

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Evaluación técnica y económica de variantes de Iluminación Natural para un edificio de oficinas de hasta tres plantas utilizando herramientas BIM.

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo la obtención del Título de:

Máster en Ingeniería Civil Mención en Construcción y Saneamiento

Presentado por:

ING GARCIA RIVERA, MALENA AIMEE

ING DIAZ DIAZ, HAMILTON MIGUEL

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2025

DEDICATORIA

A mis padres, Hamilton y Consuelo, y a mis hermanos, Dixon y Cecilia, por su apoyo incondicional, su paciencia y por ser una fuente constante de motivación que me impulsa a alcanzar mis objetivos.

A mis docentes y colegas, quienes durante el transcurso de este programa han enriquecido mi formación profesional y personal con experiencias.

Y a todos mis familiares que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a que este trabajo se hiciera realidad, les expreso con profundo aprecio mi sincero agradecimiento por su apoyo y colaboración.

➤ Ing. Hamilton Díaz Díaz.

Detrás de este trabajo hay días y noches de esfuerzo y dedicación, así que quiero dedicárselo a Dios por ser esa luz que ha guiado mi camino, a mis padres Lcdo. Roger García Silvera y Lcda. Malena Rivera Vásquez por ser mis apoyos en todo momento; a mis hermanos y abuelos, en especial a mi abuelito Lcdo. Neptalí Rivera Vasco (+) que sé que desde arriba está muy orgulloso de mi, "Papito, lo logré, tu nieta lo está logrando".

➤ Ing. Malena Garcia Rivera.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento primero a Dios por brindarme salud, sabiduría y conocimiento durante este trayecto de estudio. Un agradecimiento especial a mis padres: Roger García Silvera y Malena Rivera Vásquez, por impulsarme a ser una mejor profesional, por su amor incondicional, apoyo y sacrificio durante esta etapa. A mi esposo, por motivarme cada día y no dejarme rendirme. Por estar alado mío cada noche apoyándome. A mis demás familiares que estuvieron ahí también motivándome. Agradezco a mis profesores de la maestría que me compartieron sus conocimientos y brindaron orientación académica. Gracias a todos los que de alguna manera han sido parte de esta etapa académica. Su apoyo ha sido invaluable y aprecio profundamente cada contribución.

➤ Ing. Malena García Rivera.

Deseo expresar mi más sincera gratitud a esta noble institución, cuna de excelentes profesionales que contribuyen al desarrollo de nuestro país, y de la cual me siento orgulloso de formar parte. Extiendo también mi agradecimiento a mis amigos, compañeros y familiares, quienes con su apoyo y acompañamiento motivaron concluir este programa educativo, hoy puedo proyectar mi esfuerzo y conocimiento hacia el fortalecimiento y crecimiento en el ámbito laboral y personal.

➤ Ing. Hamilton Díaz Díaz.

DECLARACIÓN EXPRESA

Nosotros Malena Aimée García Rivera y Hamilton Miguel Díaz Díaz acordamos y reconocemos que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá a los autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 19 de noviembre del 2025.

Ing. Malena Aimée García Rivera.

Ing. Hamilton Miguel Díaz Díaz.

EVALUADORES

Ing. Fernanda Mejía Peralta

Profesora de Materia

Ing. Samantha Jiménez Oyola

Profesora de Materia

Ing. Víctor Manuel Orozco Chávez

Tutor de proyecto

RESUMEN

Este trabajo se centra en evaluar técnica y económicamente variantes de iluminación natural aplicadas a un edificio de oficinas de hasta tres plantas, mediante el uso de herramientas BIM. El proyecto busca optimizar el aprovechamiento de la iluminación natural para reducir el uso de la iluminación artificial, así como también el costo energético asociado, sin afectar el confort térmico de los ocupantes del edificio. La iluminación natural es un factor clave del diseño arquitectónico por su impacto en la calidad de los ambientes, ya que genera diseños más iluminados, funcionales y agradables para los usuarios. En este estudio se modeló el edificio en el software Revit y se realizaron las simulaciones energéticas y lumínicas en el plugin Sefaira, considerando distintas relaciones window/wall ratio (WWR) y tipos de cristalerías, evaluando indicadores como sDA, ASE y EUI con ayuda de las normativas ASHRAE y NEC-HS-EE. Se realizaron algunas simulaciones, concluyendo que mediante la reducción de áreas acristaladas en un 53% con respecto a la línea base, incorporando ventanas tipo recámara con vidrio claro más cámara de aire, modelando voladizos en la parte superior de las ventanas, la simulación #23 logró mejorar la iluminación natural con respecto a la línea base, con un consumo energético cercano al de la línea base. Además, el uso e incorporación de herramientas BIM permite realizar diseños más eficientes y sostenibles en edificaciones de oficinas.

Palabras Clave: Iluminación natural, eficiencia energética, envolvente, Sefaira.

ABSTRACT

This work focuses on the technical and economic evaluation of natural lighting options for an office building of up to three stories, using BIM tools. The project aims to optimize the use of natural light to reduce the need for artificial lighting, as well as the associated energy costs, without compromising the thermal comfort of the building's occupants. Natural lighting is a key factor in architectural design due to its impact on the quality of environments, as it creates brighter, more functional, and more pleasant spaces for users. In this study, the building was modeled in Revit software, and energy and lighting simulations were performed using the Sefaira plugin, considering different window-to-wall ratios (WWR) and glazing types. Indicators such as sDA, ASE, and EUI were evaluated using ASHRAE and NEC-HS-EE standards. Several simulations were performed, concluding that by reducing glazed areas by 53% compared to the baseline, incorporating bedroom-type windows with clear glass and an air gap, and modeling overhangs at the top of the windows, simulation #23 improved natural lighting compared to the baseline, with energy consumption close to that of the baseline. Furthermore, the use and integration of BIM tools allows for more efficient and sustainable designs in office buildings.

Keywords: *Natural lighting, energy efficiency, building envelope, Sefaira.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 Antecedentes.....	14
1.2 Localización del caso de estudio	15
1.3 Estudios previos	16
1.4 Definición del problema	17
1.5 Justificación	18
1.6 Objetivos.....	19
1.6.1. Objetivo General	19
1.6.2. Objetivos Específicos	19
CAPÍTULO 2	20
2. Desarrollo del proyecto	20
2.1 Marco conceptual.	20
2.1.1. Mecanismos de transferencia de calor.....	20
2.1.1.1. Ganancias de calor.	21
2.1.2. Envolvente térmica de una edificación, elementos opacos.....	22
2.1.3. Envolvente térmica de una edificación, elementos traslúcidos.	22
2.1.4. Características y parámetros de cuantificación de iluminación natural. .	23
2.1.5. Descripción del asoleamiento para el caso de estudio.....	26
2.1.6. Factores a considerar para la optimización de iluminación natural y su eficiencia energética asociada en una edificación.....	29
2.1.6.1. Paquetes constructivos para la envolvente térmica.	31
2.1.6.2. Características fundamentales de elementos traslúcidos.	31

2.1.6.3.	Características fundamentales de elementos opacos.	36
2.1.6.4.	Estrategias de implantación.	37
2.1.7.	Energy Use Intensity.	38
2.2	Marco metodológico.....	39
2.2.1.	Flujograma del proceso de trabajo.	39
2.2.2.	Modelo base del proyecto.	42
2.2.2.1.	Línea base arquitectónica del proyecto.	43
2.2.2.2.	Modelado en Revit.	46
2.2.3.	Simulaciones en Sefaira.....	47
CAPÍTULO 3		52
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
3.1	Revit, Descripción de Modelos de Línea Base e Iterativos.	52
3.2	Sefaira, Datos de Ingreso para Línea Base.	55
3.2.1.	Parámetros de ingreso de Línea base.	55
3.3	Procedimiento general de simulación y obtención de resultados. Explicación para la línea base.	56
3.4	Análisis de resultados obtenidos de la simulación de la Línea base.	59
3.4.1.	Desempeño energético de la Línea Base.	59
3.4.2.	Condiciones lumínicas de la Línea Base.....	61
3.5	Reportes gráficos obtenidos de la simulación de la Línea Base.....	61
3.5.1.	Distribución espacial de ocupación con iluminancia ≥ 300 lux.	61
3.5.2.	Evaluación de sDA y ASE en el edificio.	62
3.5.3.	Análisis del factor de luz natural.....	63
3.6	Simulación de diferentes variables de iluminación natural aplicadas al proyecto.	64
3.6.1.	Parámetros modificados en la Envolvente – Superficies opacas.	64
3.6.2.	Parámetros modificados en la Envolvente – Superficies traslúcidas.	64

3.6.3.	Parámetros modificados en la Relación ventana-muro (WWR).	65
3.6.4.	Parámetros modificados en la variación en la altura del antepecho.	66
3.7	Análisis técnico de las iteraciones obtenidas.....	68
3.8	Análisis económico de la mejora variable de iluminación natural.	70
CAPÍTULO 4		77
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
4.1	Conclusiones	77
4.2	Recomendaciones	79
BIBLIOGRAFÍA		80
PLANOS Y ANEXOS		83

ABREVIATURAS

NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción.
MIDUVI	Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
ASHRAE	Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.
U-VALUE	Coeficiente de Transmitancia Térmica.
R-VALUE	Resistencia Térmica.
SHGC	Coeficiente de Ganancia de Calor Solar.
sDA	Spatial Daylight Autonomy.
ASE	Annual Sunlight Exposure.
DLF	Daylight Factor.
VLT	Visible Light Transmittance.
EUI	Energy Use Intensity.
DGP	Daylight Glare Probability.
WWR	Window-to-Wall Ratio.
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning.

SIMBOLOGÍA

m	Metro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
cm	Centímetro
mm	Milímetro
lm	Lumen
lx	Lux
kWh	Kilovatio-hora
TWh	Teravatio-hora
kBTU	Kilo British Thermal Unit
CO ₂	Dióxido de carbono

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Coordenadas del sitio y norte del proyecto.....	15
Figura 1.2	Ubicación y área del lote de estudio.....	16
Figura 2.1	Ejemplo de transferencia de calor en una edificación. Fuente: (Dutton, 2023).....	21
Figura 2.2	Envolvente de elementos opacos de un edificio. Fuente: (Lizarraga, 2020).	22
Figura 2.3	World Trade Center de Guayaquil – Edificio de oficinas. Fuente: GoogleMaps.....	23
Figura 2.4	Esquema de Iluminancia vs Luminancia. Fuente: (Lema, 2022).	24
Figura 2.5	Parámetro sDa en un edificio. Fuente: (Clima Estudios, 2024).	25
Figura 2.6	Parámetro ASE en un edificio. Fuente: (Clima Estudios, 2024).....	25
Figura 2.7	Parámetro DLF en un edificio. Fuente: (Clima Estudios, 2024).	26
Figura 2.8	Trayectorias solares del proyecto en su ubicación geográfica.....	27
Figura 2.9	Recorrido solar del edificio 21 de Marzo 12 PM.	28
Figura 2.10	Recorrido solar del edificio 23 de Septiembre 12 PM.	28
Figura 2.11	Recorrido solar del edificio 21 de Junio 12 PM.....	29
Figura 2.12	Recorrido solar del edificio 21 de Diciembre 12 PM.	29
Figura 2.13	Tipos de acristalamientos. Fuente: Saint Gobain – SGG CLIMALIT.....	32
Figura 2.14	Transferencia de calor a través de ventanas de doble acristalamiento. Fuente: (Aguilar-Santana et al., 2020).	33
Figura 2.15	Componente de acristalamiento para ventanas. Fuente: (Aguilar-Santana et al., 2020).....	36
Figura 2.16	Trayectoria del Sol en Ecuador. Fuente: (Nacional, 2019).	37
Figura 2.17	Comportamiento solar y térmico en invierno y verano.....	38
Figura 2.18	Flujograma de trabajo de la metodología aplicada.	40
Figura 2.19	Modelado del edificio en Revit.	41
Figura 2.20	Ingreso de información en Sefaira.	41
Figura 2.21	Simulación del modelo del edificio en Sefaira.....	42
Figura 2.22	Planos arquitectónicos base de la planta baja y primera planta.	44
Figura 2.23	Planos arquitectónicos base de la segunda planta y cubierta.	45
Figura 2.24	Fachada Este.....	46

Figura 2.25 Fachada Norte.	47
Figura 2.26 Diseño esquemático de un edificio en Sefaira. Fuente: (Trimble Inc., 2023).	47
Figura 2.27 Métricas de análisis generadas por Sefaira. Fuente: (Trimble Inc., 2023).	48
Figura 2.28 Ejemplo de resultados de sDA y ASE.....	49
Figura 2.29 Edificio modelado en el software Revit.	51
Figura 2.30 Propiedades base del modelo de ventana y puerta de Sefaira.....	51
Figura 3.1 Modelo renderizado de edificio de oficinas.	52
Figura 3.2 Lámina con información gráfica y numérica de las simulaciones.	55
Figura 3.3 Vista en Revit "Sefaira Daylighting Analysis" - Línea Base.....	58
Figura 3.4 Menú "Properties" - Línea Base.....	59
Figura 3.5 Indicadores generales de desempeño energético - Línea Base.	60
Figura 3.6 Distribución de horas ocupadas con iluminancia ≥ 300 lux - Línea Base.	62
Figura 3.7 Evaluación de sDA y ASE - Línea Base.	63
Figura 3.8 Factor de luz natural - Línea Base.....	63
Figura 3.9 Resultados de EUI, sDA y ASE de la mejor iteración.	69
Figura 3.10 Resultados del DLF de la mejor iteración.	70

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 2.1 Valores U típicos en diferentes tipos de acristalamientos. Fuente: (Aguilar-Santana et al., 2020).....	32
Tabla 2.2 Tabla de propiedades para el vidrio claro. Fuente: (Cedal, 2024).	33
Tabla 2.3 Tabla de propiedades del vidrio tintado. Fuente: (Cedal, 2024).....	34
Tabla 2.4 Tabla de propiedades del vidrio reflectivo. Fuente: (Cedal, 2024).	34
Tabla 2.5 Ventanas antirreflejos, comparación de propiedades ópticas y térmicas. Fuente: (Aguilar-Santana et al., 2020).	35
Tabla 2.6 Comparación de acristalamientos triples para rellenos de cavidades con gases nobles. Fuente: (Aguilar-Santana et al., 2020).	35
Tabla 2.7 Valores de conductividad térmica. Fuente: NEC - SH - EE.....	36
Tabla 2.8 Métricas de análisis generadas por Sefaira. Fuente: (Trimble Inc., 2023). ..	48
Tabla 2.9 Parámetros necesarios para la simulación en Sefaira.	49
Tabla 2.10 Propiedades de paquete constructivos. Fuente: NEC-HS-EE.	49
Tabla 3.1 Relación ventanas-paredes de las variantes analizadas.	53
Tabla 3.2 Parámetros de superficies opacas y operativos para la simulación de línea base en Sefaira.	56
Tabla 3.3 Relación Ventanas/Paredes de modelo BİM.....	56
Tabla 3.4 Parámetros por defecto establecidos en Sefaira con base a la ASHRAE para superficies translúcidas en la primera simulación.	56
Tabla 3.5 Valores claves otorgados por la herramienta Sefaira.....	57
Tabla 3.6 Datos ingresados en el menú de “Properties”.....	59
Tabla 3.7 Resultado de la simulación Línea base.....	61
Tabla 3.8 Parámetros ingresados en Sefaira para superficies opacas y datos operativos. Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2018).	64
Tabla 3.9 Parámetros ingresados en Sefaira para las superficies traslúcidas. Fuente: (Cedal, 2024).	65
Tabla 3.10 Variaciones de Ventana/Pared (WWR).....	66
Tabla 3.11 Resultados de los sistemas simulados, modificando WWR y el tipo de cristalería.	67
Tabla 3.12 APU de ventana de aluminio y vidrio corrediza.....	71

Tabla 3.13 APU de ventana fija de aluminio y vidrio recámara e=25 mm (claro + claro).	72
Tabla 3.14 Análisis de costos según la geometría de áreas traslúcidas en el modelo de la línea base.....	73
Tabla 3.15 Análisis de costos según la geometría de áreas traslúcidas en el modelo de la Iteración #23.	74
Tabla 3.16 Ahorro económico generado por optimización de valor EUI.	75
Tabla 3.17 Flujo neto efectivo.....	75
Tabla 3.18 Resultado de TIR y Van, mediante formulación en software EXCEL.....	75

ÍNDICE DE ANEXOS Y PLANOS

PLANO 1 Línea base.....	84
PLANO 2 Iteración #1.....	85
PLANO 3 Iteración #2.....	86
PLANO 4 Iteración #3.....	87
PLANO 5 Iteración #4.....	88
PLANO 6 Iteración #5.....	89
PLANO 7 Iteración #6.....	90
PLANO 8 Iteración #7.....	91
PLANO 9 Iteración #8.....	92
PLANO 10 Iteración #9.....	93
PLANO 11 Iteración #10 a la Iteración #18.....	94
PLANO 12 Iteración #19.....	95
PLANO 13 Iteración #20 a la Iteración #23.....	96

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Ecuador enfrenta grandes retos energéticos. El sistema eléctrico nacional depende mayoritariamente de las fuentes hidroeléctricas y, durante las épocas de estiaje, existe una baja en la producción de energía eléctrica por las fuentes antes mencionadas. Ante esto, es necesario que el proyectista incorpore la iluminación natural como estrategia de diseño asegurando la operatividad de los espacios y reduciendo el uso de la iluminación artificial (Ministerio de Energía y Minas del Ecuador, 2023). Esta estrategia de diseño debe de cumplir con los requerimientos de cantidad de iluminación basados en cálculos de iluminancia mínimas recomendadas en normativas locales e internacionales y validarse mediante cálculos y simulaciones.

En esta misma dirección, es recomendado que el diseño de iluminación se integre y evalúe junto a las demás estrategias de diseño sostenible empleados en el proyecto. Así, se optimizará el desempeño energético de la edificación y su contenido de carbono embebido en el ciclo de vida (Altomonte et al., 2019). Estas estrategias de diseño sostenible también son influenciadas a través de los materiales y procesos constructivos empleados en la obra. Es importante destacar que este tipo de abordaje en diseño contribuye a optimizar la resiliencia en el desempeño de las edificaciones frente a las variaciones de generación de energía eléctrica que vive Ecuador.

La iluminación natural siempre ha sido un componente central del diseño arquitectónico por su impacto en la calidad de los ambientes interiores, siendo estos bien iluminados, funcionales y agradables para los usuarios.

El estudio de Eddine Seghier, elaborado en 2024, demuestra como la correcta orientación, la proporción y ubicación de muros y cubiertas, he incluso la disposición del mobiliario, influyen significativamente en la distribución de iluminación natural dentro de los espacios de trabajo. Estas y otras referencias metodológicas pueden servir como punto de partida para aplicarse al contexto ecuatoriano.

El presente trabajo explora un marco metodológico que viabiliza estas aspiraciones con un objetivo claro: maximizar la utilización e iluminación natural en una edificación de oficinas de hasta tres plantas, controlando posibles aumentos en el consumo energético de la edificación. Para esto, se parte de un diseño base modelado en BIM y se formulan

variantes de envolvente y aberturas; evaluándose cada alternativa de forma técnica y económica, integrando métricas de iluminación natural y estimación de costos.

1.1 Antecedentes

El aprovechamiento de la iluminación natural en edificaciones busca maximizar el uso de la luz solar para iluminar los espacios interiores, disminuyendo la necesidad de la iluminación artificial y aprovechando los beneficios asociados. Este tipo de estrategia es considerado con un factor clave en el diseño arquitectónico de un edificio, ya que no solo contribuye al ahorro energético del mismo, sino que también mejora la estética de los espacios interiores e influye de manera directa en la salud, el bienestar y la productividad de los usuarios.

Investigaciones como la de Marquines et al. (2020), demuestran que la ubicación, dimensiones y orientación de ventanas, tipo de acristalamiento y la configuración arquitectónica influyen de manera determinante en la cantidad y calidad de luz natural que ingresa a las áreas de trabajo.

Desde el punto de vista energético, la iluminación en oficinas representa una fracción relevante del consumo eléctrico. Según datos del CBECS-2018 de U.S Energy Information Administration, en los edificios destinados al uso de oficinas la iluminación consume alrededor de 38 TWh de un total de 227 TWh, equivalente a un 16,7% del consumo eléctrico del mismo en los EE.UU (CBECS, 2022). En Europa y en Reino Unido, las estadísticas muestran que la iluminación en edificios destinados al uso de oficinas representa entre el 20% al 25% del consumo eléctrico total (Department for Business, 2018). Por lo tanto, un diseño arquitectónico adecuado, orientado al aprovechamiento de la luz natural, permite disminuir la dependencia de la iluminación artificial, lo que permite tener una menor huella de carbono y una disminución en los costos operativos dentro de un edificio.

Para la evaluación precisa de estos factores, resulta necesario contar con herramientas de modelado y simulación. La utilización de plataformas basadas en BIM (Building Information Modeling) facilitan la representación de la geometría y materiales de un edificio, y a su vez, hace posible la simulación energética y lumínica del edificio. Todo esto permite evaluar múltiples variantes de diseño, optimizando tanto el desempeño energético como la calidad espacial. Esta evaluación se hace especialmente necesaria al considerar que una mejor iluminación natural requiere mayores áreas traslúcidas, lo

que fácilmente puede llevar a aumentos notables de consumo energético anual. Así, un diseñador deberá equilibrar la cantidad de superficies acristaladas a emplear, con propiedades optimizadas de transmitancia térmica para los materiales de la envolvente. Finalmente, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y estudios internacionales publicados en el Journal of Clinical Sleep Medicine señalan, que la exposición a la luz natural regula los procesos físicos y mentales en el cuerpo humano, contribuyendo a mejorar el estado de ánimo y la eficacia laboral (Boubekri et al., 2014). Sin embargo, en Ecuador aún no existe una normativa que establezca criterios claros y de manera obligatoria con respecto al aprovechamiento de la luz natural en edificaciones, lo que resalta la necesidad de generar estudios técnicos y económicos que aporten al desarrollo de futuras regulaciones.

1.2 Localización del caso de estudio

El presente estudio evalúa un modelo de distribución arquitectónica que será implantada en un sector del cantón Guayaquil, de la provincia del Guayas, conocido como Kennedy 3, en las coordenadas geográficas $2^{\circ} 9'33.76''S - 79^{\circ}53'38.88''O$ de la Figura 1.1. El clima del sitio elegido es un clima tropical clasificándose como “Zona Climática 1: Húmeda muy calurosa” según la NEC.



Figura 1.1 Coordenadas del sitio y norte del proyecto.

El terreno se encuentra ubicado entre las calles Luis Izurieta Arias y Julio Villagrán Lara como se observa en la Figura 1.2, con un frente hacia el Norte a Luis Izurieta Arias. Las

dimensiones registradas por el Geoportal del Municipio de Guayaquil son 42,07 m de ancho y 24,0 m de largo, teniendo un área de terreno de 1009,70 m².

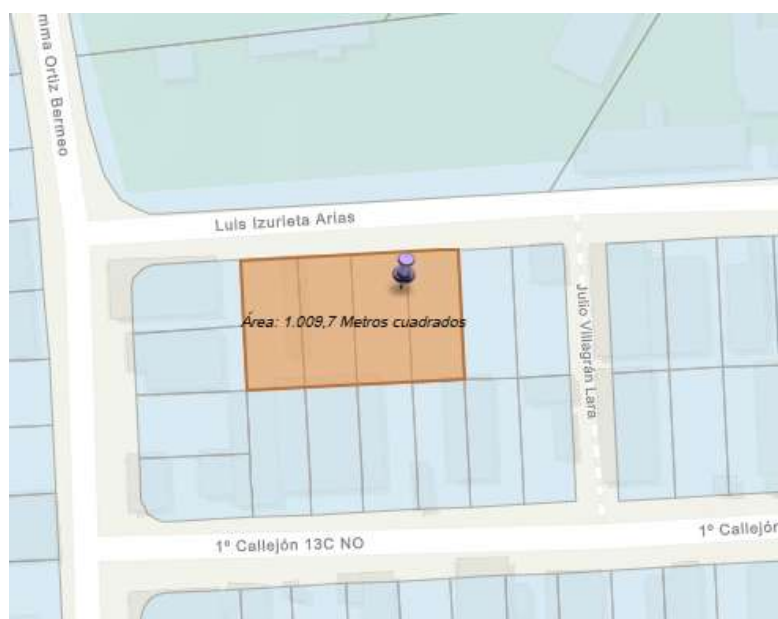


Figura 1.2 Ubicación y área del lote de estudio.

1.3 Estudios previos

En América latina se han desarrollado diversas investigaciones sobre el aprovechamiento de iluminación para diferentes tipos de infraestructuras, con el fin de obtener eficiencia energética y confort visual en oficinas. Marquines et al. (2020) analizaron un open office en Panamá Pacífico, midiendo niveles de iluminancia en sitios diferentes, configuraciones de control solar y evidenciando que la orientación del edificio, tipo de ventanas, disposición del mobiliario y distribución interna, inciden en la distribución lumínica y en la reducción del deslumbramiento. En un enfoque complementario. Por otro lado, Gómez-Pérez (2022) evaluó mediante simulación el desempeño lumínico de vidrios de distinta transmitancia en una oficina en la Ciudad de México, determinando que el equilibrio entre transmisión de luz y control térmico es clave para mantener el confort visual y reducir el consumo eléctrico, alineado con criterios de certificaciones como LEED. Por su parte, Cornejo Criollo & Zumba Nievecela (2025) desarrollaron un análisis técnico-económico, con el fin de implementar tubos solares en oficinas de la Universidad Politécnica Salesiana sede en la ciudad de Cuenca, cantón Azuay, integrando modelado matemático, simulaciones con Dialux/Velux, con el fin de evaluar la combinación de sistemas de iluminación natural y artificial.

A este panorama se suman dos aportes que enriquecen la perspectiva pasiva del diseño lumínico. Castro Castro (2021), plantea metodologías de gestión documental y trazabilidad técnica en proyectos sostenibles, útiles para normalizar y verificar mediciones lumínicas en campo, mientras que Valarezo Morocho (2018), enfocó su investigación en la iluminación natural en una vivienda popular en Loja concluyendo que los principios de iluminación natural sirven como una estrategia pasiva para el mejoramiento del desempeño térmico de una vivienda.

Estas experiencias convergen en un marco de referencia robusto donde la iluminación natural, combinada con nuevas tecnologías para el desempeño energético y lumínico en ventanas, son un punto de partida para el ahorro energético, la certificación ambiental y el bienestar ocupacional.

1.4 Definición del problema

Actualmente es usual encontrar edificios de uso público o privado que utilizan intensivamente iluminación artificial durante gran parte de la jornada, aun cuando las condiciones del día podrían permitir el aprovechamiento de la iluminación natural. Esta situación responde a deficiencias en el diseño y forma del edificio, relaciones ventanas/muros y selección de acristalamientos que limitan la captación y distribución de la luz natural, derivando así el uso ineficiente de electricidad y mayores costos operativos.

Adicionalmente, la naturaleza de la envolvente de la edificación, en climas calurosos y húmedos como Guayaquil, añade importantes demandas energéticas de climatización. Estas demandas podrían verse incrementadas, si es que la cantidad y disposición de superficies traslúcidas añadidas no considera el uso de materiales con propiedades aislantes adecuadas.

La combinación de estos efectos solo es cuantificable y optimizable a partir de cálculos y simulaciones, que en el caso de este trabajo serán desarrolladas bajo un entorno BIM. Estas problemáticas se vuelven complejas de gestionar al no existir estudios técnicos y económicos desarrollados en nuestro entorno. Contar con estas referencias permitiría evaluar y comparar diferentes alternativas formales de diseño arquitectónico y materialidad, que estén realmente disponibles en nuestro mercado. Además, no solo se busca proveer más iluminación natural, sino equilibrar luz, energía y confort de manera integrada. Nuevamente, se hace relevante que el problema analice no solo la parte

técnica de la iluminación natural, sino también su aspecto económico para garantizar la factibilidad de aplicación en el medio ecuatoriano.

Existen diversas investigaciones regionales que analizan el desempeño de la iluminación natural, la misma que puede llegar a reducir entre un 20% y 30% del consumo de energía en una edificación destinada para el uso de oficinas, dependiendo del diseño de la envolvente y de los materiales utilizados. Comparar el costo de estos ahorros, versus la inversión inicial a realizar en las soluciones aplicadas a la envolvente, permitirá discernir la mejor relación costo/beneficio de las diferentes opciones a considerarse en el estudio. La evaluación técnica y económica de varias alternativas de iluminación natural para edificios de oficinas de hasta tres plantas, podrán servir como base para futuras recomendaciones de diseño, facilitando la materialización de edificaciones con ambientes más saludables, eficientes en el consumo energético y con unas altas factibilidades técnicas y económicas de ser construibles en la zona costera del Ecuador.

1.5 Justificación

En el desarrollo de construcción de infraestructura civil, la problemática del desaprovechamiento de la luz natural es de gran impacto. Es fácilmente palpable el uso intensivo de iluminación artificial en horas del día en edificaciones de oficinas en la ciudad de Guayaquil. El primer resultado es el incremento injustificado del consumo energético que ocasiona demandas difíciles de cubrir para la condición actual del sistema ecuatoriano de generación eléctrica. En este escenario, se vuelve importante la optimización de dichas demandas, con estrategias como el aprovechamiento de la iluminación natural.

Este proyecto está encaminado en analizar y validar alternativas de diseño arquitectónico, materiales, tecnologías y costos en un edificio de oficinas de tres plantas para el aprovechamiento de iluminación natural. Las estrategias planteadas buscan además cumplir con los objetivos 7-9-11 de Desarrollo Sostenible. Dichos resultados podrán ser utilizados como una base referencial para la determinación de opciones de iluminación natural con relaciones costo/beneficio validadas y construibles en el país.

1.6 Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Evaluar de manera técnica y económica las diferentes variantes de iluminación natural para un edificio de oficinas de hasta tres plantas mediante el uso de herramientas BIM.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Analizar la iluminación natural en un edificio de oficinas de hasta tres plantas, mediante un modelo realizado con herramientas BIM.
- Comparar las alternativas de diseño para identificar la opción con mejor equilibrio entre desempeño lumínico, eficiencia energética y viabilidad económica.
- Determinar la variante de diseño óptima para el aprovechamiento de la iluminación natural en un edificio de oficinas de hasta tres plantas.

CAPÍTULO 2

2. DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1 Marco conceptual.

El marco conceptual del presente trabajo aborda los fundamentos que guían la evaluación técnica y económica de variantes de iluminación natural en edificios de oficinas de hasta tres plantas considerando los siguientes aspectos:

- La envolvente térmica que se caracteriza por los materiales utilizados en el perímetro de un edificio, influyendo en el consumo energético del edificio.
- Descripción de las variables de medición de desempeño en iluminación natural; se describen detalladamente las diferentes variables de iluminación natural que actualmente pueden aplicarse en el sector de la construcción, y como se relacionan con el consumo energético.
- Descripción de parámetros térmicos en materiales de construcción utilizados en la construcción de envolventes térmicas en edificaciones. Con esto se obtuvieron los datos locales para la configuración de los modelos energéticos y de iluminación a emplearse en las diferentes simulaciones.
- El sistema medio ambiental es un factor importante al momento de lograr un diseño de iluminación natural en un edificio ya que define las condiciones de frontera sobre las cuales este se comporta, es decir, el clima determina como entra, se distribuye y se controla la iluminación dentro de los espacios interiores.

2.1.1. Mecanismos de transferencia de calor.

Las transferencias de calor se dan en ciertos puntos de la estructura y se dan por:

- **Conducción:** Es la transferencia de calor a través de los materiales sólidos como muros, losas, cubiertas o vidrios. En edificaciones se cuantifica mediante la transmitancia térmica (U-Value) del elemento; mientras menor sea este valor, mejor será el aislamiento.
- **Convección:** Es la transferencia de calor entre la superficie del edificio ya sea fachada, vidrio o cubiertas con lo que le rodea (aire interior o exterior).
- **Radiación:** Es la transferencia de calor mediante las ondas electromagnéticas a través del espacio.

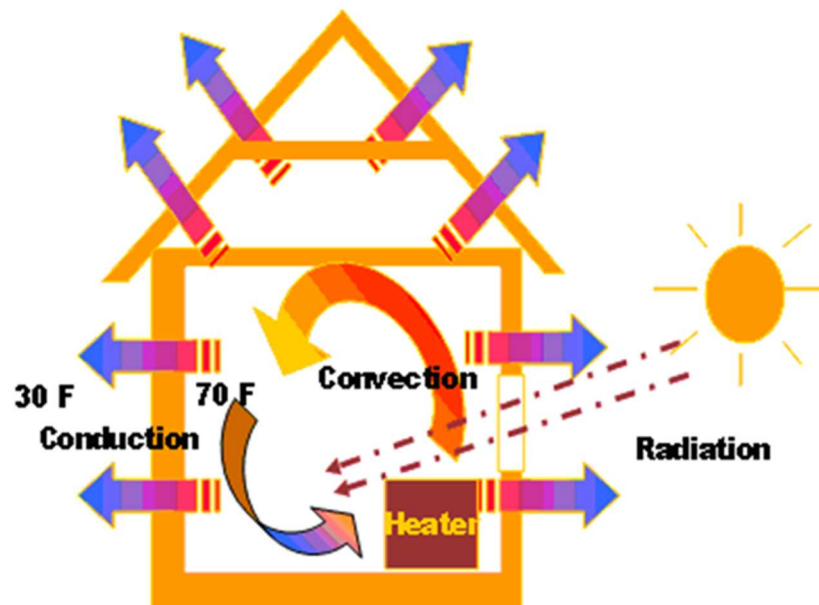


Figura 2.1 Ejemplo de transferencia de calor en una edificación. Fuente: (Dutton, 2023).

2.1.1.1. Ganancias de calor.

Las ganancias de calor es una medida que permite determinar el calor acumulado en el interior de la estructura, proveniente de la radiación solar directa, y puede ser controladas mediante elementos que poseen un bajo valor de transmitancia térmica.

- **Transmitancia térmica (U-Value)** - Transmisión de calor por unidad de tiempo a través de un material o a través de un elemento constructivo y las películas/barreras de aire, inducida por una diferencia de temperatura entre los ambientes en ambos lados del elemento considerado. Las unidades del factor U son W/m^2K .
- **Resistencia térmica (R-Value)** - Es el inverso de la transmitancia ($R = 1/U$) y es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2018).
- **Factor solar o coeficiente de ganancia de calor solar (g o SHGC)**: Relación entre la ganancia de calor solar que entra a un espacio a través de elementos translúcidos y la radiación solar incidente. La ganancia de calor solar incluye el calor solar directamente transmitido y la radiación solar absorbida, la cual es transferida a través de radiación, conducción y convección dentro del espacio (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2018).

2.1.2. Envoltente térmica de una edificación, elementos opacos.

La envoltente térmica se define como el componente de un edificio que protege el ambiente interior y garantiza el confort interior minimizando el consumo de energía y reduciendo las emisiones de carbono. Elementos como muros, cubiertas, losas y pisos son elementos opacos dentro de esta envoltente.

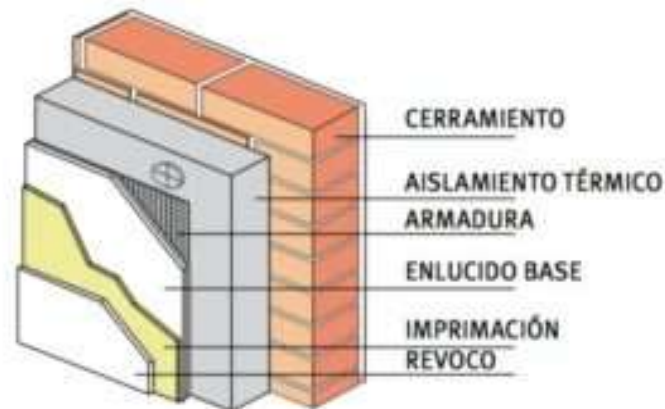


Figura 2.2 Envoltente de elementos opacos de un edificio. Fuente: (Lizarraga, 2020).

Estos elementos opacos tienen un coeficiente de transmitancia térmica (U) que variará en función de la composición de materiales, espesor, resistencia térmica (R -value) como de las propiedades térmicas que compongan a la misma (Lizarraga, 2020). Los materiales como el hormigón o el acero que tienen alta conductividad, generan mayores pérdidas o ganancias térmicas, mientras que aquellos como el poliestireno extruido o la lana mineral que tiene alta resistencia térmica, contribuyen a reducir el flujo de calor por conducción (ASHRAE, 2017).

2.1.3. Envoltente térmica de una edificación, elementos traslúcidos.

Los elementos traslúcidos de la envoltente térmica como lucernarios, ventanas, claraboyas y fachadas verticales cumplen una doble función en una edificación. La primera que permiten el ingreso controlado de luz natural y la segunda, que a la vez actúan como barreras térmicas entre el ambiente exterior y el interior. Su desempeño depende de un equilibrio entre la transmitancia térmica (U -value), coeficiente de ganancia solar (SHGC) y transmitancia visible (VT), parámetros que determinan la cantidad de calor y luz que atraviesan en el sistema (ASHRAE, 2017).

El diseño solar pasivo, el aislamiento, las ventanas de alto rendimiento, el sellado de aire y la ventilación controlada son ejemplos de envolventes de edificios que pueden integrarse en los sistemas energéticos para aumentar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental (Aghamolaei, 2023).

Los edificios de oficina se caracterizan por poseer una alta relación de áreas ventanas con respecto al área de paredes observado en la Figura 2.3, el uso de acristalamiento surgió desde el siglo XIX. Aunque en ciertos climas pueden ser contraproducentes en el control térmico interno.



Figura 2.3 World Trade Center de Guayaquil – Edificio de oficinas. Fuente: GoogleMaps.

2.1.4. Características y parámetros de cuantificación de iluminación natural.

Con el fin de comprender las distintas métricas que caracterizan la percepción de la luz solar en un edificio es necesario presentar las siguientes definiciones ilustradas en la Figura 2.4:

- **Flujo luminoso:** Unidad de medida que cuantifica la potencia o caudal de energía de la radiación luminosa. Su unidad característica es el lumen (lm).
- **Intensidad lumínica:** Cantidad de luz o “nivel de iluminación” que se mide en un punto determinado. Pueden intervenir varios emisores. La unidad de medida es el lux.
- **Iluminancia:** Cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área. La unidad de medida en el Sistema Internacional es el lux: $1 \text{ lux} = 1 \text{ lm/m}^2$. Aunque el ojo humano puede apreciar luminancias comprendidas entre

3 y 100000 lux, para poder desarrollar cómodamente una actividad necesita entre 100 lux a 1000 lux (Lema, 2022).

- **Luminancia:** Densidad angular y superficial de flujo luminoso que incide, atraviesa o emerge de una superficie siguiendo una dirección determinada. La unidad de medida es candela/m².

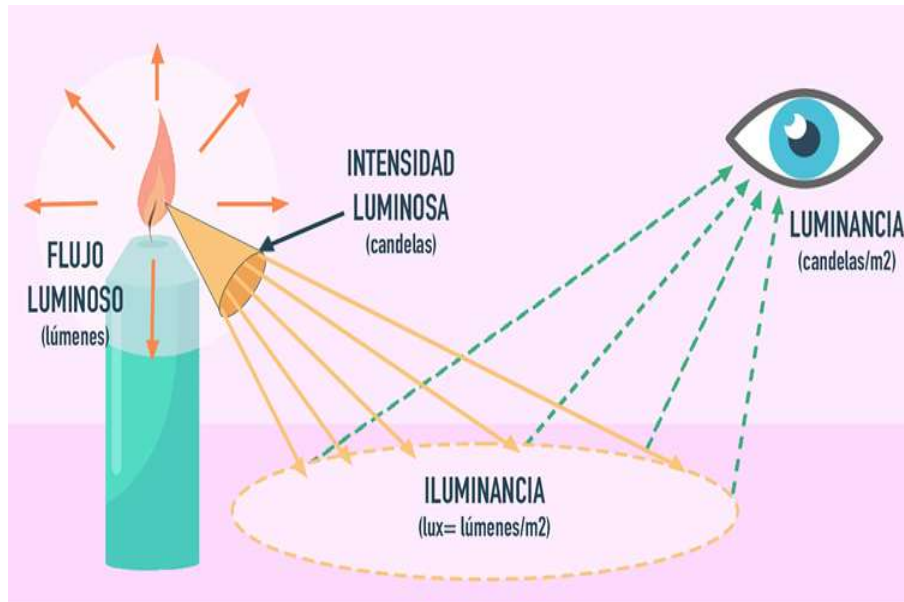


Figura 2.4 Esquema de Iluminancia vs Luminancia. Fuente: (Lema, 2022).

Al momento de caracterizar el desempeño de estos factores, sobre todo de la iluminancia dentro de una edificación, se requiere el cálculo de parámetros específicos a la forma, orientación, materialidad y época del año en análisis para el proyecto. Para el presente trabajo se utilizarán:

- **sDA - Spatial Daylight Autonomy:** Porcentaje del área útil de un espacio que recibe al menos un nivel de iluminancia objetivo durante al menos el 50% de las horas de ocupación.

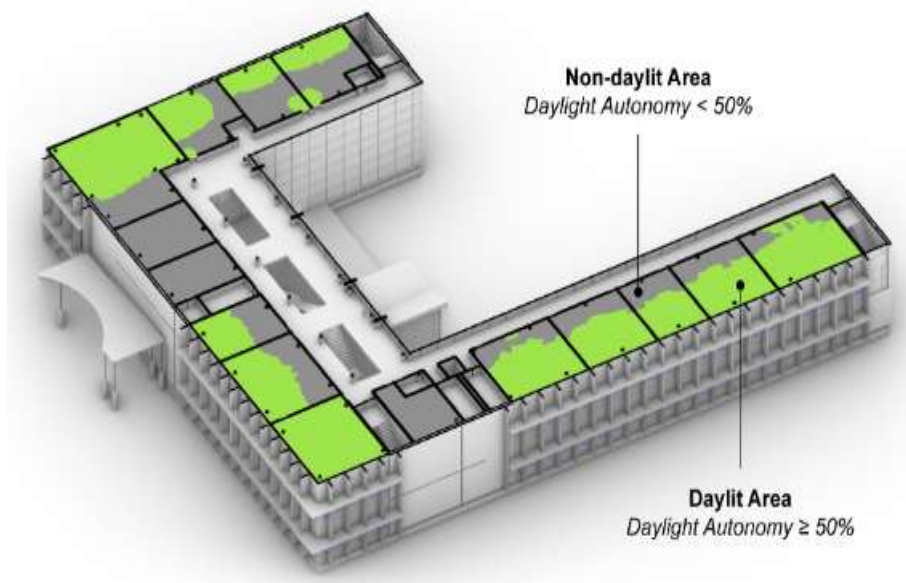


Figura 2.5 Parámetro sDa en un edificio. Fuente: (Clima Estudios, 2024).

- ASE - Annual Sunlight Exposure:** Porcentaje del área ocupada regularmente que esa “sobreiluminada”. Estas ubicaciones “sobreiluminadas” son aquellas que reciben la luz solar de manera directa durante más de 250 horas de ocupación. Un buen parámetro de ASE permite minimizar la incomodidad visual y térmica sin depender del funcionamiento manual de las cortinas (Clima Estudios, 2024).

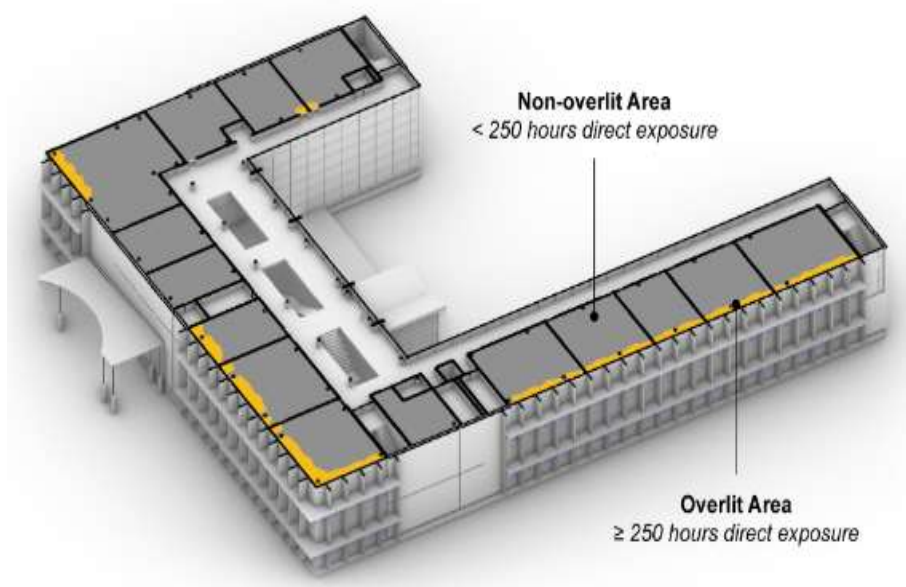


Figura 2.6 Parámetro ASE en un edificio. Fuente: (Clima Estudios, 2024).

- **DLF - Davlight Factor:** Relación porcentual entre la iluminancia interior en un punto y la iluminancia exterior simultánea bajo cielo cubierto estandarizado. Mide el potencial de luz natural sin depender de datos climáticos horarios.

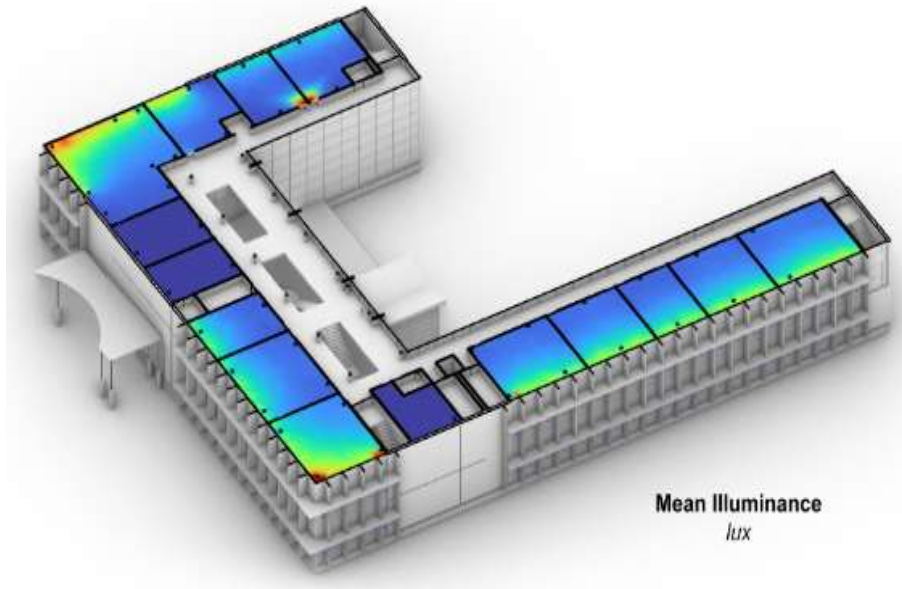


Figura 2.7 Parámetro DLF en un edificio. Fuente: (Clima Estudios, 2024).

2.1.5. Descripción del asoleamiento para el caso de estudio.

Las edificaciones son influenciadas de manera directa e indirecta por su comportamiento térmico y por las condiciones climáticas del entorno. Una correcta orientación y el uso de variables adecuadas en el proyecto favorecen el aprovechamiento de la iluminación natural al interior del edificio, reduciendo costos energéticos (Albatayneh, 2018).

La luz solar influye directamente sobre el nivel de confort que un usuario puede percibir debido a los efectos lumínicos, térmicos y visuales. También es la fuente de la iluminación natural que va cambiando con respecto al tiempo, estación climática y orientación de fachadas. En Guayaquil, por su cercanía a la Línea Ecuatorial se presenta la característica particular de contar con posiciones solares con altitudes entre 64 y 89 grados al medio día.

Como se aprecia en la Figura 2.8, las trayectorias solares para Guayaquil varían entre Junio y Agosto donde el sol mayoritariamente se proyecta desde el Norte, entre Septiembre y Marzo se proyecta sobre la edificación, y entre Agosto y Diciembre desde el Sur. Al ubicarse el sol en altitudes mínimas cercanas a los 65 grados, la penetración solar no representa un factor significativo como si lo fuera en los hemisferios Norte y Sur.

El uso de diagramas solares en el modelo BIM nos permite realizar análisis energéticos y de iluminación natural, utilizando las fechas de los equinoccios (21 de marzo y 23 de septiembre) y solsticios (21 de junio y 21 de diciembre), debido a que son fechas donde hay momentos de mayor o menor incidencia solar, y esto es lo que afecta directamente a la iluminación natural y, además, al impacto térmico dentro y fuera del edificio a lo largo del año.

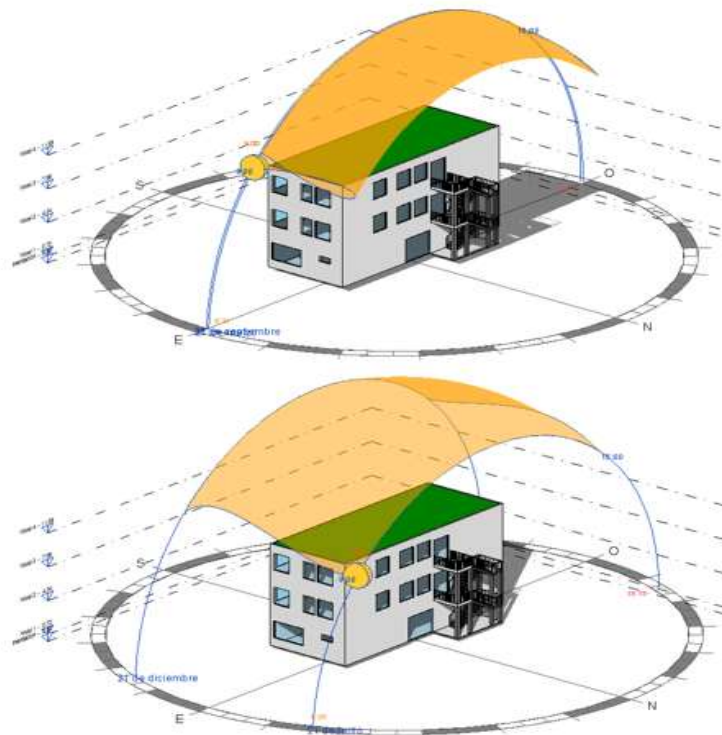


Figura 2.8 Trayectorias solares del proyecto en su ubicación geográfica.

La posición del sol en estas fechas ayuda a analizar como la luz natural entra y se distribuye dentro de los espacios interiores del edificio, siendo todo esto de vital importancia tanto para el confort visual y para la reducción del uso de la luz artificial (CILAC, 2024).

En Ecuador, la trayectoria del sol es alta y casi cenital en las fechas de equinoccios, ofreciendo una gran iluminación natural en el edificio, pero también eleva el riesgo de deslumbramiento. Para nuestro caso de estudio, como la fachada frontal está orientada hacia el Norte de acuerdo a nuestra implantación existe una mayor exposición de sol en esta cara del edificio a diferencia que las otras, ofreciendo un alto potencial de

iluminación natural en horarios matutinos, mientras que en la cara sur queda un poco más sombreada.

En la Figura 2.9 y Figura 2.10 se muestran las trayectorias solares correspondiente a los equinoccios de marzo y septiembre. En este equinoccio, el sol se proyecta de manera perpendicular al edificio, lo que conlleva una exposición directa y uniforme sobre la envolvente de este. La distribución del soleamiento es equilibrada, debido a que tanto la fachada Norte como Sur reciben niveles similares de radiación solar durante todo el día, mientras que la fachada Este y Oeste reciben una radiación directa más significativa, provocando deslumbramientos en algunos puestos de trabajos cerca de las ventanas y aumento en las cargas internas de enfriamiento.

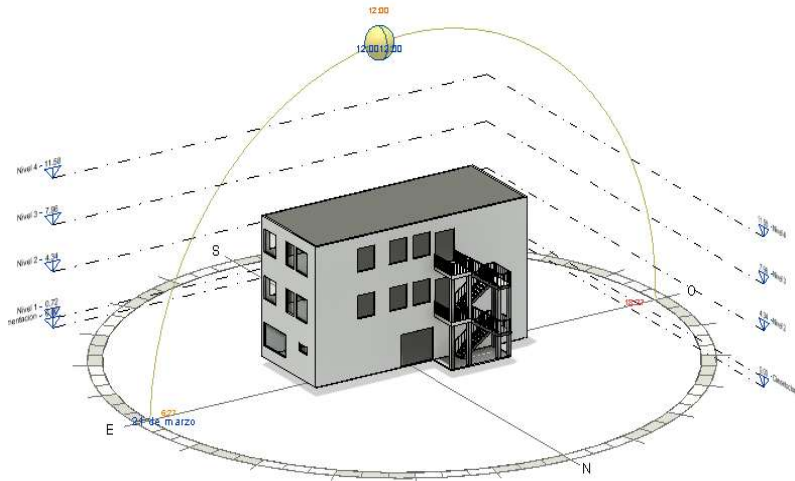


Figura 2.9 Recorrido solar del edificio 21 de Marzo 12 PM.

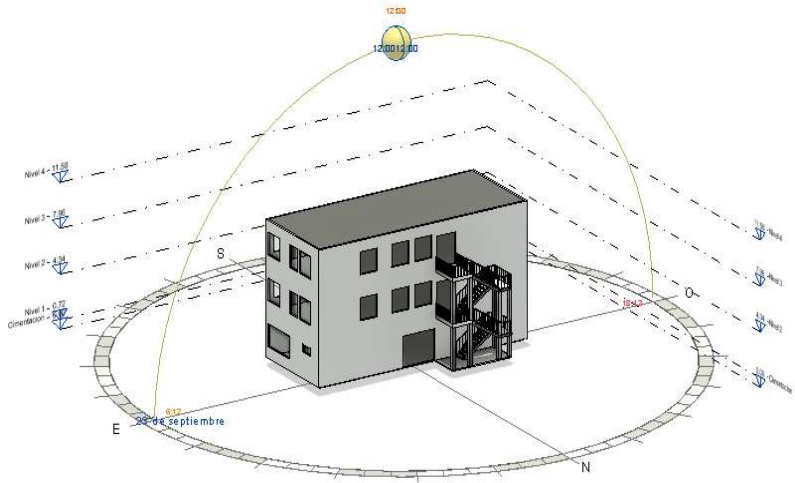


Figura 2.10 Recorrido solar del edificio 23 de Septiembre 12 PM.

Por otro lado, en la Figura 2.11 y Figura 2.12 muestran las trayectorias solares correspondientes al solsticio de diciembre y junio. Tanto en junio como en diciembre, las fachadas más comprometidas son la Este y Oeste donde la concentración de radiación solar es mayor en el interior, lo que incrementa la carga térmica interna generando desbalance en el confort lumínico. Es recomendable el uso de acristalamientos con un SHGC ≤ 0.40 y Vt entre 0.50 a 0.70.

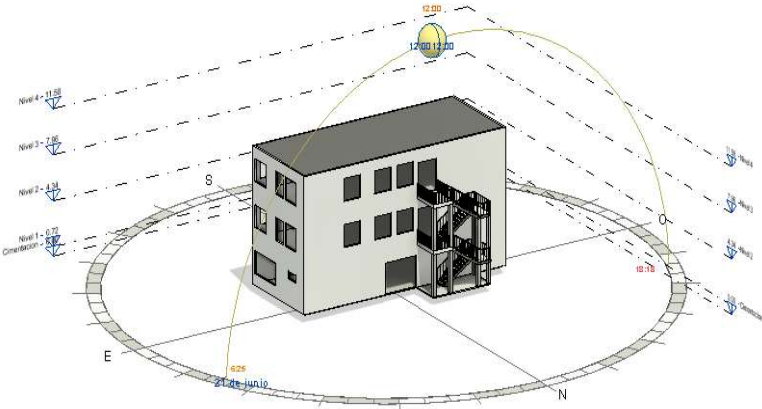


Figura 2.11 Recorrido solar del edificio 21 de Junio 12 PM.

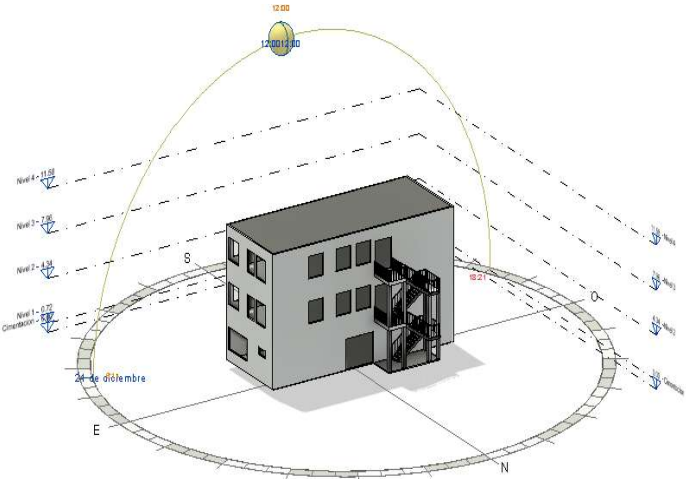


Figura 2.12 Recorrido solar del edificio 21 de Diciembre 12 PM.

2.1.6. Factores a considerar para la optimización de iluminación natural y su eficiencia energética asociada en una edificación.

Un plan de aprovechamiento ambiental en oficinas promueve una reducción del consumo energético mediante el uso de luz natural, cargas térmicas y mejoras en los hábitos de uso de las instalaciones, sin comprometer su confort visual ni térmico. En climas

tropicales húmedos como el litoral ecuatoriano, la estrategia debe balancear altos niveles de iluminancia útil con control de ganancias solares y deslumbramientos, priorizando métricas dinámicas (cantidad de horas de luz por día y riesgo de deslumbramiento) sobre valores estáticos de iluminancia. La norma EN 17037 formaliza requisitos de luz natural, vista y deslumbramiento, actualmente es una guía muy utilizada para verificar los criterios de diseño y operación con respecto a los objetivos ambientales aplicables a cada proyecto (European Committee for Standardization., 2018).

Estos planes integran la envolvente del edificio, entendiéndose como la envolvente a los elementos que conforman el perímetro creando una barrera entre lo interior con lo exterior, la orientación, la forma arquitectónica y los dispositivos de control solar en una hoja de ruta con metas cuantificables. En nuevas investigaciones se vincula factores como la calidad lumínica, control por el usuario y desempeño energético con bienestar y satisfacción en oficinas (Altomonte et al., 2020).

- **Iluminación natural.** La iluminación natural o solar, es una estrategia medioambiental utilizada para ser como fuente de iluminación primaria en edificaciones, la misma que mediante estudios, ha sido demostrado que permite elevar el confort de los espacios de trabajos en sus usuarios, además influye directamente en el uso de iluminación artificial y aparatos de climatización disminuyendo el consumo energético (Nasrollahi & Shokri, 2016).

Para oficinas, el objetivo del diseño lumínico de los diseñadores es maximizar las horas de luz natural útil en el área de trabajo y minimizar la exposición a deslumbramientos o horas con excesos de radiación solar directa. Según la norma ASHRAE, propone que los valores recomendados para el sDA (Spatial Daylight Autonomy) sea $\geq 50\%$ del área útil, siendo 75% un nivel óptimo y que la ASE (Annual Sunlight Exposure) no supere el 10%. Esto garantiza un balance entre eficiencia energética y confort visual.

- **Cualidades constructivas de la edificación.** Las cualidades constructivas determinan cuánta luz natural entra a las edificaciones, cómo se distribuye y qué tanto calor se introduce con ella y la penetración de luz útil permite bajar la cantidad de puntos de iluminación artificial para cumplir con la cantidad de iluminación en ambientes de oficina, pero todo esto está correlacionado con los acabados que controlan la reflectiva de la luz solar hacia la percepción del usuario en el campo visual. Una modulación cuidadosa de boquetes, aleros y elementos de sombreado logra un equilibrio entre aporte lumínico y control solar (European

Committee for Standardization., 2018). Los detalles constructivos como antepechos, dinteles y nichos de ventana influyen en el reparto de luminancia y el riesgo de deslumbramiento. Incorporar reflectores superiores, “light shelves” y marcos de ventanas con geometrías que redirijan la luz hacia el techo, pueden elevar la uniformidad sin incrementar área acristalada. Estas soluciones pasivas, reducen la dependencia de mecanismos motorizados, que aumentarían el consumo energético en vez de reducirlo (Masoud et al., 2024).

2.1.6.1. Paquetes constructivos para la envolvente térmica.

Las fachadas dinámicas y dobles paneles en ventanas, permiten desacoplar iluminación y ganancias térmicas, con cámaras que disipan calor, gases entre paneles y películas de UV, que disminuyen el deslumbramiento. Las investigaciones recientes señalan que la automatización basada en sensores de cielo y luminancia interior supera la programación por reloj, mejorando sustancialmente el confort visual y recortes de energía de HVAC e iluminación (Favoio et al., 2014).

La integración de accesorios en las cubiertas, pueden aportar iluminación solar en la parte interna del edificio, reduciendo el área efectiva sin ventanas. El diseño de estos elementos debe prever el control de deslumbramiento, sobrecalentamiento y ganancias solares mediante difusores y selectividad espectral del acristalamiento (Castro Castro, 2021).

2.1.6.2. Características fundamentales de elementos traslúcidos.

Los elementos traslúcidos en una obra civil proporcionan una alta transmitancia térmica hacia el interior de la estructura, que aprovechan los rayos solares, existe documentación donde explica que si la envolvente es transparente se debe implementar técnicas adecuadas para evitar sobrecalentamientos y deslumbramientos.

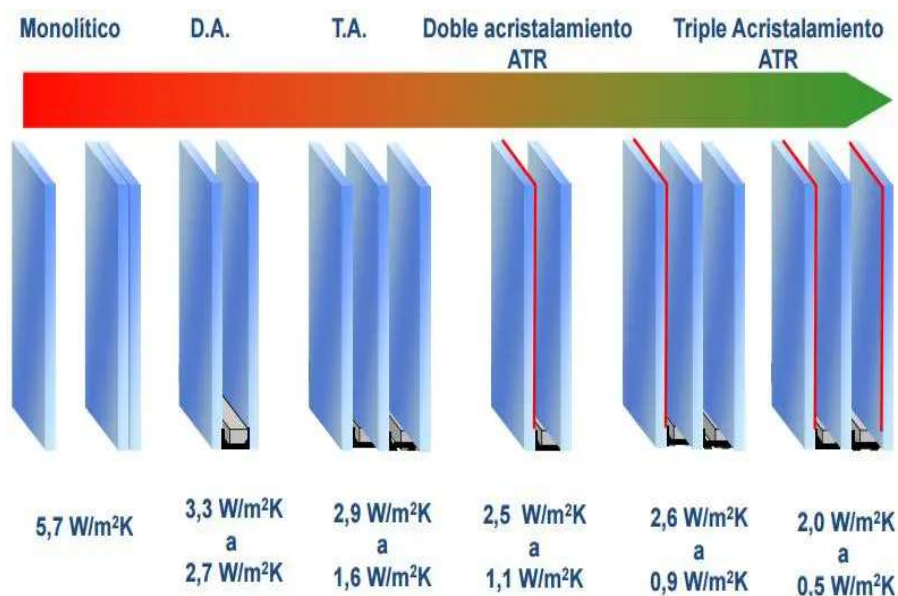


Figura 2.13 Tipos de acristalamientos. Fuente: Saint Gobain – SGG CLIMALIT.

La transferencia de calor a través de la ventana se debe principalmente a la conducción térmica a través de los paneles de vidrio. Por lo tanto, en la Tabla 2.1, se resume las diferentes configuraciones de los paneles de vidrio (ventanas simples, dobles y triples), con y sin revestimiento de baja emisividad, y con o sin materiales aislantes adicionales entre los mismos paneles de vidrio, lo cual resulta que tengan diferentes valores U. Además, la convección y la radiación se producen exactamente en tres lugares en las ventanas de múltiples paneles: las superficies interiores y exteriores de las ventanas, así como en las cavidades internas entre las capas de acristalamiento, mostrado en la Figura 2.14 (Aguilar-Santana et al., 2020).

Tabla 2.1 Valores U típicos en diferentes tipos de acristalamientos. Fuente: (Aguilar-Santana et al., 2020).

Configuración de vidrio	Valor U (W/m²)
Vidrio simple sin recubrimiento de 6 mm	5.70
Doble vidrio sin recubrimiento, cavidad de 12 mm	2.80
Cámara de aire de 15 mm de vidrio doble sin revestimiento	1.40
Cavidad de argón de 15 mm de vidrio doble sin recubrimiento	1.20
Triple vidrio sin recubrimiento de 16 mm con argón	0.79
Aerogel monolítico de 22 mm de vidrio doble sin recubrimiento	0.65
Aerogel granular de 33 mm de vidrio doble sin recubrimiento	0.44

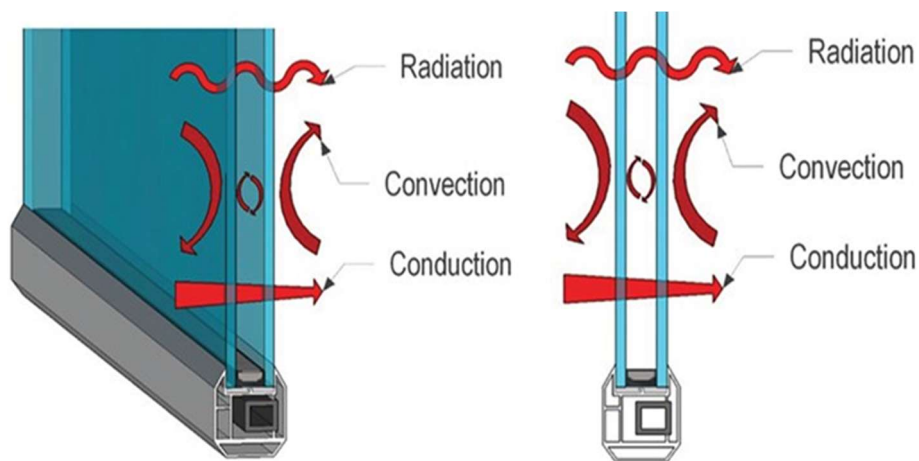


Figura 2.14 Transferencia de calor a través de ventanas de doble acristalamiento.

Fuente: (Aguilar-Santana et al., 2020).

A continuación, se explica otros tipos de vidrio existentes en el mercado ecuatoriano:

- **Vidrio Claro:** Vidrios que permiten la iluminación natural, aplicado en zonas exteriores e interiores y en la parte industrial (automotriz y línea blanca). Espesores desde 3mm a 19 mm, como se resume en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Tabla de propiedades para el vidrio claro. **Fuente:** (Cedal, 2024).

Tabla de Propiedades para el Vidrio Claro						
Espesor Nominal del Vidrio	Transmisión solar		Reflexión solar		Propiedades térmicas	
	% Luz tv [%] + - 0.03	% Calor te [%] + - 0.03	% Luz rvi [%] + - 0.03	% Calor re [%] + - 0.03	U-VALUE [W / m2*°C] (verano)	Coefficiente de Sombreado
3 mm	90 < > 89	87 < > 83	9 < > 8	9 < > 8	5.8	0.99
4 mm	90 < > 89	84 < > 81	9 < > 8	8 < > 7	5.8	0.97
5 mm	90 < > 89	84 < > 79	9 < > 8	8 < > 7	5.8	0.96
6 mm	89 < > 88	81 < > 77	9 < > 8	8 < > 7	5.7	0.94
8 mm	88 < > 87	78 < > 72	9 < > 8	8 < > 7	5.7	0.91
10 mm	87 < > 86	75 < > 69	9 < > 8	8 < > 7	5.6	0.88
12 mm	86 < > 84	72 < > 64	8 < > 7	7 < > 6	5.5	0.84
19 mm	84 < > 83	56 < > 55	8 < > 7	7 < > 6	5.3	0.78

- **Vidrio Tintado:** Gracias a la agregación de pigmentos metálicos en el proceso de fundición del vidrio, adquiere características de control solar permitiendo el uso de iluminación natural y a su vez bloquea parte de la luz ultravioleta. Disponible en espesores desde los 3 mm hasta los 8 mm. Usado en exteriores e interiores y en la parte industrial (automotriz y línea blanca). Las propiedades de este tipo de vidrio se resumen en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Tabla de propiedades del vidrio tintado. Fuente: (Cedal, 2024).

Tabla de Propiedades del Vidrio Tintado							
	Espesor Nominal del Vidrio	Transmisión solar		Reflexión solar		Propiedades térmicas	
		% Luz tv [%] + - 0.03	% Calor te [%] + - 0.03	% Luz rvi [%] + - 0.03	% Calor re [%] + - 0.03	U-VALUE [W / m ² *°C] (verano)	Coefficiente de Sombreado
Bronce	4 mm	64 < > 52	61 < > 51	7 < > 6	7 < > 6	5.8	0.8
	6 mm	53 < > 46	51 < > 43	7 < > 6	7 < > 4	5.8	0.72
	8 mm	41 < > 35	42 < > 33	6 < > 5	6 < > 4	5.7	0.65
Gris	3 mm	63 < > 61	59 < > 57	6 < > 5	6 < > 5	5.8	0.8
	4 mm	57 < > 56	58 < > 56	8 < > 6	10 < > 6	5.8	0.75
	6 mm	45 < > 43	46 < > 43	7 < > 5	9 < > 5	5.7	0.66
Dark gray	4 mm	36 < > 18	43 < > 18	7 < > 4	9 < > 4	5.8	0.46
	6 mm	22 < > 8	29 < > 8	6 < > 4	8 < > 4	5.7	0.41
Verde automotriz	4 mm	80 < > 78	57 < > 54	10 < > 6	10 < > 5	5.8	0.69
	6 mm	76 < > 70	45 < > 42	9 < > 7	9 < > 5	5.7	0.6
Ford blue	4 mm	67 < > 64	63 < > 57	9 < > 6	10 < > 6	5.8	0.69
	6 mm	57 < > 55	54 < > 46	8 < > 6	10 < > 5	5.7	0.6
Dark blue	4 mm	68 < > 49	65 < > 52	7 < > 5	10 < > 6	5.8	0.69
	6 mm	58 < > 37	57 < > 41	7 < > 5	9 < > 5	5.7	0.6

- **Vidrio Reflectivo:** Este vidrio es de capa dura (pirolítico), es decir, la película reflectante está en la masa del vidrio. Tiene una apariencia espejada y es de alta durabilidad. Entre sus beneficios esta que reduce la cantidad de calor transferido por el vidrio, logrando una disminución de la radiación ultravioleta también. Viene en espesores desde los 4 mm hasta los 6 mm. Solo es utilizado en ambientes exteriores. A continuación, se muestra las propiedades de este vidrio en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Tabla de propiedades del vidrio reflectivo. Fuente: (Cedal, 2024).

Tabla de Propiedades del Vidrio Reflectivo							
	Espesor Nominal del Vidrio	Transmisión solar		Reflexión solar		Propiedades térmicas	
		% Luz tv [%] + - 0.03	% Calor te [%] + - 0.03	% Luz rvi [%] + - 0.03	% Calor re [%] + - 0.03	U-VALUE [W / m ² *°C] (verano)	Coefficiente de Sombreado
Bronce	4 mm	23 < > 22	26 < > 25	25 < > 24	17 < > 16	5.07	0.28
	6 mm	21 < > 20	30 < > 29	17 < > 16	15 < > 14	5.07	0.28
Verde automotriz	4 mm	34 < > 33	32 < > 31	35 < > 34	20 < > 19	5.71	0.4
	6 mm	27 < > 25	21 < > 20	36 < > 34	19 < > 18	5.71	0.4
Ford blue	4 mm	30 < > 27	38 < > 34	25 < > 19	16 < > 18	5.73	0.39
	6 mm	25 < > 20	33 < > 22	22 < > 16	17 < > 14	5.73	0.39
Dark blue	4 mm	29 < > 25	47 < > 39	15 < > 13	17 < > 16	5.41	0.33
	6 mm	19 < > 18	39 < > 32	12 < > 11	18 < > 14	5.41	0.33
Dark green	4 mm	34 < > 33	34 < > 33	26 < > 25	16 < > 15	5.74	0.37

6 mm	31 < > 25	39 < > 24	25 < > 23	16 < > 13	5.74	0.37
------	-----------	-----------	-----------	-----------	------	------

Existen algunos recubrimientos para vidrios como el de baja emisividad (low-E) que está fabricado con finas capas transparentes de óxido metálico, como el estaño, plata o zinc, que optimiza el rendimiento de refrigeración, calefacción e iluminación natural. Una desventaja de este tipo de recubrimiento es que pueden reducir la ganancia de calor solar para compensar cualquier carga de calefacción existente. Además, otro tipo de recubrimiento son los recubrimientos antirreflectantes, que aumentan la transmitancia visible hasta un 15% en ventanas de doble acristalamiento. A continuación, en la Tabla 2.5 se muestra un resumen de datos técnicos presentados sobre vidrios fabricados con recubrimientos antirreflectantes (IQ glass) (Aguilar-Santana et al., 2020).

Tabla 2.5 Ventanas antirreflejos, comparación de propiedades ópticas y térmicas.

Fuente: (Aguilar-Santana et al., 2020).

Nombre	Tecnología	Valor U (W/m ²)	Valor G (SHGC)	Transmitancia visible (Tv)
Cristal único antirreflejo IQ	Vidrio S/G antirreflectante con bajo contenido de hierro	5.8	0.9	0.98
Vidrio doble antirreflejo IQ	DG/vidrio antirreflectante con bajo contenido de hierro/cavidad rellena de Ar/recubrimiento de baja emisividad	1.2	0.64	0.85
Vidrio doble antirreflejo IQ	DG/vidrio antirreflectante con bajo contenido de hierro/cavidad rellena de Ar/control solar	1.2	0.48	0.85

Para el relleno de huecos entre los paneles de acristalamiento, existe una amplia gama de gases utilizados en esta industria. Los gases nobles son los más utilizados en las empresas de ventanas debido a su resistencia a la transmisión de calor. El gas Xenón es el más eficiente, pero al ser un gas escaso, la fabricación de ventanas con este gas hace que sea más cara. Mientras que el gas Criptón tiene un uso medio debido a su rendimiento, pero es un poco más alto su precio en comparación con las soluciones con el argón (Aguilar-Santana et al., 2020). En la Tabla 2.6 y la Figura 2.15 se puede encontrar un resumen de estas tecnologías.

Tabla 2.6 Comparación de acristalamientos triples para rellenos de cavidades con gases nobles. Fuente: (Aguilar-Santana et al., 2020).

Producto	Valor U (W/m ²)	Transmisión visible (Tv)	Valor G (SHGC)
4/12/4/12/4 aire	0.9	0.58	0.34

6/12/4/12/4 Ar 90%	0.7	0.73	0.61
6/12/4/12/4 Kr 90%	0.6	0.73	0.61
4/12/4/12/4 Xe 90%	0.53	0.58	0.34

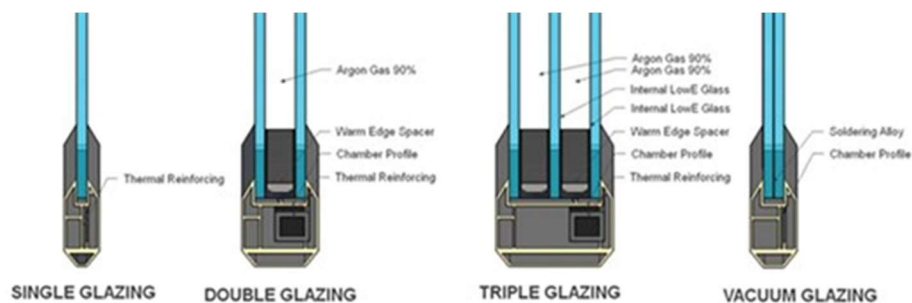


Figura 2.15 Componente de acristalamiento para ventanas. Fuente: (Aguilar-Santana et al., 2020).

2.1.6.3. Características fundamentales de elementos opacos.

Los muros y cubiertas deben limitar la conducción térmica del exterior y, en climas cálidos-húmedos, reflejar la radiación incidente. Aumentar los aleros exteriores y la selección de aislamientos adecuados reduce las cargas térmicas (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2018). A continuación, se muestra la Tabla 2.7 de materiales con su respectivo valor de conductividad térmica, según la NEC.

Tabla 2.7 Valores de conductividad térmica. Fuente: NEC - SH - EE.

	MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (λ) W/(Mk)
ESTRUCTURA	ACERO	47 - 58
	MADERA LAMINADA	0.047
	HORMIGÓN ARMADO	1.40
	HORMIGÓN PRETENSADO	1.40
ENVOLTURAS DE ALTO RENDIMIENTO (PAREDES Y CIELO RASO)	LADRILLO	0.80
	PANELES DE HORMIGÓN PREFABRICADO	1.40
	PIEDRA	0.55
	PANELES FIBROCEMENTO	0.93
	PANELES YESO-CARTÓN	0.29 - 0.58
	VIDRIO	0.81
ENVOLTURAS DE ALTO RENDIMIENTO (TECHO)	CIELO RASO YESO-CARTÓN	0.29 - 0.58
	CIELO RASO ENDUELADO DE MADERA	0.209
	CUBIERTA CON MATERIAL DE TIERRA	0.76
PISOS	HORMIGÓN PULIDO	1.7
	PORCELANATO	0.81
AISLANTES	FIBRA DE VIDRIO	0.035
	LANA MINERAL	0.036 - 0.040

	MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (λ) W/(Mk)
	ESPUMA DE POLIURETANO	0.029

2.1.6.4. Estrategias de implantación.

Son estrategia que sirven para el diseñador para el diseño arquitectónico del proyecto, la implantación en el sitio define las condiciones de cielo y de sombras circundantes, buscando corredores de luz hacia fachadas menos expuestas al oeste. La implantación debe prever rutas de mantenimiento y se debe de asegurar que el desempeño simulado se sostenga en el uso de la edificación (U.S. Green Building Council, 2020).

- **Orientación de la edificación.** En el contexto del caso de estudio presentado, donde el proyecto será ubicado en la costa ecuatoriana, se debe priorizar que la orientación de la fachada de ingreso sea orientada de norte y sur, esto reduce la carga solar directa y facilita el control con aleros. Además, esta orientación permitirá maximizar las ganancias solares, minimizando el posible consumo energético por iluminación artificial y sistemas de aire acondicionado. A continuación, la Figura 2.16 muestra la trayectoria del sol en el Ecuador, y la Figura 2.17 se observa el comportamiento solar y térmico tanto en invierno y en verano.

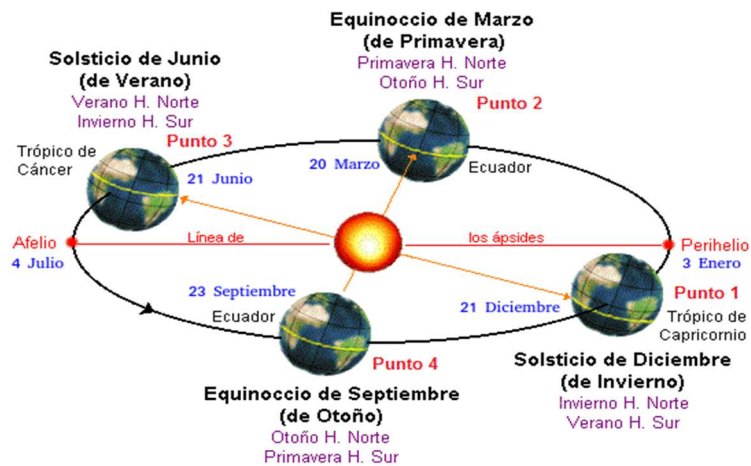


Figura 2.16 Trayectoria del Sol en Ecuador. Fuente: (Nacional, 2019).

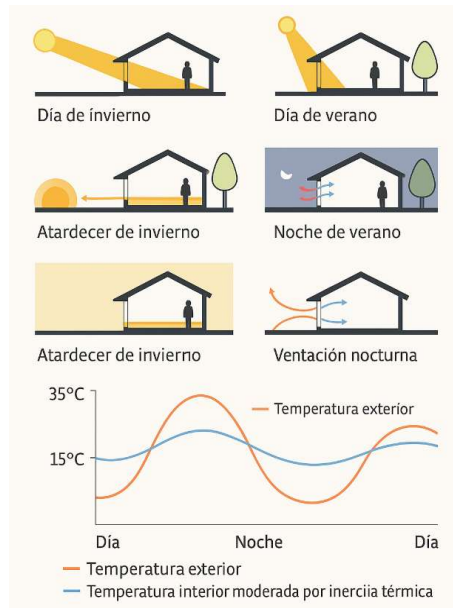


Figura 2.17 Comportamiento solar y térmico en invierno y verano.

- **Forma de la distribución arquitectónica.** La distribución interna que sea elegida por el diseñador del proyecto determina la “profundidad de luz” efectiva que ingresa a la estructura. Con el fin de reducir la dependencia de iluminación artificial en zonas centrales o pasillos de circulación. Para un edificio de oficinas, es recomendable que las salas de juntas sean ubicadas cerca de fachadas o patios. La arquitectura actualmente se ha desarrollado en busca de estrategias medioambientales, constructivas y de implantación, que puede definir como arquitectura pasiva o Passivhaus. Este es un término usado para designar un estándar de diseño que busca construir edificio de consumo casi nulo (Valarezo Morocho, 2018).

2.1.7. Energy Use Intensity.

El Energy Use Intensity (EUI) es una métrica que mide la eficiencia energética de un edificio. Este factor es un indicador clave del rendimiento energético de un edificio. Además, puede utilizarse para expresar el consumo energético medido de un edificio existente, comparar el rendimiento energético entre edificios de tipo y ubicación similares y proyectará la cantidad de energía que consumirá un edificio en el futuro (BrainBox AI, 2024). La Ecuación 2.1 es utilizada para calcular el EUI.

Ecuación 2.1

$$IUE [kBTU/pie^2/year] = \frac{\text{Consumo anual de energía} \left[\frac{kBTU}{\text{año}} \right]}{\text{Área} [pie^2]}$$

2.2 Marco metodológico.

2.2.1. Flujograma del proceso de trabajo.

Esta investigación adopta un enfoque cuantitativo con un diseño descriptivo-comparativo, basado en simulaciones mediante herramientas BIM, con el objetivo de evaluar el comportamiento lumínico y energético de un edificio de oficinas y determinar la variante de diseño más eficiente desde el punto de vista técnico y económico.

Los pasos iterativos a emplear en esta metodología se esquematizan en la Figura 2.18. Este flujograma se alimentará de la información técnica descrita en la Sección 2.1 del presente trabajo.

Explicando cada sección de la Figura 2.18 podemos mencionar:

Cada simulación realizada retroalimenta el modelo hasta alcanzar un desempeño satisfactorio en términos de iluminación natural, confort visual y consumo energético.

Para el desarrollo del estudio se recopila la información preliminar del edificio. Esto incluye el levantamiento arquitectónico en el software Revit, con datos detallados de la distribución del edificio, dimensiones interiores, ubicación y tamaño de ventanas y puertas, así como también la altura de entresijos y geometría general del edificio como se puede observar en la Figura 2.19. Se procede también a la caracterización de los materiales que conforman la envolvente, incorporando sus propiedades térmicas en base a la normativa vigente.

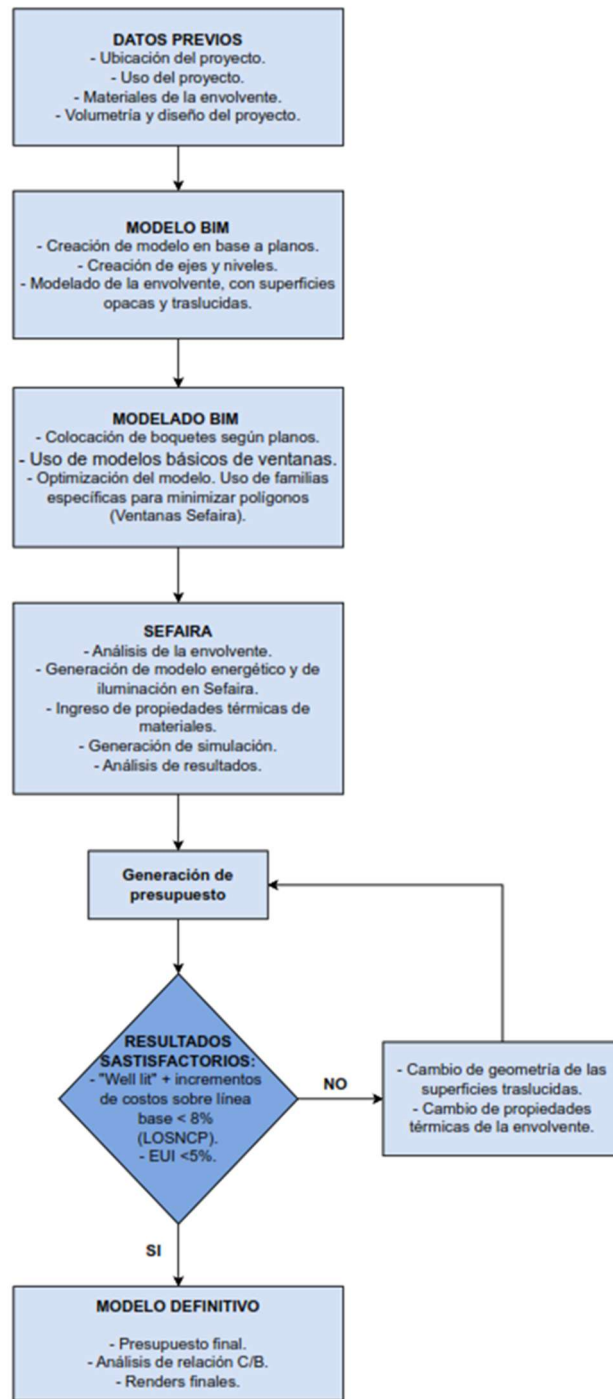


Figura 2.18 Flujograma de trabajo de la metodología aplicada.

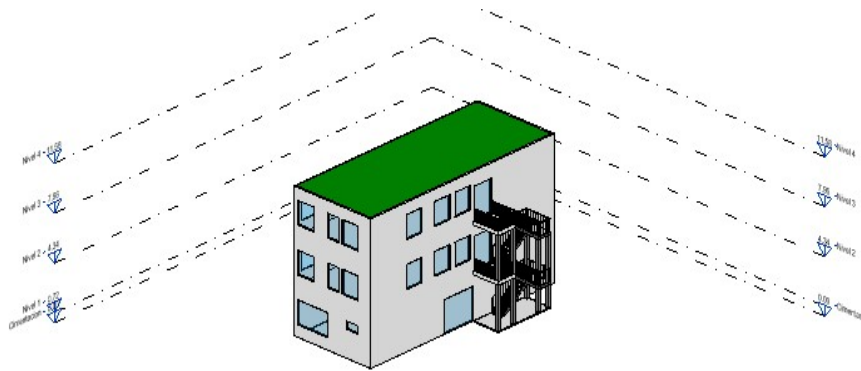


Figura 2.19 Modelado del edificio en Revit.

Posteriormente, el modelo se exporta al software de simulación Sefaira para llevar a cabo el análisis de iluminación natural y energético como se esquematiza en la Figura 2.20 y Figura 2.21. Se calculan los indicadores sDA, ASE, EUI y DGP, y se interpretan los resultados, si los valores obtenidos no cumplen con los niveles deseados, se realizan ajustes en el modelo, modificando variables como el tamaño, posición de ventanas y propiedades de los vidrios. Este ciclo de simulación es repetido hasta obtener resultados satisfactorios.



Figura 2.20 Ingreso de información en Sefaira.

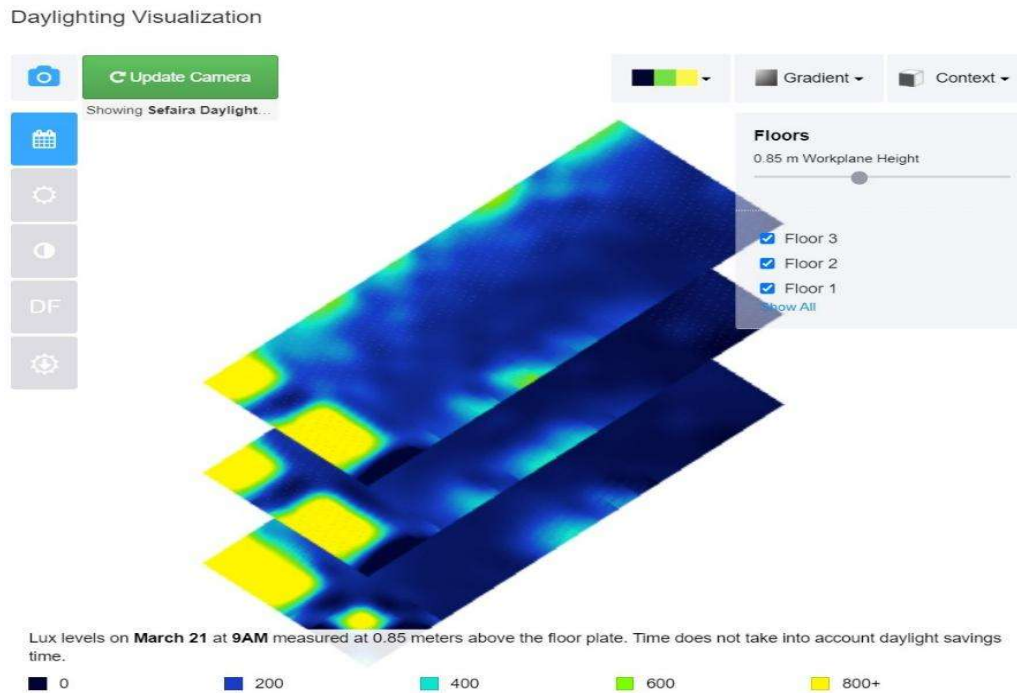


Figura 2.21 Simulación del modelo del edificio en Sefaira.

Por último, con los resultados óptimos, se consolida las medidas de diseño que permiten mejorar la iluminación natural sin comprometer el desempeño energético del edificio. Además, sobre esta base se lleva a cabo la evaluación técnica-económica, que incluye la estimación de costos de implementación de cada alternativa y su comparación con los beneficios energéticos proyectados. De este modo, la metodología propuesta integra el análisis arquitectónico, desempeño lumínico y la valoración económica.

2.2.2. Modelo base del proyecto.

Para esta parte, se realiza un levantamiento de la información proporcionada del edificio de oficinas de tres plantas, donde se establecen parámetros para el comportamiento lumínico y energético del edificio considerando variables como:

- Modelo arquitectónico del edificio generado mediante herramientas BIM (REVIT) con información detallada de la distribución de espacios y funcional del ambiente, ubicación, tamaño y orientación de puertas y ventanas, dimensiones de los espacios interiores, y altura de entrepisos y estructura general.
- Caracterización y descripción de los materiales de construcción que conforman la envolvente del edificio como son: paredes, pisos, cubierta y ventanas exteriores. Cada uno con sus propiedades para el correcto análisis lumínico y energético tales

como la transmitancia térmica (U-value), coeficiente de ganancia solar (SHGC) y transmitancia de luz visible (VLT). Estos parámetros nos ayudarán en la simulación técnica y obtención de valores claves de Spatial Daylight Autonomy (SDA), Annual Sunlight Exposure (ASE) y Energy Use Intensity (EUI).

- Análisis de las condiciones medioambientales donde se localiza el edificio como coordenada geográfica, posición y trayectoria del sol, viento y precipitaciones, para establecer los escenarios de simulación y analizar la respuesta del edificio.

2.2.2.1. Línea base arquitectónica del proyecto.

Se parte de un diseño arquitectónico ya elaborado como se observa en la **Figura 2.22** y Figura 2.23. Se conoce que dicho diseño no ha sido sometido a procesos de simulación de iluminación natural y energética, por lo cual, de forma inicial se modela el edificio en Revit, convirtiéndose en la “línea base” arquitectónica del mismo. Los datos de propiedades físicas y térmicas de la envolvente serán ingresados en este modelo inicial. Así mismo los resultados de la simulación efectuada, en términos lumínicos y de energía, se convertirán en el punto de partida para las comparaciones con las versiones siguientes del modelo (iteraciones).

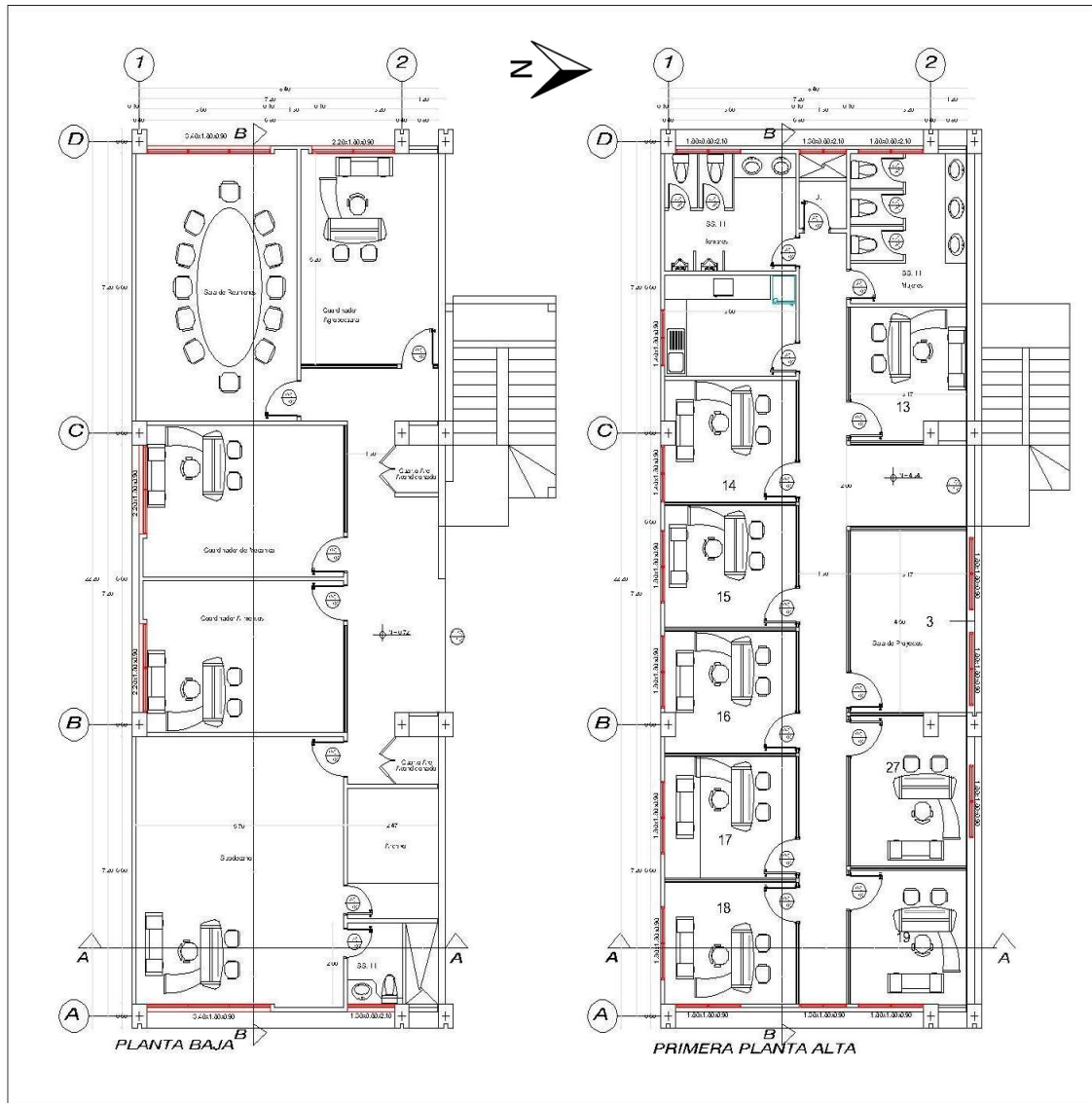


Figura 2.22 Planos arquitectónicos base de la planta baja y primera planta.

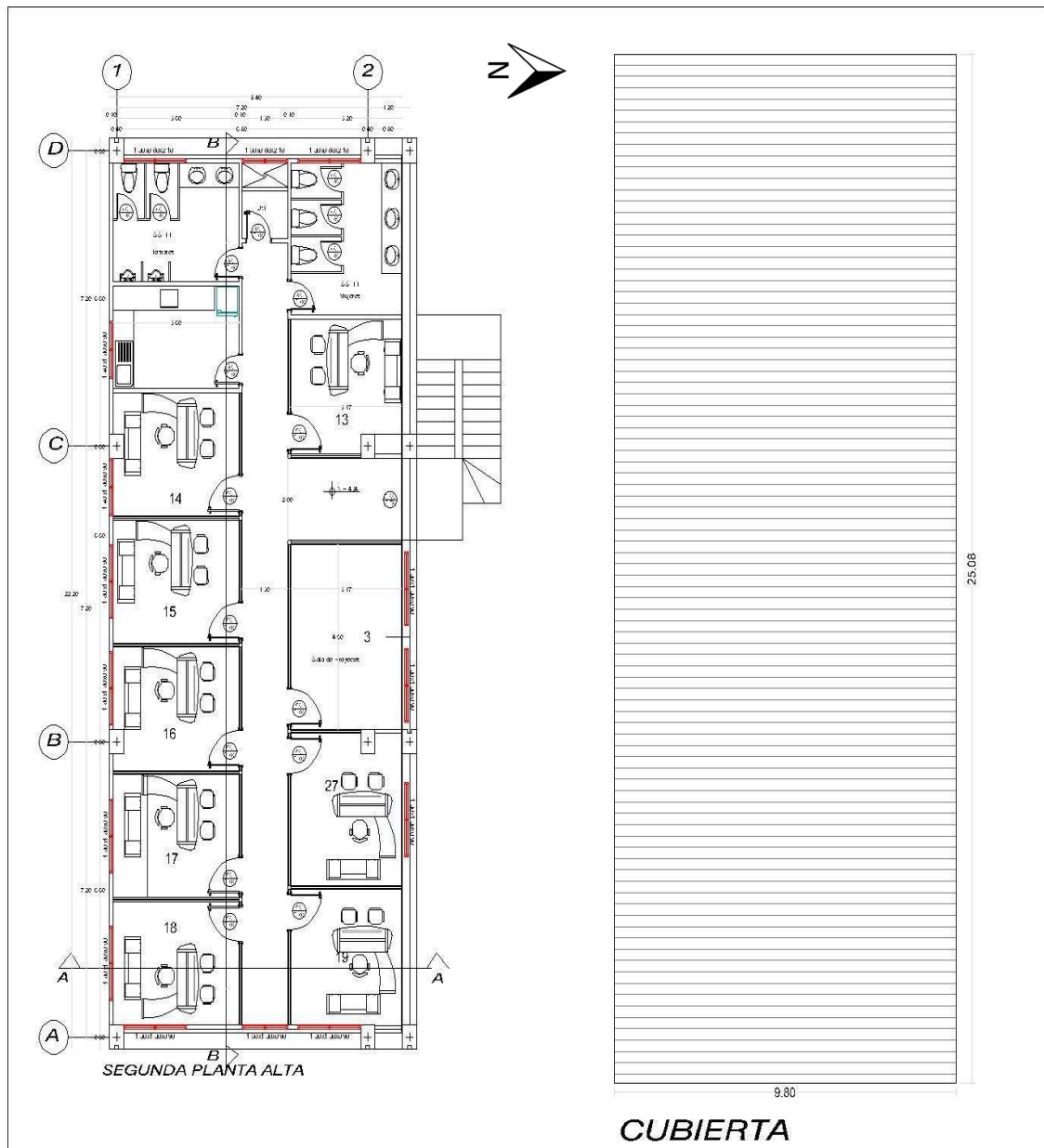


Figura 2.23 Planos arquitectónicos base de la segunda planta y cubierta.

La edificación se desarrolla en tres plantas con una altura total de 10.98 m y es de tipo administrativo diseñado para oficinas de trabajo individual y colaborativo, reuniones y atención a usuarios.

- **Planta baja:** cuenta con una sala de reuniones grande, una oficina para el subdecano, los cuartos de aire acondicionado, un baño y tres oficinas para los diferentes coordinadores. Tiene un área de 184.04 m², con una altura de entrepiso de 3.62 m.
- **Primera planta:** cuenta con una distribución modular de ocho oficinas privadas, una pequeña sala de reuniones, un área destinada para la cafetería y los

respectivos baños tanto para hombre como para mujeres. Al igual que la planta baja tiene un área de 184.04 m², con una altura de entrepiso de 3.62 m.

- **Segunda planta:** en esta planta al igual que la primera planta, existen ocho oficinas privadas, sala de reuniones, baños para hombres y mujeres y una cafetería. Así mismo, tiene un área de 184.04 m², con una altura de entrepiso de 3.62 m.

2.2.2.2. Modelado en Revit.

Con ayuda del software de Revit, se realiza el modelado en base a los planos arquitectónicos del edificio proporcionados, respetando la geometría, dimensiones, espacios y configuraciones de puertas y ventanas como se observan en la Figura 2.24 y Figura 2.25.

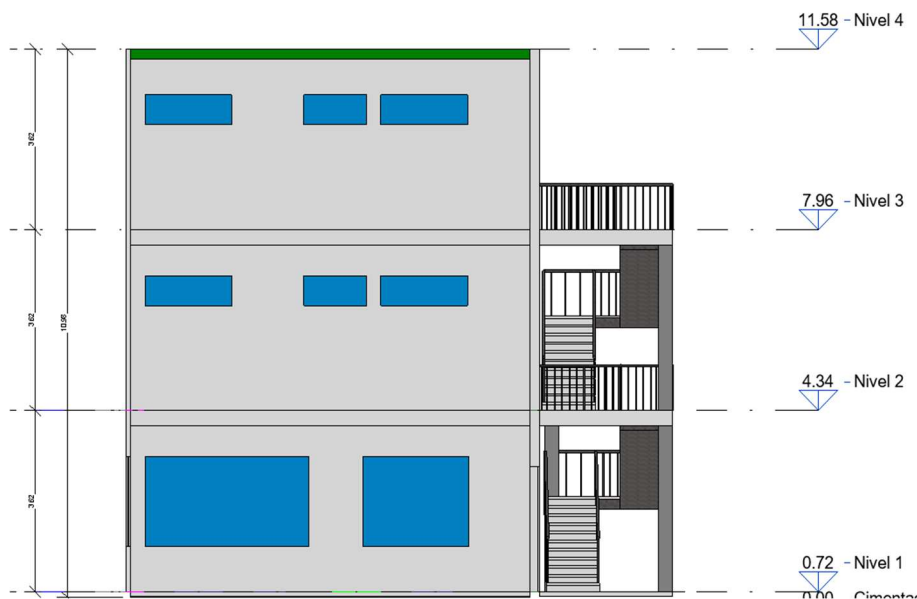


Figura 2.24 Fachada Este.

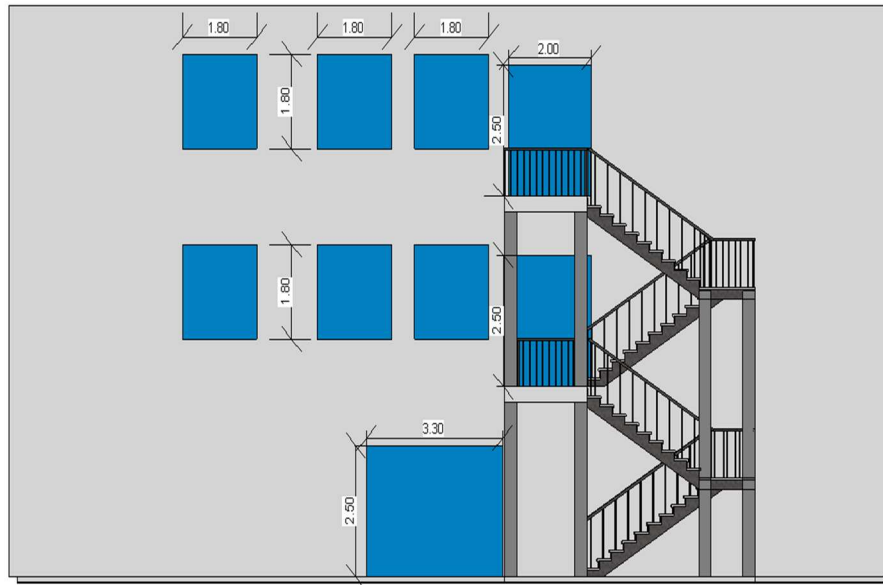


Figura 2.25 Fachada Norte.

2.2.3. Simulaciones en Sefaira.

Sefaira es un software con avanzadas herramientas de simulación energética que permite evaluar el consumo de energía, la eficiencia sostenible y el confort térmico de los edificios en tiempo real. Este programa permite realizar simulaciones dinámicas de energía y luz natural basadas en los principios de diseño, facilitando la toma de decisiones durante el proceso proyectual (Trimble Inc., 2023).

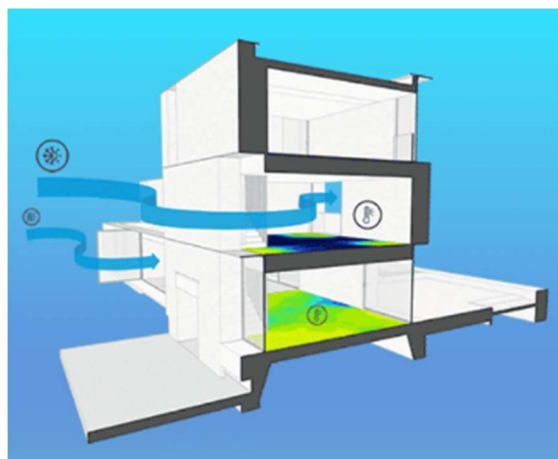


Figura 2.26 Diseño esquemático de un edificio en Sefaira. Fuente: (Trimble Inc., 2023).

Dentro de las métricas de análisis generadas por Sefaira, se consideran los siguientes parámetros de evaluación explicados en la Tabla 2.8 y Figura 2.27:

Tabla 2.8 Métricas de análisis generadas por Sefaira. Fuente: (Trimble Inc., 2023).

USO DE ENERGÍA Y EMISIONES DE CARBONO	Comprende el impacto del diseño en el costo de la energía y las emisiones de CO2 y al mismo tiempo mide el impacto potencial de un sistema renovable.
CONFORT TÉRMICO	Permite analizar como el sombreado mejora las temperaturas operativas y medir el impacto de las aperturas de ventanas en la temperatura del aire.
LUZ	Sefaira ofrece diferentes métricas, entre ellas el sDA y ASE, que cuantifican el porcentaje del área útil del edificio que recibe luz natural suficiente durante el horario laboral.
CLIMATIZACIÓN	Evalúa el impacto de las características arquitectónicas en los tamaños de HVAC y genera tamaños preliminares para mejorar la estimación de costos.

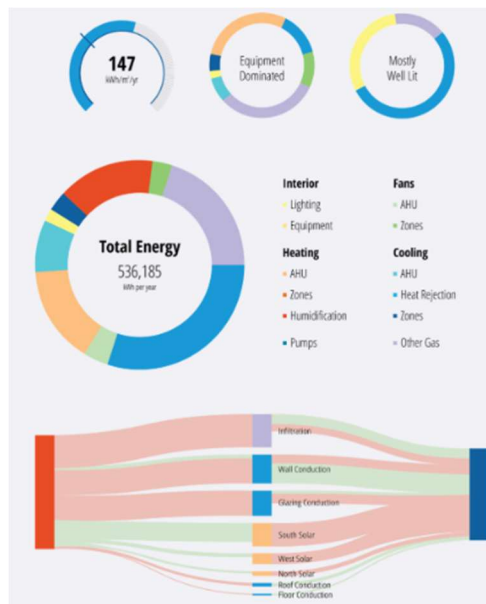


Figura 2.27 Métricas de análisis generadas por Sefaira. Fuente: (Trimble Inc., 2023).

Para el proceso de las simulaciones lumínicas mediante la herramienta Sefaira se parte de una línea base para medir parámetros como la iluminancia en las áreas de trabajo, distribución de luz natural en distintas horas del día, entre otros como se observa en la Figura 2.28; ante las diferentes modificaciones que se realice en el modelo arquitectónico o en las ventanas y/o mamparas. A continuación, se muestra la Tabla 2.9 con los parámetros necesarios que se necesitan para la simulación en el programa Sefaira.

Tabla 2.9 Parámetros necesarios para la simulación en Sefaira.

No.	Lamina	Código	Envolvente /superficies opacas			Datos operativos			
			Uparedes W/(m2*K)	Upiso W/(m2*K)	Utecho W/(m2*K)	Infiltración m3/m2/h	Ventilación L/S/persona	Equipos W/m2	Iluminación n W/m2

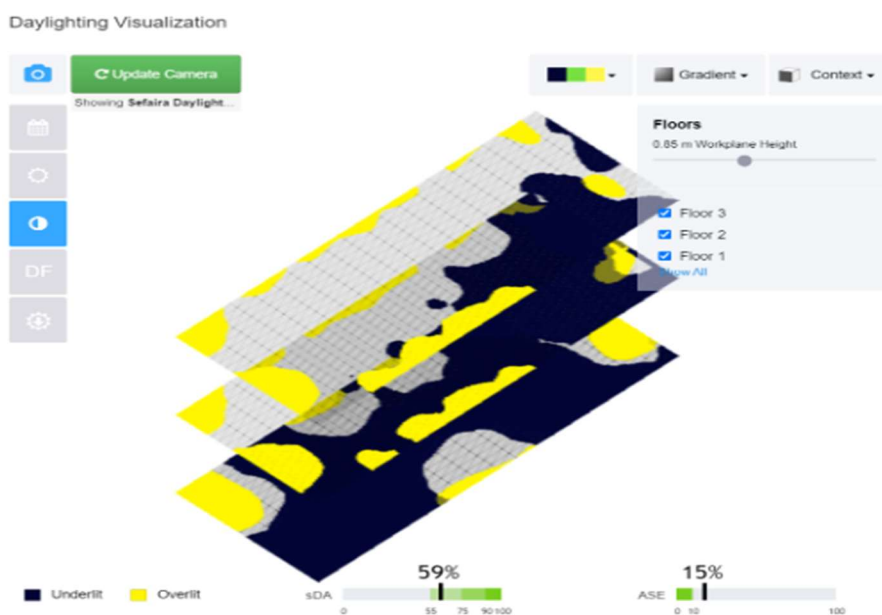


Figura 2.28 Ejemplo de resultados de sDA y ASE.

Con ayuda de la normativa NEC-HS-EE en la Tabla 2.10, se colocan las propiedades de los materiales en las paredes, losas y techo, lo cual incluye valores de conductividad, U-value y espesores. Estas propiedades serán posteriormente sobre escritas en Sefaira.

Tabla 2.10 Propiedades de paquete constructivos. Fuente: NEC-HS-EE.

Elemento constructivo	Paquete constructivo	Componentes	Espesor (cm)	Densidad (kg/m ³)	Conductividad (W/mK)	Factor-U (W/m ² K)
Paredes	Ladrillo sin revestimientos	Ladrillo	15	1920	0,72	2,79
	Ladrillo con revestimientos	Enlucido exterior	1	1300	0,5	2,55
		Ladrillo	15	1920	0,72	
		Enlucido interior	1	1760	0,72	
	Bloque de concreto	Enlucido exterior	1	1300	0,5	2,35
		Bloque de concreto	15	1040	0,62	
	(15 cm)	Enlucido interior	1	1760	0,72	1,98
	Bloque de concreto (20 cm)	Enlucido exterior	1	1300	0,5	
		Bloque de concreto	20	1040	0,62	

Elemento constructivo	Paquete constructivo	Componentes	Espesor (cm)	Densidad (kg/m ³)	Conductividad (W/mK)	Factor-U (W/m ² K)
		Enlucido interior	1	1760	0,72	
	Madera (paneles OSB)	Panel OSB	1,27	650	0,105	3,69
	Caña no revestida	Caña guadua	0,6	714	0,3	5,46
	Caña revestida	Enlucido exterior	1	1300	0,5	4,61
		Caña guadua	1	714	0,3	
		Enlucido interior	1	1760	0,72	
	Adobe	Adobe	30	1440	0,76	2,26
	Hormigón	Hormigón	15	2000	1,13	3,54
	Panel metálico	Lámina metálica	0,04	7800	50	1,8
		Poliuretano	10	30	0,04	
		Lámina metálica	0,04	7800	50	
	Panel de gypsum aislado	Gypsum	2	900	0,3	1,45
		Poliuretano	10	30	0,04	
		Gypsum	2	900	0,3	
	Panel OSB aislado	OSB	0,6	650	0,1	1,48
Poliuretano		10	30	0,04		
OSB		0,6	650	0,1		
Panel de triplex aislado	Triplex	0,6	525	0,12	1,52	
	Poliuretano	10	30	0,04		
	Triplex	0,6	525	0,12		
Techos	Losa Hormigón	Hormigón armado	10	2400	2,3	4,7
	Teja	Teja de arcilla	2,5	2000	1	2,9
	Zinc	Zinc	0,6	7200	110	3,5
	Paja	Paja	2	270	0,09	2,8
	Fibrocemento	Panel de fibrocemento	0,6	1120	1	3,1
Piso	Hormigón	Piedra	10	2880	3,49	3,2
		Polietileno	0,04	920	0,33	
		Hormigón	5	1800	1,35	
	Tierra	Tierra apisonada	15	1885	1,1	3,3
	Madera	Madera dura	1,5	1700	0,18	3,4

Para las puertas y ventanas se utiliza familias ya creadas con sus propiedades analíticas ya ingresadas Figura 2.30, en el caso de la ventana y puertas es un modelo proporcionado por la página de Sefaira. Cabe recalcar que el modelo arquitectónico esta correctamente georreferenciado Figura 2.29.

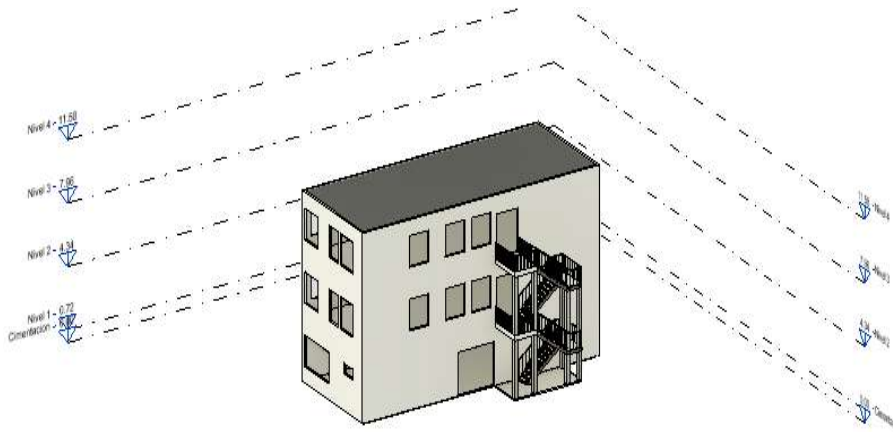


Figura 2.29 Edificio modelado en el software Revit.

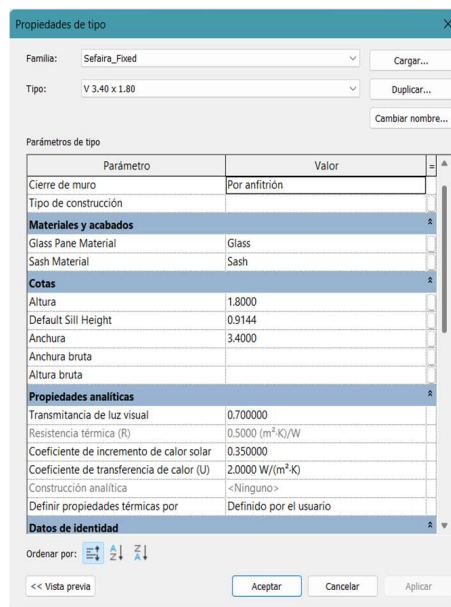


Figura 2.30 Propiedades base del modelo de ventana y puerta de Sefaira.

El trabajo tiene como consigna principal mejorar la iluminación natural al interior de la edificación. No obstante, las variaciones en superficies translúcidas y opacas pueden generar aumentos del consumo energético de la edificación, expresadas en el valor de EUI que otorga la simulación. Se tendrá especial cuidado en acotar dichos aumentos hasta un máximo permisible de 5%. En caso de superarse dicho umbral, se incluirán ediciones de materialidad o forma a la edificación, con la finalidad de concretar la calidad de iluminación estimada en la simulación, sin afectar el desempeño energético de la edificación.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presenta el modelo tridimensional desarrollado en el programa Revit, además, los parámetros necesarios para la ejecución de las simulaciones de análisis energético e iluminación natural mediante el software Sefaira. Para este proceso se han considerado como referencia la normativa ASHRAE para la línea base y la NEC – Eficiencia Energética para las simulaciones, así como especificaciones técnicas de proveedores de vidrio nacionales, con el fin de garantizar la obtención de datos confiables, la correcta simulación y la validación del desempeño térmico y lumínico del edificio.

3.1 Revit, Descripción de Modelos de Línea Base e Iterativos.

El modelo generado en Revit representa un edificio de tres plantas destinado para uso de oficinas. La planta baja alberga un total de 4 oficinas y 1 sala de reuniones, la primera y segunda planta alta, constan de 8 oficinas y 1 sala de proyectos, obteniendo un área total de construcción 522.90 m² implantada en un terreno de 1009.70 m² Figura 3.1.

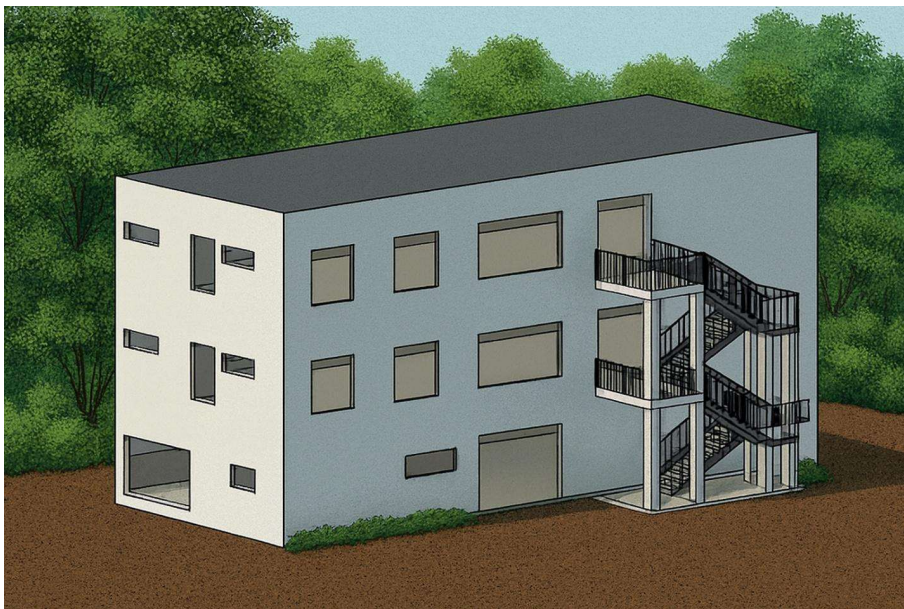


Figura 3.1 Modelo renderizado de edificio de oficinas.

En el presente documento nos enfocamos en el análisis de variables relacionadas con la iluminación natural, en primera instancia se realizaron diferentes modelos con diferentes geometrías en las dimensiones de las superficies traslúcidas, permitiendo

evaluar el impacto que poseen estas modificaciones en el desempeño lumínico del edificio. Las variantes analizadas se resumen en la Tabla 3.1, tomando como referencia el parámetro Window/Wall Ratio (WWR) que refleja la geometría y distribución arquitectónica, mostrada en la Sección 2.2.2 del presente documento. En la sección de PLANOS Y ANEXOS de este trabajo se muestran las láminas correspondientes a la información gráfica y numérica de cada iteración. En ellas se aprecia con detalle la configuración de superficies traslúcidas propuestas para la búsqueda de la opción más conveniente para la iluminación natural del proyecto. La Figura 3.2 brinda una referencia de una de las láminas mencionadas.

Tabla 3.1 Relación ventanas-paredes de las variantes analizadas.

No.	Lámina	Relación Ventanas/Paredes				MODIFICACIONES REALIZADAS
		WWR Norte	WWR Sur	WWR Este	WWR Oeste	
LINEA BASE	1	0,16	0,19	0,26	0,17	Línea base – ASHRAE 90.1-2019
Iteración #1	2	0,16	0,19	0,26	0,17	Línea base – Normativa NEC-HS-EE – vidrio claro 6 mm
Iteración #2	3	0,15	0,17	0,24	0,16	Ventanas de línea base modificadas a dos boquetes – NEC-HS-EE – vidrio claro 6 mm
Iteración #3	4	0,20	0,22	0,17	0,17	Aumento de superficies traslúcidas en nuevas áreas no contempladas de la línea base – NEC-HS-EE – vidrio claro 6 mm
Iteración #4	5	0,20	0,22	0,17	0,17	Reducción de altura de antepecho partiendo de la iteración #3 – NEC-HS-EE – vidrio claro 6 mm
Iteración #5	6	0,24	0,25	0,17	0,17	Aumento a 25% de WWR sentido Norte-Sur partiendo de la iteración #3 – NEC-HS-EE – vidrio claro 6 mm
Iteración #6	7	0,27	0,33	0,17	0,17	Aumento a 30% de WWR sentido Norte-Sur partiendo de la iteración #3 – NEC-HS-EE – vidrio claro 6 mm
Iteración #7	8	0,34	0,36	0,17	0,17	Aumento a 35% de WWR sentido Norte-Sur partiendo de la iteración #3 – NEC-HS-EE – vidrio claro 6 mm
Iteración #8	9	0,12	0,15	0,23	0,13	Reducción de 5% de WWR sentido Norte-Sur partiendo de la iteración #1 – NEC-HS-EE – vidrio claro 6 mm
Iteración #9	10	0,08	0,10	0,21	0,09	Reducción de 10% de WWR sentido Norte-Sur partiendo de la iteración #1 – NEC-HS-EE – vidrio claro 6 mm
Iteración #10	11	0,04	0,06	0,17	0,07	Reducción de 15% de WWR sentido Norte-Sur partiendo de la iteración #1 – normativa local – vidrio claro 6 mm
Iteración #11	12	0,08	0,10	0,21	0,09	Partiendo de la iteración #9 – normativa local – vidrio Bronce tintado 4 mm
Iteración #12	13	0,08	0,10	0,21	0,09	Partiendo de la iteración #9 – NEC-HS-EE – vidrio Gris tintado 3 mm
Iteración #13	14	0,08	0,10	0,21	0,09	Partiendo de la iteración #9 – NEC-HS-EE – vidrio Dark Gray tintado 4 mm
Iteración #14	15	0,08	0,10	0,21	0,09	Partiendo de la iteración #9 – NEC-HS-EE – vidrio Verde Automotriz tintado 4 mm

No.	Lámina	Relación Ventanas/Paredes				MODIFICACIONES REALIZADAS
		WWR Norte	WWR Sur	WWR Este	WWR Oeste	
Iteración #15	16	0,08	0,10	0,21	0,09	Partiendo de la iteración #9 – NEC-HS-EE – vidrio Ford Blue tintado 4 mm
Iteración #16	17	0,08	0,10	0,21	0,09	Partiendo de la iteración #9 – NEC-HS-EE – vidrio Dark Blue tintado 4 mm
Iteración #17	18	0,08	0,10	0,21	0,09	Partiendo de la iteración #9 – NEC-HS-EE – vidrio Verde Automotriz tintado 6 mm
Iteración #18	19	0,08	0,10	0,21	0,09	Partiendo de la iteración #9, se reduce el antepecho de ventanas y reducción de dimensiones de la ventana de bar en el piso alto 1 y 2 – NEC-HS-EE – vidrio Verde Automotriz tintado 6 mm
Iteración #19	20	0,08	0,10	0,17	0,09	Partiendo de la iteración #18, se agregan elementos “Overhang” y se reducen dimensiones de ventanas– NEC-HS-EE – vidrio Verde Automotriz tintado 6 mm
Iteración #20	21	0,08	0,09	0,17	0,09	Partiendo de la iteración #19– NEC-HS-EE – vidrio recámara 2 paneles de 6mm (Claro+Claro), con cámara de 25 mm separadas por aire
Iteración #21	22	0,08	0,09	0,17	0,09	Partiendo de la iteración #19– NEC-HS-EE – vidrio recámara 2 paneles de 6mm (Tintex+Claro), con cámara de 25 mm separadas por aire
Iteración #22	23	0,08	0,09	0,17	0,09	Partiendo de la iteración #19– NEC-HS-EE – vidrio recámara 2 paneles de 6mm (Azuria+Claro), con cámara de 25 mm separadas por aire
Iteración #23	24	0,08	0,09	0,17	0,09	Partiendo de la iteración #19– NEC-HS-EE – vidrio recámara Solarban (70) 2 paneles de 6mm (Claro+Claro), con cámara de 25 mm separadas por aire

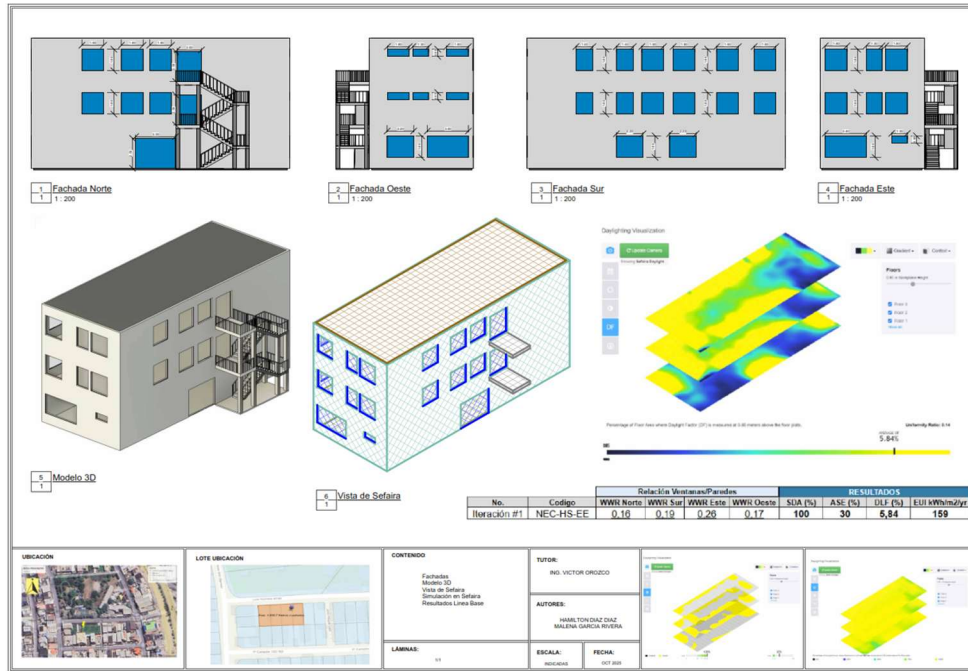


Figura 3.2 Lámina con información gráfica y numérica de las simulaciones.

3.2 Sefaira, Datos de Ingreso para Línea Base.

Se determinó que se utilizará el software Sefaira como herramienta para el análisis energético y lumínico, debido a su integración directa con Revit mediante un plugin especializado, lo que permite una mejor comunicación entre los modelos tridimensionales creados. Con el fin de establecer los objetivos de las métricas a alcanzar, se realizó la primera simulación con los planos establecidos en la Sección 2.2.2.1, aplicando los parámetros por defecto utilizando la normativa ASHRAE.

3.2.1. Parámetros de ingreso de Línea base.

Para evaluar el comportamiento del edificio frente a la iluminación natural, se parte de los parámetros establecidos en la línea base técnica. Este análisis considera:

- **Valores de envolvente térmica**, incluyendo coeficientes de transferencia de calor (U) en paredes, pisos y techos. Se detallan los datos en la Tabla 3.2.
- **Datos operativos del edificio**, como tasas de infiltración, ventilación por persona, densidad de equipos y carga de iluminación como se detalla en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Parámetros de superficies opacas y operativos para la simulación de línea base en Sefaira.

No.	Lámina	Código	Envolvente /superficies opacas			Datos operativos			
			Uparedes W/(m2*K)	Upiso W/(m2*K)	Utecho W/(m2*K)	Infiltración m3/m2/h	Ventilación L/S/persona	Equipos W/m2	Iluminación W/m2
LINEA BASE	1	ASHRAE 2019	0,7	1,82	0,26	7,2	15	25	10

- **Relación ventana-pared (WWR) en cada orientación**, como indicador del acceso potencial de luz natural detallado en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Relación Ventanas/Paredes de modelo BIM.

No.	Lámina	Código	Relación Ventanas/Paredes			
			WWR Norte	WWR Sur	WWR Este	WWR Oeste
LINEA BASE	1	ASHRAE 2019	0,16	0,19	0,26	0,17

- **Características de superficies traslúcidas**, incluyendo transmisión visible (VLT), coeficiente de ganancia solar (SHGC) y transmitancia térmica de ventanas detallado en la Tabla 3.4. Para los valores ingresados sobre la envolvente en las superficies traslúcidas, se tomaron los datos por defecto establecidos en Sefaira, con base a la ASHRAE.

Tabla 3.4 Parámetros por defecto establecidos en Sefaira con base a la ASHRAE para superficies traslúcidas en la primera simulación.

No.	Lámina	Código	Envolvente /Superficies traslúcidas		
			VLT	SHGC	Uventanas W/(m2*K)
LINEA BASE	1	ASHRAE 2019	0,42	0,21	3,52

3.3 Procedimiento general de simulación y obtención de resultados. Explicación para la línea base.

Teniendo el modelo BIM del edificio, y definidos los parámetros a instalarse se procede a realizar la simulación con el plugin de Sefaira para Revit. La herramienta Sefaira otorga los siguientes valores claves, organizados en la Tabla 3.5:

- Desempeño energético (EUI)
- Condiciones lumínicas generales del edificio:
 - ✓ Distribución horaria de ocupación con iluminancia ≥ 300 lux.

- ✓ Evaluación de métricas sDA (Spatial Daylight Autonomy) y ASE (Annual Sunlight Exposure), que permiten valorar la calidad y el riesgo de deslumbramiento en espacios interiores.
- ✓ Análisis porcentual de áreas según rangos de factor de luz natural (Daylight Factor).

Tabla 3.5 Valores claves otorgados por la herramienta Sefaira

Parámetro	Significado	Valores recomendados
EUI	Energy Use Intensity – Intensidad de uso de energía.	$\leq 150 kWh/m^2$ Menores a 100 kWh/m^2 altamente eficientes. (Smart Green Guides, Ecuador CEES, 2025)
DLF	Daylight Factor – Porcentaje de luz natural interior.	2% - 5%
ASE	Annual Sunlight Exposure – Porcentaje del área que recibe más de 1000 lux.	$\leq 10\%$ del área total. (LEED V4.0 IEQ C7, 2014)
sDA	Spatial Daylight Autonomy – Porcentaje del área útil que recibe al menos 30 lux.	$\geq 50\%$ para cumplimiento mínimo. (LEED V4.0 IEQ C7, 2014)

En la Figura 3.3, se muestra una vista tridimensional del modelo en Revit, en la cual se visualizan los elementos arquitectónicos que serán considerados en el análisis lumínico. Esta representación permite verificar qué componentes han sido correctamente interpretados por el motor de simulación. Entre los elementos reconocidos y tomados en cuenta por Sefaira se incluyen:

- Pisos
- Techos
- Paredes exteriores
- Ventanas

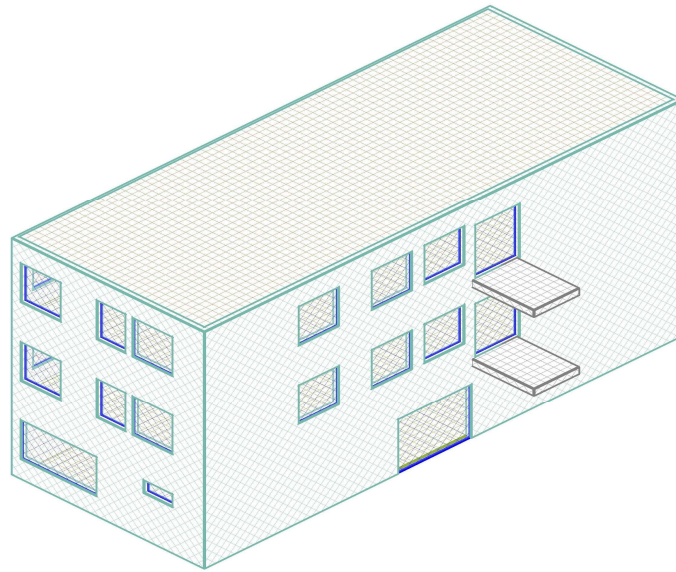


Figura 3.3 Vista en Revit "Sefaira Daylighting Analysis" - Línea Base.

Esta visualización es clave para validar la geometría del modelo creado y asegurar que los elementos relevantes han sido correctamente interpretados por la herramienta antes de ejecutar el análisis.

En la Figura 3.4 se muestran los datos ingresados en el menú "Propiedades" de la herramienta Sefaira, correspondientes a la configuración seleccionada para el análisis de la línea base del modelo. Dichos datos son los presentados en la Tabla 3.6.

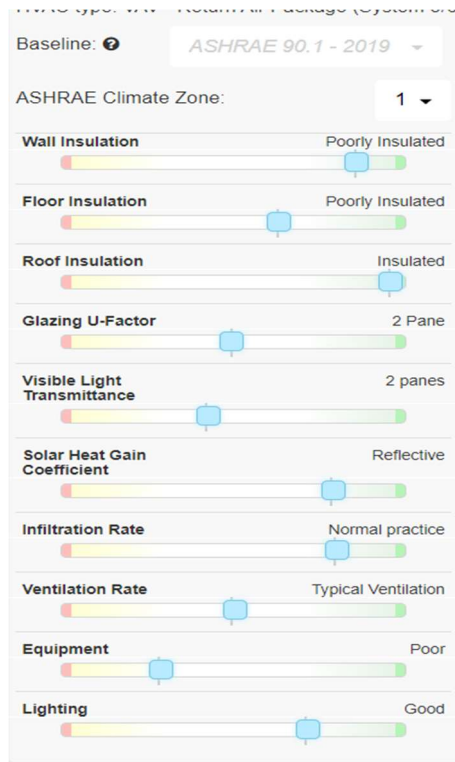


Figura 3.4 Menú "Properties" - Línea Base.

Tabla 3.6 Datos ingresados en el menú de "Properties".

Datos operativos									
Uparedes W/(m ² *K)	Upiso W/(m ² *K)	Utecho W/(m ² *K)	Uventanas W/(m ² *K)	VLТ	SHGC	Infiltración m ³ /m ² /h	Ventilación L/S/persona	Equipos W/m ²	Iluminación W/m ²
0,7	1,82	0,26	3,52	0,42	0,21	7,2	15	25	10

Una vez ingresada en Sefaira la información de los parámetros seleccionados, se procede a realizar la simulación energética y lumínica.

3.4 Análisis de resultados obtenidos de la simulación de la Línea base.

3.4.1. Desempeño energético de la Línea Base.

El análisis energético del edificio, basado en la Línea Base configurada con los valores por defecto de la normativa ASHRAE (Tabla 3.2 y Tabla 3.4), la Figura 3.5 revela que la carga energética está principalmente influenciada por el uso intensivo de equipos de oficina y que hay áreas similares con buena y mala iluminación.



Figura 3.5 Indicadores generales de desempeño energético - Línea Base.

- **Índice de Uso Energético (EUI):** 135 kWh/m²/año
- **Tipología de carga dominante:** Equipos de oficina
- **Condiciones lumínicas:** El edificio está mayormente bien iluminado.

Estos resultados permiten validar que, aunque el consumo energético está dominado por equipos, el diseño arquitectónico favorece el aprovechamiento de la luz natural, lo cual puede contribuir a estrategias de eficiencia energética si se complementa con controles adecuados de iluminación artificial.

Sefaira califica la calidad de iluminación natural como “Well Lit” cuando el desempeño SDA es superior al 75%, valores de SDA entre 75% y 55% se califican como “Mostly Well Lit” y porcentajes SDA inferiores al 55% se consideran representativos de espacios mal iluminados calificados como “Under Lit”. Vale la pena destacar que certificaciones como LEED V4.0 IEQ C7 requieren un SDA mínimo de 50%.

De acuerdo con la simulación, el edificio se clasifica como “Mostly Well Lit” lo cual muestra que se cuenta con suficiente luz natural en sus espacios interiores, reduciendo

la necesidad del uso de la iluminación artificial. Esto mejora el confort visual y contribuye al ahorro energético.

3.4.2. Condiciones lumínicas de la Línea Base.

El modelo base presenta un desempeño lumínico razonable, con buena autonomía de luz diurna y bajo riesgo de deslumbramiento. Sin embargo, hay oportunidades claras de mejora en la distribución de luz natural (DLF) y en la eficiencia energética (EUI). Los resultados obtenidos están dentro del rango mostrados en la Tabla 3.5.

Tabla 3.7 Resultado de la simulación Línea base.

RESULTADOS			
SDA (%)	ASE (%)	DLF (%)	EUI kWh/m2/yr
58	15	1,39	135

3.5 Reportes gráficos obtenidos de la simulación de la Línea Base.

3.5.1. Distribución espacial de ocupación con iluminancia ≥ 300 lux.

En la Figura 3.6, se muestra el porcentaje de horas ocupadas en las que la iluminancia supera los 300 lux, medido a una altura de 0.85 metros sobre el nivel del piso, que corresponde a la altura típica de superficies de trabajo. Además, se puede establecer que:

- En los pisos 1-2 de planta alta muestra que gran parte del área se mantiene entre 25% y 50% de horas con iluminación adecuada.
- En el piso de planta baja se observan varias zonas entre el 0 y 25% de horas con iluminación adecuada
- Las zonas con desempeño superior (75–100%) son puntuales y cercanas a fachadas acristaladas.
- A partir del resultado gráfico de la distribución espacial de la iluminación natural, se observa que en la planta baja existen zonas con niveles de iluminancia inferiores al 25%. Sin embargo, estas áreas corresponden principalmente a bodegas y espacios de archivo, donde la demanda de luz natural no es prioritaria. En contraste, en la planta alta, destinada en mayor medida a oficinas, el área total del piso presenta una iluminación adecuada, alcanzando valores cercanos al 50%

de las horas ocupadas con niveles superiores a 300 lux, lo que garantiza condiciones óptimas de confort visual para los usuarios.

- Los sectores de amarillo son los mejores iluminados (niveles de iluminación iguales o superiores a 300 lux), mientras que las áreas que tienen un color azul son zonas con baja disponibilidad de luz.
- En el perímetro del edificio se observa que existen niveles más altos de iluminación especialmente en las áreas cercanas a las fachadas con mayor superficie acristalada, mientras que en los sectores centrales indican una insuficiencia de luz natural.

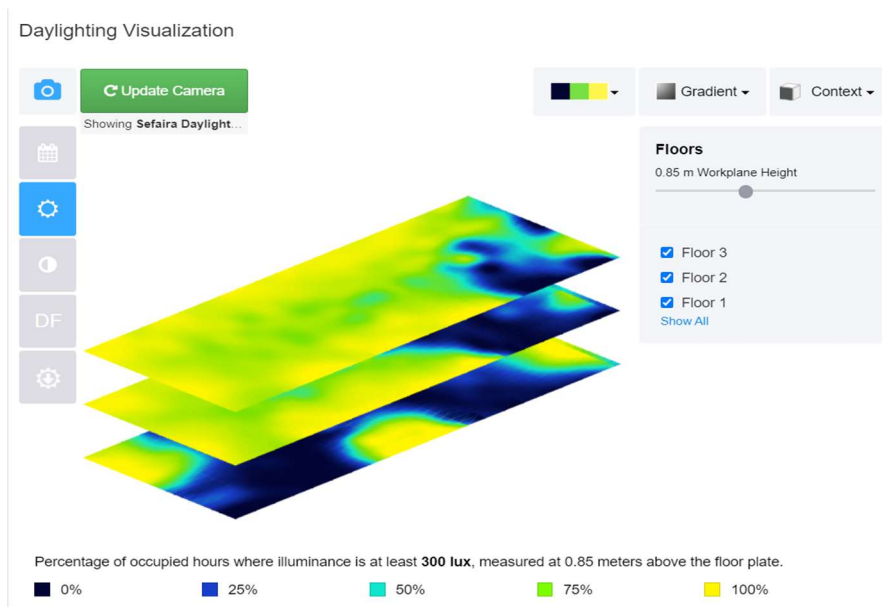


Figura 3.6 Distribución de horas ocupadas con iluminancia \geq 300 lux - Línea Base.

3.5.2. Evaluación de sDA y ASE en el edificio.

En la Figura 3.7 muestra que el 58% del área de los pisos, reciben al menos 300 lux durante el 50% de las horas ocupadas, se recomienda aumentar las áreas traslúcidas de luz natural sin comprometer el confort visual. El ASE bajo indica buen control solar pasivo.

- **sDA: 58%:** Aceptable, pero muy cerca del porcentaje mínimo (\geq 50%) para certificaciones como LEED.
- **ASE: 15%:** Controlado, lo cual es positivo, ya que evita deslumbramiento y sobrecalentamiento.

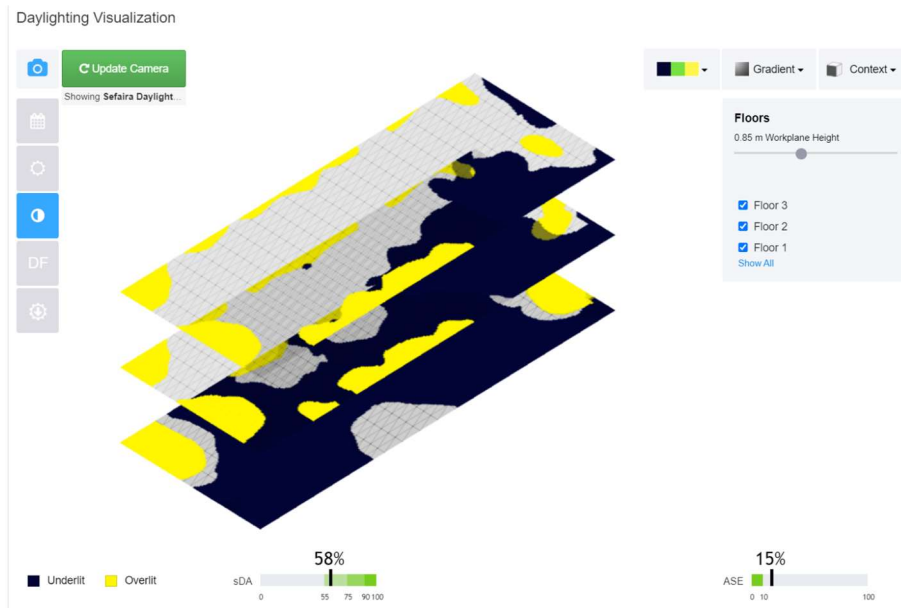


Figura 3.7 Evaluación de sDA y ASE - Línea Base.

3.5.3. Análisis del factor de luz natural.

En la Figura 3.8 representa la distribución del Daylight Factor (DLF) en los tres pisos del edificio, medido a una altura de 0.85 m. El DLF es un indicador clave para evaluar la calidad de iluminación natural en espacios interiores. Además, se puede establecer que:

- DLF promedio de 1.39%, lo recomendable es tener un valor > 2%.
- Relación de uniformidad 0.14, valores cercanos a 1 reflejan mayor homogeneidad.

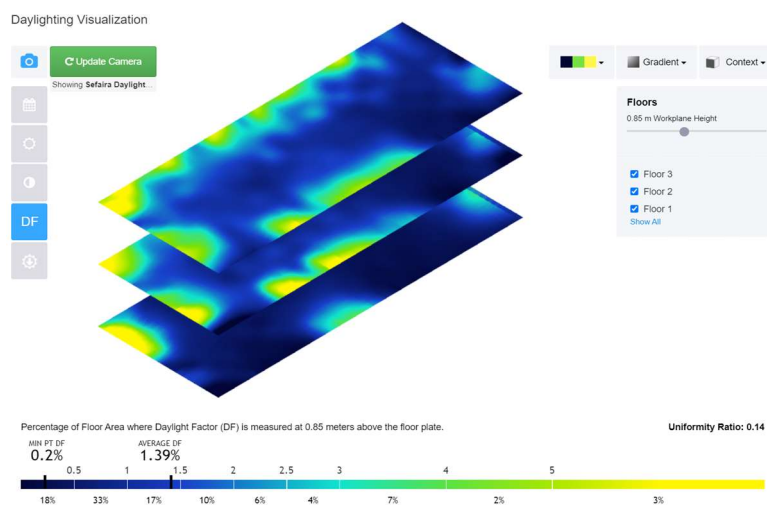


Figura 3.8 Factor de luz natural - Línea Base.

3.6 Simulación de diferentes variables de iluminación natural aplicadas al proyecto.

Partiendo de los resultados iniciales (Línea Base) presentados en la Tabla 3.7, se realizaron 23 iteraciones adicionales con el objetivo de evaluar el impacto de modificaciones y la geometría de los boquetes de las áreas translúcidas del edificio, lo cual se refleja en variaciones de la relación ventanas/paredes (WWR).

Siguiendo el procedimiento descrito previamente, para cada simulación, se mantuvieron constantes los siguientes parámetros, según lo detallado en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8 Parámetros ingresados en Sefaira para superficies opacas y datos operativos.

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2018).

No.	Lámina	Código	Envolvente /superficies opacas			Datos operativos			
			Uparedes W/(m2*K)	Upiso W/(m2*K)	Utecho W/(m2*K)	Infiltración m3/m2/h	Ventilación L/S/persona	Equipos W/m2	Iluminación W/m2
Iteración #1 - Iteración #23	2-23	NEC-HS- EE	0,86	1,83	0,27	7,25	15	25	10

3.6.1. Parámetros modificados en la Envolvente – Superficies opacas.

Se actualizaron los valores de transmitancia térmica (U-value) y reflectancia superficial según lo establecido en la Tabla 3.8. Los nuevos valores fueron seleccionados conforme a la Tabla 4 de la NEC-HS-EE, correspondiente a los Requisitos de envolvente para la zona climática 1, garantizando cumplimiento normativo local.

3.6.2. Parámetros modificados en la Envolvente – Superficies translúcidas.

Se incorporaron los datos técnicos del proveedor Cedal, seleccionando como referencia el vidrio claro de 6 mm en las primeras iteraciones, además también se probó con vidrio tinturado y de doble acristalamiento. Las propiedades ópticas fueron seleccionadas directamente de la ficha técnica del proveedor, asegurando trazabilidad y aplicabilidad real. Todo esto se resume en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Parámetros ingresados en Sefaira para las superficies traslúcidas. Fuente: (Cedal, 2024).

No.	Tipo de vidrio	Envolvente/Superficies Traslúcidas		
		VLТ	SHGC	Uventanas W/(m ² *K)
LINEA BASE	Vidrio claro 6 mm	0,42	0,21	3,52
Iteración #1 – Iteración #10	Vidrio claro 6 mm	0,89	0,81	5,70
Iteración #11	Vidrio claro 6 mm + bronce	0,64	0,61	5,80
Iteración #12	Vidrio claro 6 mm + Gris	0,63	0,59	5,80
Iteración #13	Vidrio claro 6 mm + Dark grey	0,36	0,43	5,80
Iteración #14	Vidrio claro 6 mm + Verde automotriz	0,80	0,57	5,80
Iteración #15	Vidrio claro 6 mm + Ford blue	0,67	0,63	5,80
Iteración #16	Vidrio claro 6 mm + Dark blue	0,58	0,57	5,70
Iteración #17	Vidrio claro 6 mm + Verde automotriz 6 mm	0,76	0,45	5,70
Iteración #18	Verde automotriz 6 mm	0,76	0,45	5,70
Iteración #19	Verde automotriz 6 mm	0,76	0,45	5,70
Iteración #20	Claro + Claro 60	0,78	0,70	2,69
Iteración #21	Tintex más claro	0,67	0,48	2,69
Iteración #22	Azuria + Claro	0,61	0,39	2,69
Iteración #23	Claro + Claro 70	0,64	0,27	1,58

3.6.3. Parámetros modificados en la Relación ventana-muro (WWR).

Se realizaron iteraciones con variaciones ascendentes y descendentes del WWR, evaluando su influencia sobre las métricas de iluminancia, sDA, ASE y EUI.

Estas variaciones permitieron identificar rangos óptimos de apertura para maximizar luz natural sin comprometer el confort térmico. Las variaciones de ventana/pared (WWR) se muestra en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10 Variaciones de Ventana/Pared (WWR).

No.	Relación Ventanas/Paredes			
	WWR Norte	WWR Sur	WWR Este	WWR Oeste
LINEA BASE	0,16	0,19	0,26	0,17
Iteración #1	0,16	0,19	0,26	0,17
Iteración #2	0,15	0,17	0,24	0,16
Iteración #3	0,20	0,22	0,17	0,17
Iteración #4	0,20	0,22	0,17	0,17
Iteración #5	0,24	0,25	0,17	0,17
Iteración #6	0,27	0,33	0,17	0,17
Iteración #7	0,34	0,36	0,17	0,17
Iteración #8	0,12	0,15	0,23	0,13
Iteración #9	0,08	0,11	0,19	0,09
Iteración #10 - Iteración #21	0,05	0,06	0,18	0,06
Iteración #22	0,08	0,10	0,21	0,09
Iteración #23	0,08	0,10	0,18	0,09

3.6.4. Parámetros modificados en la variación en la altura del antepecho.

En el caso de la Iteración #4, se modificó la altura del antepecho a 0.50 m y 1.60 m en todas las ventanas del modelo. Las demás iteraciones se quedaron con la misma altura de antepecho, 0.90 metros y 2.10 metros antes utilizada.

Se realizó la generación de las 23 iteraciones de diseño y simulación empleando vidriería clara de 6mm en las 10 primeras iteraciones, teniendo como variable principal la relación ventana/pared (WWR) en las cuatro orientaciones del edificio. De ellas, destaca la Iteración #9 por su valor de EUI (147 kWh/m^2), valor muy cercano al de la línea base (135 kWh/m^2). Este resultado evidencia una mejora sustancial en iluminación natural sin afectar el desempeño energético del edificio.

A partir de la Iteración #9, se realizaron las iteraciones incorporando diferentes tipos de cristalerías (vidrio tintado y doble acristalamiento con cámara de aire), con el objetivo de ajustar los valores de EUI y ASE para tener un desempeño más equilibrado respecto a la línea base dando como mejor resultado la Iteración #23 con un valor de EUI de 135 kWh/m^2 . Los resultados de todas las iteraciones se resumen en la Tabla 3.11, donde se observan niveles óptimos de iluminación natural y control de deslumbramiento.

Tabla 3.11 Resultados de los sistemas simulados, modificando WWR y el tipo de cristalería.

No.	Lámina	Código	Relación Ventanas/Paredes				RESULTADOS			
			WWR Norte	WWR Sur	WWR Este	WWR Oeste	SDA (%)	ASE (%)	DLF (%)	EUI kWh/m2/yr
LINEA BASE	1	ASHRAE 2019	0,16	0,19	0,26	0,17	58	15	1,39	135
Iteración #1	2	NEC-HS-EE	0,16	0,19	0,26	0,17	100	30	5,92	159
Iteración #2	3	NEC-HS-EE	0,15	0,17	0,24	0,16	100	29	5,38	156
Iteración #3	4	NEC-HS-EE	0,20	0,22	0,17	0,17	100	33	6,5	159
Iteración #4	5	NEC-HS-EE	0,20	0,22	0,17	0,17	100	28	5,77	159
Iteración #5	6	NEC-HS-EE	0,24	0,25	0,17	0,17	100	34	7,33	163
Iteración #6	7	NEC-HS-EE	0,27	0,33	0,17	0,17	100	37	7,7	168
Iteración #7	8	NEC-HS-EE	0,34	0,36	0,17	0,17	100	36	8,77	173
Iteración #8	9	NEC-HS-EE	0,12	0,15	0,23	0,13	100	22	4,62	153
Iteración #9	10	NEC-HS-EE	0,08	0,11	0,19	0,09	95	18	3,45	147
Iteración #10	11	NEC-HS-EE	0,05	0,06	0,18	0,06	77	8	1,98	142
Iteración #11	12	NEC-HS-EE	0,05	0,06	0,18	0,06	75	14	1,84	142
Iteración #12	13	NEC-HS-EE	0,05	0,06	0,18	0,06	72	13	1,75	141
Iteración #13	14	NEC-HS-EE	0,05	0,06	0,18	0,06	28	5	0,78	137
Iteración #14	15	NEC-HS-EE	0,05	0,06	0,18	0,06	90	16	2,79	141
Iteración #15	16	NEC-HS-EE	0,05	0,06	0,18	0,06	79	14	1,98	142
Iteración #16	17	NEC-HS-EE	0,05	0,06	0,18	0,06	79	14	2,08	142

No.	Lámina	Código	Relación Ventanas/Paredes				RESULTADOS			
			WWR Norte	WWR Sur	WWR Este	WWR Oeste	SDA (%)	ASE (%)	DLF (%)	EUI kWh/m ² /yr
Iteración #17	18	NEC-HS-EE	0,05	0,06	0,18	0,06	89	16	2,5	138
Iteración #18	19	NEC-HS-EE	0,05	0,06	0,18	0,06	82	16	2,26	138
Iteración #19	20	NEC-HS-EE	0,05	0,06	0,18	0,06	72	8	1,68	137
Iteración #20	21	NEC-HS-EE	0,05	0,06	0,18	0,06	73	8	1,76	143
Iteración #21	22	NEC-HS-EE	0,05	0,06	0,18	0,06	55	6	1,35	138
Iteración #22	23	NEC-HS-EE	0,08	0,10	0,21	0,09	43	6	1,12	136
Iteración #23	24	NEC-HS-EE	0,08	0,10	0,18	0,09	52	6	1,29	135

3.7 Análisis técnico de las iteraciones obtenidas

En el grupo de iteraciones realizadas presentadas en este documento Tabla 3.11, se observa una clara relación entre la modificación de la relación ventanas-paredes (WWR), y el comportamiento lumínico y energético. Las iteraciones realizadas desde la #1 hasta la #7, presentan un aumento en la relación WWR, aportan alcanzar niveles óptimos de autonomía de luz natural (sDA) cercanos al 100%, sin embargo, esta configuración geometría de las áreas acristaladas, generan efectos de deslumbramiento (ASE) y aumentos significativos en el consumo energético (EUI), obteniendo valores que van desde los 159 hasta los 173 kWh/m²/yr. De mantener estas relaciones altas de WWR, se deberá considerar elementos pasivos en el diseño del edificio, necesarios para el control solar.

También se presenta la iteración #8, 9 y 10, donde se analizó partiendo de la geometría presentada en la iteración #1, realizando reducción de la WWR en las fachadas nort-sur, se obtuvieron resultados que disminuyen los valores de ASE y EUI, obteniendo un mejor desempeño energético y reducción a tener deslumbramientos, pero también tenemos que sacrificar la autonomía lumínica sDA. Por lo cual partiendo de la iteración #9, se realizaron diferentes simulaciones en Sefaria con el fin de encontrar una cristalería que nos dé resultados aceptables de sDA, ASE y EUI, entre los cuales se ingresaron

datos de vidrios tintados, doble panel con cámara de aire y agregando aleros en la parte superior de las ventanas.

Estas iteraciones permitieron llegar a la simulación #23, donde se logra mantener niveles aceptables de iluminación natural y controlar el deslumbramiento; reduciendo así la carga energética, acercándonos a un escenario de mayor eficiencia energética (línea base).

La iteración #23 incorpora un sistema de ventanas compuestas por un doble panel fijos con cámara de aire, obteniendo un WWR en las fachadas NORTE-SUR, además de incorporar aleros en la parte superior de ventanas, y colocando un antepecho de 0.50 m sobre el nivel de piso, dicha configuración logramos un consumo energético similar al de línea base (EUI = 135 kWh/m²/y), control eficaz de deslumbramiento (ASE = 6%), y obteniendo un nivel adecuado de autonomía lumínica (sDA = 52%) como se muestra en las Figura 3.9 y Figura 3.10.

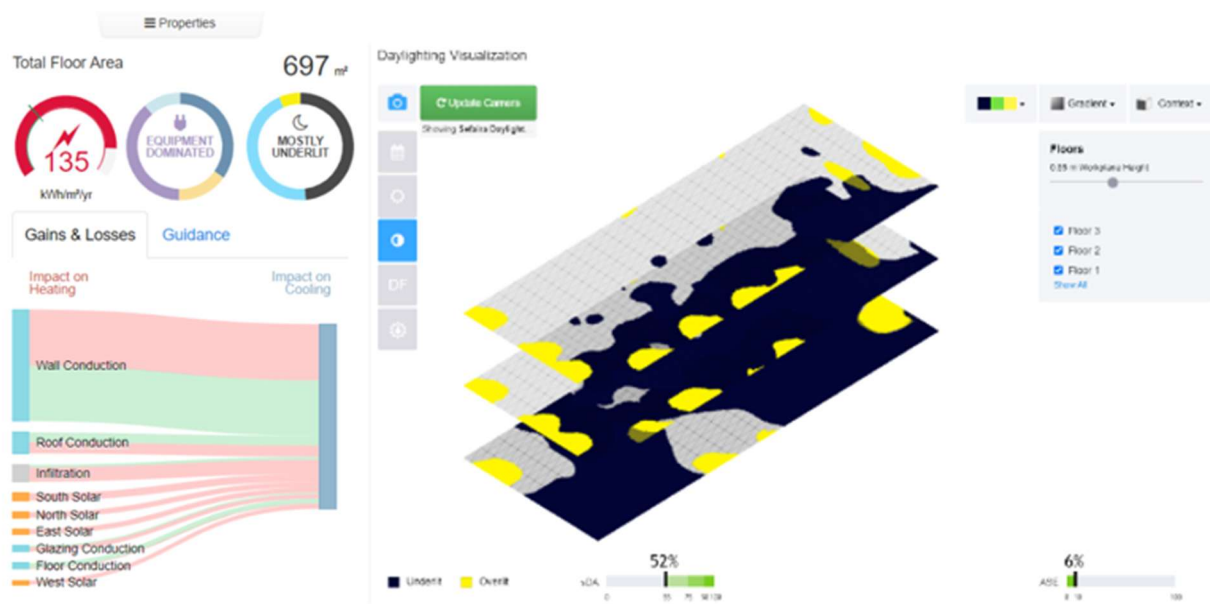


Figura 3.9 Resultados de EUI, sDA y ASE de la mejor iteración.

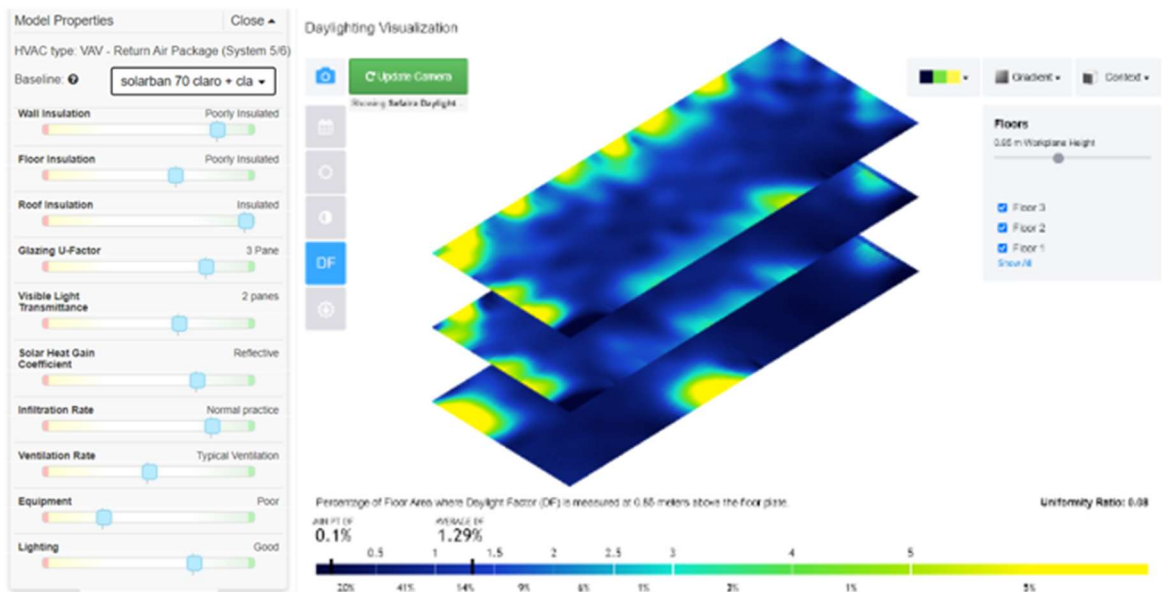


Figura 3.10 Resultados del DLF de la mejor iteración.

3.8 Análisis económico de la mejora variable de iluminación natural.

Las propiedades de superficies acristaladas utilizadas para el desarrollo de estas iteraciones, corresponde a ventanas de aluminio con vidrio claro, tinturado y tipo recámara, con diferentes precios unitarios. en la Tabla 3.12 y Tabla 3.13, los cuales son presentados a continuación.

Tabla 3.12 APU de ventana de aluminio y vidrio corrediza.

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE UN EDIFICIO DE TRES PLANTAS PARA USO DE OFICINAS						
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						HOJA 1 DE 1
RUBRO: 1		UNIDAD: M2				
DETALLE: Ventanas de Aluminio y Vidrio Corredizas						
EQUIPO DESCRIPCION		CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.						0,85
SUBTOTAL M						0,85
MANO DE OBRA DESCRIPCION		CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
PEON	EO E2	1,00	4,23	4,23	2,500	10,58
INSTALADOR EN GENERAL	EO D2	1,00	4,28	4,28	1,500	6,42
SUBTOTAL N						17,00
MATERIALES DESCRIPCION			UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB
VIDRIO FLOTADO CLARO 6MM			U	1,05	10,08	10,58
VENTANA ALUMINIO NATURAL CORREDIZA			U	1,00	45,00	45,00
SUBTOTAL O						55,58
TRANSPORTE DESCRIPCION			UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB
SUBTOTAL P						0,00
	TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					72,58
	INDIRECTOS (%)				20,00%	14,52
	UTILIDAD (%)				0,00%	0,00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO					87,09
	VALOR OFERTADO					87,09
SON: OCHENTA Y SIETE DOLARES, 09/100 CENTAVOS						

Tabla 3.13 APU de ventana fija de aluminio y vidrio recámara e=25 mm (claro + claro).

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE UN EDIFICIO DE TRES PLANTAS PARA USO DE OFICINAS						
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						HOJA 1 DE 1
RUBRO: 1		UNIDAD: M2				
DETALLE: Ventana fija de aluminio y vidrio recamara esp=25mm (claro+claro)						
<i>EQUIPO DESCRIPCION</i>		<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
Herramienta Menor 5% de M.O.						1,70
SUBTOTAL M						1,70
<i>MANO DE OBRA DESCRIPCION</i>		<i>CANTIDAD A</i>	<i>JORNAL/HR B</i>	<i>COSTO HORA C=AxB</i>	<i>RENDIMIENTO R</i>	<i>COSTO D=CxR</i>
PEON	EO E2	1,00	4,23	4,23	5,000	21,15
INSTALADOR EN GENERAL	EO D2	1,00	4,28	4,28	3,000	12,84
SUBTOTAL N						33,99
<i>MATERIALES DESCRIPCION</i>			<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>PRECIO UNIT. B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
Vidrio flotado claro 6mm			U	2.10	10,08	21.17
Ventana aluminio natural corrediza			U	1,00	95,00	95,00
SUBTOTAL O						116.16
<i>TRANSPORTE DESCRIPCION</i>			<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD A</i>	<i>TARIFA B</i>	<i>COSTO C=AxB</i>
SUBTOTAL P						0,00
	TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					151.86
	INDIRECTOS (%)				20,00%	30.37
	UTILIDAD (%)				0,00%	0,00
	COSTO TOTAL DEL RUBRO					1
	VALOR OFERTADO					182.23
SON: CIENTO OCHENTA Y DOS DOLARES, 23/100 CENTAVOS						

A partir de las 23 iteraciones realizadas, se pudo obtener un conjunto de resultados, donde se exploraron diferentes geometrías y características para las superficies translúcidas, dando como resultado que la Iteración #23, presenta los mejores resultados de iluminación natural, con Solarban 70 Vidrio Recámara Claro + Claro.

Finalmente, después de seleccionar el mejor tipo de cristalería, se procedió a realizar el siguiente análisis de costos partiendo de la geometría presentada en la línea base Tabla 3.14 y la obtenida en la iteración #23

Tabla 3.15.

Tabla 3.14 Análisis de costos según la geometría de áreas traslúcidas en el modelo de la línea base.

OBRA: EDIFICIO DIAZ - GARCIA					
CIUDAD:	GUAYAQUIL	ITERACION: LINEA BASE			
PROVINCIA:	GUAYAS	MONTO: \$ 42.493,53			
#	RUBROS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL CONTRATADO
1,00	LINEA BASE				
1,01	Paredes de Bloque de Cal	m2	522,97	\$ 17,65	\$ 9.231,47
1,02	Enlucido Interior	m2	522,97	\$ 12,72	\$ 6.652,18
1,03	Enlucido Exterior	m2	522,97	\$ 14,80	\$ 7.737,86
1,04	Pintura Interior	m2	522,97	\$ 7,21	\$ 3.771,66
1,05	Pintura Exterior tipo elastómera	m2	522,97	\$ 6,30	\$ 3.294,71
1,06	Cuadrada de boquetes de puertas y ventanas	m2	272,60	\$ 4,30	\$ 1.171,09
1,07	Ventanas de Aluminio y Vidrio Corredizas	m2	122,11	\$ 87,09	\$ 10.634,56
TOTAL:					\$ 42.493,53

Tabla 3.15 Análisis de costos según la geometría de áreas traslúcidas en el modelo de la Iteración #23.

OBRA: EDIFICIO DIAZ - GARCIA					
CIUDAD: GUAYAQUIL			ITERACION: #23		
PROVINCIA: GUAYAS			MONTO: \$ 46.791,75		
#	RUBROS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL CONTRATADO
1,00	ITERACION #23				
1,01	Paredes de Bloque de Cal	m2	580,01	\$ 17,65	\$ 10.238,37
1,02	Enlucido Interior	m2	580,01	\$ 12,72	\$ 7.377,75
1,03	Enlucido Exterior	m2	580,01	\$ 14,80	\$ 8.581,86
1,04	Pintura Interior	m2	580,01	\$ 7,21	\$ 4.183,05
1,05	Pintura Exterior tipo elastómera	m2	580,01	\$ 6,30	\$ 3.654,08
1,06	Cuadrada de boquetes de puertas y ventanas	m2	209,40	\$ 4,30	\$ 899,58
1,07	Ventanas de Aluminio y Vidrio recamara Solarban (70) 2 paneles de 6mm (Claro+Claro), con cámara de 25 mm separadas por aire	m2	65,07	\$ 182,23	\$ 11.857,70
TOTAL:					\$ 46.792,40

Se puede establecer que las modificaciones realizadas en las dimensiones de cristalería entre la línea base y la iteración #23, generan un valor adicional de \$4.298,22.

Realizando el análisis de precios y considerando la actualización en las áreas traslúcidas del proyecto, se desarrolla el presente estudio financiero con el objetivo de verificar la viabilidad económica de la propuesta. Para ello, se toma como referencia la línea base, en la cual se determina el valor de EUI que alcanzará la edificación, y se comparan los resultados con la Iteración #1, que emplea vidrio claro de 6 mm, y la Iteración #23, que incorpora un sistema de vidrio recámara de 6 mm (Claro + Claro). Esta comparación permite evaluar el impacto de las distintas soluciones de acristalamiento en el desempeño energético y lumínico, así como en los costos asociados al proyecto.

Los datos iniciales para el cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) se establecen sobre una superficie de 552,9 m², con un costo de energía de USD 0,09/kWh, un EUI de 135 kWh/m²-año en la línea base y una tasa de descuento del 10% mostrado en la Tabla 3.16. A partir de esta información se calcularon los flujos netos efectivos (FNE), considerando una inversión inicial de USD - 4.298,22 y flujos anuales de USD 1.890,92, que al ser descontados generan valores presentes de USD 1.719,02, USD 1.562,74 y USD 1.420,67 en los años siguientes. Con esta información se calcula los flujos netos efectivos Tabla 3.17.

Tabla 3.16 Ahorro económico generado por optimización de valor EUI.

ANÁLISIS DE RETORNO ECONÓMICO (D)			552,9	M2
COSTO KWH \$			0,09	
EUI - LINEA BASE			135	KWH/M2/YR
TASA DE DESCUENTO			10%	
EUI – LÍNEA BASE			DIFERENCIA EN EUI	COSTO DIFERENCIAL, AÑO 0
ITERACIÓN	LÍNEA BASE	VALOR DE EUI		
#1	135	173	38	1890,918
#23	135	135	0	0

Tabla 3.17 Flujo neto efectivo.

FNE	INVERSIÓN	FLUJO NETO DE EFECTIVO				
	0	1	2	3	3	3
	\$ -4.298,22	\$ 1.890,92	\$ 1.890,92	\$ 1.890,92	\$ 1.890,92	\$ 1.890,92
FNE ACTUAL	\$ -4.298,22	\$ 1.890,92	\$ 1.890,92	\$ 1.890,92	\$ 1.890,92	\$ 1.890,92
		1,10	1,21	1,33	1,33	1,33
FNE ACTUAL	\$ -4.298,22	\$ 1.719,02	\$ 1.562,74	\$ 1.420,67	\$ 1.420,67	\$ 1.420,67

Con estos resultados, el proyecto presenta un VAN de USD 3.245,56 superior a cero, y una TIR del 34% Tabla 3.18, mayor que la tasa de descuento aplicada. Esto confirma que la inversión en la actualización del tipo de ventanas es financieramente viable, con un periodo de recuperación estimado en el año #3 gracias al ahorro anual en consumo de energía eléctrica. Además, se considera que en el corto plazo no se prevén variaciones significativas en el costo del kWh, lo que refuerza la estabilidad de los resultados obtenidos.

Tabla 3.18 Resultado de TIR y Van, mediante formulación en software EXCEL.

VAN	\$ 3.245,56	VAN>0 – PROYECTO ES VIABLE
------------	-------------	----------------------------

TIR	34%	TIR > tasa de descuento - PROYECTO ES VIABLE
------------	-----	--

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.

Actualmente, las edificaciones presentan una marcada tendencia hacia el uso de fachadas acristaladas. Sin embargo, este recurso arquitectónico puede comprometer el confort de los usuarios al producirse sobrecalentamientos, deslumbramientos y elevados consumos energéticos asociados a la iluminación natural. Frente a esta problemática, resulta fundamental establecer una relación ventana/pared (Window-to-Wall Ratio, WWR) que permita garantizar una adecuada provisión de luz natural, al mismo tiempo que se mantiene un consumo energético equilibrado y coherente con el uso del edificio analizado en el estado del arte.

Con este propósito, se procedió a evaluar diferentes modelos mediante herramientas BIM, lo que permitió analizar de manera comparativa el impacto de distintas configuraciones de geometría y acristalamiento en el desempeño lumínico y energético del edificio de oficinas objeto de estudio.

El análisis comparativo se llevó a cabo entre el modelo de línea base, desarrollado bajo la normativa ASHRAE 90.1-2019, y las Iteraciones #1 y #23, evaluadas conforme a la normativa NEC-HS-EE. En estas variantes se introdujeron modificaciones en la geometría de las ventanas, las cuales fueron modeladas en Revit y posteriormente analizadas en Sefaira. Dichos cambios tuvieron un impacto directo en el desempeño lumínico y energético del edificio, evidenciado en las variaciones de los indicadores sDA, ASE y EUI, que reflejan el equilibrio entre autonomía de luz natural, control de deslumbramiento y eficiencia energética

- La línea base, con un vidrio de transmitancia moderada, con parámetros establecidos por defecto de Sefaira (VLT = 0,42; SHGC = 0,21; U = 3.52 W/m²·K), alcanzó un SDA del 58%, ASE al 15% y un EUI de 135 kWh/m²·año, mostrando un balance aceptable entre eficiencia y confort.
- La Iteración #1, con vidrio claro simple de 6 mm (VLT = 0,89; SHGC = 0,81; U = 5,70 W/m²·K), elevó la autonomía lumínica al SDA al 100%, pero incrementó el ASE al 30% y el EUI a 159 kWh/m²·año, lo que refleja un mayor confort visual, pero repercute en un sobreconsumo energético.

- La Iteración #1, debido a la utilización de un vidrio claro en edificaciones genera altos niveles de autonomía lumínica, pero con un sobre costo operativo en climatización e iluminación artificial, además de requerir sistemas pasivos para evitar el deslumbramiento y sobrecalentamiento. Por tanto, no resulta sostenible a largo plazo.
- Con respecto a la línea base, la inclusión de superficies traslúcidas implica un costo de fabricación e instalación de \$87,09 por m² para las ventanas únicamente. En este escenario el costo total de obra, para todos los rubros incluidos es de \$381,76 por m².
- La Iteración #23, con vidrio cámara doble de 6 mm y cámara de aire de 13 mm (VLT = 0,64; SHGC = 0,27; U = 1.58 W/m²·K), Los resultados muestran SDA = 52%, ASE = 6% y EUI = 135 kWh/m²·año, es decir, un desempeño energético equivalente a la línea base, pero con mejor control solar y menor riesgo de deslumbramiento.
- Con respecto a la Iteración #23, la inclusión de superficies traslúcidas implica un costo de fabricación e instalación de \$ 182,23 por metro cuadrado para las ventanas únicamente. En este escenario el costo total de obra, para todos los rubros incluidos, es de \$389,54 por m².
- La Iteración #23 representa una alternativa más equilibrada incorporando vidrio que ayude a mantener el consumo energético en niveles similares a la línea base (EUI = 135 kWh/m²·año), reduce la exposición solar excesiva (ASE = 6%), mejora el confort visual respecto al vidrio simple.
- Si bien uno de los resultados esperados al variar la cantidad de superficies traslúcidas era la variación del uso de energía, expresado como EUI, el estudio de diferentes configuraciones de ventanería (iteraciones), permitió preservar el EUI de la línea base.
- En cuanto a costos, refleja que los cambios de geometría y cristalería generaron un valor adicional de 4.298,22 USD sobre el presupuesto referencial.
- Vale la pena mencionar, que la búsqueda de la reducción de EUI requiere además el análisis de variantes para las superficies opacas del proyecto, así como del tipo de equipamiento y sistema de acondicionamiento de aire a utilizar, lo cual está fuera del alcance de este estudio. Pese a ello, se consiguió mantener el EUI de línea base del proyecto.

4.2 Recomendaciones.

A partir de los resultados, se recomienda que futuras decisiones de diseño consideren un enfoque integral que combine desempeño lumínico, eficiencia energética y viabilidad económica.

- Se recomienda explorar variantes de vidrio cámara con recubrimientos de baja emisividad (low-e) o con SHGC moderado, que permitan mantener una buena entrada de luz natural sin comprometer la eficiencia térmica.
- Los análisis se pueden complementar modelando elementos pasivos de control solar (aleros, lamas o protecciones exteriores), que podrían mejorar el balance entre SDA y EUI sin incrementar significativamente los costos.
- Los parámetros de superficies opacas no variaron entre ASHRAE y NEC-HS-EE, se recomienda evaluar mejoras en aislamiento de muros, techos y pisos, lo que sí podría generar una optimización energética real. De esta manera, se garantizaría que la inversión adicional no solo mejore el confort lumínico, sino que también aporte beneficios tangibles en reducción de consumo y sostenibilidad a largo plazo.

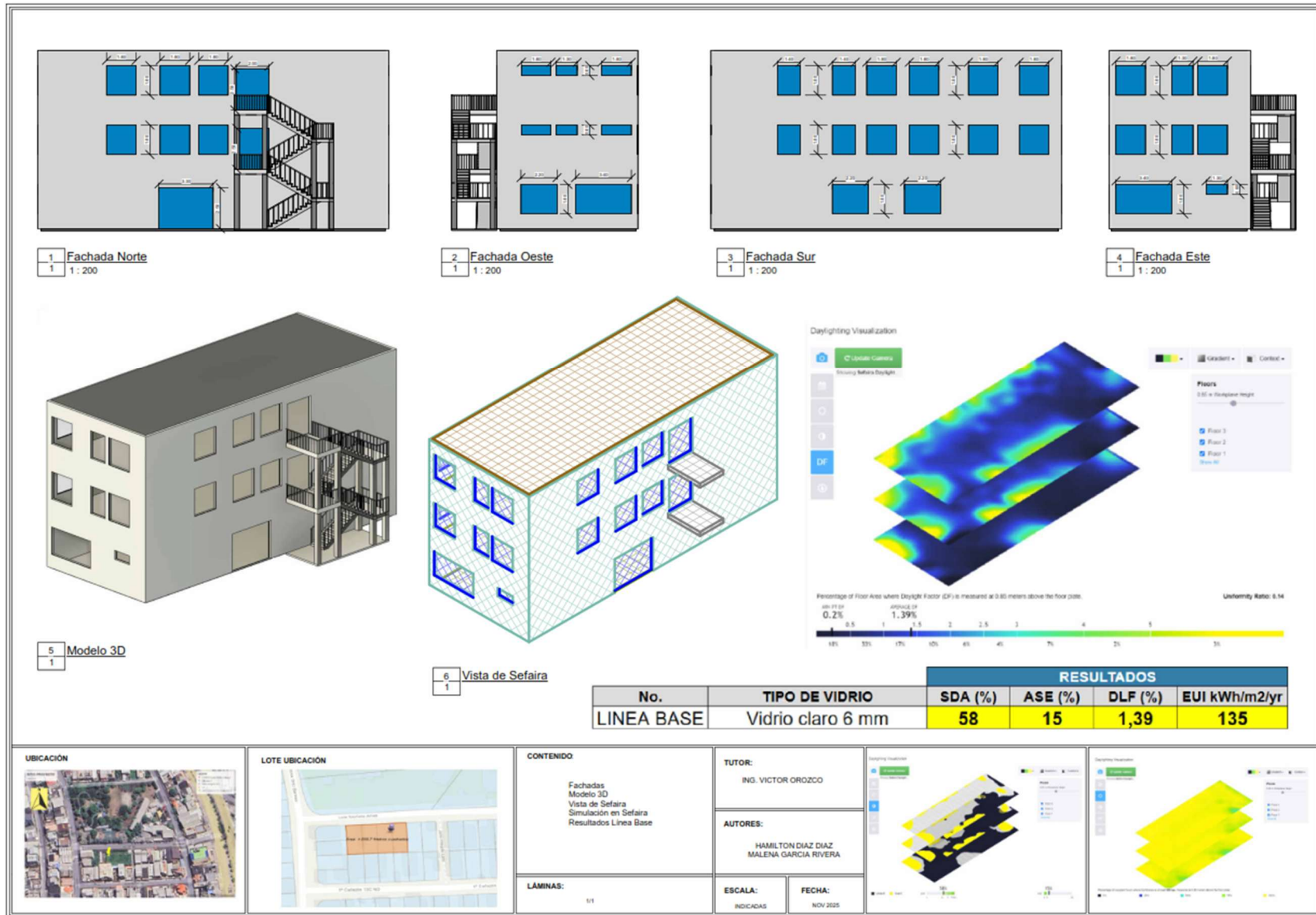
BIBLIOGRAFÍA

- Aghamolaei, R. (2023). Estrategias para reducir las emisiones de carbono en los campus universitarios: una revisión exhaustiva a escala global y local. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 76. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobc.2023.107183>
- Aguilar-Santana, J. L., Jarimi, H., Velasco-Carrasco, M., & Riffat, S. (2020). Review on window-glazing technologies and future prospects. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 15(1), 112–120. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctz032>
- Albatayneh, A. (2018). The Influence of Building's Orientation on the Overall Thermal Performance. *The Academic Research Community Publication*, 2(1), 1–6. <https://doi.org/10.21625/archive.v2i1.234>
- Altomonte, S., Allen, J., Bluysen, P. M., Brager, G., Heschong, L., Loder, A., Schiavon, S., Veitch, J. A., Wang, L., & Wargocki, P. (2020). Ten questions concerning well-being in the built environment. *Building and Environment*, 180. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106949>
- Altomonte, S., Schiavon, S., Kent, M. G., & Brager, G. (2019). Indoor environmental quality and occupant satisfaction in green-certified buildings. *Building Research & Information*, 47(3), 255–274. <https://doi.org/10.1080/09613218.2018.1383715>
- ASHRAE. (2017). ASHRAE Handbook: Fundamentals. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, 1–1014.
- Boubekri, M., Cheung, I., Reid, K. J., Wang, C.-H., & Zee, P. C. (2014). Impact of Windows and Daylight Exposure on Overall Health and Sleep Quality of Office Workers: A Case-Control Pilot Study. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 10(06). <https://doi.org/https://doi.org/10.5664/jcsm.3780>
- BrainBox AI. (2024). *Intensidad de Uso de Energía (IUE): La medida de la eficiencia de un edificio*. <https://brainboxai.com/en/articles/energy-use-intensity-eui-the-measure-of-a-buildings-efficiency>
- Castro Castro, J. R. (2021). *Sistema de iluminación sostenible para oficinas* [Universidad El Bosque]. <https://hdl.handle.net/20.500.12495/8016>
- CBECS. (2022). *Consumption and Expenditures Highlights*. <https://www.eia.gov/consumption/commercial/>
- Cedal. (2024). *Vidrio. Calidad y Variedad*. Cedal. <https://cedal.com.ec/uploads/product/vidrio.pdf>

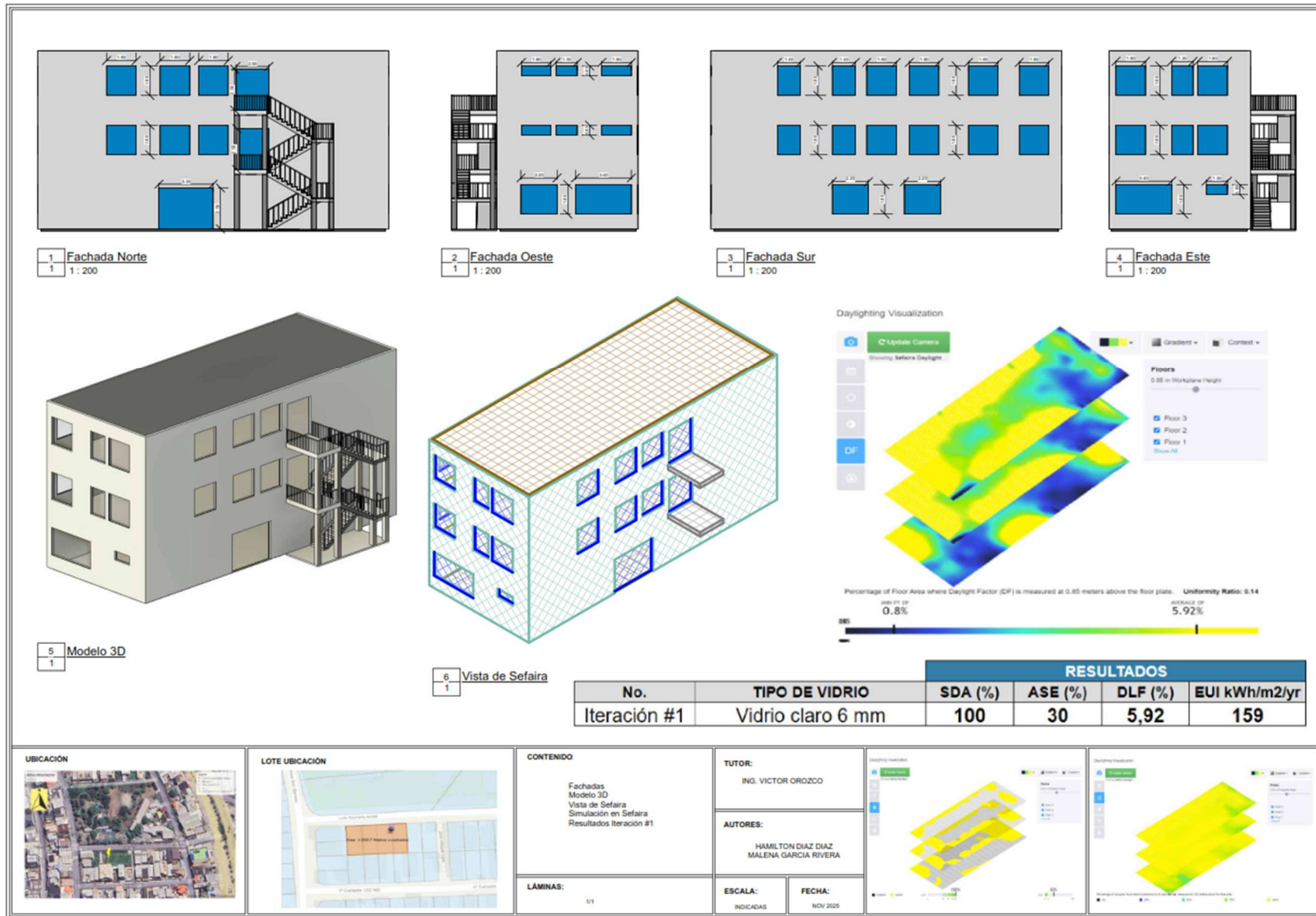
- CILAC. (2024). *¿Cuál es la diferencia entre equinoccio y solsticio?*
<https://forocilac.org/cual-es-la-diferencia-entre-equinoccio-y-solsticio-2/#:~:text=M%C3%A1s%20all%C3%A1%20de%20se%C3%B1alar%20el,y%20el%20d%C3%ADa%20m%C3%A1s%20corto.&text=Por%20el%20contrario%2C%20los%20equinoccios,el%20solsticio%20de%20verano?%5D>
- Clima Estudios. (2024). *Disponibilidad de luz natural. Luz natural LEED v4.*
<https://climatestudiodocs.com/docs/daylightLEEDOpt1.html>
- Cornejo Criollo, J. C., & Zumba Nievecela, E. M. (2025). *Estudio de la factibilidad y análisis técnico económico de sistemas de iluminación natural conformado por lumiductos: caso de estudio una oficina administrativa de Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca* [Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca].
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/30641>
- Department for Business, E. and I. S. (2018). *Business Energy Statistical Summary.*
- Dutton, J. (2023). *Mecanismos de pérdida o transferencia de calor.* PennState College of Earth and Mineral Sciences. <https://www.e-education.psu.edu/egee102/node/2053>
- European Committee for Standardization. (2018). *CEN. (2018). EN 17037:2018 Daylight in buildings.*
- Favoino, F., Goia, F., Perino, M., & Serra, V. (2014). Experimental assessment of the energy performance of an advanced responsive multifunctional façade module. *Energy and Buildings*, 68, 647–659. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.066>
- Gómez-Pérez, C. I. (2022). Aprovechamiento de la luz natural en edificios de la Ciudad de México. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 10(Especial2), 109–116. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10iespecial2.8693>
- LEED V4.0 IEQ C7. (2014). *EL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN DE INTERIORES (LEED v4 for INTERIOR DESIGN AND CONSTRUCTION)* . 4, 1–100.
- Lema, G. (2022). Calidad del Ambiente Interior: Confort Lumínico. *Green Building Council*, 3. <https://www.chilegbc.cl/index.php?sec=documentos>
- Lizarraga, T. (2020). *¿Qué es la envolvente térmica de un edificio?*
<https://www.tdhlizarraga.com/que-es-la-envolvente-termica-de-un-edificio/>
- Marquines, A., Tejeira, E., Aulestia, E., Lezcano, M., Franco, S., Goti, K., Warren, Y., Karaka, F., & Peren, J. (2020). *EVALUACIÓN DEL NIVEL DE ILUMINACIÓN NATURAL EN UNA OFICINA DEL EDIFICIO 3835 DEL INTERNATIONAL BUSINESS PARK* (Vol. 2, Issue 1).

- Masoud, S., Zamani, Z., Hosseini, S. M., & Attia, S. (2024). A review of factors affecting the lighting performance of light shelves and controlling solar heat gain. *Buildings*, 14(6), 1832. <https://doi.org/10.3390/buildings14061832>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2018). *NEC-HS-Eficiencia-Energetica*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUV). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- Ministerio de Energía y Minas del Ecuador. (2023). *Balance Energético Nacional*. Nacional, O. A. de Q. de la E. P. (2019). *Solsticio de Junio*. <https://oaq.epn.edu.ec/index.php/noticias-2019/291-solsticio-de-junio>
- Nasrollahi, N., & Shokri, E. (2016). Daylight illuminance in urban environments for visual comfort and energy performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 861–874. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.052>
- Trimble Inc. (2023). *Sefaira*. Trimble SketchUp. <https://sketchup.trimble.com/en/products/sefaira?srsltid=AfmBOoqF7qeaVUslyeER-TSDyXnLWNWkIJfxunkSHhiSusjuwLdwkrYh>
- U.S. Green Building Council. (2020). *LEED v4.1 BUILDING DESIGN AND CONSTRUCTION*. <https://www.usgbc.org/leed/v41>
- Valarezo Morocho, F. E. (2018). *La iluminación natural como estrategia de diseño pasivo para mejorar el desempeño energético de la vivienda popular en Loja* [Universidad Técnica Particular de Loja]. <https://doi.org/http://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/21963>

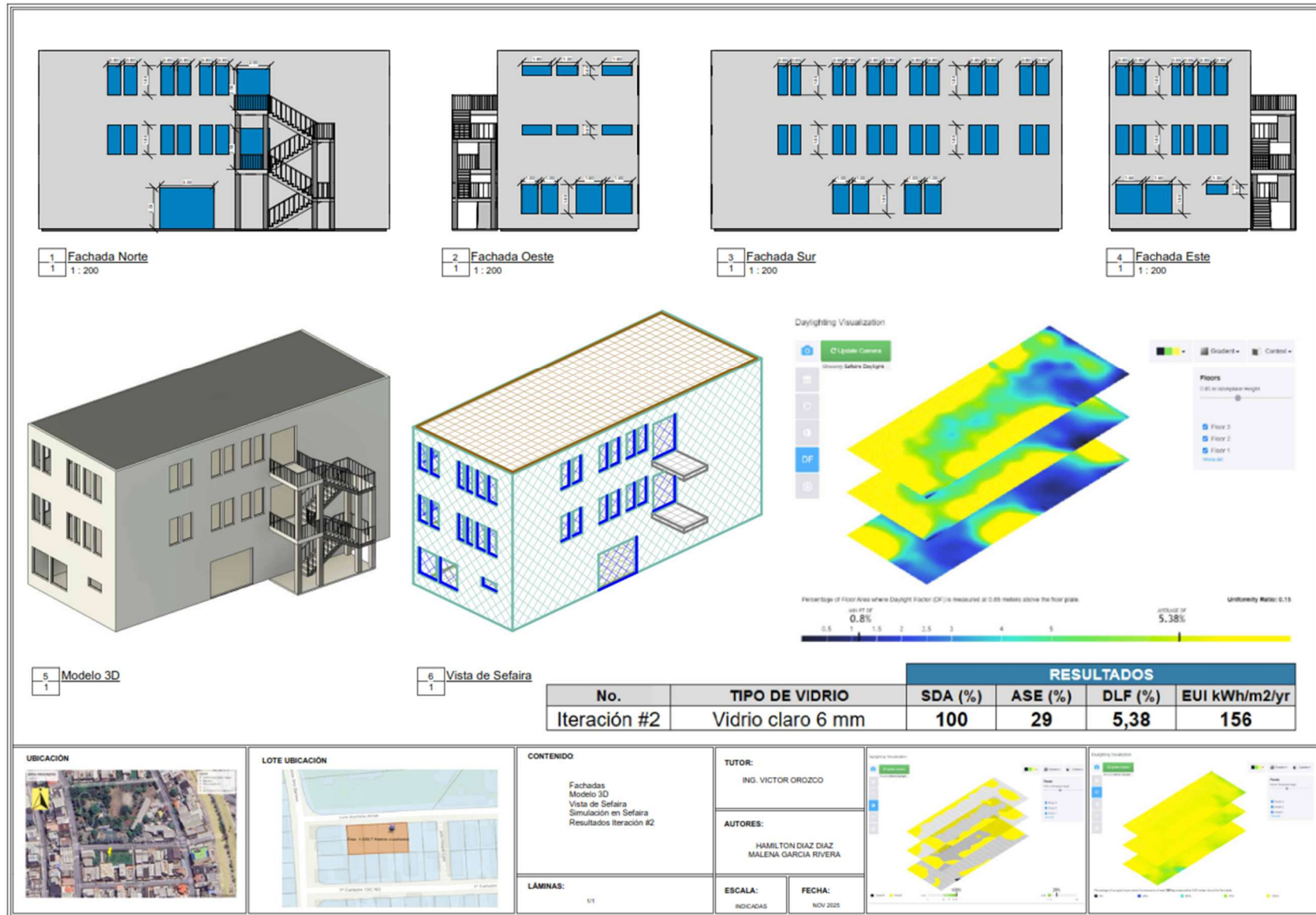
PLANOS Y ANEXOS



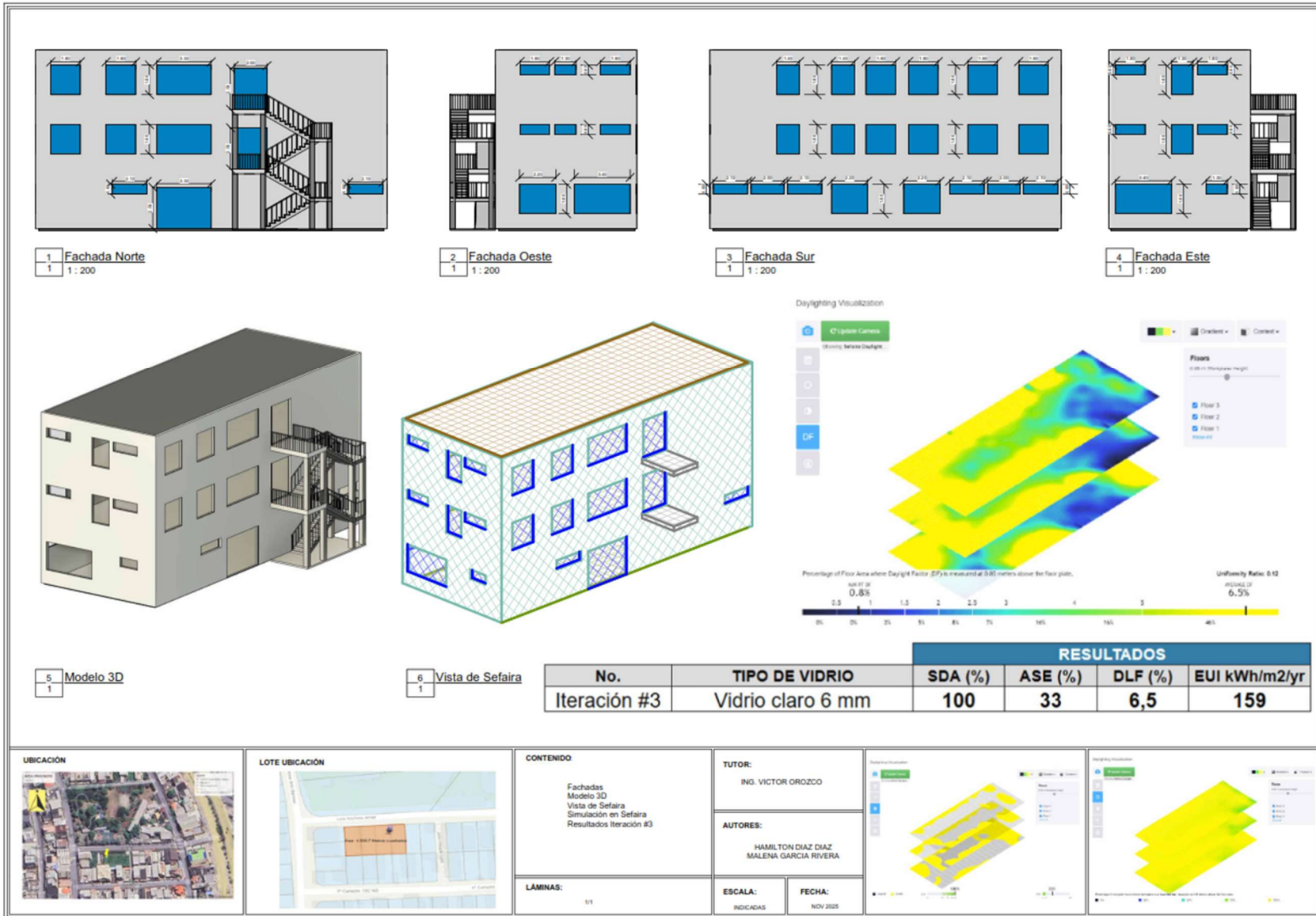
PLANO 1 Línea base.



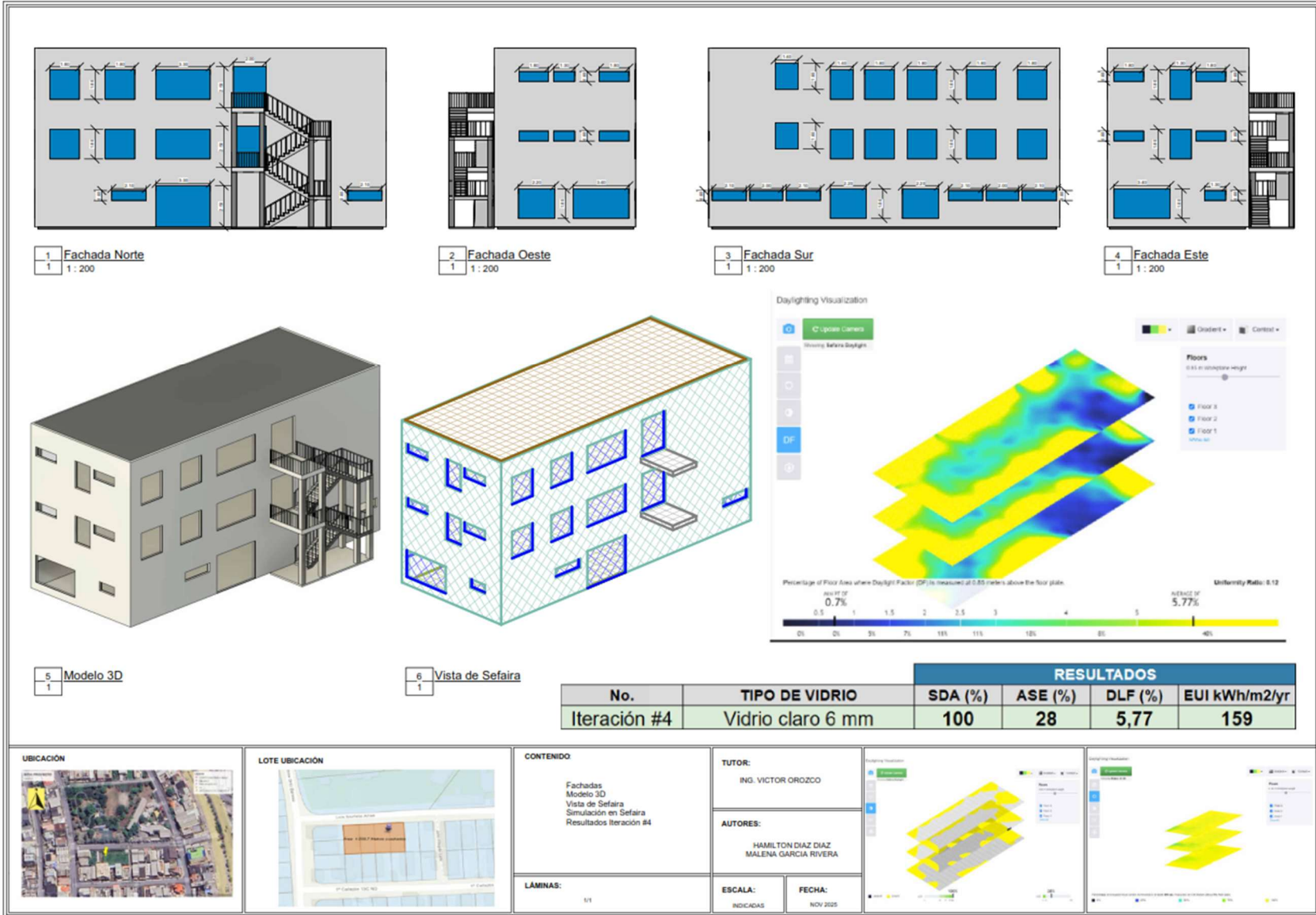
PLANO 2 Iteración #1.



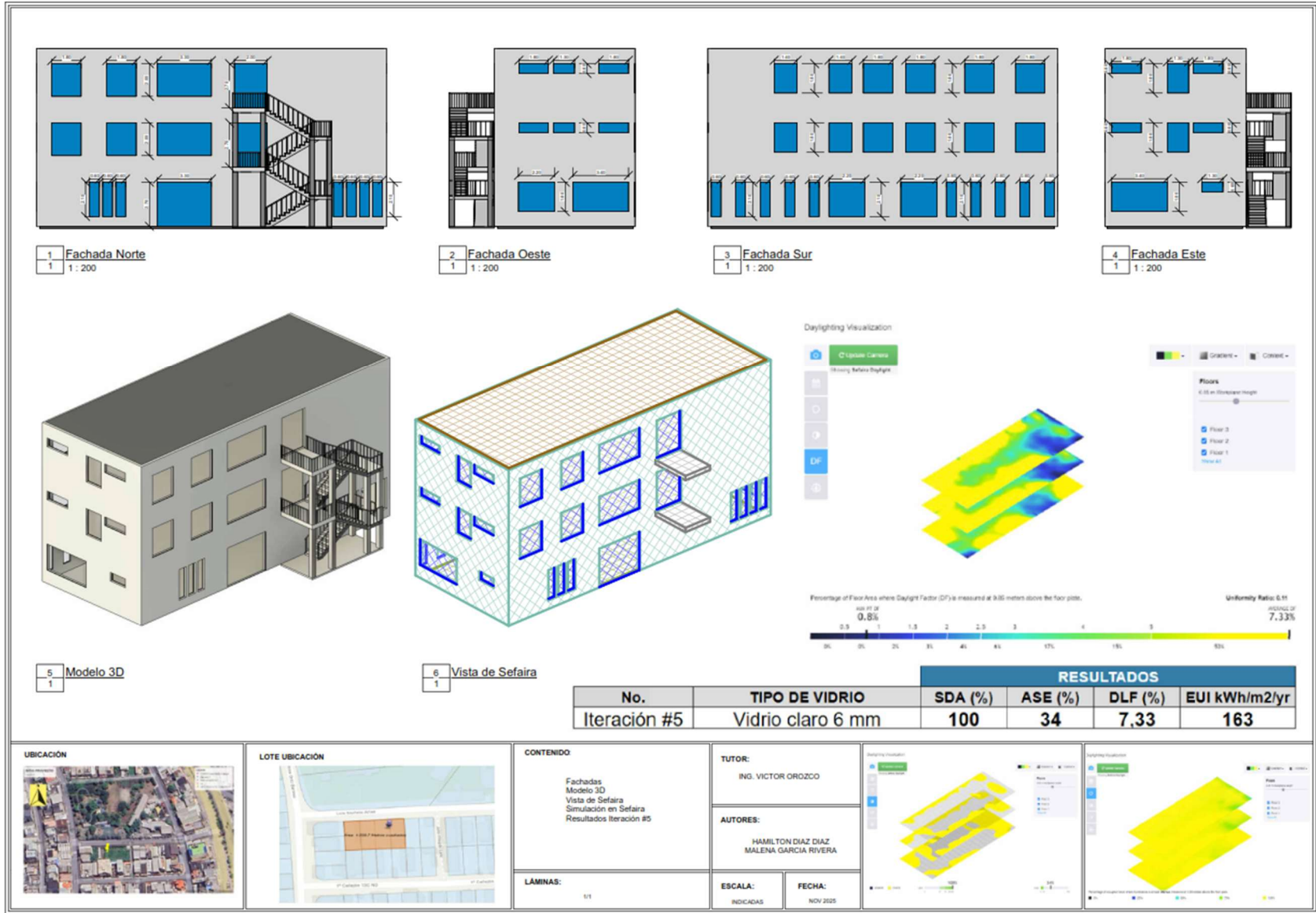
PLANO 3 Iteración #2.



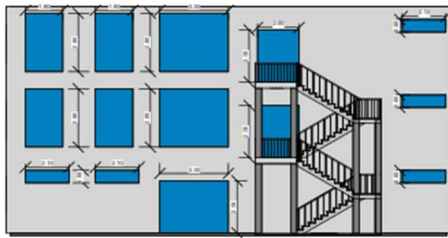
PLANO 4 Iteración #3.



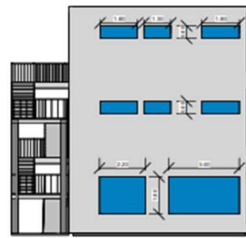
PLANO 5 Iteración #4.



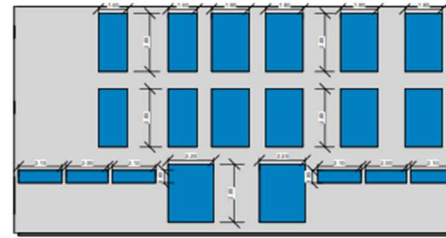
PLANO 6 Iteración #5.



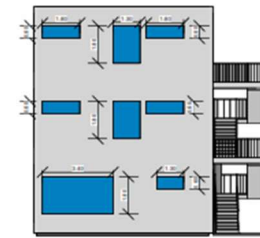
1
1 Fachada Norte
1: 200



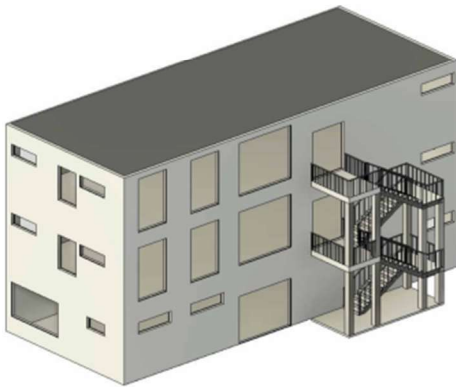
2
1 Fachada Oeste
1: 200



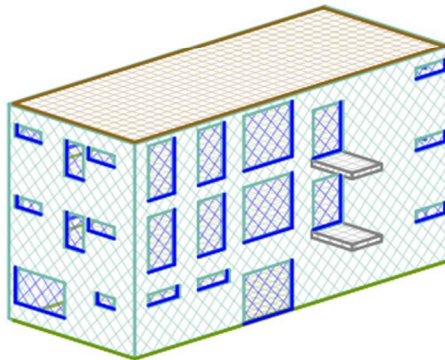
3
1 Fachada Sur
1: 200



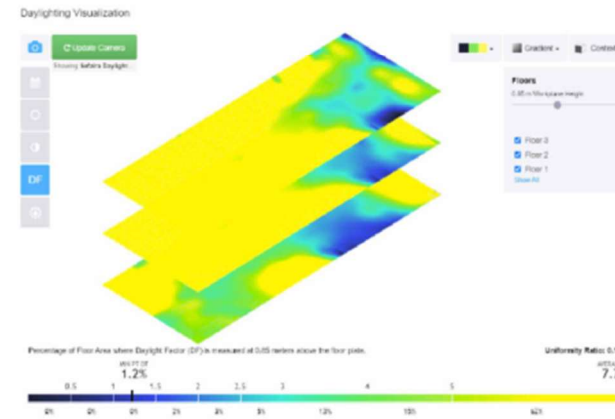
4
1 Fachada Este
1: 200



5
1 Modelo 3D



6
1 Vista de Sefaira



RESULTADOS					
No.	TIPO DE VIDRIO	SDA (%)	ASE (%)	DLF (%)	EUI kWh/m2/yr
Iteración #6	Vidrio claro 6 mm	100	37	7.7	168



CONTENIDO:
Fachadas
Modelo 3D
Vista de Sefaira
Simulación en Sefaira
Resultados Iteración #6

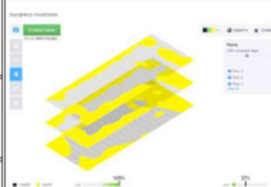
LÁMINAS:
1/1

TUTOR:
ING. VICTOR OROZCO

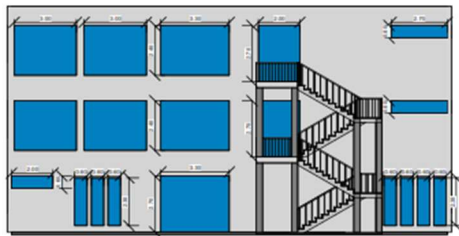
AUTORES:
HAMILTON DIAZ DIAZ
MALENA GARCIA RIVERA

ESCALA:
INDICADAS

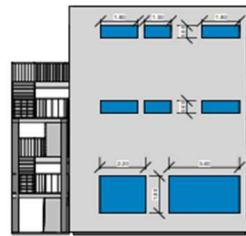
FECHA:
NOV 2025



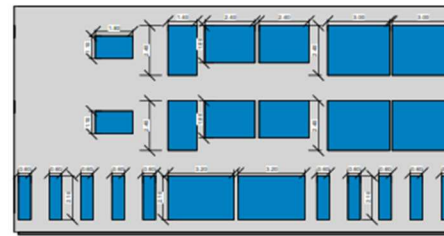
PLANO 7 Iteración #6.



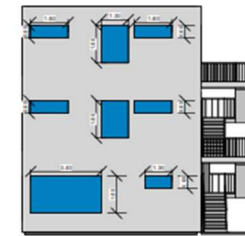
1 Fachada Norte
1 1: 200



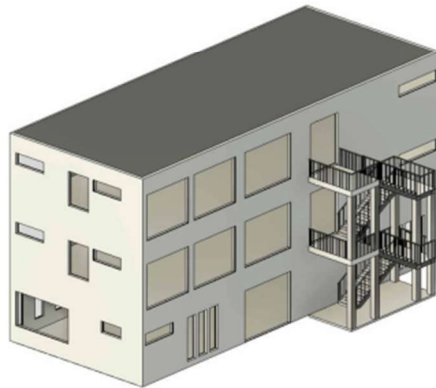
2 Fachada Oeste
1 1: 200



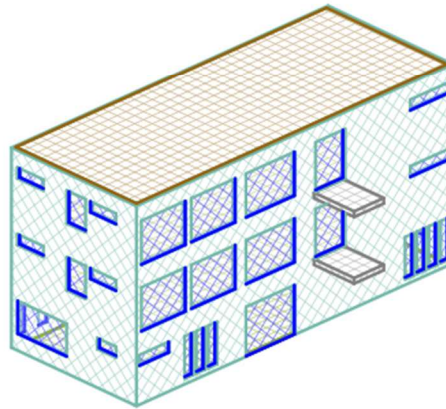
3 Fachada Sur
1 1: 200



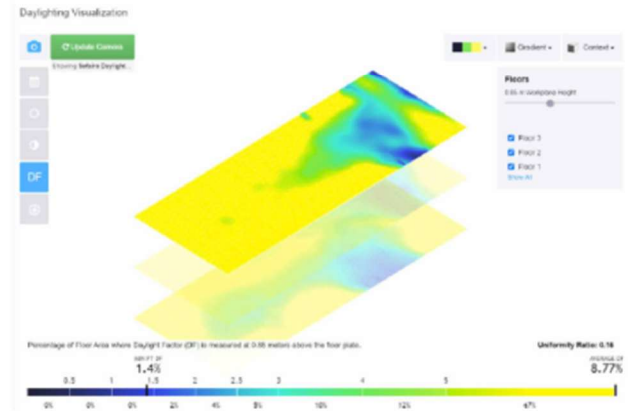
4 Fachada Este
1 1: 200



5 Modelo 3D
1



6 Vista de Sefaira
1



RESULTADOS					
No.	TIPO DE VIDRIO	SDA (%)	ASE (%)	DLF (%)	EUI kWh/m2/yr
Iteración #7	Vidrio claro 6 mm	100	36	8,77	173



CONTENIDO:
Fachadas
Modelo 3D
Vista de Sefaira
Simulación en Sefaira
Resultados Iteración #7

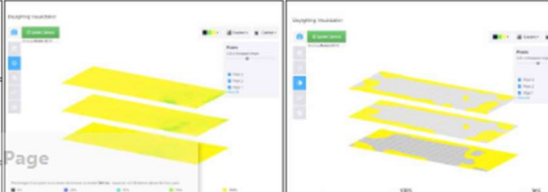
LÁMINAS:
01

TUTOR:
ING. VICTOR OROZCO

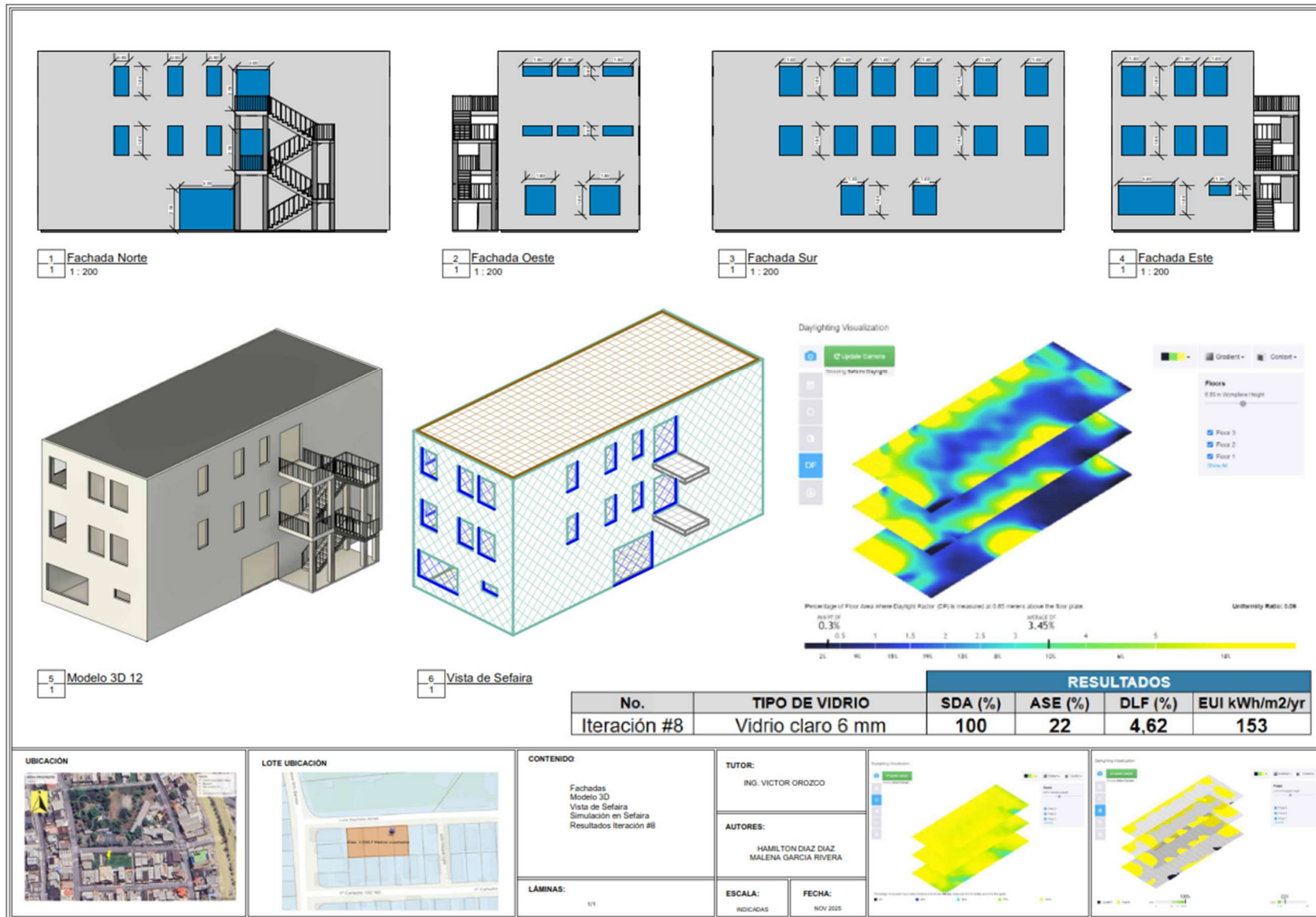
AUTORES:
HAMILTON DIAZ DIAZ
MALENA GARCIA RIVERA

ESCALA:
INDICADAS

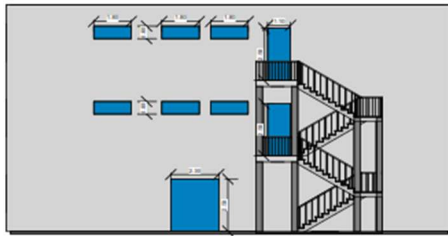
FECHA:
NOV 2016



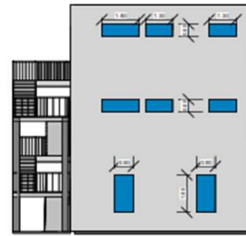
PLANO 8 Iteración #7.



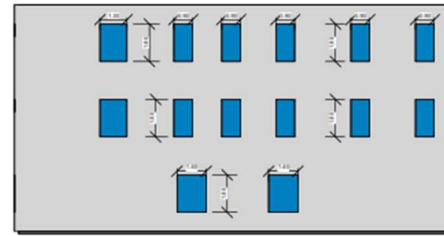
PLANO 9 Iteración #8.



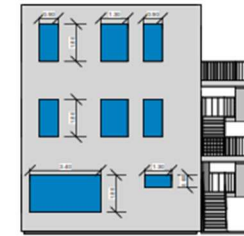
1 Fachada Norte
1 1: 200



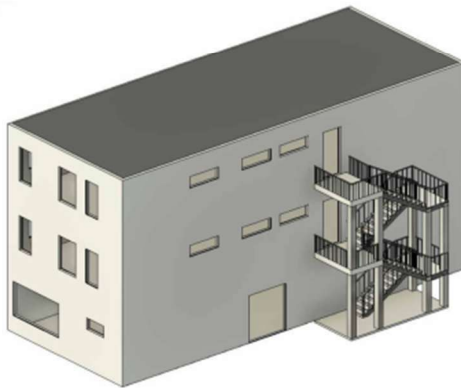
2 Fachada Oeste
1 1: 200



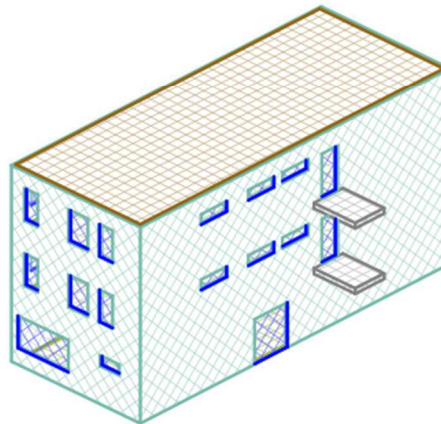
3 Fachada Sur
1 1: 200



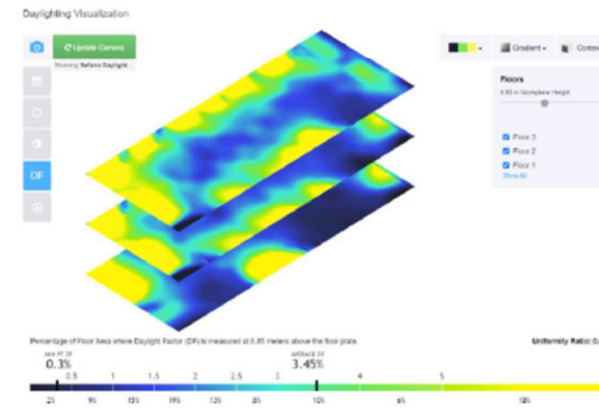
4 Fachada Este
1 1: 200



5 Modelo 3D 13
1



6 Vista de Sefaira
1



RESULTADOS					
No.	TIPO DE VIDRIO	SDA (%)	ASE (%)	DLF (%)	EUI kWh/m2/yr
Iteración #9	Vidrio claro 6 mm	95	18	3,45	147



CONTENIDO

Fachadas
Modelo 3D
Vista de Sefaira
Simulación en Sefaira
Resultados Iteración #9

LÁMINAS:

5/1

TUTOR:

ING. VICTOR OROZCO

AUTORES:

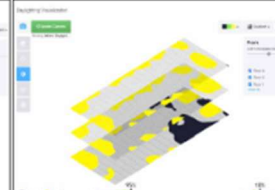
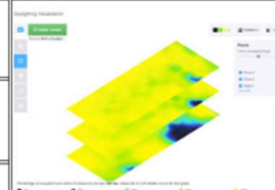
HAMILTON DIAZ DIAZ
MALENA GARCIA RIVERA

ESCALA:

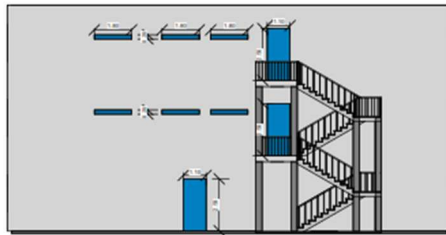
INDICADAS

FECHA:

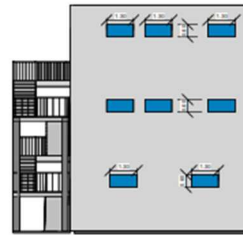
NOV 2025



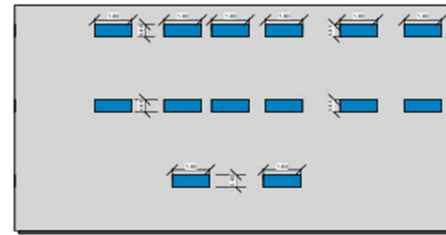
PLANO 10 Iteración #9.



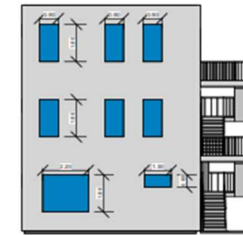
1 Fachada Norte
1: 200



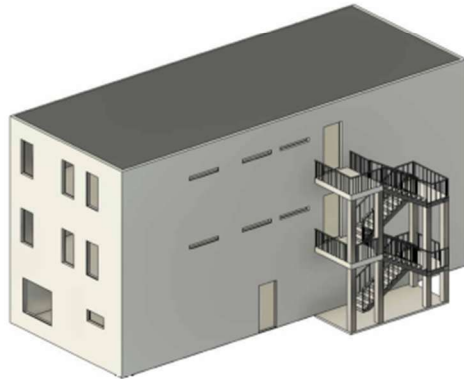
2 Fachada Oeste
1: 200



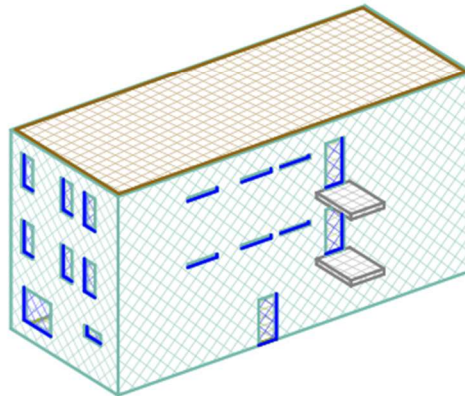
3 Fachada Sur
1: 200



4 Fachada Este
1: 200



5 Modelo 3D
1: 13



6 Vista de Sefaira
1: 1

No.	TIPO DE VIDRIO	RESULTADOS			
		SDA (%)	ASE (%)	DLF (%)	EUI kWh/m2yr
Iteración #10	Vidrio claro 6 mm	77	8	1,98	142
Iteración #11	Vidrio claro 6 mm + bronce	75	14	1,84	142
Iteración #12	Vidrio claro 6 mm + gris	72	13	1,75	141
Iteración #13	Vidrio claro 6 mm + dark grey	28	5	0,78	137
Iteración #14	Vidrio claro 6 mm + verde automotriz	90	16	2,79	141
Iteración #15	Vidrio claro 6 mm + ford blue	79	14	1,98	142
Iteración #16	Vidrio claro 6 mm + dark blue	79	14	2,08	142
Iteración #17	Vidrio claro 6 mm + verde automotriz 6 mm	89	16	2,5	138
Iteración #18	Vidrio claro 6 mm + verde automotriz 6 mm	82	16	2,26	138



CONTENIDO:
Fachadas
Modelo 3D
Vista de Sefaira
Simulación en Sefaira
Resultados Iteración #10 -
Iteración #18

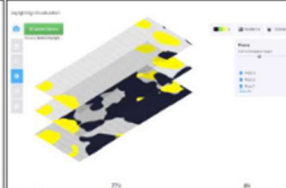
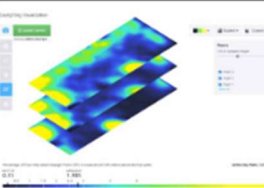
LÁMINAS:
1/1

TUTOR:
ING. VICTOR OROZCO

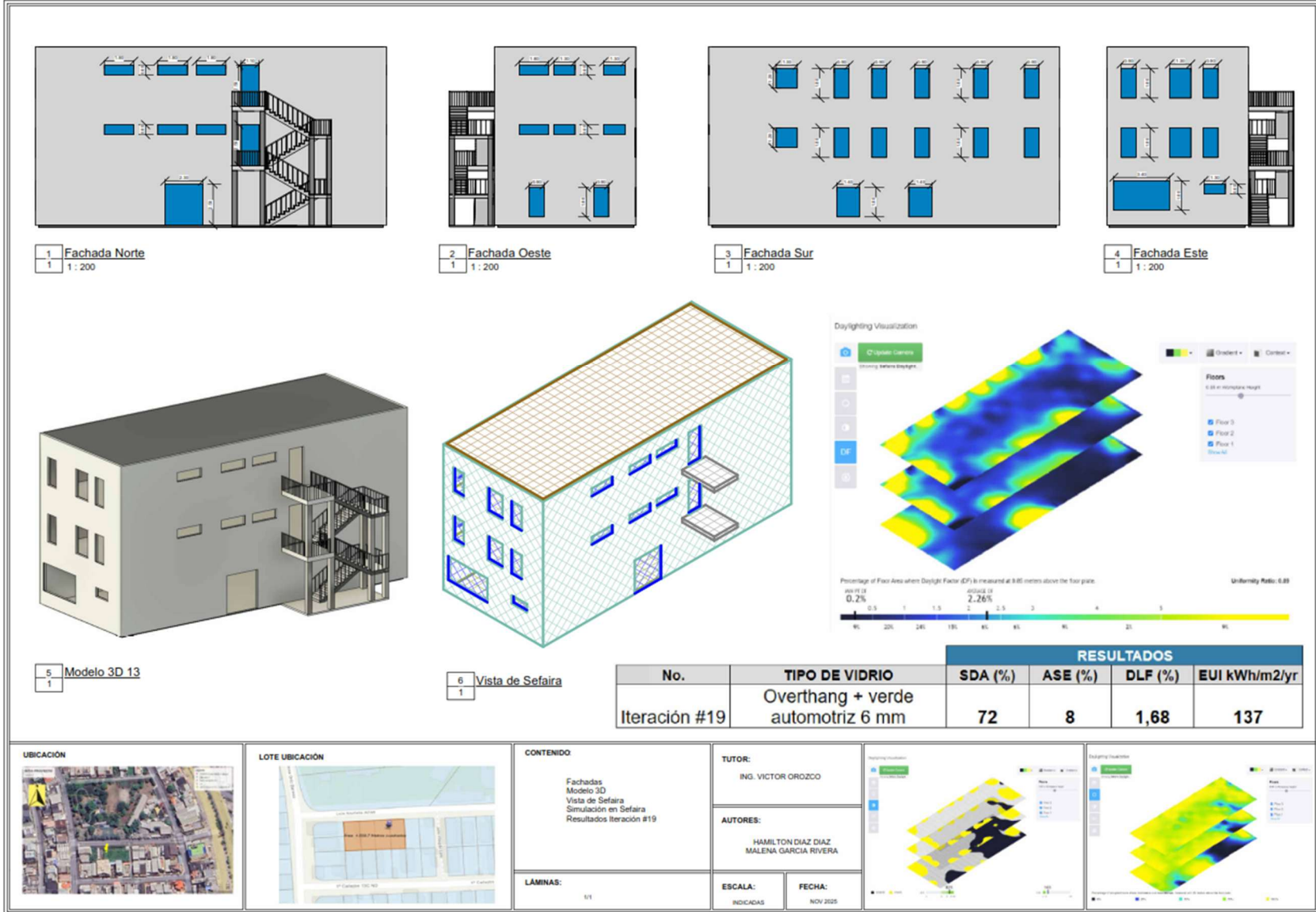
AUTORES:
HAMILTON DIAZ DIAZ
MALENA GARCIA RIVERA

ESCALA:
INDICADAS

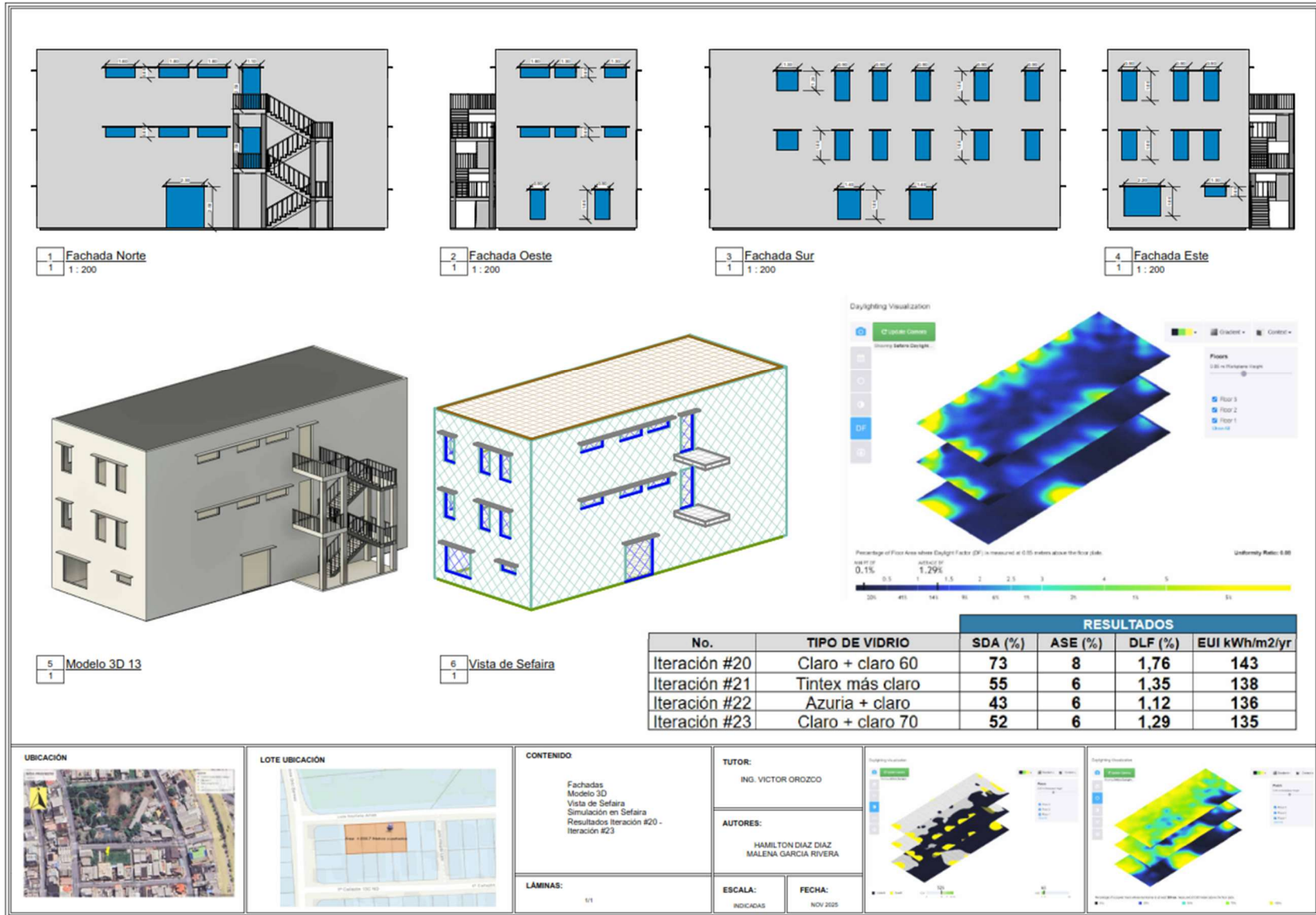
FECHA:
NOV 2025



PLANO 11 Iteración #10 a la Iteración #18.



PLANO 12 Iteración #19.



PLANO 13 Iteración #20 a la Iteración #23.