
El primer proyecto residencial Net Zero a nivel mundial se llevó a cabo en el Reino Unido, en un suburbio de Londres, con la colaboración de grandes

empresas como *Arup*. El diseño incluye un número limitado de plazas de estacionamiento y ofrece un alto nivel de comodidad en las viviendas, cada una con su propio espacio de jardín para fomentar la interacción social entre los residentes. Se priorizó el uso de materiales locales para reducir la huella de carbono y se implementaron sistemas de reciclaje de aguas y pellets como fuente de energía. El proyecto *BedZed* ha sido galardonado con varios premios, incluido el Premio *Stirling* en 2003 (Sisternes García, 2022).

- The Edge (Países Bajos, 2014)
La sede de *Deloitte* en Amsterdam, conocida como *The Edge*, es un exitoso ejemplo de sostenibilidad en el distrito empresarial. Ofrece vistas panorámicas de la ciudad y espacios flexibles para trabajar. Obtuvo la máxima calificación BREEAM, destacando por su diseño compacto y orientación para minimizar el consumo de energía. Cuenta con un sistema de recolección de agua de lluvia para uso en baños y riego de jardines. (Sisternes García, 2022).
- The Unisphere (USA, 2018)
La sede de *United Therapeutics* en Maryland se autodenomina como el "edificio Net-Zero más grande del mundo". A pesar de estar en el centro de la ciudad, supera el desafío de generar energía solar renovable. Se destaca como un edificio de "Energía Positiva", no solo generando más energía de la que consume, sino también como un hito en sostenibilidad. (Sisternes García, 2022).

2. Estudios de casos relevantes en Guatemala

No hay conocimiento de casos específicos de edificios o proyectos de energía Net Zero en Guatemala. Entre los casos relevantes solo se han realizado dos estudios que abordan la sostenibilidad energética desde dos perspectivas diferentes. Uno de estos estudios, llevado a cabo en 2014, analiza la sostenibilidad energética del país, utilizando un enfoque similar al del Consejo Mundial de Energía. El otro estudio, realizado en el mismo año, evalúa los escenarios del plan de expansión de generación de energía eléctrica de 2014-2028 y considera sus implicaciones para el desarrollo sostenible (Aguirre, 2018).

El primer trabajo utiliza 23 indicadores cualitativos para analizar la sostenibilidad energética, incluyendo 2 para la dimensión social, 16 para la dimensión económica y 5 para la dimensión ambiental del desarrollo sostenible. Estos indicadores cualitativos, denominados IEDS (indicadores energéticos para el desarrollo sostenible) por el autor, se basan en el marco conceptual del Departamento de

Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas y pretenden evaluar aspectos como la equidad y seguridad en el acceso a fuentes de energía, los patrones de uso y producción, y los impactos en la atmósfera, el agua y la tierra. Además de estos indicadores cualitativos, se desarrolló un índice de sostenibilidad energética puramente cuantitativo que proporciona un resumen cuantitativo del desempeño energético del país.

En lo que respecta a la seguridad energética, que corresponde a la dimensión económica del desarrollo sostenible, Guatemala recibe una puntuación de 5.51 sobre 10. El estudio concluye que el país no ha logrado separar el consumo de energía de la producción económica, principalmente debido a la falta de regulaciones que promuevan la eficiencia en este aspecto.

Además, en Guatemala existe construcciones *EDGE* certificadas con el objetivo de crear edificaciones eficientes. Dicha certificación se encarga de verificar que exista una disminución del 20 % en el uso de energía, agua y carbono en comparación a una edificación normal. (EDGE | *Green Building Certification*, 2023).

Algunos ejemplos de edificaciones certificadas *EDGE* son (Granada, 2023):

- Hacienda de la Flores: se trata de una comunidad neourbanista con más de 850 viviendas que ha logrado significativos ahorros en recursos. Se ha registrado una disminución del 40 % en el consumo de energía, un 30 % menos de agua utilizada y una reducción del 30 % en el uso de materiales. Además, ofrece espacios interiores bien iluminados y ventilados naturalmente. Las construcciones se realizan con materiales reciclados y cada residente tiene acceso a más de 120 metros cuadrados de áreas verdes.
- MARN: en 2021, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) obtuvo la certificación *EDGE*, demostrando su compromiso con la sostenibilidad.
- Universidad del Valle de Guatemala: la planificación para el Centro de Innovación y Tecnología (CIT) comenzó en 2014, con la construcción iniciada en 2018. En 2021, obtuvo la certificación *EDGE*, logrando notables ahorros de recursos: un 40 % menos de consumo de energía, un 42 % de ahorro de agua y una reducción del 55 % en la energía incorporada en los materiales. Sus instalaciones destacan por la iluminación y ventilación natural, el aprovechamiento de aguas y espacios verdes, así como la

implementación de paneles solares, promoviendo la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente.

A. Etapa 1 – Recopilación de datos

Se estableció métricas y criterios de medición para evaluar la eficiencia energética y la reducción de emisiones de carbono. Recopilando datos de consumo de energía actual y condiciones de iluminación en el edificio de estudio, Centro Comercial Plaza Videre. Algunas de las métricas comunes fue el consumo de energía en kilovatios- hora (kWh) y las emisiones de CO₂ en toneladas métricas.

B. Etapa 2 – Implementación

Al seleccionar el edificio como caso de estudio, se describió su diseño arquitectónico y características. Seguidamente, se realizó un análisis de energía e iluminación sostenible para el edificio en el software *Autodesk* FORMA, considerando la ubicación, la orientación y la utilización. Además, se identificó las tecnologías y estrategias de iluminación sostenible y energías renovables a implementar.

Al realizar lo dicho anteriormente se comenzó la implementación de energías renovables en el edificio. Esto incluyó la instalación de paneles solares. Asimismo, se recomendó plantear el uso de lámparas LED de alta eficiencia energética, sistemas de control de iluminación

automatizados, sensores de presencia y luz, sistemas de gestión de energía, iluminación natural y otras soluciones que redujeran el consumo de energía.

C. Etapa 3 – Análisis de datos y resultados

Al analizar las variables obtenidas para evaluar la eficiencia energética y la reducción de emisiones de carbono logradas, se calculó el consumo de energía total antes y después de la implementación de las mejoras de iluminación sostenible. Comparando los datos para determinar la reducción en el consumo de energía. Asimismo, se realizó de igual manera en el tema de las emisiones de carbono utilizando los análisis como referencia. Cabe aclarar que, al momento de visualizar las variables obtenidas, estas se analizaron a través de volúmenes en cada una de las fachadas del comercial.

Siempre se utilizó criterios de iluminación, como los niveles de iluminación recomendados y la uniformidad, para determinar si las mejoras han tenido un impacto positivo en la calidad de la iluminación. Se proporcionaron conclusiones preliminares basadas en los resultados analizados. Resumiendo, las principales observaciones y tendencias identificadas.

D. Etapa 4 – Discusión / examen crítico

Se discutieron los resultados obtenidos y su relevancia para la meta de Net Zero en la iluminación en el centro comercial Plaza Videre. Analizando los desafíos y limitaciones encontrados durante la implementación. Identificando los factores que contribuyeron al éxito de las estrategias de iluminación sostenible en el edificio. Esto puede incluir la selección de tecnologías eficientes, un diseño adecuado, la concienciación de los ocupantes y otros elementos. Además, se destacó plantear mejores prácticas podrían aplicarse a otros proyectos similares en la región.

VI

Resultados y discusión

La edificación comercial para evaluar si es factible plantear Net Zero fue el Centro Comercial Plaza Videre ubicada en la zona 15 de la Ciudad de Guatemala. Este comercial está conformado de 7 sótanos y 6 niveles superiores. Los cuales 4 niveles son de área comercial, 1 nivel que será gimnasio, 1 nivel de área administrativa y azotea con helipuerto. Asimismo, el comercial va a contar con un techo retráctil sobre el atrio principal. El cual se utilizará para la entrada de luz natural en el medio del comercial. Las medidas del terreno de Plaza Videre es de 6,839.64 m² y el total de construcción es de 80,098 m²

Figura 4: C.C. Plaza Videre - Fachada Boulevard / 19 Avenida

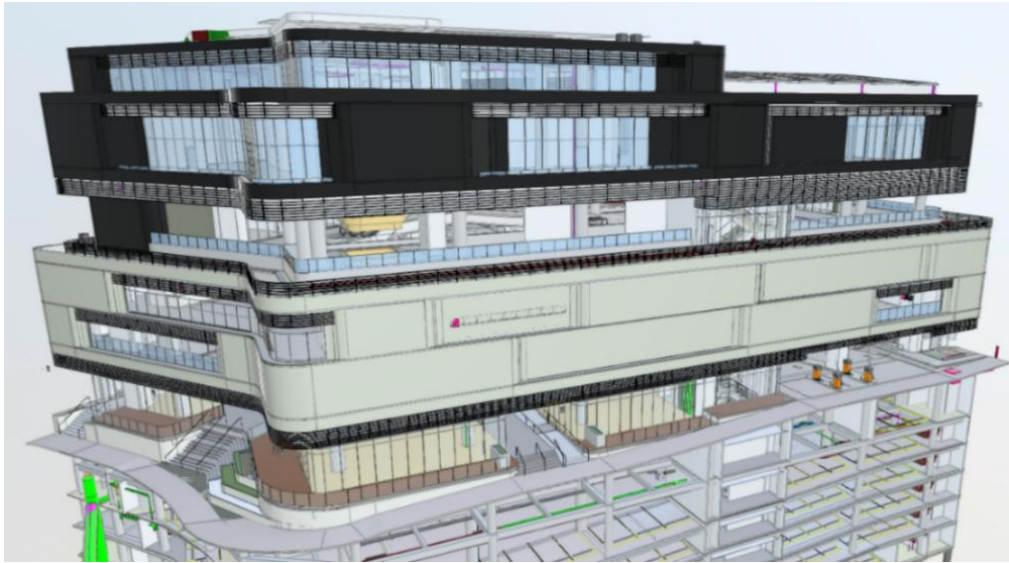


Figura 5: C.C. Plaza Videre - Fachada 19 Avenida A

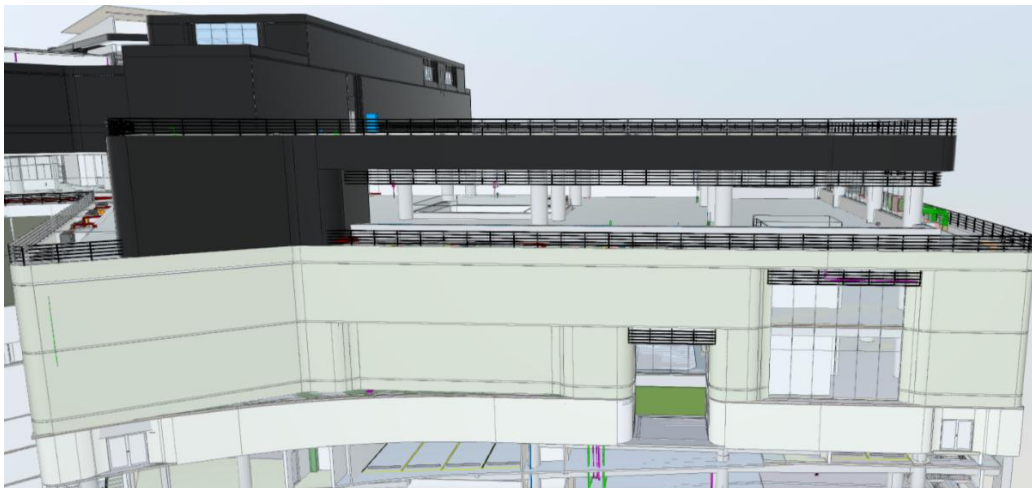
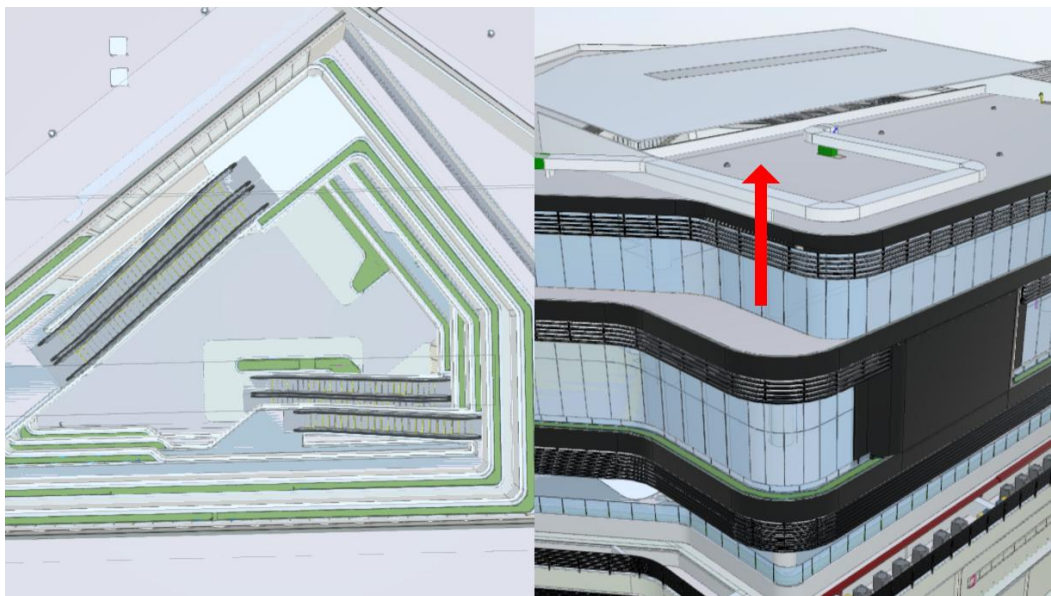


Figura 6: Atrio principal de C.C. Plaza Videre



Cuadro 1: Metros cuadrados por nivel del C.C Plaza Videre

M2 por nivel	
Nivel	M2
Azotea	1572.85
Nivel 5	3500.34
Nivel 4	5428.12
Nivel 3	6682.15
Nivel 2	6676.94
Nivel 1	7077.70
Mezzanine	1325.95
Planta Baja	6865.67
Sótano 1	6600.10
Sótano 2	6600.10
Sótano 3	6600.10
Sótano 4	6600.10
Sótano 5	6600.10
Sótano 6	6600.10
Sótano 7	1367.93
Total M2	80098.25

Para realizar los diferentes análisis se utilizó el *Software* Autodesk FORMA. Los estudios realizados fueron:

- *Sun hours*
- *Daylight potential*
- *Solar energy*

Para poder plantear cada análisis, se modeló el edificio en FORMA. Para tener datos más exactos, se investigó el tamaño real de los edificios vecinos ya que estos influirán en los resultados, estos son: edificio de apartamento Gaura, Baden y Hessen y una casa particular la cual es nombrada Comas. Las caras del edificio dan a tres direcciones diferentes, la cara principal del edificio está sobre el boulevard Vista Hermosa y la 19 Avenida. La cara trasera la cual ya se encuentra dentro de una colonia residencial “Vista Hermosa I” ubicada en la 19 Avenida A.

Figura 7: Modelo del C.C. Plaza Videre realizado con el software FORMA – Fachada Boulevard / 19 Avenida

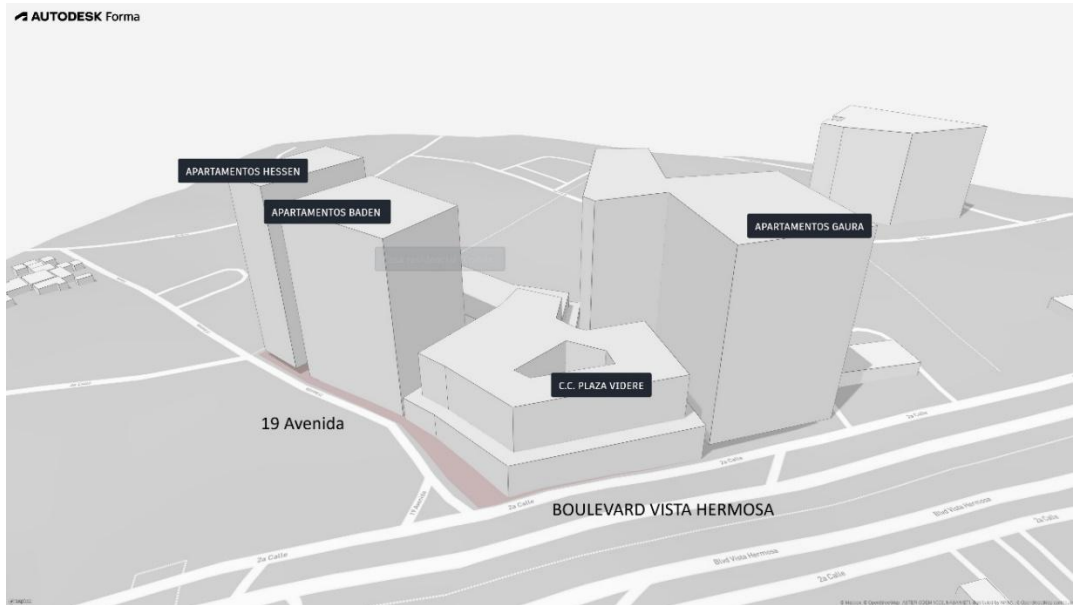
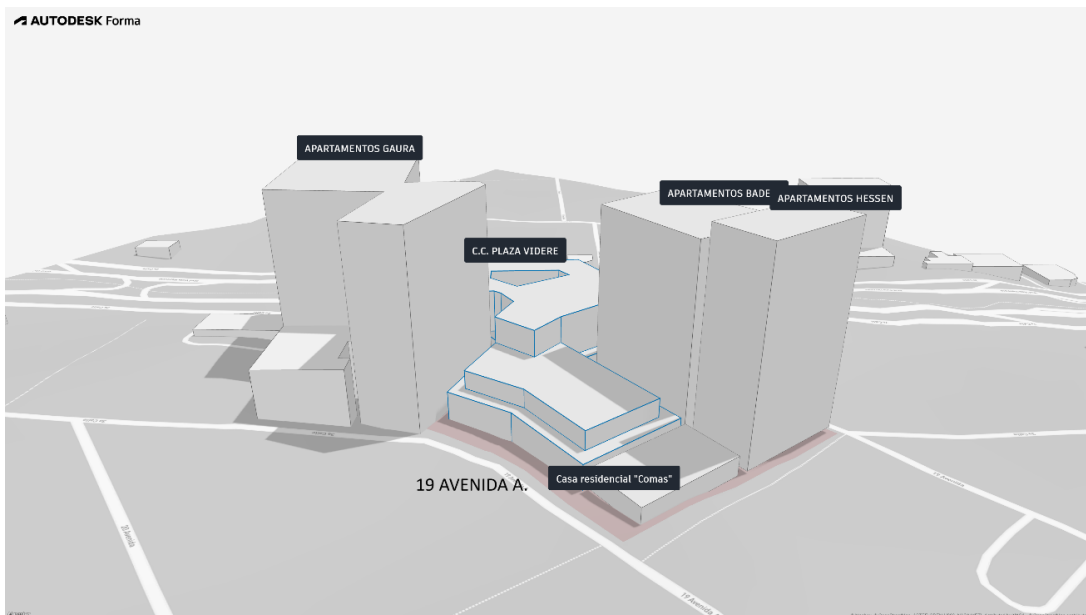


Figura 8: Modelo del C.C. Plaza Videre realizado con el software FORMA – Fachada 19 Avenida A.



Sun hours

El estudio *sun hours* representa el número de horas de sol en el edificio y superficie del terreno en fechas específicas. En este caso se utilizaron dos fechas: el 1 de abril que representa la época de verano y el 1 de diciembre que representa la fecha de invierno. El análisis utiliza la tecnología de trazado *OptiX™ Ray Tracing Engine* de NVIDIA. Esta consiste en que los rayos se trazan desde cada punto de medición en la dirección del sol que determina si el punto está en sombra en el hora y fecha indicada. Al obtener el resultado del análisis se logró conocer las condiciones a las cuales está sometido el centro comercial en las diferentes épocas del año. A continuación, se muestra los resultados del análisis *sun hours*:

Figura 9: Análisis Sun hours realizado en el mes de abril - Vista fachada Boulevard / 19 Avenida

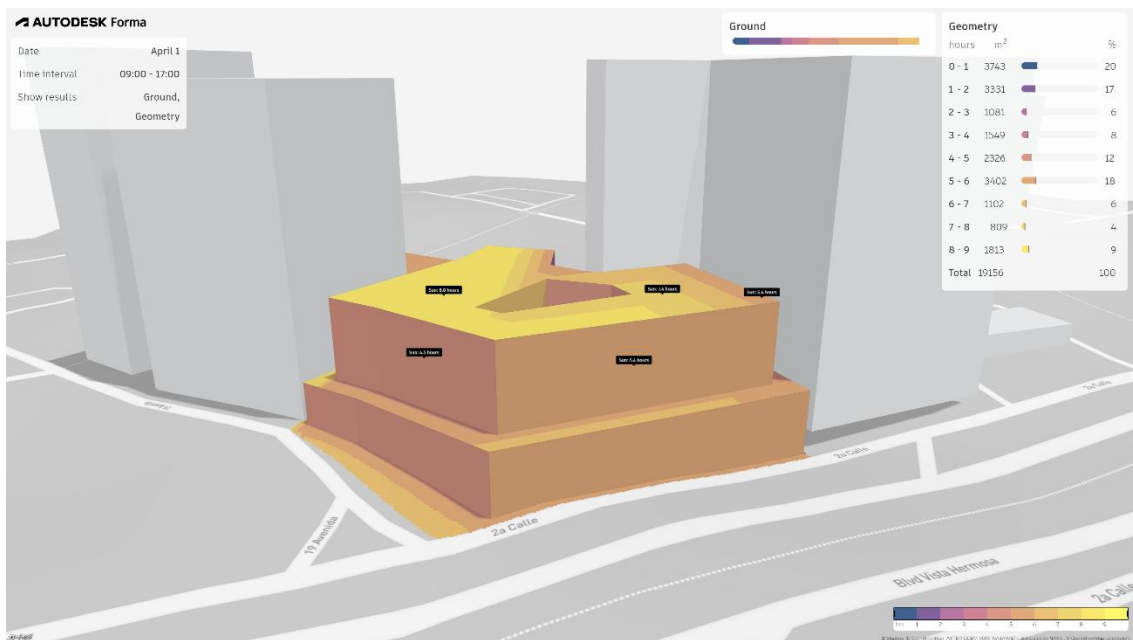
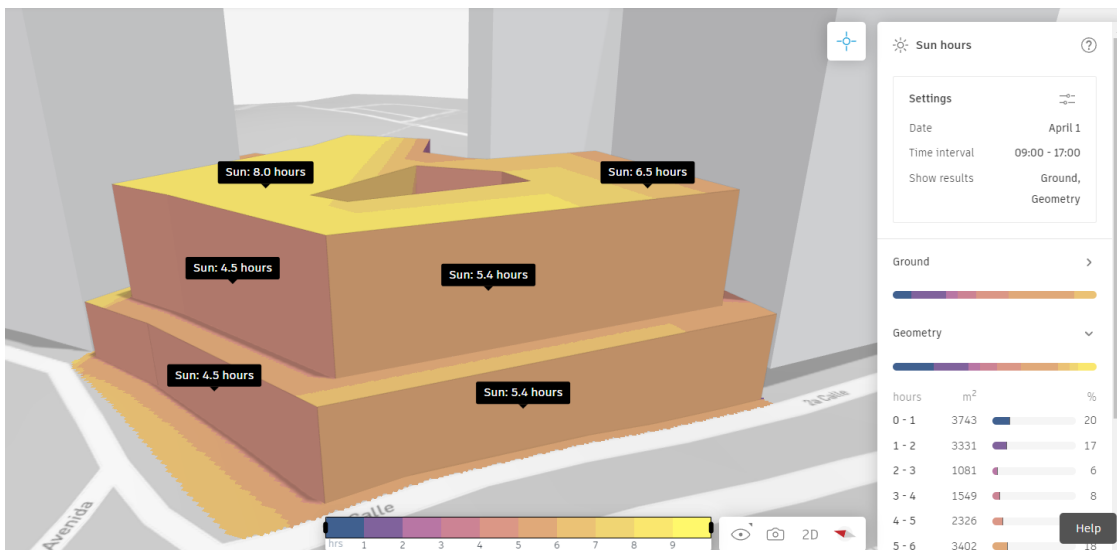


Figura 10: Cantidad de horas de sol sobre fachada en el mes de abril - Vista fachada Boulevard / 19 Avenida



Como indica la *figura 9* y *figura 10* el primer análisis solar realizado fue en la fecha del 1 de abril en temporada de verano. Se estableció un rango de 8 horas solares, específicamente de 9:00 a m – 17:00 p m. Y como se puede observar en la *figura 10* la fachada que recibió más horas solares fue la del boulevard con un tiempo de 5.4 horas. La fachada sobre 19 Avenida recibió 4.5 horas. Esto significa que la fachada principal recibe un 68 % y 57 % respectivamente de luz solar. El porcentaje obtenido se puede considerar aceptable ya que entra en un rango donde el uso de la luz solar reduce la necesidad de iluminación artificial durante el día disminuyendo el consumo de energía. Además, al estar en contacto con la luz solar mejora el estado de ánimo y desempeño de los visitantes y empleados que se encuentran

dentro del edificio. También, cabe resaltar que esto puede reducir la huella de carbono ya que disminuye la dependencia a fuentes de energía no renovables.

Figura 11: Análisis Sun hours realizado en el mes de abril - vista fachada 19 Avenida A

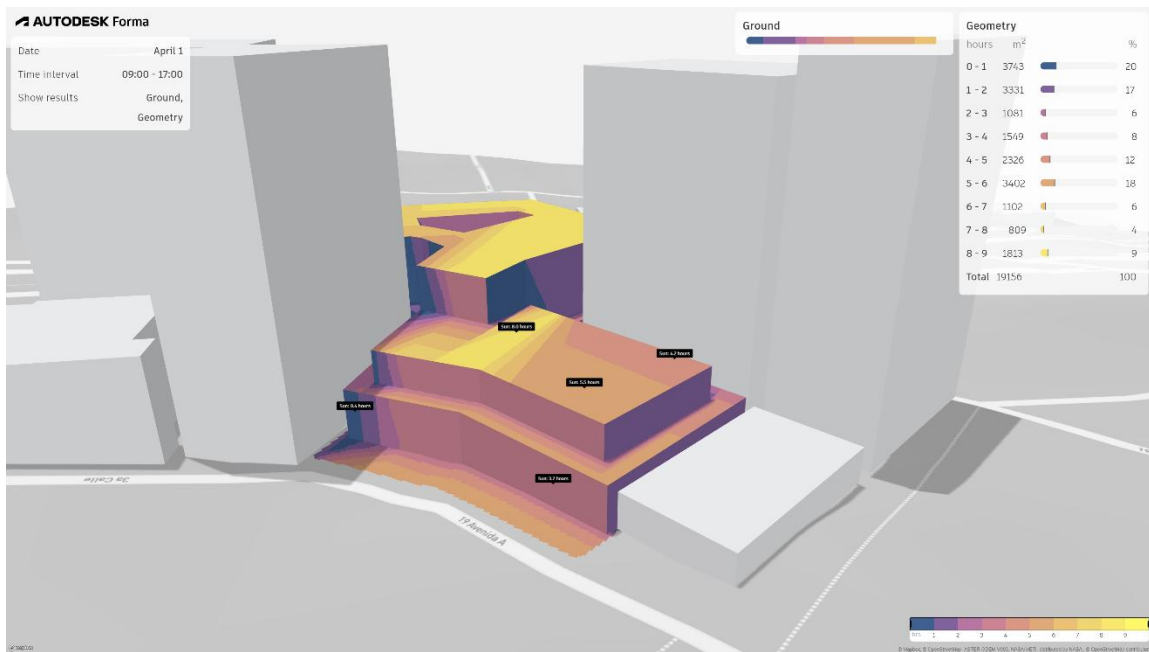
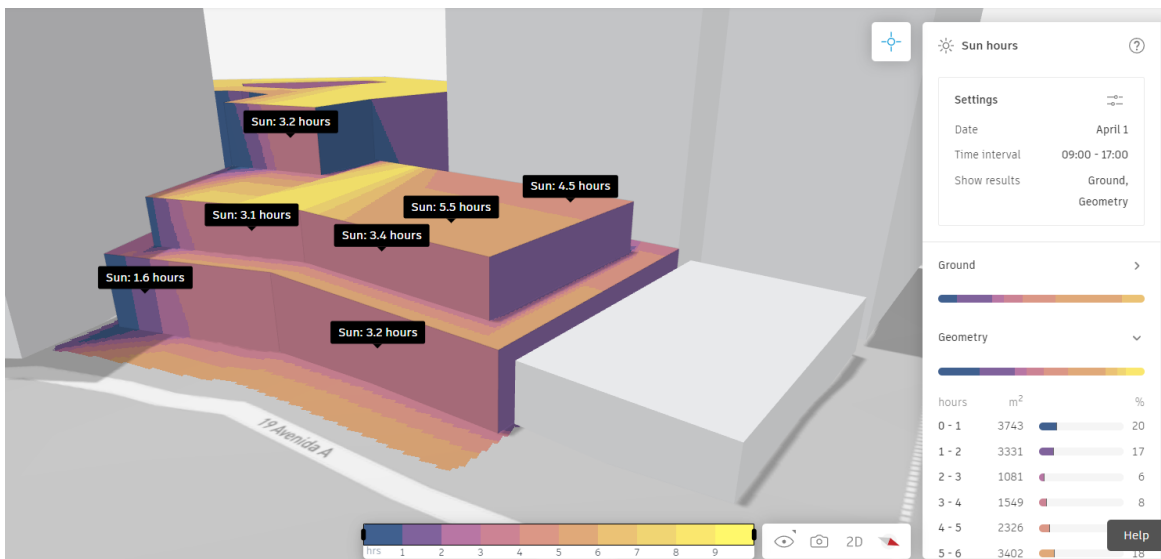


Figura 12: Cantidad de horas de sol sobre fachada en el mes de abril - vista fachada 19 Avenida A



De lado de la 19 Avenida A. la mayor cantidad de hora que recibe la fachada es únicamente 3.4 horas que equivale a un 42.5 %, pero cabe aclarar que este tiempo no ocurre alrededor de toda la fachada ya que en los niveles 1 y 2 recibe 3.2 horas y en las zonas más cercanas a los edificios vecinos, Gaura y Hessen únicamente entre 1.3 y 1.6 horas. Cabe aclarar que al no tener gran cantidad de horas solares en su diseño se consideró la instalación de ventanas en

el área del *FoodHall* en nivel 3, específicamente 83 metros lineales con una altura libre de 6 metros donde ingresará luz solar, (Utilizar la *ilustración 13* de referencia, el área circulada de color magenta). Al tener esta entrada de luz se reduce el tiempo de uso de luz artificial al menos en el nivel 3. Ayuda a dirigir luz natural a los niveles inferiores a través del atrio.

Figura 13: Nivel 3 - Asignado para área de restaurantes

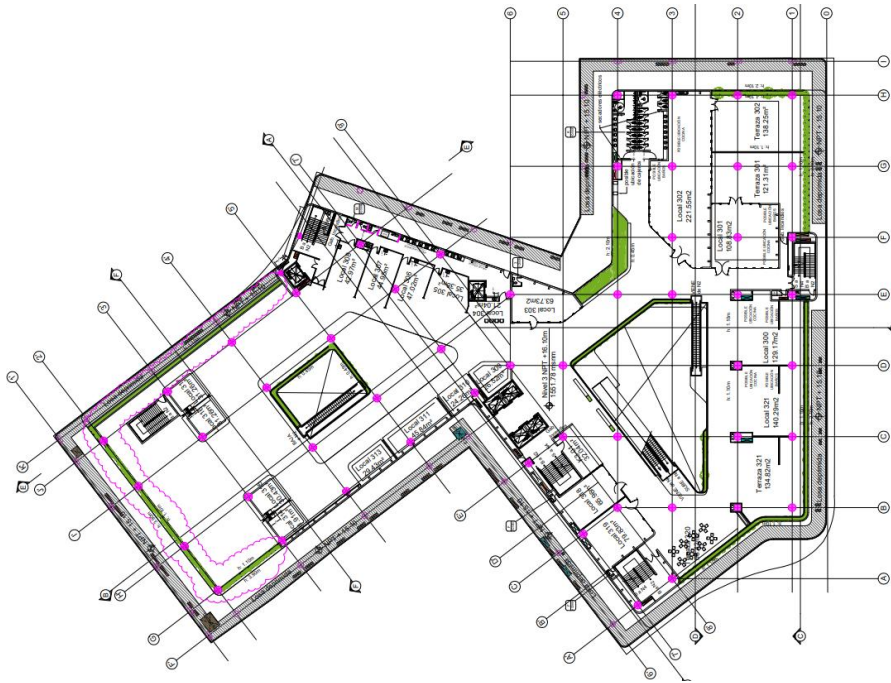
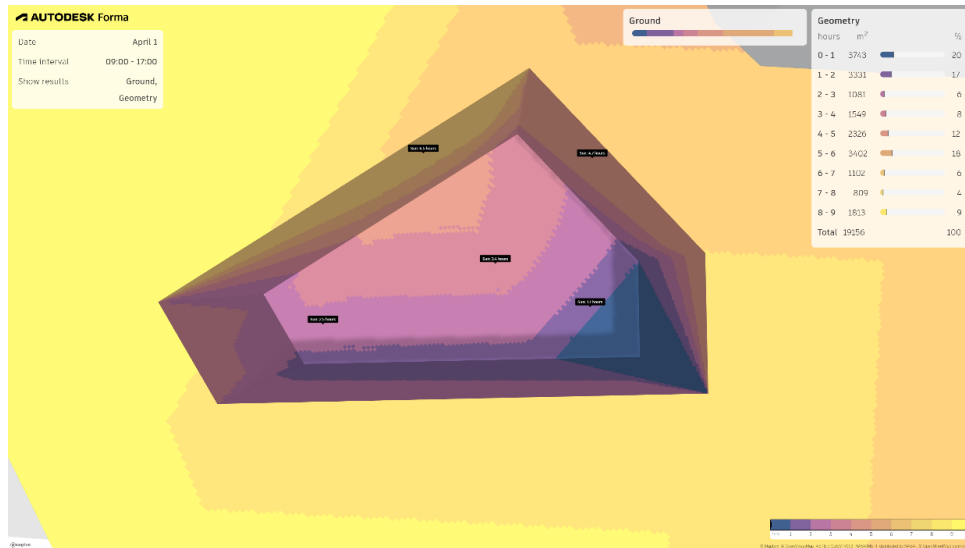


Figura 14: Análisis Sun hours realizado en el mes de abril - atrio principal



Por último, se analizó el área del atrio principal (figura 14). Y como se mencionó con anterioridad, este se mantendrá abierto durante el día para la entrada de luz natural, por lo que se decidió realizar su análisis. Con los resultados se obtuvo que en dirección noroeste es la zona donde mayor luz solar recibirá, ya que en los niveles de planta baja y nivel 1 y 2 se obtuvo un tiempo de 4.2 horas y en los niveles 3, 4 y 5 aumenta a 6.5 horas. En cambio, en la zona sureste es donde recibirá poco o nula luz solar ya que su tiempo máximo fue de 0.4 horas. En esta zona se debe considerar mayor uso de luz artificial.

Figura 15: Análisis Sun hours realizado en el mes de diciembre - vista fachada Boulevard / 19 Avenida

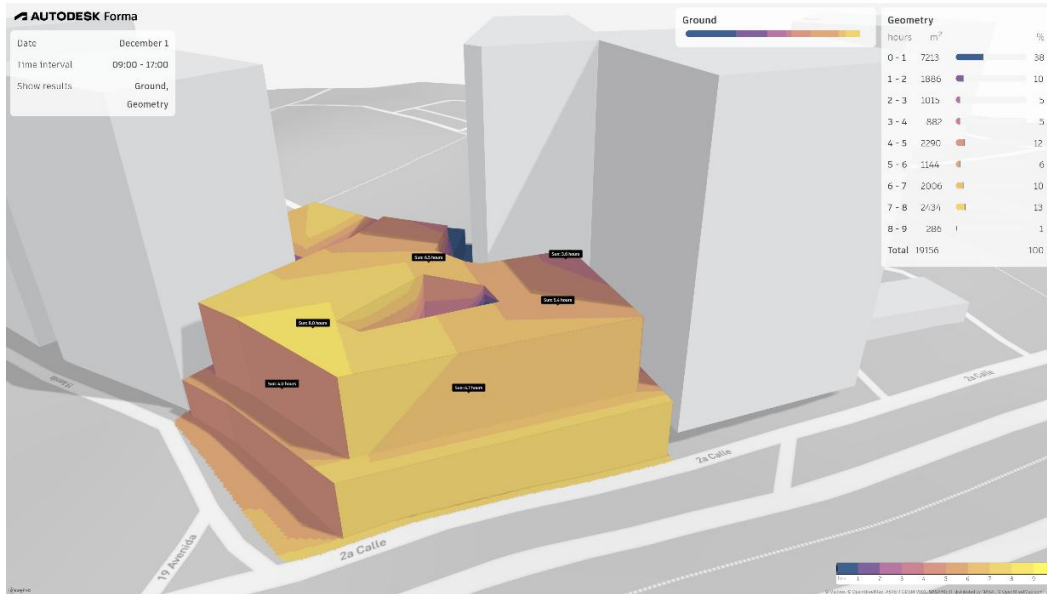
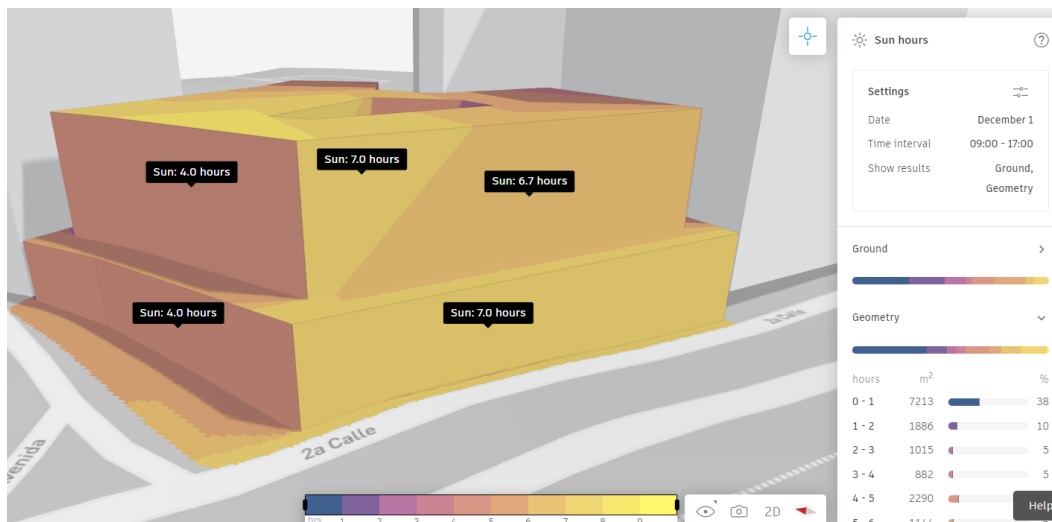


Figura 16: Cantidad de horas de sol sobre fachada en el mes de diciembre - vista fachada Boulevard / 19 Avenida



El segundo proceso de análisis, *figura 15 y 16*, se realizó en el mes de diciembre en época de invierno. En la fachada de Boulevard y 19 Avenida, tuvo un cambio significativo ya que aumento su tiempo de luz solar de 5.4 horas a 7 horas en niveles 1 y 2 y 6.7 horas en los niveles del 3 al 5. Pero en la fachada en 19 Avenida disminuyo de 4.5 horas a 4 horas. Al tener este aumento de luz, contribuye a que exista mayor temperatura en el comercial creando un confort ya que en la época de invierno la temperatura promedio es de 23 °C. Por el otro lado de la fachada, es decir, la 19 Avenida A. esta tuvo un cambio negativo ya que como se puede observar en la *figura 18* el tiempo máximo que recibe luz solar es de tan solo 3.7 en el nivel 3 y 2.2 horas en el nivel 1 y 2. Pero del lado más cercano a edificio Gaura el tiempo de luz es nulo. En este caso se puede considerar *rollers* de cortina transparente en el área del *FoodHall* para que así no se pierda la luz natural, pero sin que entre demasiado viento disminuyendo aún más la temperatura dentro del comercial. Cabe aclarar que, en cuanto a su capacidad como aislante térmico, los *rollers* de cortina transparentes no son muy eficientes, su valor R (resistencia térmica) es bajo, lo que implica que no ofrecen un buen aislamiento térmico ni ayudan significativamente a reducir la ganancia o pérdida de calor a través de las ventanas. Además, causa un efecto negativo ya que al utilizar los *rollers* generará aumento de energía y de luz artificial si se opta por cortinas opacas. En el caso del atrio principal, *figura 19*, durante la época de diciembre, una pequeña parte del área solo recibirá de 4 a 1.3 horas y el área restante, color azul, no recibirá contacto de luz solar. Al hacer este segundo análisis se observó que en las fechas de invierno el uso de luz artificial será significativo ya que gran parte del comercial recibirá muy poca luz. Es decir, que se debe de buscar alternativas como el uso de paneles solares, que más adelante se explicará el análisis obtenido.

Figura 17: Análisis Sun hours realizado en el mes de diciembre - vista fachada 19 Avenida A

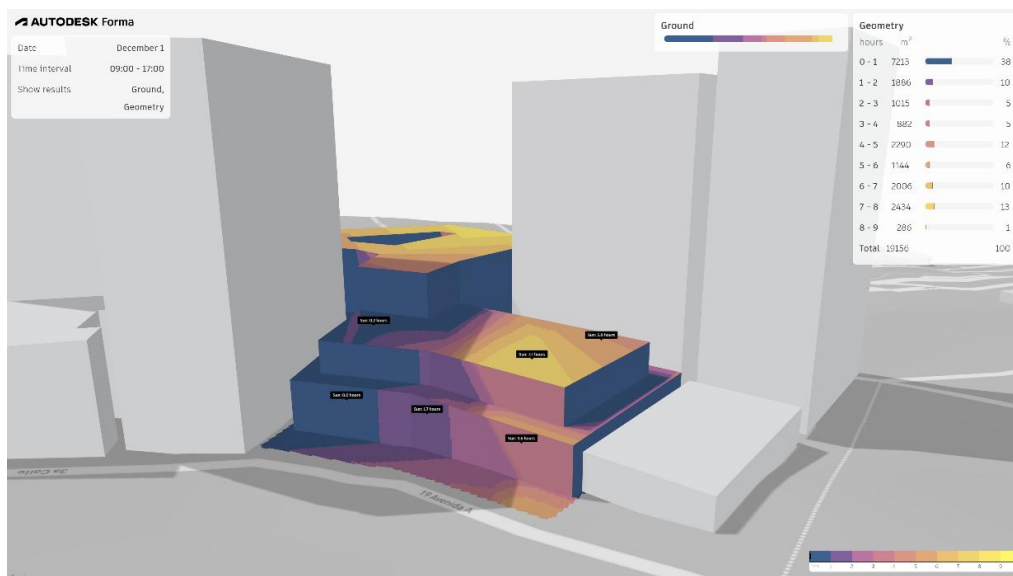


Figura 18: Cantidad de horas de sol sobre fachada en el mes de diciembre - vista fachada 19 Avenida A

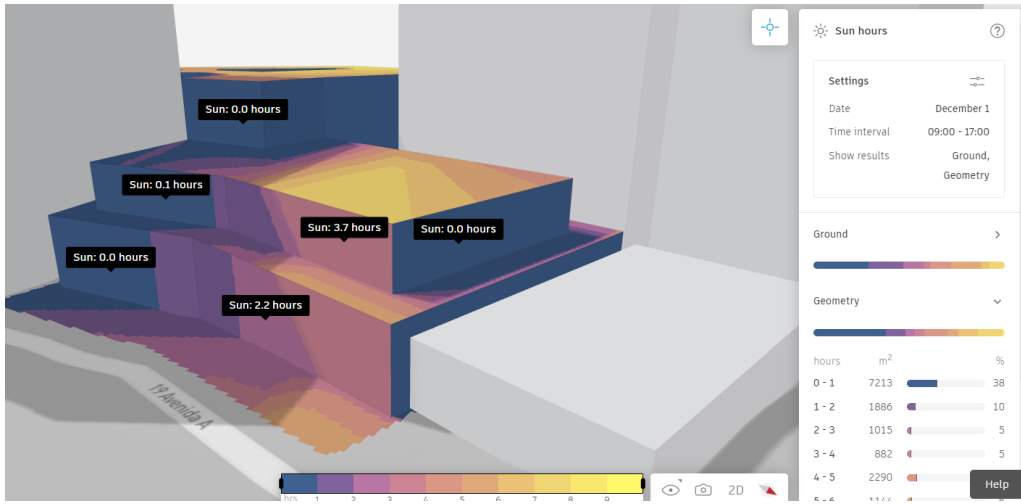


Figura 19: Análisis Sun hours realizado en el mes de diciembre - atrio principal



Daylight potential

El estudio *daylight potential* proporciona la cantidad de luz que se refleja en la fachada en forma de porcentaje. Este análisis utiliza un modelo de cielo nublado y pronostica la iluminación usando el método del componente vertical del cielo (VSC). Esta métrica es útil ya que le garantiza al edificio que tengan suficiente luz natural influyendo no solo en el confort visual, sino que en el consumo energético ya que busca reducir la iluminación natural. Además, el VSC siempre toma en cuenta obstrucciones de otros edificios, techos o estructuras cercanas, en este caso, analiza la influencia de los edificios Baden, Gaura y Hessen sobre Videre. A continuación, se muestra los resultados obtenidos en dicho análisis.

Figura 20: Análisis daylight potential - fachada Boulevard / 19 Avenida

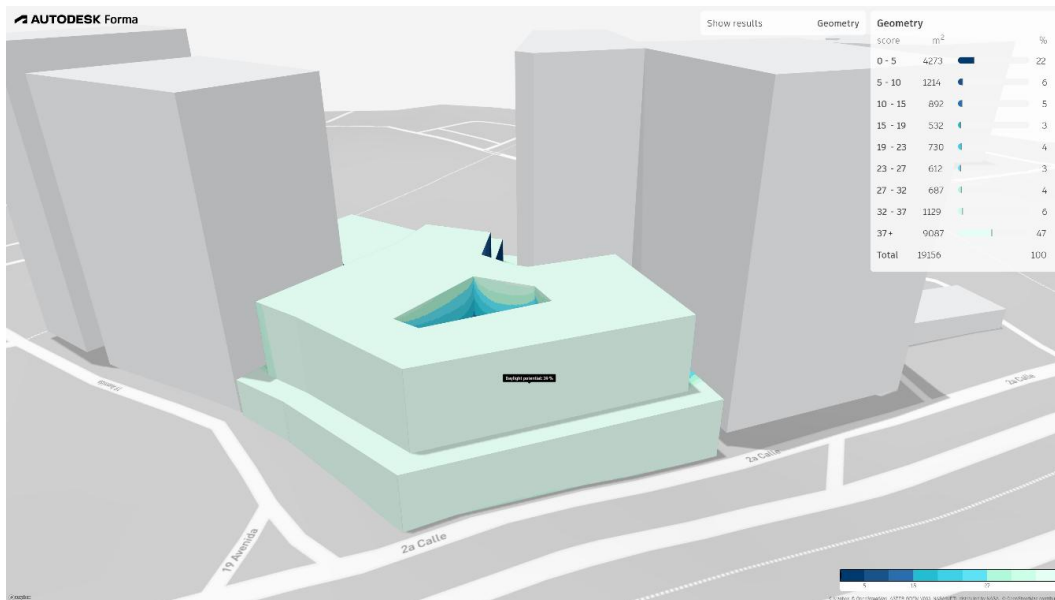


Figura 21: Porcentaje de iluminación sobre la fachada boulevard / 19 Avenida



La primera fachada analizada fue sobre el Boulevard / 19 Avenida, *figura 20 y 21*, la cual obtuvo un porcentaje de 39 % en toda la fachada. Y según los umbrales predeterminados del componente del cielo vertical (VSC), *cuadro 2*, cuando el VSC es mayor a 27 % indica que el diseño de ventana es satisfactorio.

Cuadro 2: Condiciones de luz natural esperadas para diferentes rangos de puntuaciones VSC

Umbral predeterminado del componente de cielo vertical (VSC) para puntos en fachadas	Condiciones de luz diurna
$VSC \geq 27\%$	Diseño de ventana convencional, se considera satisfactorio
$15\% < VSC < 27\%$	Se necesitan ventanas más grandes o cambios en el diseño
$5\% < VSC < 15\%$	Difícil proporcionar luz natural adecuada
$VSC < 5\%$	Conseguir luz natural razonable es a menudo imposible

(Littlefair, 2011)

Seguidamente, se analizó la fachada sobre la 19 Avenida A. en donde se observó un cambio de porcentaje en diferentes puntos de la fachada, *figura 23*. En los niveles 1 y 2, el porcentaje obtenido es de 34 % y en las zonas más cercanas al edificio Gaura se reduce a 31 %, no obstante, se mantiene dentro del rango satisfactorio. En el nivel 3, el porcentaje sobre el lado de Comas es de 33 % e igualmente sucede el mismo caso que en los niveles inferiores. Ya que se tiene un porcentaje de 35 % y luego baja al 31 % manteniéndose dentro de los satisfactorio. Asimismo, se puede notar que en el nivel 5, se obtuvo un resultado del 24 % el cual indica que se debe realizar ventanas más grandes. En este caso en el diseño original, *figura No. 24*, si se contempló una ventana de 6 m x 3.9 m, permitiendo la mayor cantidad posible de luz natural.

Figura 22: Análisis daylight potential - fachada 19 Avenida A

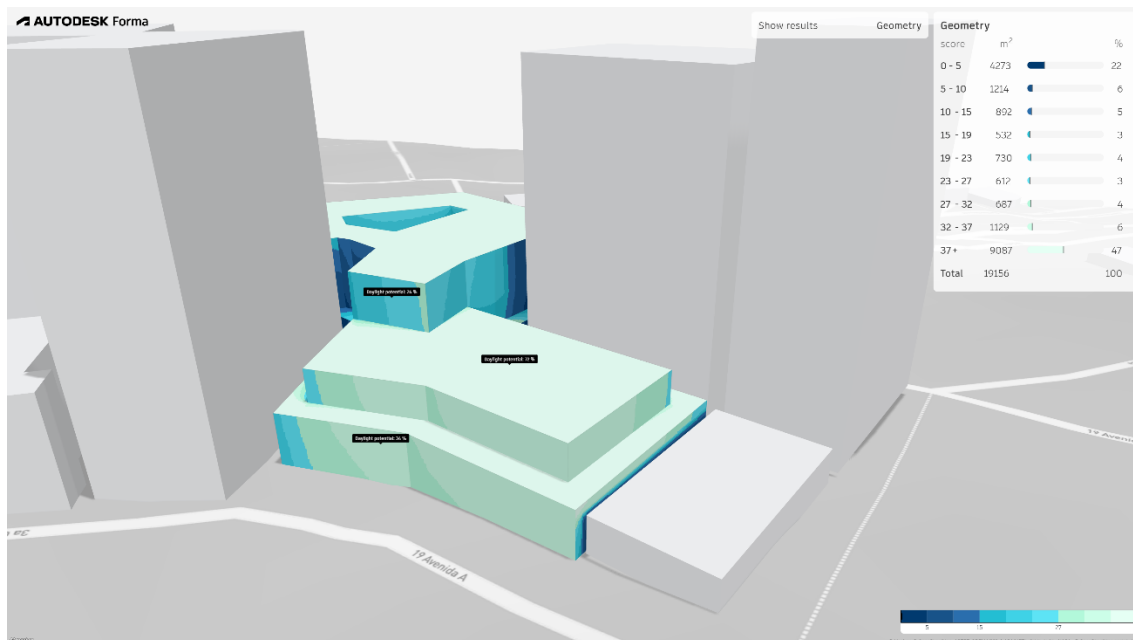


Figura 23: Porcentaje de iluminación sobre la fachada 19 Avenida A

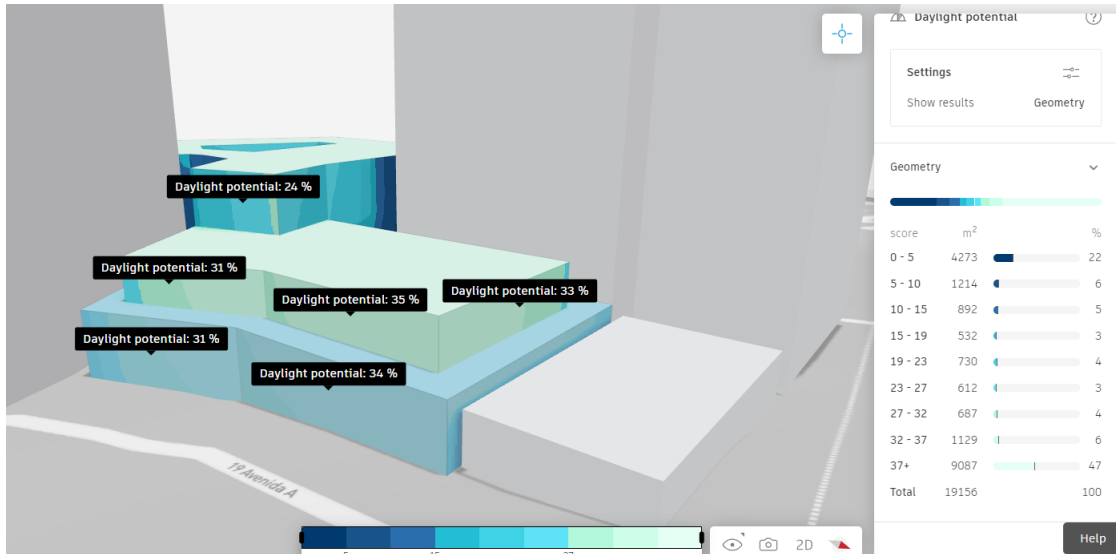
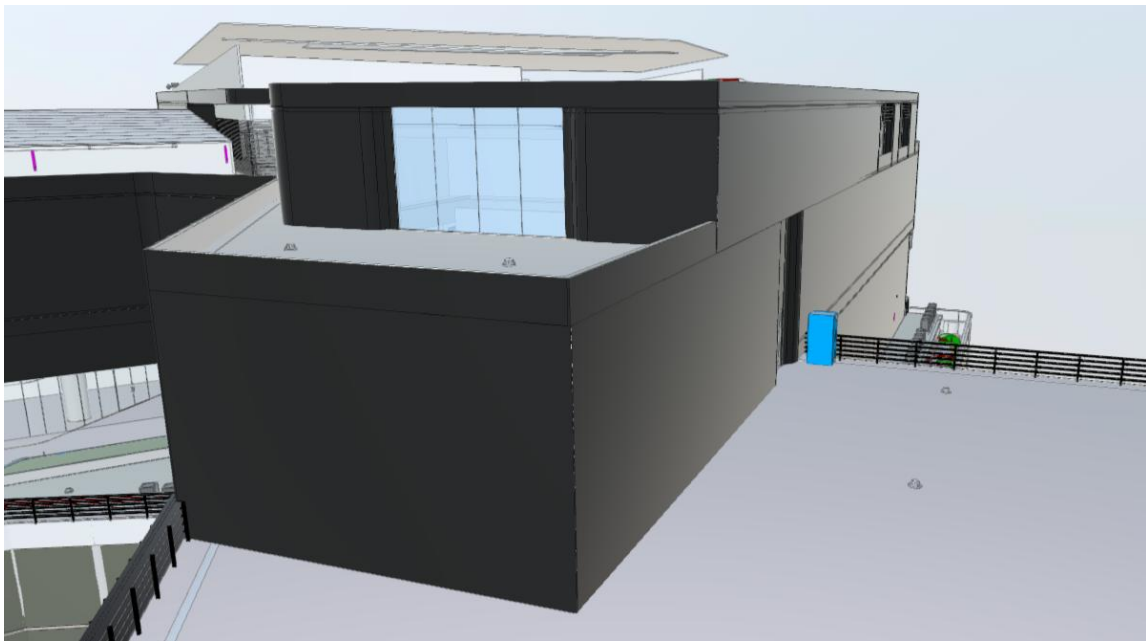


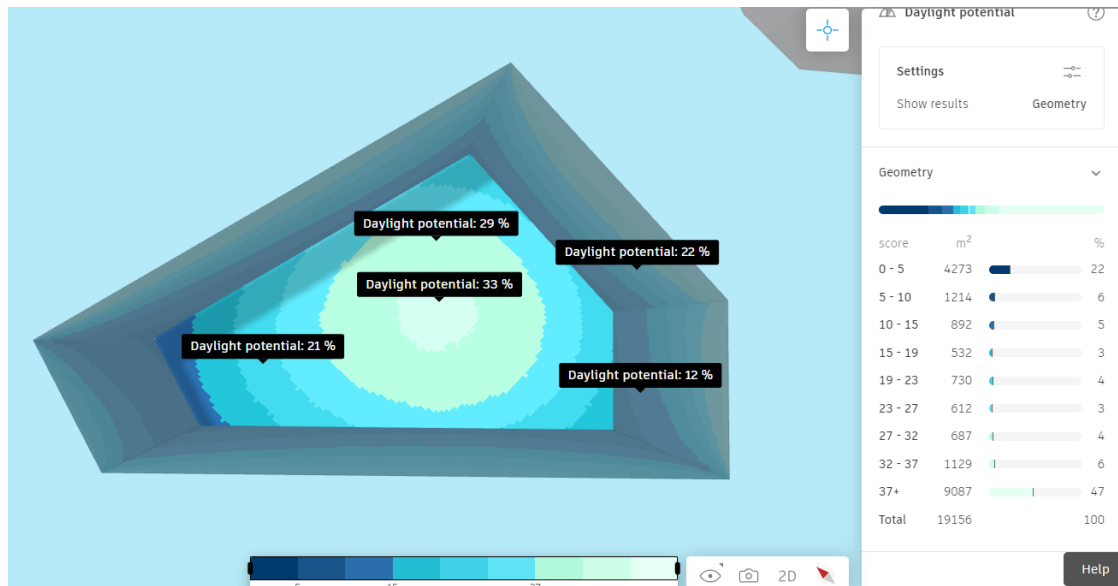
Figura 24: Diseño de ventana considerado para el nivel 5



Por último, se analizó el atrio principal, *figura 25*, en donde se obtuvo que, en el nivel de planta baja, específicamente en el centro del comercial se tendrá un potencial del 33 % y conforme se aleja del centro el porcentaje disminuye de 29 %, seguidamente a 21 %. Además, en los niveles 1 y 2 se encuentra dentro del rango en donde es difícil proporcionar luz natural adecuada. Y desde el nivel 3 al 5 a pesar de que su porcentaje aumenta a un 22% la iluminación no es satisfactoria. Cabe aclarar que la luz que ingresa sobre el atrio no piensa sustituir a la luz artificial, sino se considera un apoyo al momento de disminuir energía sobre

el día. En caso el atrio jugara un papel importante, se debe replantear un nuevo diseño que permita que la iluminación sea la satisfactoria desde planta baja hasta el nivel 5.

Figura 25: Porcentaje de iluminación sobre atrio principal



Solar energy

El análisis solar permite ayudar a obtener resultados más sostenibles. Con el *software* permite visualizar el modelo y calcular la cantidad de energía de radiación solar recibida sobre la superficie en un rango de tiempo. Para obtener estos resultados FORMA valida los datos en diferentes fuentes, las más conocidas *PVWatts*, que estima la producción de energía de los sistemas de energía fotovoltaica (PV) y *Global Solar Atlas* que evalúa el potencial de energía solar en diferentes regiones del mundo. Al realizar este análisis se busca utilizar el dato de la energía producida para saber la cantidad de paneles y porcentaje de energía que generara.

Como se puede observar en la *figura 26*, se analizó la azotea y el área de la losa deprimida en N3 sobre la fachada Boulevard / 19 Avenida. Para el análisis se usó un 60 % de cobertura que es el porcentaje de superficies cubiertas por paneles solares productivos, sin incluir la infraestructura de apoyo. Asimismo, se utilizó un 20 % de eficiencia de panel que es el porcentaje de energía solar que se puede convertir en electricidad. Como resultado se obtuvo que la energía solar promedio del centro comercial es de $1,650 kWh/m^2$. Al analizar la *figura 27* se puede observar que en el nivel 3 el rango de energía se encuentra entre $1,459 - 1,511 kWh/m^2$ sobre el Boulevard. En cambio, sobre la 19 Avenida ya que la energía producida es mínima no se tomó en cuenta para el análisis. En la azotea la energía promedio fue de $1,877 kWh/m^2$ del lado más cercano al edificio Baden. Pero en las zonas cercanas al

edificio Gaura el rango disminuyó, obteniendo una energía solar promedio de 1,638 – 1,660 kWh/m^2 .

Figura 26: Análisis solar energy sobre la azotea y losa deprimida - Boulevard / 19 Avenida

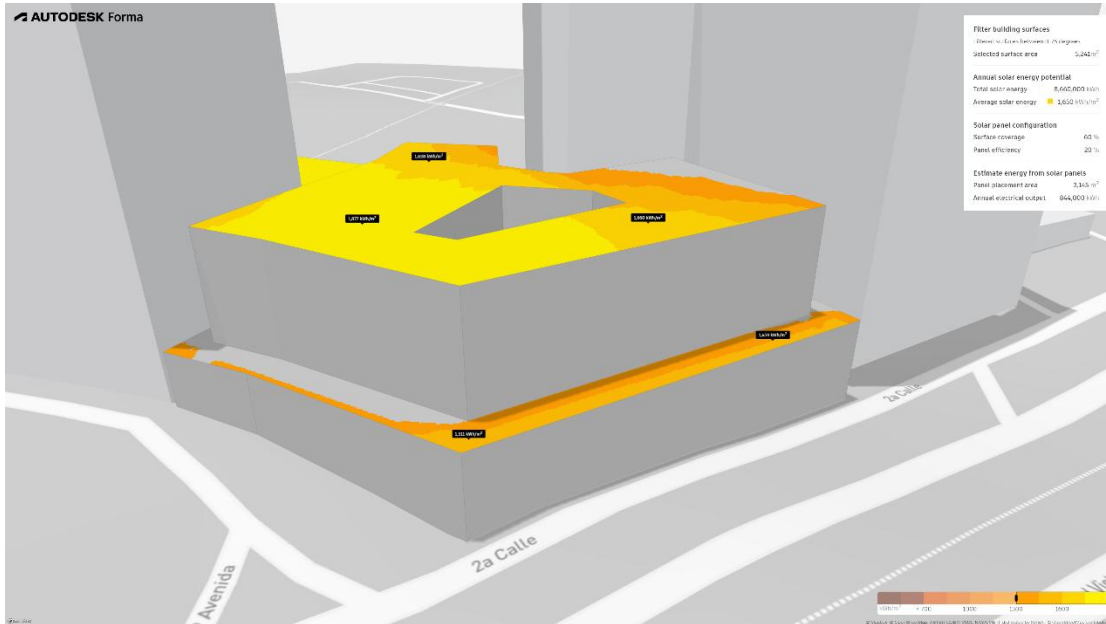


Figura 27: Energía solar promedio sobre Boulevard / 19 Avenida



Del lado de la 19 Avenida A, figura 28 y 29. en el área de la losa deprimida el promedio más alto fue de 1,788 kWh/m^2 esto del lado de Comas. En las zonas más cercanas con el edificio Gaura se obtuvo un rango de 1,473 – 1,683 kWh/m^2 . En la terraza del nivel 4, al estar a

una altura inferior que la azotea sobre el Boulevard se tienen diferentes promedios debido a que el edificio Baden y Hessen crean sombra evitando que en toda la azotea se mantenga a un solo promedio. El promedio más alto es de $1,818 \text{ kWh/m}^2$ y el más bajo es de $1,354 \text{ kWh/m}^2$

Figura 28: Análisis solar energy sobre la azotea y losa deprimida - 19 Avenida A

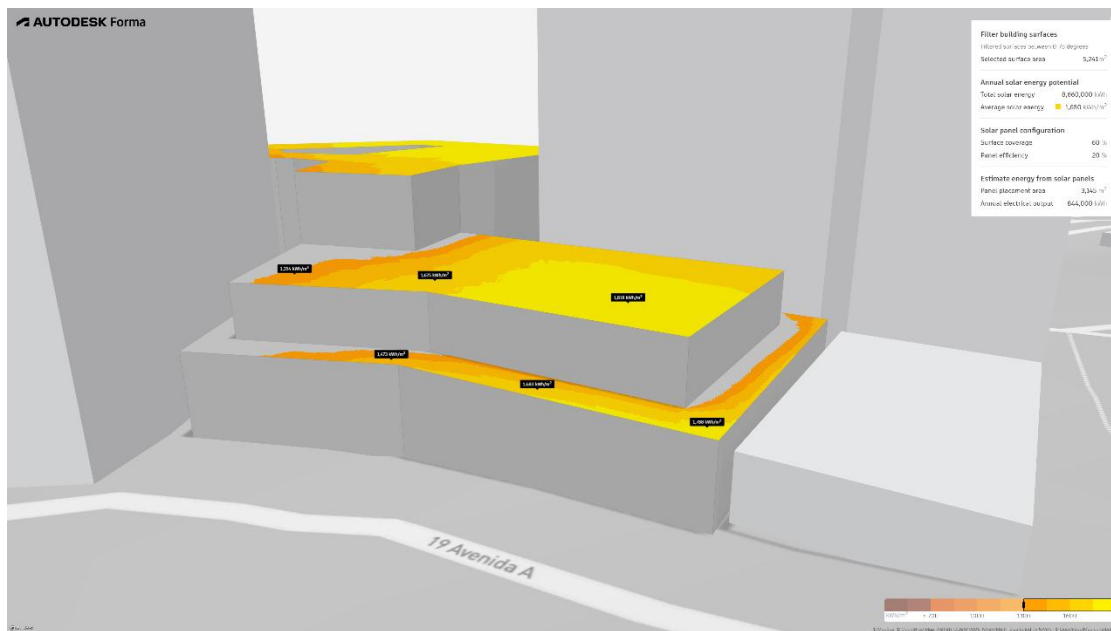


Figura 29: Energía solar promedio sobre 19 Avenida A



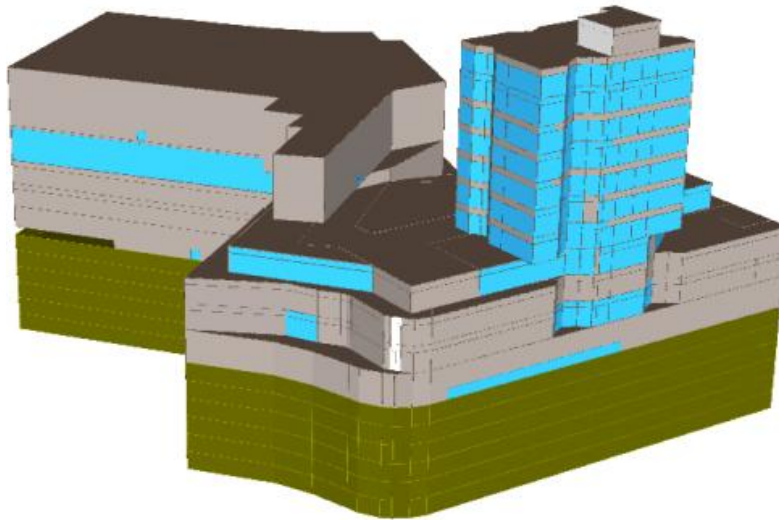
Consumo de energía del proyecto

Si se desea implementar Net Zero en el centro comercial Plaza Videre se debe contar con el dato del consumo de energía total del edificio. En la etapa de planificación, específicamente en junio del año 2021 se realizó un estudio energético ya que el edificio está en busca la certificación LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*). En dicho estudio se realizó una propuesta en donde indicaba el consumo total de energía del edificio el cual era de 4,860,372 kWh, *figura 30*. Asimismo, en el caso la reducción del consumo energético era de 812,650 kWh que representaba un ahorro energético del 14.3 %. Cabe aclarar, que al momento de realizar el estudio se planeaba realizar área de cines y 5 niveles adicionales de oficinas, *figura 31*.

Figura 30: Reporte BEPU caso propuesto

videre		DOE-2.2-50a 6/08/2021 14:35:35 BDL RUN 1											
REPORT- BEPU Building Utility Performance		WEATHER FILE- EPW GUATEMALA/LA_AUR											
	LIGHTS	TASK LIGHTS	MISC EQUIP	SPACE HEATING	SPACE COOLING	HEAT REJECT	PUMPS & AUX	VENT FANS	REFRIG DISPLAY	HT PUMP SUPPLEM	DOMEST HOT WTR	EXT USAGE	TOTAL
EM1 ELECTRICITY KWH	904233.	0.	3120901.	19531.	634477.	6538.	32995.	90682.	0.	0.	0.	51026.	4860372.
FMI NATURAL-GAS THERM	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
TOTAL ELECTRICITY 4860372. KWH		6.170 KWH /SQFT-YR GROSS-AREA		6.170 KWH /SQFT-YR NET-AREA									
PERCENT OF HOURS ANY SYSTEM ZONE OUTSIDE OF THROTTLING RANGE = 1.71													
PERCENT OF HOURS ANY PLANT LOAD NOT SATISFIED = 0.00													
HOURS ANY ZONE ABOVE COOLING THROTTLING RANGE = 0													
HOURS ANY ZONE BELOW HEATING THROTTLING RANGE = 47													
NOTE: ENERGY IS APPORTIONED HOURLY TO ALL END-USE CATEGORIES.													

Figura 31: Diseño original del C.C. Plaza Videre



Actualmente la energía que consumirá el edificio es de 4,824,000 kWh este dato se obtuvo de los planos de red de distribución existente.

Dato de Red de distribución existente del edificio

$$13.2 \text{ kV} \approx 1.32 \times 10^4 \text{ V}$$

Potencia del centro comercial (Potencia = Tensión * Intensidad)

$$\begin{aligned} W &= V * A \\ W &= (1.32 \times 10^4 \text{ V})(15,000 \text{ A}) \\ W &= 2.01 \times 10^8 \text{ W} \approx 2.01 \times 10^5 \text{ kW} * 24 \text{ horas} \\ W_{total} &= 4,824,000 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Como se mencionó anteriormente Plaza Videre al estar buscando la certificación LEED esta cuenta con área asignada para la instalación de paneles solares, *figura 32*. El área actual disponible es de 689 m² y está ubicada en la azotea del nivel 6. Además, se utilizó el dato de la energía solar promedio obtenido en FORMA la cual fue de 1,650 kWh/m². A continuación, se muestra los cálculos para determinar cuál será la energía producida que se utilizará en el proyecto.

Figura 32: Área asignada para paneles solares en azotea de nivel 6

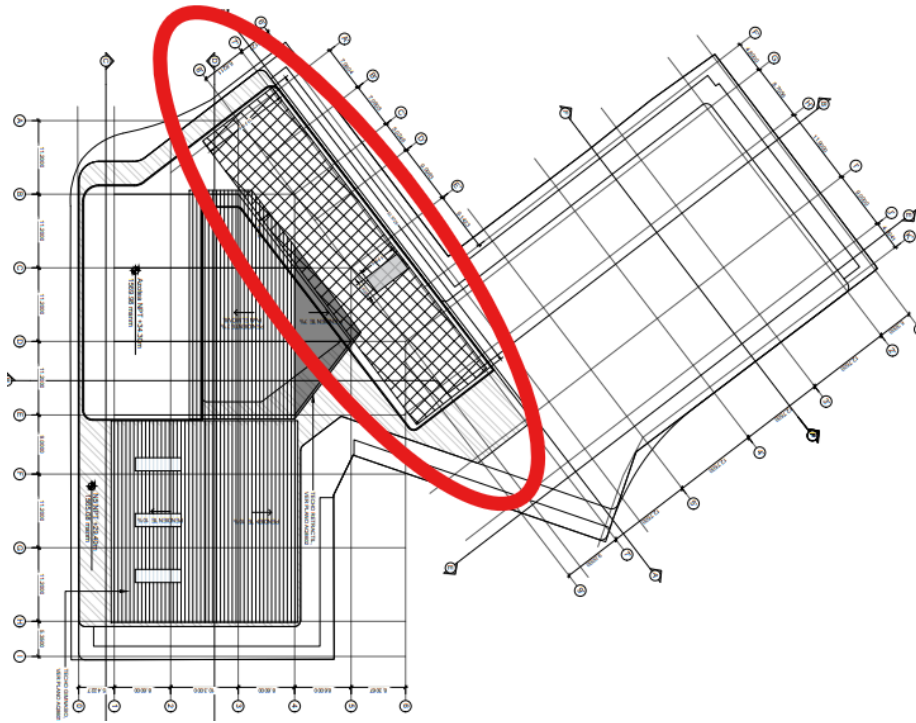


Figura 33: Fotografía en campo del área asignada para paneles solares en azotea de nivel 6



Área original asignada para paneles

$$A = 689 \text{ m}^2$$

Energía solar promedio obtenido de FORMA

$$E_{solar_prom} = 1,650 \text{ kWh/m}^2$$

Energía generada

$$E_{solar_gen} = 689 \text{ m}^2 * 1,650 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} = 1,136,850 \text{ kWh}$$

Porcentaje generado

$$\%E_{gen} = \frac{4,824,000 \text{ kWh}}{1,136,850 \text{ kWh}} = 4.243$$
$$\%E_{gen} = \frac{100}{4.243} = 23.57\%$$

La energía generada en la azotea únicamente proporciona un 23.57 % y como se desea alcanzar la Net Zero se debe considerar más área para llegar al 100 % de energía generada. En este caso se utilizará la terraza del nivel 4, área de la losa deprimida en nivel 3 y parte del techo del gimnasio. Estas áreas cuentan con 1,839.02 m², 306.64 m² y 186.33 m² respectivamente.

Figura 34: Plano de terraza en nivel 4 - área asignada para paneles solares

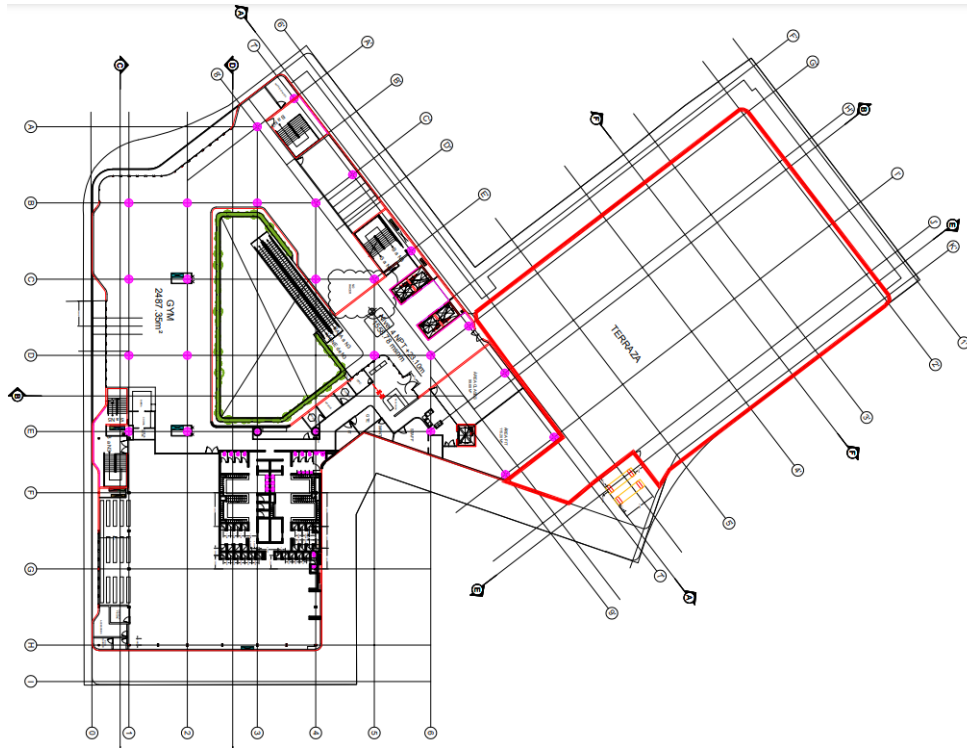


Figura 35: Fotografía en campo de terraza de nivel 4



Figura 36: Plano de losa deprimidas en nivel 3 - área asignada para paneles solares

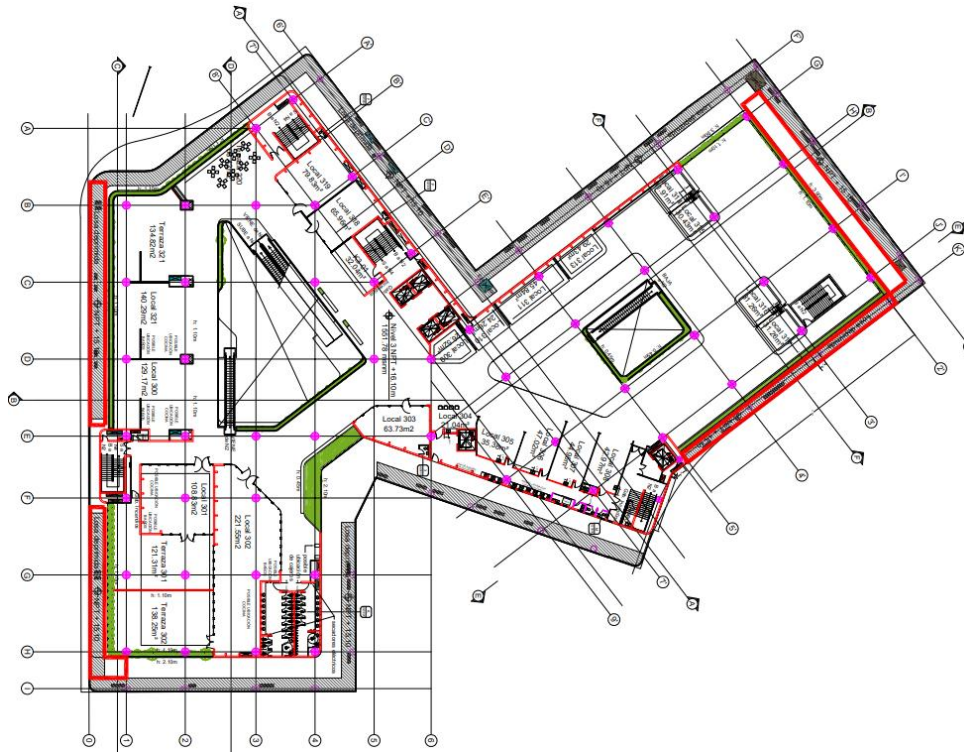
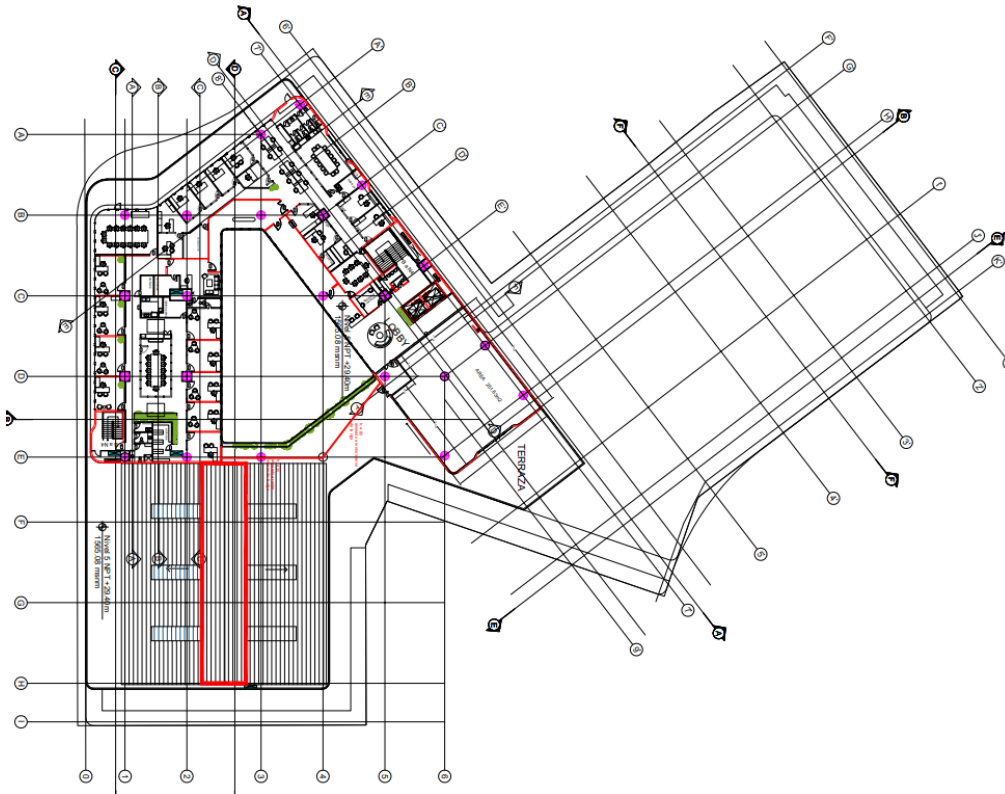


Figura 37: Plano de techo metálico de gimnasio en nivel 5 - área asignada para paneles solares



Incluyendo terraza de N4, losa deprimida y techo metálico de gimnasio

$$A = (689 + 1839.03 + 304.64 + 186.33)m^2 = 3019 m^2$$

Energía generada

$$E_{solar_gen} = 3019 m^2 * 1,650 \frac{kWh}{m^2} = 4,981,350 kWh$$

Porcentaje generado

$$\%E_{gen} = \frac{4,824,000 kWh}{4,981,350 kWh} = 0.968$$
$$\%E_{gen} = \frac{100}{0.968} = 103.26\%$$

Al asignar nuevas áreas de paneles se logró alcanzar un 103.26 % de energía solar generada. Cabe aclarar que las medidas pueden variar en campo y el porcentaje sea aún más cercano al 100 %. Luego de alcanzar Net Zero en Plaza Videre, se debe calcular la cantidad de paneles solares. El panel por utilizar es de la marca *RISEN RSM132-8-645M-670M* que tiene una medida de 2384 x 1303 x 35 mm. La potencia individual por panel es de 660 *Wp*. Como se mencionó anteriormente el área actual de los paneles únicamente es en la azotea. En dicha área se necesitará 176 módulos para alcanzar los 23.57 % de energía solar. Pero para poder determinar la cantidad que se necesita para alcanzar Net Zero se realizó los siguientes cálculos.

Cantidad de Paneles

$$\#Paneles = \frac{4,981,350 kWh}{24 h} = 207,556.25 kW$$

$$1Wp = 1,000 kW$$
$$207,556.25 kW = 207,556.25 Wp$$

Se utiliza el valor de la potencia individual por panel

$$\frac{207,556.25 Wp}{660 Wp} = 314.47 \approx 315 \text{ paneles}$$

Se necesitan 315 paneles para abastecer el 100% de consumo energía en Plaza Videre. Para saber si es beneficio para el planeta se debe realizar cuando CO₂ se reduce en 20 años equivalente en árboles. En promedio, un árbol joven puede absorber aproximadamente 22 kg de CO₂ por año. Se estima que durante su vida útil (aproximadamente 40 años), un árbol puede absorber un promedio de 500 kg de CO₂ durante toda su vida. En este caso la reducción de CO₂ en 20 años en Plaza Videre será de 913,500 toneladas.

$$1 t = 1,000 kg$$

$$913,500 \text{ t} * 1,000 \text{ kg} = 913,500,000 \text{ kg}$$

$$\#Árboles = \frac{913,500,000 \text{ kg}}{500 \frac{\text{kg}}{\text{árbol}}} = 1,827,000 \text{ árboles}$$

Para saber el costo de inversión de estos paneles se utilizó de referencia la oferta actual presentada en Plaza Videre, 38, la cual es de 116,200 *Wp* en donde el precio unitario es de \$0.57 dando un total de \$66,234.00. Cabe aclarar que este dato solo incluye paneles en la azotea. Si se desea colocar el 100 % de energía solar el precio sería el presentado a continuación:

Figura 38: Cotización realizada por 176 módulos

CANTIDAD	UNIDADES METRICA	Área	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL
116200			SISTEMA SOLAR CASA ITURBIDE Sistema Solar 116.2kwp Incluye lo siguiente: * Sistema de Anclaje y Sujecion * Sistema de montaje y conexionado electrico * Entubado y cableado electrico * Inversores Huawei * Paneles Solares Tier 1. * Gestion en EGSA para contador bidireccional * Ingenieria de Detalle * Mano de obra calificada.	Q 0.57	Q 66,234.00
TOTAL				\$	66,234.00

$$Wp = 207,556.25$$

$$\$ = \$0.57 * 207,556.25$$

$$\$ = 118,307.06$$

Diferencia con oferta original

$$\$118,307 - \$66,234 = \$52,073$$

$$\%Diferencia = \frac{\$52,073}{\$66,234} = 0.786 \approx 79\%$$

Evaluación de materiales de fachada

Para evaluar el material de la fachada se debe obtener la resistencia térmica del material que indica la capacidad para resistir la transferencia de calor, el cual se utilizará el valor “R”. El valor “R” se utiliza para describir la capacidad de aislamiento del material. Cuanto mayor sea este valor, significa que mayor será la resistencia térmica del material, es decir, mejor capacidad de aislamiento. Además, se utilizará el valor “U” que es el coeficiente de

transmisión térmica que es la medida de cuanta energía se transfiere a través de un material. El valor “U” se considera el inverso del valor “R” ya que el valor “R” mide la capacidad de un material para resistir el paso y el valor “U” mide cuanto calor permite pasar.

En este caso, en Plaza Videre, los materiales que se encuentran en fachada sobre muro de block son:

- STO *Therms EIFS Next Cl. A*: Niveles: Planta Baja, Nivel 1 y 2
- ACM (*Aluminum Composite Material*): Niveles: 3, 4 y 5

Y el tipo de ventanearía utilizada es:

- Vidrio templado *ULTRA CLEAR* de 12mm: Niveles: 1, 2 y 3
- Vidrio laminado *COOL – LITE ST120* de 8mm: Niveles: 4 y 5

*Nota: Usar de referencia la *figura y. 2*. STO; material color beige y ACM; material color negro.

Para evaluar el desempeño de los materiales anteriormente mencionados se realizaron los siguientes cálculos:

➤ **Valor U del ACM**

El ACM posee un valor R muy bajo. En este caso el espesor del panel es de 4 mm (0.157 pulg.) por lo cual su valor R es de 0.0003 ($ft^2 * h * ^\circ F / BTU$)

Valor U ($BTU / ft^2 * h * ^\circ F$)

$$U = \frac{1}{0.0003} = 3,333 \text{ (} BTU / ft^2 * h * ^\circ F \text{)}$$

Valor U ($W / m^2 * K$)

$$U = \frac{1}{0.0003 * 0.176} = 590 \text{ (} W / m^2 * K \text{)}$$

Estos resultados muestran que el ACM no es buen aislante, ya que permite una gran cantidad de calor. Si se desea disminuir el valor de transmisión térmica se debe utilizar un aislamiento. En este caso se propone utilizar 4 pulgadas un poliestireno extruido (XPS) con un valor “R” de 5 por pulgada.

Ya que el valor “R” del ACM es muy bajo se puede considerar despreciable. Y únicamente se toma el valor del aislante.

Valor U del ACM con aislamiento

Valor R total con ACM y XPS

$$R = 4 * 5 = 20$$

Valor U ($BTU/ft^2 * h * ^\circ F$)

$$U = \frac{1}{20} = 0.05 (BTU/ft^2 * h * ^\circ F)$$

Valor U ($W/m^2 * K$)

$$U = \frac{1}{20 * 0.176} = 0.28 (W/m^2 * K)$$

➤ **Valor U del STO**

El STO *Therm EIFS Next CIA* utiliza un aislador XPS de un espesor de 4 pulgadas

Valor U ($BTU/ft^2 * h * ^\circ F$)

$$U = \frac{1}{15} = 0.067 (BTU/ft^2 * h * ^\circ F)$$

Valor U ($W/m^2 * K$)

$$U = \frac{1}{15 * 0.176} = 0.378 (W/m^2 * K)$$

Los resultados muestran que el STO al utilizar un aislador XPS proporciona un excelente rendimiento térmico.

➤ **Valor U del vidrio laminado COOL – LITE ST120 de 8mm**

El valor “R” de un vidrio de baja emisividad es de 2.6 a 2.8. En este caso se usará el promedio de este rango, es decir, 2.8 ya que en planos de referencia no especifican el valor “R”.

Valor U ($W/m^2 * K$)

$$U = \frac{1}{2.8} = 0.357 (W/m^2 * K)$$

Valor U ($BTU/ft^2 * h * ^\circ F$)

$$U \left(\frac{BTU}{ft^2} * h * ^\circ F \right) = U \left(\frac{W}{m^2} * K \right) * 0.176$$

$$U = 0.357 * 0.176 = 0.063 (BTU/ft^2 * h * ^\circ F)$$

Este valor indica que el vidrio tiene una buena capacidad de aislamiento. Y vidrios de baja emisividad como el *COOL-LITE ST120* tienden a tener valores U en el rango de 0.2 a 0.4 W/m²·K, lo que indica un buen desempeño en el control solar y eficiencia energética

➤ **Valor U del vidrio templado *ULTRA CLEAR* de 12mm**

Al no tener especificado un valor “R”. Igualmente se utilizó el promedio del renglo 1 – 1.2. Es decir, el valor “R” utilizado fue de 1.1.

Valor U (W/m² * K)

$$U = \frac{1}{1.1} = 0.909 \text{ (W/m}^2 \text{ * K)}$$

Valor U (BTU/ft² * h * °F)

$$U \left(\frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2} * h * ^\circ\text{F} \right) = U \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} * \text{K} \right) * 0.176$$

$$U = 0.909 * 0.176 = 0.160 \text{ (BTU/ft}^2 \text{ * h * } ^\circ\text{F)}$$

Este valor es también positivo para aplicaciones en las que se busca minimizar la pérdida de calor o el calentamiento solar.

Cuadro 3: Resumen de transmitancia térmica de los materiales de fachada de Plaza Videre

Elemento	Valor U (W/m ² *K)	Valor U (BTU/ft ² *h*°F)
STO	0.378	0.067
ACM	0.28	0.05
Vidrio laminado COOL - LITE	0.357	0.063
Vidrio templado ULTRA CLEAR	0.909	0.16

Al realizar los diferentes análisis y cálculos se logró obtener el panorama del centro comercial Plaza Videre. Donde la fachada donde se recibirá mayor luz solar es sobre el Boulevard, específicamente 5.4 horas. Debido a la cantidad de cristal utilizado en los niveles 4 y 5 se sugiere utilizar un cristal de tipo reflectivo cuyos valores de U sean muy próximos a los establecidos en el estándar. Ya que ambos casos pueden presentar horas de *dis-confort* los cual, nos indica que, si utilizamos un cristal con propiedades más relajadas la posibilidad de incrementar las horas de *dis-confort* son mayores pudiendo alcanzar el límite de las 300 horas establecidas por el estándar ASHRAE 90.1 2010. En este caso como lo indica la *tabla No. 2*, el vidrio utilizado en Plaza Videre para los niveles 4 y 5 es un laminado *COOL-LITE* el cual sus valores de transmitancia térmica son los ideales. Y en los niveles 1, 2 y 3 se utiliza un templado *ULTRA CLEAR*, cabe aclarar que a pesar de que es un valor dentro del estándar

estos vidrios no alcanzan la altura completa del nivel ya que se consideraron como baranda por lo cual su altura es de 1.30 m dejando libre 2.4 m en niveles 1 y 2. En el caso del N3 la altura libre es de 3.84. En estos casos se puede optar por dos opciones. La primera, como se mencionó anteriormente, es el uso de cortinas tipo *rollers* para evitar estar en contacto mucho tiempo con la luz solar directa. Al optar por esta opción, se debe buscar un *rollers* el cual permite el traspaso de luz natural para así evitar un uso adicional de tiempo de luz artificial. La segunda opción es realizar el cambio de ventanearía y realizarla a la altura completa del nivel, 4.9 m para nivel 1 y 2 y 7m para el nivel 3, al realizar este cambio también se debe optar por el tipo de cristal instalado en el nivel 4 y 5 para así evitar ese contacto directo con la luz solar.

Como se logró observar en el análisis de *Daylight potential* la luz natural que ingresa sobre fachada se mantiene en el rango de puntuación de VSC arriba del 27 % lo cual indica que la luz natural es la satisfactoria. A excepción del nivel 4 sobre la fachada 19 Avenida A. en este caso el comercial amplió la medida de la ventanearía para que pueda ingresar mayor luz. Al tener un diseño eficiente de iluminación, que maximice el uso de la luz natural, puede reducir significativamente el consumo de electricidad durante el día. Esto no solo disminuye los costos operativos, sino que también reduce la huella de carbono del edificio. Y al combinar fuentes de luz natural con iluminación artificial de bajo consumo (como LED), se optimiza el uso de energía. Esto se traduce en menos emisión de calor. Además, al contar con una iluminación eficiente y bien planificada, requiere menos mantenimiento, especialmente si se integran tecnologías de iluminación inteligente que optimizan el uso de luz en función de la ocupación o las condiciones ambientales.

Al obtener los resultados del análisis solar se logró encontrar la alternativa renovable para abastecer el 100 % de energía. Cabe aclarar, que se debe considerar las variables climáticas ya que estas influyen directamente en su rendimiento y eficiencia. La radiación solar es el factor más determinante, pues la cantidad de energía generada dependerá de la disponibilidad de luz solar en la ubicación específica. En zonas con mayor irradiación, los paneles pueden operar con mayor eficiencia, mientras que en regiones con nubosidad frecuente su desempeño puede verse reducido. En este caso, en los meses de verano los paneles operan a su máximo desempeño, pero en épocas de invierno su desempeño puede disminuir pudiendo llegar a un punto de no poder generar el 100 % de energía limpia. Asimismo, siempre se debe considerar temperaturas críticas para evitar un mal desempeño en el sistema fotovoltaico.

Actualmente Plaza Videre como se mencionó con anterioridad está en busca de la certificación LEED y basándose en los estudios realizados en la etapa de planificación se logró obtener el porcentaje de la energía solar generada que únicamente equivalía al 23.57 %. Pero ya que se busca que el edificio sea Net Zero se realizaron cálculos adicionales y asignación de nuevas áreas de paneles para llegar al 100 %. Y con la información obtenida en FORMA se logró observar que zonas son las ideales para colocar paneles solares. En este caso las nuevas áreas asignadas fueron la terraza en N4. El área de la losa deprimida en N3

y parte del techo metálico del gimnasio en N5. Es relevante destacar que el área de la terraza fue diseñada para una futura expansión, es decir, si se llegará a realizar los paneles se deben cambiar de ubicación hacia el techo de la nueva área. De no ser así ya no se cumpliría con el objetivo de alcanzar Net Zero ya que la terraza representa un área importante de paneles, específicamente 1839.03 m^2 . De la propuesta original de la cantidad de paneles esta aumentó 139 módulos, dando un total de 315 módulos marca *TITAN Risen RSM132-8-645M-670M* (ficha técnica en anexos (*Figura 41*)) Dicho modelo tiene un porcentaje de degradación anual del 0.55 % en 25 años, es decir, que en 25 años la potencia garantizada bajará de un 98 % a 84.4 %. La inversión monetaria sería un total de \$118,307.06, este precio ya incluiría el sistema de montaje, anclaje, entubado, mano de obra, etc. A comparación con la oferta actual la cual es de \$66,234.00, el presupuesto aumentaría un 79 %. Aunque los paneles solares tienen un costo inicial significativo, estos costos se amortizan con el tiempo gracias a los ahorros en la factura eléctrica y los incentivos disponibles. Además, comparándolo con las marcas de paneles solares que se licitaron en la realidad (Comparativo en anexos (*Figura 42*)), el panel TITAN ofrece un mejor rendimiento, 85.10 %, siendo este el más alto comparándolo con un 78.05 % del resto de paneles sugeridos. También, ofrece una mejor potencia, 660 W contra 580 W.

Cable aclarar que se tienen que tomar en cuenta ciertos puntos. Al tener que comprar más paneles solares específicamente 139 módulos, el propietario debe estar a favor de realizar esta inversión extra. Además, del costo de los paneles se debe agregar el costo de *breakers*, sistema de desconexión de red, baterías de almacenamiento de energía, entre otros detalles. Asimismo, Videre al encontrarse en la Ciudad de Guatemala en las fechas de invierno las horas solares sobre las terrazas disminuyen por lo que, en días nublados o lluviosos, la producción de energía disminuirá. Sin embargo, esto no significa que los paneles no produzcan energía en absoluto. Aunque la producción será menor, los paneles solares todavía generan electricidad con luz difusa. Para optimizar el sistema en dicha época donde la irradiación solar no es constante, se pueden instalar baterías de almacenamiento que almacenen el excedente de energía generado en los días soleados para ser utilizado en momentos de baja producción. El factor de la caída de tensión es otro factor importante para asegurar que la energía generada por los paneles llegue de manera eficiente a donde se necesita, en este caso se utilizará cableado THNN para los circuitos de AC dimensionado según la corriente a transportar y para una caída de tensión menor al 3 % hasta una distancia máxima de 25 metros.

Es crucial asegurarse de que los paneles instalados cuenten con disponibilidad de stock y servicio postventa adecuado. En caso de que un panel se dañe, será necesario un reemplazo rápido para evitar pérdidas significativas en la producción de energía. Si uno de los paneles solares falla, la mayoría de los sistemas están diseñados para que el rendimiento general no se vea gravemente afectado, gracias a la configuración modular de los paneles. Sin embargo, cualquier pérdida de producción afecta el retorno económico y energético del sistema. En estos casos, el reemplazo rápido es esencial para minimizar el impacto. Tener un plan de

contingencia o asegurar la disponibilidad de piezas de repuesto es clave para evitar tiempos de inactividad prolongados.

Los paneles solares permiten generar electricidad a partir de una fuente gratuita e inagotable: el sol. Al implementar los paneles, el consumo de electricidad proveniente de la red, especialmente durante las horas pico de radiación solar, se traduciría a cero ya que los paneles contribuyen al 100 % de la energía generada en Videre. Además, al con la ayuda de diferentes sistemas de iluminación eficiente se podría disminuir aún más el consumo energético. Al ser el primer edificio Net Zero en Guatemala, Plaza Videre reflejaría un compromiso con la sostenibilidad y el medio ambiente. Esto puede mejorar la imagen pública del edificio, atrayendo a inquilinos o compradores interesados en un entorno más ecológico.

Con respecto al material en fachada como se mencionó anteriormente Plaza Videre opto por utilizar STO desde planta baja a nivel 2 y ACM desde nivel 3 a nivel 5. Y al realizar los diferentes cálculos se obtuvo un valor de transmitancia térmica de $0.378 (W/m^2 * K)$ el cual al utilizar un aislador de poliestireno extruido (XPS) se encuentra dentro de los rangos establecidos. No obstante, el ACM al no tener información que se utilizará algún tipo de aislador este tiene valores de transmitancia térmica muy altos por lo cual se propuso utilizar el mismo aislador que el STO para así evitar un cambio de material en dichos niveles y alcanzar un rango dentro del estándar.

En conclusión, Plaza Videre tiene la capacidad de alcanzar Net Zero ya que al tener un diseño arquitectónico en donde permite la entrada ideal de luz natural no solo en su fachada sino también en su azotea permite que el consumo de luz artificial sea mínimo durante el día. Además, al contar con iluminación eficiente permite controlar el consumo generado día a día. Y con el uso de fuentes renovables, en este caso, paneles solares la energía generada para Plaza Videre será 100 % renovable. Lo que se traduce que en 20 años la reducción de CO2 será de 913,500 toneladas que equivale a 1,827,000 árboles. Además, al contar con materiales de fachada ideales no se creará un ambiente de *discomfort* térmico.

VII

Conclusiones

1. A través de los análisis y cálculos realizados en el centro comercial Plaza Videre, se ha demostrado que es factible alcanzar Net Zero en iluminación y energía. El aprovechamiento de la luz natural en los diferentes puntos de la fachada y azotea y la instalación de 315 paneles solares pueden reducir a cero el consumo generado día a día por el comercial, logrando un balance energético sostenible. Cabe aclarar, que este objetivo se logra siempre y cuando el propietario esté dispuesto a realizar una inversión extra. Además, hay que tener cuenta el mantenimiento, caída de tensión, desperfectos de cada panel o bien factores como el clima, que en época de invierno se debe usar baterías de almacenamiento cuando durante el día no alcance la producción necesaria diaria.
2. La implementación de fuentes de energía renovable, aunque supone una inversión inicial considerable, genera importantes ahorros a largo plazo al reducir los costos operativos relacionados con el consumo energético. Asimismo, se disminuye la huella de carbono del edificio, 913,500 toneladas en 20 años, contribuyendo al cumplimiento de los compromisos globales de reducción de emisiones y promoviendo una edificación más responsable y respetuosa con el medio ambiente.

3. Los resultados obtenidos confirman que un diseño adecuado, que optimice el uso de la luz natural y combine energías renovables, es clave para lograr Net Zero en iluminación y energía. La correcta orientación de los edificios, la elección de materiales de alta eficiencia térmica y la integración de tecnologías de bajo consumo permiten alcanzar los objetivos energéticos sin comprometer el confort de los ocupantes.
4. El uso de buenos materiales en la fachada de un edificio contribuye significativamente a su eficiencia energética porque mejora el aislamiento térmico y reduce el intercambio de calor con el exterior. Materiales de alta calidad, como recubrimientos aislantes o vidrios con buena transmitancia térmica, ayudan a mantener una temperatura interior estable, lo que disminuye la necesidad de sistemas de calefacción y refrigeración, reduciendo así el consumo de energía.
5. El uso de diversas herramientas de simulación permite evaluar una edificación de manera integral, analizando sus diferentes características y su comportamiento ante distintas condiciones. Esto proporciona un panorama claro y fundamentado, ya que los resultados obtenidos sirven como base para la toma de decisiones en el proceso de planificación. De esta manera, se pueden optimizar los recursos, mejorar la eficiencia del diseño y garantizar un desempeño adecuado de la edificación a lo largo de su vida útil.

VIII

Recomendaciones

1. En proyectos futuros, es crucial integrar el diseño de iluminación natural desde la etapa inicial de planificación arquitectónica. La orientación adecuada del edificio, el tamaño y tipo de ventanas, y el uso de tragaluces pueden aprovechar al máximo la luz solar disponible, reduciendo la necesidad de iluminación artificial durante el día.
2. Es recomendable que las edificaciones comerciales adopten de manera generalizada tecnologías de bajo consumo como luces LED, que son más eficientes energéticamente y tienen una mayor vida útil en comparación con otras fuentes de iluminación. Esto contribuye no solo a la reducción de los costos operativos, sino también a la disminución de la generación de calor, lo que ayuda a mantener el confort térmico en los espacios interiores. Además, seguir incentivando las fuentes renovables como los paneles solares y explicar los beneficios a mediano plazo.
3. Para asegurar que los sistemas de iluminación eficiente y los paneles solares funcionen a su máxima capacidad, se recomienda implementar un plan de mantenimiento preventivo. Esto incluye la limpieza periódica de paneles solares y revisiones de los sistemas eléctricos para garantizar su eficiencia operativa.

4. Se sugiere que el gobierno o municipalidad de Guatemala desarrollen políticas e incentivos para los edificios que busquen certificaciones de Net Zero en iluminación y energía u otros aspectos energéticos. Estos incentivos pueden incluir disminución en la cuenta de energía, facilidad en la licencia de construcción, disminución de impuestos, entre otros.

Bibliografía

Aguirre, G. (2018). Guatemala promoverá la construcción ambiental sostenible. Dca.gob.gt. Extraído de: <https://dca.gob.gt/noticias-guatemala-diario-centro-america/guatemala-promovera-la-construccion-ambiental-sostenible/>

Ahmed, A., Ge, T. S., Peng, J., Yan, W.-C., Boon Tuan Tee y You, S. (2022). Assessment of the renewable energy generation towards net-zero energy buildings: A review. 256, 111755–111755. Sciencedirect. Extraído de: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111755>

Álvarez, M y Pérez, J. (2019). Comparación de tecnologías de iluminación: Convencional versus LED. Revista Energía Limpia, 14(2), 65-77.

Aplanet. (2022). Qué es Net Zero y cómo alcanzarlo: estrategias y acciones. (“Carlos García-Bañón Sanz-Briz’s Post - LinkedIn”) APLANET. Extraído de: <https://aplanet.org/es/recursos/que-es-net-zero-y-como-alcanzarlo-estrategias-para-llegar-a-la-neutralidad-de-emisiones/>

Standard 90.1. (ASHRAE) (2024). Ashrae.org. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1>

Ballén, S, Bosh, M (2021). "Análisis de ciclo de vida y energías renovables aplicado a vivienda colectiva en Colombia." ("Netzero de alta densidad: análisis de ciclo de vida y energías ...") Universidad Politécnica de Cataluña.

Banco Internacional de Desarrollo (BID) (2023). La descarbonización en Guatemala. BID. Extraído de: <https://centranews.com.gt/wp-content/uploads/2024/05/la-descarbonizacion-de-guatemala.pdf>

Cordero, L y Silva, N. (2016). La evolución de la iluminación: Incandescente, fluorescente y LED. Revista de Tecnología y Sostenibilidad, 10(3), 45-58.

EDGE - Green building certification. (2023). Gbci.org. Extraído de: <https://edge.gbci.org/home>

Enel X. (2015). Net Zero: qué significa y cómo lograrlo. Enel X. Extraído de: <https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/net-zero-meaning>

Expo Lighting America (2022). Diseño de iluminación sustentable. Extraído de: <https://www.expolightingamerica.com/es-mx/blog/disenio-de-iluminacion-sustentable.html>

Freixenet, v. a. f. (2013). Estrategias de diseño bioclimático. In Diseño y evaluación de edificios sustentables: memorias del seminario taller: ciclo, nuevas prácticas profesionales (pp. 141-166). Universidad Autónoma Metropolitana.

García, L y Hernández, R. (2019). Diseño pasivo y su impacto en la eficiencia energética de edificios. Arquitectura Sostenible, 15(2), 32-45.

Jenbacher (2024). Generación de Energía in Situ. Jenbacher.com. Extraído de: <https://www.jenbacher.com/es/soluciones-energeticas/generacion-de-energia-en-sitio>

Gómez, L y Hernández, P. (2019). Efectos de la iluminación en el ambiente laboral. Revista de Psicología Ambiental, 12(1), 34-45.

Gómez, J y Pérez, M. (2020). Eficiencia energética en edificios: Un enfoque desde los materiales. Revista de Energía y Construcción, 10(1), 18-29.

González, F y Rodríguez, P. (2017). Eficiencia energética en la iluminación: Tecnologías tradicionales frente a LED. Journal of Energy Studies, 11(1), 22-34.

Granda, C. (2023). 10 edificios verdes en Guatemala 2023. Leaf. Extraído de: <https://leaflatam.com/10-edificios-verdes-en->

[guatemala/#:~:text=Hacienda%20de%20las%20Flores%3A%20Se.en%20el%20empleo%20de%20materiales.](#)

Hernández, G y Ruiz, M. (2018). Impacto ambiental de las tecnologías de iluminación. *Journal of Environmental Science*, 16(4), 33-48.

Iluminica (2020). Conociendo las normas internacionales sobre iluminación – Iluminica. Extraído de: <https://iluminica.com/conociendo-las-normas-internacionales-sobre-iluminacion/>

Industrial Analytics Platform. (2022). ¿Cómo pueden el acero y el cemento impulsar la década de acción en el contexto del cambio climático? Industrial Analytics Platform. Extraído de: <https://iap.unido.org/es/articulos/como-pueden-el-acero-y-el-cemento-impulsar-la-decada-de-accion-en-el-contexto-del-cambio>

Instituto de investigación y proyección sobre ciencia y tecnología (2018). Perfil Energético de Guatemala. Universidad Rafael Landívar. Extraído de: <http://www.infoiarna.org.gt/wp-content/uploads/2019/03/Perfil-Energetico-de-Guatemala.pdf>

LEED rating system | U.S. Green Building Council. (2024). Usgbc.org. <https://www.usgbc.org/leed>

Leonardo, D (2022,). Luz LED vs Luz Convencional - Ventajas y Desventajas. GuiaLED. Extraído de: <https://www.guialed.com/luz-led-vs-luz-convencional/>

Littlefair, P. (2011). Planificación del diseño del sitio para la luz natural y la luz solar: una guía de buenas prácticas (BR209). BREPress.

López, A y Fernández, C. (2021). Net Zero Energy Buildings y su contribución a la reducción de emisiones. *Journal of Environmental Architecture*, 11(3), 65-77.

Luxes. (2019). Normativa de iluminación en espacios de trabajo. Luxes. Extraído de: <https://luxes.es/normativa-de-iluminacion-en-espacios-de-trabajo/>

Mack, K. (2022). Los beneficios de la energía solar in situ. Mexico Energy Partners LLC; Mexico Energy Partners LLC. Extraído de: <https://mexicoenergyllc.com.mx/es/blogs/mexico-energy-insights/the-benefits-of-onsite-solar-in-mexico>

Martínez, A. (2021). Iluminación eficiente: Nuevas tecnologías y ahorro energético. *Journal of Sustainable Architecture*, 15(3), 67-82.

Martínez, C y López, R. (2020). Iluminación y sostenibilidad: Un enfoque sobre la eficiencia energética. *Arquitectura y Energía*, 10(1), 34-40.

Martínez, D (2024). Comparación de iluminación en edificios: natural vs artificial. *Estructurales.es*. Extraído de: <https://estructurales.es/patologias-de-edificios/iluminacion-natural-vs-artificial-en-edificios/>

Martínez, P. (2021). El clima y el crecimiento urbano en la Ciudad de Guatemala. *Revista de Geografía y Medio Ambiente*, 12(3), 45-59.

Mejía, A. (2019). El desarrollo urbano en la Zona 15 de la Ciudad de Guatemala. *Boletín de Urbanismo*, 10(2), 25-34.

Mora, S y Castellanos, L. (2021). Análisis comparativo de costos en tecnologías de iluminación. *Journal of Green Economy*, 18(3), 18-29.

Montes, C. (2021). Aprovechamiento de luz solar vs luz artificial. *Llave Bienes Raíces*. <https://llave.mx/aprovechamiento-de-luz-solar-vs-luz-artificial>

Municipalidad de Guatemala. (2020). Zonificación y desarrollo de la Ciudad de Guatemala. Guatemala.

M. Calabuig (2021). La importancia de la iluminación en eventos: ideas y técnicas. *Novelty-Spain.com*. <https://blog.novelty-spain.com/iluminacion-en-eventos>

Nations, U. (2018). Las ciudades y la contaminación contribuyen al cambio climático. *United Nations*. Extraído de: <https://www.un.org/es/climatechange/climate-solutions/cities-pollution>

Nations, U. (2022). Net Zero Coalition | Naciones Unidas. *United Nations; United Nations*. Extraído de: <https://www.un.org/es/climatechange/net-zero-coalition>

Navarro, I y González, S. (2020). La calidad de la luz en sistemas de iluminación: Un enfoque en la tecnología LED. *Revista de Ingeniería Eléctrica*, 15(1), 55-69.

Ontiveros, G. (2018). Generación de energía in situ: ¿un beneficio para el usuario? *ámbito.com*. <https://www.ambito.com/opiniones/empresas/generacion-energia-in-situ-un-beneficio-el-usuario-n5003191>

Pérez, L y López, R. (2020). Diseño sostenible en edificios de energía neto cero. *Journal of Sustainable Architecture*, 14(2), 40-50.

RDT Simulation (2018). Estrategias de diseño bioclimático según el clima existente. RDT. Extraído de: <https://www.simulacionesyproyectos.com/blog-ingenieria-arquitectura/estrategias-de-diseno-bioclimatico/>

Rodríguez, M y Pérez, J. (2020). Iluminación y bienestar en entornos urbanos. Arquitectura y Ciudad, 8(2), 22-30.

Ruiz, D y Morales, F. (2021). Gestión inteligente de la energía en edificios sostenibles. Energy and Smart Technologies, 13(1), 22-37

Sosa Domínguez, L. M. (2016). La luz artificial como tecnología de simulación de la luz natural: evaluación de fiabilidad de los parámetros perceptivos y de confort (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Sisternes García, A (2022). Los edificios Net Zero - Reto KÖMMERLING. Reto KÖMMERLING. Extraído de: <https://retokommerling.com/edificios-net-zero/>

Statista. (2022). Capacidad de energía renovable en América Latina y Caribe por país 2022 Statista; Statista. Extraído de: <https://es.statista.com/estadisticas/1076835/energia-renovable-capacidad-america-latina-por-pais/>

Tecnolite. (2016). Importancia de la luz natural y artificial en todo proyecto. TecnoLite. Extraído de: <https://tecnolite.lat/blog/especialistas/importancia-de-la-luz-natural-y-artificial-en-todo-proyecto/>

Topographic-map.com. (2024). Mapa topográfico Zona 15, altitud, relieve. Mapas Topográficos. Extraído de: <https://es-es.topographic-map.com/map-pj3xgt/Zona-15/>

UL Solutions LATAM (2021). Prueba y Certificación UL Solutions de Iluminación. UL Solutions. Extraído de: <https://latam.ul.com/es/industrias/iluminacion>

Valdez, M (2020). Conociendo las normas internacionales sobre iluminación. Iluminica. <https://iluminica.com/conociendo-las-normas-internacionales-sobre-iluminacion/>

Weather Spark. (2024). El clima en Ciudad de Guatemala, el tiempo por mes, temperatura promedio. Weatherspark.com. Extraído de: <https://es.weatherspark.com/y/11693/Clima-promedio-en-Ciudad-de-Guatemala-Guatemala>

Wu, W y Skye, H. M. (2021). Residential net-zero energy buildings: Review and perspective. 142, 110859–110859. Sciencedirect. Extraído de: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110859>

Figura 39: Plano - Diagrama Unifilar del C.C. Plaza Videre

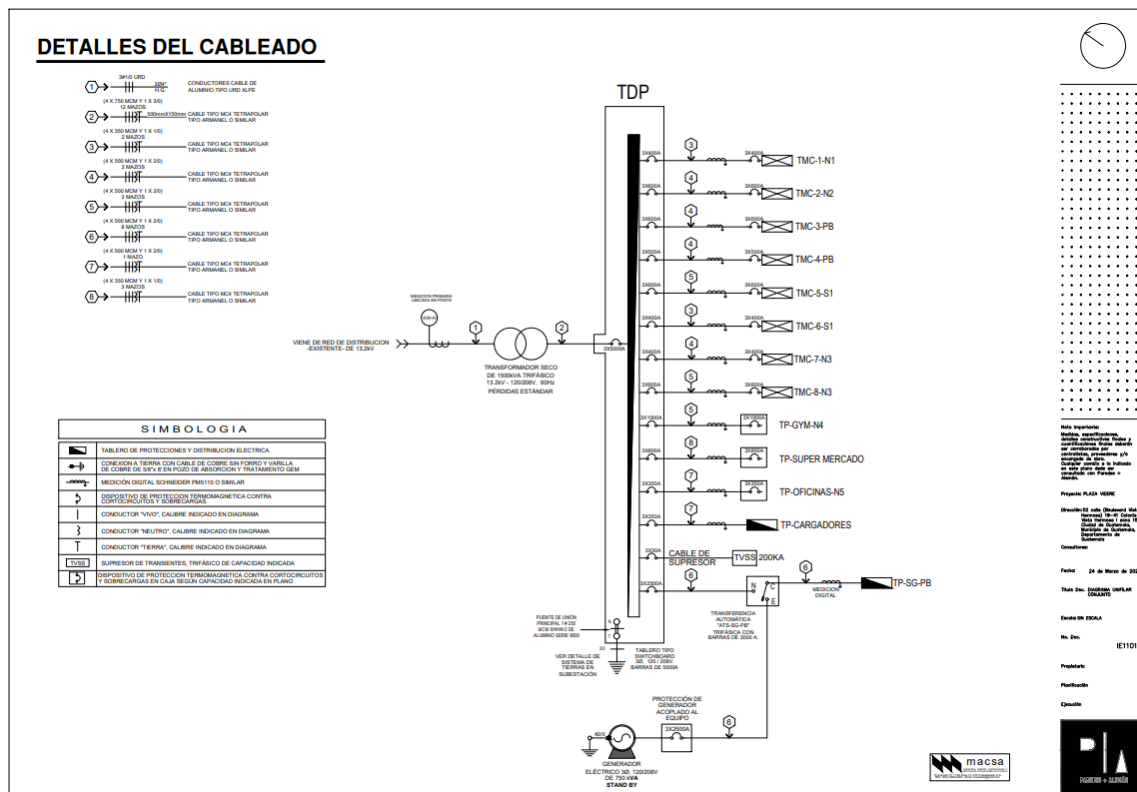



Figura 40: Información general original de los 176 módulos solares

Información general de la Planta			
Proyección de generación solar anual:	182.7	MWh	Potencia instalada en KVA: 1500 kVA
Potencia total de la planta Solar:	116.2	kWp	Consumo anual de energía: 2700 MWh
Cantidad de paneles solares:	176	módulos	Cantidad de inversores: 3
Potencia individual por panel (Wp):	660	Wp	Potencia AC Inversores: 40 kW AC
Área disponible (m2):	689	m ²	Empresa suministradora de energía eléctrica: EEGSA/COMERCIALIZADORA
Área ocupada (m2):	640	m ²	Empresa comercializadora:
Peso total en kg de paneles:	7900	kg	Peso por m ² : 11.46 Kg/m ²
Tipo de servicio AC:	120/208VAC 3F		Reducción de CO2 en 20 años: 913500 t
			Equivalencia en árboles:

Figura 41: Ficha informativa del panel solar a utilizar en C.C. Plaza Videre



TITAN
HIGH PERFORMANCE
MONOCRYSTALLINE PERC MODULE

65.6

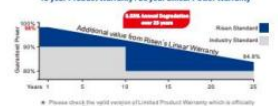
RSM132-8-645M-670M

132 CELL Mono PERC Module	645-670Wp Power Output Range
1500VDC Maximum System Voltage	21.6% Maximum Efficiency

KEY SALIENT FEATURES

- Global, Tier 1 bankable brand, with independently certified state-of-the-art automated manufacturing
- Industry leading lowest thermal co-efficient of power
- Industry leading 12 years product warranty
- Excellent low irradiance performance
- Excellent PID resistance
- Positive power tolerance of 0→+3%
- Dual stage 100% EL Inspection warranting defect-free product
- Module imp binning radically reduces string mismatch losses
- Excellent wind load 2400Pa & snow load 5400Pa under certain installation method
- Comprehensive product and system certification
 - IEC61215:2016; IEC61730-1/-2:2016;
 - ISO 9001:2015 Quality Management System
 - ISO 14001:2015 Environmental Management System
 - ISO 45001:2018 Occupational Health and Safety Management System

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY
12 year Product Warranty / 25 year Linear Power Warranty



Additional value from Risen's 1 Linear Warranty

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018

As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Risen Energy sales representative for the specific certification applicable to the products in the region in which the products are to be used.

RISEN ENERGY CO., LTD.
Risen Energy is a leading, global tier 1 manufacturer of high-performance solar photovoltaic products and provider of total business solutions for residential, commercial and utility-scale power generation. The company, founded in 1988, and publicly listed in 2010, compares value generation for its chosen global customers. Techno-commercial innovation, underpinned by consistent quality and support, secures Risen Energy's label Solar PV business solutions which are among the most powerful and cost-effective in the industry. With local market presence and strong financial bankability status, we are committed, and able, to building strategic, mutually beneficial collaborations with our partners, as together we capitalise on the rising value of green energy.

Taishan Industry Zone, Meilin, Ninghai 315509 Ningbo | PRC
Tel: +86-574-89652239 Fax: +86-574-89652099
E-mail: marketing@risenenergy.com Website: www.risenenergy.com

832

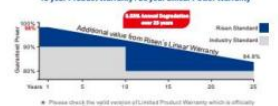
RSM132-8-645M-670M

132 CELL Mono PERC Module	645-670Wp Power Output Range
1500VDC Maximum System Voltage	21.6% Maximum Efficiency

KEY SALIENT FEATURES

- Global, Tier 1 bankable brand, with independently certified state-of-the-art automated manufacturing
- Industry leading lowest thermal co-efficient of power
- Industry leading 12 years product warranty
- Excellent low irradiance performance
- Excellent PID resistance
- Positive power tolerance of 0→+3%
- Dual stage 100% EL Inspection warranting defect-free product
- Module imp binning radically reduces string mismatch losses
- Excellent wind load 2400Pa & snow load 5400Pa under certain installation method
- Comprehensive product and system certification
 - IEC61215:2016; IEC61730-1/-2:2016;
 - ISO 9001:2015 Quality Management System
 - ISO 14001:2015 Environmental Management System
 - ISO 45001:2018 Occupational Health and Safety Management System

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY
12 year Product Warranty / 25 year Linear Power Warranty



Additional value from Risen's 1 Linear Warranty

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018

As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Risen Energy sales representative for the specific certification applicable to the products in the region in which the products are to be used.

RISEN ENERGY CO., LTD.
Risen Energy is a leading, global tier 1 manufacturer of high-performance solar photovoltaic products and provider of total business solutions for residential, commercial and utility-scale power generation. The company, founded in 1988, and publicly listed in 2010, compares value generation for its chosen global customers. Techno-commercial innovation, underpinned by consistent quality and support, secures Risen Energy's label Solar PV business solutions which are among the most powerful and cost-effective in the industry. With local market presence and strong financial bankability status, we are committed, and able, to building strategic, mutually beneficial collaborations with our partners, as together we capitalise on the rising value of green energy.

Taishan Industry Zone, Meilin, Ninghai 315509 Ningbo | PRC
Tel: +86-574-89652239 Fax: +86-574-89652099
E-mail: marketing@risenenergy.com Website: www.risenenergy.com



Figura 42: Comparativo de paneles realizados para el C.C. Plaza Videre

COSTO	SIGUA V2	INELEQ V3	INELEQ V2	INELEQ V1	AUTONOMIA ENERGETICA	SIGUA
Suministro e Instalación de Paneles Solares	\$ 58,891.56	\$ 66,234.00	\$ 80,178.00	\$ 101,128.00	\$ 121,200.00	\$ 301,150.00
Adicionales de Acometidas en Obra para Conexión del Sistema*	NO INCLUIDO	\$ 20,950.00	NO INCLUIDO	NO INCLUIDO	NO INCLUIDO	NO INCLUIDO
Fianzas y Seguros	NO INCLUIDO	NO INCLUIDO	NO INCLUIDO	NO INCLUIDO	NO INCLUIDO	NO INCLUIDO
Monto	\$ 58,891.56	\$ 87,184.00	\$ 80,178.00	\$ 101,128.00	\$ 121,200.00	\$ 301,150.00
Precio \$ x W/P	\$ 0.575	\$ 0.57	\$ 0.69	\$ 0.87	\$ 1.50	\$ 0.575
Diferencia vs. Presupuesto % Diferencia	\$ 58,891.56 #DIV/0!	\$ 87,184.00 #DIV/0!	\$ 80,178.00 #DIV/0!	\$ 101,128.00 #DIV/0!	\$ 121,200.00 #DIV/0!	\$ 301,150.00 #DIV/0!
Diferencia vs. Mejor Precio % Diferencia	\$ -21,286.44 -27%	\$ 7,006.00 9%	\$ - 0%	\$ 20,950.00 26%	\$ 41,022.00 51%	\$ 220,972.00 276%

FORMA DE PAGO	SIGUA V2	INELEQ V3	INELEQ V2	INELEQ V1	AUTONOMIA ENERGETICA	SIGUA
Anticipo	-	40%	40%	40%	-	-
Avance Parcial	-	50%	50%	50%	-	-
Contra-Entrega	-	10%	10%	10%	-	-

PLAZO	SIGUA V2	INELEQ V3	INELEQ V2	INELEQ V1	AUTONOMIA ENERGETICA	SIGUA
Ejecución (meses)	-	-	-	5.00	-	-

CUALITATIVO (CC)	SIGUA V2	INELEQ V3	INELEQ V2	INELEQ V1	AUTONOMIA ENERGETICA	SIGUA
Garantía (Meses)	36.00	18.00	18.00	18.00	-	36.00
Marca Paneles Solares	JA SOLAR	GINKO/RISEN	GINKO/RISEN	TITAN	-	JA SOLAR
Potencia	580W	660W	-	660W	-	580W
Cantidad de Modulos	176.00	176.00	-	176.00	-	900.00
Inversores	Huawei	Huawei	Huawei	Huawei	-	Huawei
Fijación	Estructura de Aluminio	Estructura de Aluminio	-	Estructura de Aluminio/Adoquines	-	Estructura de Aluminio
Rendimiento Planta	78.05%	85.10%	-	85.10%	-	78.05%
Producción Anual de la Planta Esperada	815.7Mwh/año	182.7Mwh/año	-	182.7Mwh/año	-	815.7Mwh/año
Equipo de Monitoreo	Smart Logger A3000	Marca no especificada	-	Marca no especificada	-	Smart Logger A3000

Figura 43: Plano de ventanearía donde se indica el tipo de vidrio utilizado en niveles 1, 2 y 3

DETALLE VENT 13 - NIVEL 03

DETALLE VENT 14 - NIVEL 02

DETALLE VENT 15 - NIVEL 01

SECCION TIPICA

ACOTOMETRICA VENT 13 - NIVEL 03

Proyecto: **VIDERE**

Planificador:

Asesor: **SOPHIA JUAREZ**

Contenido:

Escala: Fecha:

S/E 29/11/2023

Dibujo: No. Presupuesto

PS

Observaciones

MEDIDAS EN MILIMETROS

Especificaciones técnicas

Plano: DE **01**

Figura 44: Plano de ventanearía donde se indica el tipo de vidrio utilizado en niveles 4 y 5

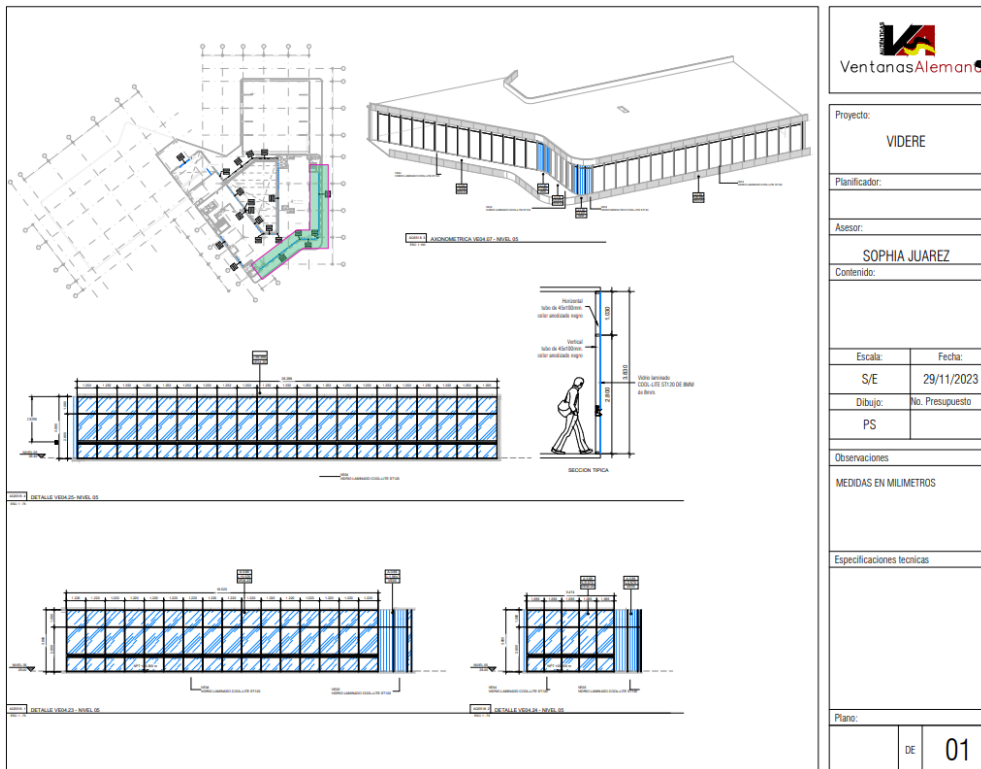


Figura 45: Diagrama de los materiales utilizados en las capas de STO

**StoTherm® ci XPS
Aesthetic Reveal**

**Detail No.: 53s.05
Date: January 2017**

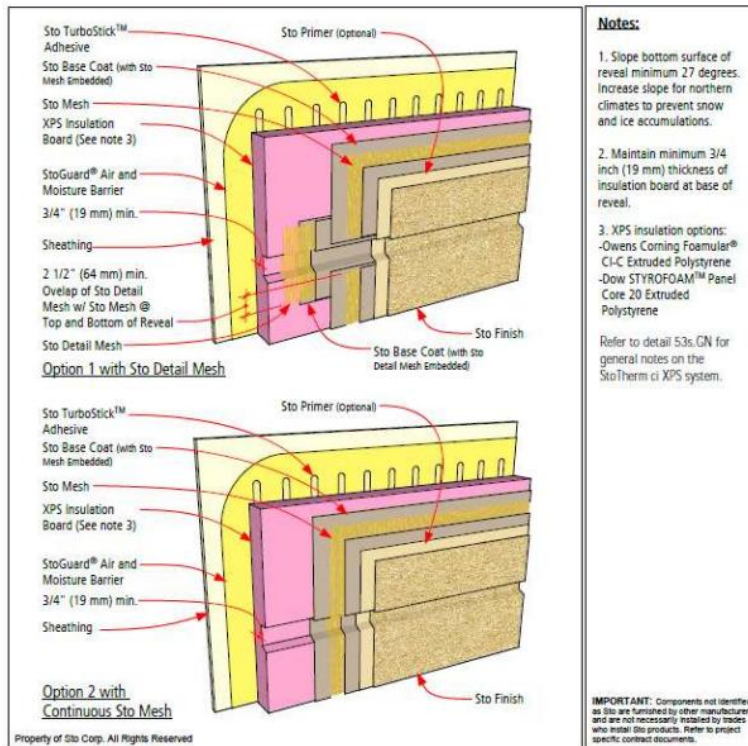


Figura 46: Vista de fachada desde apartamentos Baden y Hessen

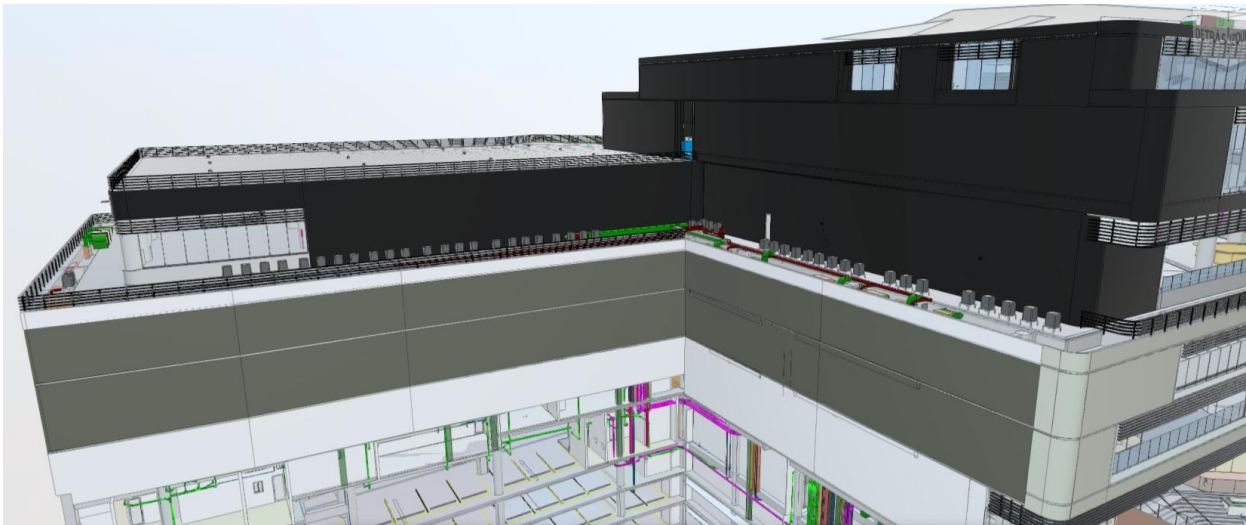


Figura 47: Vista de fachada desde apartamentos Gaura

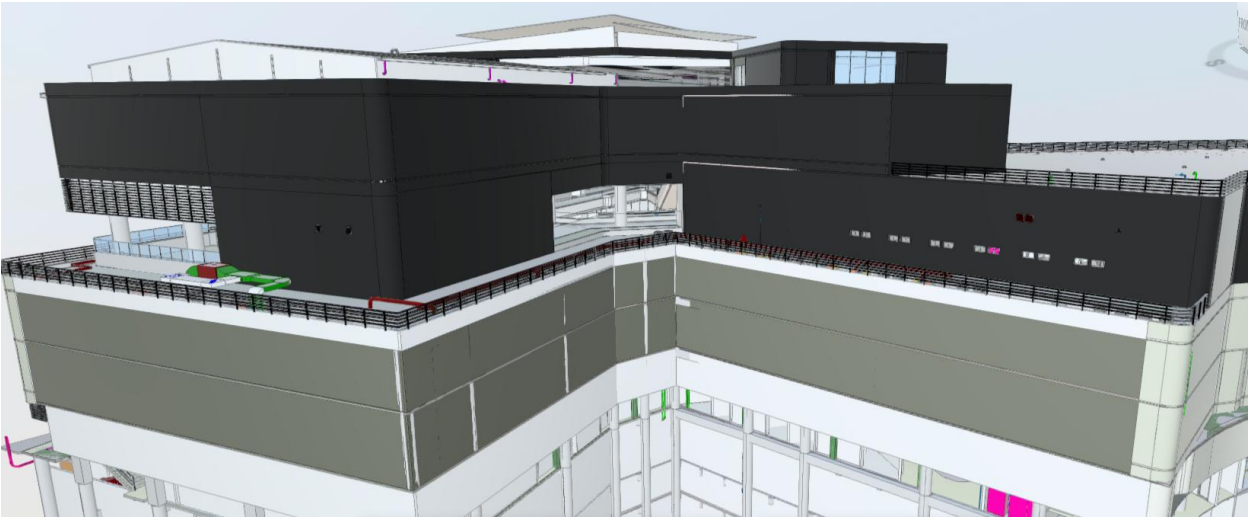


Figura 48: Render C.C. Plaza Videre - Vista 19 Avenida / boulevard Vista Hermosa

