

**Estrategias de energía solar activa y pasiva para el confort lumínico en las plantas
bajas de las edificaciones del Pasaje El Dorado en la ciudad de Pasto**

**Natalia Vanessa Gamboa Tobar
Santiago David Montenegro Huertas**

**Universidad CESMAG
Facultad de Arquitectura y Bellas Artes
Especialización en Arquitectura y Urbanismo Bioclimático
San Juan de Pasto
2022**

**Estrategias de energía solar activa y pasiva para el confort lumínico en las plantas
bajas de las edificaciones del Pasaje El Dorado en la ciudad de Pasto**

**Natalia Vanessa Gamboa Tobar
Santiago David Montenegro Huertas**

Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de Especialista en Arquitectura
y Urbanismo Bioclimático

Asesor:
Jairo Esteban Posada Gómez
Magister

**Universidad CESMAG
Facultad de Arquitectura y Bellas Artes
Especialización en Arquitectura y Urbanismo Bioclimático
San Juan de Pasto
2022**

El pensamiento que se expresa
en esta obra es de exclusiva
responsabilidad de los autores
y no compromete la ideología
de la Universidad CESMAG.

Dedicatoria

Con gratitud, a Dios Autor de la vida y a mis padres, por acompañarme en esta especialización y darme sabiduría y fuerzas para seguir adelante.

Santiago Montenegro Huertas

A mis padres, por su apoyo incondicional, por estar en todo momento y ayudarme a ser mejor persona cada día, gracias a ellos puedo crecer personal y laboralmente.

Natalia Gamboa Tobar

Agradecimientos

Agradecemos a nuestros padres y familiares por su respaldo y acompañamiento en todo el proceso académico.

A la Universidad Cesmag, docentes de la especialización y a nuestros compañeros de estudio por ser de vital importancia para nuestro desarrollo formativo.

Un agradecimiento especial a nuestro asesor de trabajo de grado Jairo Posada por brindarnos sus conocimientos y experiencia para llevar a final éxito el proyecto investigativo.

Tabla de Contenido

Introducción	22
Aspectos generales del trabajo de grado	23
Objeto o tema de investigación	23
Contextualización	23
Problema de investigación	23
Justificación	24
Objetivos	25
Objetivo general	25
Objetivos específicos	25
Antecedentes	26
Marco teórico	28
Variables de la investigación	31
Hipótesis	33
Metodología	34
Paradigma	34
Enfoque	34
Método	34
Población	34
Muestra	35
Diseño de investigación	35
Técnicas de recolección de la información	35
Instrumentos de recolección de la información	36
Procesamiento de la información	36
Etapas y fases de la investigación	36

Análisis de la radiación solar de las edificaciones del pasaje El Dorado	37
Levantamiento urbano del área de estudio	38
Delimitación del polígono de estudio	38
Rectificación de plano urbano del lugar de estudio	39
Revisión de la topografía del lugar de estudio	42
Identificación de las alturas de las edificaciones	45
Selección de los locales de estudio	48
Identificación de las aperturas de puertas y ventanas	50
Simulación de radiación solar en software	51
Localización geográfica y carga de clima en Desing Builder	51
Importación de plano a Desing Builder	53
Levantamiento de volúmenes y ubicación de aperturas	54
Simulación de radiación solar horaria y anual de las edificaciones	55
Identificación de horas y zonas críticas	59
Realización de la carta solar horaria en solsticios y equinoccios	59
Análisis de la trayectoria solar diaria y anual	59
Identificación de horas de brillo solar anual	63
Diagnóstico del confort lumínico actual de los locales de estudio del pasaje el Dorado	64
Levantamiento arquitectónico de los locales de estudio	64
Mediciones in situ con luxómetro	69
Caracterización general de las zonas y planos de trabajo	69
Identificación de los puntos de medición en cada local	76
Mediciones internas de la luz natural y artificial de los locales de estudio	81
Medición de luz natural en espacio público del pasaje El Dorado	88

Diagnóstico de la luminancia e iluminancia	90
Cálculo de los niveles de iluminancia de cada local de estudio	90
Luminancia de cada local de estudio	101
Cálculo del desempeño de la luz natural en los locales de estudio	102
Simulación de la iluminación de cada local de estudio en Design Builder	103
Revisión de estrategias activas y pasivas para el aprovechamiento de la energía solar en los locales de estudio	110
Métodos de recolección de energía solar	110
Paneles solares fotovoltaicos	110
Recolección de energía electromagnética	114
Calentadores de agua solares	115
Calentador de agua solar de tubo al vacío	115
Estrategias transmisión de la luz natural	116
Proporción de la ventana	116
Repisas de luz	116
Túneles solares	124
Atrios	126
Forma de la ventana	127
Simulación y evaluación de estrategias activas y pasivas aplicadas a los locales de estudio del Pasaje El Dorado	127
Criterios de selección de las estrategias activas y pasivas para cada local	127
Estrategias activas y pasivas para el local 01	129
Simulación del prediseño de un sistema de paneles fotovoltaicos para local 01	131
Simulación de la demanda eléctrica del local 01	133
Evaluación de niveles de generación eléctrica y demanda de electricidad local 01	134

Simulación de estrategias pasivas aplicadas en local 01	135
Evaluación de niveles de Iluminancia UDI con estrategias pasivas aplicadas en local 01	139
Estrategias activas y pasivas para el local 02	140
Simulación del prediseño de un sistema de paneles fotovoltaicos para local 02	142
Simulación de la demanda eléctrica del local 02	142
Evaluación de niveles de generación eléctrica y demanda de electricidad local 02	143
Evaluación de niveles de Iluminancia UDI con estrategias pasivas aplicadas en local 02	142
Simulación de estrategias pasivas aplicadas en local 02	144
Evaluación de niveles de Iluminancia UDI con estrategias pasivas aplicadas en local 02	145
Estrategias activas y pasivas para el local 04	146
Simulación del prediseño de un sistema de paneles fotovoltaicos para local 04	148
Simulación de la demanda eléctrica del local 04	148
Evaluación de niveles de generación eléctrica y demanda de electricidad local 04	149
Simulación de estrategias pasivas aplicadas en local 04	149
Evaluación de niveles de Iluminancia UDI con estrategias pasivas aplicadas en local 04	150
Proceso para el prediseño de túneles solares para el Local 04	151
Conclusiones	155
Recomendaciones	156
Referencias	157
Anexos	160

Lista de figuras

Figura 1. Pasaje El Dorado en la ciudad de Pasto, vista sobre la carrera 23	23
Figura 2. Pasajes existentes alrededor del centro fundacional de Pasto	26
Figura 3. Postulados básicos de la Arquitectura Bioclimática	29
Figura 4. Conceptos claves de la investigación en relación a la Arquitectura Bioclimática	30
Figura 5. Fases de la presente investigación	37
Figura 6. Polígono del área de estudio	39
Figura 7. Fotografías de la medición en sitio	40
Figura 8. Estado inicial del plano urbano del área de estudio	41
Figura 9. Corrección del plano urbano del área de estudio	42
Figura 10. Plano topográfico del área de estudio	43
Figura 11. Síntesis de las curvas de nivel previo a modelado del terreno en Design Builder	44
Figura 12. Adaptación del espacio público del pasaje El Dorado a los desniveles del terreno	45
Figura 13. Cálculo de la altura de una edificación con base en función trigonométrica de tangente	46
Figura 14. Visualización en aplicación Angle Meter del ángulo de inclinación	46
Figura 15. Localización en el pasaje El Dorado de los cuatro locales seleccionados para el estudio	49
Figura 16. Fachadas de los cuatro locales seleccionados para el estudio	50
Figura 17. Plano de aperturas de puertas y ventanas	51
Figura 18. Descarga del archivo climático EPW	52
Figura 19. Comparativo entre archivos climáticos EPW (arriba ClimateOne, abajo MeteoNorm)	53
Figura 20. Sinopsis de la carga de planos de AutoCad a Desing Builder	54
Figura 21. Levantamiento 3D de las edificaciones del área de estudio	55
Figura 22. Simulación de la radiación solar anual sobre las fachadas de los locales de estudio	57

Figura 23. Simulación de la radiación solar anual sobre las fachadas de los locales 03 y 04	58
Figura 24. Análisis de la carta solar de las edificaciones del área de estudio	60
Figura 25. Análisis de la trayectoria solar sobre los edificios donde se inscriben los locales de estudio	62
Figura 26. Planta arquitectónica del local 01	65
Figura 27. Planta arquitectónica del local 02	66
Figura 28. Planta arquitectónica del local 03	67
Figura 29. Planta arquitectónica del local 04	68
Figura 30. Puntos de medición con luxómetro en el local 01	77
Figura 31. Puntos de medición con luxómetro en el local 02	78
Figura 32. Puntos de medición con luxómetro en el local 03	79
Figura 33. Puntos de medición con luxómetro en el local 04	80
Figura 34. Ajuste de rango de visualización de datos en lector del luxómetro	81
Figura 35. Medición con fotorreceptor en posición horizontal y a una altura de 120 centímetros	82
Figura 36. Medición externa frente a la ventana de uno de los locales de estudio	83
Figura 37. Registro fotográfico del cielo al término de las mediciones en cada local de estudio	87
Figura 38. Registro fotográfico del techo y luminarias en cada local de estudio	88
Figura 39. Medición con luxómetro en espacio público del pasaje El Dorado	89
Figura 40. Registro fotográfico del cielo en pasaje El Dorado durante medición externa	90
Figura 41. Niveles de iluminancia en zonas de tarea visual registrados in situ en local 01	94
Figura 42. Niveles de iluminancia en zonas circundantes registradas in situ en local 01	95
Figura 43. Niveles de iluminancia en zonas de tarea visual registrados in situ en local 02	97
Figura 44. Niveles de iluminancia en zonas circundantes registradas in situ en	98

local 03

Figura 45. Niveles de iluminancia en zonas circundantes registradas in situ en local 04	100
Figura 46. Configuración de los materiales de bloques de edificio de cada local	104
Figura 47. Métrica UDI en la interfaz del módulo Daylighting de Design Builder	105
Figura 48. Configuración de opciones de cálculo de la Métrica UDI	106
Figura 49. Análisis de Iluminancia Útil de Luz Natural – Rango 500-1000 lx en local 01	107
Figura 50. Análisis de Iluminancia Útil de Luz Natural – Rango 300-1000 lx en local 02	109
Figura 51. Análisis de Iluminancia Útil de Luz Natural – Rango 500-1000 lx en local 04	110
Figura 52. Edificio de estudio	112
Figura 53. Planta cubierta del edificio en estudio	113
Figura 54. Esquema edificio de estudio	114
Figura 55. Plano de Ubicación	117
Figura 56. Planta general de la vivienda multifamiliar	118
Figura 57. Ambiente escogido para el análisis	119
Figura 58. Gráfico de obstrucciones solares	119
Figura 59. Detalle de la propuesta de la repisa de luz en el caso B	124
Figura 60. Vista en planta de la repisa de luz	125
Figura 61. Corte A-A de la repisa de luz en el caso B	126
Figura 62. Generación de energía eléctrica suplida por sistema de paneles fotovoltaicos del local 01	133
Figura 63. Demanda mensual de energía eléctrica del local 01	134
Figura 64. Configuración de propiedades de superficie aplicadas a repisa solar del local 01	136
Figura 65. Configuración del ítem solar en la pestaña simulation de Model Options	137
Figura 66. Simulación de estrategias de iluminación natural aplicadas al local 01	138

Figura 67. Simulación de estrategias de iluminación natural aplicadas al local 01	139
Figura 68. Demanda mensual de energía eléctrica del local 02	143
Figura 69. Simulación de estrategias de iluminación natural aplicadas al local 02	145
Figura 70. Demanda mensual de energía eléctrica del local 04	148
Figura 71. Simulación de estrategias de iluminación natural aplicadas al local 04	150
Figura 72. Tipo de tubo para túnel solar según cubierta y altura de entrepiso	152
Figura 73. Comparativo del rendimiento lumínico de distintas fuentes luminosas según Velux	153

Lista de tablas

Tabla 1. Cálculo de las alturas de las edificaciones	47
Tabla 2. Horas de brillo solar (1000 W/m^2) en la ciudad de Pasto durante 2014	63
Tabla 3. Caracterización general de las zonas y planos de trabajo del local 01	69
Tabla 4. Caracterización general de las zonas y planos de trabajo del local 02	71
Tabla 5. Caracterización general de las zonas y planos de trabajo del local 03	72
Tabla 6. Caracterización general de las zonas y planos de trabajo del local 04	74
Tabla 7. Datos de las mediciones con luxómetro en el local 01	84
Tabla 8. Datos de las mediciones con luxómetro en el local 02	85
Tabla 9. Datos de las mediciones con luxómetro en el local 04	85
Tabla 10. Cantidad de luxes en espacio público del pasaje El Dorado	89
Tabla 11. Valores mínimos de iluminancia por tipo de actividad	91
Tabla 12. Valores de iluminancia de actividades relacionadas con las de los locales de estudio	92
Tabla 13. Relación entre iluminancia de zonas circundantes al área de tarea y valores de uniformidad correspondientes	93
Tabla 14. Valores límites de reflectancia recomendados para superficies interiores	101
Tabla 15. Valoración de porcentajes de iluminación útil en el rango de 200-3000 luxes	107
Tabla 16. Cantidad de horas de ingreso solar por estación del año	120
Tabla 17. Ángulo de ingreso solar por estación del año	121
Tabla 18. Gráfico de colores falsos	122
Tabla 19. Uniformidad promedio anual	123
Tabla 20. Formato de matriz de selección de estrategias activas y pasivas factible en cada local.	128
Tabla 21. Matriz de selección de estrategias activas y pasivas factibles en el local 01	129

Tabla 22. Ejemplo de la configuración de la hoja de cálculo IFV del software PHPP	132
Tabla 23. Matriz de comparación entre generación y demanda eléctrica por iluminación en local 01	135
Tabla 24. Matriz de evaluación de niveles de iluminancia UDI con estrategias pasivas en Local 01	140
Tabla 25. Matriz de selección de estrategias activas y pasivas factibles en el local 02	141
Tabla 26. Matriz de comparación entre generación y demanda eléctrica por iluminación en Local 02	144
Tabla 27. Matriz de evaluación de niveles de iluminancia UDI con estrategias pasivas en Local 02	146
Tabla 28. Matriz de selección de estrategias activas y pasivas factibles en el local 04	146
Tabla 29. Matriz de comparación entre generación y demanda eléctrica por iluminación en Local 04	149
Tabla 30. Matriz de evaluación de niveles de iluminancia UDI con estrategias pasivas en Local 04	151
Tabla 31. Comparativo de niveles de iluminancia UDI en locales originales y con estrategias aplicadas	154

Lista de anexos

Anexo 01. Permiso para acceder a los locales del pasaje el dorado	160
Anexo 02. Permiso para acceder a los locales del pasaje el dorado	161

Resumen

La arquitectura y urbanismo bioclimático busca generar una integración al medio ambiente, propiciar espacios saludables y confortables, además del uso eficiente de la energía y los recursos. En este sentido el objetivo general del presente trabajo fue establecer estrategias de energía solar activa y pasiva para el confort lumínico en las plantas bajas de las edificaciones del pasaje El Dorado en la ciudad de Pasto.

La metodología aplicada correspondió a una investigación con enfoque cuantitativo y un método científico en el que se estudió, a manera de pre-experimento, la incidencia de la radiación solar en cuatro locales ubicados en las plantas bajas de las edificaciones del pasaje El Dorado, con una posición y condiciones morfológicas distintas, para luego, en un diseño de preprueba y postprueba que incluyó mediciones in situ con luxómetro y uso de los softwares Design Builder y PHPP, evaluar el confort lumínico y la demanda de energía eléctrica para iluminación bajo las condiciones actuales de iluminación natural y artificial de los locales de estudio frente a los valores registrados en las simulaciones con las estrategias activas y pasivas ya aplicadas.

Desarrollado el proceso metodológico, los resultados indicaron que los locales estudiados no cumplen con los niveles de iluminación requeridos para las tareas visuales; factores como la orientación y condiciones morfológicas de las edificaciones, como también el porcentaje de área vidriada de las fachadas hacen que la iluminación natural proveniente de la radiación solar sea obstruida. A partir de este diagnóstico del confort lumínico se revisaron estrategias activas y pasivas para el aprovechamiento de la luz natural y se escogieron para la aplicación en los locales de estudio, los paneles solares fotovoltaicos, la ampliación del porcentaje de área vidriada en fachada y las repisas solares. Posteriormente, se simuló en el programa Design Builder las estrategias pasivas y aunque se obtuvo un incremento de horas de iluminación natural, los niveles de iluminación apropiados para cada tarea visual requerían

el complemento de la iluminación artificial, para lo cual resultó útil la aplicación de la estrategia activa mediante la propuesta y cálculo de un sistema fotovoltaico en el software PHPP.

Se concluyó, por tanto, que las estrategias de energía solar activa y pasiva simuladas, aunque si reducen el consumo de energía eléctrica por iluminación, cuando funcionan por si solas o de manera aislada no contribuyen a mejorar el confort lumínico de los locales de estudio de las plantas bajas de las edificaciones del Pasaje El Dorado; por tanto, deben diseñarse y trabajar de manera conjunta.

Palabras clave: Radiación Solar, Confort Lumínico o Visual, Iluminación Natural, Energía Solar Activa y Pasiva.

Abstract

Bioclimatic architecture and urbanism seeks to integrate with the environment, promote healthy and comfortable spaces, as well as the efficient use of energy and resources. In this sense, the general objective of this work was to establish active and passive solar energy strategies for lighting comfort on the ground floors of buildings in the El Dorado passage in the city of Pasto.

The methodology applied corresponded to a research with a quantitative approach and a scientific method in which the incidence of solar radiation was studied, as a pre-experiment, in four premises located on the ground floors of the buildings of the El Dorado passage, with a different position and morphological conditions, and then, in a pre-test and post-test design that included in situ measurements with a lux meter and the use of Design Builder and PHPP software, to evaluate lighting comfort and the demand for electrical energy for lighting under current conditions. of natural and artificial lighting of the study premises compared to the values recorded in the simulations with the active and passive strategies already applied.

Once the methodological process was developed, the results indicated that the studied premises do not meet the lighting levels required for visual tasks; Factors such as the orientation and morphological conditions of the buildings, as well as the percentage of glazed area of the facades cause the natural lighting from solar radiation to be obstructed. Based on this diagnosis of light comfort, active and passive strategies for the use of natural light were reviewed and the photovoltaic solar panels, the expansion of the percentage of glazed area on the façade and the shelves were chosen for application in the study premises. solar. Subsequently, the passive strategies were simulated in the Design Builder program and although an increase in hours of natural lighting was obtained, the appropriate lighting levels for each visual task required the complement of artificial lighting, for which the application of the

active strategy through the proposal and calculation of a photovoltaic system in the PHPP software.

It was concluded, therefore, that the simulated active and passive solar energy strategies, although they do reduce the consumption of electrical energy for lighting, when they work by themselves or in isolation, do not contribute to improving the lighting comfort of the study premises of the ground floors of the buildings in Pasaje El Dorado; therefore, they must be designed and work together.

Keywords: Solar Radiation, Light or Visual Comfort, Natural Lighting, Active and Passive Solar Energy.

Introducción

En la presente investigación se establecen estrategias de energía solar activa y pasiva para el confort lumínico de 4 locales emplazados en las plantas bajas de las edificaciones del pasaje El Dorado, el cual se localiza en la ciudad de Pasto, Departamento de Nariño-Colombia, a una altitud de 2527 m.s.n.m. y coordenadas: 1°12'47" de latitud norte y 77°16'47" de longitud oeste.

La investigación se desarrolla porque las plantas bajas de las edificaciones del pasaje El Dorado no reciben radiación solar directa durante gran parte del día y de los meses del año, provocando que estos espacios sean oscuros y requieran de luz artificial eléctrica. Se busca entonces aprovechar la luz solar de forma pasiva mediante estrategias de iluminación natural y de forma activa a través de artefactos que transforman la energía solar en energía eléctrica para ser luego usada en iluminación artificial.

La investigación se realizará desde un paradigma positivista, con un enfoque cuantitativo y un método científico. Se tomará como casos de estudio cuatro locales del pasaje con condiciones morfológicas y de radiación solar distintas. La investigación corresponde al tipo explicativo y el diseño de investigación es preexperimental. Como técnicas de recolección de la información se aplicarán: la revisión documental y la medición de radiación solar directa y de iluminancia. Finalmente, para el procesamiento de la información se emplearán los softwares Design Builder y Velux.

Al culminar esta investigación se determinará la factibilidad de aplicar las estrategias propuestas de energía solar activa y pasiva en los locales de estudio al evaluar los niveles de mejora del confort lumínico y la reducción del consumo de energía eléctrica destinada a iluminación.

Aspectos generales del trabajo de grado

Objeto o tema de investigación

En este trabajo de grado se estudiarán los locales comerciales de las primeras plantas de las edificaciones que conforman el pasaje El Dorado.

Contextualización

El pasaje El Dorado, ubicado en la comuna 1 de la ciudad de San Juan de Pasto, entre las calles 16 y 17 y las carreras 23 y 24, se diseñó y construyó por Ernesto Erazo entre los años 1966 y 1972 (Jojoa, 2015). Se caracteriza por usos de bajo impacto, que incluyen servicios de peluquería y comercio de distribuidoras de productos de belleza en las primeras plantas, mientras que en las plantas superiores se encuentran viviendas y hoteles.

Figura 1

Pasaje El Dorado en la ciudad de Pasto, vista sobre la carrera 23.



Fuente: Google Maps (2019).

Problema de investigación

Planteamiento del problema. Las plantas bajas de las edificaciones del pasaje El Dorado no reciben radiación solar directa durante gran parte del día y de los meses del año, provocando espacios oscuros que requieren luz artificial eléctrica. Esta problemática alude a la

configuración espacial propia del pasaje El Dorado, condicionada por la altura de los volúmenes arquitectónicos y la distancia entre ellos.

En caso de persistir la ausencia de radiación solar directa en las plantas bajas de las edificaciones del pasaje, el confort lumínico de los usuarios seguirá dependiendo del uso de la luz artificial y con ello el consumo energético se prolongará en los próximos años.

Formulación del problema. La pregunta de investigación del presente trabajo de grado es: ¿Cómo lograr el confort lumínico en las plantas bajas de las edificaciones del pasaje El Dorado ante la ausencia de radiación solar directa y la necesidad de reducir el consumo eléctrico?

Justificación

El presente estudio será conveniente por cuanto es útil para mejorar el confort lumínico de las plantas bajas de las edificaciones del pasaje El Dorado y con las estrategias a proponer se beneficiarán los trabajadores de los locales dedicados al comercio de productos de belleza y servicios de peluquería, como también sus clientes.

El valor teórico que aporta este estudio radica en conocer estrategias activas y pasivas para el aprovechamiento de la energía solar en edificaciones insertas en pasajes urbanos y con poca disponibilidad de radiación solar directa.

Desde el punto de vista metodológico, la investigación permitirá establecer algunos indicadores que faciliten la evaluación y selección de estrategias activas y pasivas para el aprovechamiento de la energía solar en pro del confort lumínico. Además, el estudio permitirá abordar el problema del alto consumo energético para la iluminación derivado de la baja radiación solar directa.

Es de interés generalizado para los trabajadores de las distribuidoras de productos de belleza y peluquerías del pasaje El Dorado como también los clientes que frecuentan este pasaje por su ubicación estratégica en el Centro Histórico de Pasto, encontrar una solución a la dependencia de luz artificial eléctrica por la ausencia de radiación solar directa. Por lo que se

da respuesta a esta necesidad, de manera innovadora, a través de estrategias activas y pasivas para el aprovechamiento de la energía solar mediante el uso de dispositivos como paneles fotovoltaicos o conductores de luz solar ubicados en las zonas altas de las edificaciones del pasaje; donde se capta mayor radiación solar directa, para luego ser transmitida hacia las plantas bajas de las edificaciones, que son las zonas con menor radiación solar directa.

Objetivos

Objetivo general. Establecer estrategias de energía solar activa y pasiva para el confort lumínico en las plantas bajas de las edificaciones del pasaje El Dorado en la ciudad de Pasto.

Objetivos específicos.

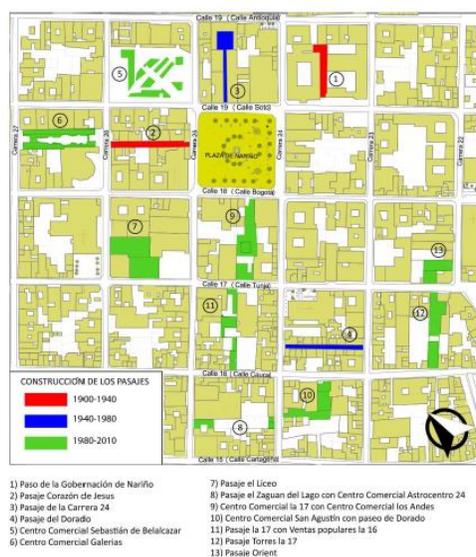
- Analizar la radiación solar sobre las edificaciones de la pieza urbana del pasaje El Dorado.
- Diagnosticar el confort lumínico actual de las plantas bajas de las edificaciones del pasaje El Dorado.
- Identificar estrategias activas y pasivas para el aprovechamiento de la energía solar que sean factibles para las plantas bajas de las edificaciones del pasaje El Dorado y que generen el confort lumínico requerido.
- Simular y evaluar las estrategias activas y pasivas aplicadas a los locales de estudio de acuerdo a los niveles de confort lumínico y reducción del consumo eléctrico por iluminación alcanzados.

Antecedentes

Como un primer acercamiento al contexto histórico y espacial del pasaje El Dorado, se consultó la tesis de grado titulada: *Los pasajes en San Juan de Pasto: Su incidencia en la ciudad construida y la ciudad planeada*, en la cual su autora María Rosa Jojoa Zamora relata la aparición de los primeros pasajes de la ciudad a principios del siglo XX, cuando se empezaron a fragmentar las manzanas cerradas típicas de la fundación para dar paso a nuevas edificaciones, dejando espacios residuales que fueron aprovechados para la movilidad peatonal y en algunos otros casos incluso para el tránsito vehicular. Si bien la investigación enfatiza en tres pasajes de las manzanas circundantes a la plaza de Nariño, al final presenta un inventario de los otros pasajes presentes en el Centro Histórico de Pasto, en el que se incluye una breve reseña del Pasaje el Dorado, la cual contiene datos de éste como: años de construcción, usos principales, edificaciones en su entorno y planimetría básica (Zamora, 2015).

Figura 2

Pasajes existentes alrededor del centro fundacional de Pasto.



Fuente: Jojoa (2015).

Luego, como parte del proceso investigativo y en busca de la comprensión del concepto de captación solar activa y su diferencia con la captación pasiva, se consultó el segundo antecedente que se titula: *Criterios de integración de energía solar activa en arquitectura*, de los autores Esteban Zalamea León y Felipe Quesada, a través del cual se exploró algunas estrategias de aprovechamiento de la energía solar de tipo activo como colectores solares térmicos para el uso en calefactores y en agua caliente sanitaria y colectores fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica usada en equipos e iluminación. Se determina así mismo algunos criterios formales y de orientación de la edificación según la disponibilidad de radiación solar y otras condiciones climáticas del lugar donde se van a implementar estas soluciones dadas por la latitud y la trayectoria solar diaria y estacional además del uso de la edificación. Finalmente, los autores revisan las características formales y físicas de los colectores térmicos y fotovoltaicos y el modo de integrarlos a la envolvente de la edificación de manera estética guardando relación con la geometría y materiales existentes, pero sin afectar la funcionalidad de los mismos (León & Quesada, 2017).

Dado que el presente trabajo de grado incluye dentro de los instrumentos de recolección de información, la revisión documental y algunas mediciones de variables, se consultó el proyecto titulado: *Confort lumínico y consumo energético como parámetro para el diseño de vivienda colectiva*, de la autora Danna Avellaneda Álvarez. El cual aportó un modelo de encuesta que permite conocer el confort lumínico de los usuarios en las edificaciones de estudio, así como el consumo eléctrico detallado por equipos e iluminación. Por otra parte, el trabajo consultado permite el acercamiento a otra herramienta computacional complementaria para la simulación de radiación solar, tal como es el software LadyBug, con el cual se identifica la cantidad de kWh de acuerdo con una paleta de colores y así determinar la orientación óptima de una edificación según el grado de exposición de las distintas fachadas a la radiación solar (Avellaneda, 2020).

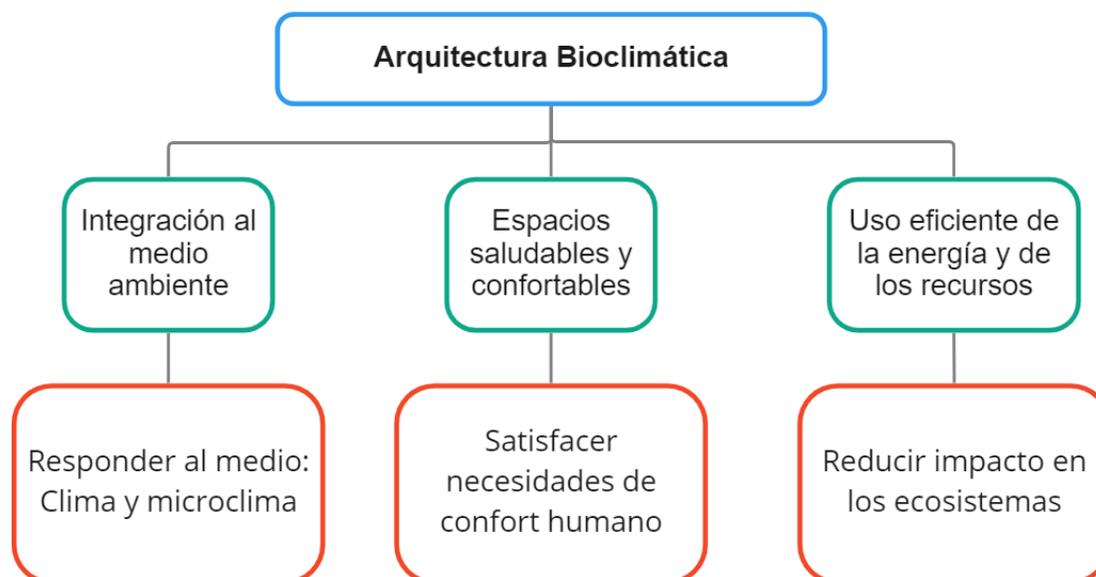
Así mismo, se consultó el artículo de investigación titulado: *Evaluación postocupacional del confort lumínico en edificios de oficina*, de las autoras Anna Ramírez y Beatriz Piderit. Esta investigación aporta un modelo metodológico que permite evaluar el confort lumínico de las oficinas del Fondo de Vigilancia y Seguridad de Bogotá, una edificación ya construida y habitada, mediante encuestas a los usuarios que son luego confrontadas con mediciones fotométricas y simulaciones dinámicas. Además, presenta los efectos del habitar en una edificación con problemáticas en su diseño, que se ven reflejados en la salud física, mental y emocional de quienes lo habitan (fenómeno conocido como síndrome del edificio enfermo). Y concluye, resaltando las implicaciones que conlleva un tipo constructivo caracterizado por grandes ventanales en vidrio, recurrente en edificios de oficinas, que no considera la habitabilidad de los usuarios finales, quienes quedan expuestos a problemas de deslumbramiento, fatiga visual e incremento de ganancias solares con el agravante de la carencia de mecanismos de control (Ramírez & Piderit, 2017).

Marco teórico

El trabajo de grado a desarrollar se inscribe dentro de la teoría de la arquitectura bioclimática; la cual, como se indica en la figura 3, se fundamenta en tres postulados: Espacios saludables y confortables, Integración al medioambiente y el Uso eficiente de la energía y los recursos. Entre los autores pioneros y destacados del estudio de la bioclimática en la arquitectura se encuentran Víctor Olgyay, Baruch Givoni y Ester Higuera.

Figura 3

Postulados básicos de la Arquitectura Bioclimática.



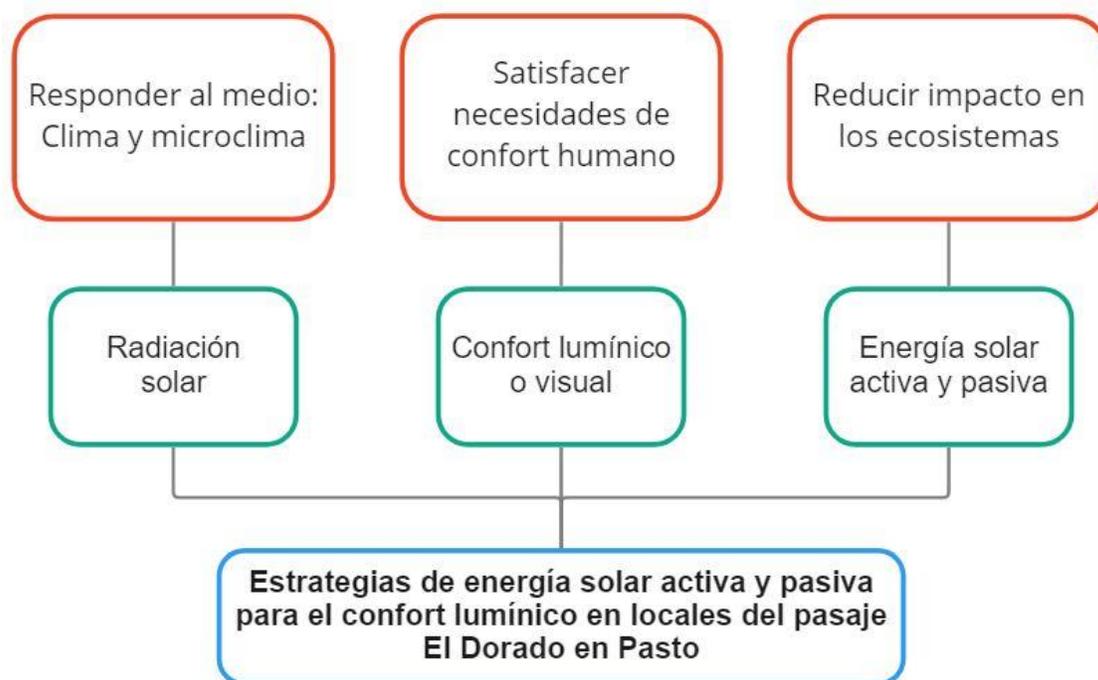
Fuente: Elaboración propia (2022), a partir de Olgay (2009).

Bajo los postulados de Olgay, la arquitectura bioclimática se comprende como un método de diseño sistemático en el que, de acuerdo a una revisión primaria de las condiciones climáticas y su influencia en un proyecto específico, paso seguido de una definición de las necesidades de confort humano de quienes han de habitar en ese espacio, se establecen las soluciones constructivas o arquitectónicas (Olgay, 2009, como se citó en Cifuentes, 2021).

Dicho de ese modo, siguiendo el método de diseño planteado por Olgay y de acuerdo con los objetivos específicos de esta investigación, los conceptos claves que se abordarán en el desarrollo de este proyecto son: la radiación solar, el confort lumínico o visual y las estrategias activas y pasivas para el aprovechamiento de la energía solar. El siguiente mapa mental, en la figura 4, muestra la manera como cada concepto clave responde a los objetivos de los tres postulados de la arquitectura bioclimática:

Figura 4

Conceptos claves de la investigación en relación a la Arquitectura Bioclimática.



Fuente: Elaboración propia (2022)

El primer concepto clave que aborda la investigación es la radiación solar, ésta se refiere a la energía solar incidente en una superficie terrestre y se manifiesta como: radiación directa, cuando proviene directamente del sol; radiación difusa, aquella que es producida por la dispersión de la radiación del sol en la atmósfera y la radiación reflejada, que se relaciona con la cantidad de radiación que la superficie terrestre refleja de acuerdo al coeficiente conocido como albedo (Higueras, 2010, p. 89).

Es conveniente resaltar que la energía que el sol emite por radiación electromagnética está compuesta por ondas de baja frecuencia o infrarrojas (800 nm a 100 μ m) que generan calor y por ondas de alta frecuencia o ultravioletas (10 nm a 400 nm) las cuales intervienen en procesos como la fotosíntesis y son aprovechadas en particular en sistemas fotovoltaicos; ambas hacen parte del espectro no visible al ojo humano (Eraso et al., 2014). En tanto que las

ondas con una longitud entre los 380 y 780 nm corresponden al espectro visible y son las que estimulan al ojo humano percibir el color y los detalles dentro de una actividad visual (Robles, 2014).

El segundo concepto es el confort lumínico o visual, el cual se define como: “una condición subjetiva que se presenta bajo una sensación de bienestar cuando observa objetos o realiza tareas visuales sin molestias ni fatiga, gracias a la adecuada combinación de calidad y cantidad de iluminación” (Robles, 2014, p. 41).

El tercer concepto es la Energía Solar Activa y Pasiva, entendida como estrategias para aprovechar la energía proveniente de la radiación solar. En la activa, la energía solar es transformada en energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos para luego ser usada en iluminación artificial o en aparatos eléctricos. Mientras que, en la pasiva, la radiación solar se capta directamente por la envolvente de las edificaciones y se aprovecha en iluminación, calefacción y agua caliente, sin requerir una transformación energética (Carrasco, 2021). En lo que se refiere a iluminación específicamente, se emplean también colectores o túneles solares, dispositivos que captan y redirigen la luz solar, mas no involucran una transformación energética (Velux, 2022).

Variables

En cuanto a la radiación solar, las variables a medir son: la irradiancia, la trayectoria solar y los tipos de cielo. La irradiancia se refiere a “la potencia por unidad de área normal a la dirección de propagación expresada en vatios por metro cuadrado” (Eraso et al., 2014) y la variable de tipos de cielo hace referencia a los factores que condicionan la disponibilidad de luz solar en un lugar en particular; entre ellos: la latitud, el clima y la nubosidad; estableciendo tres tipos: cielo cubierto, cielo claro y cielo nublado (Robles, 2014).

En lo que respecta al confort visual, éste no solo evalúa la cantidad de luz sino también la calidad de ésta. Dentro de la cantidad de iluminación, las variables a medir son la iluminancia

y luminancia, requeridas para evaluar que tanta información visual recolecta el usuario para el reconocimiento de los objetos que le rodean. En tanto que la calidad de la iluminación toma en cuenta la uniformidad de la iluminancia, el equilibrio de luminancias y el nivel de deslumbramiento; variables que evalúan el nivel de rendimiento visual necesario para la óptima realización de una tarea (Robles, 2014).

La variable de la iluminancia se define como: “la cantidad de flujo luminoso (lumen) que es emitido por una fuente de luz y que llega de manera vertical u horizontal a una superficie” (Robles, 2014). La unidad de medida de la iluminancia es el Lux (lx) y resulta del cociente entre un lumen (lm) y el área de una superficie (m^2). De manera complementaria, como se detalló anteriormente, en el confort lumínico o visual se estudia la luminancia, la cual “corresponde a las diferentes intensidades luminosas por unidad de área, emitidas o reflejadas por las fuentes de luz y las superficies que nos rodean” (Saint-Gobain, 2016, como se citó en Franco, 2019). La luminancia se mide en candelas (cd) sobre metro cuadrado (m^2).

Con relación a la calidad de la iluminación, la primera variable a analizar es la Uniformidad de la iluminancia, la cual se mide a partir de los valores máximos y mínimos de iluminancia registrados en una cuadrícula de medición, esto con el fin de generar un equilibrio entre la cantidad de iluminación que reciben las zonas de trabajo visual con respecto a las zonas de tránsito próximas y evitar variaciones drásticas que pueden generar molestias visuales (Robles, 2014). La segunda variable es el Equilibrio o Distribución de luminancias mediante la cual se busca una relación de luminancias, entre una tarea visual (más específicamente un objeto) y un plano de fondo, que permita una adaptación visual adecuada. Para ello se requiere conocer los valores de luminancia que posee cada superficie de acuerdo a su coeficiente de reflexión dado por el material y color (Términos de Referencia Estandarizados (TDR_e), CITEC. UBB, 2016). Para terminar, en lo que respecta a la calidad de la iluminación, se evalúa el Nivel de deslumbramiento, que se explica de manera sintética,

según el TDR (2016), como la incomodidad que producen en la visión algunas partes del campo visual muy brillantes.

En cuanto a la Energía Solar Activa (aquella que implica una transformación energética) inmersa en el área de estudio de las energías renovables, las principales variables son: brillo solar y el consumo de energía eléctrica o demanda.

La variable del brillo solar u hora sol, como lo explica Eraso et al. (2014) se entiende como la cantidad de horas que un lugar en particular recibe una irradiancia equivalente a 1000 W/hm² durante un día. En tanto que la variable del consumo de energía eléctrica mensual o demanda, según la CREG (2022), es el valor facturado a un usuario que resulta de: “multiplicar el consumo (medido en kilovatios hora, kWh) por el costo del kilovatio hora en el respectivo mes (CU)”. El consumo mensual, a su vez, resulta de multiplicar la potencia nominal (W) de cada equipo; sea de iluminación o de un electrodoméstico, por la cantidad y el uso diario (h) de cada artefacto, luego, el resultado obtenido en Watts por hora (wh) se divide entre 1000 para que corresponda con la medida en Kilowatts hora (Kwh).

Por otra parte, las variables a medir dentro de la Energía Solar Pasiva, asumida en esta investigación como estrategias para aprovechar en particular la iluminación natural, son: la forma y dimensiones de los espacios, porcentaje de obstrucción de la luz, área neta de superficie vidriada y los índices o coeficientes de reflexión y transmisión de las superficies.

Hipótesis

La hipótesis de investigación que se formula en este trabajo de grado es la siguiente:

Hi: Las estrategias de energía solar activa y pasiva contribuyen al confort lumínico de las plantas bajas de las edificaciones del Pasaje El Dorado.

Por lo tanto, la hipótesis nula es:

Ho: Las estrategias de energía solar activa y pasiva no contribuyen al confort lumínico de las plantas bajas de las edificaciones del Pasaje El Dorado.

Metodología

Paradigma. La investigación aquí desarrollada se inscribe en el Positivismo dado que el objeto de estudio, las plantas bajas de las edificaciones del Pasaje El Dorado y la incidencia de la radiación solar sobre las mismas, son objetos materiales cuya realidad es única, fragmentable, tangible y regida por leyes.

Así mismo, se inscribe en este paradigma porque las explicaciones de los hechos se sustentan mediante relaciones causales, verificaciones, predicción de los fenómenos y generalizaciones. Además, porque el conocimiento generado en la presente investigación es de tipo técnico, expresado mediante leyes universales y se asume una relación de independencia entre el sujeto que conoce y el objeto de conocimiento (Quijano, 2012 2009, p. 86).

Enfoque. La investigación se aborda desde un enfoque cuantitativo, es decir, que los datos aquí presentados corresponden a propiedades o características que se pueden cuantificar (Quijano, 2009).

Método. La investigación se realiza desde el método científico; se observan fenómenos físicos, se usan variables medidas por instrumentos de precisión, se formula una hipótesis y es demostrada a través de experimentos puntuales en una muestra de población (Quijano, 2009).

Población. La población de estudio se conforma por veinticuatro (24) locales ubicados en las plantas bajas de las edificaciones del Pasaje El Dorado, espacios ocupados por los trabajadores y clientes de las distribuidoras de productos de belleza y peluquerías (no se estudian las recepciones de dos hoteles ubicados en el pasaje dadas sus condiciones particulares).

Muestra. La muestra se conforma por cuatro locales, de los cuales dos están ubicados en el costado derecho y dos en el costado izquierdo; esto por criterios de comparación de la morfología de las edificaciones en que se emplazan y su correspondiente radiación solar.

Tipo de Investigación: La investigación se categoriza dentro del tipo explicativo, puesto que se utilizan modelos matemáticos con el apoyo de softwares especializados, en donde se establece una relación de causalidad entre la aplicación de las estrategias de energía solar activa y pasiva, identificadas como causas y sus posibles efectos, a saber, el incremento en el confort lumínico de las plantas bajas de las edificaciones del pasaje El Dorado en Pasto, así como la reducción del consumo energético.

Diseño de investigación. El diseño de investigación del presente estudio corresponde a un preexperimento, dado que solo se emplea un grupo experimental al cual se aplica un diseño de preprueba-postprueba, que consiste en simular las condiciones actuales de iluminación natural y artificial de las plantas bajas de las edificaciones del pasaje El Dorado, para luego simular diferentes estrategias de energía solar activa y pasiva y prever así el efecto en el confort lumínico.

Técnicas de recolección de la información. Las técnicas de recolección que se emplean en la investigación son las siguientes:

- Revisión documental, para recolectar información sobre los antecedentes de la investigación; el clima de la ciudad de San Juan de Pasto y el consumo eléctrico de los cuatro locales seleccionados a través de los recibos de la energía eléctrica.
- Medición de variables tales como la radiación solar directa, las horas de brillo solar anual, la luminancia e iluminancia.

Instrumentos de recolección de la información. Los instrumentos correspondientes a las técnicas antes señaladas son los siguientes:

- La revisión documental se registra en fichas bibliográficas.
- Los datos de radiación solar directa y horas de brillo solar anual son tomados del IDEAM, archivos climáticos en línea (Climate.OneBuilding.Org) y datos de la estación meteorológica DAVIS Vantage PRO-2.0 de la Universidad CESMAG.

- La iluminancia se medirá en sitio a través de un luxómetro.

Procesamiento de la información. Para el procesamiento de la información se emplean los siguientes softwares: Design Builder y Velux Daylight Visualizer.

Etapas y fases de la investigación. La investigación aquí desarrollada se divide en cuatro etapas. La primera es el análisis de la radiación solar, que a su vez se divide en tres fases, a saber: levantamiento urbano, simulación de radiación solar en software e identificación de horas y zonas críticas en cuanto a iluminación natural en los locales de estudio.

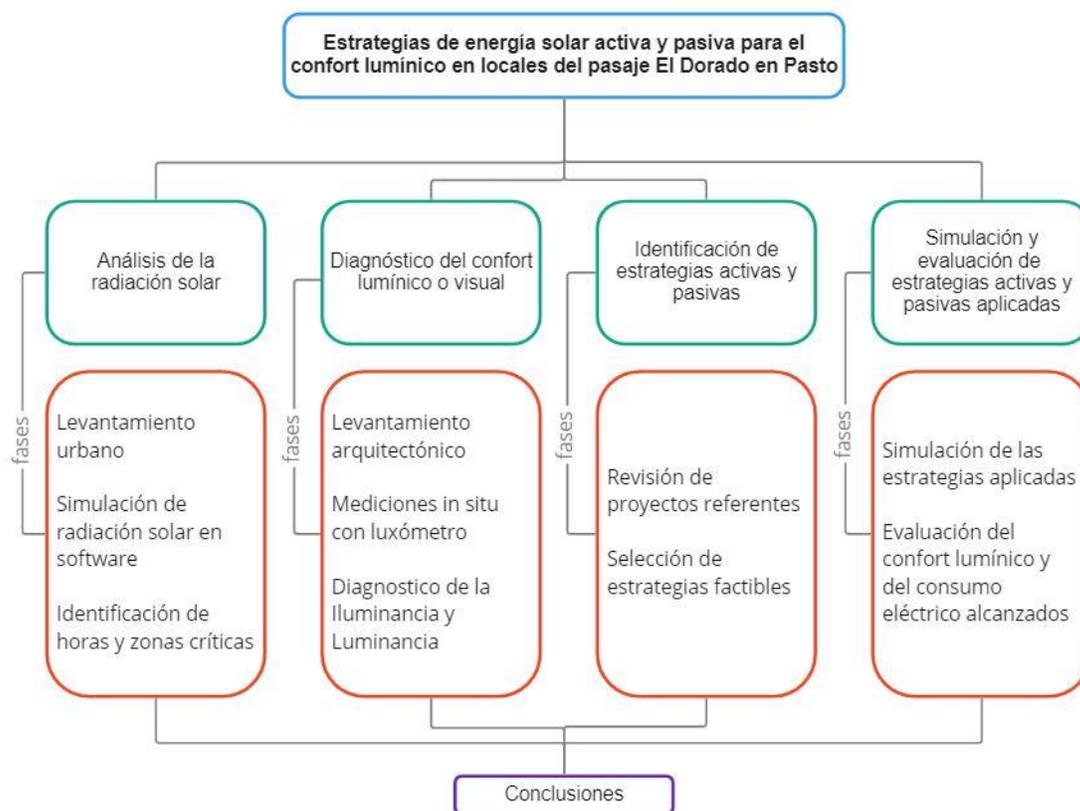
La segunda etapa es el diagnóstico del confort visual o lumínico actual que contiene tres fases: el levantamiento arquitectónico, las mediciones con luxómetro en cada uno de los locales de estudio y luego un diagnóstico de la calidad y cantidad de la iluminación, a través de las variables de Iluminancia y Luminancia.

Continúa la tercera etapa que corresponde a la identificación de estrategias activas y pasivas para el aprovechamiento de la energía solar, la cual posee dos fases: la revisión de referentes o proyectos que apliquen estrategias activas y pasivas, tales como: paneles solares fotovoltaicos y túneles o tubos solares) y una posterior selección de estrategias apropiadas para la aplicación en los locales casos de estudio.

Para culminar, la cuarta etapa consiste en simular las estrategias activas y pasivas seleccionadas previamente para luego evaluar su desempeño frente a niveles de confort lumínico recomendados. Cada una de las etapas mencionadas se desarrollará en los próximos capítulos y las mismas se detallan en la figura 5, en el siguiente mapa conceptual.

Figura 5

Fases de la presente investigación.



Fuente: Elaboración propia (2022).

Análisis de la radiación solar de las edificaciones del pasaje El Dorado

En este capítulo se presentan los resultados de la incidencia solar en las edificaciones del pasaje El Dorado de la ciudad de Pasto. En primera instancia se realizó un acercamiento al área de estudio, que incluyó el pasaje y las calles que rodean la manzana que lo contiene, allí se rectificaron medidas del ancho del pasaje entre paramentos, la adaptación del espacio público al terreno, alturas de las edificaciones del contexto inmediato y de aquellas que conforman el pasaje. Además, se seleccionaron los locales a estudiar y se procedió con el registro correspondiente de las dimensiones de las aperturas de puertas y ventanas de los mismos.

En segundo lugar, se efectuó el levantamiento 3D de la zona de estudio en el programa Desing Builder para posteriormente simular el comportamiento de la radiación solar sobre los volúmenes y espacios internos de las edificaciones objeto de análisis.

Por último, se identificaron las horas y zonas críticas para aprovechar la radiación solar durante la jornada laboral en las primeras plantas de las edificaciones del pasaje El Dorado.

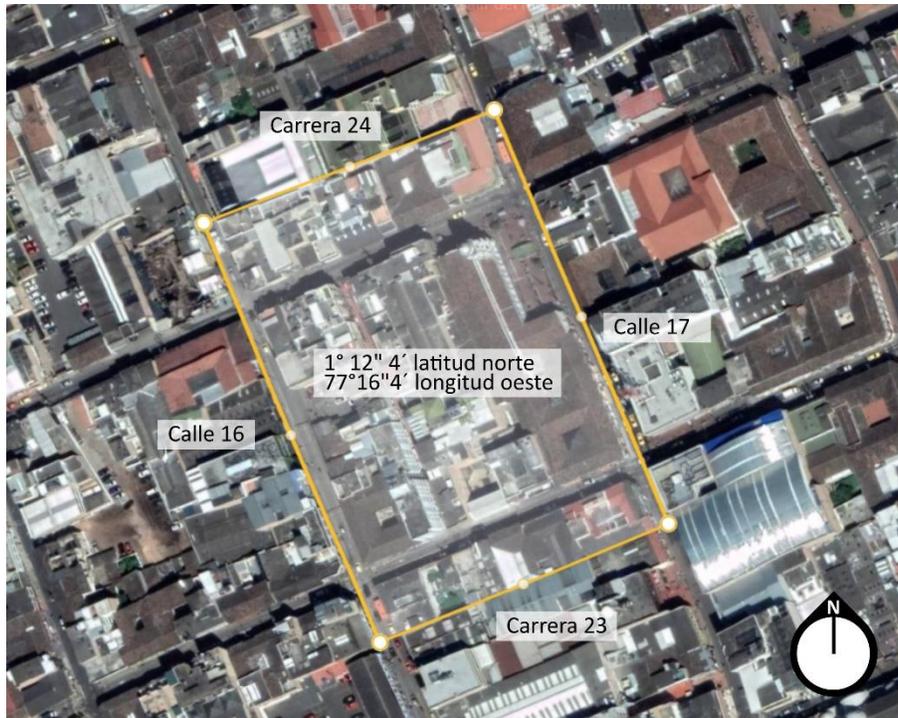
Levantamiento urbano del área de estudio

Como parte del levantamiento urbano de la zona que se intervino, se visitó la pieza urbana y se evaluó las alturas de las edificaciones de las manzanas contiguas, para delimitar el perímetro a intervenir. Como resultado se incluyó los frentes de las carreras 23 y 24, puesto que interfieren en la incidencia solar sobre algunas fachadas de las edificaciones a intervenir.

Delimitación del polígono de estudio. Para determinar el polígono del área a intervenir, se definieron las direcciones de las vías perimetrales al área de estudio entre calles 16 y 17 y carreras 23 y 24. Así como también las coordenadas del área de estudio, a saber: $1^{\circ}12'47''$ de latitud norte y $77^{\circ}16'47''$ de longitud oeste. Posteriormente se realizó un reconocimiento al lugar y se incluyeron como parte del contexto, las edificaciones del frente del pasaje a ambos lados, correspondientes a las manzanas contiguas. En la figura 6 se indica el polígono con el contexto inmediato al área de estudio.

Figura 6

Polígono del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia (2022), adaptado de Google Earth (2022).

Rectificación de plano urbano del lugar de estudio. Se realizó la visita al lugar y fueron comprobadas en sitio las dimensiones del espacio público entre los paramentos de las edificaciones, tal como se indica en la figura 7.

Figura 7

Fotografías de la medición en sitio.

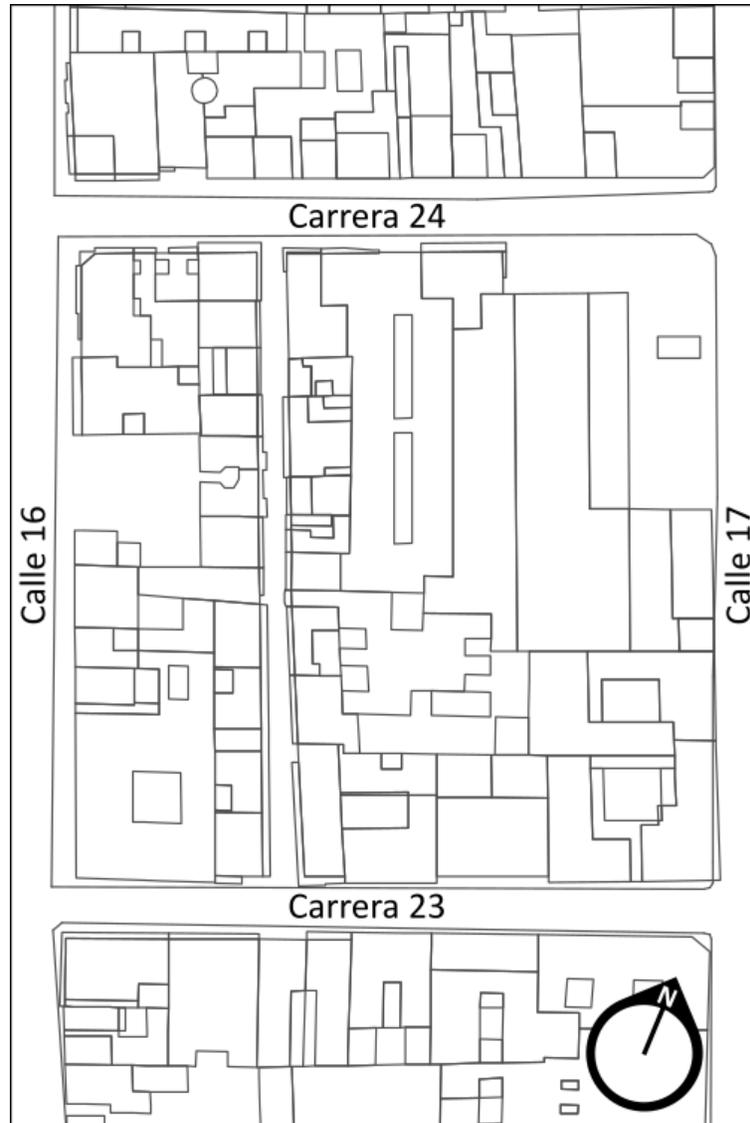


Fuente: Elaboración propia (2022).

Comprobando así, que la distancia entre paramentos en el plano base no correspondía con la realidad, puesto que el ancho del pasaje, en su costado sur hacia la carrera 23, es menor y no se ensancha con respecto a la dimensión en su costado opuesto hacia la carrera 24, como se muestra al comparar el plano urbano en las figuras 8 y 9:

Figura 8

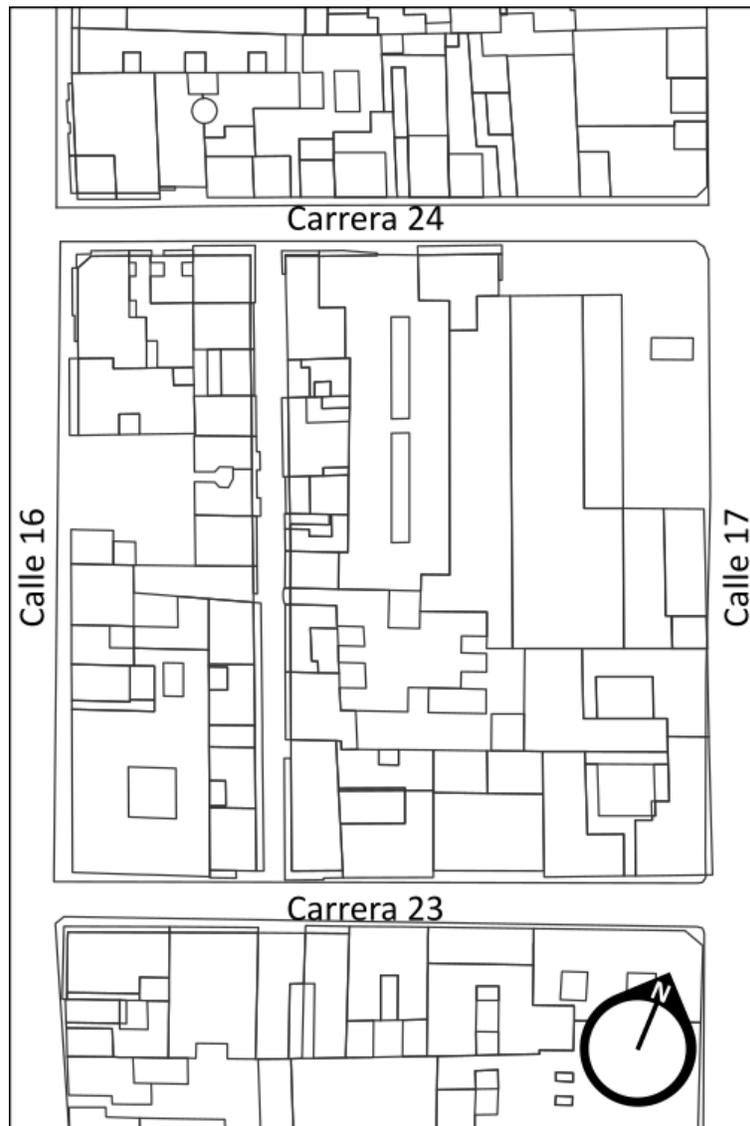
Estado inicial del plano urbano del área de estudio.



Fuente: Adaptado de Plano Base Urbano-1DU, IGAC, Equipo POT (2014).

Figura 9

Corrección del plano urbano del área de estudio.

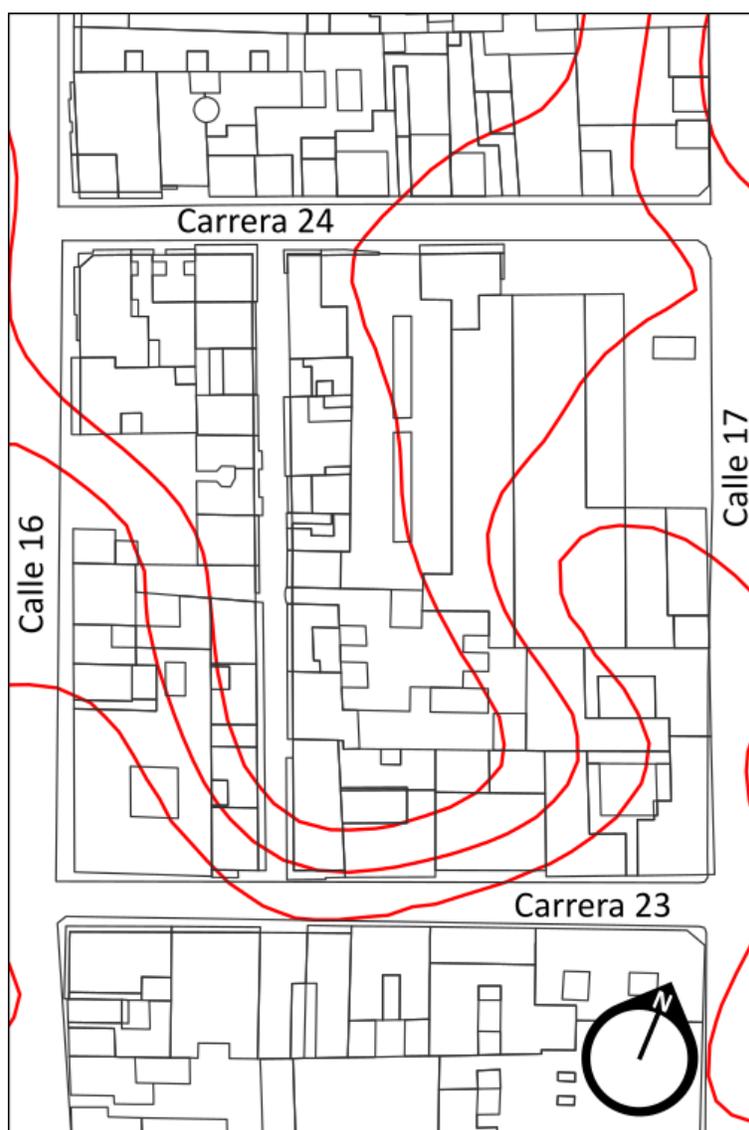


Fuente: Esta investigación (2022), adaptado de Plano Base Urbano-1DU, IGAC, Equipo POT (2014).

Revisión de la topografía del lugar de estudio. Para realizar el plano topográfico se utilizó el plano Base Urbano-1DU de la ciudad de Pasto y luego se lo acotó al área de estudio como se indica en la figura 10:

Figura 10

Plano topográfico del área de estudio.

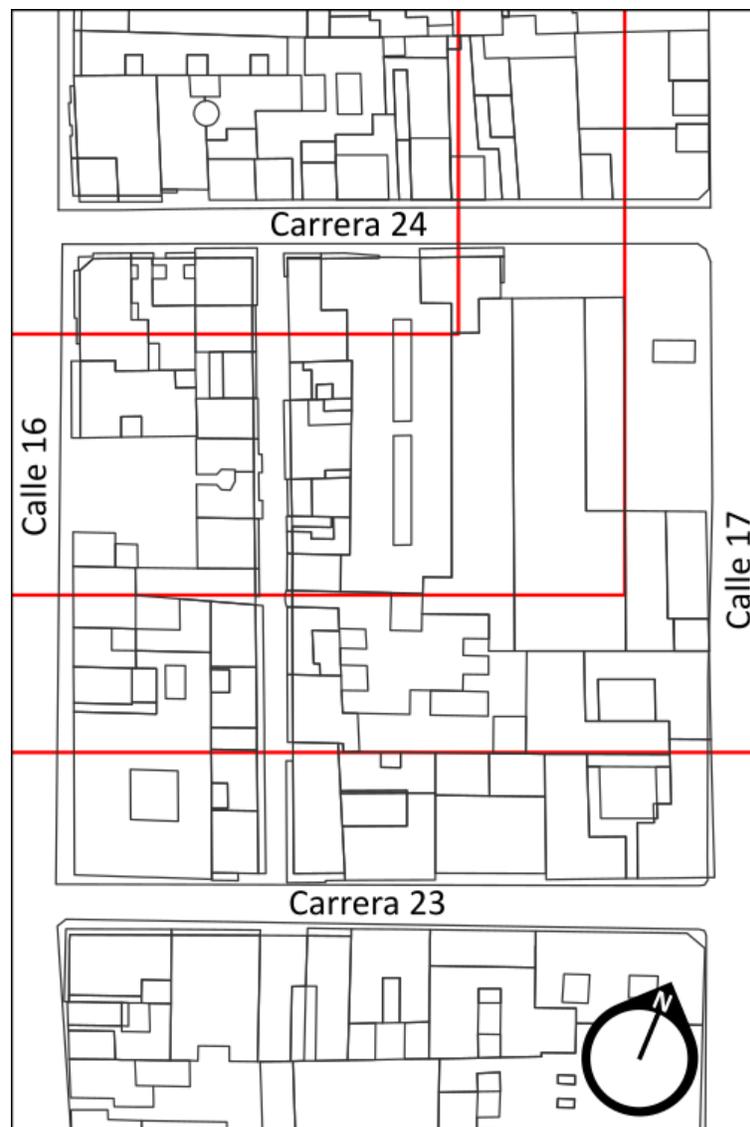


Fuente: Adaptado de Plano Base Urbano-1DU, IGAC, Equipo POT (2014).

Previo al modelado de la topografía del área de estudio dentro del programa Design Builder, fue necesario sintetizar las cotas o curvas de nivel correspondientes al plano base, tal como se indica en la figura 11, para ello se tuvo como referencia la adaptación que el espacio público mismo genera frente al terreno, como se detalla en la figura 12 al configurarse escalinatas y rampas entre los desniveles.

Figura 11

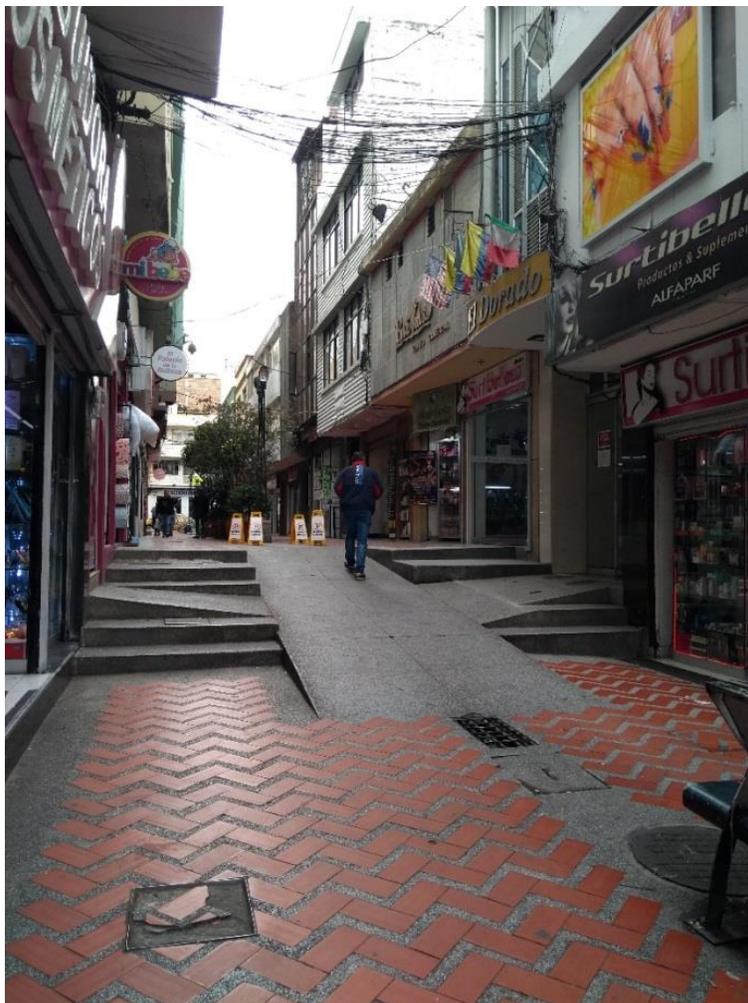
Síntesis de las curvas de nivel previo a modelado del terreno en Design Builder.



Fuente: Esta investigación (2022).

Figura 12

Adaptación del espacio público del pasaje El Dorado a los desniveles del terreno.

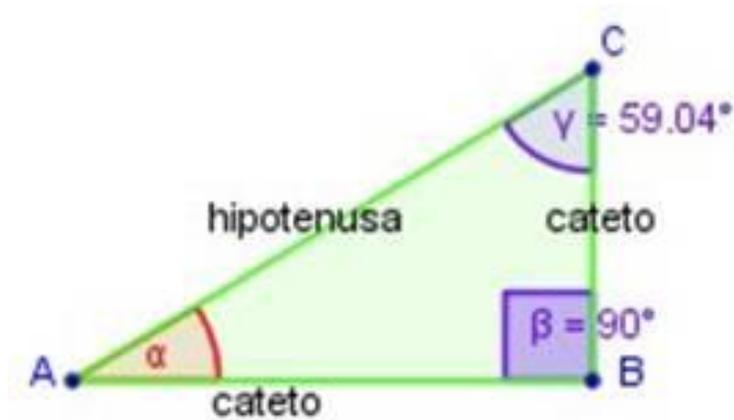


Fuente: Esta investigación (2022).

Identificación de las alturas de las edificaciones. Con el fin de conocer las alturas de las edificaciones tanto del pasaje como de su contexto urbano, se aplicó la función trigonométrica de la tangente, en la que el ángulo de alfa al ser igual a cateto opuesto sobre cateto adyacente ($Tan \alpha = a/b$), permite calcular la altura de un objeto, al despejar la dimensión del cateto opuesto cuando se multiplica la dimensión del cateto adyacente por el valor de la tangente de alfa. En la figura 13 se indica el proceso desarrollado:

Figura 13

Cálculo de la altura de una edificación con base en función trigonométrica de tangente.



Fuente: El mundo de las matemáticas (2022).

A partir de este método, se realizó primero la medición del perfil entre los paramentos de los edificios, valor que equivale a la base o cateto adyacente, y para el cálculo del ángulo alfa se empleó la aplicación Angle Meter en un dispositivo celular Android, como se detalla en la figura 14, con la cual se registró el ángulo de inclinación desde el extremo del paramento opuesto a la edificación (correspondiente al vértice A) con respecto al punto mira de la parte alta de la edificación (correspondiente a su vez al vértice C).

Figura 14

Visualización en aplicación Angle Meter del ángulo de inclinación.



Fuente: Elaboración propia (2022), mediante aplicación Angle Meter.

Con base en los datos de la longitud de la base, es decir la distancia entre paramentos y el ángulo de inclinación del punto de mira de la parte alta de las edificaciones, se procedió a realizar el cálculo de las alturas de las edificaciones, tanto del pasaje como del contexto inmediato. Los resultados se muestran en la tabla 1:

Tabla 1

Cálculo de las alturas de las edificaciones.

Cálculo de alturas edificios pasaje El Dorado					
Edificio	Distancia paramento - proyección voladizo	Ángulo (grados)	Tangent e	Altura edificio	Número de pisos
A1	4,92	72	3,078	15,142	4 a 5
B1	4,85	68	2,475	12,004	4 a 5
LOCAL 03	4,85	68	2,475	12,004	4 a 5
D1	4,89	72	3,078	15,050	5 a 6
E1	5,02	67	2,356	11,826	5
F1	5,02	67	2,356	11,826	4
LOCAL 01	4,44	76	4,011	17,808	6
H1	4,32	72	3,078	13,296	4 a 5
I1	4,42	70	2,747	12,144	4 a 5
J1	4,48	63	1,963	8,792	3 a 4
K1	4,54	67	2,356	10,696	3 a 4
L1	4,66	53	1,327	6,184	2 a 3
M1	4,66	70	2,747	12,803	4
LOCAL 02	4,59	70	2,747	12,611	4 a 5
O1	4,55	61	1,804	8,208	3
P1	4,55	61	1,804	8,208	3
LOCAL 04	4,55	61	1,804	8,208	3

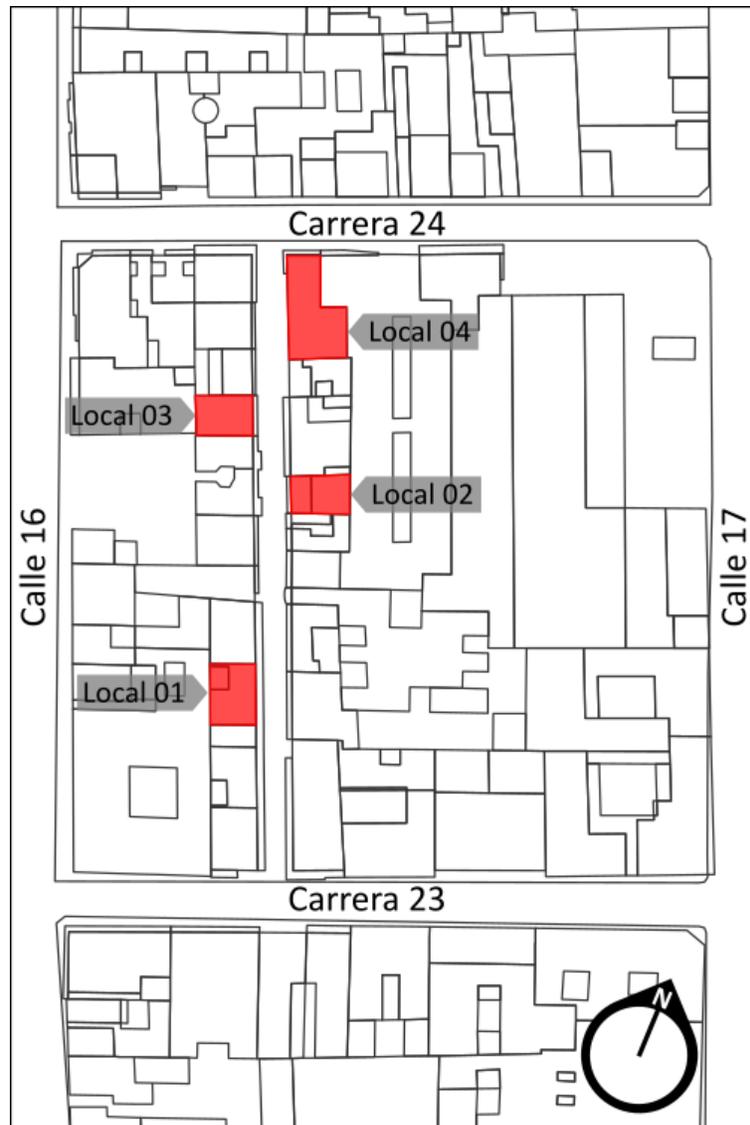
Fuente: Esta investigación (2022).

Selección de los locales de estudio. Como se mencionó previamente en la metodología, la población de estudio se conforma por veinticuatro (24) locales ubicados a lado y lado del pasaje El Dorado. Sin embargo, por fines prácticos se realiza la investigación con cuatro unidades, que por su posición y características morfológicas resulten de interés en términos comparativos al aplicar las estrategias a desarrollar en el capítulo III.

De esta manera, para identificar los locales a estudiar, se exploró el pasaje y la primera pauta de selección fue escoger dos (2) locales en el costado derecho y dos (2) del costado izquierdo, esto por cuanto el pasaje, tal cual lo indica la figura 15, tiene una dirección norte-sur que al ser perpendicular a la trayectoria solar genera variaciones entre la mañana y la tarde; la segunda pauta fue la configuración volumétrica de las edificaciones en su primera planta, donde se diferencia la planta de doble altura con respecto a la altura sencilla, no solo por la extensión de su fachada que incluye grandes ventanales sino también por la presencia frecuente de un espacio intermedio conocido como mezanine, como se muestra en la figura 19. Por último, una tercera pauta, fue la localización del solar del local dentro del pasaje, entre medianero y esquinero.

Figura 15

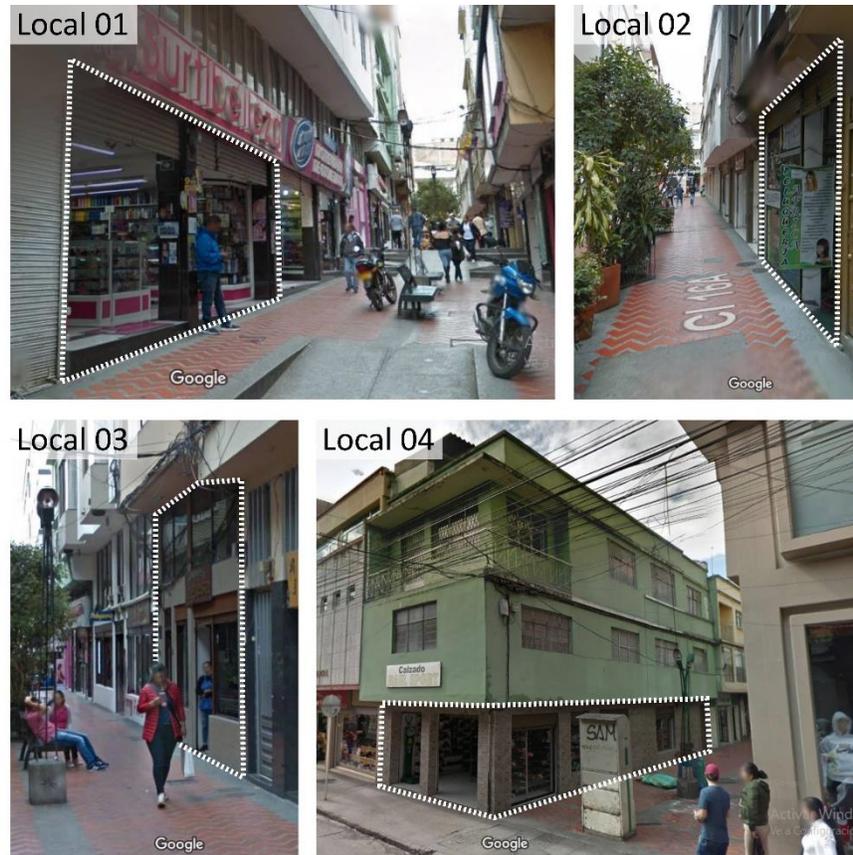
Localización en el pasaje El Dorado de los cuatro locales seleccionados para el estudio.



Fuente: Esta investigación (2022).

Figura 16

Fachadas de los cuatro locales seleccionados para el estudio.



Fuente: Esta investigación (2022), adaptado de fotografías de Google Street View (2019)

Identificación de las aperturas de puertas y ventanas. Mediante la visita al pasaje El Dorado, se procedió a la medición de las aperturas de puertas y ventanas en los locales a estudiar, apoyados en el registro fotográfico de Google Street View. En la figura 17 se indica las dimensiones correspondientes:

Figura 18

Descarga del archivo climático EPW.

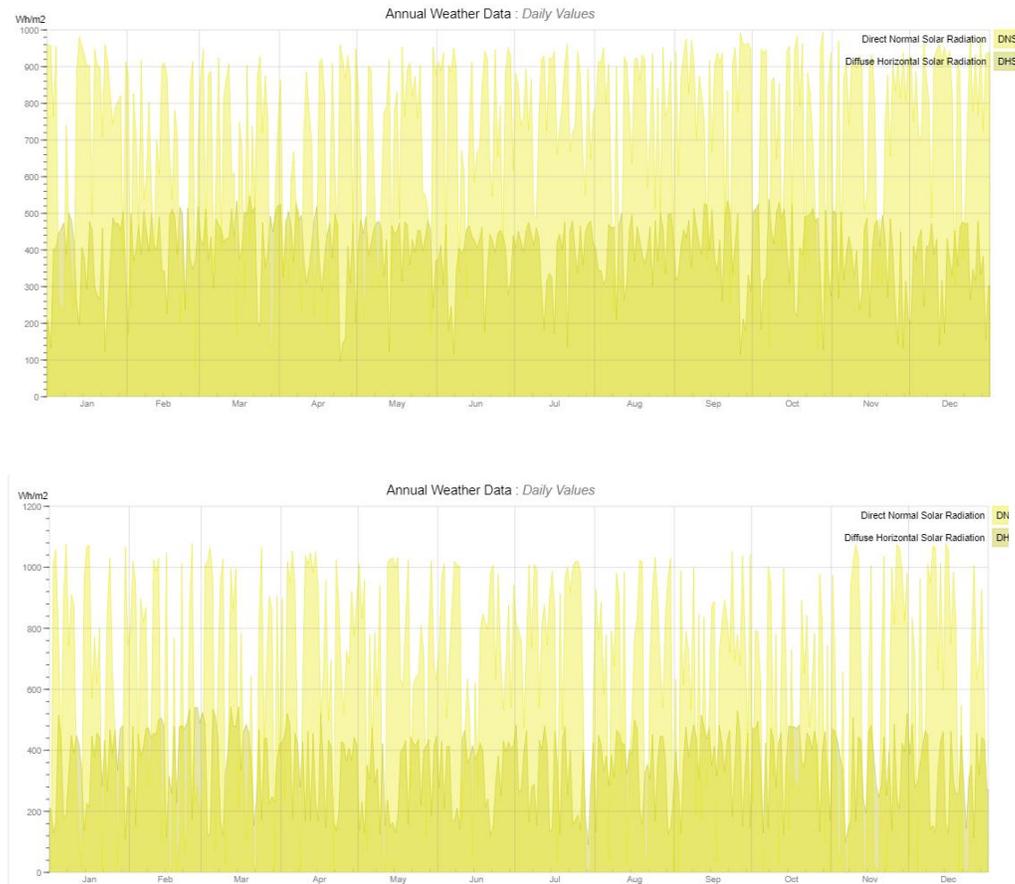
NAR_Narino		
392 K	COL_NAR_Pasto-Narino.AP.803420_TMYx.2004-2018.zip	406 K
406 K	COL_NAR_Pasto-Narino.AP.803420_TMYx.2007-2021.zip	415 K
409 K	COL_NAR_Pasto-Narino.AP.803420_TMYx.zip	422 K

Fuente: Climate one building (2022).

Cabe destacar que se realizó también la descarga de un archivo climático complementario, proveniente del software MeteoNorm, el cual realiza una triangulación de las estaciones más cercanas al área de estudio, tomando en cuenta también la altitud. A continuación, en la figura 19, se muestra un comparativo con los datos de radiación solar directa y difusa de ambos archivos:

Figura 19

Comparativo entre archivos climáticos EPW (arriba ClimateOne, abajo MeteoNorm).

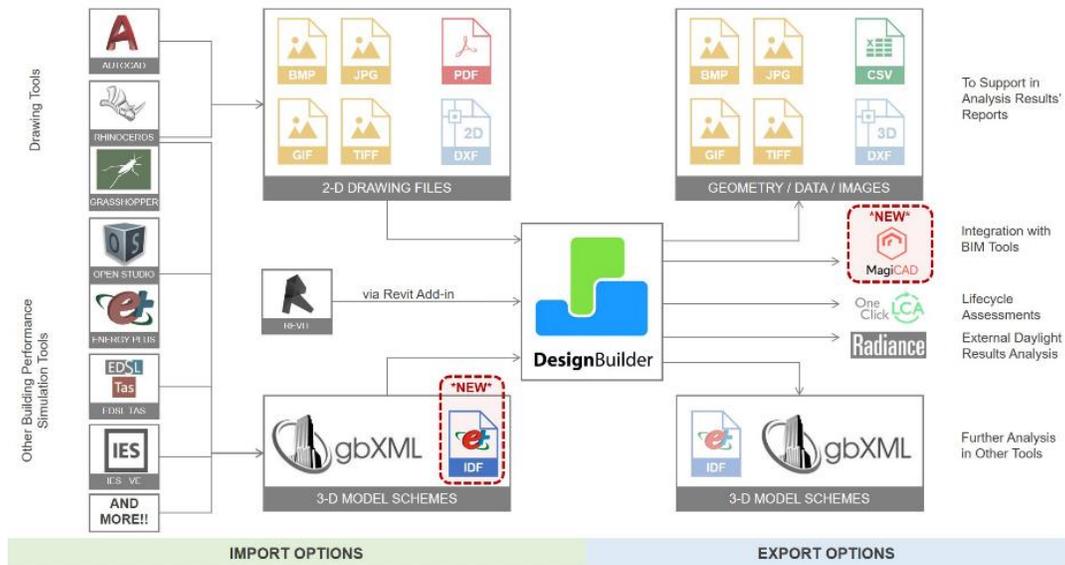


Fuente: Elaboración propia, adaptado de DataView 2D, Drajmarsh (2022).

Importación de plano a Desing Builder. Por medio de la extensión dxf de AutoCad se importó a Desing Builder la base planimétrica para el respectivo levantamiento del terreno y las edificaciones de la zona de estudio. Al realizar este proceso se debe tuvo en cuenta: Las unidades de medida en metros, la simplificación de las líneas del dibujo 2D y escalar el plano DXF importado. En la figura 20, se muestra el mecanismo de importación de los planos en autocad (dwg) al software de Desing Builder.

Figura 20

Sinopsis de la carga de planos de AutoCad a Desing Builder.



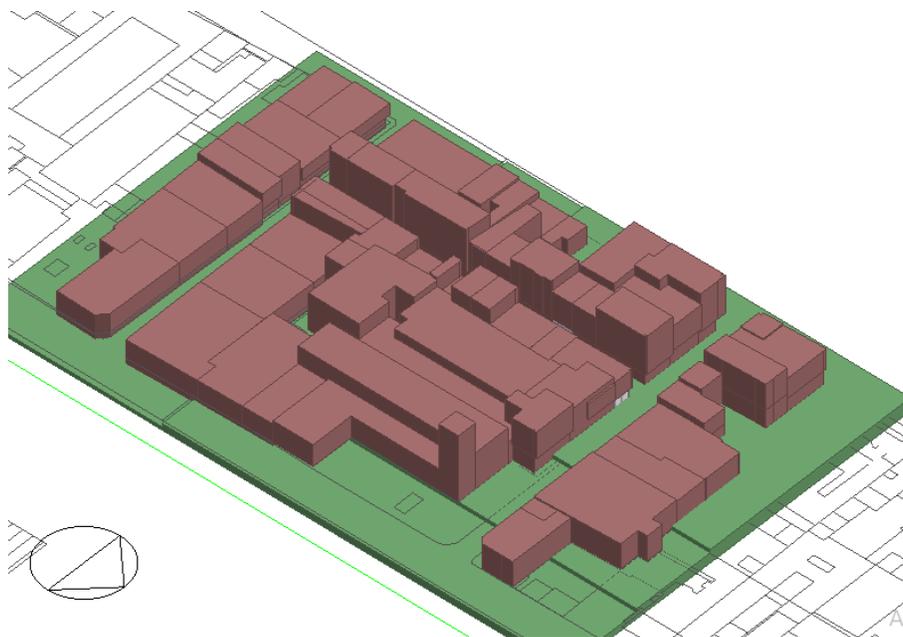
Fuente: Página web de Design Builder (2022).

Levantamiento de volúmenes y ubicación de aperturas. Como se muestra en la figura 21, se levantaron los edificios del polígono de estudio, haciendo uso de la herramienta de Desing Builder. Proceso que se desarrolló de la siguiente manera:

Primero, para el modelado de los volúmenes del contexto, se crearon bloques nuevos de tipo adiabático y se asignaron a cada bloque las alturas correspondientes. Segundo, se crearon los bloques de tipo componente para las 4 edificaciones de estudio. Y por último se realizaron las aperturas de las fachadas de los edificios a estudiar en las primeras plantas.

Figura 21

Levantamiento 3D de las edificaciones del área de estudio.



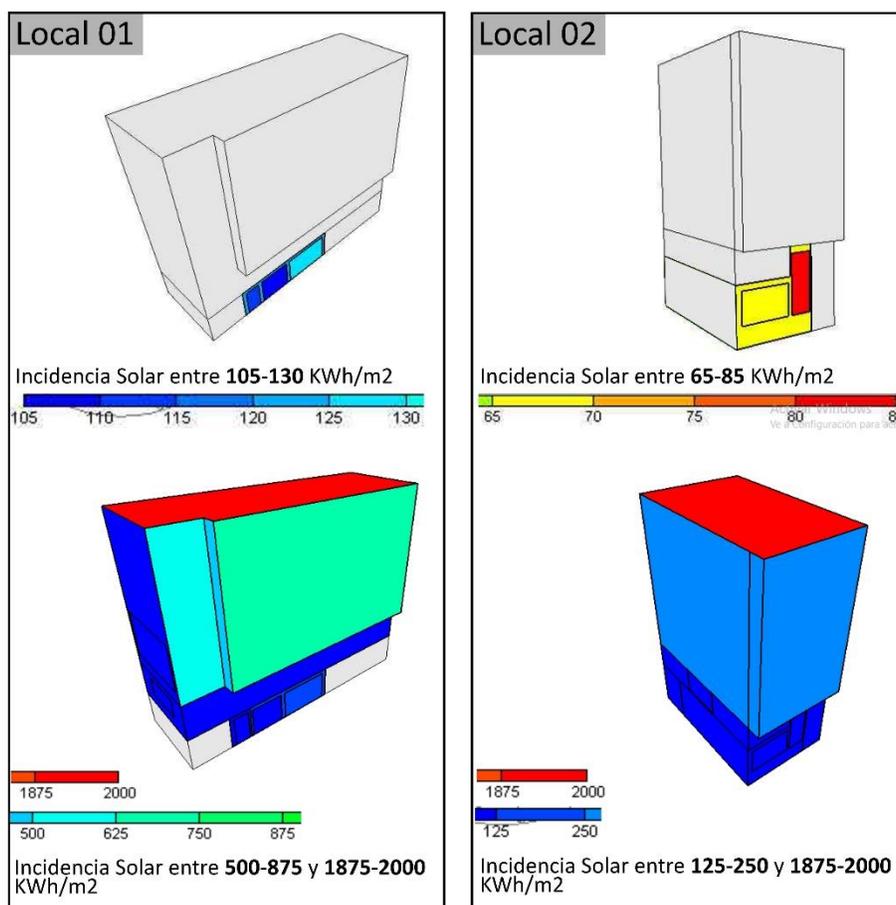
Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

Simulación de radiación solar anual de las edificaciones. A partir del levantamiento de los volúmenes de la zona de estudio con sus respectivas morfologías se procede a realizar, en el mismo software, la simulación de la radiación solar anual obteniendo los resultados que se detallan a continuación. Antes de analizar la incidencia solar de cada local, cabe aclarar que las simulaciones de los volúmenes de las edificaciones de estudio en Design Builder se ejecutaron por separado, de ahí que los valores que el software le atribuye a la escala de colores varían en cada caso.

Al detallar los valores de incidencia solar medida en KWh/m^2 , se puede observar en la figura 22 que los locales 01 y 02 son los que reciben menor incidencia solar, el primero con una incidencia solar entre 105 y 130 KWh/m^2 y el segundo entre 68 y 85 KWh/m^2 , esto puede atribuirse a los siguientes factores: el primero su localización en las zonas con mayor densidad del pasaje, donde se ubican edificios de 5 y 6 pisos de altura a una distancia muy próxima de 5,50 m; el segundo factor es la presencia de voladizos considerables en las plantas superiores y el tercero es la escasa altura libre del entrepiso, en el local 01 se identifica una prolongación del mezanine que obstruye las ventanas superiores de la doble altura, mientras que en el local 02 su posición a medio nivel subterráneo reduce notablemente el área vidriada. Por otra parte, en las terrazas, se destaca el hecho de que estas dos edificaciones alcanzan una mayor incidencia, llegando a 2000 KW/m^2 lo que puede ser aprovechable para el uso de paneles solares, como se evaluará más adelante en el capítulo 4.

Figura 22

Simulación de la radiación solar anual sobre las fachadas de los locales 01 y 02.



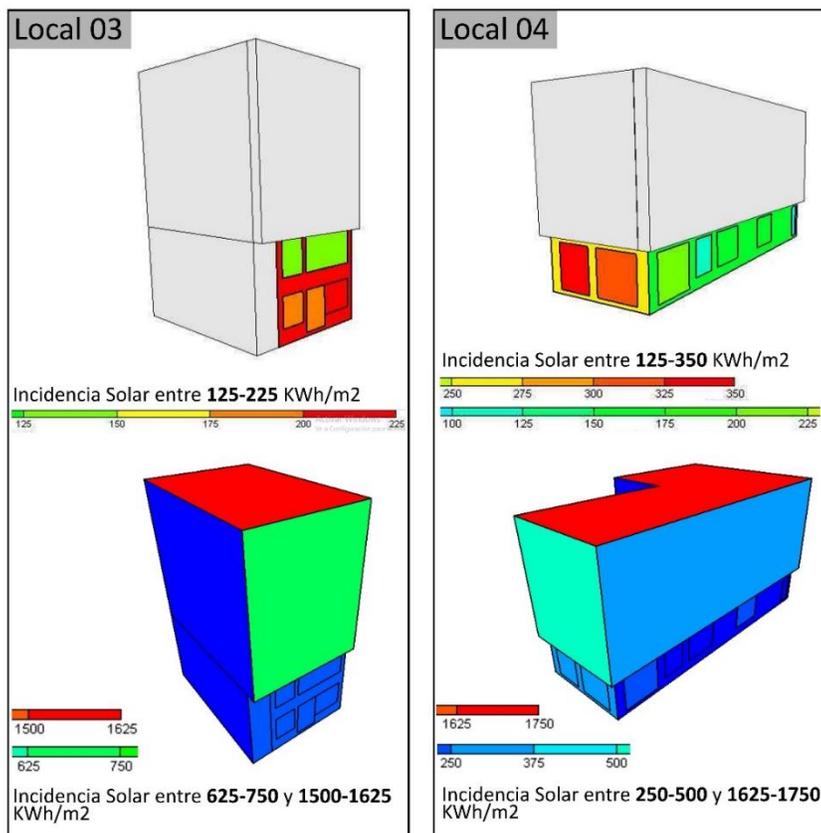
Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

En contraposición, los locales 03 y 04, tal cual se indica en la figura 23, tienen una incidencia solar mayor. El local 03 ubicado en la parte final del pasaje cerca de la carrera 24 tiene una incidencia entre 125 y 225 KWh/m² que responde a su posición frente a una edificación de tres pisos y un área vidriada mayor generada por una doble altura. En el caso del local 04, su localización en la esquina del pasaje le permite contar con dos fachadas e incrementar el porcentaje de área vidriada, aunque los valores de incidencia solar varían; en la

fachada más prolongada, que colinda con el pasaje y se ubica frente a una edificación de 5 pisos, se registra entre 150 y 225 KWh/m², al tiempo que la fachada norte sobre la carrera 24, frente a edificaciones de dos y tres pisos, pero con una distancia mayor entre paramentos, tiene una incidencia entre los 250 y 350 KWh/m². Sin embargo, estas dos edificaciones en sus terrazas presentan una incidencia menor (1500-1750 KWh/m²) a la de las edificaciones de los locales 01 y 02.

Figura 23

Simulación de la radiación solar anual sobre las fachadas de los locales 03 y 04.



Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

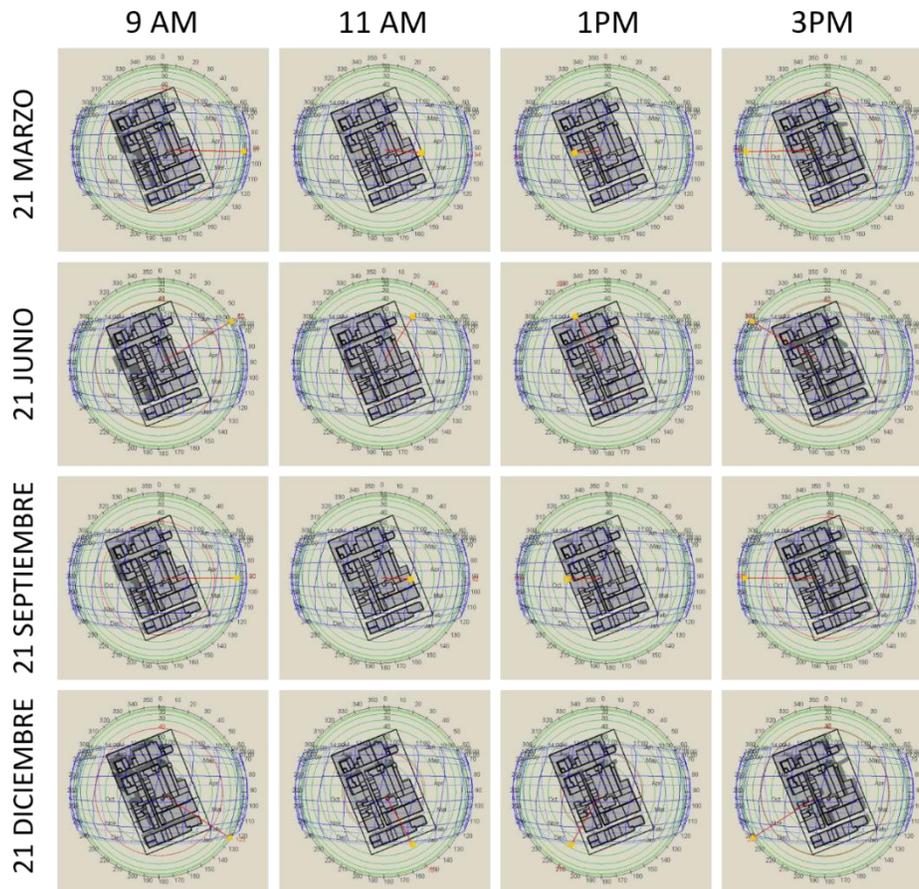
Identificación de horas y zonas críticas

Con la simulación de la incidencia solar de las plantas bajas de las edificaciones del pasaje El Dorado, a continuación, se determinan las horas, meses y zonas críticas; es decir, aquellas que tienen mayor exposición solar para ser aprovechadas en zonas con menor captación solar.

Realización de la carta solar horaria en solsticios y equinoccios. Con base en la carta solar se indican las horas más críticas en los meses correspondientes a solsticios de verano e invierno, equinoccios de primavera y otoño. A continuación, en la figura 24 se muestran los resultados, después de realizar la simulación de las horas críticas en los meses de junio, diciembre, marzo y septiembre.

Figura 24

Análisis de la carta solar de las edificaciones del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

A partir de la matriz anterior, se puede evidenciar que en los meses de equinoccios y solsticios, los edificios a los que se inscriben los locales de estudio tienen baja radiación solar directa debido a la obstrucción de las edificaciones aledañas; las cuales, presentan una altura superior en su costado oeste, en comparación a las edificaciones del costado este y por la distancia reducida entre los paramentos de las edificaciones que conforma el pasaje peatonal.

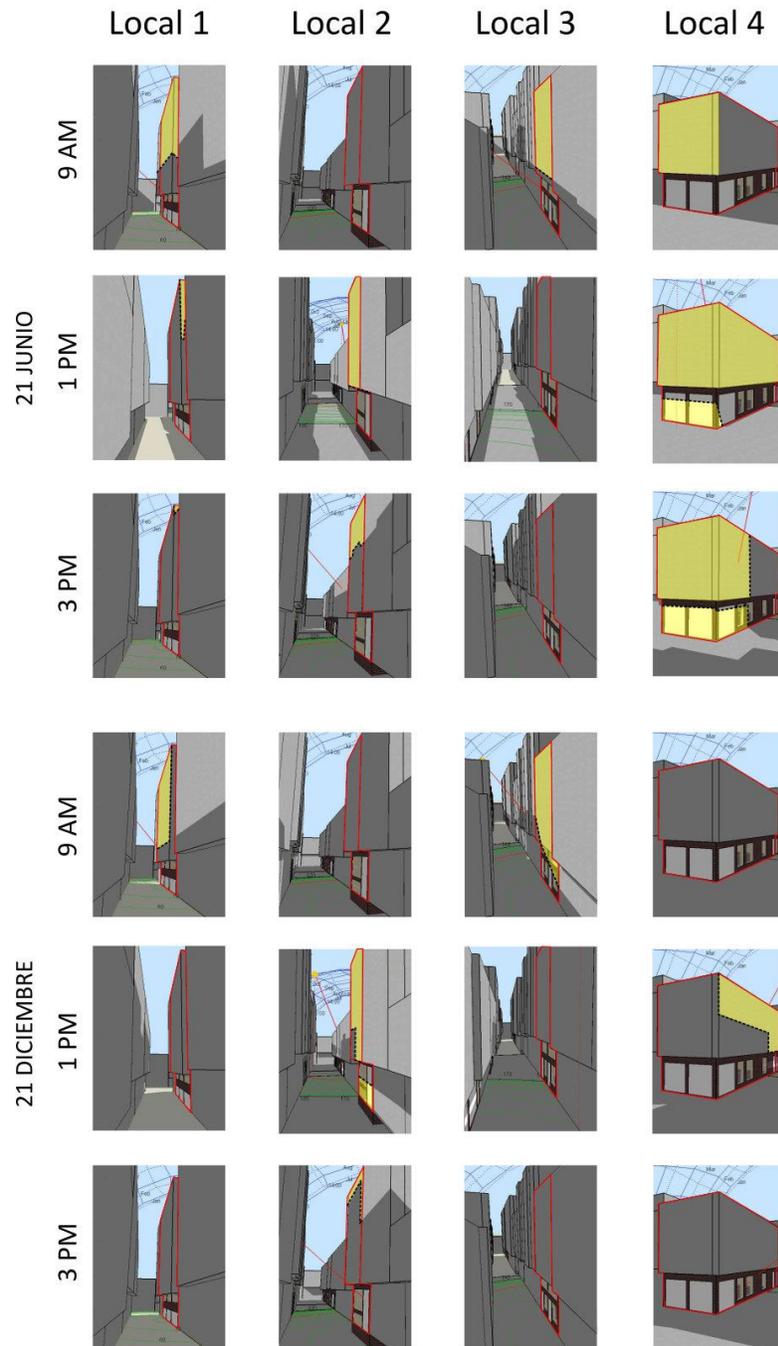
Se resalta el hecho que, en el mes de diciembre, la incidencia solar a las 11 de la mañana, es decir su acimut, es paralelo al ángulo de rotación de la manzana y por ende del pasaje. Esto resulta ventajoso para las edificaciones en general, cuya fachada da hacia el

pasaje, por cuanto tienen la oportunidad de recibir mayor incidencia solar aprovechable en iluminación natural de forma pasiva.

Análisis de la trayectoria solar diaria y anual. En la figura 25 se muestran los resultados obtenidos tras correr la simulación de la trayectoria solar en diferentes meses y horas de la mañana, mediodía y tarde. Con base en la simulación se determinaron las horas más críticas a lo largo del día y del año, para posteriormente revisar azimut y altura solar resultantes en cada temporalidad.

Figura 25

Análisis de la trayectoria solar sobre edificios donde se inscriben los locales de estudio.



Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

En esta matriz se puede observar que en los meses de solsticio de verano en las horas de la mañana la incidencia solar sobre los edificios en los que se inscriben los locales de estudio es nula, a excepción del edificio del local 04, correspondiente al local de venta de calzado sobre la carrera 24, el cual gracias a su ubicación esquinera y la amplitud del espacio libre entre paramentos no tiene edificaciones próximas que generen sombras y obstruyan el paso de la radiación solar.

Por el contrario, en el mes de diciembre correspondiente al solsticio de invierno, la incidencia solar durante el transcurso del día es nula en los cuatro locales casos de estudio.

Identificación de horas de brillo solar anual en la ciudad de Pasto. De acuerdo con los datos del archivo climático generado por la estación meteorológica de la Universidad Cesmag durante el año 2014, se presenta a continuación en la tabla 2 la cantidad de horas de disponibilidad solar:

Tabla 2

Horas de brillo solar (1000 W/m²) en la ciudad de Pasto durante 2014.

Datos de Irradiancia en la ciudad de Pasto año 2014.

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio
Horas Sol	4,2	3,4	3,5	3,5	3,3	3,2	3,2	3,3	3,7	3,2	4,3	4,2	3,6

Fuente: Eraso et al. (2014)

Diagnóstico del confort lumínico actual de los locales de estudio del pasaje el

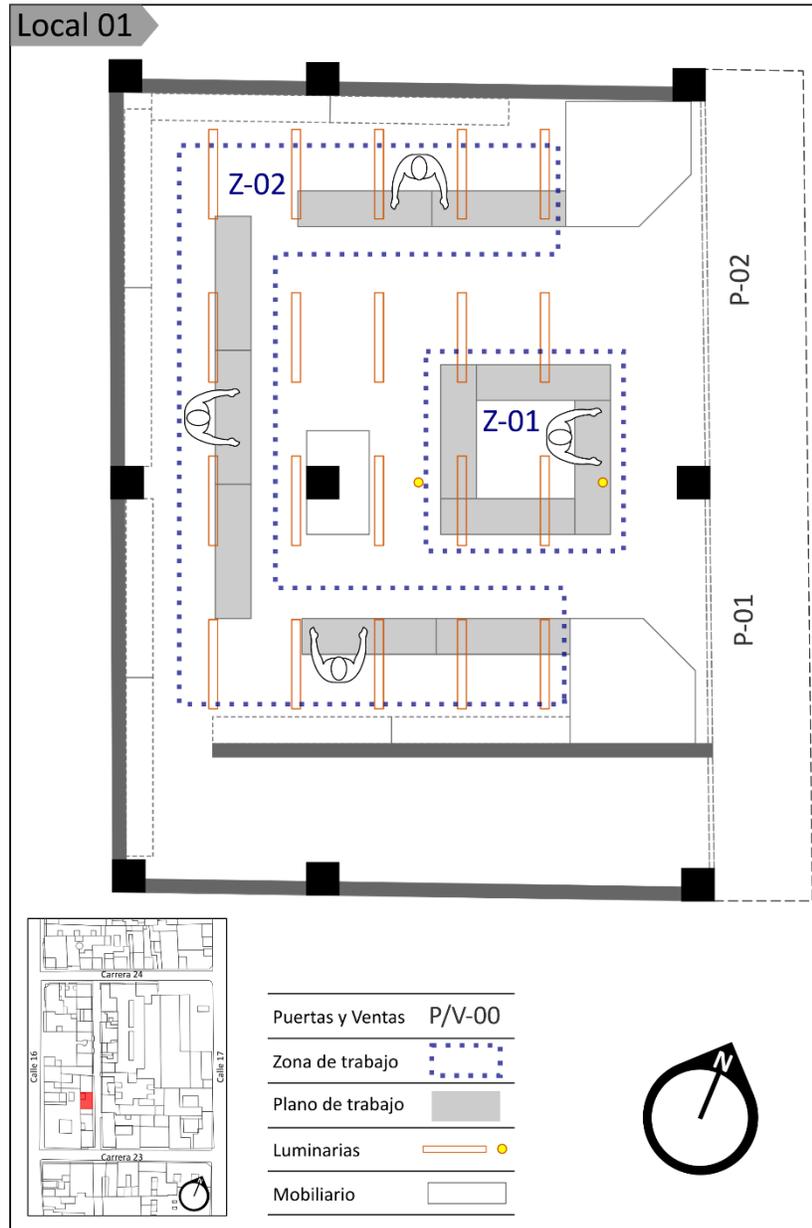
Dorado

Levantamiento arquitectónico de los locales de estudio

Como parte de la investigación se visitó los locales de estudio y con el fin de acceder a los mismos se solicitó el debido permiso mediante oficio dirigido a cada uno de los propietarios de los cuatro locales (ver anexo 01). Con el consentimiento de los propietarios o administradores, se procedió a tomar medidas generales de los locales; dimensiones de aperturas de puertas y ventanas; alturas de las zonas de trabajo y cuantificación de las luminarias existentes en cada espacio de trabajo. El levantamiento arquitectónico de los cuatro locales se presenta a continuación, en las figuras 26 a 29:

Figura 26

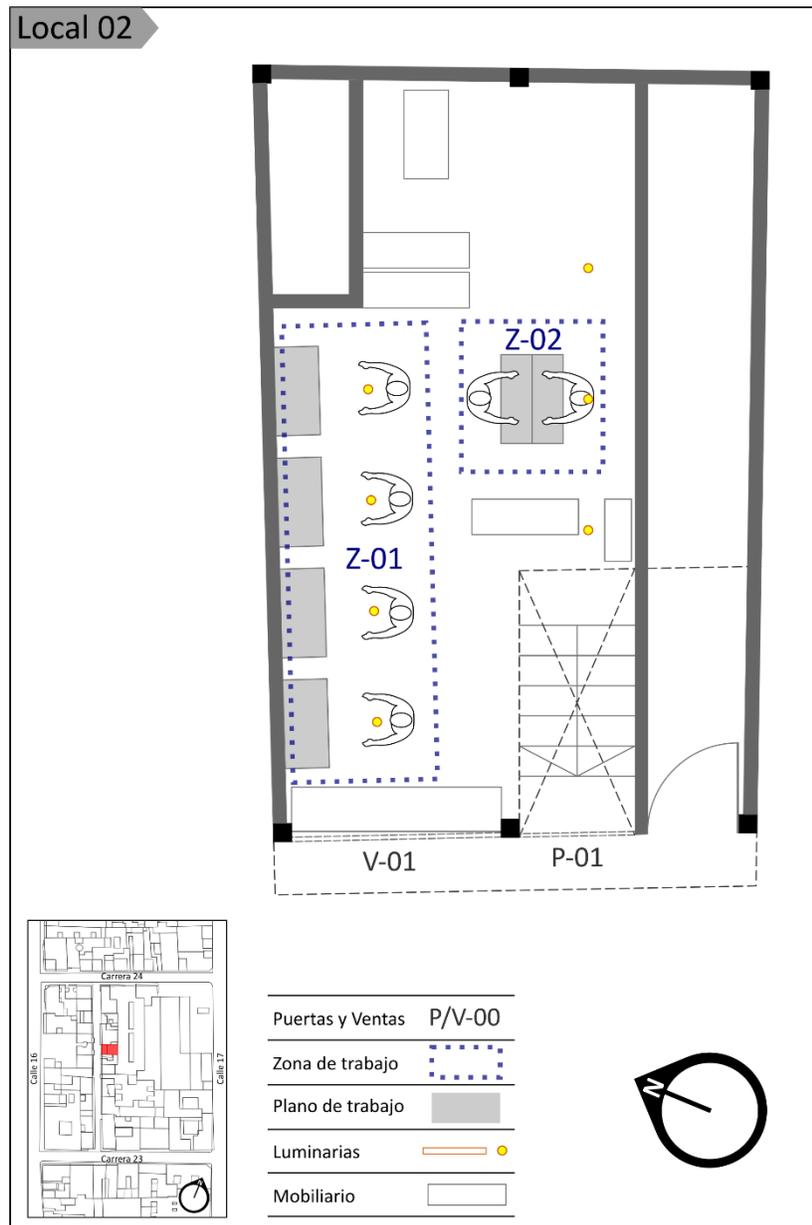
Planta arquitectónica del local 01.



Fuente: Esta investigación (2022).

Figura 27

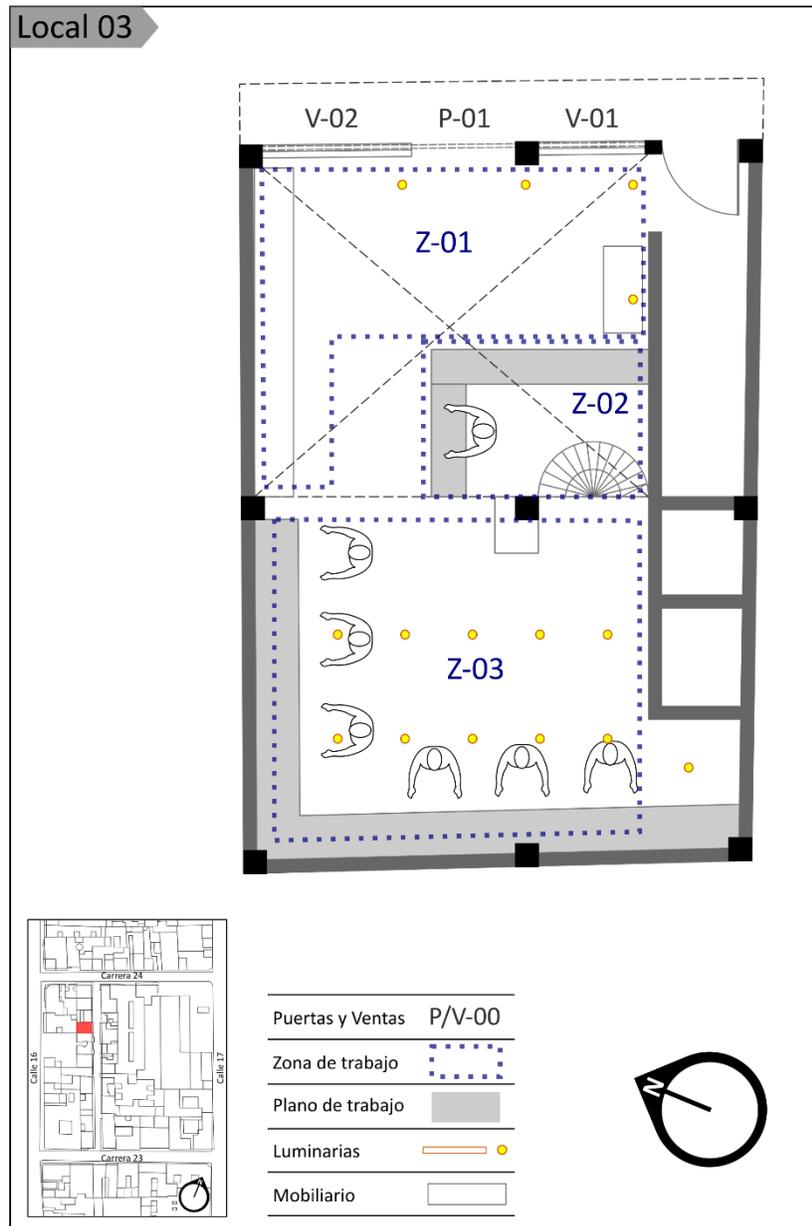
Planta arquitectónica del local 02.



Fuente: Esta investigación (2022).

Figura 28

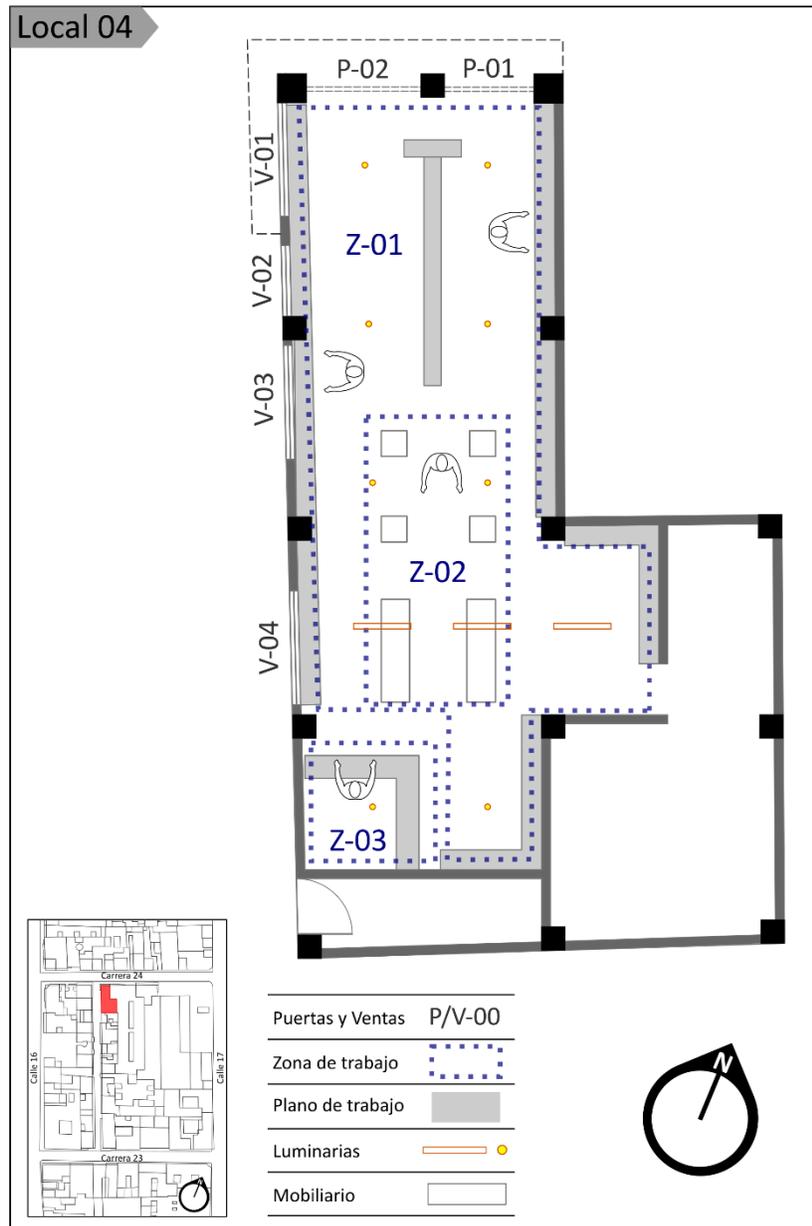
Planta arquitectónica del local 03.



Fuente: Esta investigación (2022).

Figura 29

Planta arquitectónica del local 04.



Fuente: Esta investigación (2022).

Mediciones in situ con luxómetro

Caracterización general de las zonas y planos de trabajo. Junto con el levantamiento arquitectónico se diligenció un formato sencillo basado en la Guía técnica de apoyo de Confort Lumínico del documento de Términos de Referencia Estandarizados (TDRé) del Ministerio de Obras Públicas de Chile (2016). El formato se compone de tres partes; en la primera, se describe de manera general las dimensiones del local (longitud, anchura y altura) y de las aperturas de puertas y ventanas; en la segunda se describe las zonas y planos de trabajo, materiales y colores de las superficies y planos de trabajo; y en la tercera parte se determinan los puntos requeridos para la medición con el luxómetro. En las tablas 3 a 6 se presentan los formatos diligenciados por cada local de estudio.

Tabla 3

Caracterización general de las zonas y planos de trabajo del local 01.

LOCAL 01			
Descripción general	Dimensiones del local (m)		
	Longitud (L)	Anchura (A)	Altura (H)
Local comercial dedicado a la venta de productos de belleza, localizado en el costado oeste del pasaje y con una sola planta.	7,28 (libre)	6,59 (libre)	2,40 (libre)
	Dimensiones de puertas/cortinas (m)		
	Puerta	Anchura (A)	Altura (H)
	P01	2,74	2,40
	P02	4,10	2,40
	Dimensiones de ventanas (m)		
	Ventana	Longitud (L)	Anchura (A)
	V01	No aplica	No aplica
	V02	No aplica	No aplica
	Área envolvente (m2)	Área ventana-vano (m2)	Porcentaje ventana-vano/envolvente (%)
20,87	16,42	0,79	0,82 (Generic PYR B)

Clear 3mm)			
Características zonas y planos de trabajo			
Zona	Tarea visual	Tiempo de uso	Altura de plano de trabajo (m)
Z01 área general	Atención y venta	*frecuente	1,15
Z02 isla central	Atención y venta	*frecuente	1,15
Características de las superficies			
Plano de trabajo	Materiales	Color	Coefficiente de reflexión p [%]
PT-Z01 vitrinas	vidrio	transparente	0,07-0,08
PT-Z02 estanterías	metal	blanco	0,70-0,85
Muro	Materiales	Color	Coefficiente de reflexión p [%]
M01-03	repello	blanco	0,70-0,85
Suelo	Materiales	Color	Coefficiente de reflexión p [%]
S01	baldosa	blanco	0,60-0,70
Cielo raso	Materiales	Color	Coefficiente de reflexión p [%]
CR01	repello	blanco	0,70-0,85
Características luminarias artificiales			
Bombillo	Tipo	Potencia	Distancia a plano de trabajo (H)
B-Z01 y Z02	Luminaria led ahorradora blanca	32W	1,25
Determinación puntos de análisis			
Índice del local (K) = $L \times A / H \times (L + A)$			Nº de puntos
$7,28 \times 6,59 / 1,25 (7,28 + 6,59) = 2,76$			16

Fuente: Esta investigación (2022).

Tabla 4*Caracterización general de las zonas y planos de trabajo del local 02.*

LOCAL 02			
Descripción general	Dimensiones del local (m)		
	Longitud (L)	Anchura (A)	Altura (H)
	5,93 (libre)	4,07 (libre)	2,06 (libre)
	Dimensiones de puertas/cortinas (m)		
	Puerta	Anchura (A)	Altura (H)
	P01	1,30	3,0
	Dimensiones de ventanas (m)		
	Ventana	Anchura (A)	Altura (H)
	V01	2,75	1,6
	Área envolvente (m ²)	Área ventana-vano (m ²)	Porcentaje ventana-vano/envolvente (%)
9,52	8,3	79	0,82 (Generic PYR B Clear 3mm)
Características zonas y planos de trabajo			
Zona	Tarea visual	Tiempo de uso	Altura de plano de trabajo (m)
Z01 oficina-caja			*0,70
Z02 manicure	Decoración de uñas	*	0,80
Z03 peluquería	Corte de cabello	frecuente	0,80
Características de las superficies			
Plano de trabajo	Materiales	Color	Coefficiente de reflexión p [%]
PT-Z01 escritorio	madera	café	0,25-0,50
PT-Z02 mueble	Acabado en fórmica	blanco	0,70-0,85
PT-Z03 mueble	vidrio	transparente	0,07-0,08
Muro	Materiales	Color	Coefficiente de reflexión p [%]

M01-M03	Espejo sobre repello	*claro-blanco	0,80-0,90
Suelo	Materiales	Color	Coefficiente de reflexión p [%]
S01 planta baja	vinilo	Gris (granito)	0,15-0,25
Cielo raso	Materiales	Color	Coefficiente de reflexión p [%]
CR01 planta baja	Repello-perlado	blanco	0,70-0,85
Características luminarias artificiales			
Bombillo	Tipo	Potencia	Distancia a plano de trabajo (H)
B-Z01 a Z03	Lampara led ahorrador blanco	30W	1,26
Determinación puntos de análisis			
Índice del local (K) = $L \times A / H \times (L + A)$			Nº de puntos
5,93 *4,07 / 1,26 (5,93 + 4,07) = 1,91			9

Fuente: Esta investigación (2022).

Tabla 5

Caracterización general de las zonas y planos de trabajo del local 03.

LOCAL 03			
Descripción general	Dimensiones del local (m)		
	Longitud (L)	Anchura (A)	Altura (H)
Local dedicado al servicio de peluquería y manicure, localizado en el costado oeste del pasaje con doble altura y mezanine.	8,13 (libre)	4,47 (libre)	2,12
	Dimensiones de puertas/cortinas (m)		
	Puerta	Anchura (A)	Altura (H)
	P01	1,20	1,88
	Dimensiones de ventanas (m)		
	Ventana	Anchura (A)	Altura (H)
	V01	1,23	1,42
V02	1,73	1,42	

Área envolvente (m2)	Área ventana-vano (m2)	Porcentaje ventana-vano/envolvente (%)	Transmisión luminosa vidrio ventana
22,25	13,27	0,59	0,82 (Generic PYR B Clear 3mm)

Características zonas y planos de trabajo

Zona	Tarea visual	Tiempo de uso	Altura de plano de trabajo (m)
Z01 sala de espera	Lectura de revistas	*	0,6*
Z02 caja	Revisión dinero	*	1,07
Z03 peluquería	Corte de cabello	frecuente	1,40 (cabeza)
Z04 peluquería-manicure y pedicure	Corte de cabello y decoración de uñas	*	1,40 (cabeza) -0,40 (pies)

Características de las superficies

Plano de trabajo	Materiales	Color	Coefficiente de reflexión p [%]
PT-Z01 a Z04 muebles	Acabado en fórmica	Encima: rojo - lados: negro	0,30-0,50
Muro	Materiales	Color	Coefficiente de reflexión p [%]
M01-M03	Espejo sobre repello	*claro-blanco	0,80-0,90
Suelo	Materiales	Color	Coefficiente de reflexión p [%]
S01-Z01 a Z04	baldosa	blanco	0,60-0,70
Cielo raso	Materiales	Color	Coefficiente de reflexión p [%]
CR01	repello	blanco	0,70-0,85

Características luminarias artificiales

Bombillo	Tipo	Potencia	Distancia a plano de trabajo (H)
B-Z01	Lampara led ahorrador blanco	30W	1,52
B0-Z02	Lampara led ahorrador blanco	30W	1,05

B0-Z03	Lampara led ahorrador blanco	30W	0,72
B0-Z04	Lampara led ahorrador blanco	30W	0,78-1,78

Determinación puntos de análisis

Índice del local (K) = $L \times A / H \times (L + A)$	Nº de puntos
Planta 01: $8,13 \times 4,47 / 0,72 (8,13 + 4,47) = 4,00$	25
Planta 02: $4,18 \times 2,98 / 0,78 (4,18 + 2,98) = 2,23$	16

Fuente: Esta investigación (2022).

Tabla 6

Caracterización general de las zonas y planos de trabajo del local 04.

LOCAL 04			
Descripción general	Dimensiones del área de estudio en el local (m)		
	Longitud (L)	Anchura (A)	Altura (H)
Local comercial dedicado a la venta de calzado, localizado en el costado este del pasaje, en la esquina hacia la carrera 24 y con una sola planta.	13,62 (libre)	4,30 (libre)	2,13 (libre)
	Dimensiones de puertas/cortinas (m)		
	Puerta	Anchura (A)	Altura (H)
	P01	1,58	2,13
	P02	2,00	2,13
	Dimensiones de ventanas (m)		
	Ventana	Anchura (A)	Altura (H)
	V01	2,00	1,7
	V02	1,25	1,7
	V03	2,00	1,7
V04	2,00	1,7	
Área envolvente (m ²)	Área ventana-vano (m ²)	Porcentaje ventana-vano/envolvente (%)	Transmisión luminosa vidrio ventana
46,75	19,95	42	0,82 (Generic PYR B Clear 3mm)

Características zonas y planos de trabajo			
Zona	Tarea visual	Tiempo de uso	Altura de plano de trabajo (m)
Z01 exhibidores	Muestra de calzado	frecuente	0,10 - 1,90 *1,20
Z02 bancas	Prueba de calzado	frecuente	0,40
Z03 caja	Revisión dinero	*	1,10
Características de las superficies			
Plano de trabajo	Materiales	Color	Coefficiente de reflexión p [%]
PT-Z01 exhibidores	Metal y vidrio	Blanco- transparente	0,07-0,08
PT-Z02 bancas	cuero-metal	Negro-gris	0,03-0,07
PT-Z03 mueble	Acabado en fórmica	blanco	0,70-0,85
Muro	Materiales	Color	Coefficiente de reflexión p [%]
M01-M04	repello	blanco	0,70-0,85
Suelo	Materiales	Color	Coefficiente de reflexión p [%]
S01	baldosa	blanco	0,60-0,70
Cielo raso	Materiales	Color	Coefficiente de reflexión p [%]
CR01	Repello-estuco	blanco	0,70-0,85
Características luminarias artificiales			
Bombillo	Tipo	Potencia	Distancia a plano de trabajo (H)
B-Z01	Lampara led ahorrador blanco	30W	0,93
B-Z02	Luminaria tubo fluorescente	32W	1,73
B-Z03	Lampara led ahorrador blanco	30W	1,03
Determinación puntos de análisis			
Índice del local (K) de Plano predominante= $L \times A / H \times (L + A)$			Nº de puntos

$$13,62 * 4,30 / 0,93 (13,62 + 4,30) = 3,51$$

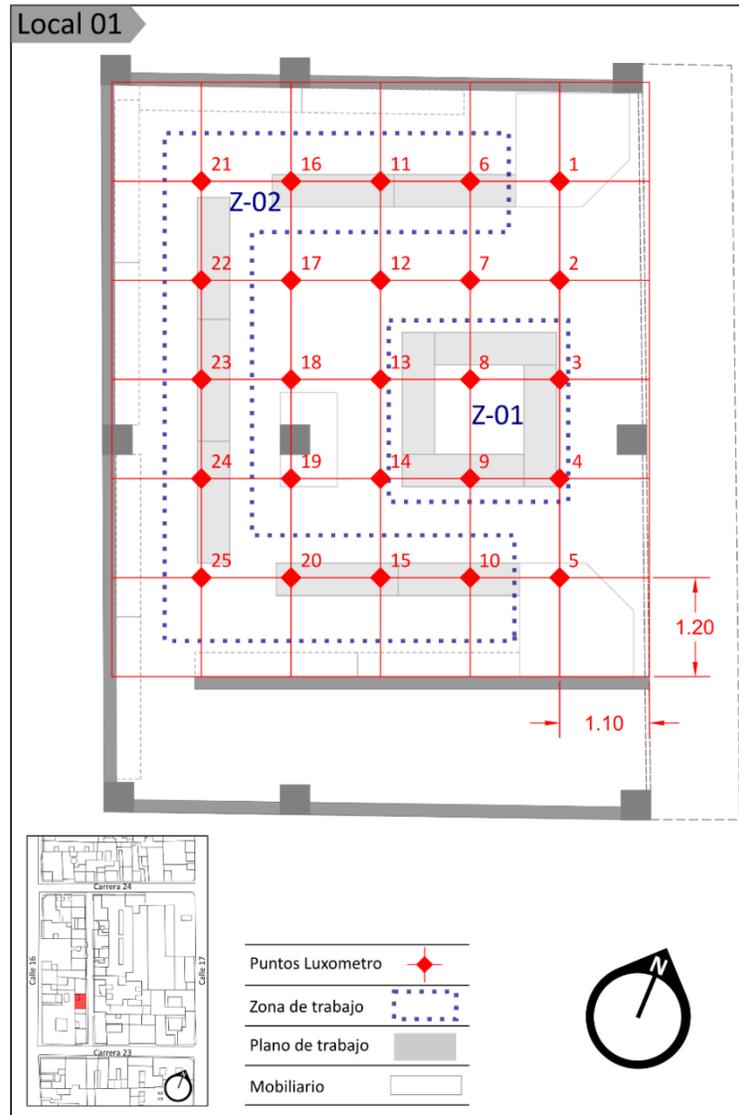
25

Fuente: Esta investigación (2022).

Identificación de los puntos de medición en cada local. Una vez calculados los puntos de análisis, tras diligenciar el formato previo correspondiente a cada local de estudio, se procedió a distribuirlos en una cuadrícula o grilla y numerarlos para su posterior identificación al momento de realizar la medición in situ con el luxómetro. En las figuras 30 a 33 se detallan los puntos de medición en cada local, así como las cotas de inicio que señalan la distancia entre los puntos en los ejes horizontal y vertical.

Figura 30

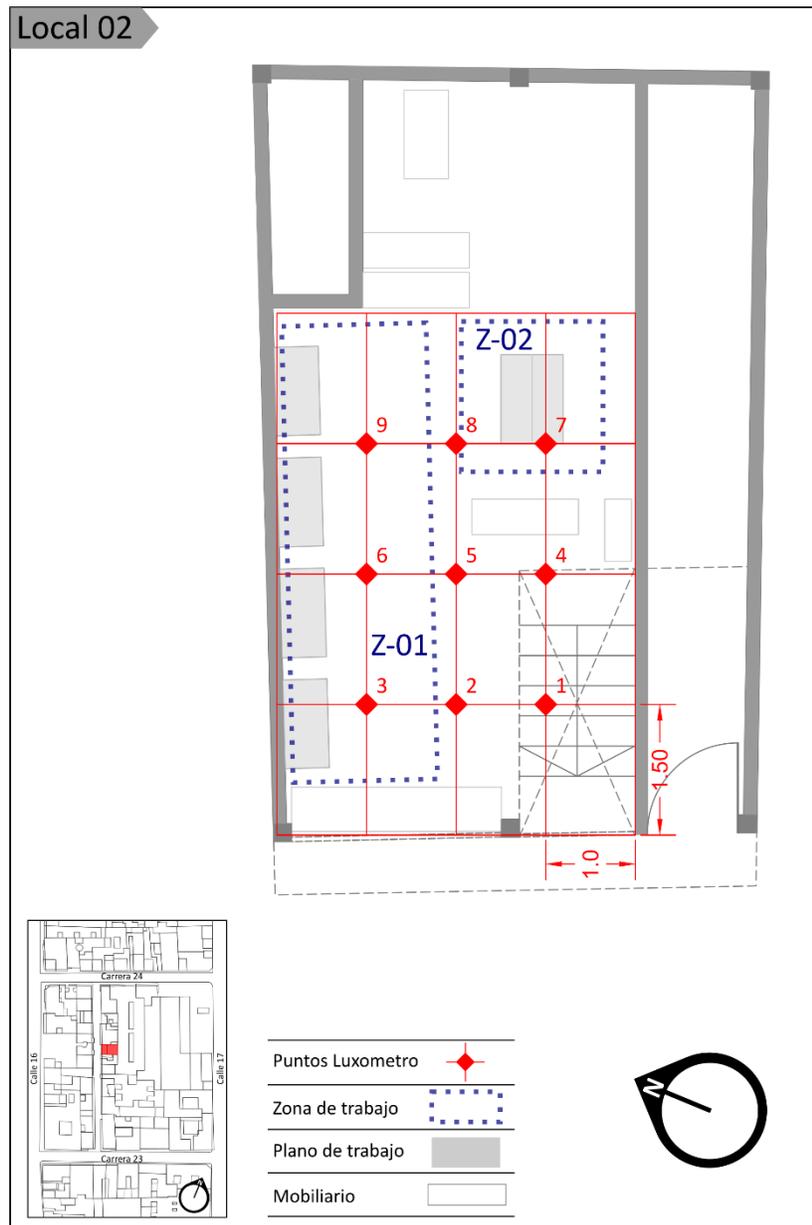
Puntos de medición con luxómetro en el local 01.



Fuente: Esta investigación (2022).

Figura 31

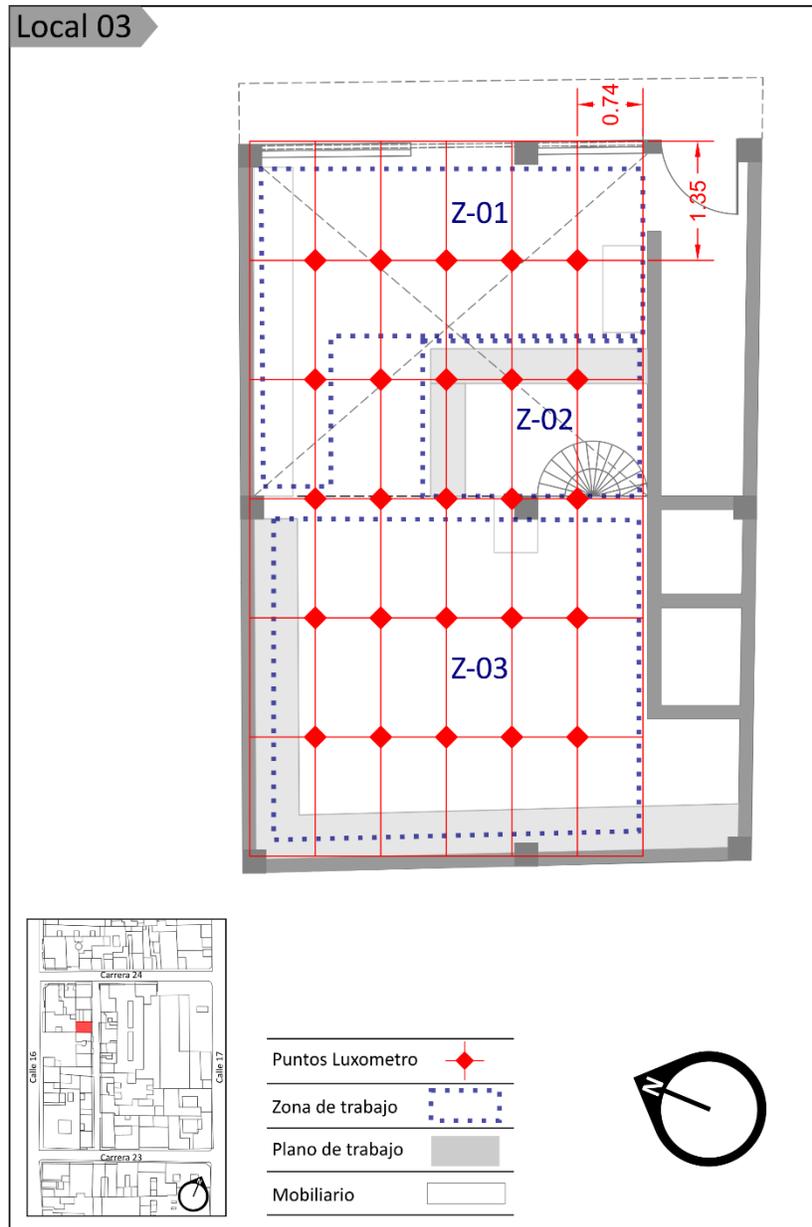
Puntos de medición con luxómetro en el local 02.



Fuente: Esta investigación (2022).

Figura 32

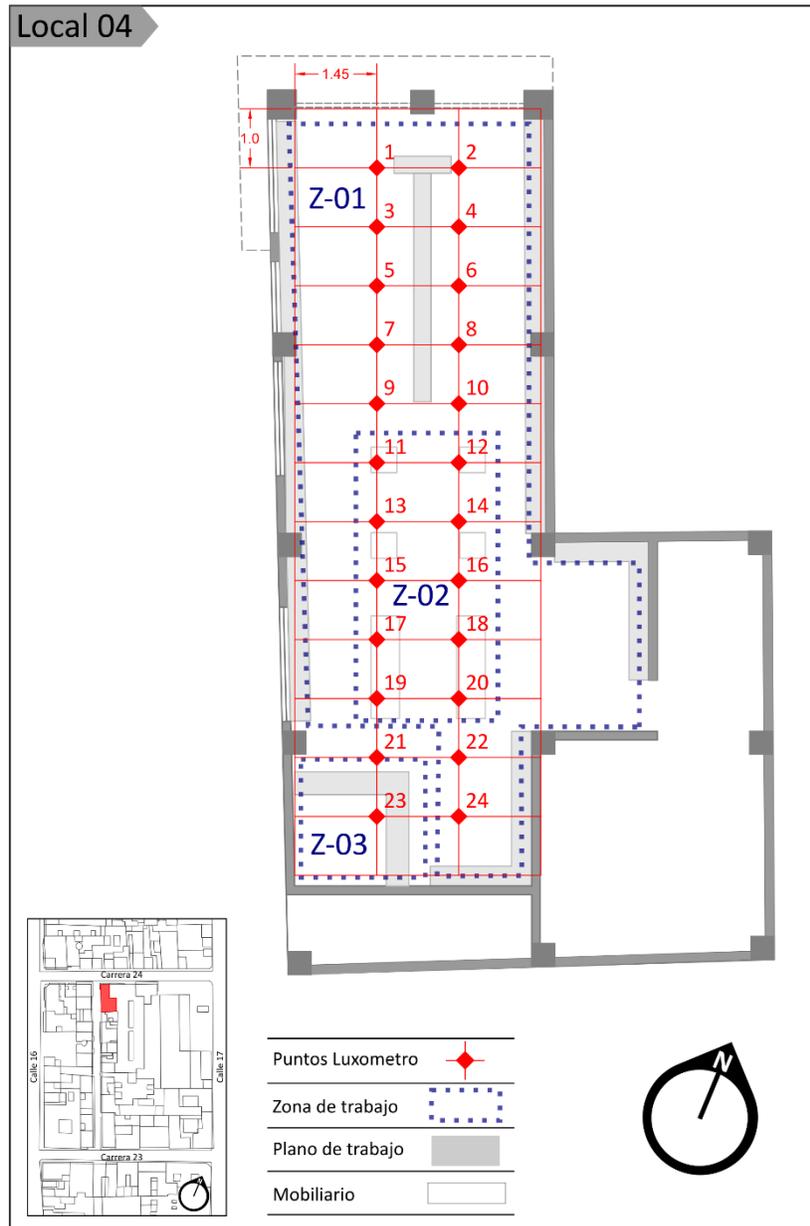
Puntos de medición con luxómetro en el local 03.



Fuente: Esta investigación (2022).

Figura 33

Puntos de medición con luxómetro en el local 04.



Fuente: Esta investigación (2022).

Mediciones internas de la luz natural y artificial de los locales de estudio. Al completar esta parte preliminar, se adelantó la visita a cada uno de los locales para desarrollar las mediciones de iluminancia in situ con el luxómetro y con previo consentimiento informado (ver anexo 02). En la mañana del día 7 de noviembre del presente año, con la ayuda de los planos de puntos de medición antes descritos, se localizaron los puntos sobre los cuales se efectuarían las mediciones y se los señaló con una marca distintiva en el suelo, posteriormente se tomó nota de la hora de inicio del registro y luego de encender el lector del luxómetro y ajustar el rango de lectura a 40 K (ver figura 34), se sujetó el fotorreceptor de manera horizontal, es decir 0° de inclinación, y se verificó la altura a la cual se realizaría la medición; que para los casos de estudio de esta investigación se promedió a 120 centímetros del suelo (ver figura 35), puesto que equivale a la altura de los planos de trabajo tanto en los locales dedicados a la venta de productos de belleza, que son los mostradores o vitrinas, como en los locales dedicados a la peluquería donde la actividad visual del corte del cabello es igual a la altura de la cabeza de los clientes sentados.

Figura 34

Ajuste de rango de visualización de datos en lector del luxómetro.



Fuente: Esta investigación (2022).

Figura 35

Medición con fotorreceptor en posición horizontal y a una altura de 120 centímetros.



Fuente: Esta investigación (2022).

Adicionalmente se determinaron puntos de medición en los muros perimetrales de cada local, desde los cuales se realizaron registros de la iluminación con el fotorreceptor en dos posiciones, a 45 y 90° de inclinación, esto con el objetivo de identificar iluminación reflejada por muros o techos al interior. Así mismo, con el fin de calcular los valores de transmitancia de los vidrios, se realizaron mediciones de iluminación externas frente a las ventanas de los locales, como se muestra en la figura 36, para luego efectuar la división con los datos previos registrados internamente.

Figura 36

Medición externa frente a la ventana de uno de los locales de estudio.



Fuente: Esta investigación (2022).

A continuación, en las tablas 7 a 10 se presentan los datos consolidados de las mediciones registradas con el luxómetro y descritas ulteriormente. Cabe aclarar que dentro del estudio se consideraba realizar por lo menos una jornada de medición que incluía tres sesiones en momentos distintos del día (en la mañana, al mediodía y otra en la noche), sin embargo, solo fue posible realizar una sesión en la mañana (entre las 10:00 y 11:00 am). Además, se planteaban dos tipos de mediciones con el luxómetro; una mixta que incluía la luz natural y artificial, que es la que se detalla enseguida, y una segunda medición solo con luz natural, la cual no fue permitida realizar por petición de los dueños de los locales al requerir apagar las

luces. En el mismo sentido, se anota que no fue posible realizar las mediciones internas con el luxómetro en el local 03, por cuanto no se concedió el permiso para continuar con el estudio en este establecimiento. Por consiguiente, el desarrollo de las siguientes etapas de la investigación proseguirá con los locales 01, 02 y 04.

Tabla 7

Datos de las mediciones con luxómetro en el local 01.

Medición de iluminancia in situ con luxómetro				
Espacio	Medición mixta:	Hora de medición:	Altura (m) de medición:	Rango de medición:
LOCAL 01	luz natural – luz artificial	10:35 a.m.- 10:55 a.m.	1,20	40K
Puntos de medición en cuadrícula (lux)				
1. 3030	2. 2400	3. 1930	4. 1540	5. 2340
6. 1050	7. 1560	8. 1700	9. 1640	10. 1510
11. 900	12. 1140	13. 1100	14. 1020	15. 1230
16. 1050	17. 1020	18. 910	19. 1030	20. 1050
21. 1220	22. 550	23. 1050	24. 1270	25. 1250
Puntos de medición en muros (lux)				
	A	B	C	-
45°	600	910	660	-
90°	450	780	550	-
Puntos de medición externos (lux)				
E1	6260	E2	6520	-

Fuente: Esta investigación (2022).

Tabla 8*Datos de las mediciones con luxómetro en el local 02.*

Medición de iluminancia in situ con luxómetro				
Espacio	Medición mixta:	Hora de medición:	Altura (m) de medición:	Rango de medición:
LOCAL 02	luz natural – luz artificial	11:00 a.m.- 11:10 a.m.	1,20	40K
Puntos de medición en cuadrícula (lux)				
1. 300	2. 440	3. 750	-	-
4. 580	5. 350	6. 380	-	-
7. 410	8. 500	9. 850	-	-
Puntos de medición en muros (lux)				
	A	B	C	-
45°	500	10	0	-
90°	10	0	0	-
Puntos de medición externos (lux)				
E1	5410	E2	5410	-

Fuente: Esta investigación (2022).

Tabla 9

Datos de las mediciones con luxómetro en el local 04.

Medición de iluminancia in situ con luxómetro				
Espacio	Medición mixta:	Hora de medición:	Altura (m) de medición:	Rango de medición:
LOCAL 04	luz natural – luz artificial	10:15 a.m.- 10:30 a.m.	1,20	40K
Puntos de medición en cuadrícula (lux)				
1. 890	2. 890	3. 540	4. 650	5. 580
6. 600	7. 470	8. 410	9. 410	10. 430
11. 310	12. 330	13. 370	14. 420	15. 410
16. 370	17. 460	18. 280	19. 230	20. 230
21. 300	22. 320	23. 190	24. 220	-
Puntos de medición en muros (lux)				
	A	B	C	-
45°	340	320	330	-
90°	0	240	0	-
Puntos de medición externos (lux)				
E1	4360	E2	4040	-

Fuente: Esta investigación (2022).

Junto con los datos de iluminación de los locales de estudio, se tomó registro del tipo de cielo al momento de realizar las mediciones con el luxómetro, tal como se muestra en la figura 37. Esto con el fin de evaluar la iluminación natural bajo un tipo de cielo específico que para la fecha indicada corresponde a un cielo parcialmente despejado, en el cual la presencia del sol se alterna con periodos de nubosidad variable (Pattini, 2009).

Figura 37

Registro fotográfico del cielo al término de las mediciones en cada local de estudio.



Fuente: Esta investigación (2022).

Del mismo modo, se presentan en la figura 38 las fotografías del techo tomadas en cada uno de los locales con el fin de registrar el tipo de luminarias existentes y rectificar la distribución de éstas en los planos de levantamiento arquitectónico indicados al comienzo de este capítulo.

Figura 38

Registro fotográfico del techo y luminarias en cada local de estudio.



Fuente: Esta investigación (2022).

Medición de luz natural en espacio público del pasaje El Dorado. Con la ayuda de un luxómetro, en la mañana del día 30 de octubre del presente año se efectuaron medidas de luz natural en cuatro puntos del pasaje el Dorado, justo frente a los locales de estudio. Se tomaron dos lecturas por cada punto, una en sombra y otra bajo exposición solar directa; en ambos casos el fotorreceptor se lo ubicó en forma horizontal a una altura aproximada de 220 cm (ver figura 39). A continuación, en la tabla 10 se muestran los resultados:

Tabla 10

Cantidad de luxes en espacio público del pasaje El Dorado.

Medición externa frente a los locales	Iluminación bajo sombra (lux)	Iluminación bajo exposición directa (lux)
Local 01	5620	12470
Local 02	3280	11220
Local 03	3920	13830
Local 04	4000	14000

Fuente: Elaboración propia (2022).

Figura 39

Medición con luxómetro en espacio público del pasaje El Dorado.



Fuente: Esta investigación (2022).

De igual manera, se tomó registro del tipo de cielo al momento de realizar las mediciones con el luxómetro, tal como se indica enseguida en la figura 40. Esto con el fin de evaluar la iluminación natural bajo un tipo de cielo específico, que para este caso corresponde a un cielo claro, el cuál según la clasificación CIBSE y ESNA se refiere a una bóveda celeste con una obstrucción por nubosidad menor al 30% (Pattini, 2009).

Figura 40

Registro fotográfico del cielo en pasaje El Dorado durante medición externa.



Fuente: Esta investigación (2022).

Diagnóstico de la Iluminancia y Luminancia

Cálculo de los niveles de iluminancia de cada local de estudio. Con el fin de determinar los valores de iluminación óptimos para el confort lumínico o visual en los locales de estudio, el primer paso fue identificar las zonas específicas de los locales donde se desarrolla la actividad

o tarea visual y luego las zonas circundantes a la tarea visual, lo cual se ilustró en las figuras 26 a 29. Paso a seguir, de acuerdo al nivel de exigencia visual requerido en las zonas de tarea de los locales de estudio se establecen los valores mínimos de iluminancia aceptados. A continuación, en la tabla 11 se detallan los valores mínimos recomendados por la sociedad norteamericana de ingeniería de iluminación (IESNA, por sus siglas en inglés).

Tabla 11

Valores mínimos de iluminancia por tipo de actividad.

ILUMINANCIA MÍNIMA (LUX)	TIPO DE ACTIVIDAD ILUMINACIÓN
30	Circulación en superficies públicas mal encendidas
50	Orientación rápida para visitas de corta duración
100	Tareas visuales estrictamente ocasionales
300	Tareas con exigencias visuales simples
500	Tareas con exigencias visuales medias:
1500-2000	Tareas con elevadas exigencias visuales
3.000 a 10 000	Tareas muy meticulosas

Fuente: TDRé, CITEC. UBB (2016).

Sin embargo, la tabla citada al no detallar los criterios para determinar a qué nivel de exigencia visual corresponde la tarea o realizar un inventario de las tareas visuales a las que se refiere, se decide acoger los niveles de iluminancia de la norma ISO 8995 “Principles of visual ergonomics – The lighting of indoor work systems” adaptada por el Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP) expedido en el 2010 por el ministerio de minas y energía de Colombia, en el cual se encuentra un listado con distintas actividades de los sectores de la industria, oficinas, salud, comercial y educación.

A pesar de la amplitud de actividades que numera el reglamento no se encontraron las referentes a esta investigación. Por lo tanto, se relacionaron las actividades desarrolladas en los locales de estudio con las tareas visuales más cercanas y disponibles en el reglamento. Así, por ejemplo, las tareas visuales como el corte del cabello, tinturado y decoración de uñas, que se llevan a cabo en el local 02 donde funciona una peluquería, se relacionaron con las

actividades de pintura y decoración y las actividades de oficinas de tipo general, mecanografía y computación. Mientras que las tareas visuales del local 01, dedicado a la venta de productos de belleza y del local 04 correspondiente a una zapatería, fueron relacionadas con la actividad de iluminación general en supermercados. En la tabla 12 se resaltan los valores mínimos, medios y máximos de iluminancia de las actividades visuales mencionadas.

Tabla 12

Valores de iluminancia de actividades relacionadas con las de los locales de estudio.

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	UGR _L	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
		Mínimo.	Medio	Máximo
Trabajo en vidrio y cerámica				
Zona de hornos	25	100	150	200
Recintos de mezcla, moldeo, conformado y estufas	25	200	300	500
Terminado, esmaltado, envidriado	19	300	500	750
Pintura y decoración	16	500	750	1000
Afilado, lentes y cristalería, trabajo fino	19	750	1000	1500
Oficinas				
Oficinas de tipo general, mecanografía y computación	19	300	500	750
Oficinas abiertas	19	500	750	1000
Oficinas de dibujo	16	500	750	1000
Salas de conferencia	19	300	500	750
Almacenes				
<i>Iluminación general:</i>				
En grandes centros comerciales	19	500	750	1000
Ubicados en cualquier parte	22	300	500	750
Supermercados	19	500	750	1000

Fuente: Esta investigación (2022), adaptado de RETILAP, Ministerio de Minas y Energía (2010).

Con base en el tipo de actividad seleccionada por su similitud con las tareas visuales desarrolladas en los locales de estudio y el valor medio de iluminancia, como lo recomienda el RETILAP (2010, p.77), se procede a determinar los valores de iluminancia requeridos en las zonas circundantes; para lo cual se aplica, en este caso un factor de 1.5 o se toma el valor relacionado en la casilla de enfrente de acuerdo al cuadro de relación entre iluminancia de zonas circundantes inmediatas al área de tarea la cual se presenta en la tabla 13. Así, para el local 02 los valores de iluminancia para las zonas circundantes corresponden a 500 y 300, en tanto que para los locales 01 y 04 corresponde a 500.

Tabla 13

Relación entre iluminancia de zonas circundantes al área de tarea y valores de uniformidad correspondientes.

Iluminancia de tarea (lx)	Iluminancia de áreas circundantes inmediatas (lx)
Mayor o igual a 750	500
500	300
300	200
Menor o igual a 200	E_{tarea}
Uniformidad (E_{min}/E_{prom})	
Mayor o igual a 0,5	Mayor o igual a 0,4

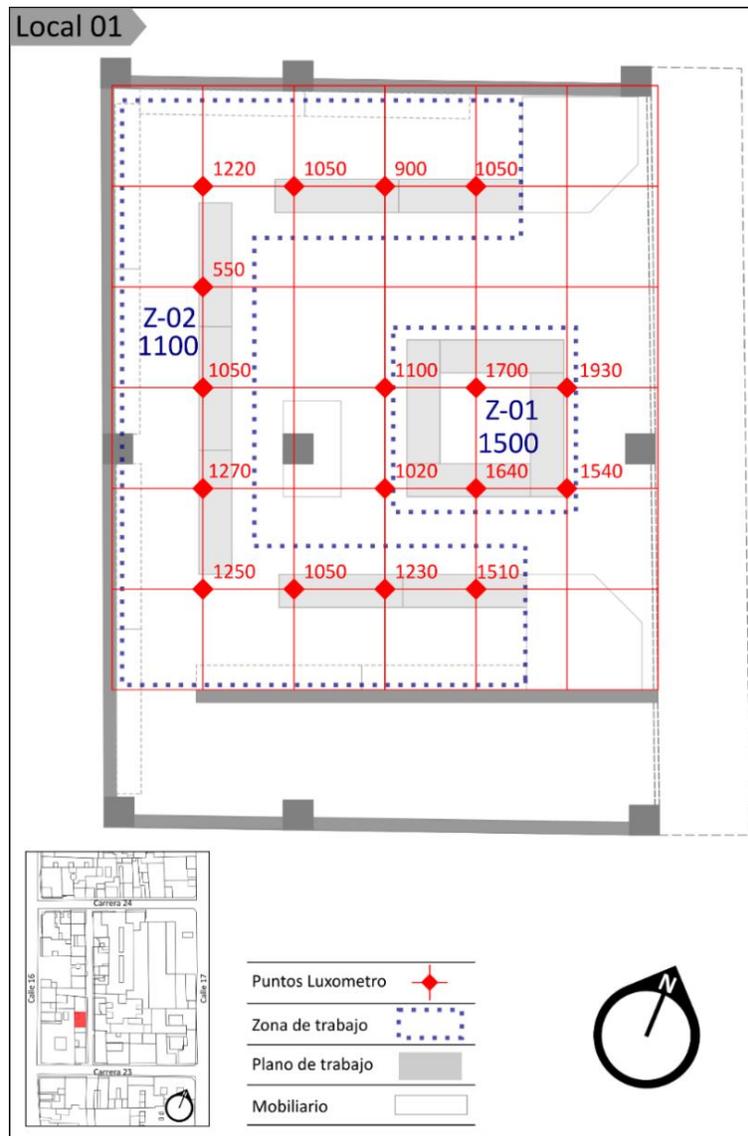
Fuente: RETILAP, Ministerio de Minas y Energía (2010).

Una vez calculados los niveles de iluminancia adecuados para cada local de estudio, tanto para las zonas de tareas visuales como para las zonas circundantes, se procede a evaluar la uniformidad media de la iluminancia en ambas zonas o áreas; para ello se divide el valor de iluminancia mínima entre la iluminancia media. El RETILAP según el cuadro visto antes en la tabla 13, recomienda un valor de uniformidad mayor o igual a 0,5 para los valores de iluminancia en zonas de tarea visual, mientras que para la iluminancia en zonas circundantes recomienda un valor mayor o igual a 0,4.

De esta manera se procede a evaluar el local 01, donde los niveles de iluminancia registrados in situ en las zonas de tarea visual 01 y 02, correspondientes a las vitrinas y estanterías donde se exhiben los productos de belleza, tienen un promedio de 1100 y 1500 luxes, lo que supone un incremento del 150 al 200% del valor medio recomendado de 750 luxes. Los valores en detalle se muestran ahora en la figura 41:

Figura 41

Niveles de iluminancia en zonas de tarea visual registrados in situ en local 01.



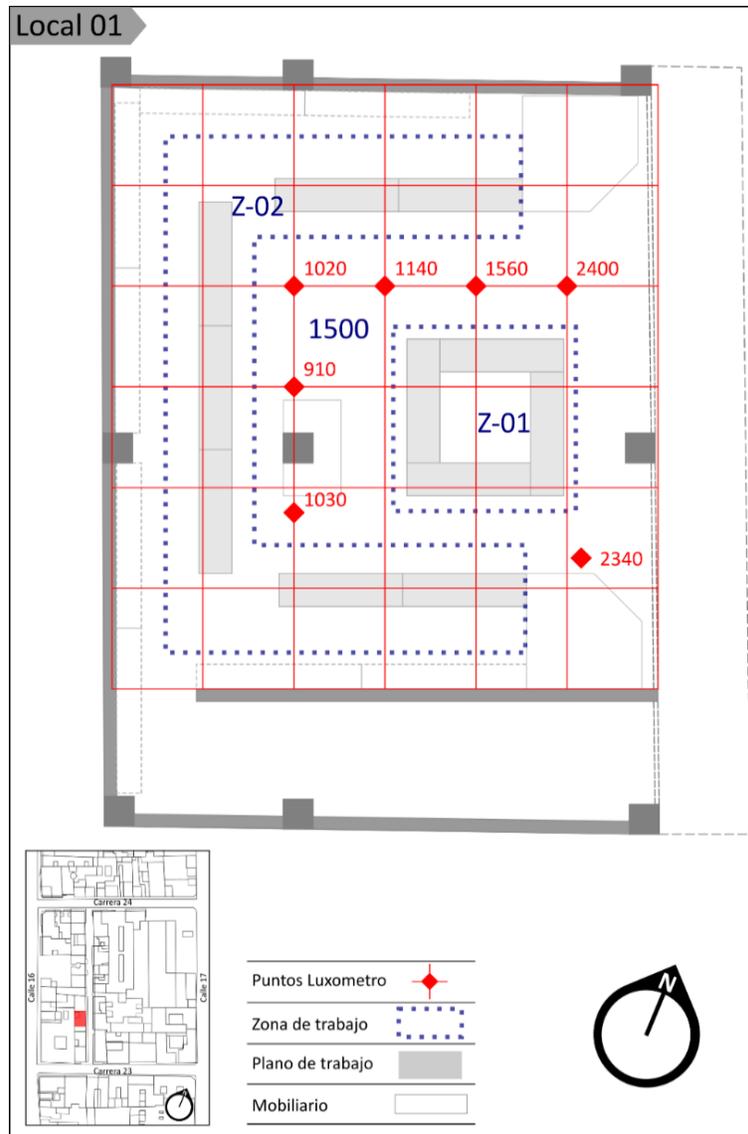
Fuente: Esta investigación (2022).

Por otra parte, al revisar la figura 42, los niveles de iluminancia en las zonas circundantes a las tareas visuales, que para este caso se asumen como los pasillos del local,

presenta un promedio de 1500 luxes, que al compararse con el valor recomendado de 500 luxes superan nuevamente los niveles de iluminación en un 300%.

Figura 42

Niveles de iluminancia en zonas circundantes registradas in situ en local 01.



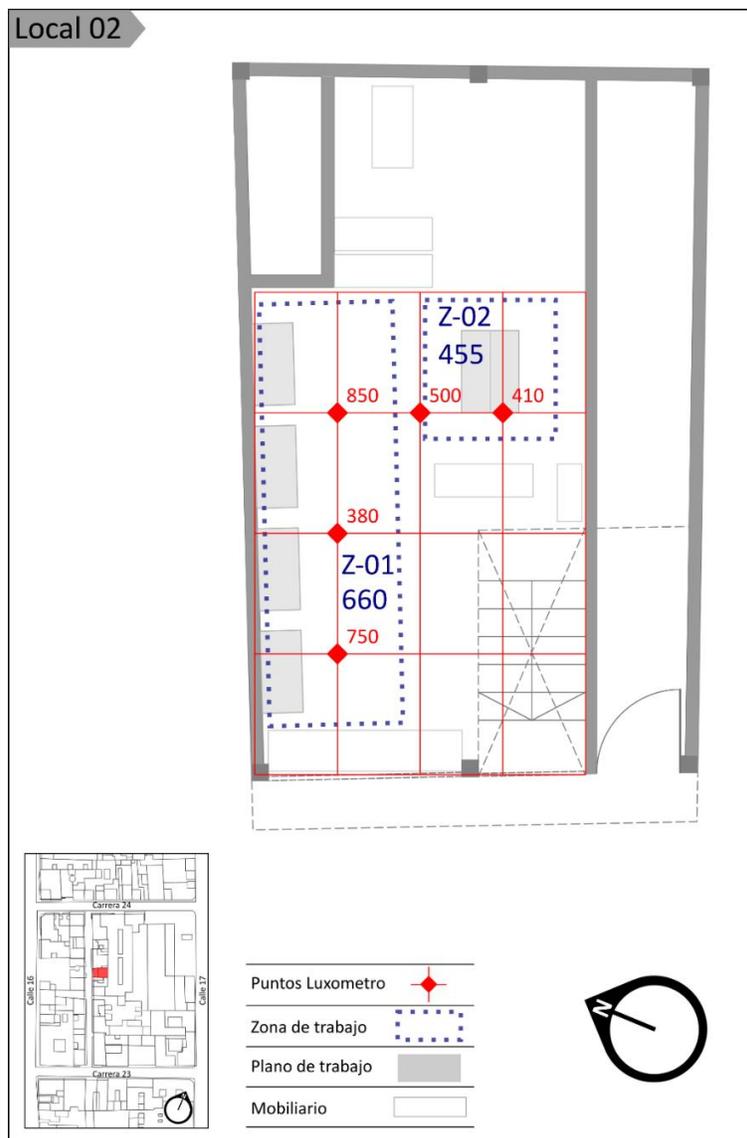
Fuente: Esta investigación (2022).

Ahora, al evaluar la uniformidad de las iluminancias en el local de estudio 01, se encuentra que para las zonas de tarea visual 01 y 02 la uniformidad es de 0,68 y 0,5 respectivamente. En tanto que para la zona circundante el valor resultante de uniformidad es de 0,6. Dicho de ese modo, los valores obtenidos se ajustan a la uniformidad recomendada y por tanto no hay riesgo de presentarse condiciones de tensión o molestia visual. A pesar de este hecho, se recalca la necesidad de ajustar los niveles de luminancia a los valores recomendados previamente.

Se prosigue con la evaluación del local 02, en el cual el nivel de iluminancia de la zona de tarea visual 01, donde se desarrolla el corte de cabello, cuenta con valores por encima (750 y 850 lx) y por debajo (380 lx) del valor recomendado de 500 luxes (ver figura 43), por lo que en primera instancia resalta un desequilibrio en los niveles de iluminancia. Pasando a la zona 02, el nivel de iluminancia de esta zona de tarea visual que se relaciona con la decoración de uñas presenta un promedio de 455 luxes, siendo el recomendado de 750 luxes, por tanto, se presenta un déficit de casi 300 luxes.

Figura 43

Niveles de iluminancia en zonas de tarea visual registrados in situ en local 02.



Fuente: Esta investigación (2022).

En lo que se refiere a los niveles de iluminación en zonas circundantes, como se evidencia en la figura 44, el local 02 presenta un valor promedio de 418 luxes que, si se

compara con el recomendado (equivalente al promedio de los valores de 300 y 500 luxes), resulta bastante ajustado al valor ideal.

Figura 44

Niveles de iluminancia en zonas circundantes registradas in situ en local 02.



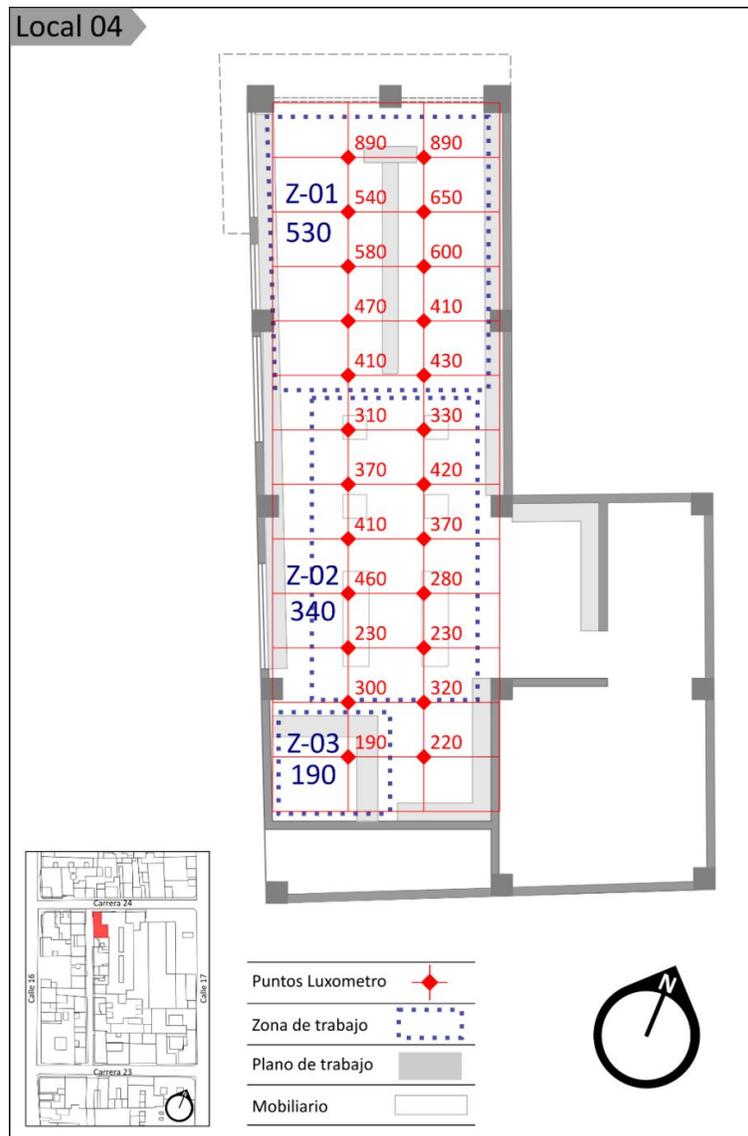
Fuente: Esta investigación (2022).

Ahora bien, al evaluar la uniformidad de las iluminancias en el local 02 de acuerdo a la tabla 13, se encuentra que en las zonas de tarea visual 01 y 02 la uniformidad obtenida es de 0,57 y 0,90. Mientras que para la zona circundante es de 0,71. Es decir, cumple con los valores de uniformidad requeridos.

Se culmina la evaluación de la iluminancia con el local 04, en el cual se identifican tres zonas de tareas visuales, tal como se representa en la figura 45, la zona 01 engloba el área de exhibición del calzado con una iluminancia promedio de 530 luxes; la zona 02 corresponde al área de prueba del calzado que cuenta con 340 luxes y la zona 03 donde se halla la caja registradora con 190 luxes de iluminancia. Así, en las tres zonas los niveles de iluminancia resultan por debajo de los 750 luxes que se asignan por recomendación para las tareas visuales de este local.

Figura 45

Niveles de iluminancia en zonas de tarea visual registrados in situ en local 04.



Fuente: Esta investigación (2022).

Si siguiendo el proceso descrito, se evalúa ahora los niveles de iluminancia para las zonas circundantes. Sin embargo, como se observa en la figura anterior, la configuración propia del local y la disposición lineal de la mayoría de los planos de trabajo no permite diferenciar una zona circundante a la tarea visual. A pesar de este hecho, si son evaluados los valores de

uniformidad de las tres zonas de tarea visual que posee el local 04, cuyos resultados: 0,77; 0,67 y 1,0 se ajustan al valor recomendado de uniformidad mayor o igual a 0,5. De esta manera se establece que este local tampoco genera condiciones de tensión o molestia visual causados por desequilibrio entre las iluminancias.

Luminancia de cada local de estudio. Para esta investigación no se midió in situ la luminancia pues no se dispuso del equipo para su medición ni tampoco del software para simularlo. Por esta razón, solo se dejan descritos los valores de reflectancia de las superficies como criterio para una adecuada distribución de luminancias (ver tabla 14), de la cual se adoptan para los locales de estudio los valores asignados para edificios de oficinas y de manera complementaria los niveles de deslumbramiento máximos para cada actividad visual según el reglamento RETILAP (ver dato UGR de la tabla 12).

Tabla 14

Valores límites de reflectancia recomendados para superficies interiores.

COEFICIENTE DE REFLEXIÓN R [%]				
SUPERFICIE	EDIFICIOS DE OFICINAS	EDIFICIOS EDUCACIONALES	EDIFICIOS DE SALUD	EDIFICIOS DE SEGURIDAD
Cielos interiores	> 0,7	> 0,7	> 0,75	> 0,7
Paredes :				0,5 - 0,7
*sobre los 2m	0,5 - 0,7	0,5 - 0,7	0,6 - 0,8	N/A
*bajo los 2m	0,5	0,5	0,5	N/A
Divisiones	0,4 - 0,7	0,5 - 0,7	0,5 - 0,7	0,4 - 0,7
Suelos	0,2 - 0,4	0,2 - 0,5	0,2 - 0,4	0,2 - 0,4
Muebles	0,25 - 0,5	0,25 - 0,5	0,4 - 0,6	N/A
Cortinas/persianas	0,4 - 0,6	0,5 - 0,7	0,5 - 0,7	N/A
Pizarra oscura	N/A	0,05 - 0,20	N/A	N/A
Pizarra clara	N/A	0,50 - 0,70	N/A	N/A

Fuente: TDRé, CITEC. UBB (2016).

Al comparar los valores de reflectancia sugeridos en la tabla anterior, con los valores detallados en los formatos de caracterización general de las zonas y planos de trabajo (tablas 3 a 6), se encuentra que el local 01 presenta valores de reflectancia en planos de trabajo por

fuera de lo recomendado, pues registra un valor muy bajo de solo 0,07-0,08 %. en lo que respecta a muros con un valor de 0,70-0,85 no se ajusta al valor bajo los 2 metros indicado; en cuanto a cielo raso, se ajusta al valor indicado con un 0,70-0 85% y en cuanto al suelo está por encima del valor recomendado con un 0,60-0,70%.

En el caso del local 02, en lo que se refiere a los valores de reflectancia de los planos de trabajo, solo un tipo de mueble se ajusta a lo indicado con un valor de 0,25-0,50%, los otros dos tipos de mueble se salen del margen con un 0,75-0,80 y 0,07-0,08%. Pasando a la superficie del muro, este cuenta con una reflectancia mayor a la estipulada con un 0,80-0,90%. El cielo raso, con un valor de 0,70-0,85% si cumple con el valor recomendado y el suelo con una reflectancia de 0,15-0,25 si alcanza a estar dentro del margen indicado.

El mismo proceso de evaluación se lleva a cabo en el local 04, encontrando que en los planos de trabajo los valores de reflectancia no concuerdan con los recomendados, pues se registran valores por debajo (entre 0,03-0,08) y por encima (0,70-0,85). En cuanto a los muros, con base en el valor indicado bajo los 2 metros, la reflectancia es mayor al ideal con un 0,70-0,85. Mientras que el cielo raso, con un 0,70-0,85 se ajusta al planteado en la tabla 14 y el suelo por su parte, está por encima de lo indicado con un 0,60-0,70.

Cálculo del desempeño de la luz natural en los locales de estudio. Como se mencionó con anterioridad, las mediciones de iluminancia al interior de los locales incluyeron la luz natural y artificial. Por consiguiente, en esta sección se identifican los niveles de contribución y desempeño de la luz natural o luz día en las zonas de tarea visual de cada local, a partir de la métrica de Iluminancia Útil de Luz Natural.

Esta métrica se escogió, en primera instancia porque corresponde a un método de análisis dinámico, que a diferencia de un análisis estático como el Factor de luz día (Daylight factor) o el de Iluminancia (Illuminance), considera junto con la forma y orientación del edificio, las condiciones lumínicas exteriores cambiantes a lo largo de un día y de un año a partir de un

archivo climático y no solo en un momento puntual y bajo un tipo de cielo específico. Además, permite establecer rangos adecuados en los niveles de iluminación, evitando el discomfort por deslumbramiento (Ordoñez, 2021).

La Iluminancia Útil de Luz Natural, conocida también como Useful Daylight Illuminance (UDI), es definida por el NBI (2021) así:

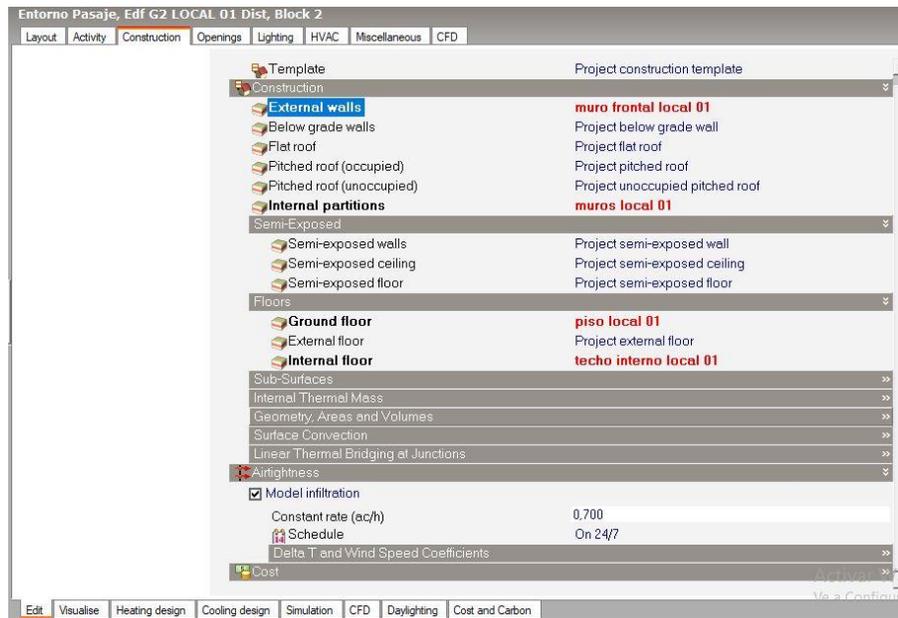
Esta métrica agrupa valores de tiempo por hora basados en tres rangos de iluminación, 0-100 lux, 100-2000 lux y más de 2000 lux. Proporciona crédito completo solo a valores entre 100 lux y 2000 lux, lo que sugiere que los valores de iluminación horizontal fuera de este rango no son útiles.

Se recalca que, a parte de la Iluminancia Útil de Luz Natural, dentro de las métricas de análisis dinámico que dispone el software Design Builder, se encuentran la Autonomía Espacial de Luz Diurna (SDA) y la Exposición Solar Anual (ASE), pero estas se recomiendan para los edificios de oficinas y de uso educativo, precisamente por cómo fueron concebidas a partir de ensayos en estos espacios en particular (Ordoñez, 2021).

Simulación de la iluminación de cada local de estudio en Design Builder. Con base en los datos registrados en las tablas 3 a 6, se procedió a asignar en el modelo de Design Builder, sobre los bloques de edificio de los locales de estudio, los materiales de las superficies correspondientes a muros, suelo y techo (ver figura 46). Esto con el fin de aproximarse a los niveles de iluminación natural con los materiales y colores de las superficies reales y evaluar posteriormente en el capítulo 4 las mejoras con las estrategias aplicadas.

Figura 46

Configuración de los materiales de bloques de edificio de cada local.

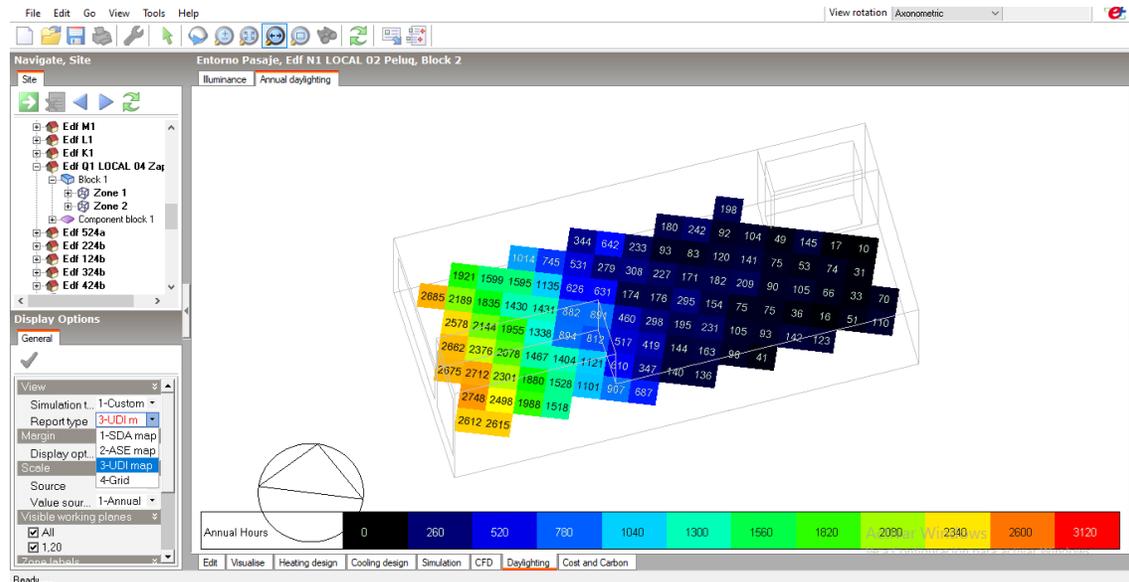


Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

Para efectuar la simulación de iluminación en el software, el primer paso fue seleccionar el edificio a evaluar y marcar sobre el módulo Daylighting (iluminación natural). Luego, en la parte superior se seleccionó la pestaña Annual Daylighting, la cual contiene los análisis dinámicos. Después, en la franja de Display Options se seleccionó en tipo de reporte la opción UDI-map, tal como se señala en la figura 47.

Figura 47

Métrica UDI en la interfaz del módulo Daylighting de Design Builder.

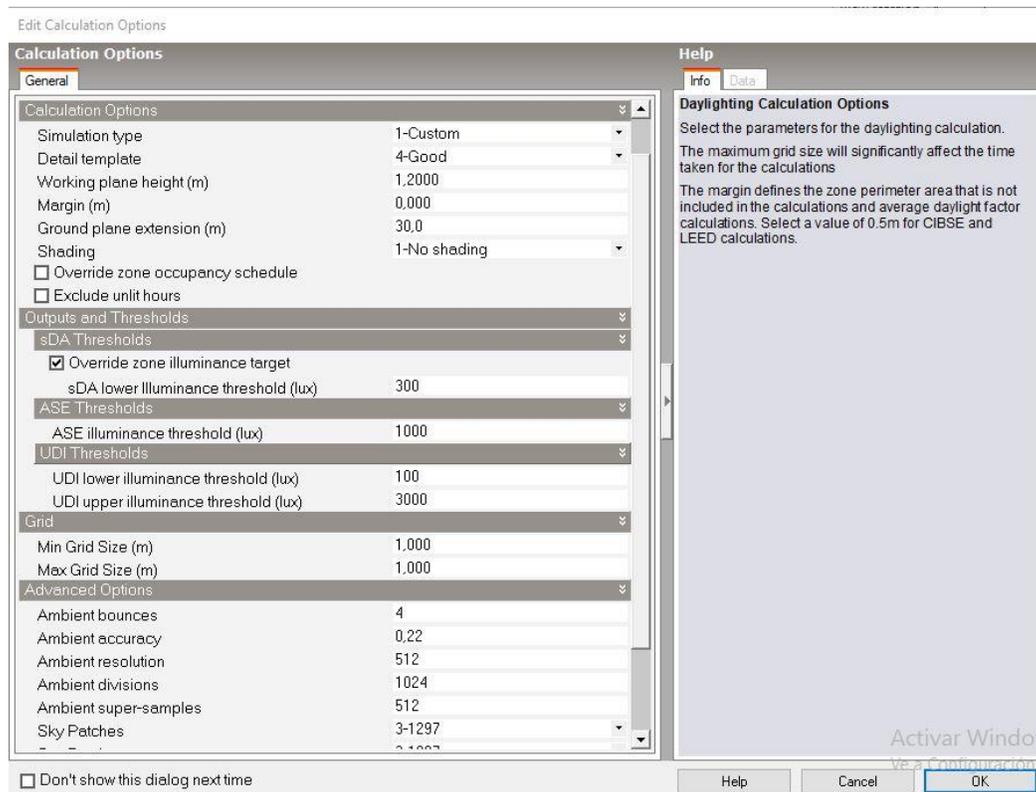


Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

Una vez realizados los pasos previos, se corre el análisis e inmediatamente se despliega una ventana de configuración para las opciones del cálculo, como se muestra en la figura 48. Para el caso puntual de esta investigación la altura del plano de trabajo se modificó a 1,20 metros. Así mismo, en la pestaña Outputs and Thresholds, en el ítem del UDI, que aparece por defecto el valor más bajo de iluminancia como 100 luxes y como valor más alto 3000 luxes, se establecieron los rangos, en este caso, de acuerdo a los niveles de iluminancia recomendados por cada tarea visual (mínimos y máximos); enseguida se modificó la grilla a 0,5m x 0,5m y posteriormente, se pasó la visualización de datos de horas a porcentaje.

Figura 48

Configuración de opciones de cálculo de la Métrica UDI.



Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

Es importante señalar que después de realizar las simulaciones, se procede a evaluar los resultados con base en unos criterios de aceptable y bueno según el porcentaje de horas anuales en los que se cumple con los valores límite de iluminación propuestos. Como referencia se muestra a continuación, en la tabla 15, los valores de iluminancia útil presentados en la guía técnica de apoyo n°8 referente al confort lumínico del TDRé, CITEC. UBB (2016).

Tabla 15

Valoración de porcentajes de iluminación útil en el rango de 200-3000 luxes.

VALORES LÍMITE	
Acceptable	: $\geq 80\%$ del año UDI 200 - 3000 lux
Bueno	> 50 - < 80% del año UDI 200 - 3000 lux (mínimo)

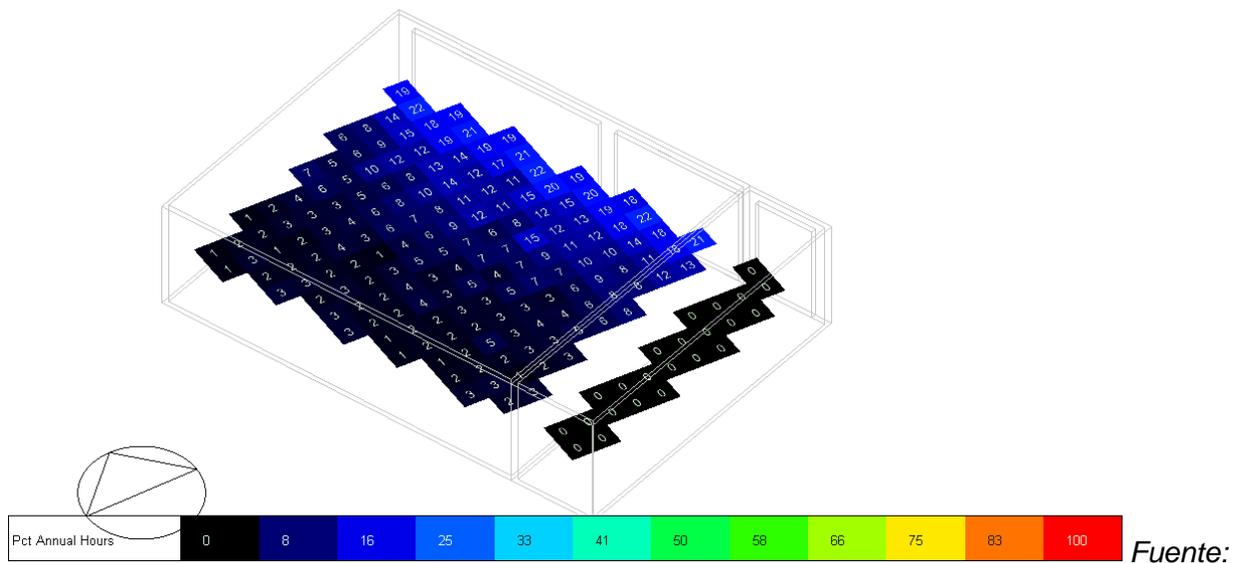
Fuente: TDRé, CITEC. UBB (2016).

Ahora se detallarán los resultados obtenidos al evaluar el desempeño de la luz natural aplicando la métrica UDI en cada uno de los locales de estudio.

En el local 01, se modificó el rango de iluminación a los valores recomendados para la tarea visual que le corresponde, en este caso un mínimo de 500 luxes y un máximo de 1000 luxes. La gráfica obtenida se muestra en la figura 49.

Figura 49

Análisis de Iluminancia Útil de Luz Natural – Rango 500-1000 lx en local 01.



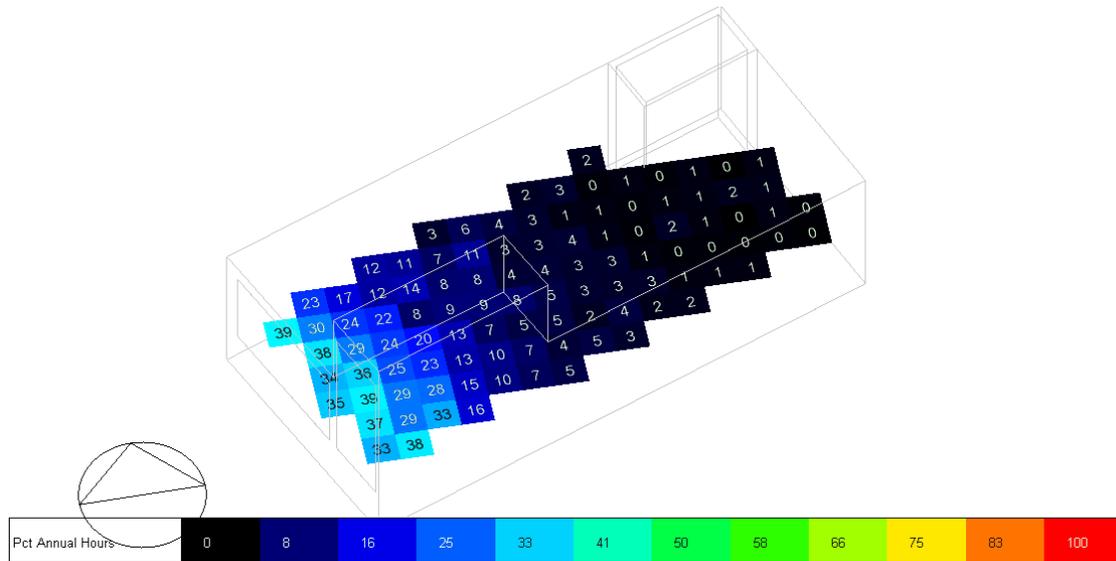
Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

Con base en los valores obtenidos, se puede identificar un déficit bastante notable en cuanto a los niveles de iluminación natural requeridos para el local 01. Los máximos porcentajes se presentan en el acceso del local, con un 18 al 22 %, que equivale a 1580 y 1927 horas aproximadamente de las 8760 disponibles al año. Por el contrario, en la zona 01 los valores oscilan entre un 6 y un 15%. Mientras que en la zona 02 varía entre un 3 y un 12%. Siendo así, no se cumple con la valoración de aceptable o bueno, puesto que los valores obtenidos no son mayores o iguales al 80% y de hecho son menores al 50% de UDI en el rango propuesto de 500-1000 lx.

En el caso del local 02, como se puede observar en la figura 50, los porcentajes de iluminación natural bajo el rango propuesto de 300 a 1000 luxes, que abarcan los valores mínimos y máximos de las tareas visuales de este local, aunque registran un porcentaje entre el 25 y el 39% en la parte del local más próxima a las ventanas, en la zona 01 los valores corresponden entre un 3 - 30 % y en la zona 02 entre un 0 - 3%. Al igual que el anterior caso, no se cumple con la valoración de aceptable o bueno, pues los porcentajes son menores al 50%.

Figura 50

Análisis de Iluminancia Útil de Luz Natural – Rango 300-1000 lx en local 02.

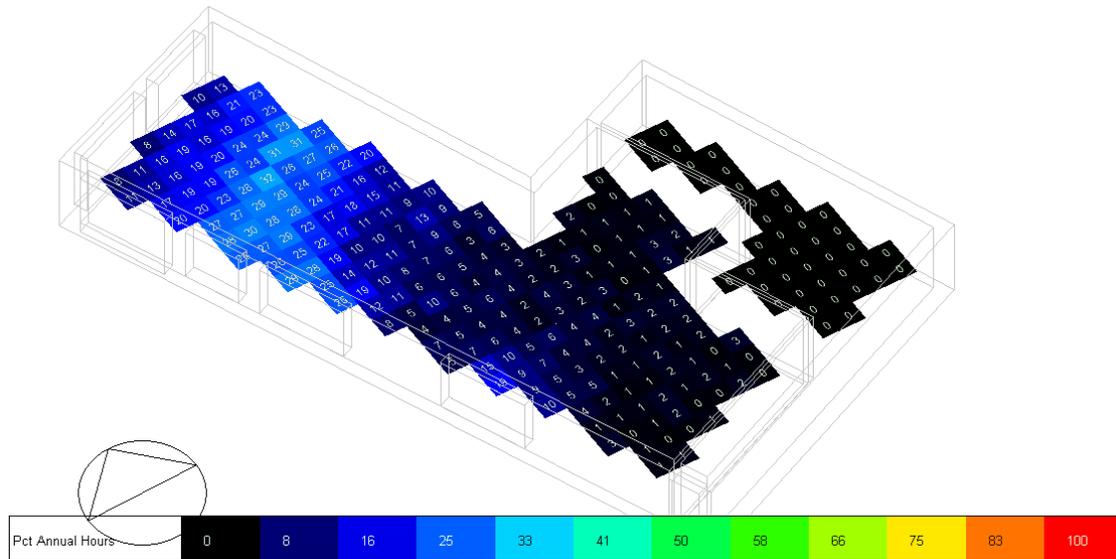


Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

Finalmente, como se puede observar en la figura 51, para el local 04 los porcentajes de iluminación natural bajo el rango propuesto de 500 a 1000 luxes, en más de dos terceras partes, solo registra un porcentaje entre el 0 y 10% y solo presentan un incremento, con valores entre el 15 y 32%, conforme se aproximan al área donde la edificación cuenta con más aperturas. Tal como ha ocurrido en los otros dos locales, no se cumple con la valoración de aceptable o bueno, pues los porcentajes en las zonas de tarea visual, correspondientes a 32% (Z01), 3 - 25% (Z02) y 0 - 5% (Z03), no igualan o superan el 80% y son menores al 50%.

Figura 51

Análisis de Iluminancia Útil de Luz Natural – Rango 500-1000 lx en local 04.



Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

Revisión de estrategias activas y pasivas para el aprovechamiento de la energía solar en los locales de estudio

Métodos de recolección de energía solar

Paneles solares fotovoltaicos. De acuerdo al artículo, cinco métodos de recolección de energía solar (Wendt, 2020), los paneles solares:

utilizan la energía del sol para crear un flujo de electricidad. Este es el método más ampliamente adoptado para la recolección de la energía solar hoy en día. Estos paneles, cuyo tamaño oscila entre unos pocos centímetros cuadrados y unos pocos metros cuadrados, están contruidos a partir de muchas celdas fotovoltaicas dispuestas en una intrincada matriz. Intuitivamente, cuanto mayor sea la superficie disponible para que la luz solar penetre en las celdas fotovoltaicas, más energía solar se recolecta (Párr. 3).

A manera de referente sobre la implementación de un sistema fotovoltaico, se presenta un proyecto en la ciudad de Bogotá correspondiente al edificio corporativo de la compañía Amarilo. A continuación, se detalla la información de la ficha técnica del proyecto, derivada del estudio de “Evaluación de costo-beneficio sobre la implementación de paneles solares en proyectos de construcción en la ciudad de Bogotá, Colombia” (Sánchez y Zúñiga, 2021):

Dentro del desarrollo del objeto de este estudio, se tomó como caso de estudio, un edificio ubicado en la ciudad de Bogotá en la calle 90 con carrera 11 donde se encuentran las oficinas de la constructora Amarilo, como parte de su renovación está la inclusión de sistemas amigables con el ambiente, para llegar a cumplir este objetivo, Amarilo contó con el acompañamiento de la compañía Green Loop, expertos en la implementación de energías amigables con el medio ambiente. Entre las más importantes características de la obra se sobresalen porcentajes de ahorro de agua por encima del 30% y de ahorro de energía superiores al 30%. (...) El diseño es obra de la firma colombiana Konrad Brunner Arquitectos. La estructura está compuesta por concreto armado en pórticos y la fachada es tipo doble piel de vidrio templado que incluye un tratamiento acústico y concreto a la vista (p. 31). (Ver figura 52).

Figura 52

Edificio de estudio.

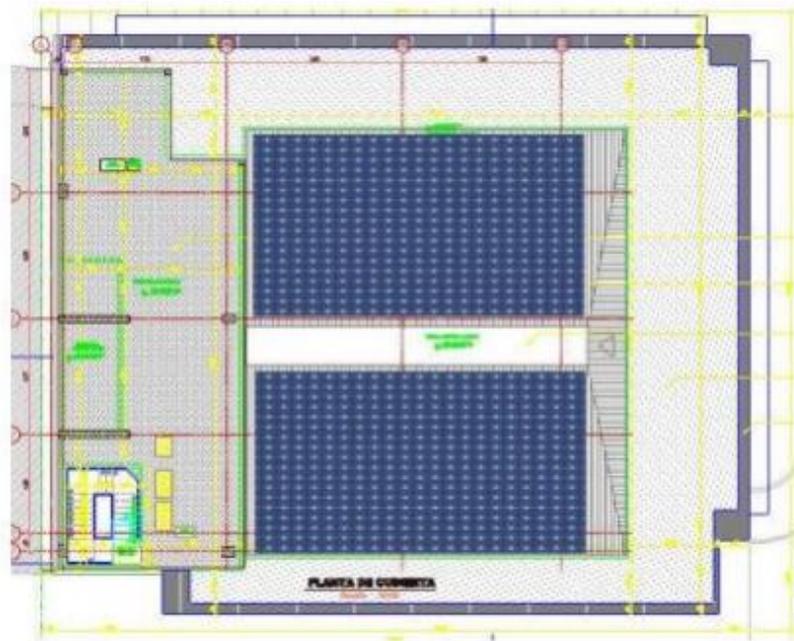


Fuente: Adaptado de Amarilo (2019) por Sánchez y Zúñiga (2021).

El diseño del sistema solar está basado en los diseños del cliente de la estructura del techo y una medición de área disponible realizada en el sitio previamente. Hay dos superficies en la azotea para montar los paneles solares con una inclinación de 5 grados para un total de 255m² libre para la instalación de los paneles solares (Sánchez y Zúñiga, 2021, p. 31). (Ver figura 53).

Figura 53

Planta cubierta del edificio en estudio.

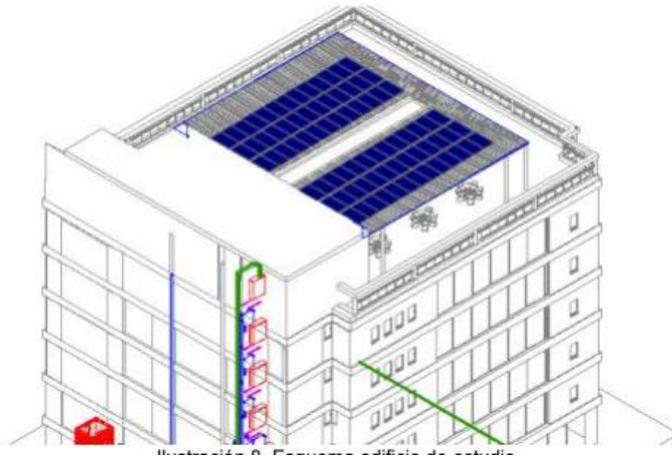


Fuente: Adaptado de Amarilo (2019) por Sánchez y Zúñiga (2021).

Los paneles solares se instalaron en una orientación vertical en dos matrices fotovoltaicas como se muestra a continuación. El sistema de estanterías metálicas se ancló a la estructura del techo existente (Sánchez y Zúñiga, 2021, p. 31). (Ver figura 54).

Figura 54

Esquema edificio de estudio.



Fuente: Adaptado de Amarilo (2019) por Sánchez y Zúñiga (2021).

Recolección de energía térmica: energía de radiación electromagnética.

El sol produce un amplio espectro de radiación de muchas longitudes de onda distintas, incluido el infrarrojo. Este espectro transfiere de manera eficiente la energía térmica a los cuerpos que pueden absorberla. Los elementos que pueden absorber eficazmente esta energía electromagnética térmica se denominan “cuerpos negros”, ya que el color negro absorbe todas las longitudes de onda de radiación que son visibles para el ojo humano. Un cuerpo negro ideal puede absorber y emitir correctamente todas las longitudes de onda del espectro de radiación electromagnética (Wendt, 2020, Párr. 6).

Calentadores de agua solares.

Un gran ejemplo de una aplicación de recolección de energía solar térmica que se aplica comúnmente en climas soleados de todo el mundo es un calentador de agua solar. La versión más simple de un sistema de calentador de agua solar utiliza una bomba para

hacer circular agua fría a través de un panel de cuerpo negro. Esto se asemeja visualmente a un panel solar fotovoltaico, donde la superficie negra absorbe de manera eficiente la energía térmica, que se enfría con el agua que circula, calentando así el agua (Wendt, 2020, Párr. 8).

Calentador de agua solar de tubo al vacío.

Los sistemas solares de calentamiento de agua más avanzados y eficientes utilizan tubos al vacío y conductos de calor independientes para transferir la energía térmica a un tanque secundario. El tubo al vacío asegura que la energía radiante pueda entrar al sistema, pero toda la energía que se convierte en energía térmica se contiene en el tubo (Wendt, 2020, Párr. 9).

Los colectores de tubos de evacuación de tubos de calor utilizan el cambio de fase del evaporador líquido para transferir calor con una alta eficiencia. El tubo es un tubo de cobre sellado al vacío (para aumentar la eficiencia de los colectores en temperaturas frías), el cual se une a una aleta de cobre negro que llena el tubo y así forma la placa absorbente del colector. El tubo de calor de cobre hueco dentro del tubo termina en una punta metálica, que se fija a la tubería sellada y actúa como condensador. El tubo de calor contiene una pequeña cantidad de fluido volátil (generalmente metanol o etanol) que sufre, siempre y cuando haya sol, un ciclo de evaporación secundaria, es decir, el calor solar evapora el líquido y, debido a la menor densidad, el vapor sube a la región del disipador de calor donde se condensa y libera su calor latente a un fluido que fluye (Cárdenas. 2019).

Estrategias transmisión de la luz natural

Proporción de la ventana.

Las aberturas en las fachadas son la componente más utilizada para transmitir la luz natural en edificios. El tamaño, forma y material que la conforman son elementos esenciales para la cuantificación y calificación de penetración de la luz en el edificio (Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética En Edificios Públicos, CITEC. UBB, 2012, p. 107).

Repisas de luz.

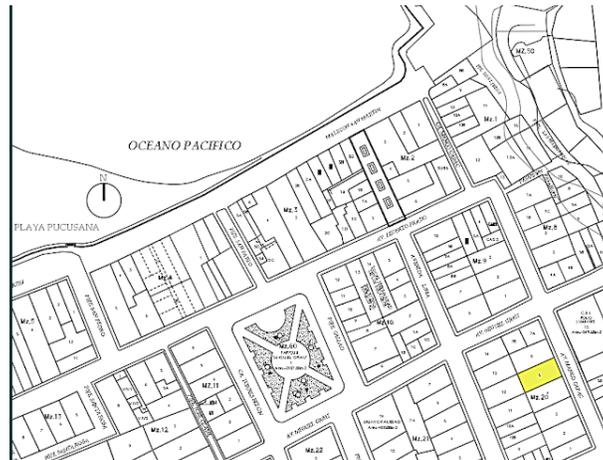
Las repisas son elementos generalmente colocadas horizontalmente en la ventana por encima del nivel de los ojos, las cuales se dividen en una sección superior y otra inferior. Estas permiten aumentar la iluminación en el fondo del recinto. Su función es reflejar la luz que incide sobre ella hacia la superficie del techo interior logrando una mayor penetración de la luz y una distribución más uniforme.

En el diseño y aplicación de una repisa de luz se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones: a) En relación a su ubicación su instalación es más efectiva en el lado Norte del edificio donde se tiene una gran cantidad de luz solar directa incidente. b) Si el objetivo es hacer entrar más luz, se sugiere elegir un material reflectante para la parte superior de la repisa. La luz incidente es refleja y golpea en el cielo interior y rebota hacia el interior de la habitación. c) La luz del sol es reflejada desde la parte superior de la repisa hacia el interior a través del cielo. Se sugiere aumentar el coeficiente reflexión del cielo interior, a un coeficiente de reflexión mayor al 70% (Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética En Edificios Públicos, CITEC. UBB, 2012, pp. 107-108).

Como un referente, en el uso de estrategias pasivas para iluminación natural se detalla a continuación un caso de estudio analizado por los autores Huambachano, P. C y López, K. D. en su ensayo “Repisas de luz como estrategia para mejorar la uniformidad” (2020). Se trata de una vivienda multifamiliar ubicada en Ciudad de Lima, departamento de Lima, distrito de Pucusana, en la Av. Manco Capac N°304. Con una latitud: S 12°28'47.7”, longitud: O 76°47'59.0” y una altitud de 33 m.s.n.m. (ver figuras 55 y 56).

Figura 55

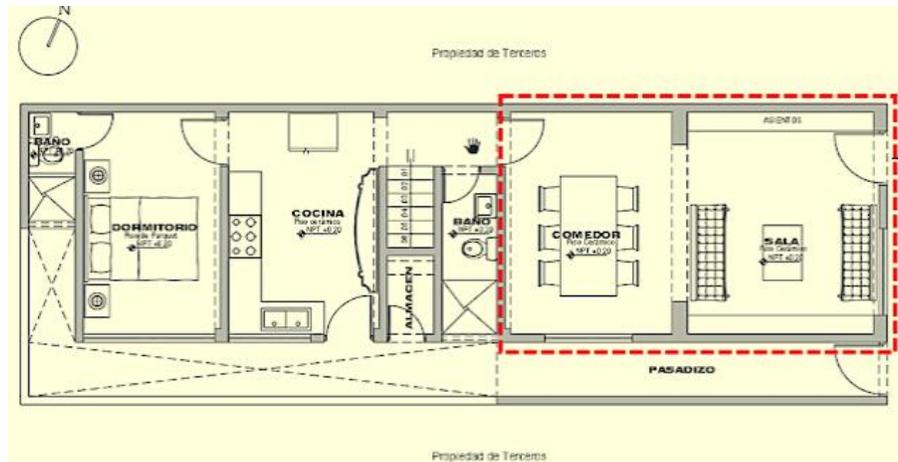
Plano de Ubicación.



Fuente: Huambachano y López (2020).

Figura 56

Planta general de la vivienda multifamiliar.

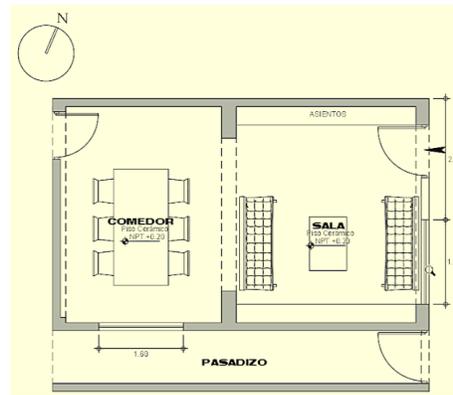


Fuente: Huambachano y López (2020).

El ambiente es una sala comedor de 31.00 m², ubicado en el primer nivel de una vivienda multifamiliar, cuenta con dos ventanas, la primera orientada al este, con vista a la calle, con una dimensión de 1.60 x 1.20; y la segunda orientada hacia el sur, con vista hacia un pasadizo, con dimensiones de 1.80 x 1.20, ambas con 0.90 de alféizar, con estructura de aluminio negro y vidrio templado 6mm. Los acabados de color del ambiente son los siguientes: pisos en cerámico color blanco; paredes color guinda, gris y blanco y techo con pintura color blanco (Huambachano y López, 2020, Párr. 13). (Ver figura 57).

Figura 57

Ambiente escogido para el análisis.

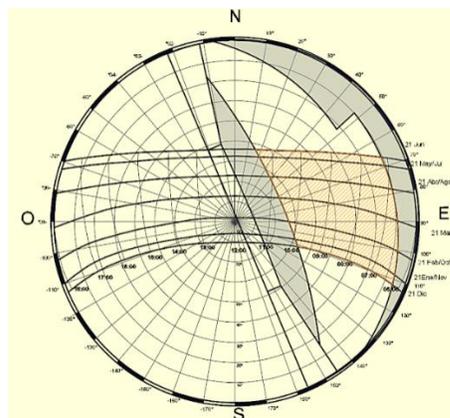


Fuente: Huambachano y López (2020).

Se identifica en el estudio de obstrucciones solares que no existe ingreso de sombras por elementos o edificios fuera de la vivienda (Huambachano y López, 2020, Párr. 14.). (Ver figura 58).

Figura 58

Gráfico de obstrucciones solares.



Fuente: Huambachano y López (2020).

Ya que la ventana está orientada al este, la luz ingresa en horas de la mañana, especialmente en la zona próxima a la ventana. Se calculó la cantidad de horas que ingresa la luz natural con ayuda del gráfico equidistante y el análisis de obstrucciones solares, reconociendo que el promedio de horas que ingresa la luz está entre 4 horas y 10 minutos a 4 horas y 40 minutos (Huambachano y López, 2020, Párr. 15). (Ver tabla 16).

Tabla 16

Cantidad de horas de ingreso solar por estación del año.

<i>Día/Mes</i>	<i>Lapso</i>	<i>#Horas</i>
<i>21 Junio</i>	<i>07:00 a 11:15</i>	<i>04:15</i>
<i>21 Marzo/Septiembre</i>	<i>06:00 a 10:40</i>	<i>04:40</i>
<i>21 Diciembre</i>	<i>05:30 a 09:40</i>	<i>04:10</i>

Fuente: Huambachano y López (2020).

En cuanto a los ángulos de los rayos solares que ingresan por la ventana del ambiente en los solsticios de verano e invierno y equinoccio de primavera, se identifica que éstos están entre 31° a 45° (Huambachano y López, 2020, Párr. 16). (Ver tabla 17).

Tabla 17

Ángulo de ingreso solar por estación del año.

Día/Mes	HORA
	15:00
21 Junio	
21 Mar./Sep.	
21 Diciembre	

Fuente: Huambachano y López (2020).

En la matriz 3x3 considerando los solsticios de invierno, verano y los equinoccios, en los tres horarios más relevantes en uso y para ver el recorrido del sol: 8:00 – 12:00 – 17:00 horas; se observa la incidencia de la luz, según orientación (Huambachano y López, 2020, Párr. 17). (Ver tabla 18).

Tabla 18

Gráfico de colores falsos.

Gráfico de colores - Cielo Despejado						
Hora	8.00 am		12:00 pm		5:00 pm	
Solsticio de Verano						
	Em (lx) 277 Dormitorio	Emin (lx) 77 Dormitorio	Em (lx) 567 Dormitorio	Emin (lx) 155 Dormitorio	Em (lx) 7639 Dormitorio	Emin (lx) 510 Dormitorio
	Emax (lx) 916 Dormitorio	Emin/Em 0.26 Dormitorio	Emax (lx) 2393 Dormitorio	Emin/Em 0.24 Dormitorio	Emax (lx) 17870 Dormitorio	Emin/Em 0.07 Dormitorio
Solsticio de Invierno						
	Em (lx) 326 Dormitorio	Emin (lx) 90 Dormitorio	Em (lx) 522 Dormitorio	Emin (lx) 117 Dormitorio	Em (lx) 991 Dormitorio	Emin (lx) 250 Dormitorio
	Emax (lx) 1033 Dormitorio	Emin/Em 0.25 Dormitorio	Emax (lx) 2312 Dormitorio	Emin/Em 0.22 Dormitorio	Emax (lx) 4666 Dormitorio	Emin/Em 0.25 Dormitorio
Equinoccio de Primavera						
	Em (lx) 361 Dormitorio	Emin (lx) 91 Dormitorio	Em (lx) 564 Dormitorio	Emin (lx) 121 Dormitorio	Em (lx) 3053 Dormitorio	Emin (lx) 452 Dormitorio
	Emax (lx) 1174 Dormitorio	Emin/Em 0.25 Dormitorio	Emax (lx) 2562 Dormitorio	Emin/Em 0.22 Dormitorio	Emax (lx) 8359 Dormitorio	Emin/Em 0.15 Dormitorio

Fuente: Huambachano y López (2020).

Los valores de uniformidad promedio anual están por debajo del valor mínimo establecido por la norma británica BSI Standards Publication BS EN 12464-1:2011 (Huambachano y López, 2020, Párr. 18). (Ver tabla 19).

Tabla 19

Uniformidad promedio anual.

<i>Modelo de cielo</i>	<i>verano</i>	<i>invierno</i>	<i>Primavera</i>
<i>Despejado</i>	<i>0.26</i>	<i>0.18</i>	<i>0.24</i>

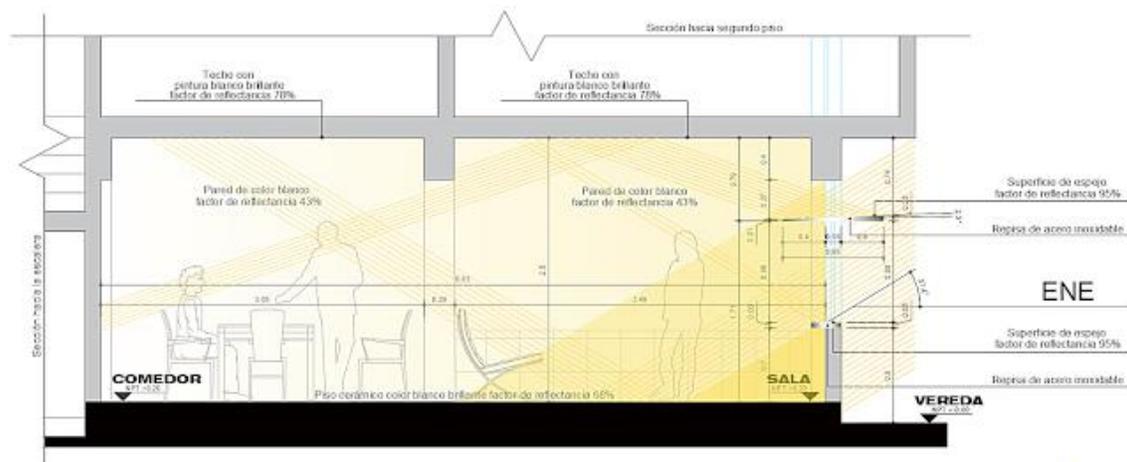
Fuente: Huambachano y López (2020).

En cuanto a la estrategia Huambachano y López (2020) afirman:

Se planteó una repisa de luz de 1.80m x 0.95m ubicada a 1.71m del nivel del piso, asimismo, se ubica una segunda repisa de dimensiones menores 1.80m x 0.28m ubicado al nivel del alféizar, es decir a 0.90m del nivel del piso. Ambas repisas de luz son de material de acero inoxidable y cuentan con un recubrimiento de aluminio pulido en la superficie superior (Párr. 25). (Ver figura 59).

Figura 59

Detalle de la propuesta de la repisa de luz en el caso B.



Fuente: Huambachano y López (2020).

Túneles solares.

Son elementos que transportan la luz difusa del cielo desde la techumbre o fachada hacia un recinto profundo para incrementar los niveles de iluminación. Se producen múltiples reflexiones sobre las superficies reflejantes de su interior con la finalidad de intensificar la radiación solar incidente (Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética En Edificios Públicos, CITEC. UBB, 2012, p. 108).

Como referente de la aplicación de túneles solares, se describe enseguida un ejemplo de iluminación natural en el pabellón holandés Paul de Ruiters en artículo escrito por Yávar (2013):

La Oficina Paul de Ruiters con sede en Amsterdam compitió en el concurso para el diseño del Pabellón Universitario Erasmo en Rotterdam, Holanda. Como un lugar para reunirse, relajarse y estudiar, el proyecto intenta servir como icono arquitectónico, como imagen y corazón del campus, mientras mantiene un funcionamiento neutral desde el

punto de vista energético. Este proyecto con luz natural dispone de un sistema de techo híbrido que capta la luz del día y la energía solar con una serie de tubos captadores de luz (Párr. 1). (Ver figura 60).

Figura 60

Iluminación Natural en pabellón holandés.

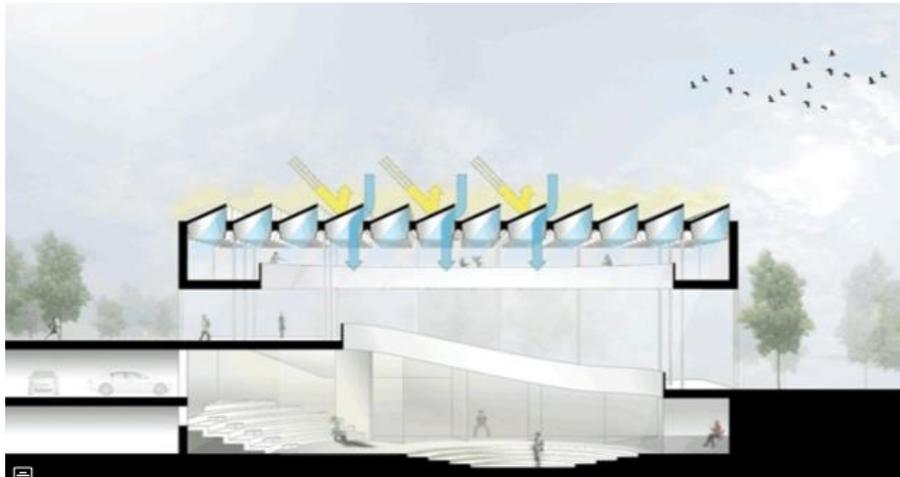


Fuente: Yavar (2013).

Usando la luz y energía solar como punto de partida, el pabellón es una estructura transparente con una fachada totalmente vidriada. La cubierta, con un sistema integrado de paneles solares inteligentes, permite que la luz natural se filtre e ilumine el interior (Párr. 2). (Ver figura 61).

Figura 61

Corte Iluminación Natural en pabellón holandés.



Fuente: Yavar (2013).

Una cuidadosa consideración respecto de la orientación y ubicación de los accesos lumínicos del techo, aseguran que tanto la luz directa como el sobre calentamiento no ocurran. Otras aplicaciones sustentables dentro del pabellón incluyen una bomba de calor Geotermal, un núcleo de concreto térmicamente activo, y el uso mínimo de materiales (Párr. 3).

Atrios.

Permiten la distribución de la luz natural a otros espacios interiores contiguos a él que no tiene acceso a luz natural. Sus acabados interiores deben tener un coeficiente de reflexión elevado para lograr una mayor distribución de la luz. Además, permiten evitar el deslumbramiento de los recintos adyacentes, Es una configuración interesante para los edificios muy grandes ubicados en zonas de alta densidad urbana. Estos pueden organizarse de manera central, integrado o lineal. Además, tiene ventajas térmicas pues

evitan las pérdidas de calor de los espacios circundantes (Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética En Edificios Públicos, CITEC. UBB, 2012, pp. 108-109).

Forma de la ventana.

La forma de las ventanas influye en la repartición luminosa. En el caso de una ventana continua la distribución de la luz será de manera homogénea en el espacio. En el caso de disminuir el tamaño de la ventana y tener más de dos ventanas la iluminación se vuelve menos uniforme creándose zonas de contraste entre ellas (Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética En Edificios Públicos, CITEC. UBB, 2012, p. 109).

Simulación y evaluación de estrategias activas y pasivas aplicadas a los locales de estudio del pasaje El Dorado

Criterios de selección de las estrategias activas y pasivas para cada local

Después de la revisión de las estrategias activas y pasivas para el aprovechamiento de la energía solar, se procedió a crear una matriz que permitiera evaluar tanto las condiciones actuales de los locales de estudio (denominados factores y organizados en columna) como el potencial de los mismos para acoger las estrategias planteadas (denominados estrategias y organizados en fila).

Tal como se detalla en la tabla 20, los cuatro primeros factores aluden a las condiciones del emplazamiento y morfología de las edificaciones donde se inscriben los locales de estudio y se relacionan con la estrategia activa de los paneles solares fotovoltaicos y con la estrategia pasiva de túneles solares. Mientras que los factores siguientes, relacionados con las dimensiones, tipología y características del cerramiento, corresponden a la valoración de la aplicabilidad de estrategias pasivas de captación, transmisión y distribución de la luz natural.

De manera complementaria se propone una estrategia adicional, de tipo pasiva en cuanto a distribución de la luz natural, que tiene un carácter más urbano, pero que resulta interesante y es aprovechar la configuración propia del pasaje como un atrio urbano, en el que se aprovecha la proximidad de las superficies y se evalúa el coeficiente de reflexión de las fachadas opuestas a las de la edificación en cuestión.

Tabla 20

Formato de matriz de selección de estrategias activas y pasivas factible en cada local.

Selección de estrategias activas y pasivas factibles en cada local							
Factores/ Estrategias	Estrategia activa (Paneles solares fv)	Captación luz natural (incred. altura de entrepiso)	Transm. luz nat. (ventanas a bordes y cielo raso)	Distribución luz natural (pasaje como atrio urbano)	Distribución luz natural (Repisas sol.)	Conducc. luz nat. (Túneles o tubos solares)	
Incidencia solar mes en cubierta	Valor KWh/m2 (según irradiancia 1000 Whm2)	+/-	--	--	--	--	--
Obstrucción en cubierta	Otros edificios	+/-	--	--	--	--	+/-
Área dispon. en cubierta	valor m2	Según tamaño módulo	--	--	--	--	--
Distancia cubierta-cielo raso del local	valor m	--	--	--	+/- (según trayectoria de reflejo)	--	+/- (según longitud máxima tubo 6 m)
Altura libre local (h)	valor m	--	conveniente /inconveniente	--	--	Conveniente/ inconveniente	--
Profundidad local (p)	valor m	--	según factor (p= 1,5 x h)	--	--	Necesario/ innecesario por profundidad de	--

local							
Posee mezanine o doble altura	Si/no	--	Viable/ inviabile	Viable/ inviabile	+/- (según recepción radiación reflejada)	+/-	--
Cerramientos y estructura en fachada	Si/no	--	Viable/ inviabile	Viable/ inviabile	--	+/- (según soporte de repisa)	--
Cf. reflexión fachadas en frente	Según color y material	--	--	--	+/- (según C. R + alto)	--	--

Fuente: Esta investigación (2022).

Estrategias activas y pasivas para el local 01

Con base en el anterior formato se estableció la matriz de selección de estrategias para el local 01, resultando la siguiente valoración que se describe en la tabla 21:

Tabla 21

Matriz de selección de estrategias activas y pasivas factibles en el local 01.

Selección de estrategias activas y pasivas factibles en el local 01							
Factores/ Estrategias	Estrategia activa (Paneles solares fv)	Captación luz natural (incred. altura de entepiso)	Transm. luz nat. (ventanas a bordes y cielo raso)	Distribución luz natural (pasaje como atrio urbano)	Distribución luz natural (Repisas sol.)	Conducc. luz nat. (Túneles o tubos solares)	
Incidencia solar mes en cubierta	1875-2000 KWh/m2	positivo (irradiancia 1000 Whm2)	--	--	--	--	
Obstrucción en cubierta	Ninguna	positivo	--	--	--	Positivo	
Área dispon. en cubierta	72 m2	Bueno (módulo 2 m2)	--	--	--	--	

Distancia cubierta-cielo raso del local	15,4 m	--	--	--	Negativo (trayectoria de reflejo larga)	--	Negativo (longitud máxima tubo 6 m)
Altura libre local (h)	2,40 m	--	Inconveniente por baja altura	--	--	inconveniente por baja altura	--
Profundidad local (p)	7,80 m	--	Necesario, no cumple factor ($p=1,5 \times h$)	--	--	necesario por profundidad de local	--
Posee mezanine o doble altura	Si	--	es viable con reformación	es viable con reformación	Positivo (recibe radiación reflejada)	Positivo	--
Cerramientos y estructura en fachada	Si	--	es viable con reformación	es viable con reformación	--	Positivo (soporte de repisas)	--
Cf. reflexión fachadas enfrente	Amarillo (0,5-0,75)	--	--	--	+/- (según C. R + alto)	--	--

Fuente: Esta investigación (2022).

Por las características del local 01, valoradas de acuerdo a los factores de la tabla, las estrategias seleccionadas por su factibilidad fueron: la estrategia activa por paneles solares fotovoltaicos; la captación de luz natural mediante el incremento de la altura del entrepiso; la transmisión de luz natural mediante el incremento del área vidriada hasta los bordes de los muros y de cielo raso y la distribución de luz natural mediante el uso de repisas solares.

Adelante se detalla el procedimiento de simulación de las estrategias seleccionadas para el local 01, empezando por la estrategia activa de los paneles solares, cabe resaltar que esta aplicó también para los otros locales, por lo cual, tanto la descripción del procedimiento de simulación del esquema básico del sistema de paneles, como la simulación de la demanda de energía eléctrica por iluminación, solo se muestran a continuación.

Simulación del prediseño de un sistema de paneles fotovoltaicos para local 01. Para el prediseño del sistema fotovoltaico se usó el software Passive House Planning Package (PHPP), el cual además de contar con herramientas para la optimización del diseño en cuanto a estrategias pasivas también cuenta con una sección dedicada a las activas y dentro de ellas, en sus hojas de cálculo de Excel, se encuentra la del cálculo de paneles fotovoltaicos.

Para el procedimiento, primero se cargó el clima del lugar según el archivo climático de Meteonorm, posteriormente se empleó el módulo IFV, dentro del cual se configuro el área donde se ubicarían los paneles fotovoltaicos correspondiente a las terrazas de las edificaciones en donde se encuentran los locales de estudio. En segunda instancia se introdujo el valor para el ángulo de inclinación respecto a la horizontal, que para este caso fue de 10° y se establecieron características técnicas del módulo tales como: el tipo de tecnología, que para este caso es mono silicato; una corriente nominal de 12 amperios; voltaje nominal de 30,93 voltios; una potencia nominal de 371 vatios pico y unas dimensiones del módulo de 2m de alto por 1 m de ancho. En la tabla 22 se puede observar esta configuración aplicada a los tres locales de estudio.

Tabla 22

Ejemplo de la configuración de la hoja de cálculo IFV del software PHPP.

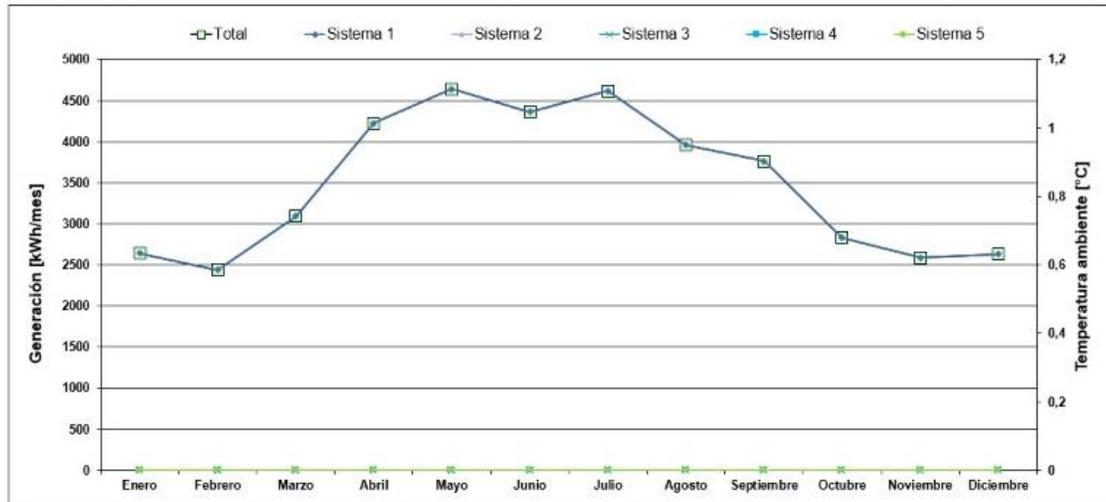
Nombre del sistema			Sistema 1
Ubicación: Selección en hoja de cálculo 'Superficies'			13-modelo_1lecho_2
Tamaño del área seleccionada			63,6
Desviación con respecto al norte			0
Ángulo de inclinación respecto a la horizontal			10
Dato alternativo: Desviación con respecto al norte			0
Dato alternativo: Ángulo de inclinación respecto a la horizontal			10
Información del módulo, de la ficha técnica del productor			
Tecnología			4-Mono-Si
Corriente nominal		I_{sc}	12,00
Voltaje nominal		U_{oc}	30,93
Potencia nominal		P_n	371
Coefficiente de temperatura en voltaje de circuito corto		α	
Coefficiente de temperatura en voltaje de circuito abierto		β	
Dimensión del módulo: altura			2,000
Dimensión del módulo: anchura			1,000
Especificaciones adicionales			
Cantidad de módulos		n_{pv}	12
Altura de los paneles solares		h_{pv}	3,0
Altura del horizonte		h_{hor}	10,0
Distancia del horizonte		d_{hor}	10,0
Factor de reducción adicional de sombra		f_{add}	96%
Eficiencia del inversor		η_{inv}	85%

Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software PHPP.

Después de diligenciar el formato del módulo IFV se obtiene tanto el cálculo del número de módulos efectivos para el área útil, el cual resulta de la división del área de terrazas sobre el área del módulo fotovoltaico como también los gráficos con las curvas de generación eléctrica mensual. Cabe mencionar que para esta investigación el número de paneles a emplear en los locales de estudio se unificó a doce, por lo que la gráfica de generación de energía resultante es la misma, oscila a lo largo del año entre los 2500 y 4500 KWh/mes, de la manera que se detalla a continuación en la figura 62:

Figura 62

Generación de energía eléctrica suplida por sistema de paneles fotovoltaicos del local 01.



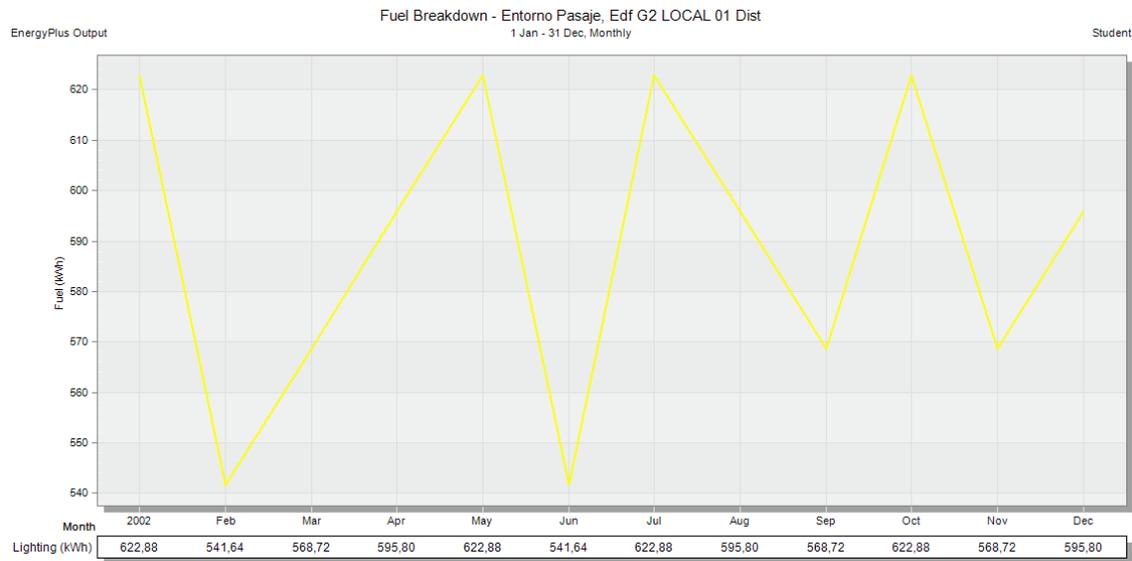
Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software PHPP.

Simulación de la demanda eléctrica del local 01. Para evaluar si la generación eléctrica supe los niveles de demanda eléctrica de cada local se procedió a simular en Desing Builder, en la pestaña fuel breakdown, el consumo por electricidad. Para ello, previamente se configuró la pestaña de actividad donde se desactivo el consumo de computadores, equipos de oficina y misceláneo, luego en la pestaña HVAC se cambió la plantilla al tipo ninguno (none) y se desactivó la casilla DHW, Finalmente en la pestaña lighthing, se anotó el valor 10 en la casilla Normalised power density (w/m2-100lux).

Con estos ajustes se obtuvo la gráfica de demanda de energía eléctrica que se muestra en la figura 63, en la cual se detallan los valores mensuales calculados para iluminación eléctrica para el local 01, que oscilan entre 520 y 640 KWh.

Figura 63

Demanda mensual de energía eléctrica del local 01.



Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

Evaluación de niveles de generación eléctrica y demanda de electricidad local 01. Una vez se calcula la generación de energía eléctrica en las hojas de PHPP y la demanda de electricidad por iluminación en Design Builder, se realizó una valoración sencilla en la que también se tuvo en cuenta como referencia, el valor real del consumo mensual de energía facturado, el cual se consultó a cada uno de los propietarios de los locales de estudio. Enseguida, en la tabla 23 se detallan estos valores descritos:

Tabla 23

Matriz de comparación entre generación y demanda eléctrica por iluminación en local 01.

Capacidad de generación eléctrica vs demanda de electricidad por iluminación Local 01			
Generación eléctrica mensual del sistema fotovoltaico con 12 paneles	Demanda de electricidad mensual por iluminación artificial	Valor real de consumo mensual facturado	Cumplimiento
2500 - 4500 KWh	540 - 620 KWh	487 KWh	Si sufre, hay excedentes

Fuente: Esta investigación (2022).

Con base en estos resultados, se puede afirmar que la demanda de electricidad del local 01 por iluminación eléctrica es menor a la capacidad de generación de energía eléctrica del sistema de paneles solares, por tanto, se sufre con esta demanda y hay unos excedentes (1960 – 3880 KWh) que pueden ser empleados para sufragar la demanda de los pisos superiores de la edificación.

Simulación de estrategias pasivas aplicadas en local 01. Después de realizar el diagnóstico de confort lumínico y reportar un déficit en los niveles de iluminación adecuados, se propone en el local 01 ampliar el porcentaje de área vidriada aprovechando la doble altura de la primera planta y de manera complementaria se propone una repisa con superficie reflectante, la cual distribuirá la luz natural hasta la parte del fondo del local.

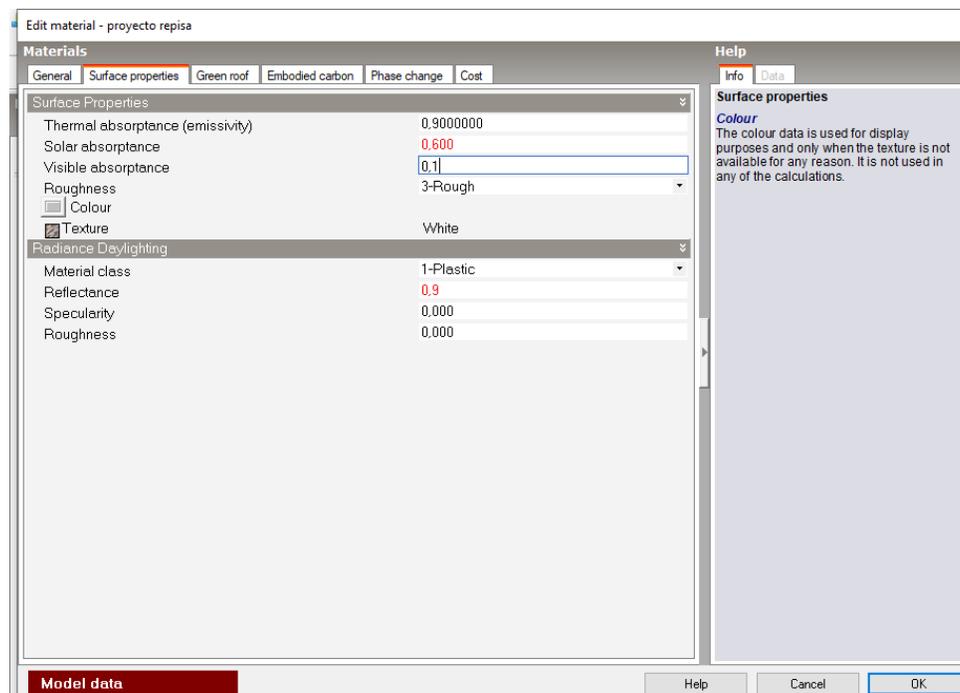
Para ello se realizó en Desing Builder, con la ayuda de un bloque de componente, un volumen que asemeja la función de una repisa. Al cual se atribuyeron características reflectantes siguiendo este proceso: se seleccionó el nivel de bloque de componente desde la barra de navegación y una vez allí se configuró la pestaña de construcción en la opción de material; se duplicó la plantilla existente de Project component block material y en la ventana que emerge, como se muestra en la figura 64, se seleccionó la pestaña Surface properties y

luego en la casilla Texture se marcó un material plástico con superficie blanca, así mismo se editaron los valores de absorptancia visible, rugosidad y reflectancia, correspondientes a 0,1; Very smooth y 0,9 respectivamente.

Adicionalmente, antes de correr la simulación de iluminación y ver los efectos de la inclusión de la repisa, fue necesario hacer algunos ajustes desde la pestaña de Model Options, donde se activaron las tres casillas de Simulation en el ítem Solar, como se indica enseguida en la figura 65.

Figura 64

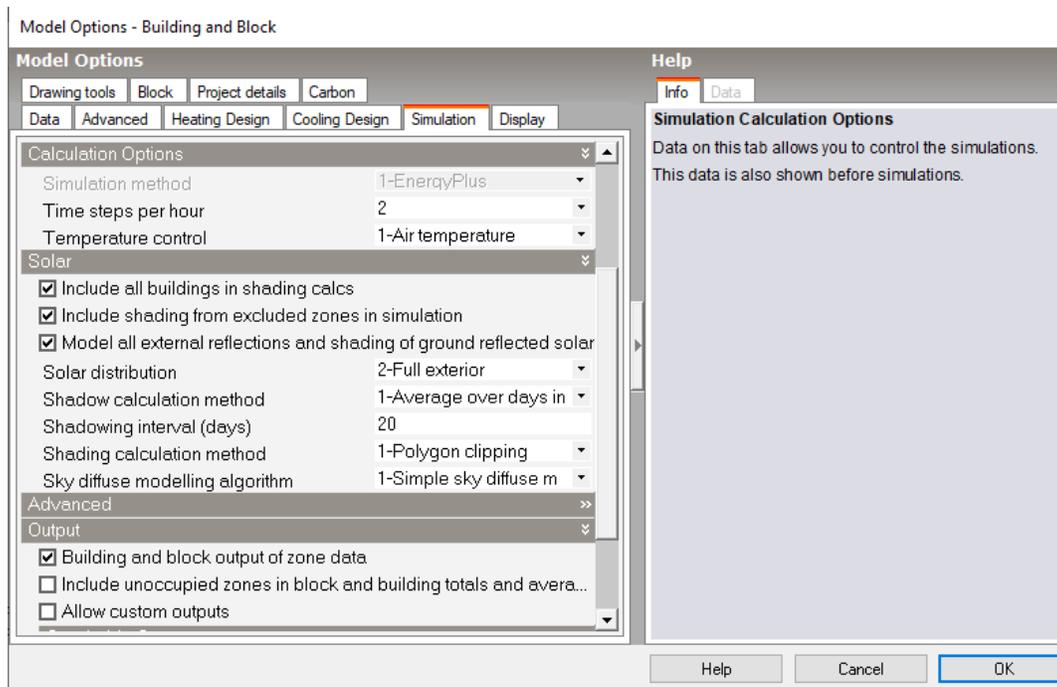
Configuración de propiedades de superficie aplicadas a repisa solar del local 01.



Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

Figura 65

Configuración del ítem solar en la pestaña simulation de Model Options.

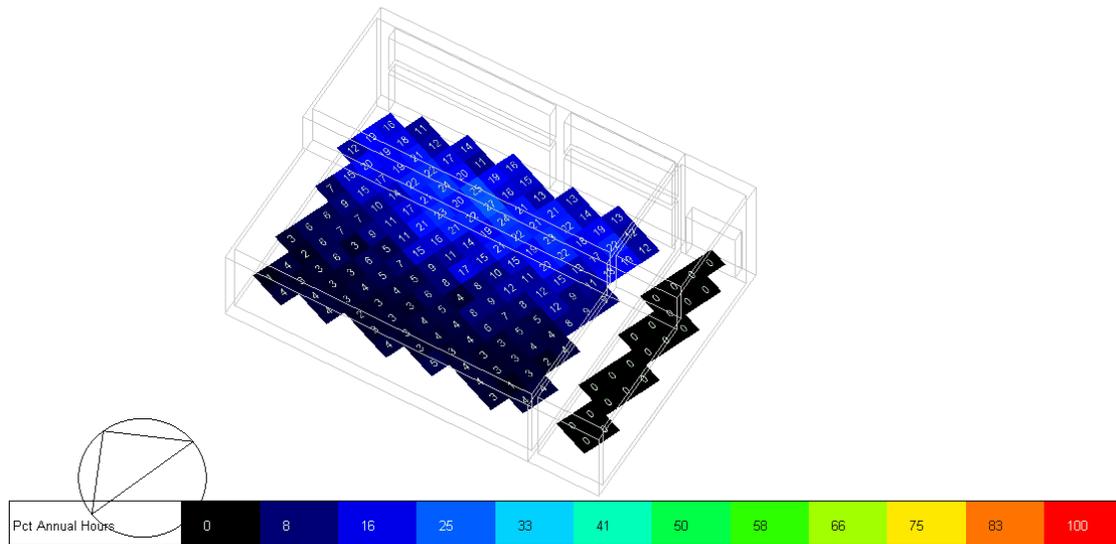


Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

Una vez hecha la configuración se corre la simulación y como se indica en la figura 66, aunque no se obtiene una mejora sustancial en cuanto a un incremento de área con mayor porcentaje de horas al año de iluminación útil, si se logra distribuir la luz natural hacia la parte media del local, lo cual se ve reflejado en el incremento del porcentaje de horas de iluminación en las zonas de tarea visual, que es donde más se requiere.

Figura 66

Simulación de estrategias de iluminación natural aplicadas al local 01.

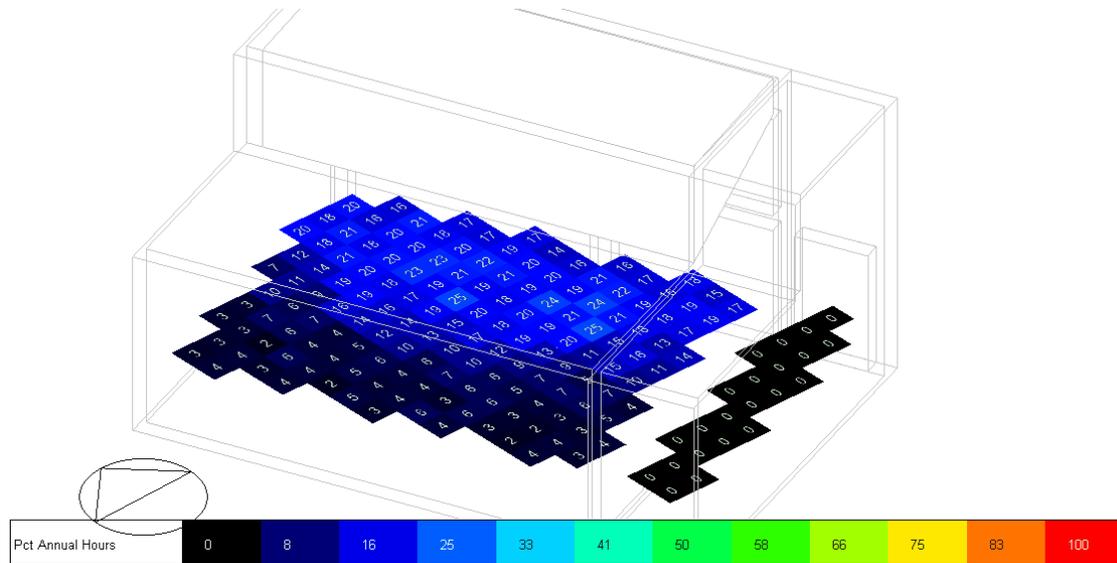


Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

Un segundo escenario que se simuló fue el espacio anterior más un techo inclinado conformado por una pantalla, el cual hace una transición entre el cielo raso de la segunda planta y el cielo raso del mezanine. El cual se puede detallar en la figura 67.

Figura 67

Simulación de estrategias de iluminación natural aplicadas al local 01.



Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

Evaluación de niveles de Iluminancia UDI con estrategias pasivas aplicadas en local 01.

Posterior a la simulación de las estrategias aplicadas en el local 01, se procedió a evaluar los niveles de luz natural bajo la métrica UDI obtenidos con los valores límite de porcentaje al año dentro de los valores de iluminancia recomendados en zonas de tarea visual (500-1000 luxes), en términos de aceptable y de bueno, tal cual se indica en la tabla 24:

Tabla 24

Matriz de evaluación de niveles de iluminancia UDI con estrategias pasivas en Local 01.

Evaluación de Niveles de Iluminancia UDI con estrategias pasivas en Local 01				
Escenario	Valores mínimos y máximos iluminancia recomendada en zonas de tarea visual	Porcentajes obtenidos al año de UDI (500-1000 luxes)	Valores límite de porcentaje al año de UDI (500-1000 luxes)	Cumplimiento
Escenario 01 (doble altura + área vidriada + repisa externa)	500 - 1000 luxes	11 -23% (Z01) y 4-19% (Z02)	Aceptable (> o – 80% UDI) Bueno (>50 y < o – 80% UDI)	No cumple, valores por debajo del rango de Bueno
Escenario 02 (doble altura + área vidriada + repisa externa + pantalla)	500 - 1000 luxes	19 -25% (Z01) y 4 -18% (Z02)	Aceptable (> o – 80% UDI) Bueno (>50 y < o – 80% UDI)	No cumple, valores por debajo del rango de Bueno

Fuente: Esta investigación (2022).

Así, bajo ambos escenarios no se cumple con los valores dentro de los rangos de aceptable y/o bueno, por lo cual se requiere complementar la iluminación natural con la iluminación artificial, que como se detalló en la parte de estrategias activas puede ser suplida bastante bien por los paneles solares fotovoltaicos.

Estrategias activas y pasivas para el local 02

Siguiendo el mismo proceso descrito en el local 01, se determinó la selección de las estrategias factibles para el local 02, mediante la matriz de selección propuesta, cuyo resultado se enseña en la tabla 25:

Tabla 25

Matriz de selección de estrategias activas y pasivas factibles en el local 02.

Selección de estrategias activas y pasivas factibles en el local 02							
Factores/ Estrategias		Estrategia activa (Paneles solares fv)	Captación luz natural (increm. altura de entrepiso)	Transm. luz nat. (ventanas a bordes y cielo raso)	Distribución luz natural (pasaje como atrio urbano)	Distribución luz natural (Repisas sol.)	Conducc. luz nat. (Túneles o tubos solares)
Incidencia solar mes en cubierta	1875-2000 KWh/m2	Positivo (irradiancia 1000 Whm2)	--	--	--	--	--
Obstrucción en cubierta	Ninguna	Positivo	--	--	--	--	positivo
Área dispon. en cubierta	53 m2	Bueno (módulo 2 m2)	--	--	--	--	--
Distancia cubierta-cielo raso del local	10,5 m	--	--	--	Negativo (trayectoria de reflejo larga)	--	Negativo (longitud máxima tubo 6 m)
Altura libre local (h)	2,06 m	--	Inconveniente por baja altura	--	--	inconveniente por nivel subterráneo	--
Profundidad local (p)	9,2 m	--	Necesario, no cumple factor (p= 1,5 x h)	--	--	necesario (profundidad local)	--
Posee mezanine o doble altura	Si	--	es viable con reformación	es viable con reformación	Positivo	positivo	--
Cerramientos y estructura en fachada	Si	--	es viable con reformación	es viable con reformación	--	Positivo (soporte de repisas)	--

Cf. reflexión fachadas enfrente	Gris (0,10- 0,20)	--	--	--	Negativo (mejorar con color blanco)	--	--
--	-------------------------	----	----	----	---	----	----

Fuente: Esta investigación (2022).

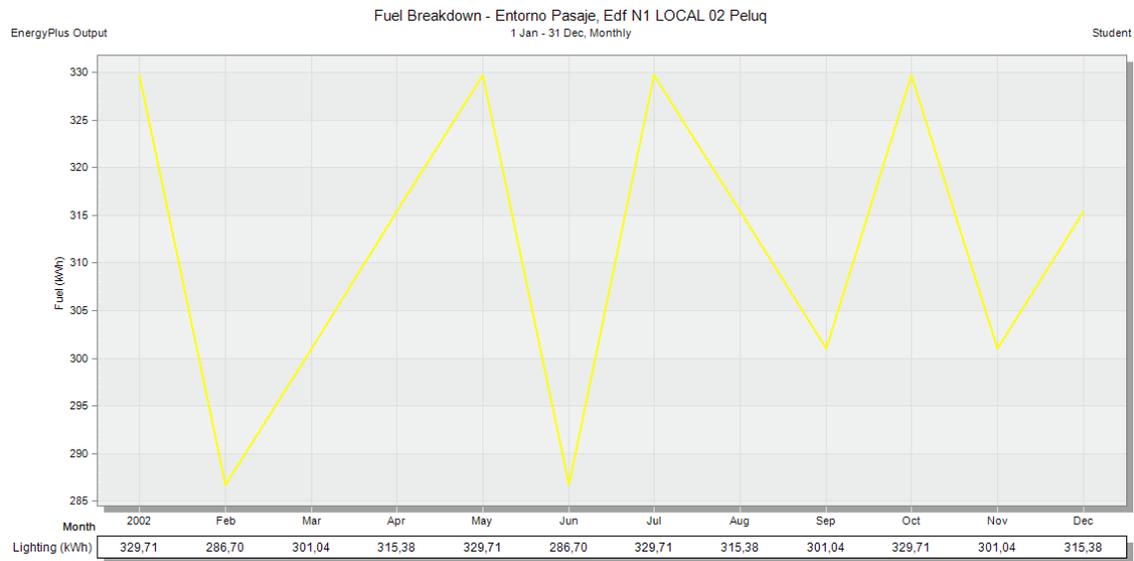
De acuerdo a esta matriz, las estrategias factibles para el local 02 fueron la estrategia activa por paneles solares y dentro de las estrategias pasivas la captación de luz natural mediante el incremento de la altura de entrepiso y la transmisión de luz natural incrementando el área vidriada. Cada una de las estrategias citadas se amplían en seguida.

Simulación del prediseño de un sistema de paneles fotovoltaicos para local 02. Como se mencionó previamente el sistema de paneles solares se diseñó en los tres casos con doce paneles, por tanto, la generación de energía es similar y oscila entre los 2500 y 4500 KWh/mes.

Simulación de la demanda eléctrica del local 02. Sin embargo, la demanda eléctrica por iluminación, si difiere en cada caso, como se señala enseguida en la figura 68 con los valores del local 02, donde la demanda de electricidad oscila a lo largo del año entre los 285 y 330 KWh.

Figura 68

Demanda mensual de energía eléctrica del local 02.



Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

Evaluación de niveles de generación eléctrica y demanda de electricidad local 02.

Teniendo en cuenta los valores de generación y demanda de energía eléctrica, en la tabla 26, se prevé una capacidad del sistema fotovoltaico planteado para suplir la energía requerida por iluminación y generar también excedentes.

Tabla 26

Matriz de comparación entre generación y demanda eléctrica por iluminación en Local 02.

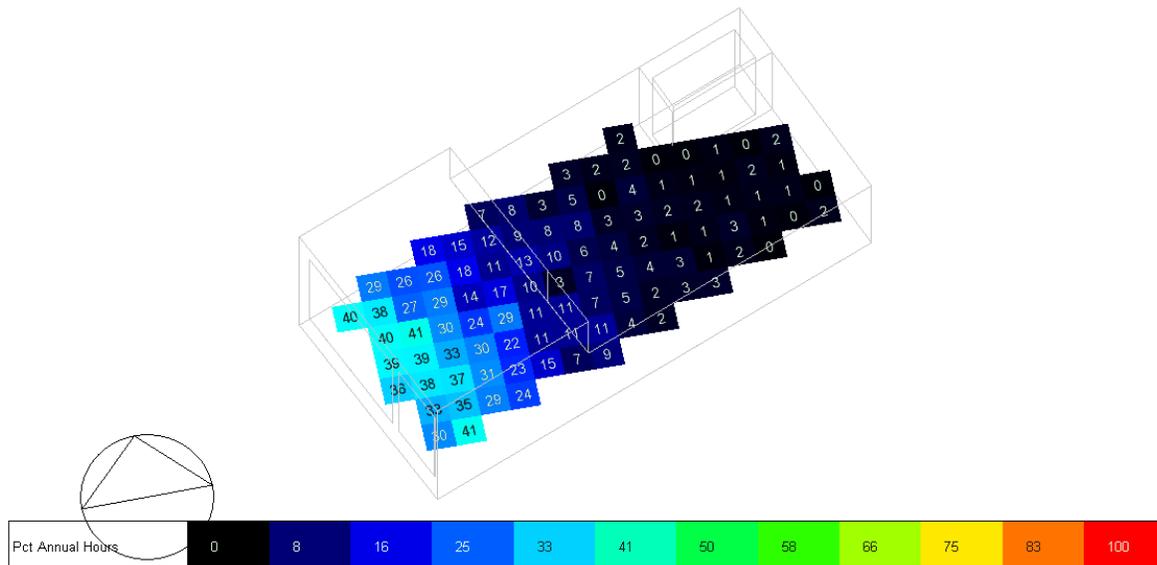
Capacidad de generación eléctrica vs demanda de electricidad por iluminación Local 02			
Generación eléctrica mensual del sistema fotovoltaico con 12 paneles	Demanda de electricidad mensual por iluminación artificial	Valor real de consumo mensual facturado	Cumplimiento
2500 - 4500 KWh	285 - 330 KWh	189 KWh	Si supe, hay excedentes

Fuente: Esta investigación (2022).

Simulación de estrategias pasivas aplicadas en local 02. Para el local 02 en respuesta a la configuración espacial que posee, con un medio nivel subterráneo, la principal necesidad era ampliar el área vidriada y retroceder el volumen del mezanine con el fin de aprovechar la iluminación natural y permitir que ésta incida hasta las áreas bajas, en la figura 69 se observa el resultado de la simulación bajo la métrica UDI al aplicar estas estrategias pasivas.

Figura 69

Simulación de estrategias de iluminación natural aplicadas al local 02.



Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

Evaluación de niveles de Iluminancia UDI con estrategias pasivas aplicadas en local 02.

Siguiendo como referente los valores recomendados de iluminancia en zonas de tareas visuales, se establece que si bien hay un incremento en los porcentajes al año obtenidos de UDI en el rango de 300 a 1000 luxes, como se muestra en la tabla 27, este no alcanza los valores límites de 50 y 80 % que aluden a una valoración de aceptable y bueno.

Tabla 27

Matriz de evaluación de niveles de iluminancia UDI con estrategias pasivas en Local 02.

Evaluación de Niveles de Iluminancia UDI con estrategias pasivas en Local 02				
Escenario	Valores mínimos y máximos iluminancia recomendada en zonas de tarea visual	Porcentajes obtenidos al año de UDI (300-1000 luxes)	Valores límite de porcentaje al año de UDI (300-1000 luxes)	Cumplimiento
Escenario 01 (doble altura + incremento área vidriada)	300 - 1000 luxes	4 - 40 % (Z01) y 1 - 4% (Z02)	Aceptable (> o = 80% UDI) Bueno (>50 y < o = 80% UDI)	No cumple, valores por debajo del rango de Bueno

Fuente: Esta investigación (2022).

Estrategias activas y pasivas para el local 04

De la manera en que se han identificado las estrategias activas y pasivas que más se ajustan a los factores o características de los locales en particular, en la tabla 28 se pueden detallar las estrategias factibles para el local 04:

Tabla 28

Matriz de selección de estrategias activas y pasivas factibles en el local 04.

Selección de estrategias activas y pasivas factibles en el local 04						
Factores/ Estrategias	Estrategia activa (Paneles solares fv)	Captación luz natural (incred. altura de entepiso)	Transm. luz nat. (ventanas a bordes y cielo raso)	Distribución luz natural (pasaje como atrio urbano)	Distribución luz natural (Repisas sol.)	Conducc. luz nat. (Túneles o tubos solares)
Incidencia solar mes en cubierta	1625-1750 KWh/m2	Positivo (irradiancia 1000 Whm2)	--	--	--	--

Obstrucción en cubierta	Si, edificio enfrente	negativo	--	--	--	--	positivo
Área dispon. en cubierta	103 m2	Bueno (módulo 2 m2)	--	--	--	--	--
Distancia cubierta-cielo raso del local	6,07 m	--	--	--	Negativo (trayectoria de reflejo larga)	--	Positivo (longitud máxima tubo 6 m)
Altura libre local (h)	2,13 m	--	Inconveniente por baja altura	--	--	inconveniente por baja altura	--
Profundidad local (p)	4,30 m	--	Positivo, se acerca a factor (p= 1,5 x h)	Positivo, para cumplir con factor	--	Positivo, poca profundidad local	--
Posee mezanine o doble altura	No	--	No es viable	Negativo, pero cuenta con fachada prolongada	Negativo (poca altura de superficie vidriada)	Negativo, poca altura para repisa	--
Cerramientos y estructura en fachada	Si	--	No es viable	es viable con reformación	--	Positivo (soporte de repisas)	--
Cf. reflexión fachadas en frente	Vidrio transp.(0,07-0,08)	--	--	--	Negativo (reflexión muy baja)	--	--

Fuente: Esta investigación (2022).

Resultado de la matriz anterior, las estrategias factibles para el local 04, fueron la estrategia activa por paneles solares y dentro de las estrategias pasivas, dada su configuración espacial de una sola planta carente de una doble altura, no se contempla el recurso de las repisas solares o cualquier mecanismo de reflexión en las superficies del espacio, por el contrario se aprovecha el hecho de que el edificio cuenta con una fachada prolongada en uno de sus frentes y por ende posee un potencial de transmisión de luz natural mediante el incremento del área de ventanas en su sentido horizontal y en el sentido vertical hasta lo que permite su cielo raso.

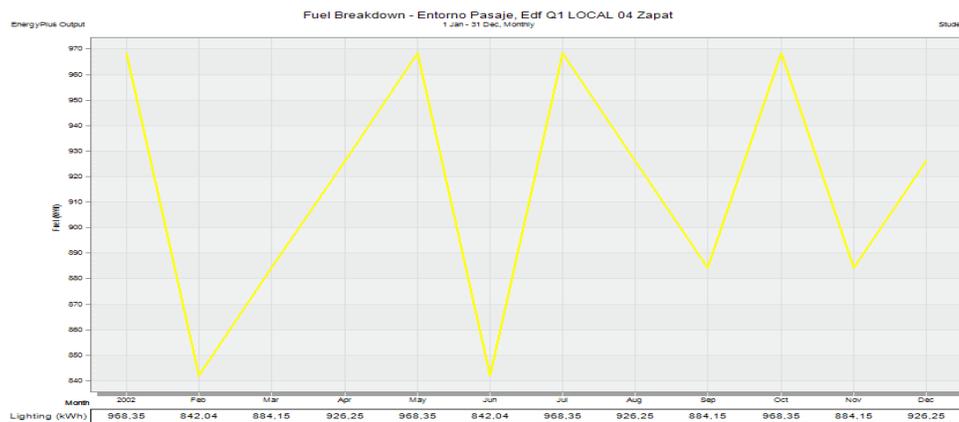
Por otra parte, la edificación donde se inscribe el local solo cuenta con 3 plantas y por tanto es factible aplicar la estrategia de conducción de luz natural por medio de túneles o tubos solares.

Simulación del prediseño de un sistema de paneles fotovoltaicos para local 04. Tal como se indicó previamente el sistema de paneles se calculó con 12 módulos y el mismo se aplicó a los tres locales de estudio. Por tal motivo la generación de energía es similar y oscila entre los 2500 y 4500 KWh/mes.

Simulación de la demanda eléctrica del local 04. Para este caso, dado que el local cuenta con una mayor área, el valor de demanda de energía eléctrica que calcula Design Builder incrementa, llegando a 840 - 970 KWh como se muestra en la figura 70 con la curva obtenida.

Figura 70

Demanda mensual de energía eléctrica del local 04.



Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

Evaluación de niveles de generación eléctrica y demanda de electricidad local 04.

Tomando como referencia los valores de generación y demanda de energía eléctrica, en la tabla 29 se prevé que el sistema fotovoltaico planteado cuenta con la capacidad para suplir la energía requerida por iluminación y generar también excedentes, que en este caso pueden ser usados para la segunda planta de la edificación donde se inscribe el local.

Tabla 29

Matriz de comparación entre generación y demanda eléctrica por iluminación en Local 04.

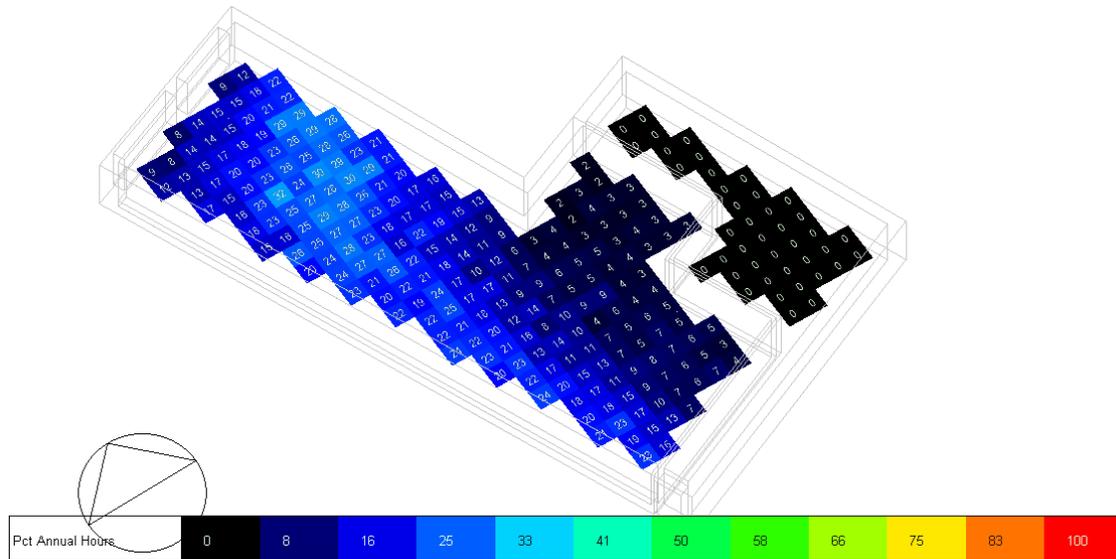
Capacidad de generación eléctrica vs demanda de electricidad por iluminación Local 04			
Generación eléctrica mensual del sistema fotovoltaico con 12 paneles	Demanda de electricidad mensual por iluminación artificial	Valor real de consumo mensual facturado	Cumplimiento
2500 - 4500 KWh	840 - 970 KWh	243 KWh	Si suple, hay excedentes

Fuente: Esta investigación (2022).

Simulación de estrategias pasivas aplicadas en local 04. El procedimiento para la simulación de la estrategia de incrementar el área vidriada en el sentido horizontal, a lo largo de la fachada que colinda con el pasaje, fue sencillo y solo requirió modificar el modelo actual que contempla la fachada con varias aperturas, y que conlleva problemas de contraste y deslumbramiento, y simplificarlo a una sola ventana que se prolonga por todo el cerramiento y en cuanto a su altura extenderla hasta el borde superior, mientras que el borde inferior o antepecho se mantiene, como se recomienda en estrategias de iluminación natural. El resultado obtenido se observa en la figura 71:

Figura 71

Simulación de estrategias de iluminación natural aplicadas al local 04.



Fuente: Elaboración propia (2022), mediante software Design Builder.

Evaluación de niveles de Iluminancia UDI con estrategias pasivas aplicadas en local 04.

Con base en los valores recomendados de iluminancia en las zonas de tareas visuales para este local, se establece que si bien hay un incremento en los porcentajes al año obtenidos de UDI en el rango de 500 a 1000 luxes, como se muestra en la tabla 30, este no alcanza los valores límites de 50 y 80 % que aluden a una valoración de aceptable y bueno.

Tabla 30

Matriz de evaluación de niveles de iluminancia UDI con estrategias pasivas en Local 04.

Evaluación de Niveles de Iluminancia UDI con estrategias pasivas en Local 04				
Escenario	Valores mínimos y máximos iluminancia recomendada en zonas de tarea visual	Porcentajes obtenidos al año de UDI (500-1000 luxes)	Valores límite de porcentaje al año de UDI (500-1000 luxes)	Cumplimiento
Escenario 01 (incremento de área vidriada)	500 - 1000 luxes	8 - 32% (Z01), 4 - 27% (Z02) y 4 - 23% (Z03)	Aceptable (> 0 - 80% UDI) Bueno (>50 y < 0 - 80% UDI)	No cumple, valores por debajo del rango de Bueno

Fuente: Esta investigación (2022).

Proceso para el prediseño de túneles solares para el Local 04. Para la simulación de la iluminancia producida por los túneles solares, se debe recalcar que actualmente el software Design Builder no cuenta con la opción para modelar estos elementos. Por lo que se requiere otro software especializado para simular este tipo de estrategias de iluminación, en este caso Daylight Visualizer suministrado por Velux. Por este motivo no se incluye por ahora en la investigación, pero si se establecen algunos criterios sencillos para la selección del tipo de túnel solar a emplear.

De acuerdo al tipo de cubierta y la distancia libre entre la cubierta y el cielo raso se determinó, según tabla proporcionada por Velux mostrada a continuación en la figura 72, el tipo de tubo solar adecuado. Para este caso, a una cubierta plana y una altura de 6m, le correspondió un tubo solar de tipo rígido.

Figura 72

Tipo de tubo para túnel solar según cubierta y altura de entrepiso.

Tubo Solar Rígido		0°-15° Cubierta plana	15°-60° Cubierta inclinada		
Tipo de cubierta					
			Material de cubierta ondulado (ej.: teja)	Material de cubierta plano (ej.: pizarra)	
Distancia	 0,9-6* m	 0,9-6* m			
Diámetro Ø	35 cm	25 cm	35 cm	25 cm	35 cm
Código producto	TCR OK14	TWR OK10	TWR OK14	TLR OK10	TLR OK14

* Si el espacio bajo cubierta no es accesible, VELUX recomienda la instalación de su Tubo Solar Flexible

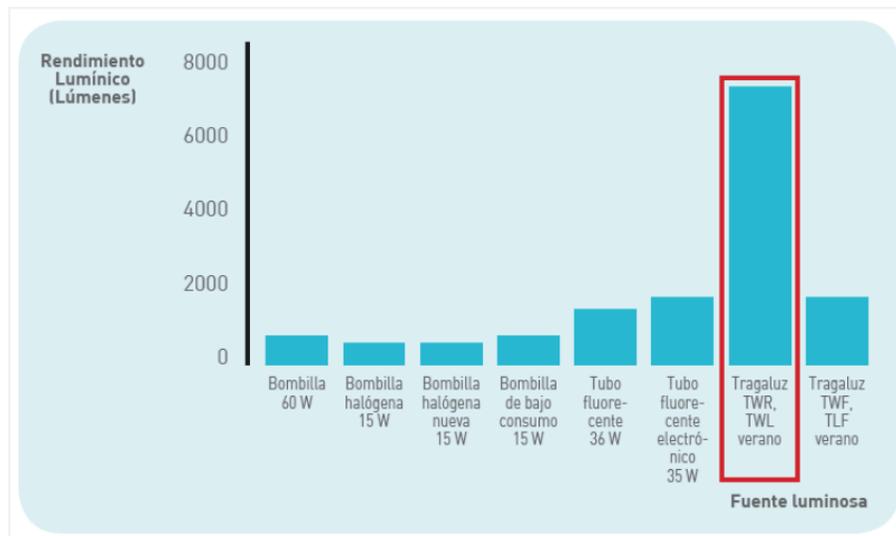
Tubo Solar Flexible		0°-15° Cubierta plana	15°-60° Cubierta inclinada	
Tipo de cubierta				
			Material de cubierta ondulado (ej.: teja)	Material de cubierta plano (ej.: pizarra)
Distancia	 0,2-0,9 m	 0,9-2 m		
Diámetro Ø	35 cm			
Código producto	TCF OK14	TWF OK14	TLF OK14	

Fuente: Velux (2022).

Así mismo, en la figura 73, se indica una referencia en cuanto al aporte de iluminación de los túneles solares. Estos datos son tomados de ensayos realizados por Velux en que los resultados fueron medidos en lúmenes (unidad de medida de la cantidad de luz que emite una fuente luminosa) y muestran la comparación entre varias fuentes luminosas, tales como lámparas incandescentes, halógenos de bajo consumo y lámparas fluorescentes, de entre las cuales se destacan los modelos de túneles solares de tubo rígido (Velux, 2022).

Figura 73

Comparativo del rendimiento lumínico de distintas fuentes luminosas según Velux.



Fuente: Velux (2022).

Culminadas las simulaciones tanto de generación y demanda eléctrica correspondientes a las estrategias activas, como también del cálculo del desempeño de la luz natural (UDI) antes y después de aplicar las estrategias pasivas en cada uno de los locales de estudio. Se detalla a continuación en la tabla 31, los valores máximos de porcentaje de iluminancia en los rangos recomendados, obtenidos en cada local tras la aplicación de las estrategias pasivas y se comparan con los valores previos correspondientes a los locales sin modificaciones.

Finalmente, de acuerdo al cumplimiento de los porcentajes alcanzados según los valores límites, se establece un porcentaje que se debe suplir mediante estrategias activas para que se logren los valores de iluminancia recomendada en las zonas de tarea visual de cada local.

Tabla 31

Comparativo de niveles de iluminancia UDI en locales originales y con estrategias aplicadas.

Evaluación de Niveles de Iluminancia Útil de Luz Natural (UDI) en locales originales vs con estrategias aplicadas						
Espacio/ Valores	Iluminancia recomendada en zonas de tarea visual	% máximos obtenidos al año de UDI bajo rango en local sin modificar	% máximos obtenidos al año de UDI bajo rango en local con estrategias pasivas	Valores límite de % al año de UDI bajo rango	Cumplimie nto	% a suplir mediante estrategias activas
Local 01	500 -1000 luxes	15% (Z01) y 12% (Z02)	25% (Z01) y 18% (Z02)	Acceptable (> o – 80% UDI) Bueno (>50 y < o – 80% UDI)	No cumple, valores por debajo del rango de Bueno	25 - 55 %
Local 02	300 -1000 luxes	30 % (Z01) y 3% (Z02)	40 % (Z01) y 4% (Z02)	Acceptable (> o – 80% UDI) Bueno (>50 y < o – 80% UDI)	No cumple, se acerca un poco al rango de Bueno	10 - 40 %
Local 03	500 – 1000 luxes	32% (Z01), 25% (Z02) y 5% (Z03)	32% (Z01), 27% (Z02) y 23% (Z03)	Acceptable (> o – 80% UDI) Bueno (>50 y < o – 80% UDI)	No cumple, valores por debajo del rango de Bueno	18 – 48 %

Fuente: Esta investigación (2022).

Conclusiones

De acuerdo a la hipótesis y la pregunta problema, se puede afirmar que las estrategias de energía solar activa y pasiva por si solas no contribuyen a mejorar el confort lumínico de los locales de estudio de las plantas bajas de las edificaciones del Pasaje El Dorado.

Es necesario un trabajo conjunto; puesto que, si bien las estrategias pasivas posibilitaron el incremento de horas de iluminación natural, los niveles de iluminación apropiados para cada tarea visual requerían el complemento de la iluminación artificial.

Aunque la morfología inicial de algunos locales de estudio favorecía el aprovechamiento de la luz natural, las necesidades de los usuarios los llevó a adaptar el espacio repercutiendo en el confort lumínico en su interior.

Este hecho frecuente conlleva a la urgencia de socializar y ejecutar reglamentos existentes, pero no tan difundidos como el RETILAP, tanto a profesionales del diseño y la construcción, como para la ciudadanía en general y la academia.

Dentro del espacio urbano, la configuración propia de algunas piezas como lo son los pasajes peatonales, hacen necesario un diseño y un control más puntual de la normativa en cuanto a densidad es permitidas, alturas y dimensiones de voladizos para evitar así la obstrucción de la radiación solar en pro de beneficiar la iluminación natural.

Recomendaciones

Al realizar la presente investigación se hizo evidente dentro del marco teórico, la necesidad de conocer integralmente la definición de los conceptos claves que encaminan un proyecto y documentarse en fuentes confiables proveniente de organizaciones o autores con experiencia en la materia.

Resulta también fundamental rectificar la documentación planimétrica tanto urbana como arquitectónica en el sitio donde se localiza el caso o casos de estudio y realizar levantamientos propios.

En cuanto al diagnóstico del confort lumínico o visual se recomienda contar con los equipos necesarios para la medición in situ de los niveles de luminancia, puesto que son complementarios a la iluminancia.

En lo que respecta a las métricas usadas para evaluar el desempeño de la luz natural se recomienda primero diferenciar entre los análisis estáticos y dinámicos y dentro de las métricas disponibles en el análisis dinámico tener en claro cuáles son los niveles de iluminancia requeridos para la tarea visual que se contempla en el estudio a realizar.

Referencias

- Avellaneda, D. (2020). *Confort lumínico y consumo energético como parámetro para el diseño de vivienda colectiva* [Tesis de pregrado, Universidad Piloto de Colombia]. Repositorio institucional Unipiloto. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/9732>
- Cárdenas, Y. (2019). *Diseño e implementación de un colector solar para calentamiento de agua de ducha en el sector de deportes de la UTP* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira] Repositorio UTP. <https://hdl.handle.net/11059/11053>
- Carrasco, A. (2021). *Energía solar pasiva: Qué es y cómo se aprovecha*. Otovo. <https://www.otovo.es/blog/energia/energia-solar-pasiva/>
- CITEC, UBB. (2012). *Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética En Edificios Públicos*. https://arquitectura.mop.gob.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif%20Publicos_Parte2.pdf
- CITEC, UBB. (2016). *Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética y Confort Ambiental, para Licitaciones de Diseño y Obra de la Dirección de Arquitectura, Según Zonas Geográficas del País y Según Tipología de Edificios* [TDRé]. http://construccionsustentable.uc.cl/images/Documentos/TDRé_MOP-DA.pdf
- Comisión de Regulación de Energía y Gas [CREG]. (2022). *¿Cómo se determina el valor de la factura del servicio de energía eléctrica?*. <https://www.creg.gov.co/atencion-y-servicios-la-ciudadania/preguntas-frecuentes/energia-electrica>
- Eraso, F. J., Erazo, O. F. y Escobar, E. (2017). *Energía fotovoltaica. Modelos y respuestas a condiciones meteorológicas* (1ª edición). Editorial Institución Universitaria CESMAG.
- Franco, J. *¿Qué es el confort visual y cómo aplicarlo en la arquitectura?* [How to Design for Visual Comfort Using Natural Light] ArchDaily Colombia. <https://www.archdaily.co/co/911593/consejos-utiles-para-garantizar-el-confort-visual-en-el-diseno-arquitectonico>

- Higuera, E. (2010). *Urbanismo bioclimático* (1ª edición, 2ª tirada.). Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Huambachano, P. C y López, K. D. (2020). Repisas de luz como estrategia para mejorar la uniformidad. *Apuntes, Revista Digital de Arquitectura* (136).
<http://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2020/10/repisas-de-luz-como-estrategia-para.html>
- Jojoa Zamora, M. (2015). *Los pasajes en San Juan de Pasto: su incidencia en la ciudad construida y la ciudad planeada* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Universidad Nacional.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55643>
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público* [RETILAP].
<https://sic.gov.co/sites/default/files/files/reglamentos%20tecnicos/RETILAP.pdf>
- New Buildings Institute [NBI]. (2021). *Daylighting Pattern Guide*.
(<https://patternguide.advancedbuildings.net/using-this-guide/analysis-methods/useful-daylight-illumination.html>)
- Olgay, V. (2009). *Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas* (1ª edición, 15ª tirada). Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Ordoñez, A. (2021). *Métodos de análisis dinámicos*. Seiscubos.com.
<https://www.seiscubos.com/conocimiento/metodos-de-analisis-dinamicos>
- Pattini, A. E. (2009). *La luz natural en las escuelas: aprovechamiento y control de la luz solar en las aulas* (1ª edición). Buenos Aires: Editorial Dunken.
- Quijano Vodniza, A. J. (2009). *Guía de investigación cuantitativa*. Editorial Universidad Cesmag.

- Ramírez, A. G. y Piderit, B. (2017). Evaluación postocupacional del confort lumínico en edificios de oficina. *Dearq. Revista de Arquitectura*, (20), 138-145. <https://doi.org/10.18389/dearq20.2017.10>
- Robles, L. F. (2014). *Confort visual: estrategias para el diseño de iluminación natural en aulas del sistema de educación básica primaria en el AMM Nuevo León* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León] Colección digital UANL. <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1080253695.PDF>
- Sánchez, K., Zúñiga, M. (2021). *Evaluación de costo-beneficio sobre la implementación de paneles solares en proyectos de construcciones en la ciudad de Bogotá, Colombia* [Tesis de postgrado, Universidad Católica de Colombia] Repositorio <https://hdl.handle.net/10983/26506>
- Velux. (2019). *Tubo Solar, Luz natural por un tubo*. <https://velcdn.azureedge.net/-/media/marketing/es/catalogos2019/folleto%20tubosolar%202019.pdf>
- Wendt, Z. (2020). *Cinco métodos de recolección de energía solar*. Arrow.com. <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/5-methods-of-harvesting-solar-energy>
- Yávar, J. (2013). *Iluminación Natural en pabellón holandés / Paul de Ruiter*. ArchDaily Colombia. <https://www.archdaily.co/co/02-222252/iluminacion-natural-en-pabellon-holandes-paul-de-ruiter>
- Zalamea, E. y Quesada, F. (2017). Criterios de integración de energía solar activa en arquitectura: potencial tecnológico y consideraciones proyectuales. *Revista De Arquitectura (Bogotá)*, 19 (1), 56-69. <https://doi.org/10.14718/RevArg.2017.19.1.1018>

Anexos

Anexo 01: Permiso para acceder a los locales del pasaje El Dorado.



"Hombres nuevos para tiempos nuevos"
Fray Guillermo de Castellana O.F.M Cap.



San Juan de Pasto, 4 de octubre de 2022

SEÑOR (A)

Propietario (a) del local
La Ciudad

Asunto: Información sobre Trabajo de Grado "*Estrategias de energía solar activa y pasiva para el confort lumínico en las plantas bajas de las edificaciones del Pasaje El Dorado en la ciudad de Pasto*"

Cordial saludo.

A través de la presente, el Programa de la Especialización en Arquitectura y Urbanismo Bioclimático de la Universidad CESMAG presenta el trabajo de grado: "*Estrategias de energía solar activa y pasiva para el confort lumínico en las plantas bajas de las edificaciones del Pasaje El Dorado en la ciudad de Pasto*", por lo tanto, informa que los estudiantes: Natalia Gamboa Tobar (C.C. 1.089.845.891) y Santiago Montenegro Huertas (C.C. 1.085.321.948), estarán realizando toma de medidas generales de los espacios de trabajo incluyendo dimensiones de aperturas de puertas y ventanas; alturas de las zonas de trabajo y cuantificación de las luminarias existentes en cada espacio de trabajo, de los locales del pasaje Dorado de la Ciudad de Pasto.

Se agradece muy amablemente su colaboración en el desarrollo de las actividades descritas anteriormente, sin otro particular.

Atentamente,

Arq. Mg. JOHN BRAULIO CONTRERAS CERÓN

Coordinador Especialización en Arquitectura y Urbanismo Bioclimático
Universidad CESMAG



GRUPO
Asociación Escolar
María Goretti
Hermanos Menores Capuchinos



Carrera 20A 14-54, PBX 7216535 – Pasto, Nariño, Colombia – correspondencia@unicesmag.edu.co – www.unicesmag.edu.co

Anexo 02: Permiso para realizar mediciones con luxómetro al interior de los locales de estudio del pasaje El Dorado.

San Juan de Pasto, noviembre 1 de 2022

SEÑOR (A)

Propietario (a) del local

La Ciudad

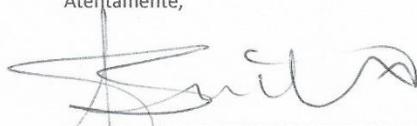
Asunto: información sobre Trabajo de Grado *"Estrategias de energía solar activa y pasiva para el confort lumínico en las plantas bajas de las edificaciones del Pasaje El Dorado en la ciudad de Pasto"*

Cordial saludo.

A través de la presente, el programa de la Especialización en Arquitectura y Urbanismo Bioclimático de la Universidad CESMAG presenta el trabajo de grado: *"Estrategias de energía solar activa y pasiva para el confort lumínico en las plantas bajas de las edificaciones del Pasaje El Dorado en la ciudad de Pasto"*, por lo tanto, informa que los estudiantes: Natalia Gamboa Tobar (C.C 1.089.845.891) y Santiago Montenegro Huertas (C.C. 1.085.321.948) estarán midiendo la cantidad de luz o luminosidad que tienen los ambientes con el fin de evaluar el confort lumínico de los mismos.

Se agradece muy amablemente su colaboración en el desarrollo de las actividades descritas anteriormente, sin otro particular.

Atentamente,



Arq. Mg. JOHN BRAULIO CONTRERAS CERÓN

Coordinador Especialización en Arquitectura y Urbanismo Bioclimático

Univesidad CESMAG

 UNIVERSIDAD CESMAG <small>INTE: 000.109.2007-7</small> <small>VIAJES MISIONEROS</small>	CARTA DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO O TRABAJO DE APLICACIÓN – ASESOR(A)	CÓDIGO: AAC-BL-FR-032
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

San Juan de Pasto, diciembre 2 de 2022

Biblioteca
REMIGIO FIORE FORTEZZA OFM. CAP.
 Universidad CESMAG
 Pasto

Saludo de paz y bien.

Por medio de la presente se hace entrega del Trabajo de Grado / Trabajo de Aplicación denominado “Estrategias de energía solar activa y pasiva para el confort lumínico en las plantas bajas de las edificaciones del Pasaje El Dorado en la ciudad de Pasto”, presentado por el (los) autor(es) Natalia Vanessa Gamboa Tobar y Santiago David Montenegro Huertas del Programa Académico Especialización en Arquitectura y Urbanismo Bioclimático al correo electrónico biblioteca.trabajosdegrado@unicesmag.edu.co. Manifiesto como asesor(a), que su contenido, resumen, anexos y formato PDF cumple con las especificaciones de calidad, guía de presentación de Trabajos de Grado o de Aplicación, establecidos por la Universidad CESMAG, por lo tanto, se solicita el paz y salvo respectivo.

Atentamente,



(Firma del Asesor)

JAIRO ESTEBAN POSADA GÓMEZ

1032444510

Especialización en Arquitectura y Urbanismo Bioclimático

Teléfono de contacto: 3008097892

Correo electrónico: jeuposada@unicesmag.edu.co

 UNIVERSIDAD CESMAG <small>MT: 800.109.387-7</small> <small>UNIVERSIDAD CESMAG</small>	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

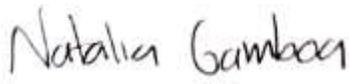
- d) Manifiesto (manifestamos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación es original realizado sin violar o usurpar derechos de autor de terceros y que ostento(amos) los derechos patrimoniales de autor sobre la misma. Por consiguiente, asumo(asumimos) toda la responsabilidad sobre su contenido ante la Universidad CESMAG y frente a terceros, manteniéndose indemne de cualquier reclamación que surja en virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo nombre de(los) autor(es) y la fecha de publicación.
- e) Autorizo(autorizamos) a la Universidad CESMAG para incluir el Trabajo de Grado o de Aplicación en los índices y buscadores que se estimen necesarios para promover su difusión. Así mismo autorizo (autorizamos) a la Universidad CESMAG para que pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

NOTA: En los eventos en los que el trabajo de grado o de aplicación haya sido trabajado con el apoyo o patrocinio de una agencia, organización o cualquier otra entidad diferente a la Universidad CESMAG. Como autor(es) garantizo(amos) que he(hemos) cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejo(dejamos) constancia que la autorización que se concede a través del presente escrito no interfiere ni transgrede derechos de terceros.

Como consecuencia de lo anterior, autorizo(autorizamos) la publicación, difusión, consulta y uso del Trabajo de Grado o de Aplicación por parte de la Universidad CESMAG y sus usuarios así:

- Permiso(permitimos) que mi(nuestro) Trabajo de Grado o de Aplicación haga parte del catálogo de colección del repositorio digital de la Universidad CESMAG por lo tanto, su contenido será de acceso abierto donde podrá ser consultado, descargado y compartido con otras personas, siempre que se reconozca su autoría o reconocimiento con fines no comerciales.

En señal de conformidad, se suscribe este documento en San Juan de Pasto a los 2 días del mes de diciembre del año 2022.

 Firma del autor	Natalia Vannesa Gamboa Tobar
Nombre del autor:	Nombre del autor:
 Firma del autor	Santiago David Montenegro Huertas
Nombre del autor:	Nombre del autor:
 Nombre del asesor: Jairo Esteban Posada Gómez	