



DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Posgrado en Diseño Bioclimático
Especialización en Diseño Ambiental

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN BIOCLIMÁTICA DE CICYT EN EL
MUNICIPIO DE ATLIXCO, PUEBLA

Arq. Ernesto Enrique Nieto Geyne

Directora

Mtra. Laura Angélica Lancón Rivera
Profesora Investigadora del departamento de Medio Ambiente

Codirector

Dr. Christof Adolf Göbel
Profesor Investigador del departamento de Evaluación del Diseño

DEDICATORIAS

A mi novia, por ser mi mayor apoyo y sostén durante todo este proceso. Tu paciencia, amor y compromiso fueron fundamentales para que lograra seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Gracias por nunca dejarme rendir, por acompañarme en cada desafío, y por ser siempre mi mayor motivación.

A mi mamá, mi hermana y mi papá, por su amor incondicional y constante apoyo. Su ejemplo de esfuerzo y dedicación, así como sus palabras de aliento, me han impulsado a superar cada obstáculo en este camino. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

AGRADECIMIENTO

A lo largo del desarrollo de este trabajo, he contado con el apoyo y acompañamiento de diversas instituciones y personas, a quienes quiero expresar mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar, agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el respaldo brindado durante mi formación en el posgrado. Su apoyo ha sido fundamental para la realización de este proyecto.

Quiero extender mi gratitud al Posgrado en Diseño Bioclimático y Diseño Ambiental, cuyo enfoque académico y profesional ha sido clave en la consolidación de los conocimientos que sustentan este trabajo. Las enseñanzas recibidas han sido una fuente de inspiración para lograr un proyecto integral y comprometido con el entorno.

Agradezco profundamente a mis profesores por su guía y apoyo durante la especialización. Sus conocimientos, dedicación y valiosos consejos han enriquecido mi formación y me han permitido desarrollar las herramientas necesarias para llevar a cabo este trabajo de investigación.

Finalmente, expreso mi agradecimiento a la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, por brindarme el espacio y las herramientas necesarias para mi formación. Su comunidad académica y los recursos proporcionados han sido esenciales para llevar a cabo esta investigación.

RESUMEN

La ICR (Idónea comunicación de resultados) presentada tiene como objetivo analizar y evaluar desde un enfoque bioclimático el diseño del Centro de Investigación, Ciencia y Tecnología (CICYT) en el municipio de Atlixco, Puebla. Este proyecto responde a las necesidades expuestas por el municipio, buscando soluciones que integren el confort ambiental mediante estrategias pasivas de diseño adaptadas a las condiciones climáticas específicas de la región. El proceso de investigación comenzó con un análisis detallado del sitio, que incluyó el estudio de antecedentes históricos, la localización geográfica, la topografía, la edafología, la geología, la hidrografía superficial y subterránea, la precipitación pluvial, el uso del suelo, y los aspectos ambientales como la flora y fauna. Además, se evaluaron elementos de infraestructura, población, instituciones de salud, niveles de escolaridad y movilidad urbana.

Posteriormente, se llevó a cabo un análisis climatológico que abordó aspectos fundamentales como el clima local, las variaciones de temperatura a lo largo del año, la humedad relativa, la radiación solar, la nubosidad y los patrones de viento. Para entender mejor el comportamiento climático y su impacto en el confort interior del edificio, se utilizaron diagramas de Givoni, los cuales permitieron identificar las estrategias de diseño más eficaces, como la ventilación natural, el control del asoleamiento y el uso óptimo de la luz natural.

Con base en estos estudios, se formuló una propuesta arquitectónica que abarca desde la ubicación precisa del proyecto hasta el desarrollo de un programa arquitectónico detallado y la elaboración de planos. El diseño del edificio integra criterios de sostenibilidad y responde a las características del terreno, maximizando el aprovechamiento de los recursos naturales y reduciendo el impacto ambiental.

El análisis bioclimático realizado incluye evaluaciones exhaustivas de varios aspectos clave para el confort del usuario y la eficiencia energética del edificio. Estos incluyen el análisis de ventilación, considerando el flujo de aire natural, el análisis de asoleamiento para optimizar la exposición solar, y el análisis de la iluminación, tanto natural como artificial, buscando reducir el consumo energético. Se abordó también el comportamiento térmico del edificio y su capacidad para mantener condiciones confortables durante todo el año, y se llevó a cabo un estudio acústico para asegurar el confort auditivo en los diferentes espacios. La eficiencia energética del edificio fue

evaluada conforme a la normativa NOM-008-ENER-2001, lo que permitió verificar su desempeño en términos de ahorro de energía.

Finalmente, se exploró la implementación de ecotecnologías, siendo la captación pluvial una de las soluciones propuestas para mejorar la sostenibilidad del proyecto.

CONTENIDO

Introducción..... 1

Antecedentes 1

Justificación..... 2

Planteamiento del Problema 2

Objetivo General 2

Procedimiento Metodológico 2

1. Análisis de sitio..... 3

 1.1. Antecedentes históricos..... 4

 1.2. Localización 5

 1.3. Topografía 6

 1.4. Tipo de suelo (Edafología)..... 7

 1.4.1. Unidades de Suelo 7

 1.5. Geología 8

 1.6. Hidrografía 9

 1.7. Hidrografía Subterránea 10

 1.8. Precipitación Pluvial..... 10

 1.9. Uso de suelo 11

 1.10. Flora..... 11

 1.10.1. Bosque de Oyamel..... 12

 1.10.2. Bosque de Pino 12

 1.10.3. Bosque de Encino 12

 1.10.4. Bosque de Pino-Encino 13

 1.10.5. Bosque de Encino-Pino 13

 1.10.6. Vegetación secundaria de la selva baja caducifolia 13

 1.10.7. Pastizal inducido..... 13

 1.10.8. Palmar inducido..... 14

 1.11. Fauna..... 14

 1.11.1. Fauna en bosque de coníferas y encinos..... 14

 1.11.2. Fauna en selva seca 15

 1.11.3. Fauna en matorral 17

 1.12. Infraestructura 18

 1.13. Pirámide poblacional 18

 1.14. Instituciones de salud 19

 1.15. Nivel de escolaridad 19

 1.16. Movilidad urbana 20

 1.17. Conclusión..... 20

2. Análisis de Climatológico 21

 2.1. Clima 22

 2.2. Temperatura 22

 2.3. Humedad relativa 23

 2.4. Radiación solar..... 23

 2.5. Nubosidad 24

 2.6. Viento 24

 2.6.1. Gráficas mensuales 25

 2.7. Diagramas de Givoni 27

 2.7.1. Marzo – Equinoccio..... 28

 2.7.2. Junio – Solsticio de verano 28

 2.7.3. Septiembre - Equinoccio 29

 2.7.4. Diciembre – Solsticio de invierno 29

 2.7.5. Estrategias propuestas 30

 2.8. Conclusión..... 30

3. Propuesta Arquitectónica 31

 3.1. Ubicación..... 32

 3.2. Terreno..... 32

 3.3. Bases del diseño 32

 3.4. Propuesta 32

 3.5. Programa Arquitectónico 33

 3.6. Planos 34

 3.6.1. Plantas Arquitectónicas..... 34

 3.6.2. Cortes 34

 3.6.3. Vistas renderizadas..... 35

4. Análisis Bioclimático	36	4.6.2. Metodología	93
4.1. Análisis de Ventilación	37	4.6.3. Resultados	101
4.1.1. Estudio de recorrido del viento	37	4.6.4. Conclusión	102
4.1.2. Propuestas y soluciones.....	40	4.7. Ecotecnologías.....	103
4.1.3. Conclusiones	42	4.7.1. Captación pluvial	103
4.2. Análisis de asoleamiento	43	4.7.2. Conclusión	107
4.2.1. Propuesta inicial	43	Bibliografía	108
4.2.2. Soluciones	45		
4.2.3. Conclusión.....	47		
4.3. Análisis de iluminación.....	48		
4.3.1. Confort lumínico	48		
4.3.2. Área de estudio	48		
4.3.3. Normatividad	50		
4.3.4. Análisis de iluminación natural	50		
4.3.5. Análisis de Iluminación Artificial.....	59		
4.3.6. Conclusión.....	63		
4.4. Análisis Acústico	64		
4.4.1. Acústica en la arquitectura	64		
4.4.2. Confort acústico.....	64		
4.4.3. Área de estudio	65		
4.4.4. Normatividad	66		
4.4.5. Análisis de Aislamiento acústico - Transmisión sonora	67		
4.4.6. Análisis de acondicionamiento acústico Tiempo de reverberación.....	70		
4.4.7. Conclusión.....	74		
4.5. Análisis Térmico.....	75		
4.5.1. Áreas de estudio.....	75		
4.5.2. Análisis en DesignBuilder	77		
4.5.3. Propuesta de Mejora	89		
4.5.4. Conclusión.....	92		
4.6. Análisis NOM-008-ENER-2001 Eficiencia energetica en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales	93		
4.6.1. Herramienta de cálculo.....	93		

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de proyecto. Fuente Google Maps	32	Figura 23 Análisis 12:00 hr - Andrew Marsh. Elaboración propia.	51
Figura 2 Perspectiva de CICYT Atlixco. Elaboración propia.	32	Figura 24 Análisis 15:00 hr - Andrew Marsh. Elaboración propia.	52
Figura 3. Perspectiva de CICYT Atlixco. Elaboración propia	33	Figura 25 Análisis 09:00 hr - Andrew Marsh. Elaboración propia.	52
Figura 4 Fachada principal (Este). Elaboración propia.....	33	Figura 26 Análisis 12:00 hrs - Andrew Marsh. Elaboración propia.	53
Figura 5 Fachada posterior (Oeste). Elaboración propia.....	33	Figura 27 Análisis 15:00 hrs - Andrew Marsh. Elaboración propia.	53
Figura 6. Render 1 – Perspectiva desde edificio de Administración. Elaboración propia mediante software Twinmotion.	35	Figura 28. Plano de distribución de luminarias en aula y luminaria seleccionada.	59
Figura 7. Render 2 – Perspectiva desde terraza y aulas. Elaboración propia mediante software Twinmotion.....	35	Figura 29. Resultado de cálculo de iluminación en el aula. Fuente DIALux	59
Figura 8. Render 3 – Fachada Este. Elaboración propia mediante software Twinmotion.	35	Figura 30. Esquema de distribución de lux en el Aula.	60
Figura 9. Render 4 – Fachada Oeste. Elaboración propia mediante software Twinmotion.....	35	Figura 31. Vista del espacio de aula. Renderizado en DIALux	60
Figura 10. Fachada Este durante Equinoccio a las 9:00 hrs. Elaboración propia	45	Figura 32. Vista del espacio de aula. Renderizado en DIALux	60
Figura 11. Fachada Este durante el Equinoccio a las 12:00 hrs. Elaboración propia	45	Figura 33. Vista del espacio de aula. Renderizado en DIALux	61
Figura 12. Fachada Oeste durante el Equinoccio a las 12:00 hrs. Elaboración propia	45	Figura 34. Plano de distribución de luminarias en pasillo. DIALux	61
Figura 13. Fachada Oeste durante Equinoccio a las 15:00 hrs. Elaboración propia.....	45	Figura 35. Luminaria seleccionada para pasillo. DIALux	61
Figura 14. Fachada Este durante Solsticio de verano a las 9:00 hrs. Elaboración propia	46	Figura 36. Resultado de cálculo de iluminación en pasillo. Fuente DIALux.....	61
Figura 15. Fachada Este durante Solsticio de verano a las 12:00 hrs. Elaboración propia.....	46	Figura 37. Esquema de distribución de lux en pasillo.	61
Figura 16. Fachada Oeste durante Solsticio de verano a las 12:00 hrs. Elaboración propia	46	Figura 38. Vista del espacio de pasillo. Renderizado en DIALux.....	62
Figura 17. Fachada Oeste durante Solsticio de verano a las 15:00 hrs. Elaboración propia	46	Figura 39. Vista del espacio de pasillo. Renderizado en DIALux.....	62
Figura 18. Fachada Este durante Solsticio de invierno a las 9:00 hrs. Elaboración propia.....	46	Figura 40. Esquema de consumo de energía anual.	62
Figura 19. Fachada Este durante Solsticio de invierno a las 12:00 hrs. Elaboración propia.....	47	Figura 41. Esquema de consumo energético diario.....	63
Figura 20. Fachada Oeste durante Solsticio de invierno a las 12:00 hrs. Elaboración propia.....	47	Figura 42. Espuma Techmel. Fuente NBS Source	72
Figura 21. Fachada Este durante Solsticio de invierno a las 15:00 hrs. Elaboración propia.....	47	Figura 43. Panel de techo absorbente. Fuente NBS Source	72
Figura 22 Análisis 09:00 hr - Andrew Marsh. Elaboración propia.....	51	Figura 44. Perspectiva Sureste. Elaboración propia en Design Builder.....	78
		Figura 45. Alzado Este. Elaboración propia en Design Builder.....	78
		Figura 46. Alzado Oeste. Elaboración propia en Design Builder.	79

Figura 47. Perspectiva Sureste con materiales. Elaboración propia en Design Builder. 79

Figura 48. Cálculo de reducción de CO₂. Fuente Calculadora Vertua <https://www.cemexmexico.com/calculadora-vertua>. 81

Figura 49. Perspectiva renderizada. Elaboración propia en Design Builder. 82

Figura 50. Perspectiva Sureste con techo escudo. Elaboración propia en Design Builder. 89

Figura 51. Simbología de elementos de la envolvente. Elaboración propia. 93

Figura 52. Descripción de la losa nervada en la herramienta de cálculo. Elaboración propia. 96

Figura 53. Detalle constructivo de la losa nervada. Elaboración propia. 96

Figura 54. Descripción de muro de concreto aparentia en la herramienta de cálculo. Elaboración propia. 97

Figura 55. Detalle constructivo de muro de concreto aparentia. Elaboración propia. 97

Figura 56. Descripción de ventanas del proyecto en la herramienta de cálculo. Elaboración propia. 98

Figura 57. Detalle constructivo de ventana de doble acristalamiento. Fuente Finestres Girona. 98

Figura 58. Descripción de puertas del proyecto en la herramienta de cálculo. Elaboración propia. 99

Figura 59. Detalle constructivo de puertas del proyecto. Fuente Roconsa.com. 99

Figura 60. Listado de elementos. Elaboración propia en la herramienta de cálculo de NOM-008-ENER-2001 100

Figura 61. Resultado obtenido. Fuente elaboración propia en la herramienta de cálculo. 100

Figura 62. Etiqueta de eficiencia energética. Fuente Low Carbon & GIZ, 2015. 101

Figura 63. Precipitación media anual. Fuente Capital sustentable <https://capitalsustentable.shinyapps.io/calculadora/>. 104

Figura 64. Superficie de captación pluvial. Elaboración propia. 104

Figura 65. Datos Ingresados para cálculo de captación pluvial. Fuente Capital sustentable <https://capitalsustentable.shinyapps.io/calculadora/>. 105

Figura 66. Resultados de la calculadora para el aprovechamiento de lluvia. Fuente Capital sustentable <https://capitalsustentable.shinyapps.io/calculadora/>. 105

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Panorámica de Atlixco. Fotos de México. 4

Fotografía 2 Oyamel (Abies). Fuente: EncicloVida 12

Fotografía 3 Pino (Pinus montezumae). Fuente: EncicloVida 12

Fotografía 4 Bosque de Encino laurelillo (Quercus laurina). Fuente: EncicloVida 12

Fotografía 5 Vegetación secundaria de la selva baja caducifolia. Fuente: EncicloVida 13

Fotografía 6 Pastizal Inducido. Fuente: EncicloVida 14

Fotografía 7 Culebra parda. Fuente: EncicloVida 14

Fotografía 8 Codorniz. Fuente: EncicloVida..... 14

Fotografía 9 Halcón. Fuente: EncicloVida 14

Fotografía 10 Tecolote. Fuente: EncicloVida 15

Fotografía 11 Tlacoyote. Fuente: EncicloVida..... 15

Fotografía 12 Musaraña. Fuente: EncicloVida 15

Fotografía 13 Mapache. Fuente: EncicloVida 15

Fotografía 14 Coatí. Fuente: EncicloVida..... 16

Fotografía 15 Venado cola blanca. Fuente: EncicloVida..... 16

Fotografía 16 Colibrí. Fuente: EncicloVida..... 16

Fotografía 17 Gato montés. Fuente: EncicloVida..... 16

Fotografía 18 Murciélago. Fuente: EncicloVida..... 17

Fotografía 19 Zorra gris. Fuente: EncicloVida..... 17

Fotografía 20 Aguililla. Fuente: EncicloVida..... 17

Fotografía 21 Víbora de cascabel Fuente: EncicloVida..... 17

Fotografía 22 Búho. Fuente: EncicloVida..... 17

Fotografía 23. Fachada Este durante Equinoccio a las 9:00 hrs. Elaboración propia 43

Fotografía 24. Fachada Este y Fachada Oeste en Equinoccio a las 12:00 hrs. Elaboración propia43

Fotografía 25. Fachada Oeste durante Equinoccio a las 15:00 hrs. Elaboración propia43

Fotografía 26. Fachada Este durante Solsticio de verano a las 9:00 hrs. Elaboración propia43

Fotografía 27. Fachada Este y Oeste durante Solsticio de verano a las 12:00 hrs. Elaboración propia.....44

Fotografía 28. Fachada Oeste y Este durante Solsticio de verano a las 15:00 hrs. Elaboración propia.....44

Fotografía 29. Fachada Este durante Solsticio de invierno a las 9:00 hrs. Elaboración propia ...44

Fotografía 30. Fachada Este y Oeste durante Solsticio de invierno a las 12:00 hrs. Elaboración propia.....44

Fotografía 31. Fachada Oeste durante el Solsticio de invierno a las 15:00 hrs. Elaboración propia45

Fotografía 32. Luxómetro utilizado. FUENTE Amazon.com.mx.....54

Fotografía 33. Vista 1 hacia fachada Oeste del modelo calibrado a escala.....55

Fotografía 34. Vista 2 hacia fachada Sur del modelo calibrado a escala (1)55

Fotografía 35. Vista 3 hacia fachada Sur del modelo calibrado a escala (2)56

Fotografía 36. Vista 4 hacia fachada Este del modelo calibrado a escala (1).....56

Fotografía 37. Vista 5 hacia fachada Este del modelo calibrado a escala (2).....56

Fotografía 38. Vista 6 hacia fachada Este del modelo calibrado a escala (3).....56

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1 Estado de Puebla en la República Mexicana. INEGI. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024..... 5

Mapa 2 Estado de Atlixco, Puebla. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024 6

Mapa 3 Municipio de Atlixco y sus colindantes. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024..... 6

Mapa 4 Topografía del municipio de Atlixco, Puebla. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024..... 7

Mapa 5 Edafología del municipio de Atlixco, Puebla. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024..... 8

Mapa 6 Geología del municipio de Atlixco, Puebla. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024..... 9

Mapa 7 Hidrografía del municipio de Atlixco, Puebla. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024..... 10

Mapa 8 Precipitación pluvial del municipio de Atlixco, Puebla. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024..... 10

Mapa 9 Uso de suelo del municipio de Atlixco, Puebla. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024..... 11

Mapa 10 Vegetación del municipio de Atlixco, Puebla. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024..... 11

Mapa 11 Infraestructura para transporte de municipio de Atlixco, Puebla. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024 18

Mapa 12 Climas de municipio de Atlixco, Puebla. INEGI..... 22

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1 Planta baja CICyT. Elaboración propia.....34

Plano 2 Planta alta CICyT. Elaboración propia.....34

Plano 3. Corte Transversal A-A'. Elaboración propia.....34

Plano 4. Corte Longitudinal B-B'. Elaboración propia34

Plano 5. Corte Longitudinal Auditorio. Elaboración propia.....34

Plano 6. Plano de planta alta. Elaboración propia.48

Plano 7. Área de estudio. Elaboración propia.....49

Plano 8. Distribución de fotografías en cielo artificial. Elaboración propia55

Plano 9. Puntos de medición en Aula. Elaboración propia57

Plano 10. Área de estudio. Elaboración propia.65

Plano 11. Aula 2. Elaboración propia.....65

Plano 12. Componentes del aula 2 - Estado actual. Elaboración propia.66

Plano 13. Fuentes de ruido exterior. Elaboración propia.68

Plano 14. Nivel de Ruido de Fondo. Elaboración propia.....69

Plano 15. Componentes del aula 2 - Propuesta de mejoras. Elaboración propia.72

Plano 16. Plano de Planta baja. Elaboración propia.....75

Plano 17. Plano de Planta Alta. Elaboración propia.75

Plano 18. Plano de Biblioteca76

Plano 19. Plano de Cubículos. Elaboración propia.....76

Plano 20. Plano de aula. Elaboración propia.77

Plano 21. Corte por fachada. Elaboración propia.80

Plano 22. Corte por fachada. Elaboración propia.95

ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1 Impacto del viento en el área administrativa, vista en planta, orientación sur-norte. Elaboración propia. 37

Esquema 2 Impacto del viento en el área administrativa, vista en fachada, orientación sur-norte. Elaboración propia. 38

Esquema 3 Impacto del viento en el área administrativa con árbol, vista en planta, orientación sur-norte. Elaboración propia. 38

Esquema 4 Impacto del viento en el área administrativa, vista en planta, orientación este-oeste. Elaboración propia. 39

Esquema 5 Impacto del viento en planta alta-aulas, vista en planta, orientación sur-norte. Elaboración propia. 39

Esquema 6 Impacto del viento en planta alta-aulas, vista en planta, orientación este-oeste. Elaboración propia. 40

Esquema 7 Impacto del viento en el área administrativa con soluciones, vista en planta, orientación sur-norte. Elaboración propia. 40

Esquema 8 Impacto del viento en el área administrativa con soluciones, vista en planta, orientación este-oeste. Elaboración propia..... 41

Esquema 9 Impacto del viento en planta alta-aulas, vista en planta, orientación sur-norte y este-oeste. Elaboración propia..... 41

Esquema 10. Elementos de la envolvente en PB. Elaboración propia..... 94

Esquema 11. Elementos de la envolvente en PA. Elaboración propia..... 94

Esquema 12. Elementos de la envolvente en Azotea. Elaboración propia. 94

Esquema 13. Elementos de la envolvente, alzados Sur y Norte. Elaboración propia. 94

Esquema 14. Elementos de la envolvente, alzado Este. Elaboración propia..... 94

Esquema 15. Elementos de la envolvente, alzado Oeste. Elaboración propia. 95

Esquema 16. Señalamiento de sistemas constructivos. Elaboración propia..... 95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cobertura Vegetal en el Municipio de Atlixco. INEGI.....12

Tabla 2 Comportamiento del viento al año. Fuente: Datos meteorológicos NASA24

Tabla 3. Normatividad en Aulas. Elaboración propia50

Tabla 4. Lux/Puntos de medición. Elaboración propia.....57

Tabla 5. Medición de lux en exterior. Elaboración propia58

Tabla 6. Cálculo de Factor de día. Elaboración propia58

Tabla 7 Niveles de ruido de fondo recomendables. Fuente INIFED <https://www.gob.mx/inifed> ..67

Tabla 8. Análisis de Aula de Transmisión- Estado Actual. Elaboración propia.69

Tabla 9. Sumatoria de decibeles. FUENTE National Institute for Occupational Safety and Health.69

Tabla 10. Coeficientes de Reducción Sonora. FUENTE Acoustic Supplies <https://www.acoustic-supplies.com/absorption-coefficient-chart/> 71

Tabla 11. Análisis de Reverberación- Estado Actual. Elaboración propia 71

Tabla 12. Tabla de resultados de Tiempo de Reverberación- Estado Actual. Elaboración propia. 71

Tabla 13. Coeficientes de Reducción Sonora, propuesta de mejora. FUENTE Acoustic Supplies <https://www.acoustic-supplies.com/absorption-coefficient-chart/> 73

Tabla 14. Análisis de Reverberación- Propuesta de mejora. Elaboración propia 73

Tabla 15. Tabla de resultados de Tiempo de Reverberación- Propuesta de mejora. Elaboración propia..... 73

Tabla 16. Valores de los materiales. Elaboración propia.....80

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Pirámide poblacional de municipio de Atlixco, Puebla. INEGI.	18
Gráfica 2 Distribución de personas afiliadas a servicios de salud por sexo en municipio de Atlixco, Puebla. INEGI.	19
Gráfica 3 Distribución de consultorios por especialidad en municipio de Atlixco, Puebla. INEGI.	19
Gráfica 4 Niveles de escolaridad por género en municipio de Atlixco, Puebla. INEGI.	19
Gráfica 5 Temperaturas y umbral de confort térmico. Fuente: BAT	22
Gráfica 6 Humedad relativa. Fuente: BAT	23
Gráfica 7 Comportamiento de la radiación solar por mes. Fuente: BAT	23
Gráfica 8 Comportamiento de la nubosidad por mes. Fuente: BAT	24
Gráfica 9 Comportamiento del viento Anual. Fuente: Datos meteorológicos NASA	24
Gráfica 10 Comportamiento del viento en enero. Fuente: Datos meteorológicos NASA	25
Gráfica 11 Comportamiento del viento en febrero. Fuente: Datos meteorológicos NASA	25
Gráfica 12 Comportamiento del viento en marzo. Fuente: Datos meteorológicos NASA.....	25
Gráfica 13 Comportamiento del viento en abril. Fuente: Datos meteorológicos NASA	25
Gráfica 14 Comportamiento del viento en mayo. Fuente: Datos meteorológicos NASA	25
Gráfica 15 Comportamiento del viento en junio. Fuente: Datos meteorológicos NASA	25
Gráfica 16 Comportamiento del viento en julio. Fuente: Datos meteorológicos NASA	26
Gráfica 17 Comportamiento del viento en agosto. Fuente: Datos meteorológicos NASA	26
Gráfica 18 Comportamiento del viento en septiembre. Fuente: Datos meteorológicos NASA	26
Gráfica 19 Comportamiento del viento en octubre. Fuente: Datos meteorológicos NASA.....	26
Gráfica 20 Comportamiento del viento en noviembre. Fuente: Datos meteorológicos NASA	26
Gráfica 21 Comportamiento del viento en diciembre. Fuente: Datos meteorológicos NASA	26
Gráfica 22 Diagrama de Givoni anual. Elaboración propia.....	27
Gráfica 23 Diagrama de Givoni de marzo. Fuente: Elaboración propia	28
Gráfica 24 Diagrama de Givoni de junio. Fuente: Elaboración propia	28
Gráfica 25 Diagrama de Givoni de septiembre. Fuente: Elaboración propia	29
Gráfica 26 Diagrama de Givoni de diciembre. Fuente: Elaboración propia	29
Gráfica 27. Lux interiores-Tridimensional. Elaboración propia.....	57
Gráfica 28. Lux interiores-Plano. Elaboración propia.....	57
Gráfica 29. Medición de lux al interior, representación plana y tridimensional. Elaboración propia	58
Gráfica 30 Tiempos óptimos de reverberación. Fuente INIFED https://www.gob.mx/inifed	66
Gráfica 31. Comportamiento Térmico de Biblioteca en marzo. Elaboración propia.	83
Gráfica 32. Comportamiento Térmico de Biblioteca en junio. Elaboración propia.	83
Gráfica 33. Comportamiento Térmico de Biblioteca en septiembre. Elaboración propia.	84
Gráfica 34. Comportamiento Térmico de Biblioteca en diciembre. Elaboración propia.	84
Gráfica 35. Comportamiento Térmico de Cubículos en marzo. Elaboración propia.	85
Gráfica 36. Comportamiento Térmico de Cubículos en junio. Elaboración propia.	85
Gráfica 37. Comportamiento Térmico de Cubículos en septiembre. Elaboración propia.....	86
Gráfica 38. Comportamiento Térmico de Cubículos en diciembre. Elaboración propia.	86
Gráfica 39. Comportamiento Térmico de Aula en marzo. Elaboración propia.	87
Gráfica 40. Comportamiento Térmico de Aula en junio. Elaboración propia.....	87
Gráfica 41. Comportamiento Térmico de Aula en septiembre. Elaboración propia.	88
Gráfica 42. Comportamiento Térmico de Aula en diciembre. Elaboración propia.....	88
Gráfica 43. Comportamiento Térmico de Aula con techo escudo en marzo. Elaboración propia.	90
Gráfica 44. Comportamiento Térmico de Aula con techo escudo en junio. Elaboración propia...	90
Gráfica 45. Comportamiento Térmico de Aula con techo escudo en septiembre. Elaboración propia.....	91

Gráfica 46. Comportamiento Térmico de Aula con techo escudo en diciembre. Elaboración propia.
..... 91

Gráfica 47. Demanda y satisfacción de agua. Fuente Capital sustentable
<https://capitalsustentable.shinyapps.io/calculadora/>..... 106

Gráfica 48. Volumen de captación. Fuente Capital sustentable
<https://capitalsustentable.shinyapps.io/calculadora/>..... 106

Gráfica 49. Costo de cisterna de 10,000 L. Fuente Capital sustentable
<https://capitalsustentable.shinyapps.io/calculadora/>..... 107

ÍNDICE DE ECUACIONES

1. Ecuación de Temperatura Neutra.....22

2. Ecuación de Factor de día54

3. Pérdida de Trasmisión Sonora Promedio TLA.....68

4. Ecuación de Sabine 70

5. Área de Absorción 71

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, el diseño ambiental se ha convertido en una herramienta clave en la planificación y el diseño arquitectónico, especialmente en un contexto global donde la sostenibilidad y el confort humano son aún más fundamentales.

Este enfoque permite adaptar las edificaciones a las condiciones climáticas locales, minimizando el uso de energía artificial y aprovechando al máximo los recursos naturales, como la luz solar, el viento y la vegetación, pues a través de una comprensión profunda de las características climáticas de un lugar se logra proponer soluciones que no solo mejoren la habitabilidad de los espacios, sino que también contribuyan a la reducción de la huella de carbono y al bienestar general de las comunidades.

Es debido a esto que el presente caso de estudio se centra en el diseño de un Centro de Investigación y Tecnología (CICYT) en Atlixco, Puebla con un enfoque en diseño ambiental y bioclimático. Este enfoque no solo busca mejorar la eficiencia energética del CICYT, sino también proporcionar un modelo de diseño replicable en otras construcciones de la región. La optimización bioclimática de este centro será un referente para futuras edificaciones en Atlixco, promoviendo prácticas de construcción sustentable que puedan ser integradas en el crecimiento urbano y rural de la zona.

Por otro lado, Atlixco representa un caso de estudio ideal para un análisis bioclimático, dada su ubicación privilegiada en un valle con condiciones climáticas templadas y una fuerte tradición agrícola. Sin embargo, como ocurre en muchas regiones en desarrollo, la presión del crecimiento urbano y la necesidad de nuevas infraestructuras pueden generar desafíos en términos de sostenibilidad ambiental y confort para sus usuarios.

Además, a lo largo de los años, en Atlixco se han presentado retos en su planificación urbana, en especial en lo que respecta a la optimización de recursos energéticos y la mitigación de los efectos del cambio climático.

En este contexto, el CICYT, como infraestructura educativa y tecnológica, juega un papel crucial en el desarrollo de la región, y su diseño debe ser optimizado para responder a las demandas tanto

climáticas como sociales del entorno. De tal manera que, el objetivo de este análisis es evaluar las condiciones térmicas, de iluminación, ventilación y acústica del edificio, con el fin de proponer estrategias de mejora que optimicen el confort ambiental sin comprometer la sostenibilidad. A lo largo del estudio, se utilizarán herramientas de simulación para analizar las distintas variables climáticas y cómo influyen en el comportamiento térmico del edificio, identificando áreas críticas que requieren intervenciones.

Con este análisis, se espera demostrar cómo el diseño arquitectónico debe trabajarse de manera paralela al diseño ambiental y bioclimático, de manera que pueda responder a los desafíos ambientales contemporáneos, garantizando el confort de los usuarios mientras se respetan los principios de sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

ANTECEDENTES

Atlixco, Puebla, se ha consolidado como una región clave dentro del estado, por lo que este municipio, enfrenta actualmente nuevos desafíos derivados del crecimiento urbano y la necesidad de diversificar su economía hacia sectores como la investigación y la tecnología. Ante estos retos, la creación de un Centro de Investigación y Tecnología (CICYT) en Atlixco es fundamental para impulsar el desarrollo científico y tecnológico en la región, promoviendo soluciones innovadoras que fortalezcan tanto el sector agrícola como otros ámbitos productivos.

Asimismo, la implementación de un CICYT en Atlixco no solo responde a la necesidad de diversificación económica, sino también a la importancia de adaptar sus edificaciones a los estándares más exigentes de sostenibilidad y eficiencia energética. Dado el crecimiento urbano que ha experimentado la región, es crucial que las nuevas infraestructuras como el CICYT adopten estrategias ambientales y bioclimáticas que aprovechen de manera óptima las condiciones climáticas locales.

De esta forma, el CICYT no solo contribuirá al avance tecnológico de la región, sino que también se convertirá en un ejemplo de cómo el desarrollo urbano puede coexistir con la conservación de los recursos naturales y la promoción de la sostenibilidad.

JUSTIFICACIÓN

La necesidad de realizar un análisis climatológico y bioclimático para el CICYT surge del creciente desarrollo urbano y los retos que esto representa para mantener un equilibrio entre crecimiento y sostenibilidad en Atlixco.

Este estudio no solo proporcionará estrategias para mejorar el confort ambiental y de usuarios del CICYT, sino que también contribuirá al bienestar de la comunidad local y al uso eficiente de los recursos naturales del municipio, un factor clave en una zona agrícola que depende en gran medida de sus recursos naturales.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Centro de Investigación y Tecnología (CICYT) en Atlixco, Puebla, se encuentra en fase de diseño, lo que plantea la necesidad de anticipar posibles deficiencias en términos de confort térmico, iluminación natural y artificial, y ventilación. El reto principal es realizar un análisis climatológico y bioclimático que identifique si la propuesta de diseño actual puede garantizar el confort y la eficiencia energética.

El principal reto en este contexto es realizar un análisis climatológico y bioclimático que permita evaluar cómo las condiciones climáticas locales, como la radiación solar, las temperaturas, la humedad y los vientos, afectarán el comportamiento térmico y lumínico del edificio. Este análisis busca prever cualquier problema relacionado con el sobrecalentamiento, la falta de ventilación adecuada o la insuficiente iluminación natural, que podrían comprometer tanto la eficiencia energética como el confort de los usuarios.

En caso de identificar deficiencias en estas áreas, será necesario proponer estrategias de diseño bioclimático que optimicen el uso de los recursos naturales disponibles, como la orientación del edificio, el uso de materiales térmicamente eficientes y soluciones pasivas para la ventilación e iluminación.

De esta manera, se busca no solo evitar futuros problemas de confort, sino también asegurar que el CICYT sea un referente en diseño sostenible y eficiente desde el inicio de su desarrollo.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este estudio es realizar un análisis climatológico y bioclimático detallado de esta propuesta de diseño para el CICYT Atlixco, Puebla, con el fin de identificar las deficiencias en el confort ambiental y proponer estrategias de diseño que optimicen el uso de los recursos naturales, mejoren el confort térmico y reduzcan el impacto ambiental del edificio.

PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

El procedimiento metodológico de este estudio se basa en las siguientes etapas clave:

- **Análisis del sitio:** Se evaluarán las características geográficas, climáticas y de uso de suelo del área de estudio.
- **Análisis climatológico y bioclimático:** Se realizarán estudios y análisis sobre las condiciones climáticas y bioclimáticas del espacio. Además, se contará con el apoyo de herramientas de simulación para dichos análisis.
- **Propuestas de mejora:** Con base en los resultados obtenidos, se propondrán estrategias para mejorar el confort térmico, lumínico y de ventilación, implementando soluciones sostenibles y bioclimáticas.
- **Validación:** Se utilizarán nuevamente las herramientas de simulación como para validar las propuestas de mejora.

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS DE SITIO

La geografía y la historia de Atlixco, Puebla hacen que tenga una identidad única. Desde una perspectiva geográfica, este municipio se caracteriza por su ubicación privilegiada en el Valle de Atlixco, en la región central del estado de Puebla.

Su topografía y su clima templado hacen de este territorio un entorno ideal para la agricultura. La presencia de ríos y arroyos que descienden de las montañas proporciona una fuente constante de agua, esencial para el cultivo de una amplia variedad de productos agrícolas.

Sin embargo, este análisis también muestra los desafíos y oportunidades que presenta Atlixco a la fecha. Aunque la agricultura sigue siendo el motor de su economía, el municipio reconoce la necesidad de diversificar sus actividades y promover un desarrollo sostenible.

La preservación de los recursos naturales, la implementación de prácticas agrícolas sustentables y la promoción de actividades turísticas son algunas de las estrategias para asegurar un futuro próspero para Atlixco y sus habitantes.

1.1. Antecedentes históricos

El Municipio de Atlixco, cuyo nombre proviene del náhuatl y significa "Agua en el valle o en la superficie del suelo", se estableció en terrenos llanos ideales para la agricultura. Antiguamente conocida como "Quauhquechollan", también de origen náhuatl y que significa "Lugar del águila Quecholli", esta región ya estaba habitada hace cuatrocientos años por los Chichimecas, Teochichimecas y Xicalancas, quienes tributaban a Tenochtitlán y se asentaban en las faldas del Cerro de San Miguel. (Fotografía 1)

Desde tiempos prehispánicos, el Valle de Atlixco y Matamoros¹ ha sido una región de vital importancia agrícola, favorecida por los deshielos del volcán Popocatepetl. Esta franja de tierra, de aproximadamente 30 a 40 kilómetros de extensión, se localiza entre Izúcar de Matamoros y Puebla. Cuando los conquistadores españoles fundaron la ciudad de Puebla en 1532, el Valle de Atlixco se

encontraba prácticamente deshabitado. Sin embargo, su ubicación estratégica y los suelos fértiles despertaron el interés de los conquistadores.



Fotografía 1 Panorámica de Atlixco. Fotos de México.

El valle se enriquece por los minerales que provienen del Popocatepetl, convirtiéndose en tierras fértiles del Valle de Atlixco gracias a esto atrajeron a nuevos colonos españoles y mestizos, quienes se dedicaron principalmente a la agricultura y al desarrollo de haciendas para la producción de alimentos y materias primas, aprovechaban al máximo la fertilidad de la tierra.

Con el tiempo, Atlixco se convirtió en el más importante centro agrícola y comercial en la región, por su producción de flores, frutas y hortalizas. Al igual por su patrimonio cultural y arquitectónico, que refleja la influencia tanto indígena como española.

¹ El valle de Atlixco y Matamoros es una región natural del estado de Puebla. Toma su nombre de las principales poblaciones del valle, las ciudades de Atlixco e Izúcar de Matamoros.

A finales del siglo XVI, en el año 1579, el asentamiento fue oficialmente nombrado Villa de Carrión. Este nombre se registró en documentos antiguos como "Villa de Carrión Valle de Atlixco", marcando así el inicio de su denominación actual.

Villa de Carrión comenzó como un centro poblacional de gran importancia debido a su actividad agrícola, generando muchos ingresos. Con el tiempo, adquirió el estatus de alcaldía mayor.

Durante el período virreinal, la ciudad de Puebla fue reconocida como el "Granero de la Nueva España", destacando por la extensa zona de cultivo de trigo que abastecía a todo México. Esta distinción destaca la importancia económica y agrícola tanto de Puebla como de sus áreas colindantes, incluyendo la Villa de Carrión.

El 14 de febrero de 1843, el presidente Nicolás Bravo, otorgó a Atlixco el estatus de "ciudad". Bajo este nombre, Atlixco fue oficialmente reconocida como una entidad urbana con derechos y privilegios específicos, marcando un hito importante en su historia y desarrollo.

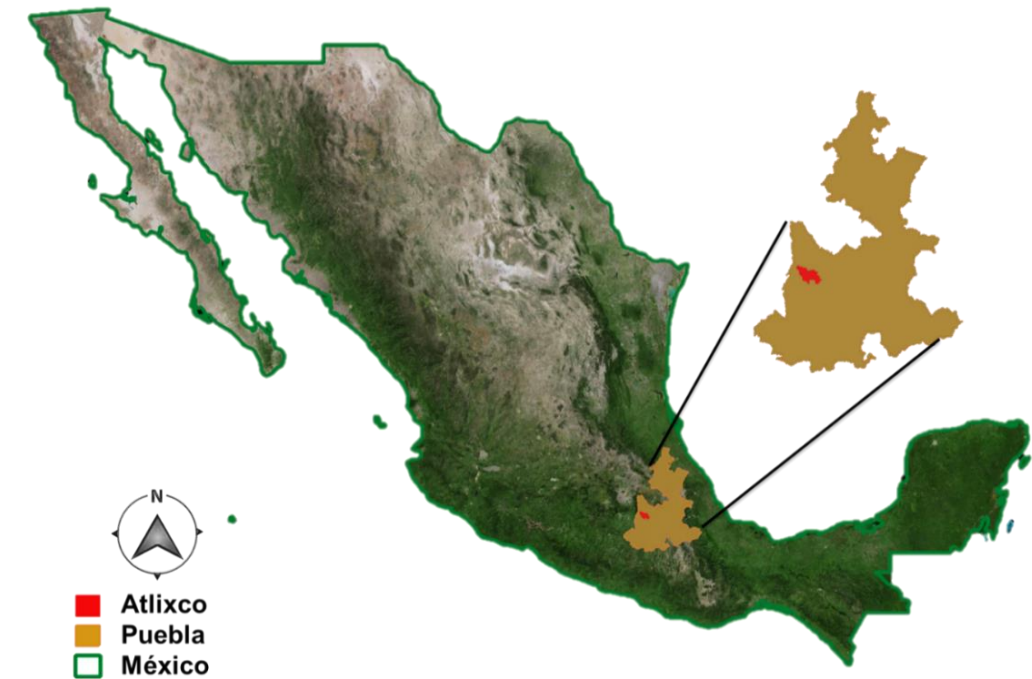
El 4 de mayo de 1862, un día antes de la histórica Batalla de Puebla, los habitantes de Atlixco demostraron gran valentía al resistir el avance de las tropas conservadoras. Este acto de resistencia, conocido como la Batalla de Atlixco, fue un componente significativo para la victoria que se lograría al día siguiente en la Batalla de Puebla.

El 14 de febrero de 1954, el gobernador del estado, Rafael Ávila Camacho, llevó a cabo la inauguración del Parque Colón y el quiosco en el zócalo de Atlixco. Como es costumbre en las ciudades de influencia española, Atlixco fue planificada con el zócalo como punto central. Este lugar no solo servía como el corazón de la vida comunitaria, sino también como una zona de tránsito para comerciantes y ciudadanos por igual. La inauguración del Parque Colón y el quiosco resaltó la importancia de este espacio en la vida cotidiana de los habitantes de Atlixco, consolidándolo como un punto de reunión y actividad social en la ciudad. (El Sol de Puebla, 2023)

Oficialmente Atlixco, se incorporó al programa Pueblos Mágicos en el año 2015. (Secretaría de Turismo, 2019)

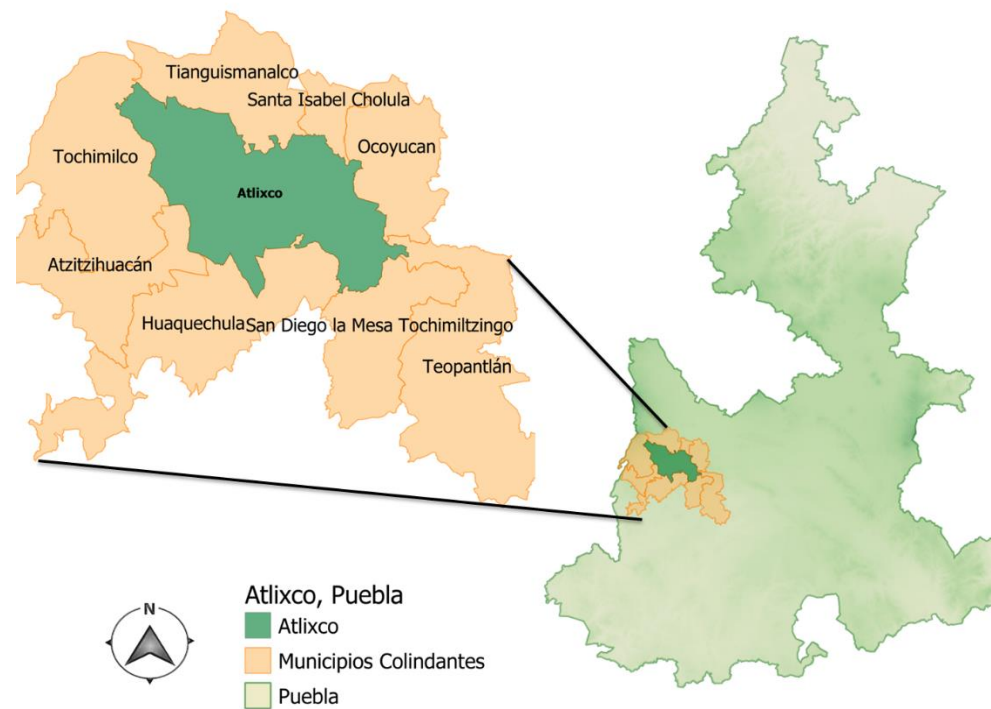
1.2. Localización

El municipio de Atlixco se localiza en la parte centro Oeste del estado de Puebla. Tiene una altitud promedio de 1840m sobre el nivel del mar. (Mapa 1)



Mapa 1 Estado de Puebla en la República Mexicana. INEGI. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024

Sus coordenadas geográficas son los paralelos 18° 49` 30" y 18° 58` 30" de latitud norte y los meridianos 98° 18` 24" y 98° 33` 36" de longitud occidental. (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)



Mapa 2 Estado de Atlixco, Puebla. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024

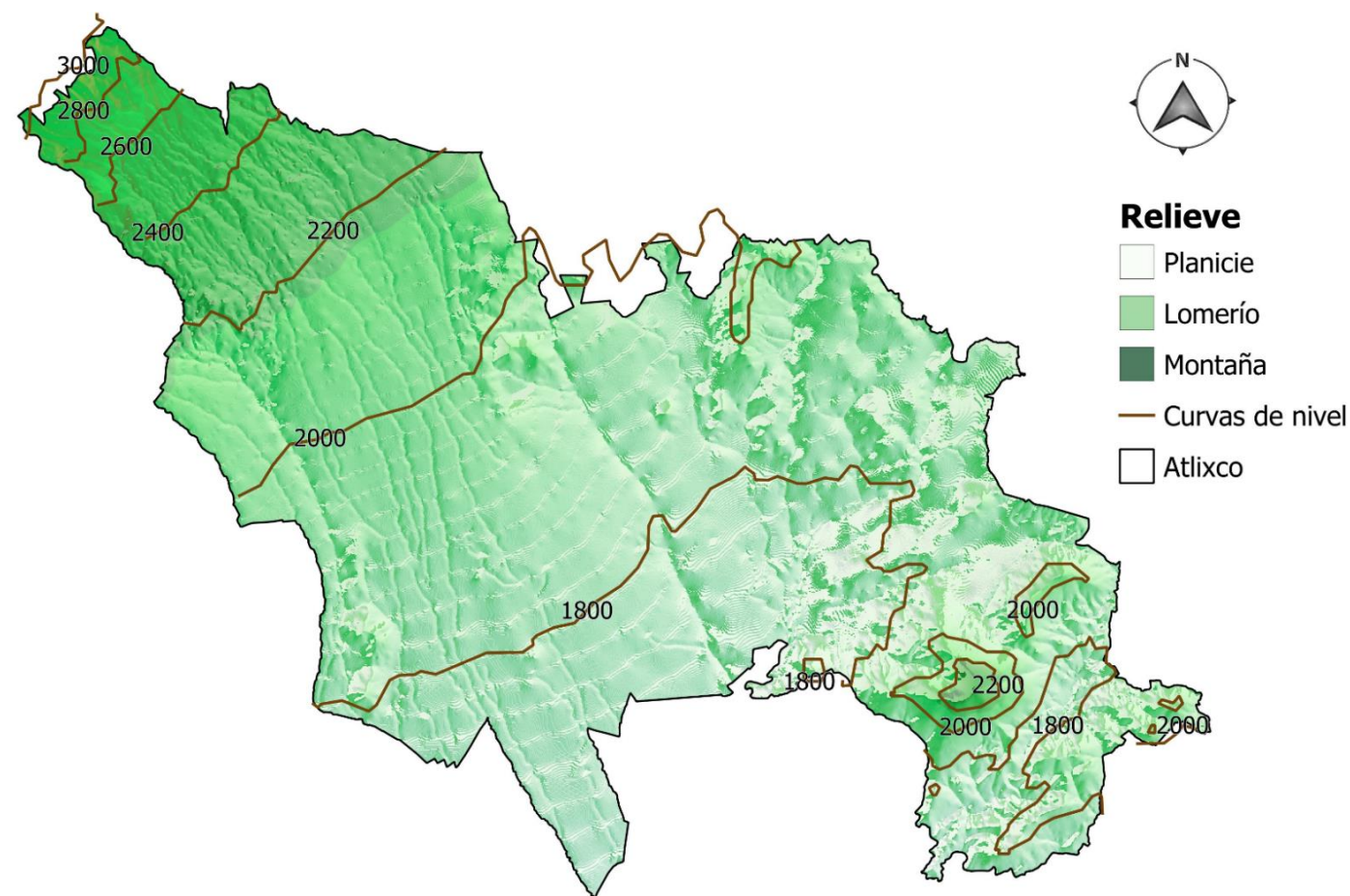
El municipio colinda al Norte con el municipio de Tanguismanalco, al Noreste con los municipios de Santa Isabel Cholula y Ocoyucan, al Suroeste con el municipio de Atzitzihuacan, al Sur con los municipios de Huaquechula y Tepeojuma, Sureste con el municipio de San Diego la Meza Tochimiltzingo, al Este con la Ciudad de Puebla, y al Oeste con el municipio de Tochimilco. Figura 4. (Secretaría de Turismo, 2019) (Mapa 3)



Mapa 3 Municipio de Atlixco y sus colindantes. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024

1.3. Topografía

El Municipio de Atlixco se encuentra en actual crecimiento urbano y en su mayoría su extensión no es de topografía accidentada, aunque se encuentra rodeado por regiones montañosas y algunas llegan a alcanzar hasta los 3,000 metros de altura. (Mapa 4)



Mapa 4 Topografía del municipio de Atlixco, Puebla. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024

1.4. Tipo de suelo (Edafología)

El análisis edafológico tiene como objetivo principal evaluar el potencial de los suelos en un área específica, identificando aquellos que pueden ser utilizados para el desarrollo urbano y aquellos que, debido a sus características, son adecuados para otros usos. Este análisis es fundamental para garantizar la sustentabilidad a largo plazo de los territorios, ya que permite

planificar el uso del suelo, considerando las necesidades presentes como las futuras de la población y el medio ambiente.

Además, debido a sus características, el suelo alberga una gran diversidad de organismos, lo que lo convierte en un hábitat vital para la vida. En los ecosistemas urbanos, el suelo desempeña un papel crucial como depósito de materiales y como base para la infraestructura urbana. Las características del suelo influyen directamente en el diseño y la construcción de obras en la ciudad, ya que determinan la estabilidad, la capacidad de carga y otros aspectos fundamentales para el desarrollo de la infraestructura urbana. Por lo tanto, comprender las propiedades del suelo es esencial para garantizar la buena planificación y ejecución de proyectos en entornos urbanos. (Programa Municipal de desarrollo urbano de Atlixco, Puebla. 2021-2024, 2023)

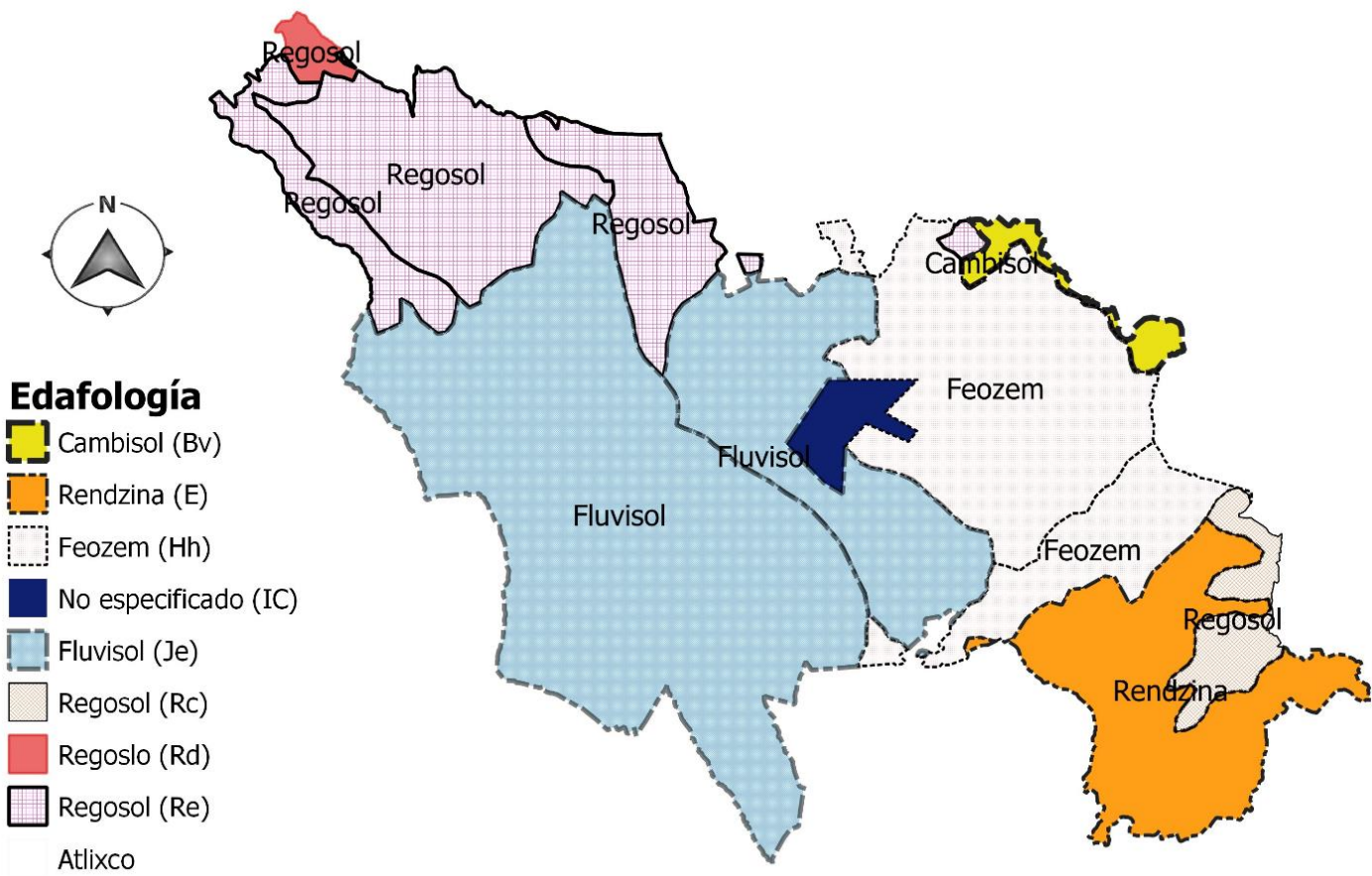
1.4.1. Unidades de Suelo

En el municipio se encuentran 3 unidades de suelo reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo, siendo los que predominan, en términos de superficie, los Feozem, seguidos por el Fluvisol y el Regosol. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO, Actualización 2015) (Mapa 5)

- Feozem
 - Son suelos porosos, oscuros y ricos en materia orgánica, muy fértiles y aptos para el cultivo. Suelos que ocurren principalmente en regiones de estepa² y tienen un suelo superficial rico en humus y alta saturación con bases. Son suelos oscuros y ricos en materia orgánica, por lo que son muy utilizados en agricultura de temporal.
- Fluvisol
 - Planicies de inundación, marismas costeras. Son suelos que están o han estado fuertemente influenciados por agua. Se encuentran dentro de los suelos más fértiles, por lo que su uso agrícola es muy elevado.

² Zona ecológica terrestre, alejada de los mares y plana, cuyos suelos secos debido a la escasa precipitación son ricos en minerales y pobres en materia orgánica, pudiendo albergar formas de vida vegetal de muy poco tamaño y espesor.

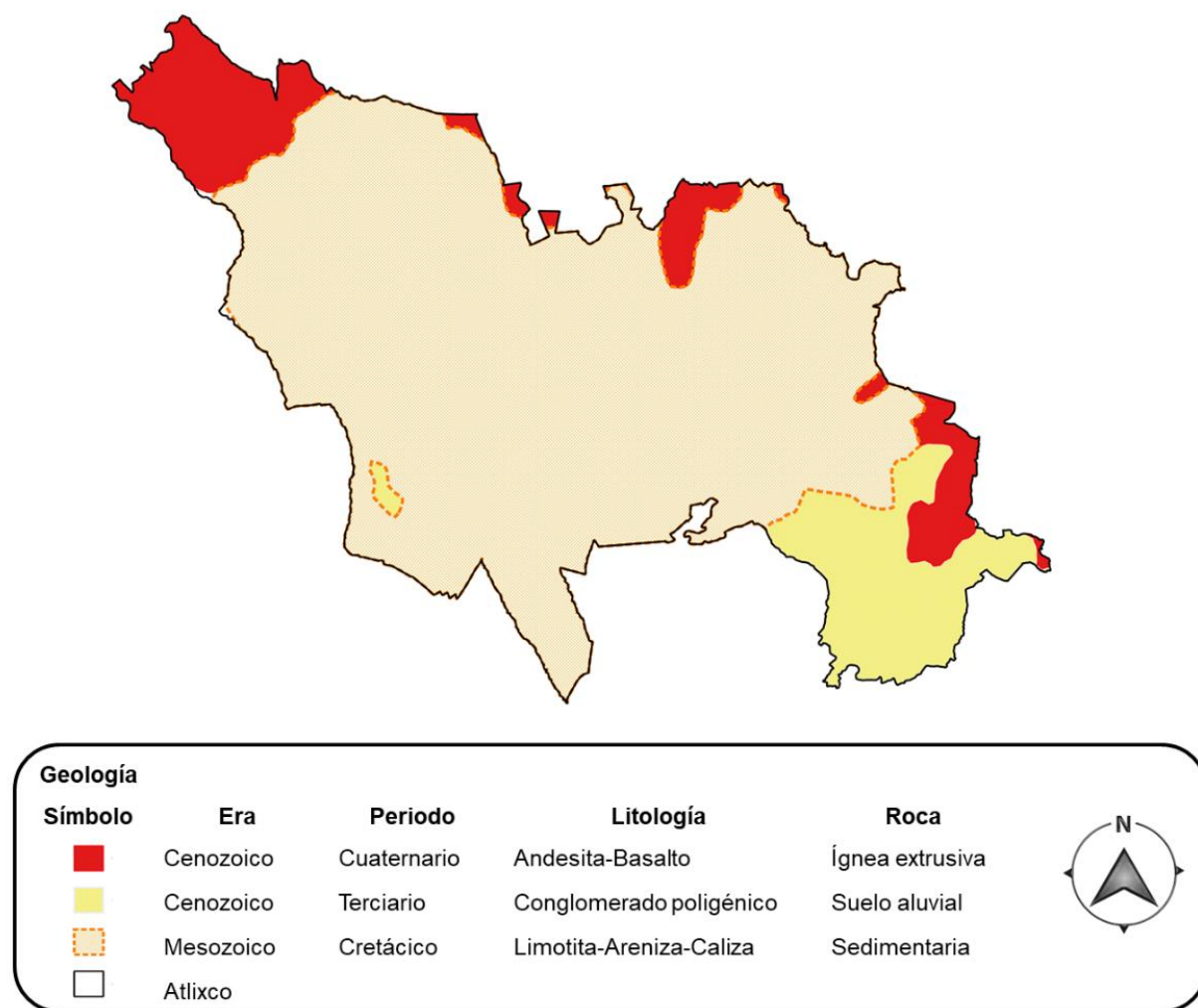
- Regosol
 - Suelos sin desarrollo significativo de perfil. Suelos relativamente jóvenes con muy poco o ningún desarrollo de perfil, o arenas muy homogéneas, de colores claros y pobres en materia orgánica. Tienen escasa vocación agrícola, aunque su uso depende de su profundidad, pedregosidad y fertilidad, por lo que sus rendimientos son variables. Las variantes más comunes en el territorio son los Regosoles eútricos y calcáricos que se caracterizan por tener una capa ócríca, que cuando se retira la vegetación, se vuelve dura y costrosa lo que impide la penetración del agua hacia el subsuelo y dificulta el establecimiento de las plantas. Esta combinación (escasa cubierta vegetal y baja infiltración de agua al suelo) favorece la escorrentía superficial, y con ello, la erosión. En su caso son aptos para asentamientos humanos. (Programa Municipal de desarrollo urbano de Atlixco, Puebla. 2021-2024, 2023)



Mapa 5 Edafología del municipio de Atlixco, Puebla. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024

1.5. Geología

El territorio municipal está constituido por tres clases litológicas: rocas ígneas, rocas sedimentarias y suelos aluviales. (Mapa 6)



Mapa 6 Geología del municipio de Atlixco, Puebla. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024

- Las rocas ígneas extrusivas: Las rocas ígneas extrusivas, formadas por el enfriamiento rápido del magma en superficie o cerca de ella, están compuestas casi en su totalidad por silicatos. En la zona se encuentran rocas ígneas extrusivas tipo andesita, dacita, basalto, toba intermedia y volcanoclástica del Cenozoico Neógeno y, andesita, basalto y toba básica, del Cenozoico Cuaternario.
- Las rocas de origen sedimentario: Se encuentran rocas sedimentarias tipo caliza del Mesozoico Cretácico, conglomerado del Cenozoico Paleógeno y Cenozoico

Cuaternario y; limotita-arenisca del Cenozoico Terciario. Las rocas calizas están formadas a partir de la consolidación de restos de organismos y constituidas por calcita (carbonato de calcio); los conglomerados son rocas que se originan a partir de partículas que mantienen su integridad física durante el transporte y son depositadas rápidamente sin dar lugar a la clasificación del depósito.

- Los suelos aluviales o aluviones: Son depósitos aluviales recientes, del Cenozoico Cuaternario (el término se refiere a material no consolidado), están constituidos por detritos de las diversas rocas presentes en la región; estos materiales, transportados y depositados por el agua en los canales de las corrientes y en las planicies inundables. La llanura aluvial está compuesta fundamentalmente por suelos aluviales, encontrándose dos áreas formadas por rocas sedimentarias tipo conglomerado, la primera en las estribaciones del cerro La Leona y, la segunda del cerro Zoapiltepec. (Programa Municipal de desarrollo urbano de Atlixco, Puebla. 2021-2024, 2023)

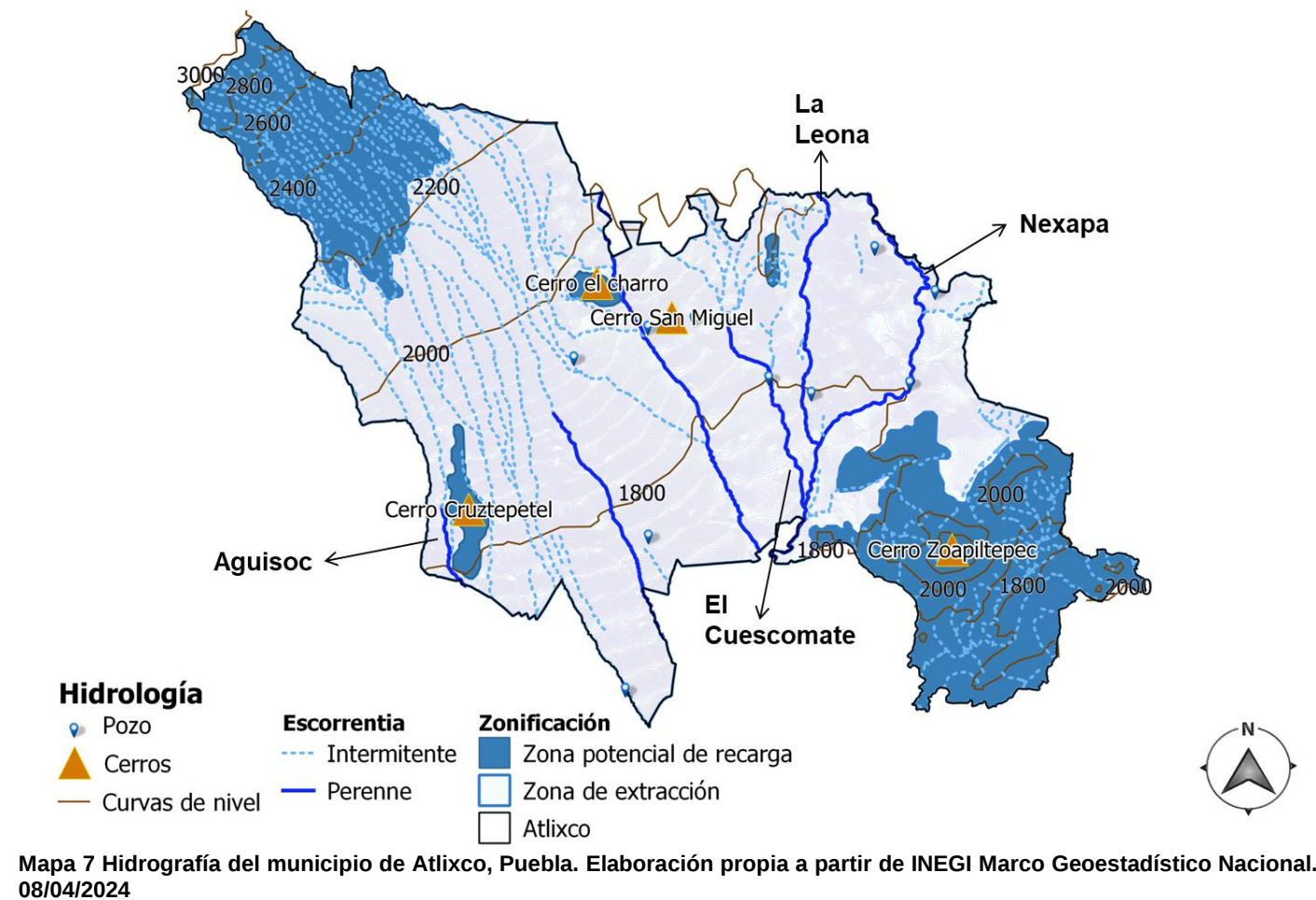
1.6. Hidrografía

El municipio se encuentra comprendido dentro de la Región Hidrológica (RH-18) ³Río Balsas, Subregión hidrológica del Alto Balsas, Cuenca del Río Atoyac y Subcuenca del río Nexapa, ocupa las zonas central y suroccidental del estado de Puebla.

La corriente superficial más importante que escurre por el municipio de Atlixco es el río Nexapa, seguido por río El Cuescomate y río Aguisoc.

Las numerosas corrientes temporales, originadas por deshielos del volcán, forman una gran cantidad de barrancas al Noroeste. (Programa Municipal de desarrollo urbano de Atlixco, Puebla. 2021-2024, 2023) (Mapa 7)

³ Río Balsas. Hacia el sur de estas montañas, se prolonga a lo largo de las serranías que constituyen el borde occidental de la cañada poblana-oaxaqueña.



1.7. Hidrografía Subterránea

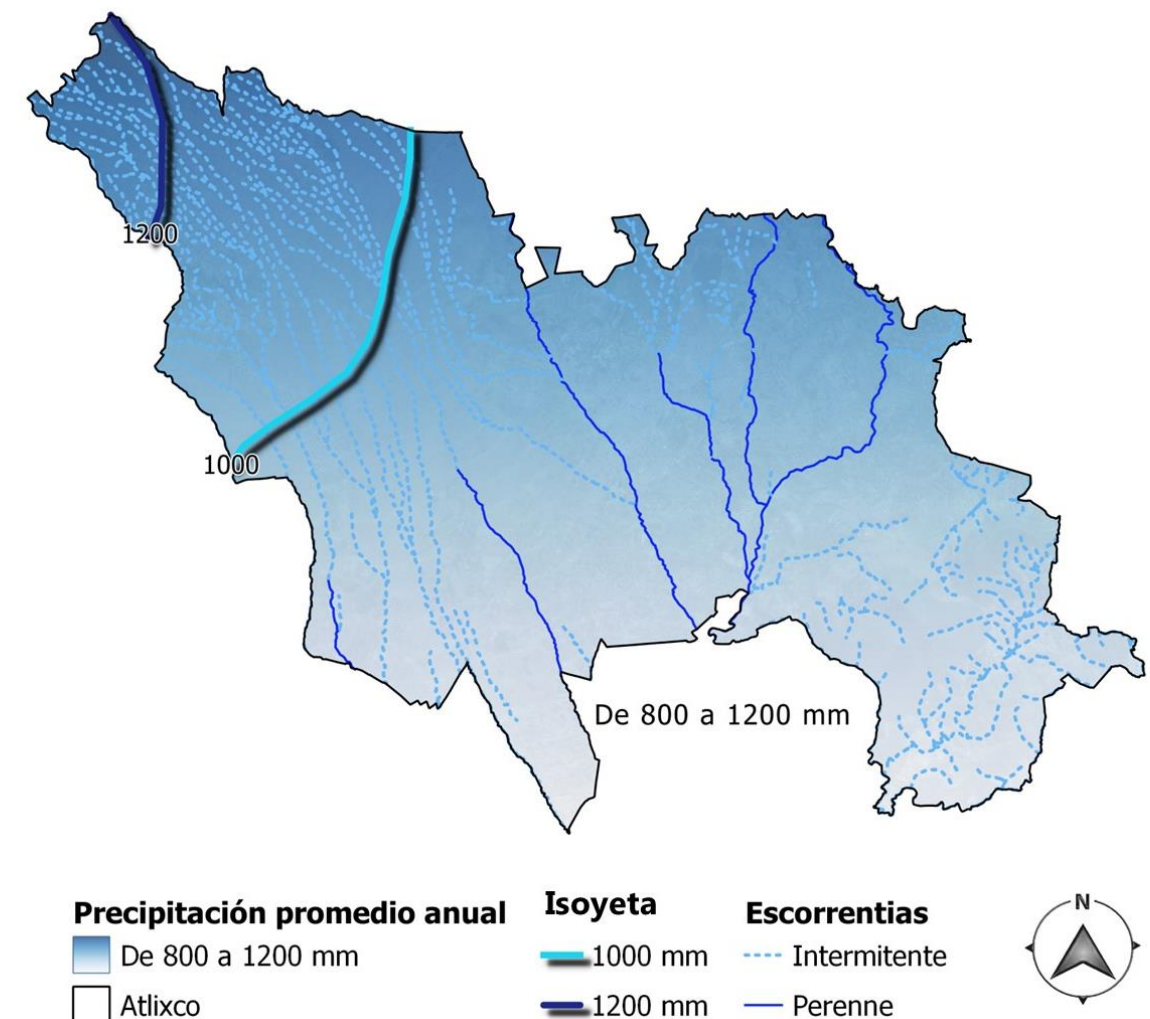
El municipio de Atlixco se encuentra dentro del acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros, el cual se caracteriza principalmente por ser de tipo libre, lo que significa que posee buenas condiciones de permeabilidad. La dirección del flujo de las aguas subterráneas suele seguir la pendiente del Valle. El análisis de la evolución del nivel estático del agua muestra que se han registrado descensos en la parte central del valle, llegando a alcanzar hasta -4 metros, mientras que se han observado incrementos en la parte noroeste de la zona de Atlixco y a lo largo del valle de San Juan Epatlán, llegando a ser de +2 a +4 metros, respectivamente. Estos aumentos están asociados a áreas cercanas a zonas de recarga de agua subterránea. Según el Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado, se considera que la vulnerabilidad del acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros es moderada. (Programa Municipal de desarrollo urbano de Atlixco, Puebla. 2021-2024, 2023)

1.8. Precipitación Pluvial

Aproximadamente el 1720 mm de las precipitaciones se produce anualmente. (Mapa 8)

La mejor época para visitar el municipio es durante la primavera, específicamente en los meses de abril, mayo y junio. Durante este período, el clima tiende a ser más agradable, con temperaturas más suaves y menos lluvias en comparación con los meses de verano.

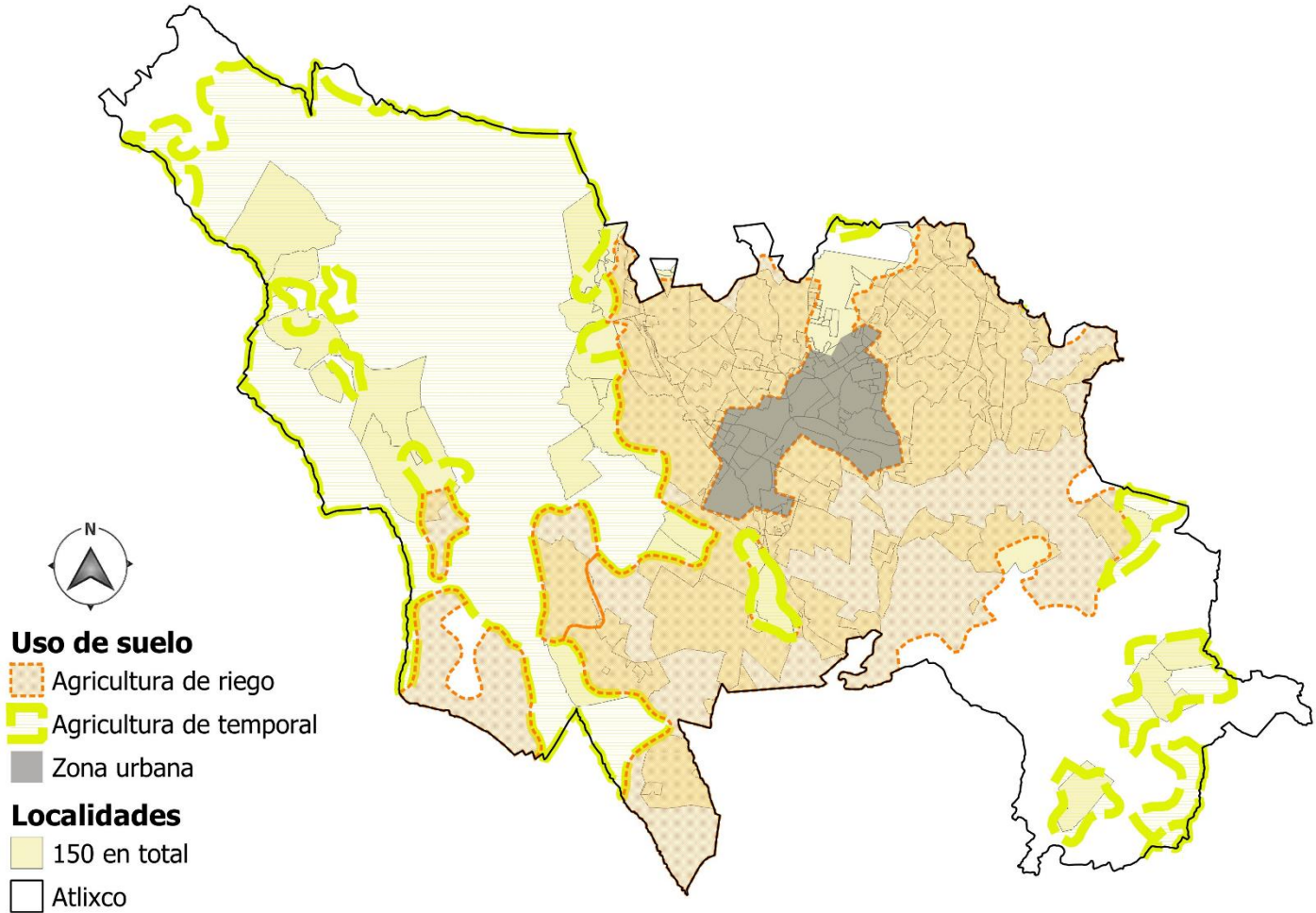
Esto hace que sea una época ideal para explorar el municipio y disfrutar de sus paisajes y atracciones turísticas. (Secretaría de Turismo, 2019)



1.9. Uso de suelo

El uso del suelo agrícola de riego es el predominante en el municipio ya que el sistema de riego está orientado a la producción de productos más rentables como las hortalizas, flores y forrajes. ()

Las condiciones ambientales que proporcionan un clima templado y húmedo; estas condiciones ambientales permiten a los campesinos de Atlixco desarrollar sistemas de riego aprovechando las ventajas hidrológicas para emprender sistemas productivos orientados al mercado y la satisfacción de alimentos de la población rural principalmente. (Programa Municipal de desarrollo urbano de Atlixco, Puebla. 2021-2024, 2023)

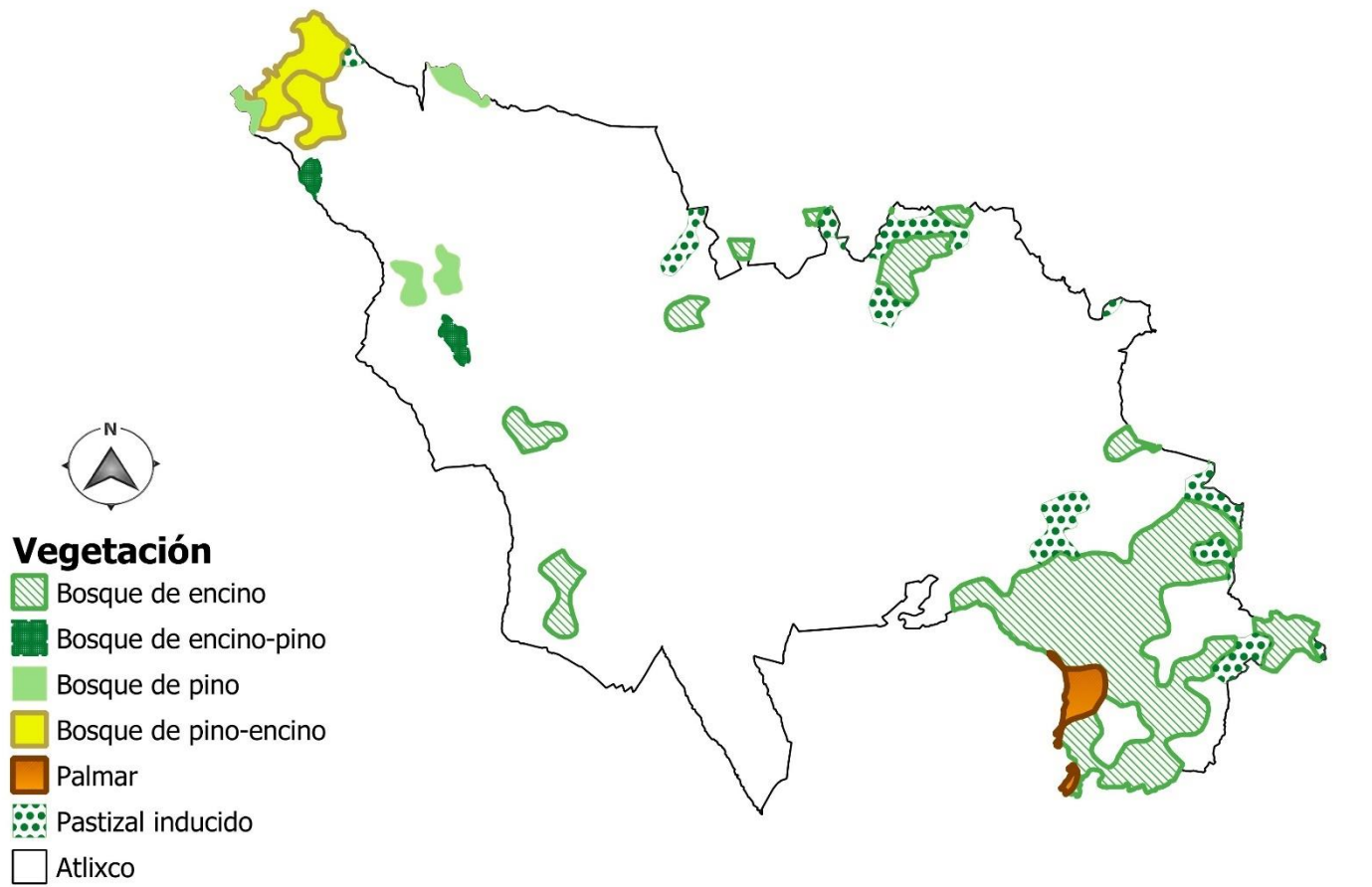


Mapa 9 Uso de suelo del municipio de Atlixco, Puebla. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024

1.10. Flora

En la zona de estudio, la superficie con vegetación abarca 9,712.77% de la superficie total, en esta superficie están presentes 7 tipos de vegetación: (Mapa 10)

- Bosque de oyamel de desarrollo, 182.07 ha,
- Bosque de pino, 1198.62 ha; bosque de encino, 5,480.54 ha;
- Bosque de encino pino, 1,160.06 ha;
- Palmar inducido, 905.10 ha;
- Pastizal inducido, 580.36 ha.
- Selva caducifolia baja, 206.02 ha de.



Mapa 10 Vegetación del municipio de Atlixco, Puebla. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024

Según su desarrollo, la vegetación primaria (flora con baja o ninguna interferencia humana) ocupa 3049.74 ha, 31.40% de la superficie con vegetación y, la vegetación secundaria (flora que ocupa de forma natural o estimulada, y que ha sido deforestado, reconvertido o degradado), 6,663.03 ha, 68.60%. (Tabla 1)

Categorías	Tipos				Total
	Primaria		Secundaria		
	Ha	%	Ha	%	
Bosque de Oyamel	182.07	5.97	0.00	0.00	182.07
Bosque de Pino	695.38	22.80	503.24	7.55	1,198.62
Bosque de Encino	41.66	1.37	5,438.88	81.63	5,480.54
Bosque de Pino-Encino	645.17	21.15	514.89	7.73	1,160.06
Subtotal	1,564.28	51.29	6,457.01	96.91	8,021.29
Selva Baja Caducifolia	0.00	0.00	206.02	3.09	206.02
Pastizal Inducido	580.36	19.04	0.00	0.00	580.36
Palmar Inducido	905.10	29.57	0.00	0.00	905.10
Subtotal	1,485.46	48.61	206.02	3.09	1,691.48
Total	3,049.74	100.00	6,663.03	100.00	9,712.77
%	31.40		68.60		100.00

Tabla 1 Cobertura Vegetal en el Municipio de Atlixco. INEGI

1.10.1. Bosque de Oyamel

Comunidad que se caracteriza por la altura de sus árboles que a veces sobrepasan los 30 m de altura, se desarrollan en clima semifrío y húmedo, entre los 2,000 a 3,400 m de altitud. Las masas arboladas pueden estar conformadas por elementos de la misma especie o mixtos, acompañados por diferentes especies de coníferas y latifoliadas; algunos bosques son densos sobre todo en condiciones libres de disturbio, pero debido al fuerte impacto que provocan las actividades humanas, su área se encuentra en constante disminución para dar lugar a espacios agrícolas y pecuarios. (Fotografía 2)



Fotografía 2 Oyamel (Abies). Fuente: EncicloVida

Las especies que los constituyen son principalmente del género Abies como: oyamel, pinabete (Abies religiosa), abeto (A. duranguensis) y Abies spp., además de pino u ocote (Pinus spp.), encino o roble (Quercus spp.) y aile (Alnus firmifolia).

1.10.2. Bosque de Pino

Es una comunidad siempre verde constituida por árboles del género Pinus, de amplia distribución y con aproximadamente 49 especies, 18 variedades, 2 subespecies en las cadenas montañosas de todo el país desde los 300 m de altitud hasta los 4,200 m en el límite altitudinal de la vegetación arbórea. (Fotografía 3)



Fotografía 3 Pino (Pinus montezumae). Fuente: EncicloVida

1.10.3. Bosque de Encino

Comunidad vegetal formada por diferentes especies (aproximadamente más de 200) de encinos o robles del género Quercus; estos bosques generalmente se encuentran como una transición entre los bosques de coníferas y las selvas, pueden alcanzar desde los 4 hasta los 30 m de altura más o menos abiertos o muy densos; se desarrollan en muy diversas condiciones ecológicas desde casi el nivel del mar hasta los 3,000 m de altitud, salvo en las condiciones más áridas, y se les puede encontrar en casi todo el país.



Fotografía 4 Bosque de Encino laurelillo (Quercus laurina). Fuente: EncicloVida

Las especies más comunes de estas comunidades son encino laurelillo (Quercus laurina), encino (Q. magnoliifolia), encino blanco (Q. candicans), roble (Q. crassifolia), encino quebracho (Q. rugosa), encino tesmilillo (Q. crassipes), encino cucharo (Q. urbanii), charrasquillo (Q. microphylla), encino colorado (Q. castanea), encino prieto (Q. laeta), laurelillo (Q. mexicana), Q. glaucoides, Q. scytophylla. (Fotografía 4)

1.10.4. Bosque de Pino-Encino

Comunidad de bosque ampliamente distribuida que ocupa la mayor parte de la superficie forestal de las porciones superiores de los 130 sistemas montañosos del país, la cual está compartida por las diferentes especies de pino (*Pinus* spp.) y encino (*Quercus* spp.); dependiendo del dominio de uno y otro, se le denomina pino-encino si predominan las coníferas y es llamado encino pino cuando dominan los encinares.

Algunas de las especies más comunes son pino chino (*Pinus leiophylla*), pino (*P. hartwegii*), ocote blanco (*P. montezumae*), pino lacio (*P. pseudostrobus*), pino (*P. rudis*), pino escobetón, pino chino (*P. teocote*), ocote trompillo (*P. oocarpa*), pino ayacahuite (*P. ayacahuite*), pino (*P. pringlei*), *P. engelmani*, *P. lawsoni*, encino laurelillo (*Quercus laurina*), encino (*Q. magnoliifolia*), encino blanco (*Q. candicans*), roble (*Q. crassifolia*), encino quebracho (*Q. rugosa*), encino tesmilillo (*Q. crassipes*), encino cucharo (*Q. urbanii*), charrasquillo (*Q. microphylla*), encino colorado (*Q. castanea*), encino prieto (*Q. laeta*), laurelillo (*Q. mexicana*), *Q. glaucoides*, y *Q. scytophylla*.

1.10.5. Bosque de Encino-Pino

Vegetación arbórea formada por la dominancia de encinos (*Quercus* spp), sobre los pinos (*Pinus* spp.).

Desarrolla principalmente en áreas de mayor importancia forestal, en los límites altitudinales inferiores de los bosques de pino-encino. Estas comunidades muestran menor porte y altura que aquellos donde domina el pino sobre el encino.

Las especies más representativas son:

Encino laurelillo (*Quercus laurina*), encino (*Q. magnoliifolia*), encino blanco (*Q. candicans*), roble (*Q. crassifolia*), encino quebracho (*Q. rugosa*), encino tesmilillo (*Q. crassipes*), encino cucharo (*Q. urbanii*), charrasquillo (*Q. microphylla*), encino colorado (*Q. castanea*), encino prieto (*Q. laeta*), laurelillo (*Q. mexicana*), *Q. glaucoides*, *Q. scytophylla*, pino chino (*Pinus leiophylla*), pino (*P. hartwegii*), ocote blanco (*P. montezumae*), pino lacio (*P. pseudostrobus*), pino (*P. rudis*), pino escobetón, pino chino (*P. teocote*), ocote trompillo (*P. oocarpa*), pino ayacahuite (*P. ayacahuite*), pino (*P. pringlei*), *P. engelmani*, *P. lawsoni*.

1.10.6. Vegetación secundaria de la selva baja caducifolia

Son comunidades originadas por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original; en otros casos presenta un aspecto y composición florística diferente, se desarrollan en zonas desmontadas para diferentes usos y en áreas agrícolas abandonadas. (Fotografía 5)

En la clasificación de estas comunidades se consideran la etapa sucesional secundaria, arbórea: se desarrolla después de transcurridos varios años del desmonte original y por lo tanto después de las etapas herbácea y arbustiva, 131según la antigüedad se pueden encontrar comunidades de árboles formadas por una sola especie o varias.

Las selvas son comunidades que tienen gran importancia desde varios puntos de vista, tales como el económico, el ecológico y el social. En muchos casos algunas selvas bajas, aunque tienen especies que podrían aprovecharse en la industria, actualmente no se pueden explotar ya que gran parte de ellas han sido perturbadas para dedicar los suelos a la agricultura o a la ganadería, utilizando el método tradicional de roza-tumba-quema o por medios mecanizados y se ha eliminado a la vegetación, con poco aprovechamiento, salvo para algunos usos domésticos como la obtención de leña y carbón.

En general, las selvas también desempeñan la función importante de servir de refugio de diversas especies animales y vegetales útiles al hombre.

1.10.7. Pastizal inducido

El pastizal inducido es aquel que surge cuando es eliminada la vegetación original. Este pastizal puede aparecer como consecuencia de desmonte de cualquier tipo de vegetación; también puede establecerse en áreas agrícolas abandonadas o bien como producto de áreas que se incendian con frecuencia. (Fotografía 6)



Fotografía 5 Vegetación secundaria de la selva baja caducifolia. Fuente: EncicloVida

Como ya se señaló con anterioridad, los pastizales inducidos algunas veces corresponden a una fase de la sucesión normal de comunidades vegetales, cuyo clímax es por lo común un bosque o un matorral.

A consecuencia del pastoreo intenso o de los fuegos periódicos o bien de ambos factores juntos, se detiene a menudo el proceso de la sucesión y el pastizal inducido permanece como tal mientras perdura la actividad humana que lo mantiene.



Fotografía 6 Pastizal Inducido. Fuente: EncicloVida

De esta manera se tiene la categoría de pastizales inducidos que prosperan una vez destruidos los bosques de Pinus y de Quercus, característicos de las zonas montañosas de México.

En altitudes superiores a 2,800 msnm las comunidades secundarias frecuentemente son similares al Pastizal de Alta Montaña, formado por gramíneas altas que crecen en extensos macollos.

1.10.8. Palmar inducido

El palmar inducido es una asociación de plantas monopódicas pertenecientes a la familia Arecaceae la familia Arecaceae (Palmae) resultado de la perturbación por la actividad humana.

Los palmares pueden formar bosques aislados cuyas alturas varían desde 5 hasta 30m o menos, se desarrollan en climas cálidos húmedos y subhúmedos, generalmente sobre suelos profundos y con frecuencia anegados, con características de sabana.

1.11. Fauna

1.11.1. Fauna en bosque de coníferas y encinos

En el bosque de coníferas y encinos: falso escorpión, ranita verde, salamandra, lagartija de collar, culebras pardas y de agua, codorniz, halcón, tecolote, tlalcoyote y musaraña.

- *Culebra parda.*
 - La culebra parda mexicana (*Storeria storeriodes*) es también conocida como serpiente marrón mexicana y es una culebra no venenosa que en el año 2007 se colectó una hembra grande con una longitud hocico cloaca de 33 cm y longitud total de 41 cm. Se desplaza de forma ondulatoria, tiene reproducción sexual y es bilateralmente simétrica. Se alimenta de babosas terrestres y otros invertebrados. (Fotografía 7)
- *Codorniz.*
 - Ave pequeña, café grisáceo, de carrillos blanco opaco, al igual que la garganta; cresta de plumas oscuras o café, rectas, de 2 a 3 cm de largas; dorso y tórax grisáceo. Cada pluma está bordeada de color pardo; coberturas de las alas café listadas y moteadas con café negruzco; la cola gris tiene dibujos finos blanco con negro, a semejanza de los costados y el pecho; el pico es negro y las piernas, café; pesa de 115 a 160 gramos. (Fotografía 8)
- *Halcón.*
 - El halcón mexicano, 2 o halcón pálido,3 (*Falco mexicanus*) es una especie de ave migratoria perteneciente a la familia Falconidae. Mide entre 37-47 cm de longitud y su envergadura va de 90-105 cm. Alas y cola son largas. Las hembras pesan entre 700-975 g y los machos 500-600 g. Su plumaje es café, con cere, anillo orbital y patas color amarillo. Cara blanquecina con una línea auricular café oscuro, una mancha blanca entre el ojo y la zona auricular y un bigote también oscuro, así como una línea superciliar delgada y clara. La corona es café con ojos grandes y oscuros. (Fotografía 9)
- *Tecolote.*



Fotografía 7 Culebra parda. Fuente: EncicloVida



Fotografía 8 Codorniz. Fuente: EncicloVida



Fotografía 9 Halcón. Fuente: EncicloVida

- El tecolote de llanero o también llamado lechuza de campo (*Athene cunicularia*) es un búho pequeño y de patas largas con actitud y postura erguida. Mide tan solo 23 cm de largo, alcanza una envergadura de 53 a 61 cm. Pesa entre los 20 y 150. Su pico es corto y puntiagudo, tiene ojos amarillos, y cejas blancas. El dorso es castaño oscuro moteado de blanco, mientras que el pecho y el vientre son de color blanco con barras pardas, así mismo tiene una banda blanca que atraviesa la garganta. Su cola es corta. (Fotografía 10)



Fotografía 10 Tecolote. Fuente: EncicloVida

- *Tlalcoyote*.

- El tlalcoyote o tejón norteamericano o tejuino (*Taxidea taxus*) pertenece a la familia Mustelidae en donde también se encuentran las comadrejas y parientes. Mide entre 50 y 90 cm y pesa entre 3.5 y 14 kg. Cuerpo rechoncho y fuerte, cabeza aplanada y cuello corto y ancho. Tiene las orejas cortas y redondeadas, sus ojos son pequeños. Su cola es corta, tiesa y con la punta blanca. Sus extremidades son cortas, pero están provistas de garras curvas, las anteriores son más largas que las posteriores que son cortas y en forma de pala. La parte dorsal del cuerpo es de color amarillo en la base, negro en la parte media y blanco en puntas, dando un tono grisáceo. La región ventral es amarillenta. El cuello, la mandíbula inferior, las mejillas y los flancos son blanquecinos. Tiene un parche negro triangular entre el ojo y la oreja y dos bandas negras paralelas de la nariz a la base craneal, además tiene una banda blanca media dorsal que se extiende desde la nariz hasta la base de la cola. (Fotografía 11)



Fotografía 11 Tlalcoyote. Fuente: EncicloVida

- *Musaraña*.

- La musaraña mínima (*Cryptotis parvus*) es una especie muy pequeña. Presenta coloración dorsal de color café con un tono negro y con el vientre más claro siendo casi blanco en los adultos. La cola es corta, las orejas son muy pequeñas y casi no son perceptibles, los ojos son diminutos y posee el hocico alargado y puntiagudo. El pelaje es muy fino, denso y suave. Se distingue de otras especies por su cola corta que tiene menos del 45% del largo de la cabeza y cuerpo y por sus patas anteriores pequeñas. (Fotografía 12)



Fotografía 12 Musaraña. Fuente: EncicloVida

1.11.2. Fauna en selva seca

En la selva seca: tejón, mapache, zorrillo, coatí, venado cola blanca, gavilán, colibrí, gato montés y murciélago.

- *Mapache*.

- El mapache (*Procyon lotor*) es también denominado zorra manglera, osito lavador o mapache común, es una especie de mamífero carnívoro de la familia Procyonidae (mapaches y parientes). Es de tamaño mediano y pesa entre 5 y 15 kg. El mapache tiene una característica coloración oscura alrededor de los ojos y cola espesa con colores claro y oscuro alternados como anillos. Su pelaje es de color gris, marrón o negro, raramente albino. Sus huellas son inconfundibles, ya que semejan manos de niño. Es omnívoro, ya que come de todas frutas, semillas, huevos de aves y reptiles, pequeños vertebrados, y a veces se le puede ver comiendo de la basura generada por asentamientos humanos. (Fotografía 13)



Fotografía 13 Mapache. Fuente: EncicloVida

- **Coatí.**

- El coatí, tejón o pisote es un mamífero carnívoro de la familia del mapache (Procyonidae) un poco más grande que un gato, mide entre 85 cm y 1.3 m y pesa entre 4 y 6 kilos. El hocico es largo, puntiagudo y la punta es muy móvil. Tiene garras bien desarrolladas y fuertes en cada uno de los cinco dedos de las patas. Los machos son un poco más grandes que las hembras. Su coloración dorsal varía de tonos castaño-oscuros y castaño-rojizos hasta castaño-dorados, mientras que los individuos sureños son de tonos castaño-oscuro. El pelaje alrededor de los ojos, borde de las orejas, garganta, barbilla y punta del hocico tiene una coloración blancuzca o amarillenta mucho más clara que el resto del cuerpo. Al rededor de las manchas oculares tiene otras manchas, a manera de antifaz, en tonos café oscuros. La cola tiene con frecuencia anillos más oscuros. Escarba con su hocico buscando alimentos en el suelo y usa su cola larga anillada para trepar árboles. Es una especie social que puede vivir en grupos de decenas de individuos generalmente emparentados. (Fotografía 14)



Fotografía 14 Coatí. Fuente: EncicloVida

- **Venado cola blanca.**

- El venado de cola blanca (*Odocoileus virginianus*) es el cérvido más ampliamente distribuido en México. Como su nombre lo indica lo distingue su conspicua cola blanca que levanta como bandera en caso de alarma. Se cree que el destello blanco actúa como señal visual de alarma para otros ciervos. Los machos son de mayor tamaño y pesan entre 60 y 160 kg, midiendo entre 1.60 a 2.20 m de largo incluyendo la cola; mientras que las hembras oscilan entre los 40 y 105 kg, midiendo 80 cm a 1 m de largo. Tiene cuello largo y relativamente grueso, patas largas, hocico alargado y orejas grandes. Los machos tienen astas ramificadas que en edad adulta alcanza a medir hasta 65 cm y que mudan cada año. El color de su pelaje varía de acuerdo con las estaciones y las altitudes,



Fotografía 15 Venado cola blanca. Fuente: EncicloVida

durante primavera y verano como en zonas tropicales su color tiende a ser más rojizo, mientras en durante invierno y en zonas frías su color torna de gris a marrón. Las crías nacen con manchas blancas (moteados). Tienen glándulas odoríferas cerca de los ojos, en la frente y en las patas que producen secreciones olorosas con una gran carga hormonal con diferentes fines, por ejemplo, para marcar su territorio o conseguir pareja reproductora. (Fotografía 15)

- **Colibrí.**

- Pequeña ave con plumaje y coloración metálica en varias tonalidades iridiscentes; alas muy largas y potentes con movimientos reversibles permitiéndole moverse hacia todos lados y quedarse suspendida en el aire por algunos segundos, tiene un pico largo con una lengua bien desarrollada tubular protractil y bifurcada. (Fotografía 16)



Fotografía 16 Colibrí. Fuente: EncicloVida

- **Gato montés.**

- El gato montés o lince (*Lynx rufus*) es la única especie de felino (familia Felidae) con cola corta. Su coloración es muy variada, desde gris claro a gris rojizo, café amarillento, beige, etc. algunos con manchas café o negras en su cuerpo, la parte ventral es blanca con manchas o barras oscuras. Tiene orejas puntiagudas con un pequeño mechón de pelos negros y una mancha blanca en la parte posterior. Es un felino de tamaño mediano que mide de 70 a 95 cm. Los machos son de mayor tamaño que las hembras. Pesan de 5 a 30 kilos con un promedio de 13 kilos. Su periodo de gestación es de entre 50 y 70 días y nacen entre 2 y 4 crías. Es un depredador obligado que se alimenta principalmente de liebres y conejos. (Fotografía 17)



Fotografía 17 Gato montés. Fuente: EncicloVida

- *Murciélago*

- Murciélago lengüilargo sin cola (*Anoura geoffroyi*), es un quiróptero nativo de México, pertenece a la familia Phyllostomidae. Mide la longitud del cuerpo con la cabeza de 5.8 a 7.3 cm, el pelaje del dorso es de color castaño parduzco oscuro, mientras que en los hombros es plateada, el pelaje del vientre es castaño grisáceo, el hocico es alargado en punta y la mandíbula inferior es más larga que la superior. Presenta hoja nasal pequeña, las orejas son redondeadas. (Fotografía 18)



Fotografía 18 Murciélago. Fuente: EncicloVida

1.11.3. Fauna en matorral

En el matorral: zorra gris, pájaro carpintero, aguililla, víbora de cascabel y búho. Animal en peligro de extinción: guacamaya. (CONABIO, sf)

- *Zorra gris.*

- Es un zorro pequeño de tamaño similar al coyote. Tiene hocico corto y agudo, orejas más desarrolladas y patas proporcionalmente más cortas. Cola larga y espesa, muy poblada. Pelaje gris oscuro o plateado en el dorso, rojizo en flancos y patas, blanco en el vientre. Cruzado por una banda negra que va desde la nuca a la punta de la cola. Carrillos y garganta blancos. Dos rayas finas de pelo negro parten de los ojos hacia atrás. El zorro gris es una especie de mamífero carnívoro de la familia Canidae. (Fotografía 19)



Fotografía 19 Zorra gris. Fuente: EncicloVida

- *Aguililla.*

- La aguililla cola corta, aguilucho cola corta o gavián cola corta, (*Buteo brachyurus*) también conocido como gavián rabricorto o busardo de cola corta, es una especie de ave Accipitriforme de la familia Accipitridae (milanos, aguilillas, gavilanes y águilas). Mide alrededor de 16 cm de largo y 90 cm de envergadura. En promedio, el macho pesa 400 g y la hembra 500 g. Alas amplias y redondeadas cuyas puntas se curvan hacia arriba mientras ascienden. Cola ancha. La especie se presenta en dos colores. Habita gran parte de América. (Fotografía 20)



Fotografía 20 Aguililla. Fuente: EncicloVida

- *Víbora de cascabel.*

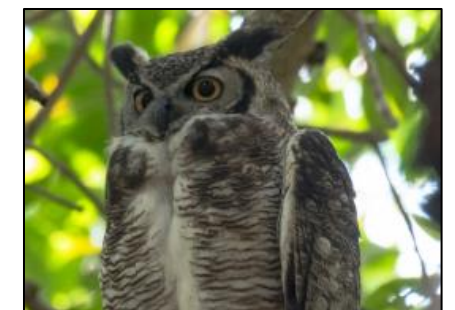
- Cascabel de cola negra mexicana (*Crotalus molossus*) es una serpiente nativa de México, pertenece a la familia Viperidae. Se distribuye en la Sierra Madre oriental y Occidental, así como en el Eje Neovolcánico Transversal. (Fotografía 21)



Fotografía 21 Víbora de cascabel Fuente: EncicloVida

- *Búho*

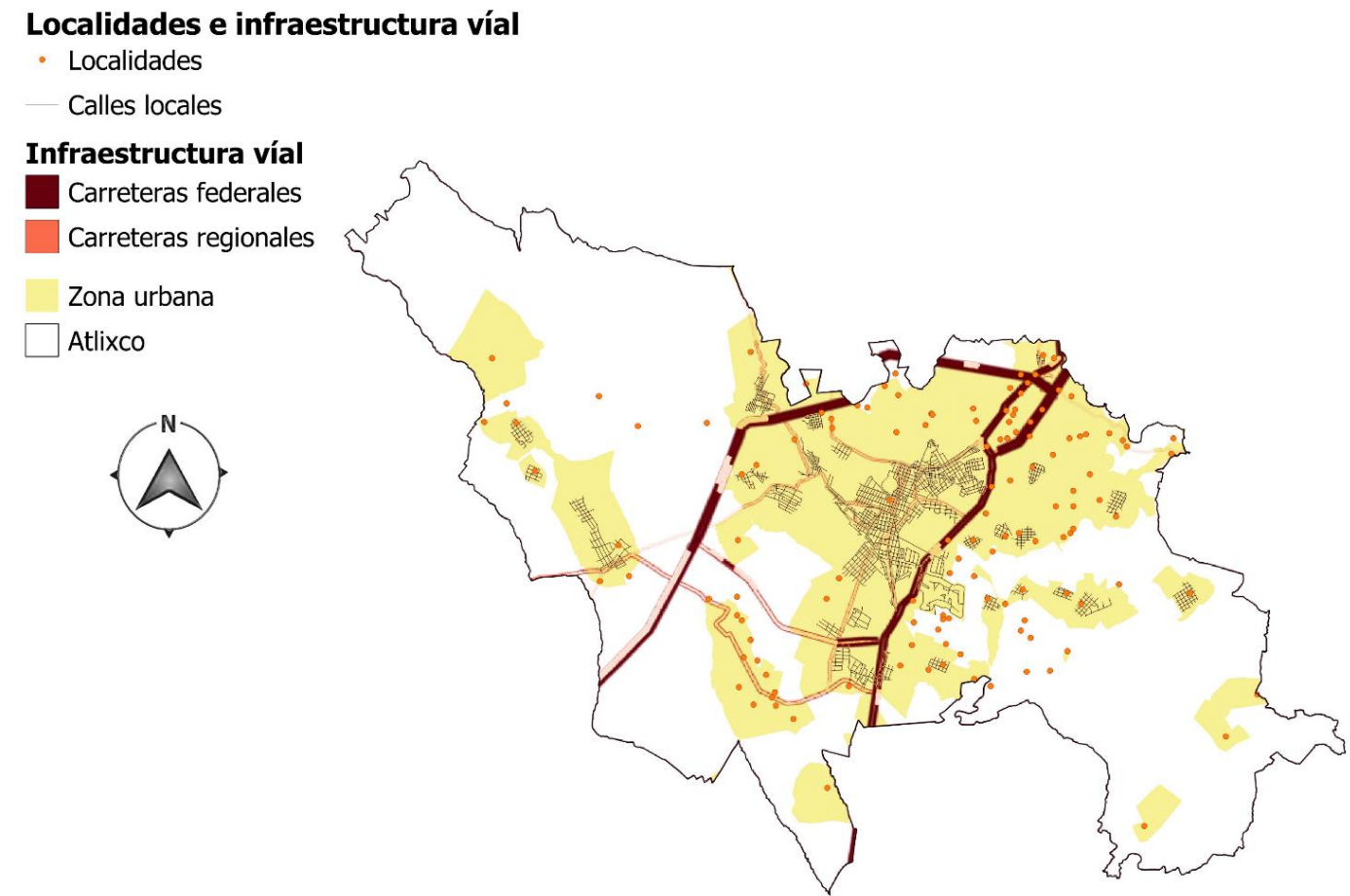
- Ave que tiene plumas auriculares prominentes y muy pobladas, tarsos emplumados, iris amarillo, pico gris, discos faciales gris-café a canela con borde negro, coloración rojiza parda en el dorso y cola, flancos y cobertoras inferiores de las alas barradas de manera regular con líneas oscuras y regulares, no concentradas en las puntas como en *B. v. pallascens*. A los lados de los flancos presentan una coloración crema, y de la mitad del pecho al abdomen coloración blanca, tarsos y patas blancas sin marcas (Howell & Webb, 1995; Nelson, 1901). (Fotografía 22)



Fotografía 22 Búho. Fuente: EncicloVida

1.12. Infraestructura

El Municipio de Atlixco es uno de los puntos de conexión entre varios proyectos carreteros importantes, incluyendo los Proyectos Carreteros Golfo-Pacífico, Centro-País-Sur-Sureste y el libramiento Sur-Oriente del Valle de México. Además, Atlixco sirve como entrada al Valle del mismo nombre y a la Ciudad de México, a través de la autopista 415. (Mapa 11)

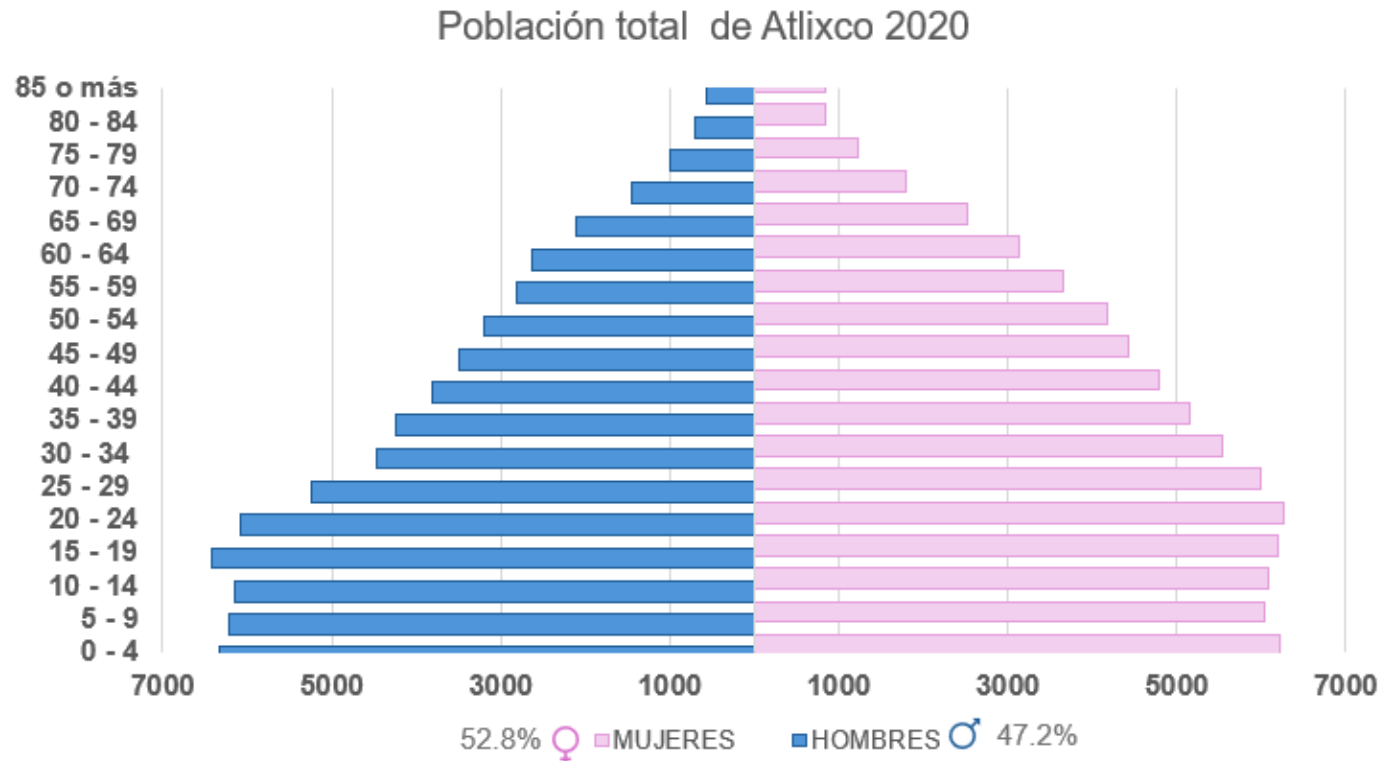


Mapa 11 Infraestructura para transporte de municipio de Atlixco, Puebla. Elaboración propia a partir de INEGI Marco Geoestadístico Nacional. 08/04/2024

Dentro del municipio, la comunicación a través de caminos vecinales entre la cabecera y los diversos poblados es generalmente buena en la mayoría del territorio. Sin embargo, existen áreas con limitaciones de acceso, especialmente en las poblaciones situadas al oriente, como San Jerónimo Caleras y San Esteban Zoapiltepec. Estas áreas pueden enfrentar desafíos de conectividad vial que requieren atención para mejorar la accesibilidad y facilitar el transporte dentro del municipio. (Programa Municipal de desarrollo urbano de Atlixco, Puebla. 2021-2024, 2023)

1.13. Pirámide poblacional

El Municipio de Atlixco ha experimentado un crecimiento demográfico constante en las últimas décadas. En 1990, la población era de 104,294 habitantes, y para el año 2020, alcanzó un total de 141,793 habitantes, lo que representa aproximadamente el 2.15% de la población total del Estado de Puebla. De este total, 74,931 habitantes (52.85%) son mujeres y 66,862 habitantes (47.15%) son hombres. (Gráfica 1)



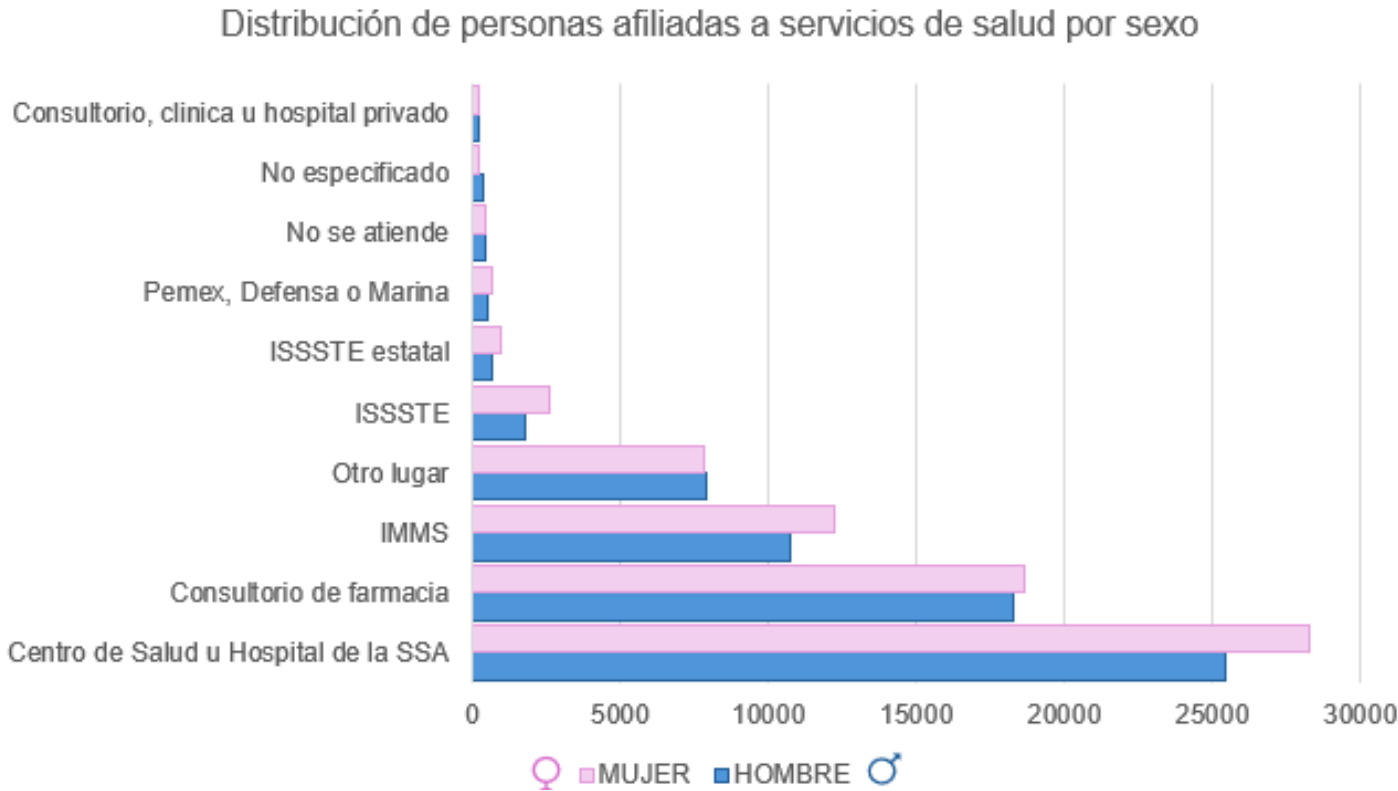
Gráfica 1 Pirámide poblacional de municipio de Atlixco, Puebla. INEGI.

Es importante señalar que, aunque el crecimiento ha sido constante, la tasa de crecimiento siempre ha sido relativamente baja. En el año 2000, la tasa de crecimiento era del 1.1%, y para el año 2020, esta tasa disminuyó aún más, situándose en solo un 0.5%. Esta tendencia puede atribuirse principalmente a la migración de los habitantes de Atlixco hacia los Estados Unidos en busca de mejores oportunidades. (DATA MÉXICO, 2024)

1.14. Instituciones de salud

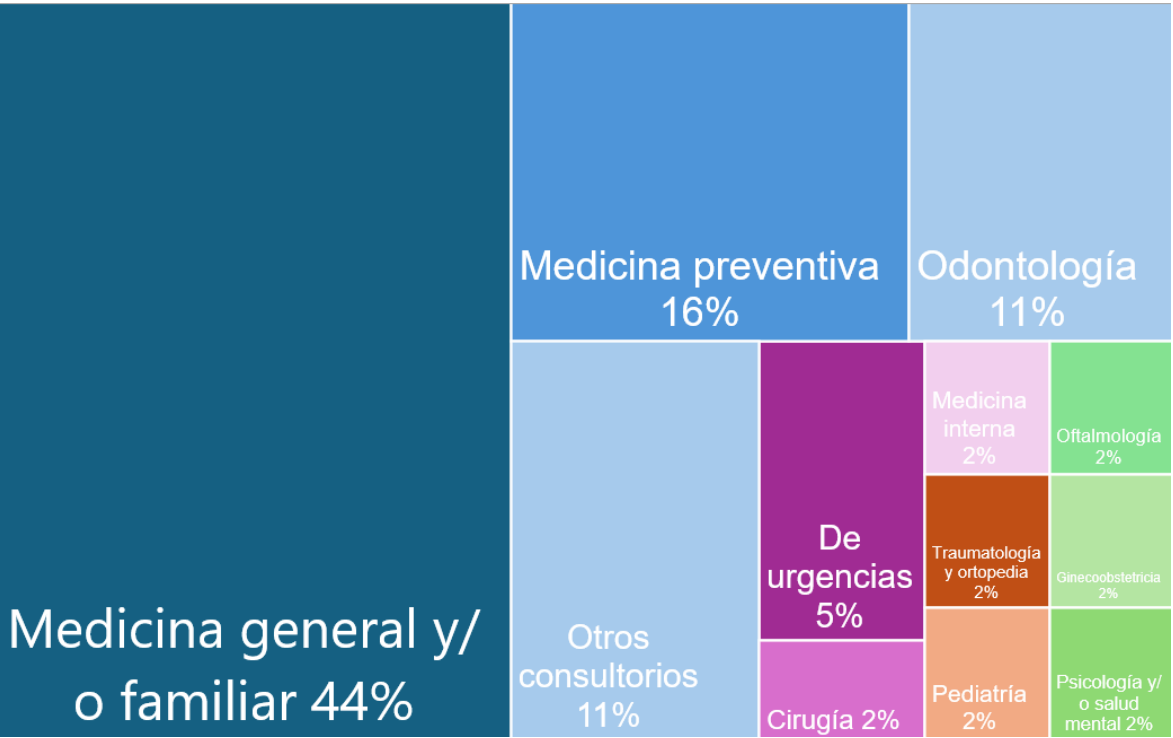
El acceso a los servicios de salud es crucial para la población, ya que el bienestar y la salud influyen directamente en el desarrollo económico del municipio. La falta de acceso a estos servicios puede resultar en la ausencia de niños en las escuelas y de adultos en sus lugares de trabajo.

En Atlixco, las opciones de atención de salud más utilizadas en 2020 fueron Centro de Salud u Hospital de la SSA (Secretaría de Salubridad y Asistencia, hoy Secretaría de Salud), Consultorio de farmacia y IMSS (Instituto Mexicano del Seguro Social). (Gráfica 2)



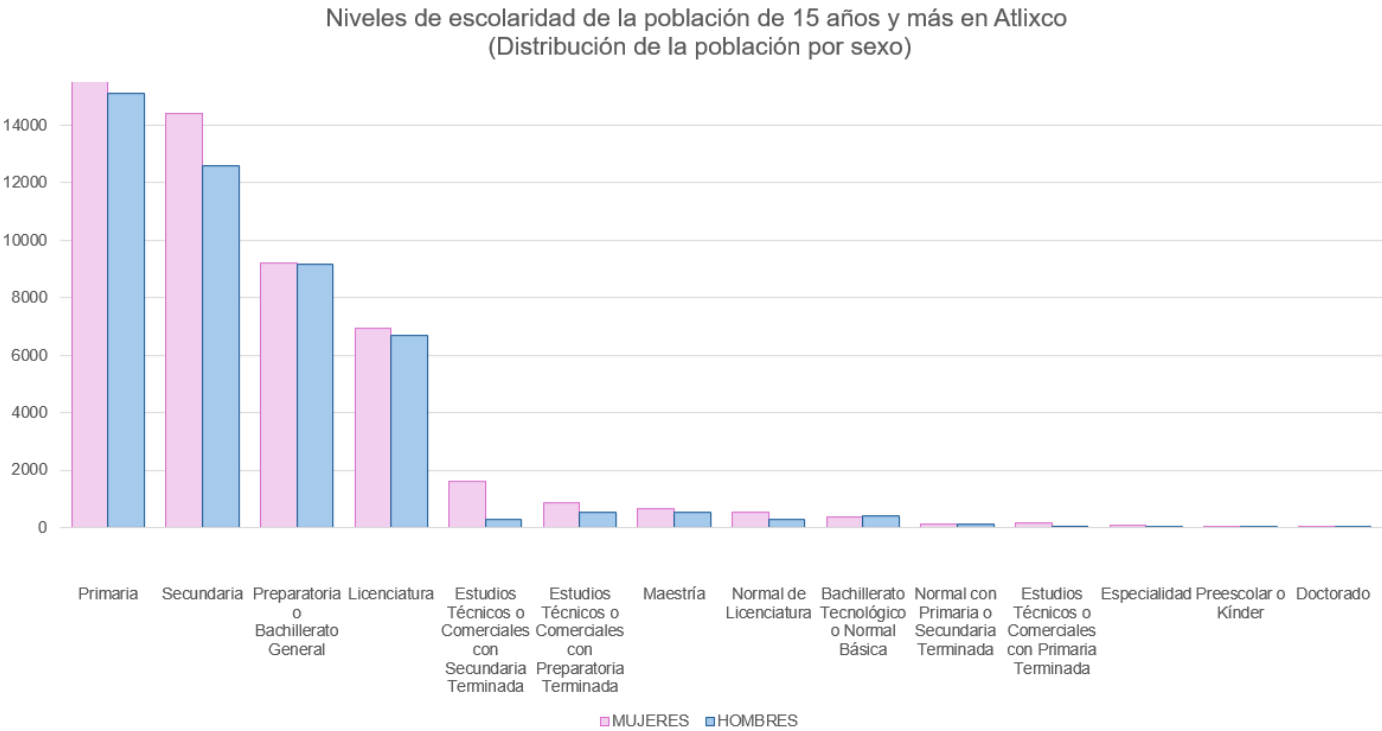
Gráfica 2 Distribución de personas afiliadas a servicios de salud por sexo en municipio de Atlixco, Puebla. INEGI.

El 38.8 % de la población es atendida por seguro popular y el otro 16.6 % de la población es atendida por seguro social. (DATA MÉXICO, 2024) (Gráfica 3)



Gráfica 3 Distribución de consultorios por especialidad en municipio de Atlixco, Puebla. INEGI.

1.15. Nivel de escolaridad



Gráfica 4 Niveles de escolaridad por género en municipio de Atlixco, Puebla. INEGI.

El nivel educativo en el municipio se puede evaluar mediante el porcentaje de la población que asiste a la escuela. En 2020, los principales grados académicos de la población de Atlixco fueron Primaria, Secundaria y Preparatoria o Bachillerato General. (Gráfica 4)

1.16. Movilidad urbana

El municipio de Atlixco presenta una variedad de patrones de movimiento y necesidades de desplazamiento tanto a nivel local como regional. Esto se debe a su proximidad y eficiente conexión con la capital del estado de Puebla y el estado de Morelos, dentro de la región Centro del país.

Estos flujos de movilidad se facilitan mediante sus siete accesos principales a lo largo de la Carretera Federal Puebla - Huajuapán de León y sus respectivas vías. (Secretaría de Gobernación, Orden Jurídico Poblano., 2016)

- A. Bulevar Ferrocarriles,
- B. Bulevar Rafael Moreno Valle,
- C. Bulevar Oaxaca,
- D. Camino a Nexatengo,
- E. Carretera a Tenex-tepec,
- F. Fraccionamiento Valle Real y
- G. Bulevar Niños Héroes, además de un entronque de la Carretera a Metepec - Autopista Siglo XXI.

1.17. Conclusión

En conclusión, el análisis del municipio de Atlixco, Puebla, destaca su crecimiento urbano en contraste con su topografía plana, rodeada por regiones montañosas. Dentro del acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros, se observa que las aguas subterráneas siguen la inclinación natural que tiene el valle. Estas corrientes muestran notables variaciones en los niveles de agua, indicando una vulnerabilidad moderada en el acuífero.

La mejor época para visitar Atlixco es en la primavera, especialmente en los meses de abril a junio, cuando el clima es más confortable y las lluvias menos frecuentes, facilitando la exploración de sus paisajes y atracciones turísticas.

Además, el uso predominante del suelo agrícola de riego se enfoca en la producción de hortalizas, flores y forrajes, aprovechando las condiciones ambientales de su clima templado y húmedo.

Atlixco, Puebla, se presenta como una región en pleno desarrollo que combina su rica tradición agrícola con un crecimiento urbano y turístico sostenible, aprovechando de manera responsable sus recursos naturales y promoviendo el equilibrio entre el progreso económico y la preservación del entorno.

CAPÍTULO 2

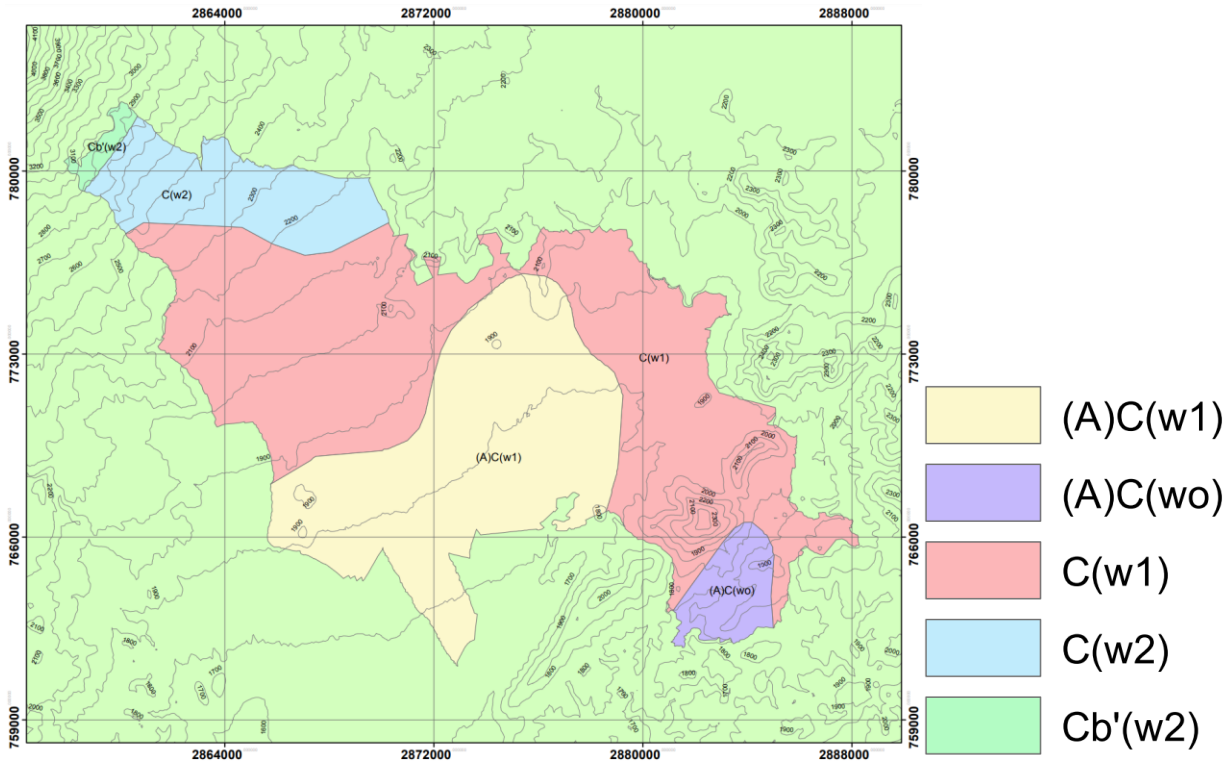
ANÁLISIS

CLIMATOLÓGICO

En este análisis climatológico, se examinarán las tendencias y patrones climáticos observados en el municipio de Atlixco, Puebla, con el objetivo de comprender mejor los cambios y posibles implicaciones para el medio ambiente y la sociedad, con un enfoque en las condiciones climáticas específicas que influyen en la vida y actividades humanas. Se examinarán factores como la temperatura, humedad, radiación, nubosidad y viento que afecten a los organismos vivos y a los ecosistemas locales, con el objetivo de comprender mejor las interacciones entre el clima y la vida que habita en el lugar.

2.1. Clima

En el municipio de Atlixco, de acuerdo con el sistema de clasificación Köppen – García, se presenta el clima (A) C (w1), que combina características de climas fríos, húmedos y templados, denominado templado subhúmedo, con una temperatura anual de entre los 12° C y 18° C, este clima es muy importante para la planificación agrícola y la flora en general, por lo que permite el desarrollo de muchos cultivos, como los frutales o el café. (Programa Municipal de desarrollo urbano de Atlixco, Puebla. 2021-2024, 2023) (Mapa 12)



Mapa 12 Climas de municipio de Atlixco, Puebla. INEGI.

2.2. Temperatura

En Atlixco se registra una temperatura media anual de 13.3° C, para conocer cuál es el rango en que la población se encuentra en confort se realizó el cálculo de temperatura neutra y rango de confort de Auliciems y Zsokolay que dice:

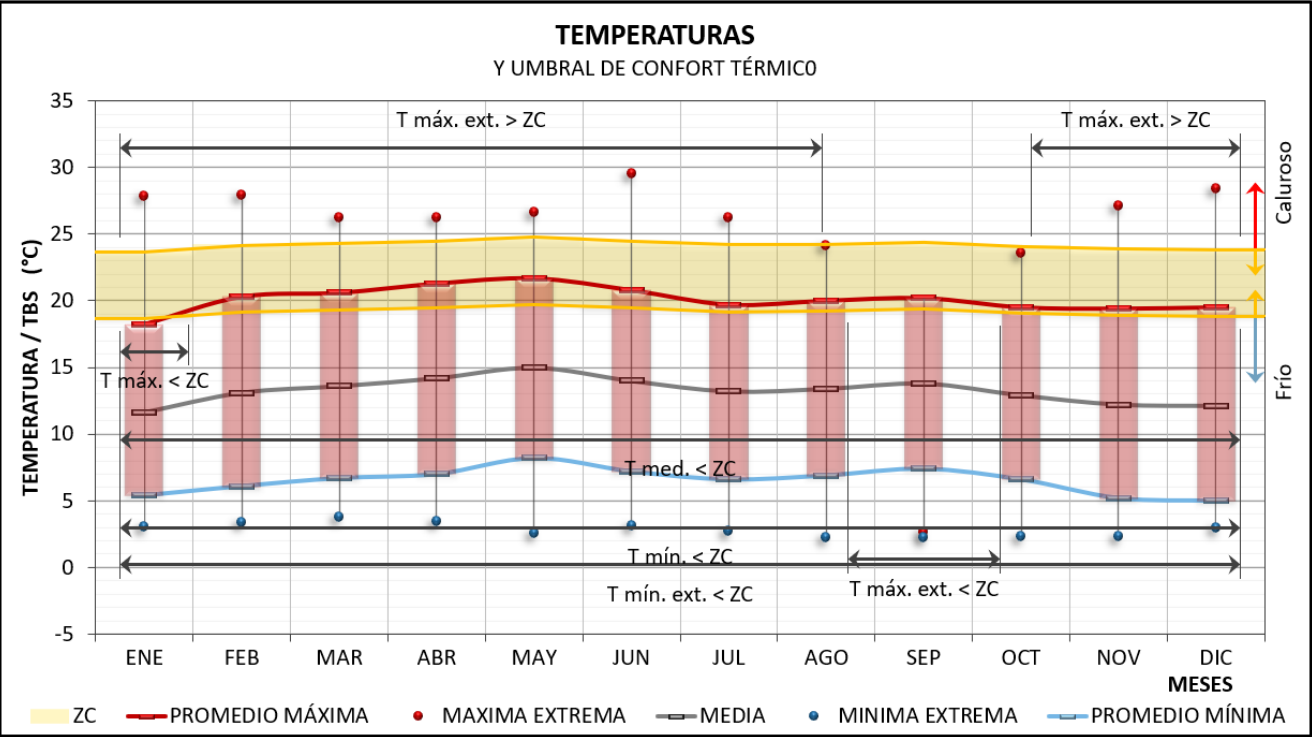
1. Ecuación de Temperatura Neutra

Tn = 17.6 + 0.31(Tmed)

Donde:

- Tn = temperatura neutra
- Tmed = temperatura media del período en estudio.

Posteriormente se suman y restan 2.5° de la temperatura neutra para obtener el rango de confort. Para el municipio de Atlixco el rango de confort resulta de 19.2° C a 24.2° C. (Gráfica 5)



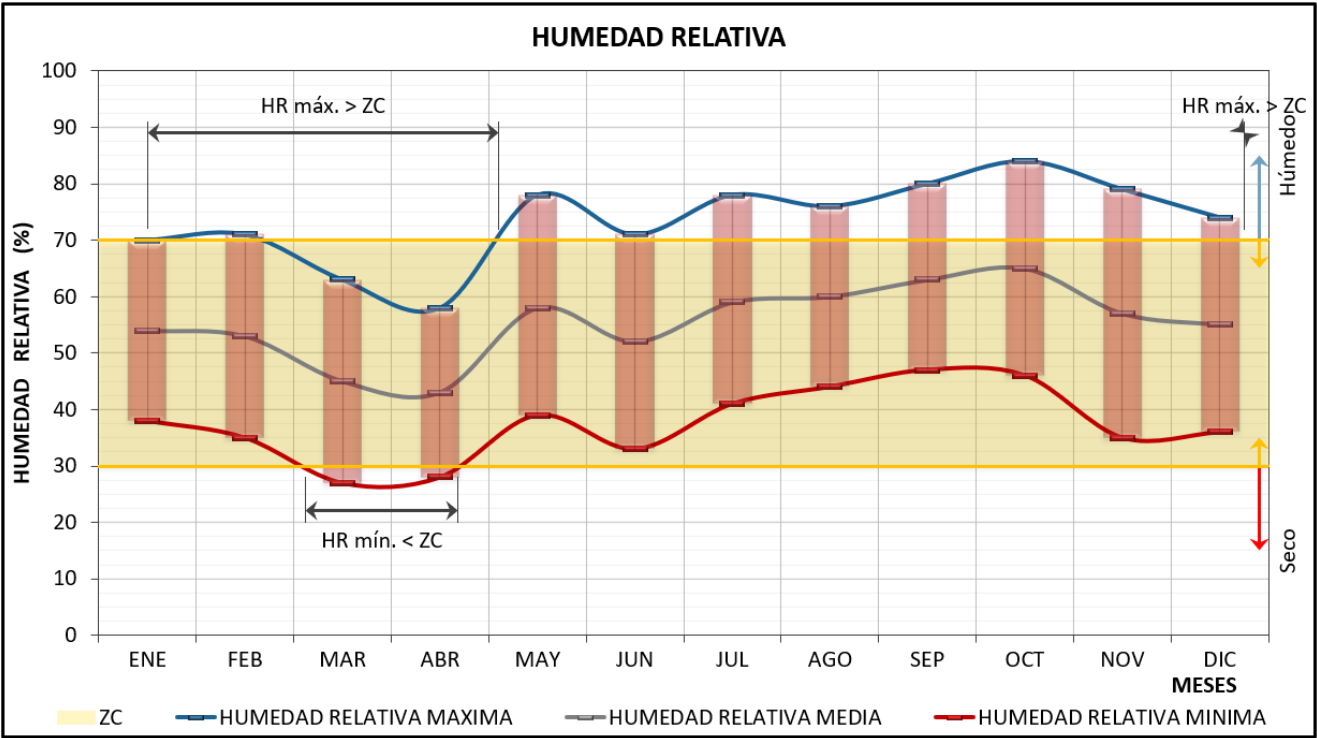
Gráfica 5 Temperaturas y umbral de confort térmico. Fuente: BAT

Todos los meses encuentran su temperatura media fuera del rango de confort, pero su temperatura promedio máxima está dentro, importante para evaluar cuanto calentamiento se debe ganar.

2.3. Humedad relativa

En la humedad relativa podemos ver que el promedio se mantiene en el rango de confort del 30% al 70%.

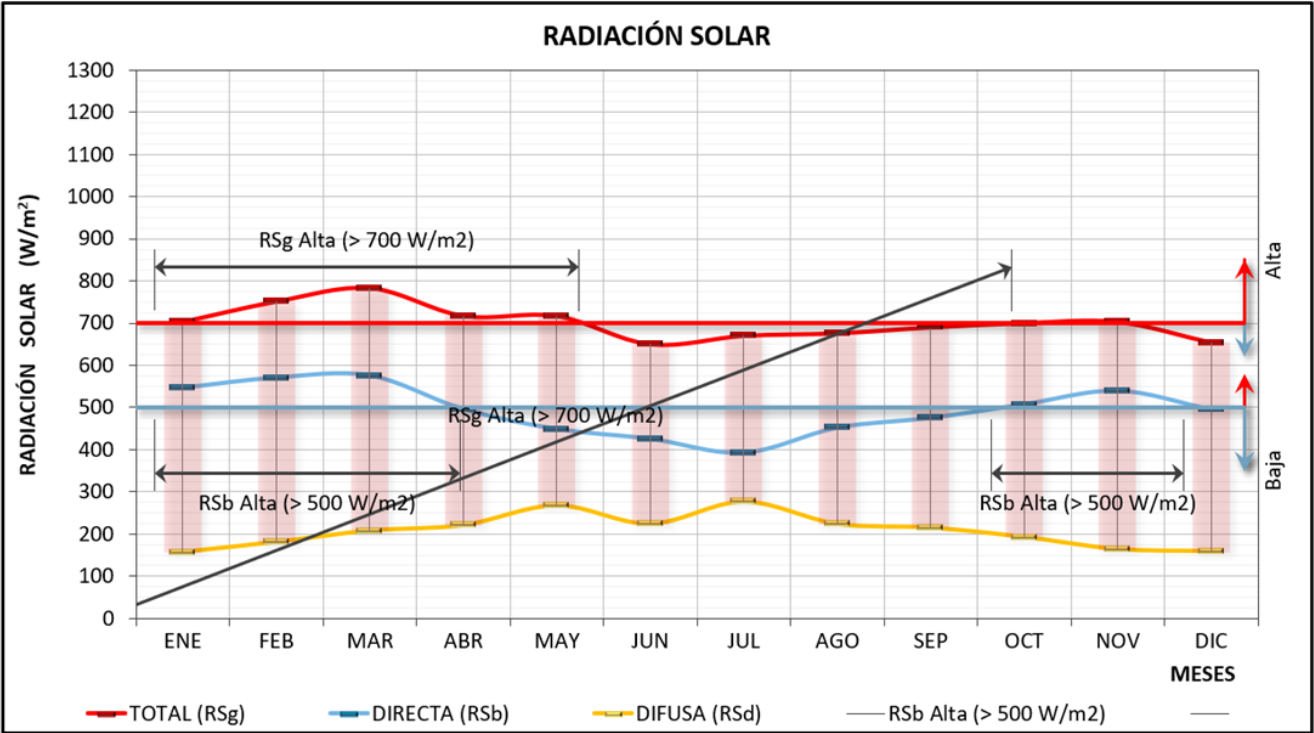
Pero en invierno, otoño y finales de verano, la humedad relativa máxima rebasa el limita de confort, por lo que se deberá buscar deshumidificar. (Gráfica 6)



Gráfica 6 Humedad relativa. Fuente: BAT

2.4. Radiación solar

El rango aceptable de intensidad de la radiación solar es de los 500 w/m2 a los 700 w/m2, lo que se observa en la gráfica es que la radiación directa está dentro del rango solo en el otoño y el invierno; la radiación total se encuentra dentro del rango en verano, otoño y parte del invierno; pero la radiación difusa no alcanza a estar dentro del rango de intensidad aceptable. (Gráfica 7)



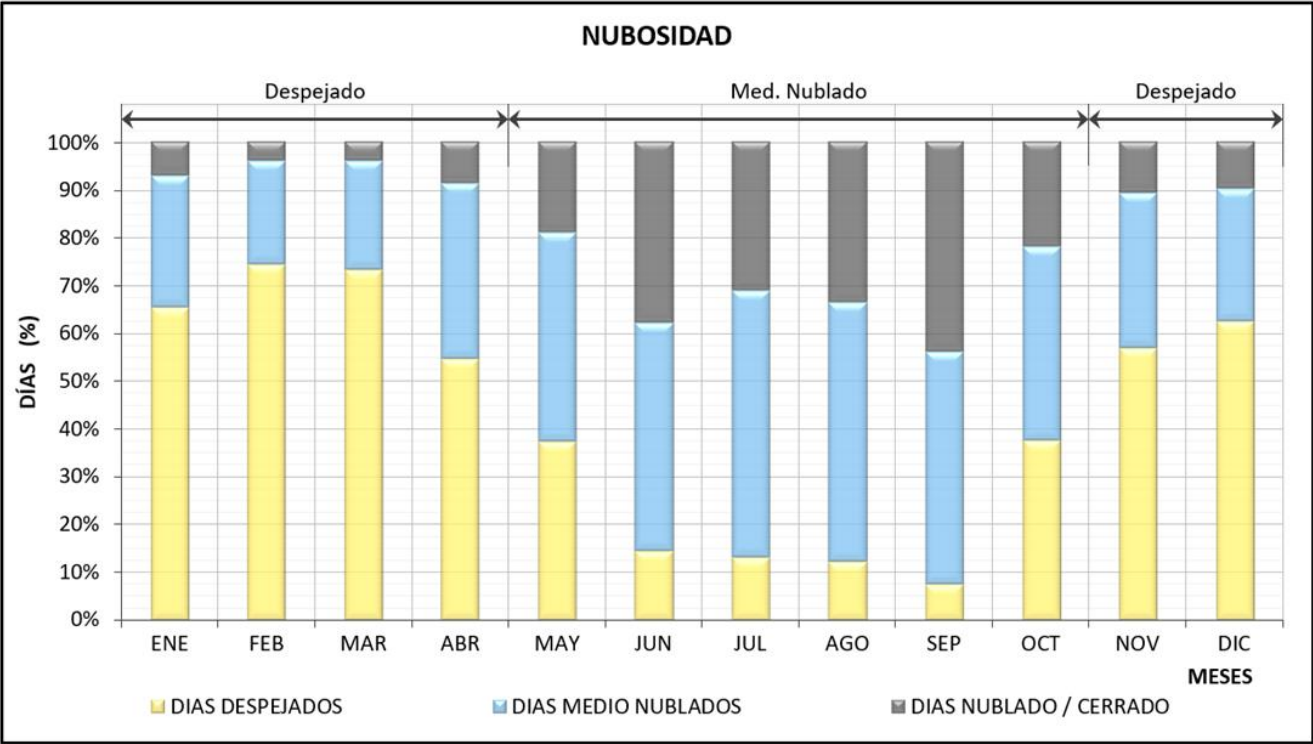
Gráfica 7 Comportamiento de la radiación solar por mes. Fuente: BAT

2.5. Nubosidad

En la gráfica de nubosidad podemos observar que, en los meses de enero, febrero, marzo, abril en general el cielo esta despejado.

En los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre el cielo se encuentra medio nublado.

Y nuevamente en los meses de noviembre y diciembre, el cielo esta despejado. (Gráfica 8)



Gráfica 8 Comportamiento de la nubosidad por mes. Fuente: BAT

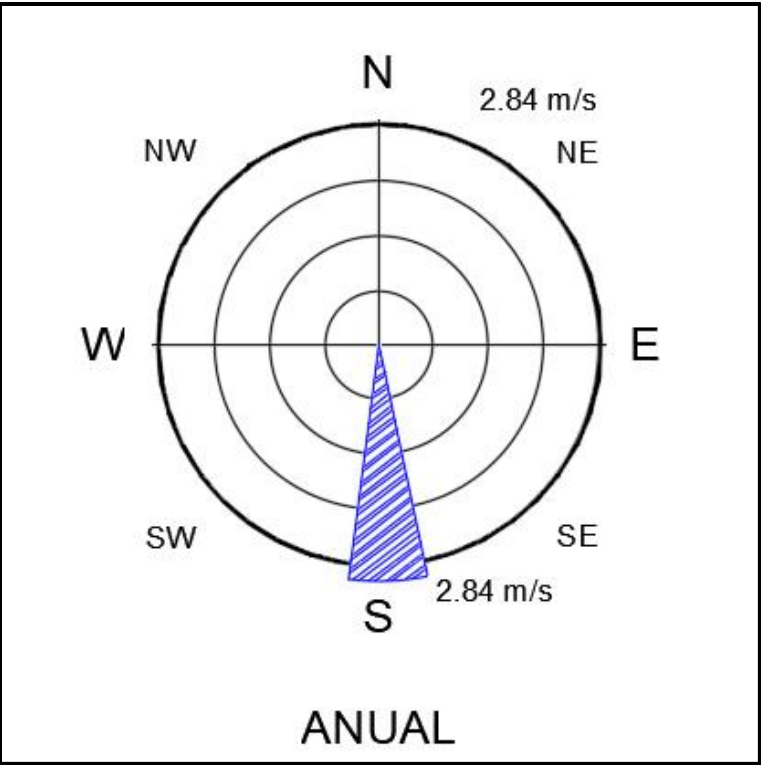
2.6. Viento

El comportamiento de los vientos dominantes viene principalmente de la orientación Suroeste y Sureste ya que son afectados por la presencia de las montañas que rodeas a Puebla como el Popocatepetl, el Iztaccíhuatl y la Malinche.

La velocidad promedio anual es de aproximadamente 2.84 m/s. (Tabla 2)

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
Dirección del viento	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↙	↙	↙	↘	↘
Velocidad Media	2.87	3.24	2.89	2.9	2.62	2.83	2.62	2.77	2.77	2.72	2.69	2.73	2.84
Velocidad Máxima	5.4	5.0	4.8	4.9	4.7	4.9	4.8	4.8	5.1	4.6	5.2	4.7	4.8
Velocidad Mínima	0.12	0.14	0.03	0.12	0.05	0.09	0.05	0.02	0.07	0.05	0.09	0.13	0.02

Tabla 2 Comportamiento del viento al año. Fuente: Datos meteorológicos NASA

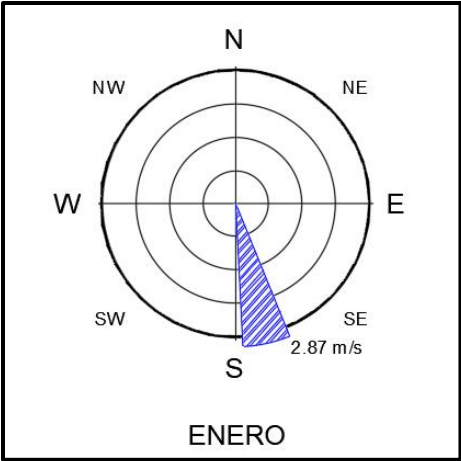


Dirección de viento dominante anual viene del Sur, con una velocidad de 2.84 m/s. (Gráfica 9)

- Velocidad Máxima: 4.8 m/s
- Velocidad Mínima: 0.02 m/s

Gráfica 9 Comportamiento del viento Anual. Fuente: Datos meteorológicos NASA

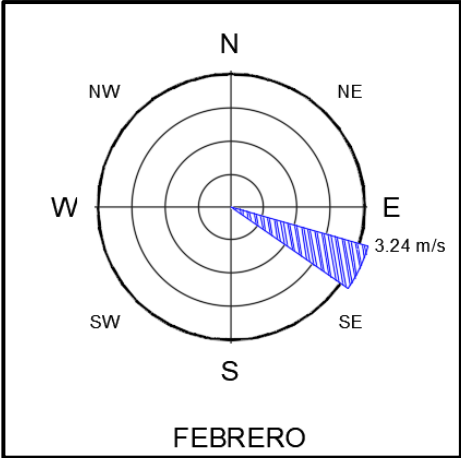
2.6.1. Gráficas mensuales



Dirección de viento dominante en el mes de enero viene del Sur, con una velocidad de 2.87 m/s. (Gráfica 10)

- Velocidad Máxima: 5.4 m/s
- Velocidad Mínima: 0.12 m/s

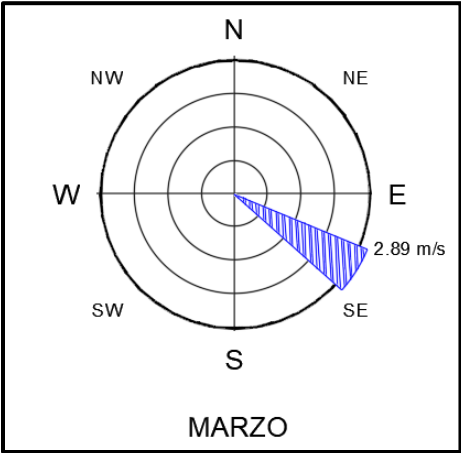
Gráfica 10 Comportamiento del viento en enero. Fuente: Datos meteorológicos NASA



Dirección de viento dominante en el mes de febrero viene del Sureste, con una velocidad de 3.24 m/s. (Gráfica 11)

- Velocidad Máxima: 5.0 m/s
- Velocidad Mínima: 0.14 m/s

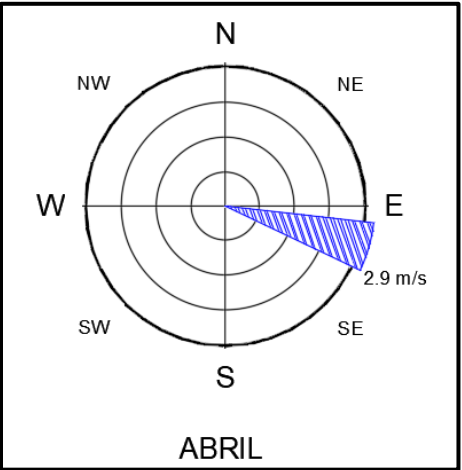
Gráfica 11 Comportamiento del viento en febrero. Fuente: Datos meteorológicos NASA



Dirección de viento dominante en el mes de marzo viene del Sureste, con una velocidad de 2.89 m/s (Gráfica 12)

- Velocidad Máxima: 4.8 m/s
- Velocidad Mínima: 0.03 m/s

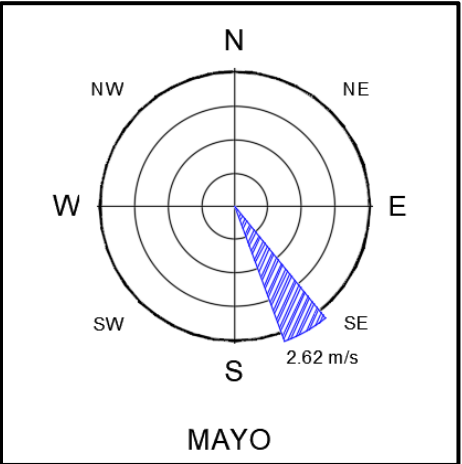
Gráfica 12 Comportamiento del viento en marzo. Fuente: Datos meteorológicos NASA



Dirección de viento dominante en el mes de abril viene del Sureste, con una velocidad de 2.9 m/s. (Gráfica 13)

- Velocidad Máxima: 4.9 m/s
- Velocidad Mínima: 0.12 m/s

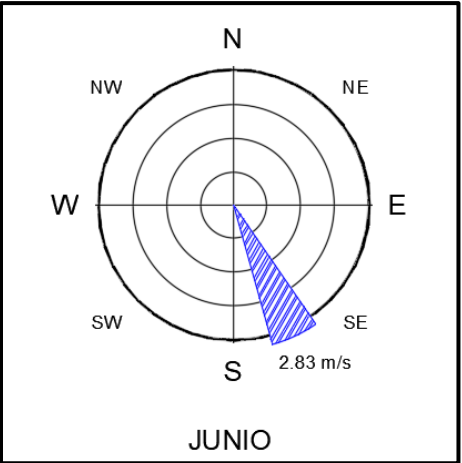
Gráfica 13 Comportamiento del viento en abril. Fuente: Datos meteorológicos NASA



Dirección de viento dominante en el mes de mayo viene del Sureste, con una velocidad de 2.62 m/s. (Gráfica 14)

- Velocidad Máxima: 4.7 m/s
- Velocidad Mínima: 0.05 m/s

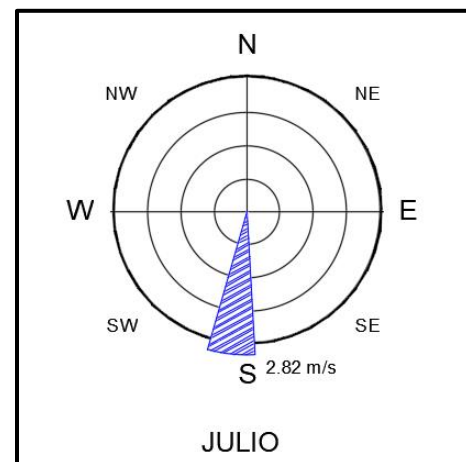
Gráfica 14 Comportamiento del viento en mayo. Fuente: Datos meteorológicos NASA



Dirección de viento dominante en el mes de junio viene del Sureste, con una velocidad de 2.83 m/s. (Gráfica 15)

- Velocidad Máxima: 4.9 m/s
- Velocidad Mínima: 0.09 m/s

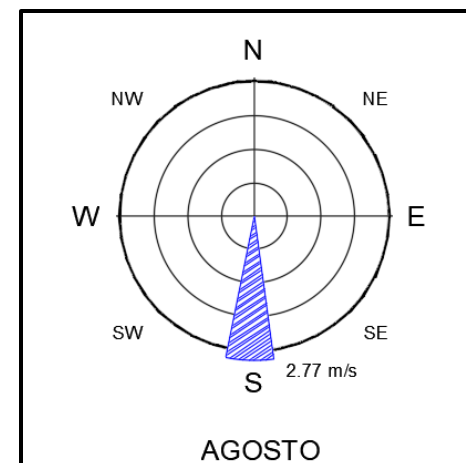
Gráfica 15 Comportamiento del viento en junio. Fuente: Datos meteorológicos NASA



Dirección de viento dominante en el mes de julio viene del Suroeste, con una velocidad de 2.82 m/s. (Gráfica 16)

- Velocidad Máxima: 4.8 m/s
- Velocidad Mínima: 0.05 m/s

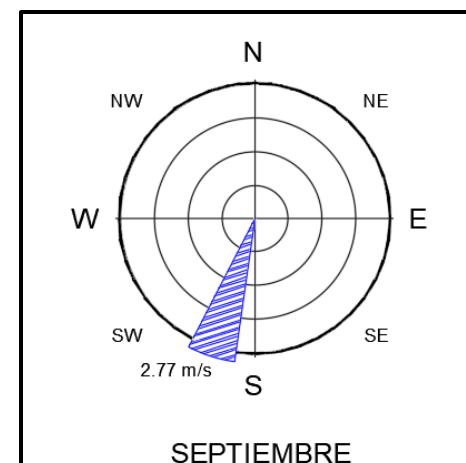
Gráfica 16 Comportamiento del viento en julio. Fuente: Datos meteorológicos NASA



Dirección de viento dominante en el mes de agosto viene del Sur, con una velocidad de 2.77 m/s. (Gráfica 17)

- Velocidad Máxima: 4.8 m/s
- Velocidad Mínima: 0.02 m/s

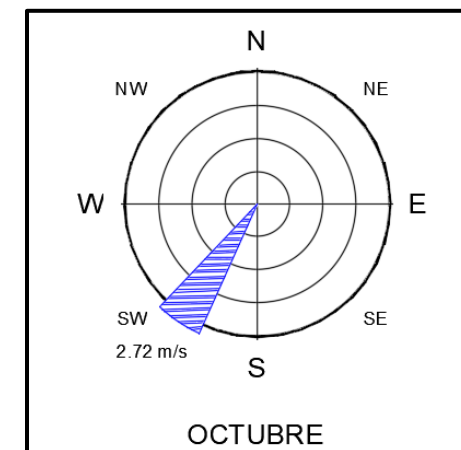
Gráfica 17 Comportamiento del viento en agosto. Fuente: Datos meteorológicos NASA



Dirección de viento dominante en el mes de septiembre viene del Suroeste, con una velocidad de 2.77 m/s. (Gráfica 18)

- Velocidad Máxima: 5.1 m/s
- Velocidad Mínima: 0.07 m/s

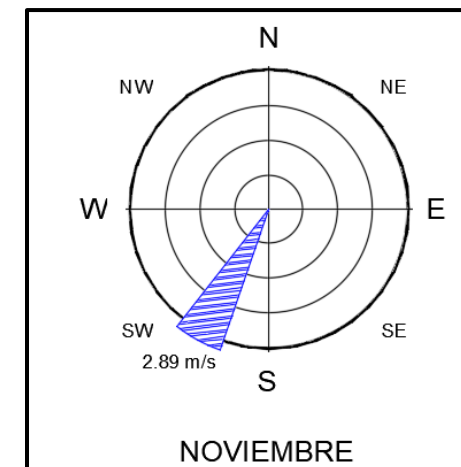
Gráfica 18 Comportamiento del viento en septiembre. Fuente: Datos meteorológicos NASA



Dirección de viento dominante en el mes de octubre viene del Suroeste, con una velocidad de 2.72 m/s. (Gráfica 19)

- Velocidad Máxima: 4.6 m/s
- Velocidad Mínima: 0.05 m/s

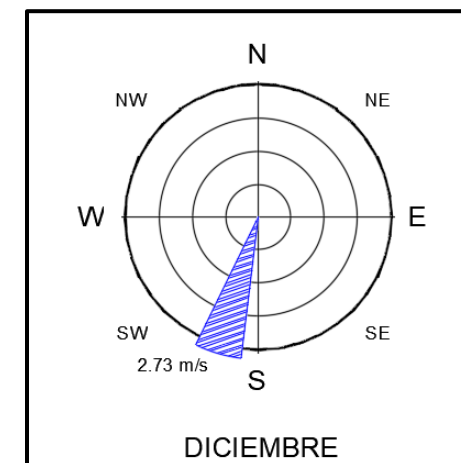
Gráfica 19 Comportamiento del viento en octubre. Fuente: Datos meteorológicos NASA



Dirección de viento dominante en el mes de noviembre viene del Suroeste, con una velocidad de 2.89 m/s. (Gráfica 20)

- Velocidad Máxima: 5.2 m/s
- Velocidad Mínima: 0.09 m/s

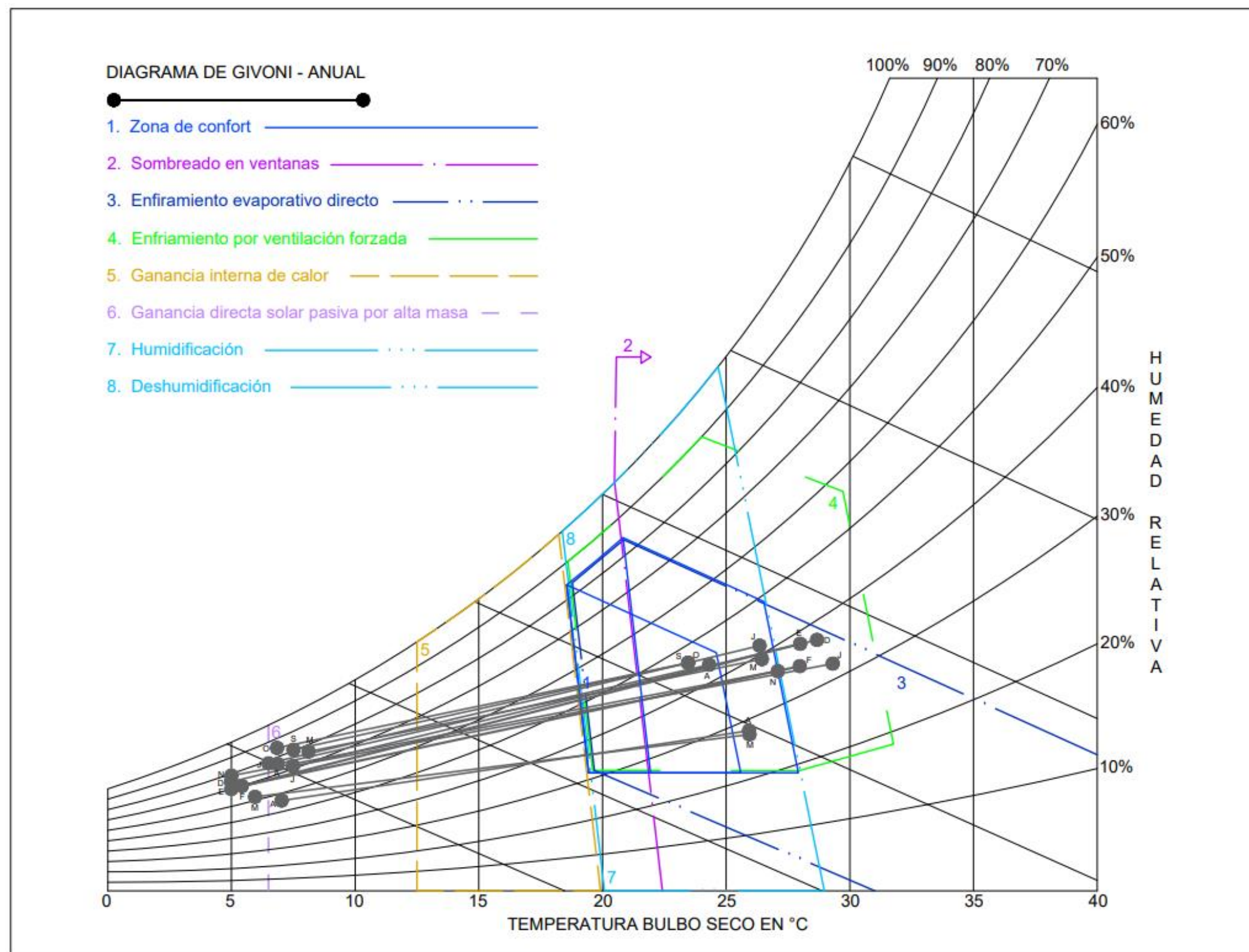
Gráfica 20 Comportamiento del viento en noviembre. Fuente: Datos meteorológicos NASA



Dirección de viento dominante en el mes de diciembre viene del Suroeste, con una velocidad de 2.73 m/s. (Gráfica 21)

- Velocidad Máxima: 4.7 m/s
- Velocidad Mínima: 0.13 m/s

Gráfica 21 Comportamiento del viento en diciembre. Fuente: Datos meteorológicos NASA



Gráfica 22 Diagrama de Givoni anual. Elaboración propia

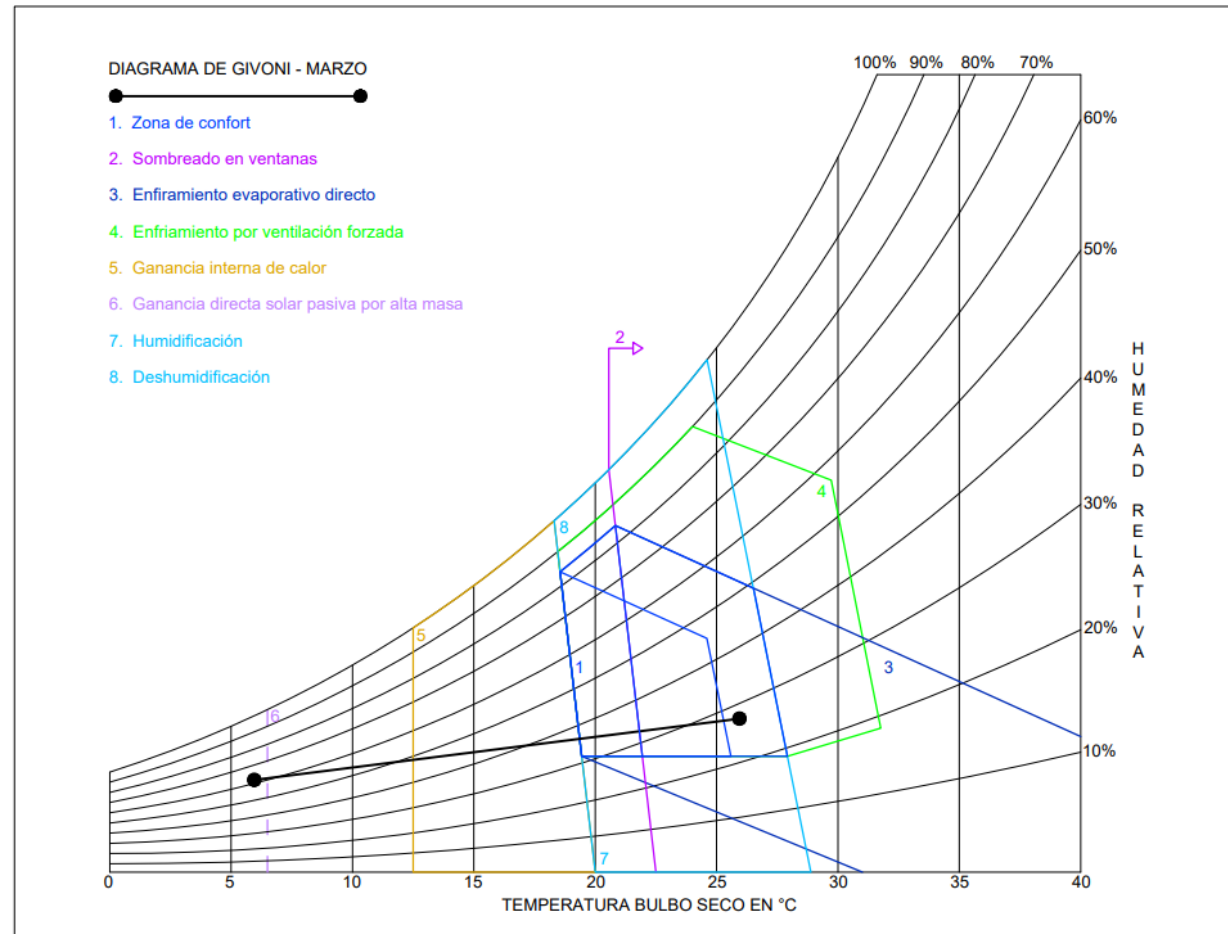
2.7. Diagramas de Givoni

En el diagrama de Givoni, se observa el comportamiento de los meses con la relación de su temperatura mínima - humedad relativa máxima alrededor de las 6 de la mañana y la temperatura máxima - humedad relativa mínima alrededor de las 3 de la tarde. (Gráfica 22)

De esta manera podemos darnos cuenta cuanto tiempo están en confort y cuáles serán sus necesidades cuando no esté en confort.

Para realizar un análisis más preciso, a continuación, se mostrará el comportamiento de los meses en que se presentan condiciones críticas en el comportamiento del clima; en los equinoccios (21 de marzo y 22 de septiembre), en el solsticio de verano (21 de junio) y en el solsticio de invierno (21 de diciembre).

2.7.1. Marzo – Equinoccio



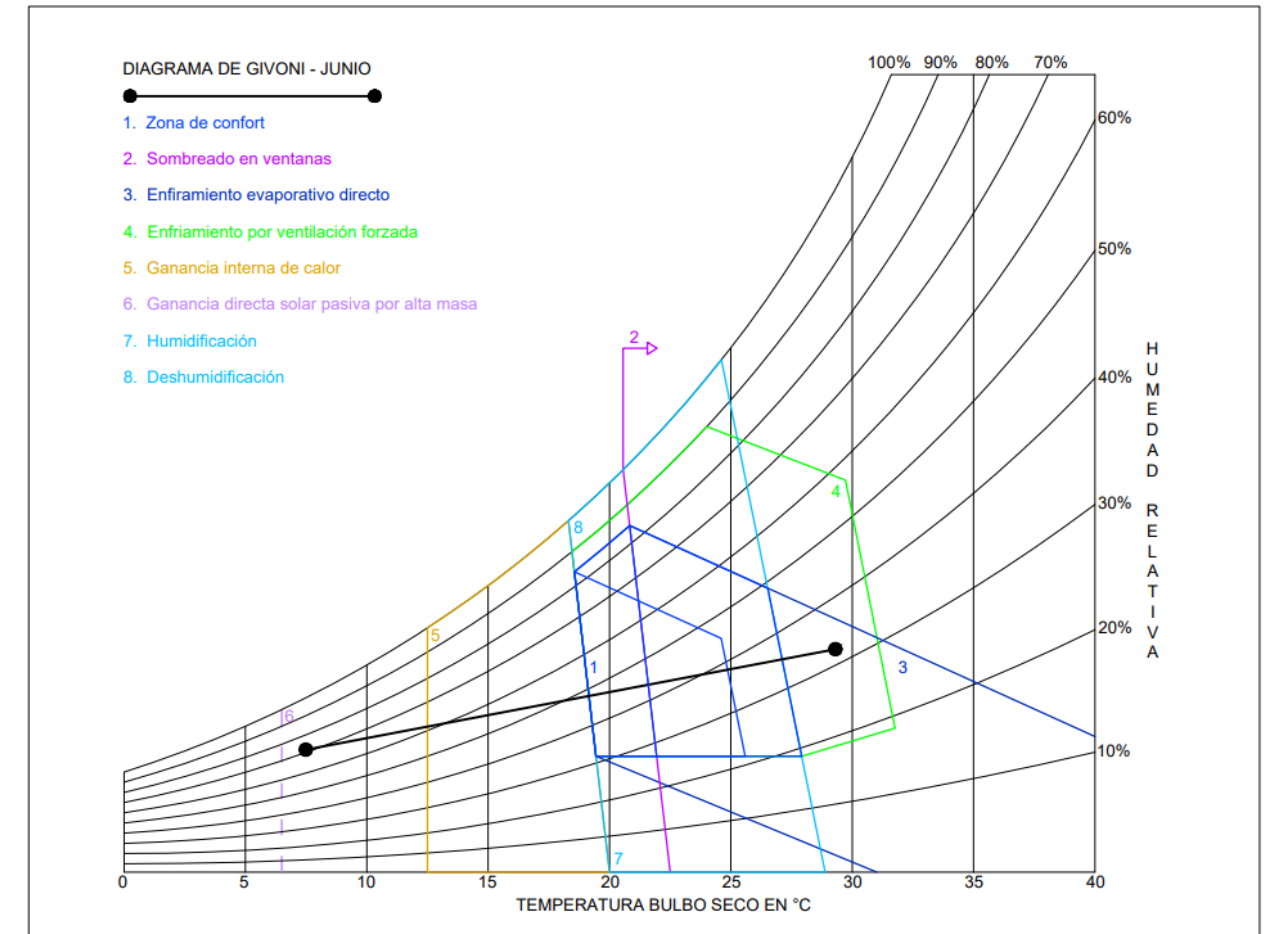
Gráfica 23 Diagrama de Givoni de marzo. Fuente: Elaboración propia

Temperatura mínima 6.7°C con humedad máxima de 63% a las 6 am y temperatura máxima 26.2°C con humedad mínima de 27% a las 3 pm, en estas condiciones marzo está en confort el 38.3% del tiempo. (Gráfica 23)

Estrategias seleccionadas para alcanzar el confort:

- Ganancia interna de calor
- Ganancia solar directa pasiva de alta masa
- Sombreado en ventanas
- Humidificación
- Enfriamiento evaporativo directo

2.7.2. Junio – Solsticio de verano



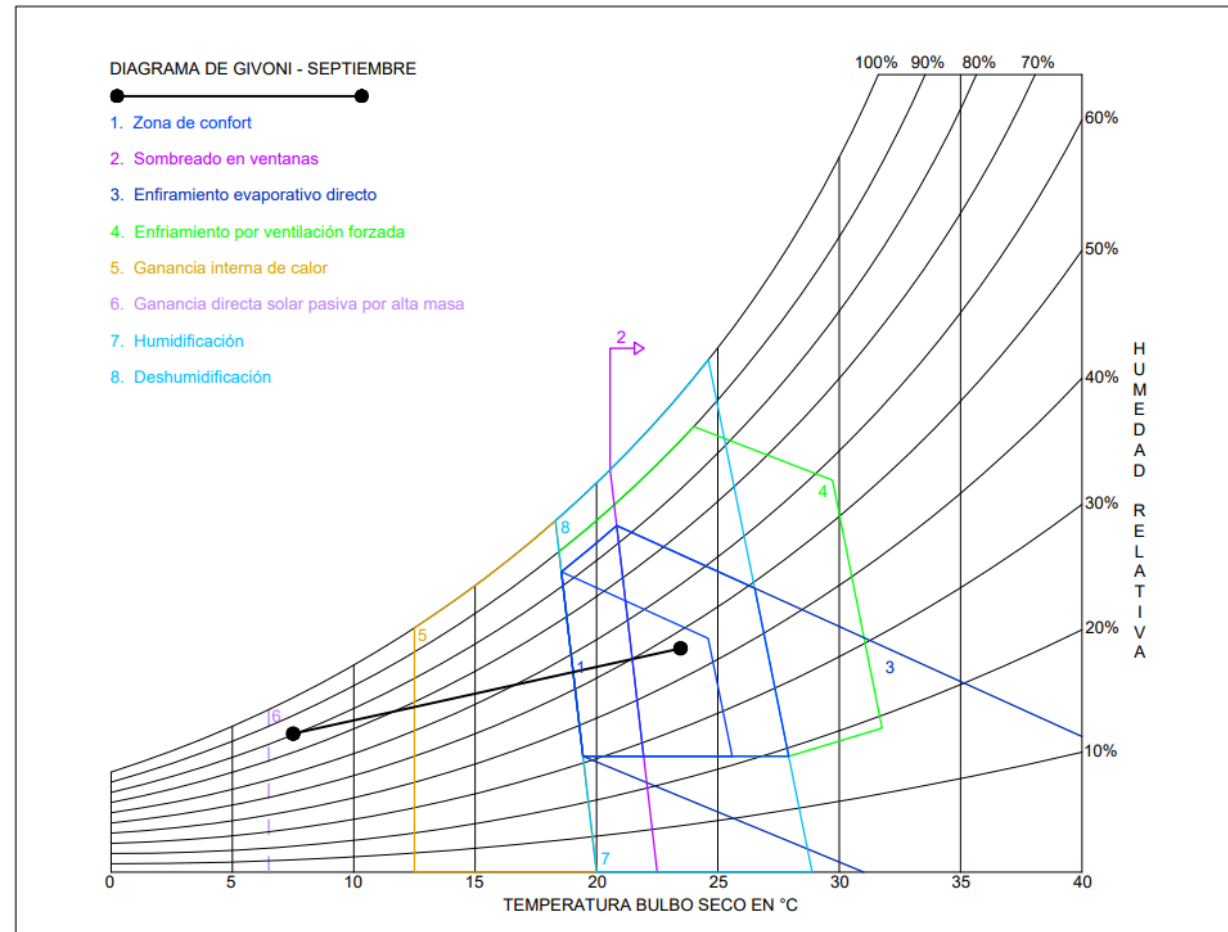
Gráfica 24 Diagrama de Givoni de junio. Fuente: Elaboración propia

Temperatura mínima 7.2°C con humedad máxima de 71% a las 6 am y temperatura máxima 29.5°C con humedad mínima de 33% a las 3 pm, en estas condiciones mayo está en confort el 50.8% del tiempo. (Gráfica 24)

Estrategias seleccionadas para alcanzar el confort:

- Ganancia interna de calor
- Ganancia solar directa pasiva de alta masa
- Sombreado en ventanas
- Deshumidificación
- Enfriamiento evaporativo directo

2.7.3. Septiembre - Equinoccio



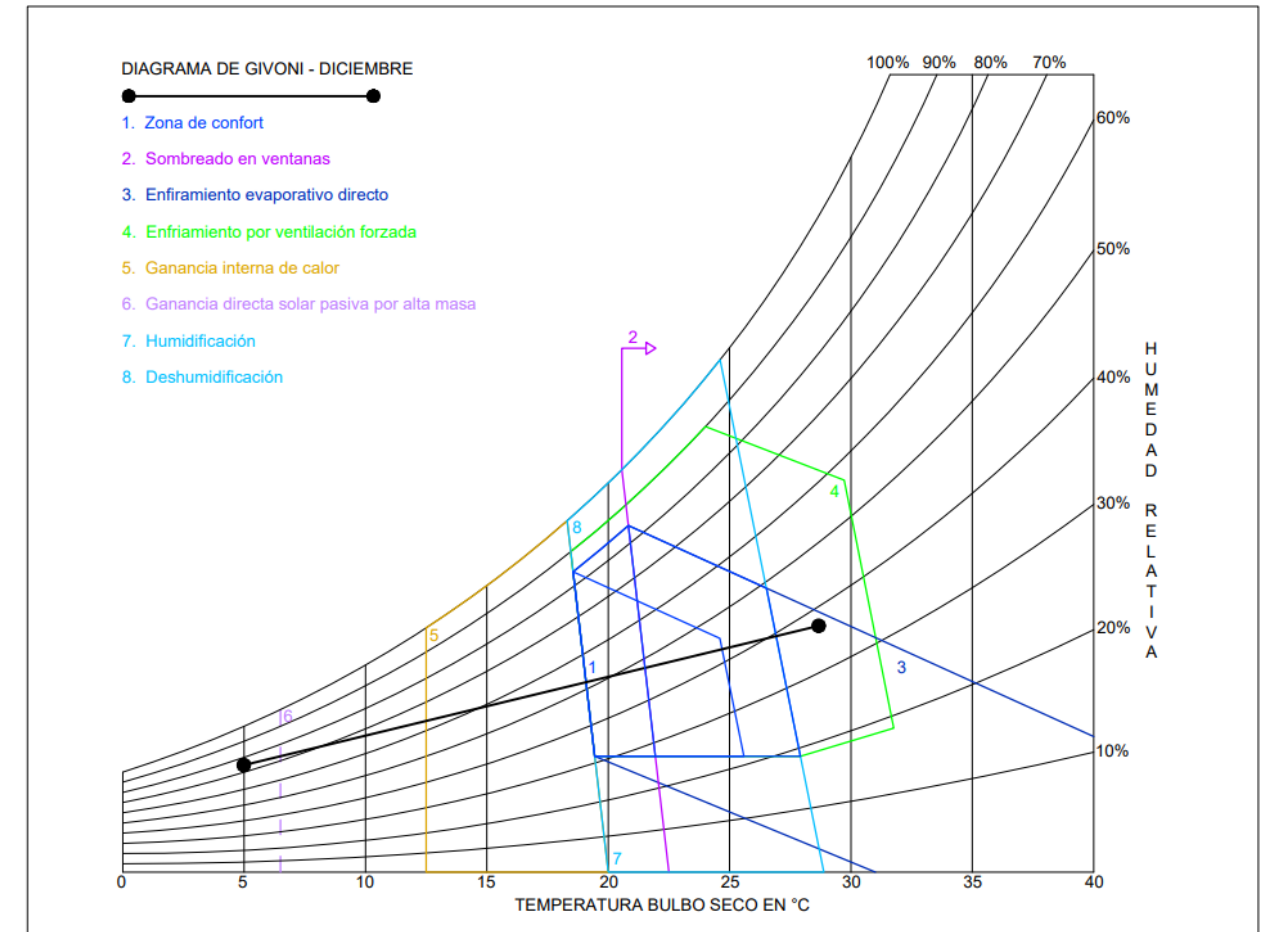
Gráfica 25 Diagrama de Givoni de septiembre. Fuente: Elaboración propia

Temperatura mínima 7.4°C con humedad máxima de 80% a las 6 am y temperatura máxima 23.6°C con humedad mínima de 47% a las 3 pm, en estas condiciones mayo está en confort el 47.9% del tiempo. (Gráfica 25)

Estrategias seleccionadas para alcanzar el confort:

- Ganancia interna de calor
- Ganancia solar directa pasiva de alta masa
- Sombreado en ventanas
- Deshumidificación
- Enfriamiento evaporativo directo

2.7.4. Diciembre – Solsticio de invierno



Gráfica 26 Diagrama de Givoni de diciembre. Fuente: Elaboración propia

Temperatura mínima 5.0°C con humedad máxima de 74% a las 6 am y temperatura máxima 28.4°C con humedad mínima de 36% a las 3 pm, en estas condiciones mayo está en confort el 34.0% del tiempo. (Gráfica 26)

Estrategias seleccionadas para alcanzar el confort:

- Ganancia interna de calor
- Ganancia solar directa pasiva de alta masa
- Sombreado en ventanas
- Humidificación
- Enfriamiento evaporativo directo

En conclusión, los diagramas de Givoni nos indican que en todos los meses debemos buscar el calentamiento, sin embargo, en las temporadas de otoño e invierno debemos buscar humidificar.

2.7.5. Estrategias propuestas

- Ganancia interna de calor: se refiere al calor generado dentro de un edificio o una estructura como resultado de actividades humanas, equipos eléctricos, iluminación, electrodomésticos y otras fuentes internas. Esta ganancia de calor puede tener un impacto significativo en el confort térmico y en el funcionamiento energético del edificio.
- Ganancia solar directa pasiva de alta masa: es una estrategia de diseño que aprovecha la energía solar para calentar un espacio utilizando materiales de alta densidad térmica, como el hormigón, la piedra o el adobe. Esta técnica se basa en la capacidad de estos materiales para almacenar calor durante el día y liberarlo lentamente durante la noche, ayudando a mantener una temperatura interior confortable y estable.
- Sombreado en ventanas: es una estrategia importante en el diseño bioclimático que busca controlar la entrada de radiación solar directa en un edificio para mejorar el confort térmico y reducir la carga en los sistemas de refrigeración. Esta técnica implica el uso de elementos como aleros, voladizos, toldos, persianas, cortinas u otros dispositivos para bloquear o filtrar la luz solar que ingresa a través de las ventanas.
- Enfriamiento evaporativo: es una técnica de refrigeración pasiva que aprovecha el proceso natural de evaporación del agua para reducir la temperatura del aire y mejorar el confort térmico en un espacio. Esta estrategia se utiliza comúnmente en diseño bioclimático para enfriar edificios de manera eficiente y sostenible, especialmente en climas cálidos y secos.
- Humidificación: consiste en agregar humedad al aire cuando la humedad relativa es demasiado baja. En climas secos o durante el invierno, el aire interior puede volverse muy seco debido al uso de sistemas de calefacción y la falta de humedad exterior. La baja humedad relativa puede provocar molestias en las vías respiratorias, sequedad en la piel y las mucosas, y electrostática en el ambiente. Para contrarrestar esto, se utilizan humidificadores que añaden agua vaporizada al aire para aumentar la humedad relativa a niveles confortables.

- Deshumidificación: implica eliminar el exceso de humedad del aire cuando la humedad relativa es demasiado alta. En climas húmedos o durante el verano, el aire interior puede volverse pegajoso y propenso a problemas de moho, hongos y condensación en las superficies. Para reducir la humedad relativa, se pueden emplear deshumidificadores que extraen el exceso de humedad del aire y lo condensan en forma líquida o sólida para su eliminación.

2.8. Conclusión

En este análisis climatológico, se ha examinado detalladamente una amplia gama de variables climáticas, incluyendo la temperatura, la humedad relativa, la radiación solar, la nubosidad y el viento, con el objetivo de comprender mejor los patrones y tendencias climáticas en la región estudiada. Se observaron variaciones significativas en estas variables, reflejando la dinámica climática propia de la zona.

La temperatura mostró fluctuaciones estacionales típicas, con temperaturas mínimas en la temporada de invierno y máximas en la temporada de verano, aun con esa información, debido a las bajas temperaturas sigue siendo necesario el calentamiento durante todo el año.

La radiación solar, un factor clave en el balance energético de la región, mostró una distribución estacional coherente con la inclinación del sol y la duración del día, aunque se identificaron cambios a corto plazo relacionados con la nubosidad y la contaminación atmosférica. La nubosidad, por su parte, actuó como un modulador de la radiación solar y la temperatura, influyendo en la cantidad de energía disponible para procesos biológicos y actividades humanas.

El viento, otro componente importante del clima, tiene influencia en la dispersión de contaminantes y la evaporación de la humedad lo que lo convierte en un factor relevante para la calidad del aire y la gestión de recursos hídricos en la región.

En resumen, este análisis climatológico proporciona una visión integral de las condiciones climáticas en la región estudiada, destacando la complejidad y la interrelación entre diversas variables climáticas. Estos hallazgos son base para entender y diseñar espacios con estrategias bioclimáticas de acuerdo con los datos obtenidos.

CAPÍTULO 3

PROPUESTA

ARQUITECTÓNICA

3.1. Ubicación

El predio está ubicado en Av. de los Volcanes, 74260, Colonia La Carolina, Atlixco, Puebla, y se encuentra dentro del complejo deportivo “La Carolina”. (Figura 1)

Sus datos geográficos son:

- Latitud: 18°54'16" N
- Longitud: -98°26'52" E
- Altitud: 1840 msnm



Figura 1 Ubicación de proyecto. Fuente Google Maps

3.2. Terreno

El inmueble se proyecta en un predio de 1361.25 m², tiene una forma irregular y cuenta con una tipografía sin ninguna pendiente relevante.

Además, el terreno se encuentra dentro del deportivo “La Carolina”. Sus colindancias al Norte-Oeste-Sur son con instalaciones del mismo complejo, los más relevantes son la pista de atletismo y la cancha de futbol; y al Este colinda con la Av. de los Volcanes.

3.3. Bases del diseño

El diseño arquitectónico se supeditó a los siguientes conceptos:

- a) Reglamentos Oficiales
 - a. Ley de construcciones para el estado y municipios de Puebla.
 - b. Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias.
- b) Requerimientos específicos de los Centros de Innovación Cultura y Tecnología.

3.4. Propuesta



Figura 2 Perspectiva de CICYT Atlixco. Elaboración propia.



Figura 3. Perspectiva de CICYT Atlixco. Elaboración propia



Figura 4 Fachada principal (Este). Elaboración propia.

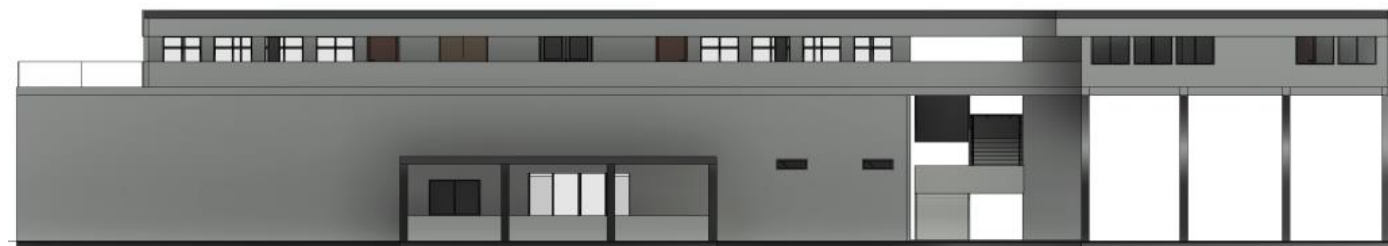


Figura 5 Fachada posterior (Oeste). Elaboración propia.

El presente proyecto es el diseño de un CICYT (Centro de Innovación, Cultura y Tecnología), los cuales son centros que buscan poner a disposición de la comunidad, en diferentes municipios, la oferta educativa, cultural y académica de la UAM. El centro tendrá actividades de lunes a sábado, en un horario de 09 de la mañana a 04 de la tarde.

Asimismo, este proyecto está resuelto estructuralmente en 2 edificios, 3 niveles y una azotea, con una superficie de construcción total de 1249.50 m².

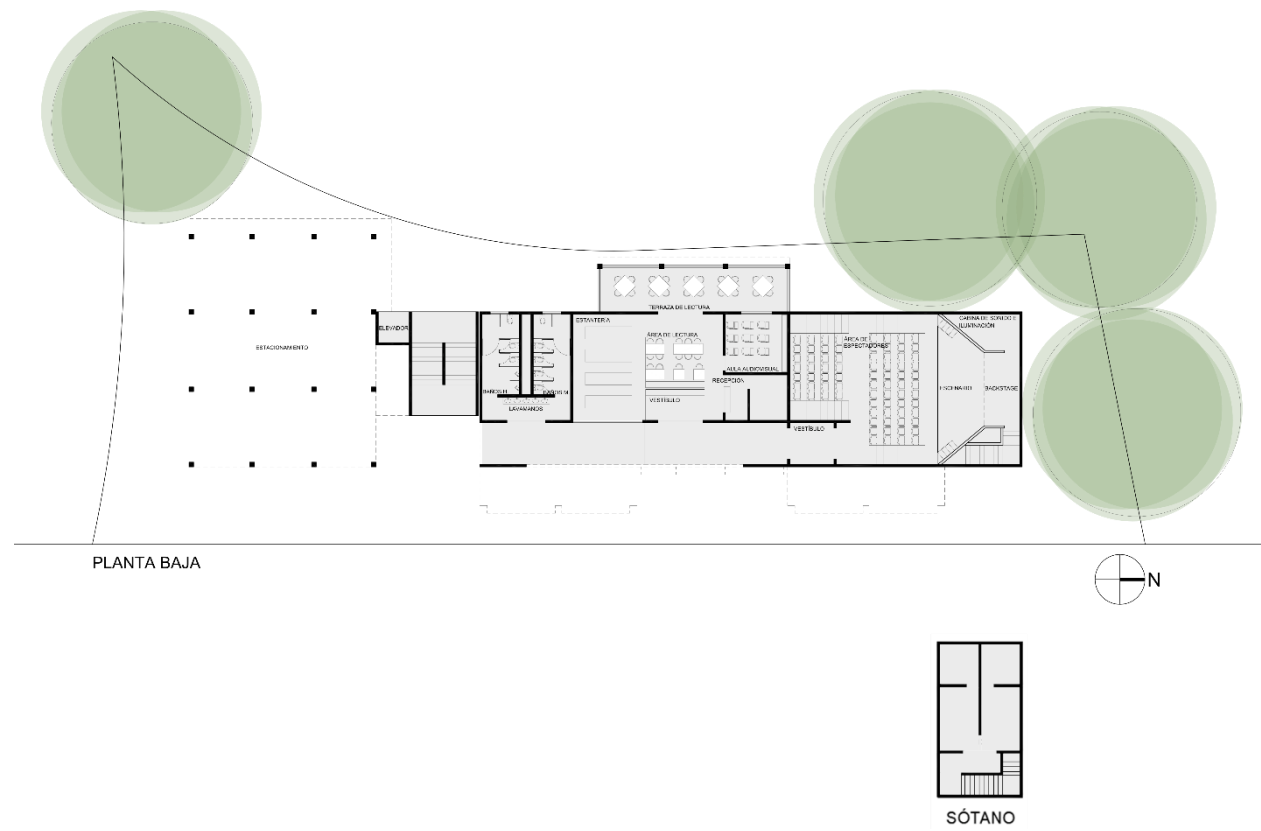
- Edificio Administrativo
 - 2 niveles
- Edificio de Aulas
 - 3 niveles

3.5. Programa Arquitectónico

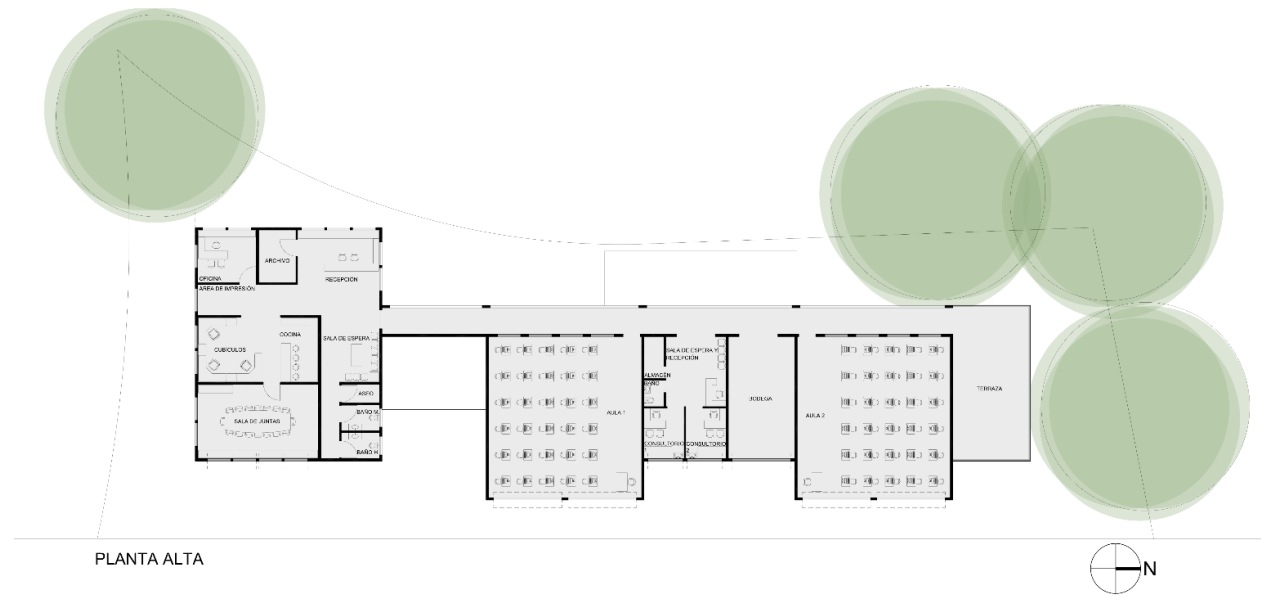
- Sótano (Plano 1): 54.5 m²
 - Vestidores (Auditorio)
- Planta baja (Plano 1): 673.80 m²
 - Estacionamiento
 - Baños
 - Biblioteca
 - Auditorio (incluye sótano con vestidores)
- Planta alta (Plano 2): 575.70 m²
 - Oficinas Administrativas
 - Salones de enseñanza
 - Enfermería
 - Bodega
 - Terraza

3.6. Planos

3.6.1. Plantas Arquitectónicas

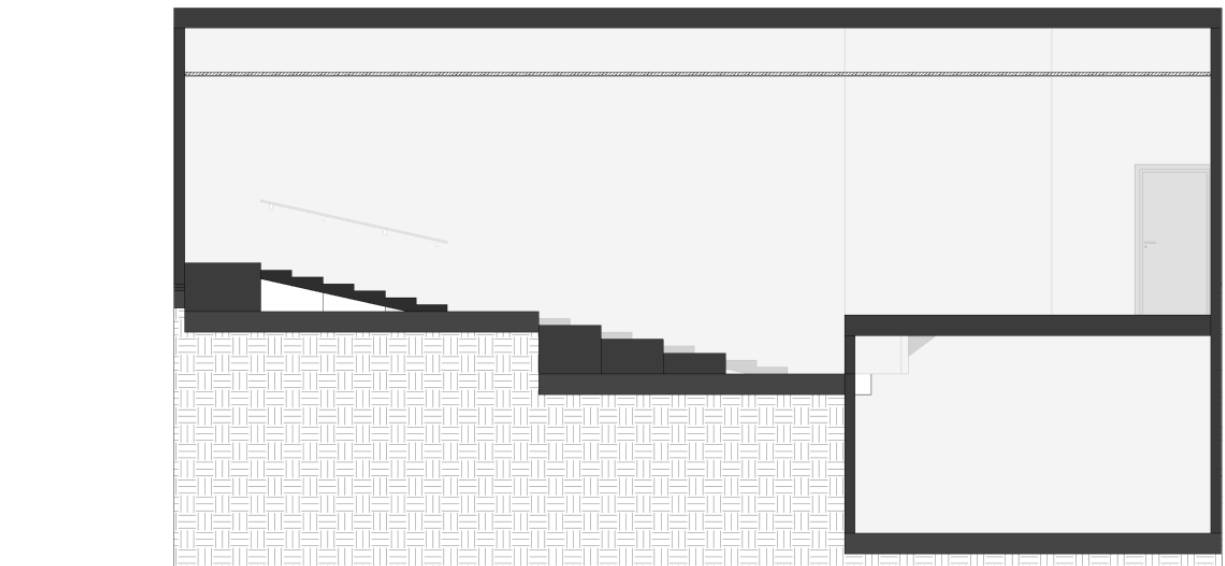
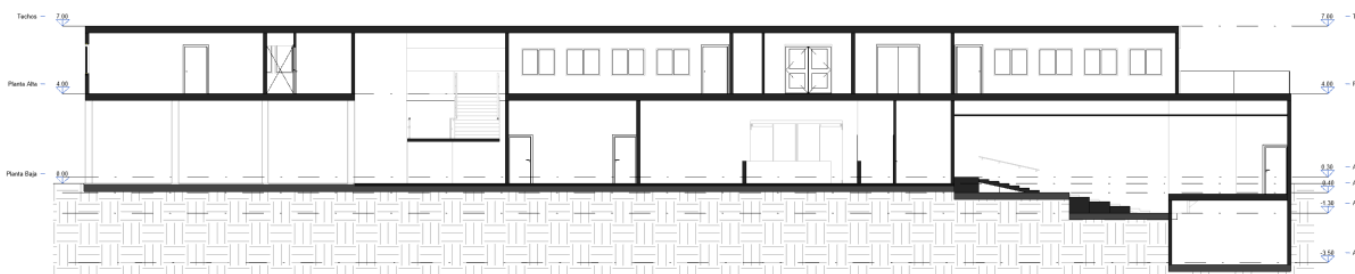
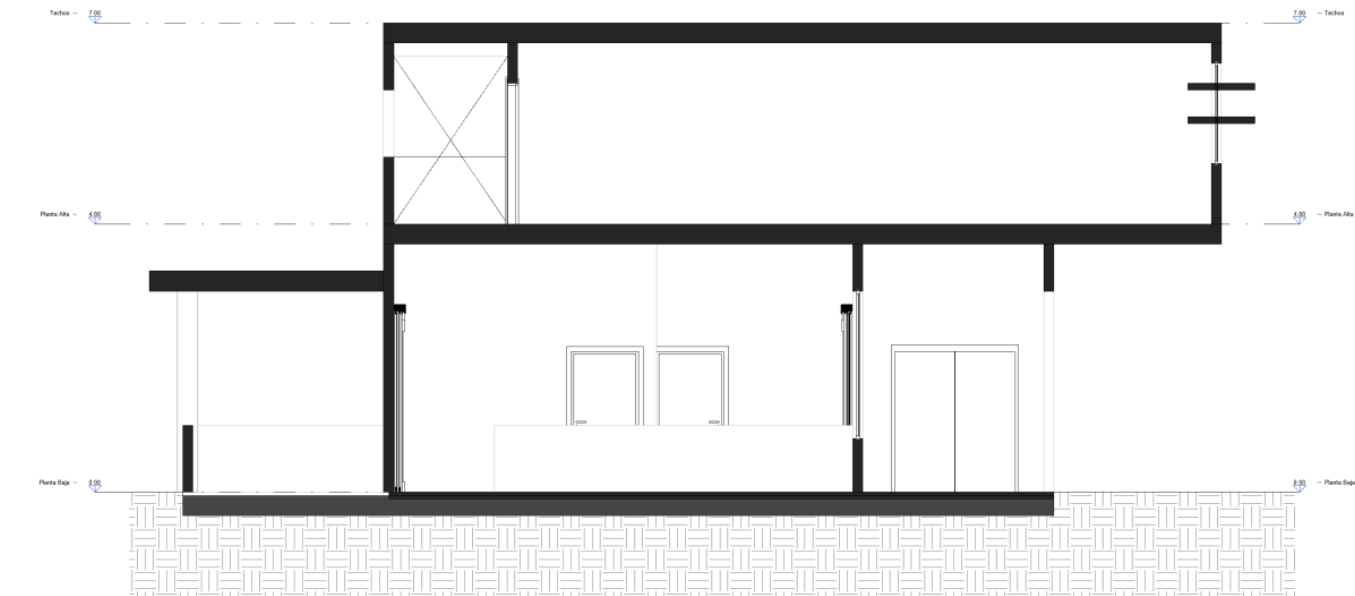


Plano 1 Planta baja CICyT. Elaboración propia.



Plano 2 Planta alta CICyT. Elaboración propia.

3.6.2. Cortes



3.6.3. Vistas renderizadas



Figura 6. Render 1 – Perspectiva desde edificio de Administración. Elaboración propia mediante software Twinmotion.



Figura 7. Render 2 – Perspectiva desde terraza y aulas. Elaboración propia mediante software Twinmotion.



Figura 8. Render 3 – Fachada Este. Elaboración propia mediante software Twinmotion.



Figura 9. Render 4 – Fachada Oeste. Elaboración propia mediante software Twinmotion.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS

BIOCLIMÁTICO

4.1. Análisis de Ventilación

El viento, componente importante del clima, tiene influencia en la dispersión de contaminantes y la evaporación de la humedad lo que lo convierte en un factor relevante para la calidad del aire.

Este análisis se realizará con los vientos dominantes provenientes del Sur y vientos que presentan mayores velocidades provenientes del Este.

Además, para llevar a cabo el análisis se hizo uso del túnel de viento en el laboratorio de bioclimática, de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco, también se hizo uso del software *WindTunnel* para ejercicios y comprobaciones.

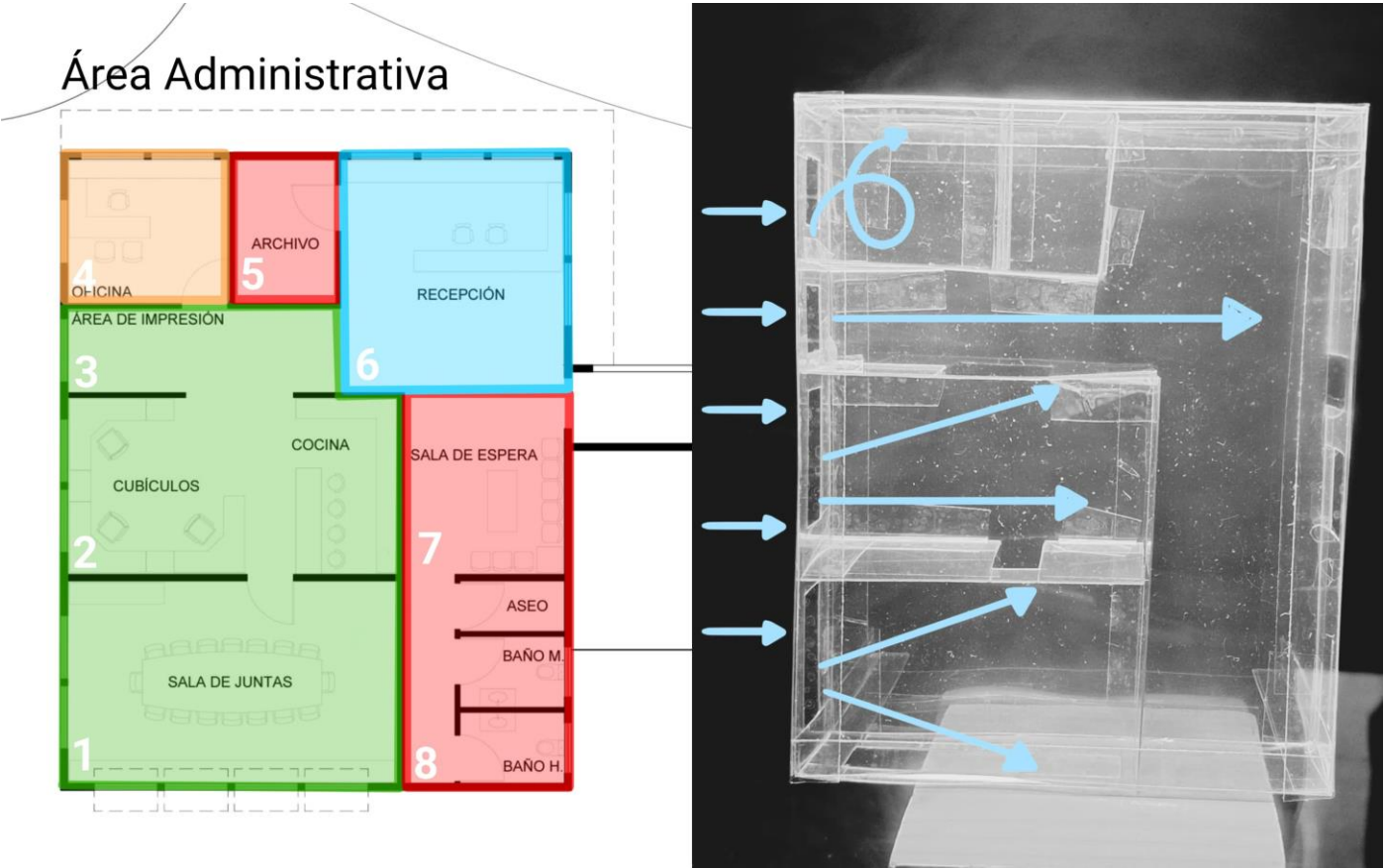
4.1.1. Estudio de recorrido del viento

La simbología que se estará utilizando en los esquemas es las siguiente:

- Área con circulación.
- Área sin circulación.
- Área con circulación media.
- Área que presenta turbulencias.
- Circulación del viento
- Circulación con turbulencias
- Soluciones

El primer estudio realizado es en el área administrativa, con los vientos dominantes que vienen del sur.

Estos vientos impactan directamente en la sala de juntas, la zona de cubículos, el área de impresión y en la oficina principal.

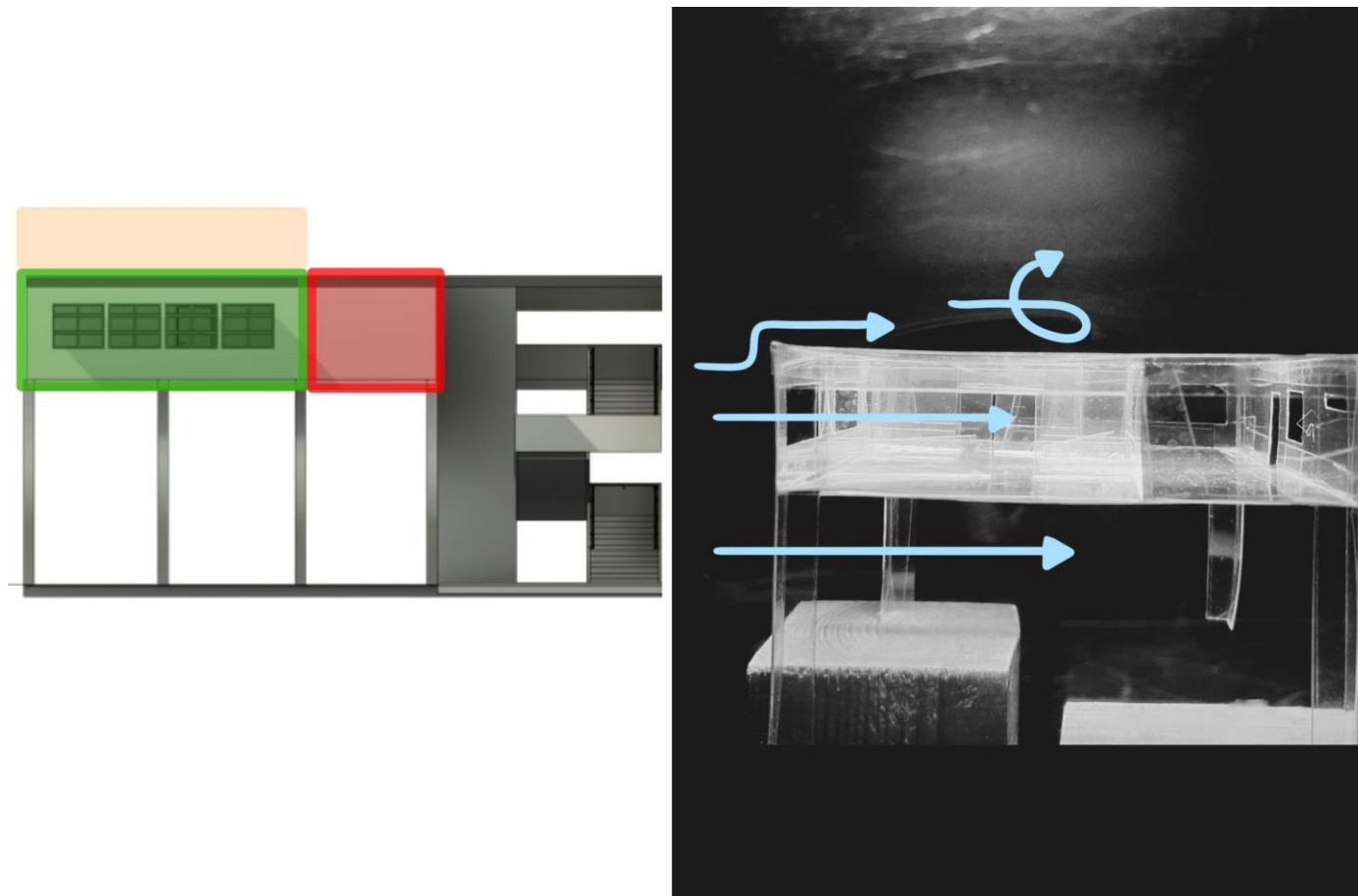


Esquema 1 Impacto del viento en el área administrativa, vista en planta, orientación sur-norte. Elaboración propia.

En el Esquema 1 se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Área 1. Sala de espera: se observa buena ventilación unilateral, que también llega a entrar en la zona de cubículos y cocina.
- Área 2. Zona de cubículos y cocina: en esta también se presenta buena ventilación unilateral, llegando hasta el área 1 y el área 3.
- Área 3. Zona de impresión: esta presenta una ventilación cruzada llegando ligeramente hasta la zona de recepción y saliendo por la puerta.
- Área 4. Oficina principal: se observa una ventilación unilateral que genera turbulencia por el exceso de apertura en la ventana, se estrella en el muro frontal y termina saliendo por la ventana oeste.
- Área 5. Archivo: aquí no se puede observar ninguna entrada de aire, ya que la única apertura que tiene es una puerta que está orientada del lado norte.

- Área 6. Recepción: esta zona presenta una circulación media, con entradas de aire provenientes del área 3, que recorren hasta la puerta de entrada del edificio.
- Área 7. Sala de espera: en esta área no logra llegar la suficiente ventilación para considerar que tiene una circulación media.
- Área 8. Baños: aunque cada uno de estos tiene una salida de aire, están orientadas al norte y el área no tiene ninguna otra ganancia de ventilación.



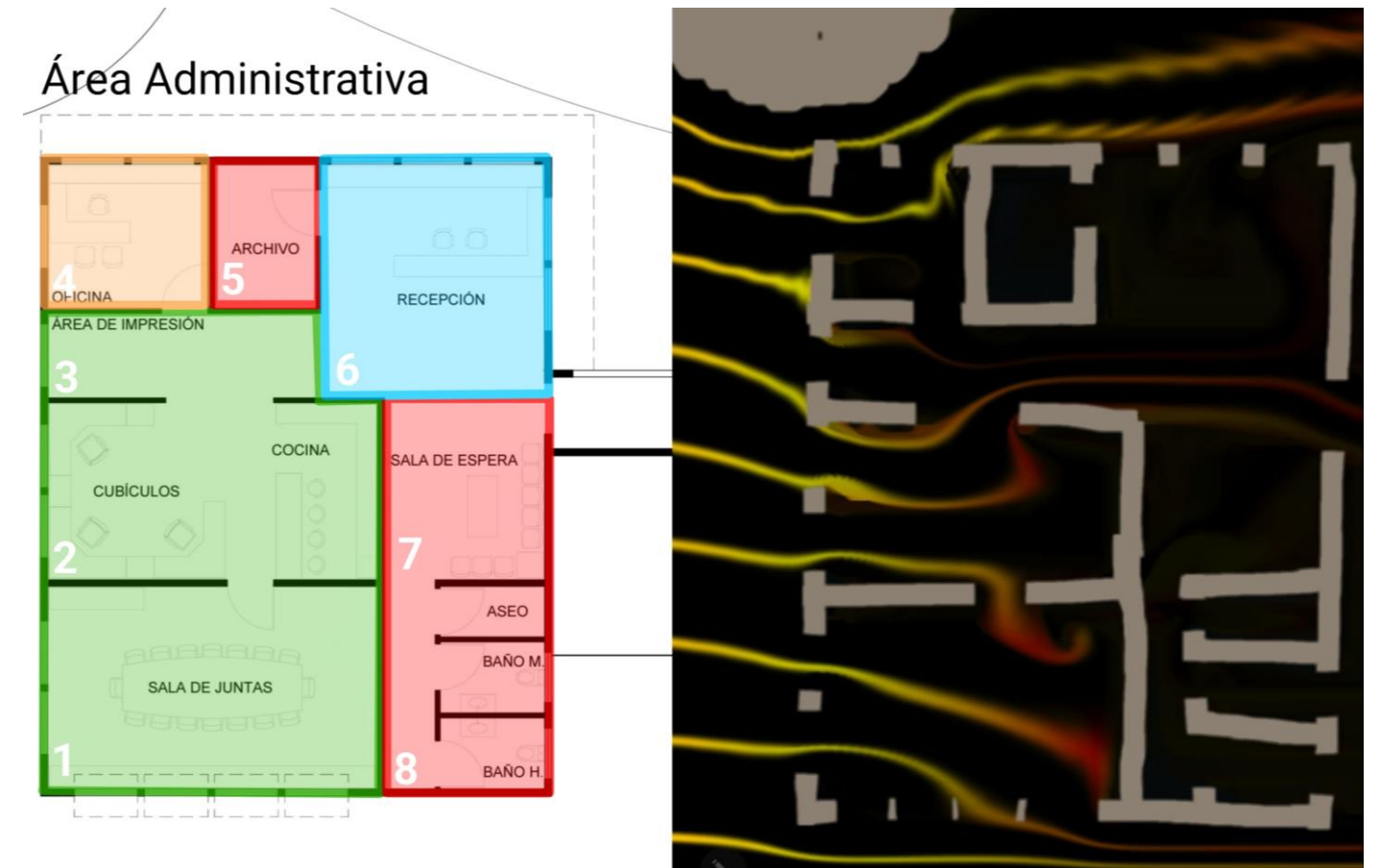
Esquema 2 Impacto del viento en el área administrativa, vista en fachada, orientación sur-norte. Elaboración propia.

En el Esquema 2 se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Así como en el esquema anterior (Esquema 1), donde se observa más ventilación son las áreas 1, 2, 3 y 4.
- En las áreas 7 y 8, no alcanza a llegar buena ventilación y

- Cuando el viento impacta la fachada sur del edificio, tiende a subir y se genera poca turbulencia.

Este edificio tiene cerca de él un árbol de grandes dimensiones, por lo que se realizará un análisis para ver cómo afecta este elemento al movimiento del viento y si afecta a la ventilación del edificio. (Esquema 3)



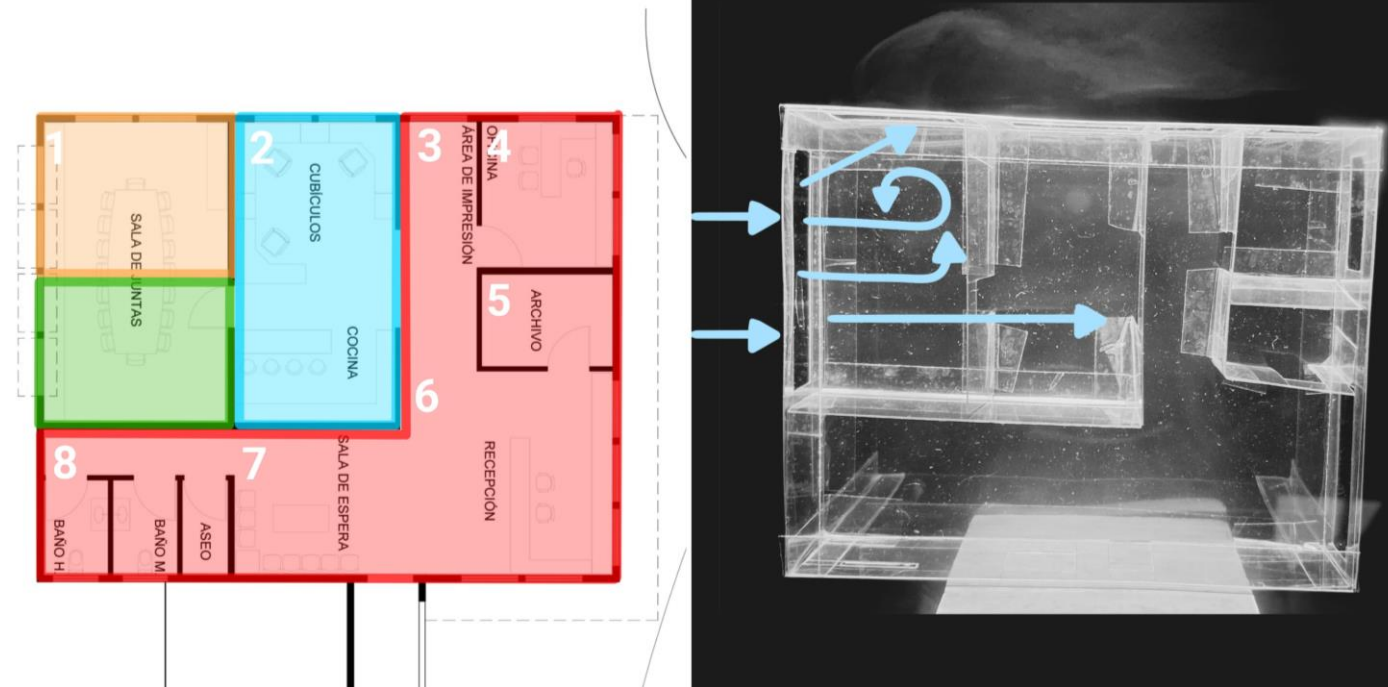
Esquema 3 Impacto del viento en el área administrativa con árbol, vista en planta, orientación sur-norte. Elaboración propia.

Después de realizado este análisis, podemos observar que afortunadamente la ubicación de este elemento natural no afecta en la manera en que el viento impacta sobre el edificio.

El segundo estudio realizado es en el área administrativa, con los vientos de mayor velocidad provenientes del este.

Estos vientos impactan directamente en la sala de juntas, el pasillo de acceso a los baños y en los baños.

Área Administrativa



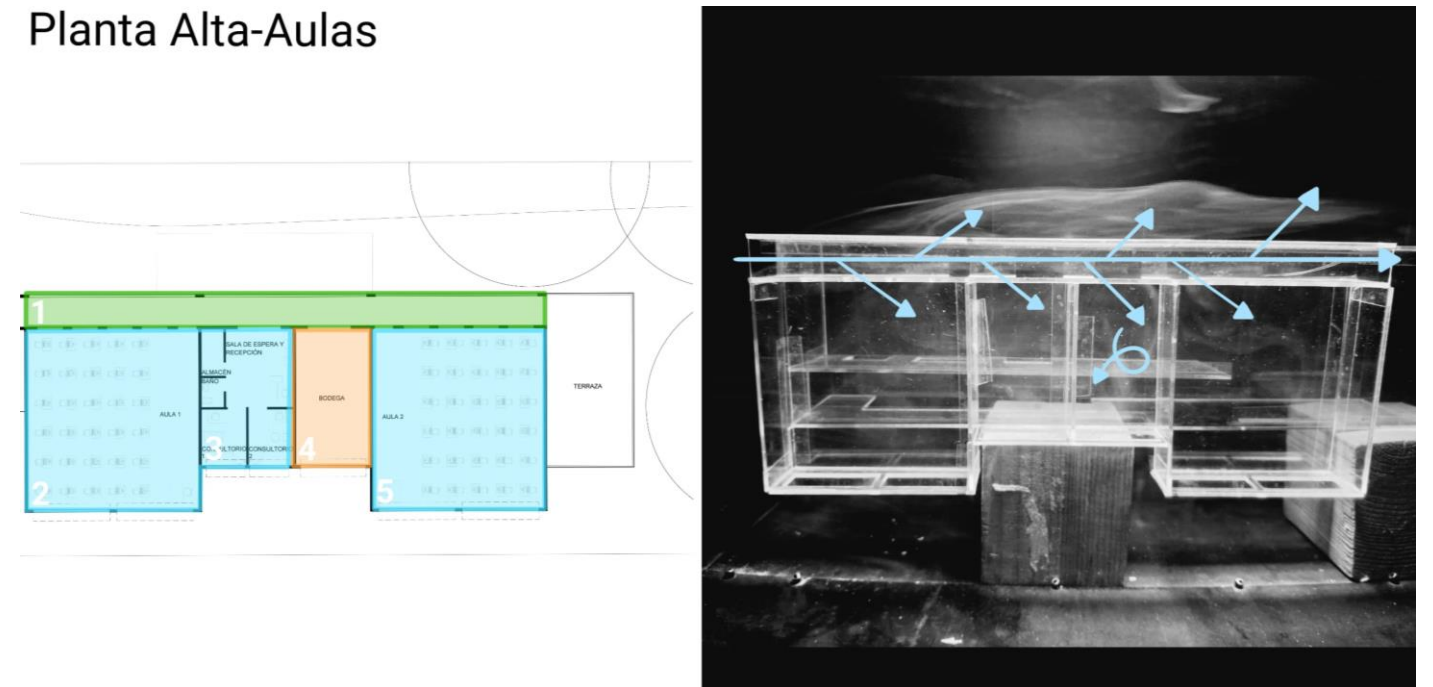
Esquema 4 Impacto del viento en el área administrativa, vista en planta, orientación este-oeste. Elaboración propia.

En el Esquema 4 se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Área 1. Sala de espera: se observa buena ventilación unilateral y cruzada, que llega a entrar en la zona de cubículos y cocina, pero presenta turbulencia en la zona sur de la sala de espera.
- Área 2. Zona de cubículos y cocina: cuenta con una ventilación cruzada proveniente del área 1, la sala juntas, pero viene con poca intensidad por lo que se convierte en un área con circulación media.
- Área 3. Zona de impresión: desde esta orientación, esta área ya no recibe suficiente ventilación.
- Área 4. Oficina principal: se encuentra en el lado oeste y detrás del área de impresión, por lo que, desde esta orientación, no reciben ventilación.
- Área 5. Archivo: aquí no se puede observar ninguna entrada de aire, ya que la única apertura que tiene es una puerta que está orientada del lado norte.

- Área 6. Recepción: desde esta orientación no recibe la ventilación suficiente.
- Área 7. Sala de espera: aunque esta zona tiene un pasillo proveniente de los baños que tiene cara en el lado este del edificio, no tiene apertura y, por ende, tampoco ventilación.
- Área 8. Baños: igualmente que, en la sala de espera, tiene un pasillo del lado este del edificio, pero tampoco tiene ventilación.

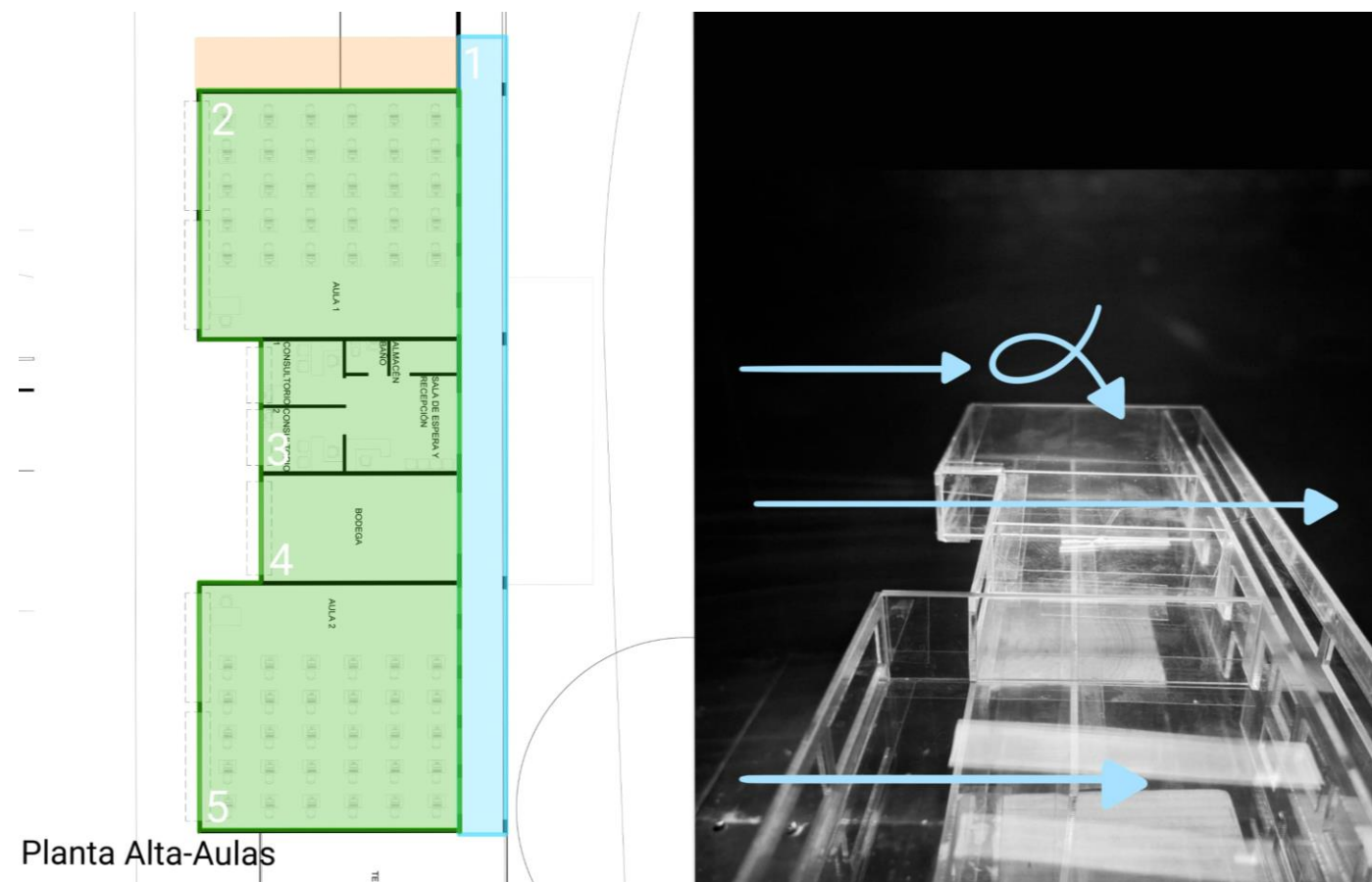
Planta Alta-Aulas



Esquema 5 Impacto del viento en planta alta-aulas, vista en planta, orientación sur-norte. Elaboración propia.

En el Esquema 5 se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Área 1. Pasillo: se observa una muy buena ventilación cruzada recorriendo de inicio a fin del pasillo y distribuyéndola por todas las zonas de ese nivel.
- Área 2. Aula 1: es un área con circulación media unilateral, recibida desde el pasillo.
- Área 3. Enfermería: es un área con circulación media unilateral, recibida desde el pasillo.
- Área 4. Bodega: es un área con circulación media unilateral, recibida desde el pasillo y presenta una turbulencia en el comportamiento del viento al entrar a ese espacio.
- Área 5. Aula 2: es un área con circulación media unilateral, recibida desde el pasillo.



Planta Alta-Aulas

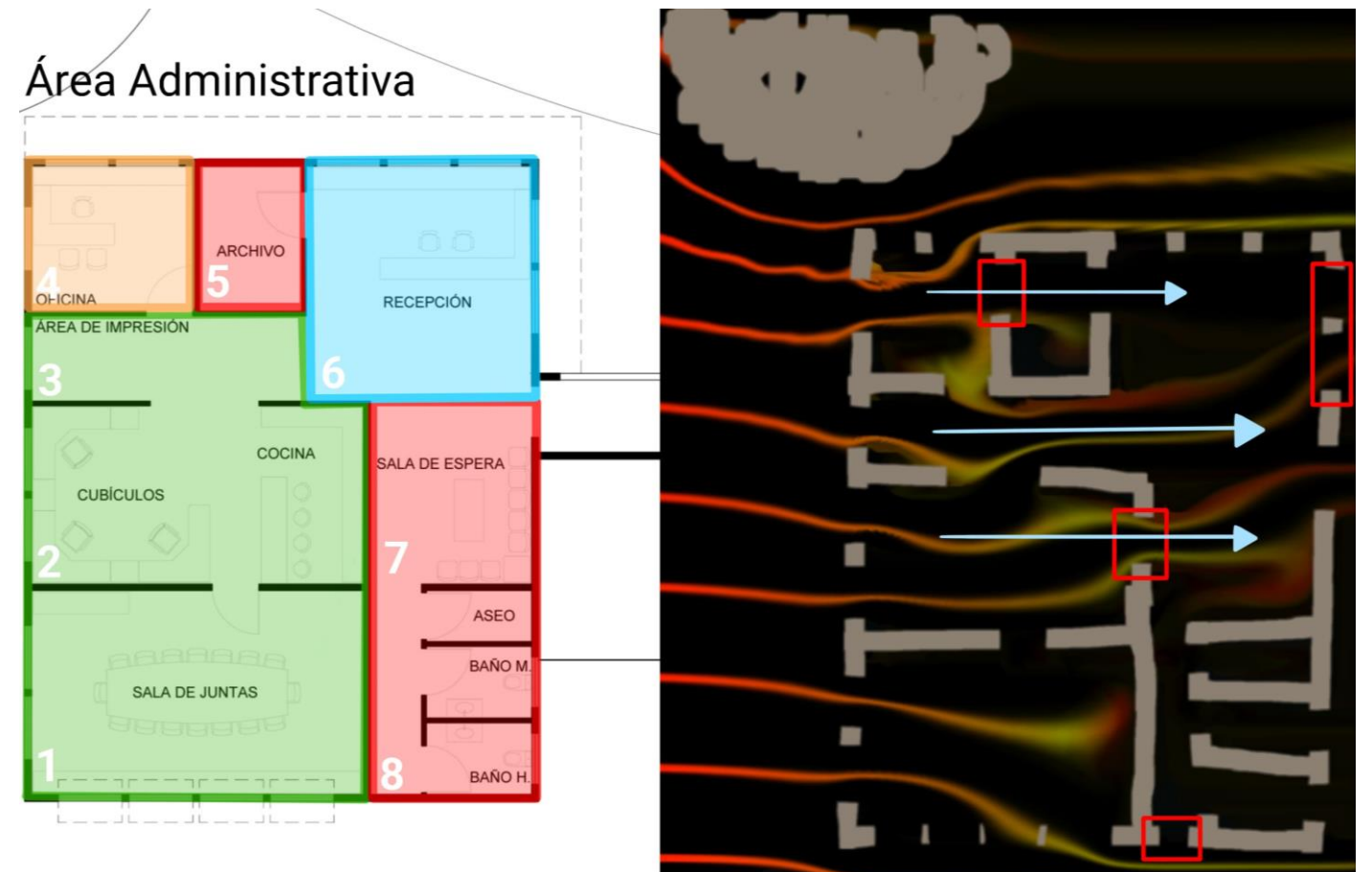
Esquema 6 Impacto del viento en planta alta-aulas, vista en planta, orientación este-oeste. Elaboración propia.

En el Esquema 6 se pueden hacer las siguientes observaciones:

- Área 1. Pasillo: en esta orientación, el pasillo recibe la ventilación cruzada proveniente de las aulas y bodega, por eso resulta ser un espacio de circulación media.
- Área 2. Aula 1: este espacio recibe todos los vientos provenientes del este y tiene ventanas en las orientaciones este y oeste, por lo que propicia una buena ventilación cruzada.
- Área 3. Enfermería: es un área con buena circulación y ventilación cruzada, permitiendo que desde la fachada llegue hasta la recepción y el pasillo de acceso.
- Área 4. Bodega: es un área con buena circulación, permitiendo entrar a todo el viento proveniente del este, y con su entrada también por la parte oeste, propicia una buena circulación cruzada.

- Área 5. Aula 2: este espacio recibe todos los vientos provenientes del este y tiene ventanas en las orientaciones este y oeste, por lo que propicia una buena ventilación cruzada.

4.1.2. Propuestas y soluciones



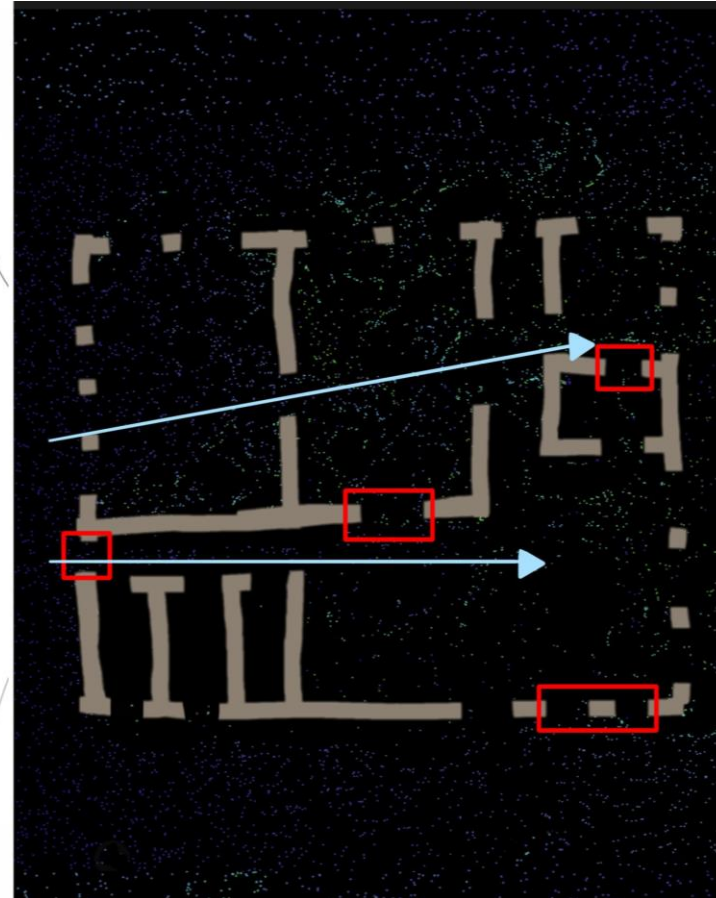
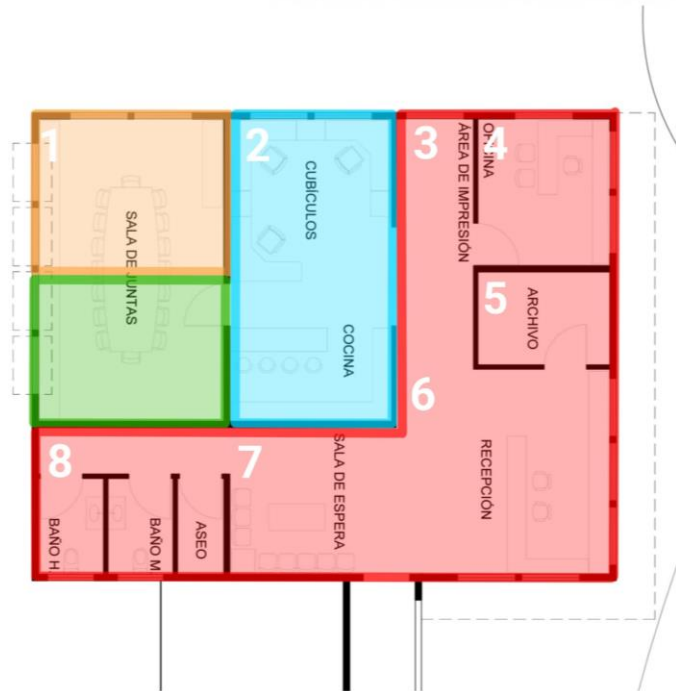
Esquema 7 Impacto del viento en el área administrativa con soluciones, vista en planta, orientación sur-norte. Elaboración propia.

En la orientación sur-norte del área administrativa se proponen las siguientes soluciones para mejorar la ventilación (Esquema 7):

- Ya que en el área 5 (archivo) no se tiene nada de ventilación, se propone realizar una abertura en el muro que comparte con el área 4 (oficina principal), de manera que permita pasar el aire a través del archivo y llegar hasta la recepción donde también se propone la abertura de un par de ventanas, propiciando una ventilación cruzada y eliminando la turbulencia generada en la oficina principal.

- Para ganar ventilación en el área 7 (sala de espera), se propone realizar una abertura en el muro que comparte con el área 2 (cocina), de esta manera se genera una ventilación cruzada, desde el área 2 hasta la entrada principal del edificio.

Área Administrativa

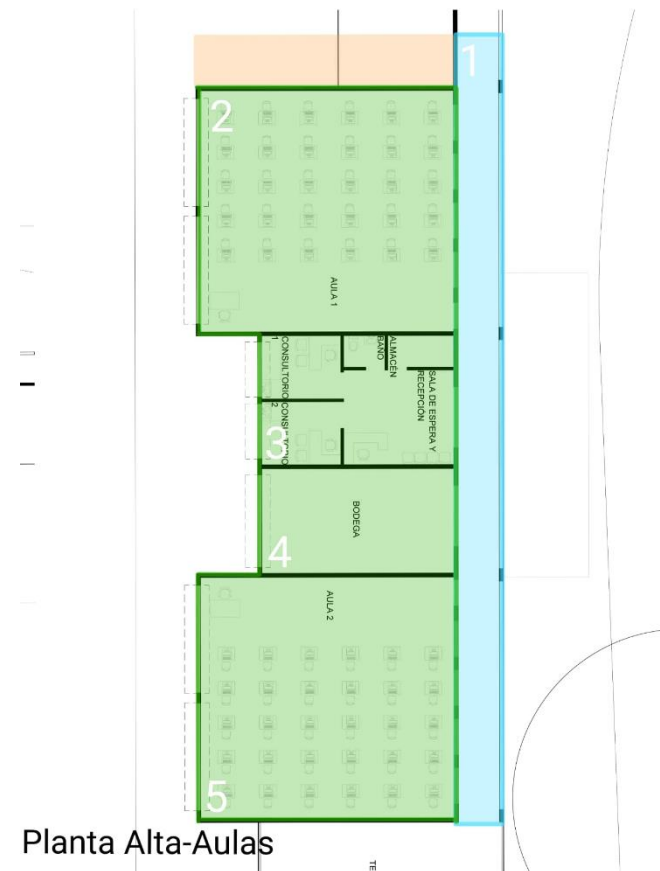


Esquema 8 Impacto del viento en el área administrativa con soluciones, vista en planta, orientación este-oeste. Elaboración propia.

En la orientación este-oeste del área administrativa se propone la siguiente solución para mejorar la ventilación (Esquema 8):

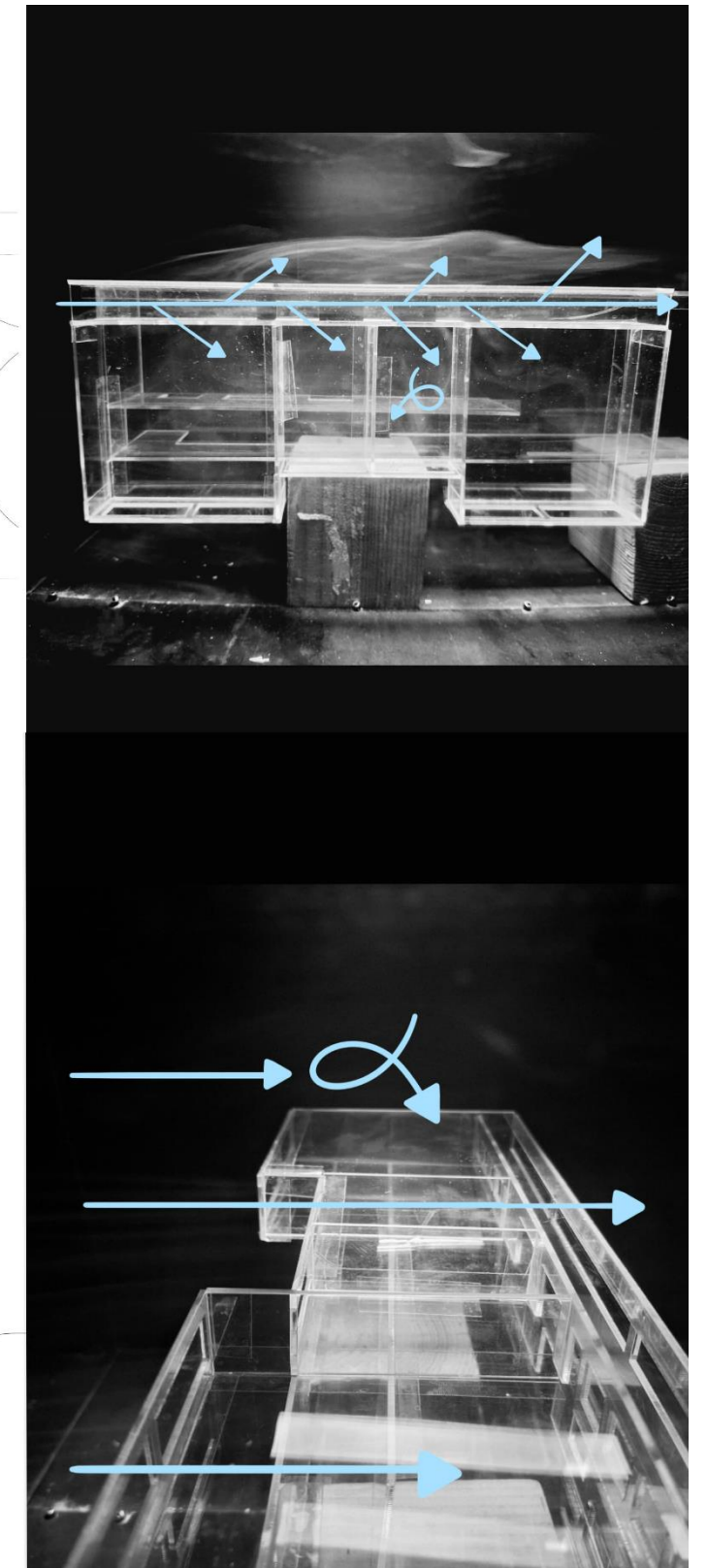
- Ya que en ambas orientaciones no se lograba que el pasillo del área 8 (baños) y el área 7 (sala de espera) tuvieran ventilación, se propone una apertura grande, en sentido vertical, de esta manera se logra que entre el viento y realice un recorrido desde el pasillo, sala de espera y hasta la recepción, propiciando una ventilación cruzada en toda la zona de acceso, convirtiéndola en un área con buena circulación.

Planta Alta-Aulas



Planta Alta-Aulas

Esquema 9 Impacto del viento en planta alta-aulas, vista en planta, orientación sur-norte y este-oeste. Elaboración propia.



En el edificio donde se encuentra las aulas, se propicia buena circulación en cada uno de los espacios, ya que el recorrido que realiza el viento dentro de él, va ventilando todos los espacios de esta planta. (Esquema 9)

4.1.3. Conclusiones

En conclusión, los estudios de comportamiento del viento realizados en el túnel de viento de la universidad fueron de gran ayuda para identificar y dar soluciones a los diferentes problemas que presentaba la propuesta inicial del proyecto, de tal manera que se lograron seleccionar las estrategias necesarias para que se generara una buena circulación y por ende la renovación continua del aire en todos los espacios.

En general, la orientación del proyecto hacía que se presentaran incidencias del viento en las fachas sur y este del edificio administrativo, donde se presentaban turbulencias en algunas zonas y en otras no se permitía que el aire circulara generando estancamientos, por otro lado, había locales que ni siquiera tenían ventilación, lo que haría que se convirtieran en un espacio poco confortable.

Por lo tanto, se realizaron correcciones en los espacios que presentaban dichas problemáticas y gracias al software *WindTunnel* pudimos realizar las comprobaciones necesarias para observar cómo se comportaría el viento con las modificaciones adecuadas.

4.2. Análisis de asoleamiento

El centro tendrá actividades de lunes a sábado, en un horario de 09 de la mañana a 04 de la tarde, por lo que el análisis siguiente solo se realizará con enfoque a las 7 horas que tendrá ocupación, más específicamente de los horarios 9 am, 12 pm y 3 pm, debido a que son las horas de entrada, medio día y salida.

4.2.1. Propuesta inicial

Equinoccios (21 de marzo / 22 de septiembre)

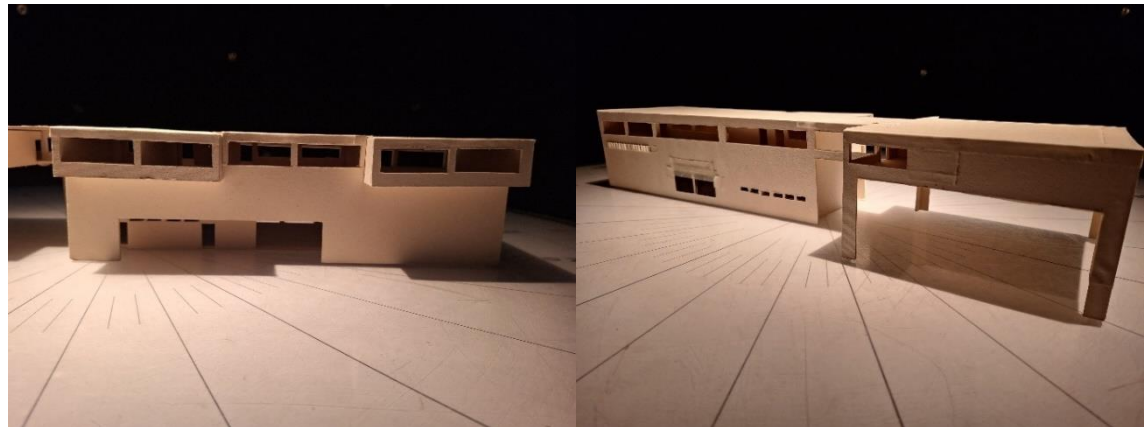
09:00 HRS



Fotografía 23. Fachada Este durante Equinoccio a las 9:00 hrs. Elaboración propia

Durante este horario, todo el sol de la mañana impacta en la fachada Este, provocando calentamiento en gran parte del área administrativa y en las aulas.

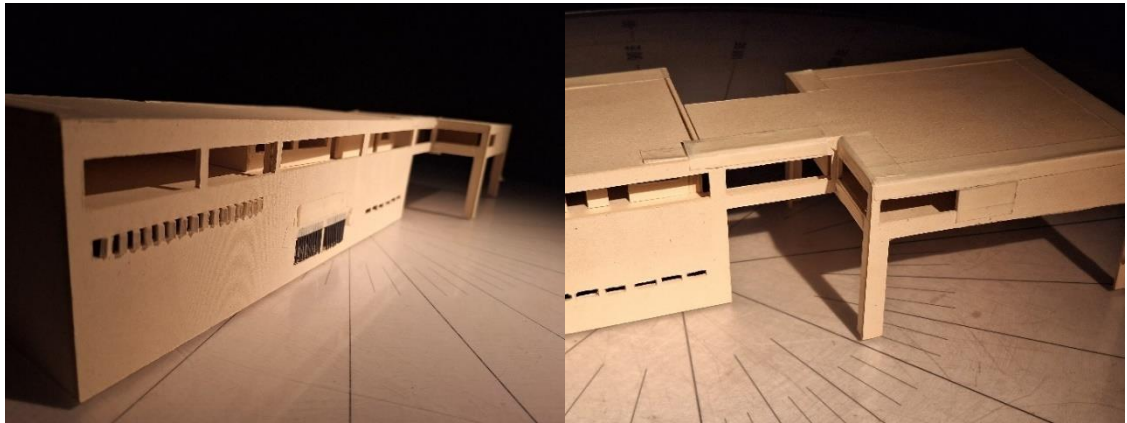
12:00 HRS



Fotografía 24. Fachada Este y Fachada Oeste en Equinoccio a las 12:00 hrs. Elaboración propia

Durante este horario, el sol se encuentra en el zenit y solo tenemos ganancias solares en poca medida por el sur, lo que no presenta una gran problemática y solo impacta en el área administrativa.

15:00 HRS

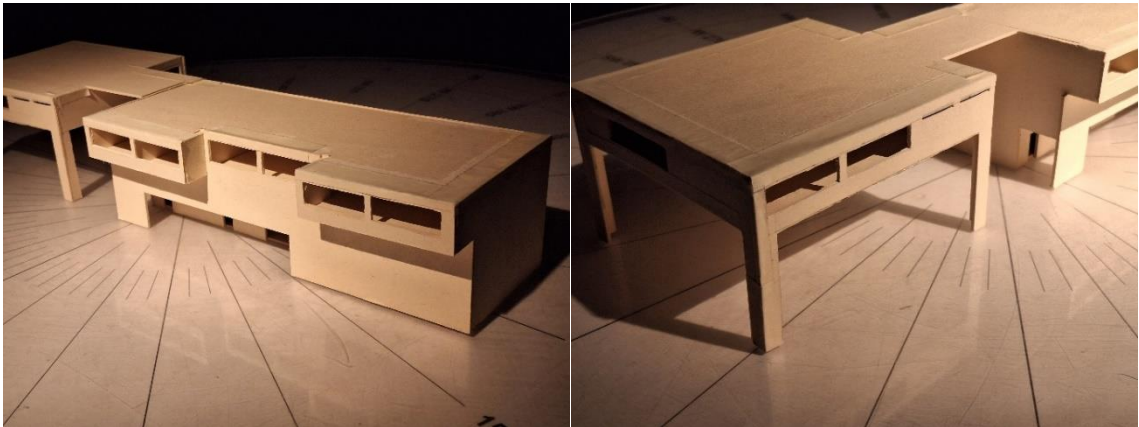


Fotografía 25. Fachada Oeste durante Equinoccio a las 15:00 hrs. Elaboración propia

Durante este horario, se presenta la incidencia solar del sol de la tarde, provocando calentamiento en el pasillo de las aulas, la terraza de la biblioteca y la recepción del área administrativa.

Solsticio de verano (21 de junio)

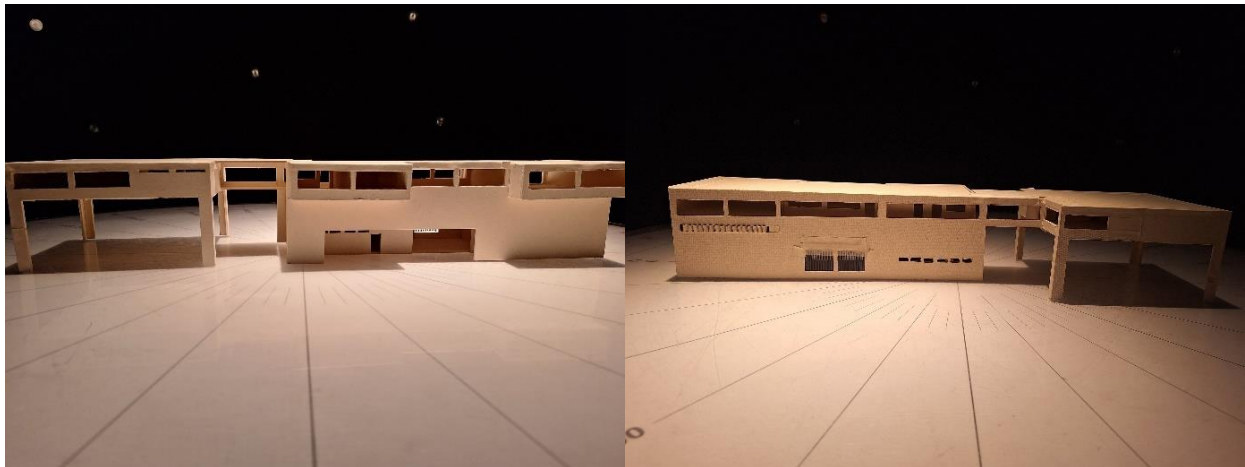
09:00 HRS



Fotografía 26. Fachada Este durante Solsticio de verano a las 9:00 hrs. Elaboración propia

Durante este horario, la intensidad de la incidencia solar en parecida a la de los equinoccios, donde todo el sol de la mañana impacta en la fachada Este, provocando calentamiento en gran parte del área administrativa y en las aulas.

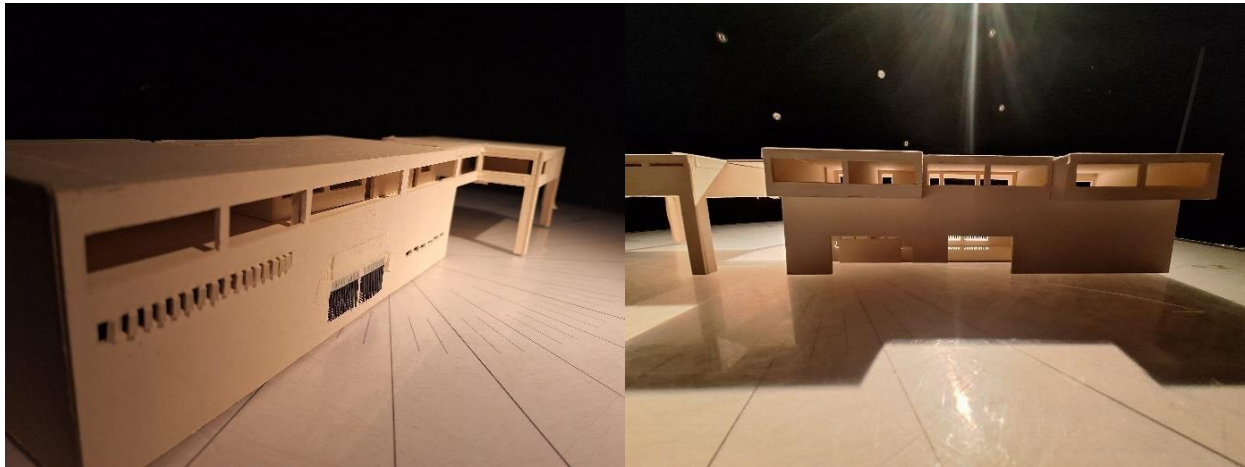
12:00 HRS



Fotografía 27. Fachada Este y Oeste durante Solsticio de verano a las 12:00 hrs. Elaboración propia

Durante este horario, la intensidad de la incidencia solar en parecida a la de los equinoccios, el sol se encuentra en el zenit y solo tenemos ganancias solares en poca medida por el sur, lo que no presenta una gran problemática y solo impacta en el área administrativa.

15:00 HRS

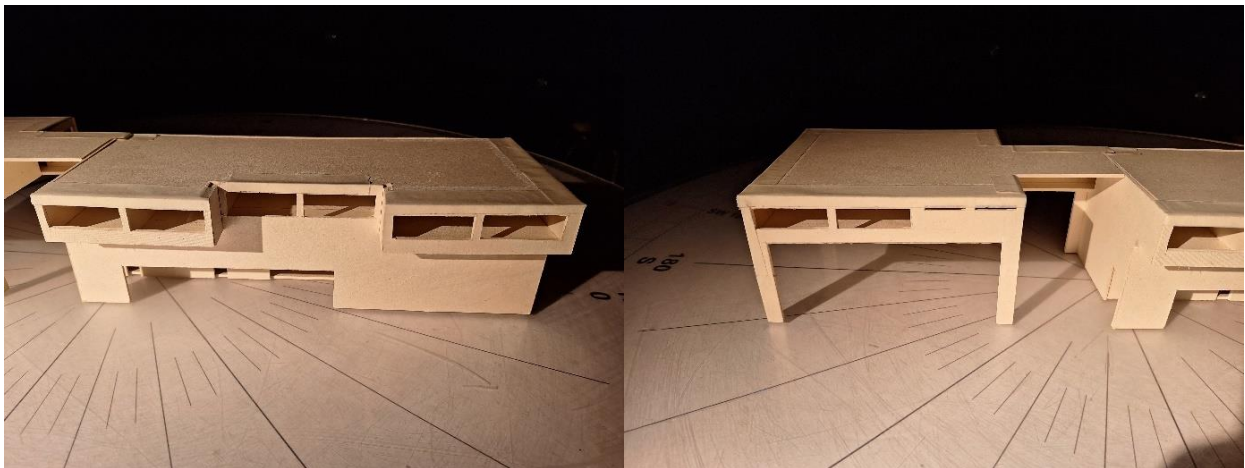


Fotografía 28. Fachada Oeste y Este durante Solsticio de verano a las 15:00 hrs. Elaboración propia

Durante este horario, se presenta la incidencia solar del sol de la tarde, provocando calentamiento en el pasillo de las aulas, la terraza de la biblioteca y la recepción del área administrativa y a diferencia de los equinoccios, es la época en la que más calor se presentará en esta localidad.

Solsticio de invierno (21 de diciembre)

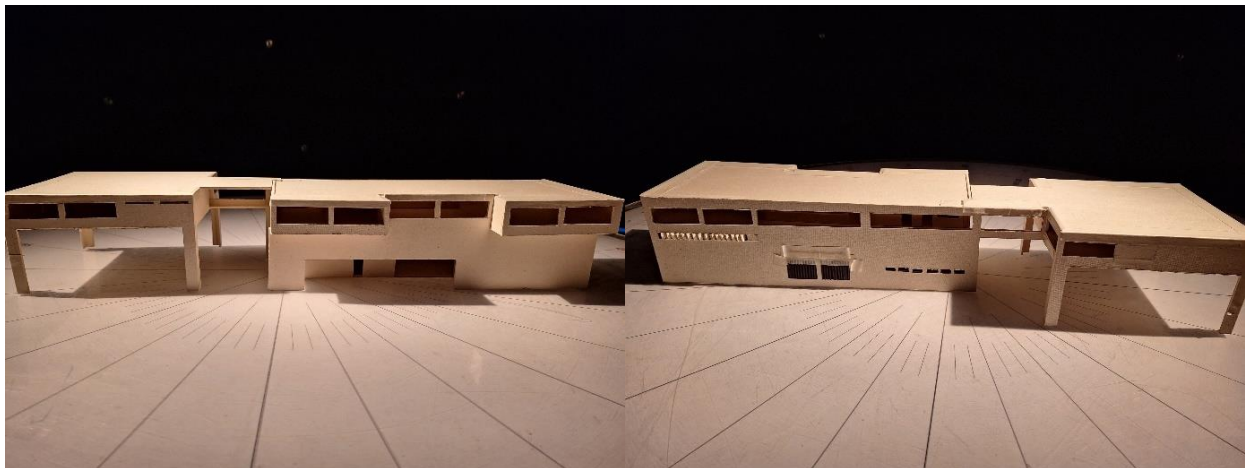
09:00 HRS



Fotografía 29. Fachada Este durante Solsticio de invierno a las 9:00 hrs. Elaboración propia

Durante este horario, todo el sol de la mañana impacta en la fachada Este, pero a diferencia de los equinoccios, viene con un ángulo menos inclinado respecto al horizonte, provocando más calentamiento en gran parte del área administrativa y en las aulas.

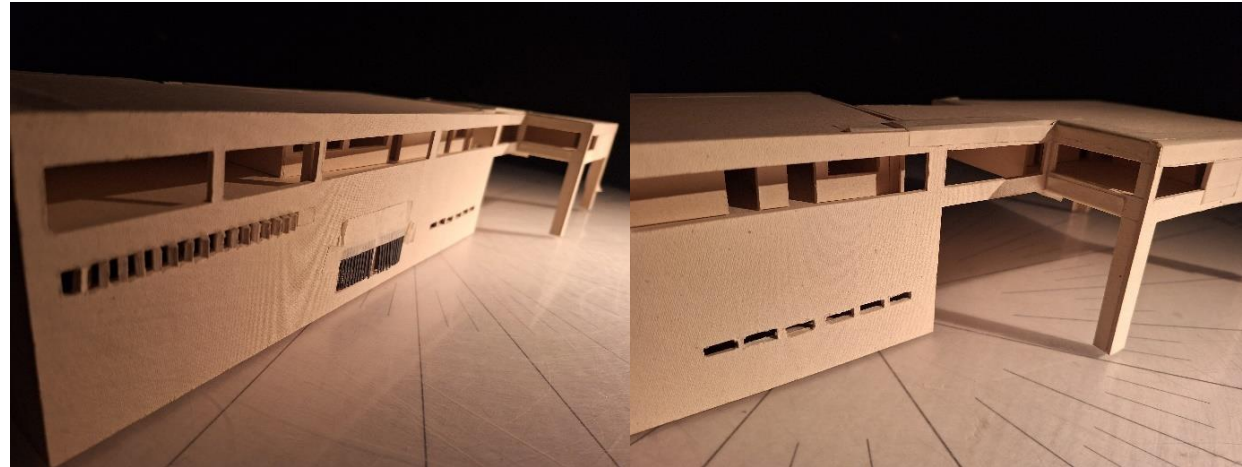
12:00 HRS



Fotografía 30. Fachada Este y Oeste durante Solsticio de invierno a las 12:00 hrs. Elaboración propia

Durante este horario, el sol se encuentra en el zenit y solo tenemos ganancias solares en poca medida por el sur, lo que no presenta una gran problemática y solo impacta en el área administrativa.

15:00 HRS



Fotografía 31. Fachada Oeste durante el Solsticio de invierno a las 15:00 hrs. Elaboración propia

Como en esta época del año la incidencia solar es más recta hacia el norte, durante la tarde y cuando el sol empieza a bajar, provocará molestia en los usuarios.

4.2.2. Soluciones

Equinoccios (21 de marzo / 22 de septiembre)

09:00 HRS

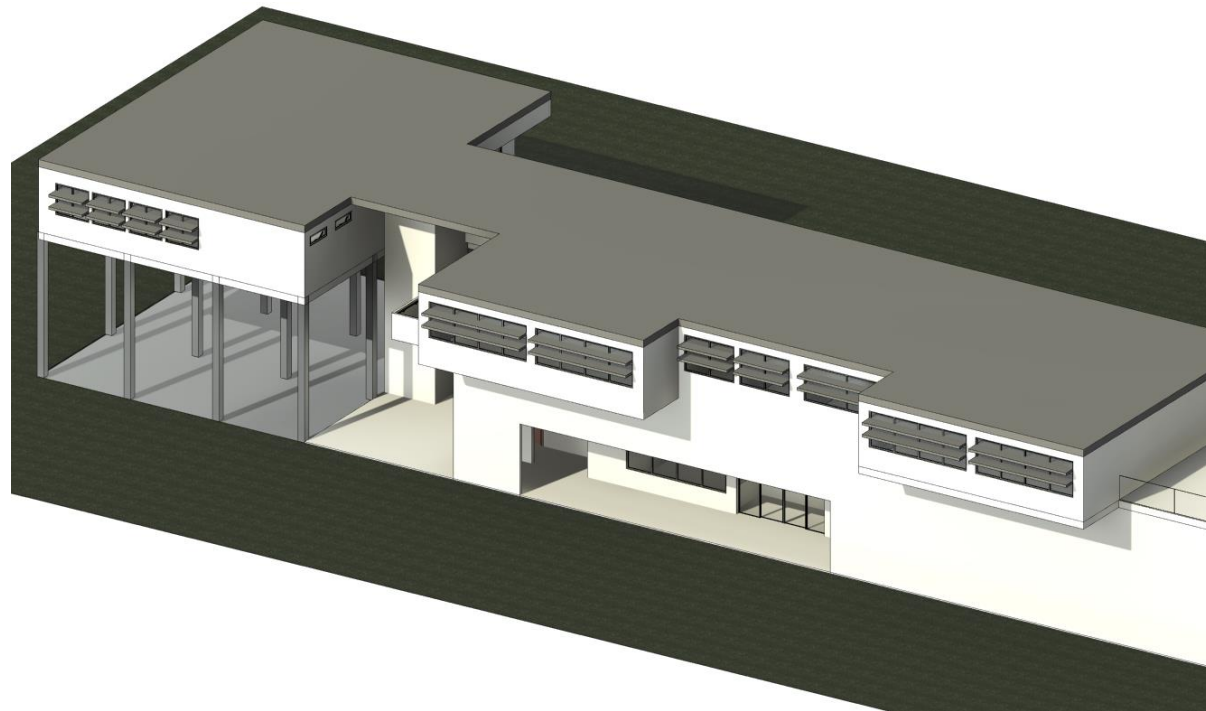


Figura 10. Fachada Este durante Equinoccio a las 9:00 hrs. Elaboración propia

12:00 HRS



Figura 11. Fachada Este durante el Equinoccio a las 12:00 hrs. Elaboración propia

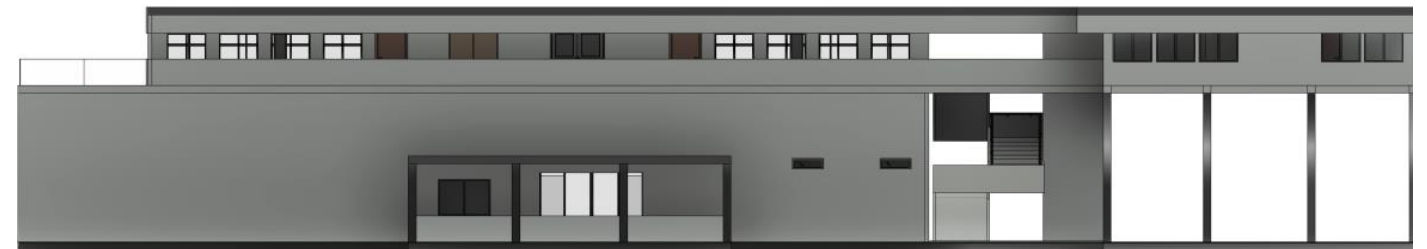


Figura 12. Fachada Oeste durante el Equinoccio a las 12:00 hrs. Elaboración propia

15:00 HRS

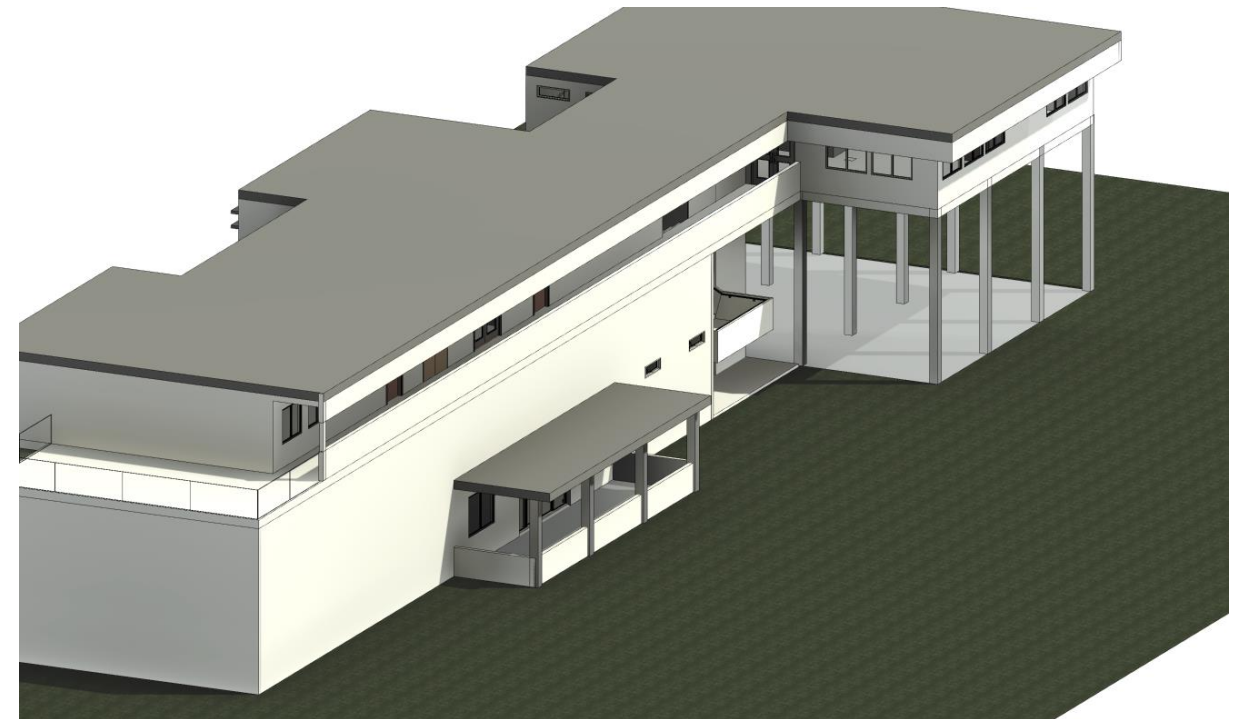


Figura 13. Fachada Oeste durante Equinoccio a las 15:00 hrs. Elaboración propia

Solsticio de verano (21 de junio)

09:00 HRS



Figura 14. Fachada Este durante Solsticio de verano a las 9:00 hrs. Elaboración propia

12:00 HRS



Figura 15. Fachada Este durante Solsticio de verano a las 12:00 hrs. Elaboración propia

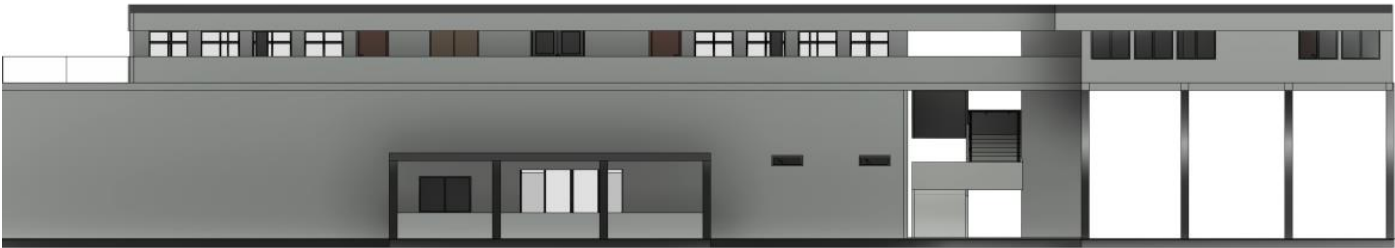


Figura 16. Fachada Oeste durante Solsticio de verano a las 12:00 hrs. Elaboración propia

15:00 HRS

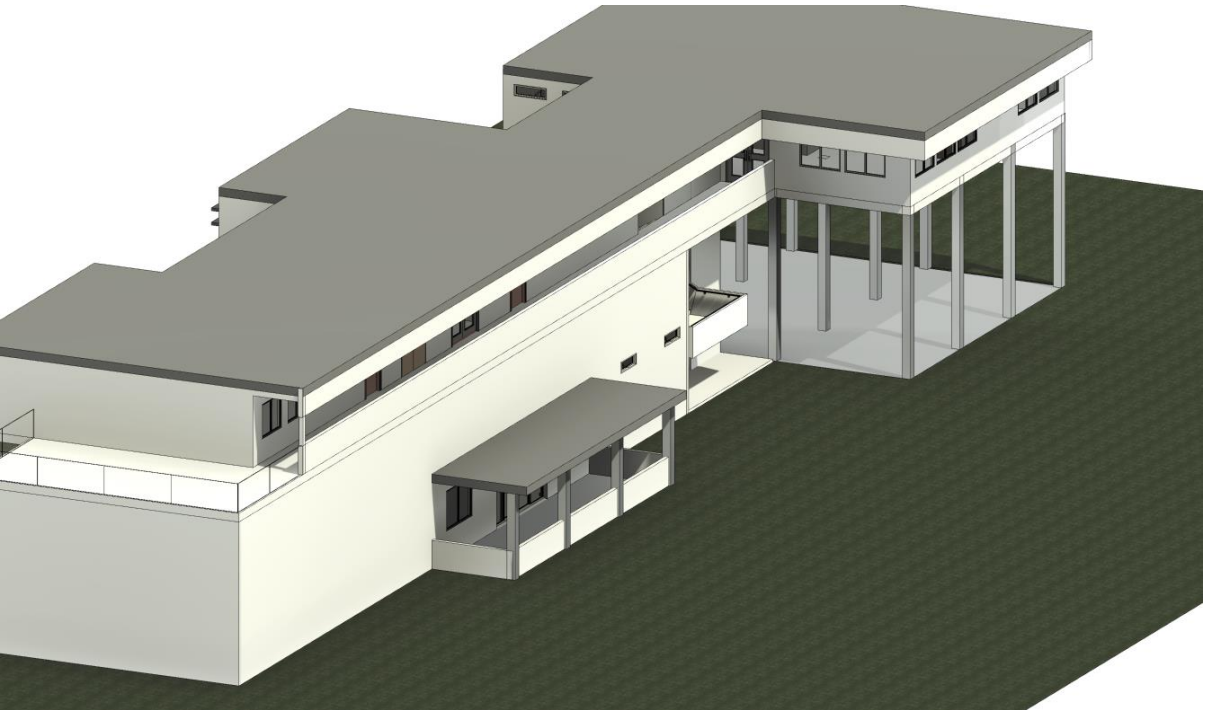


Figura 17. Fachada Oeste durante Solsticio de verano a las 15:00 hrs. Elaboración propia

Solsticio de invierno (21 de diciembre)

09:00 HRS

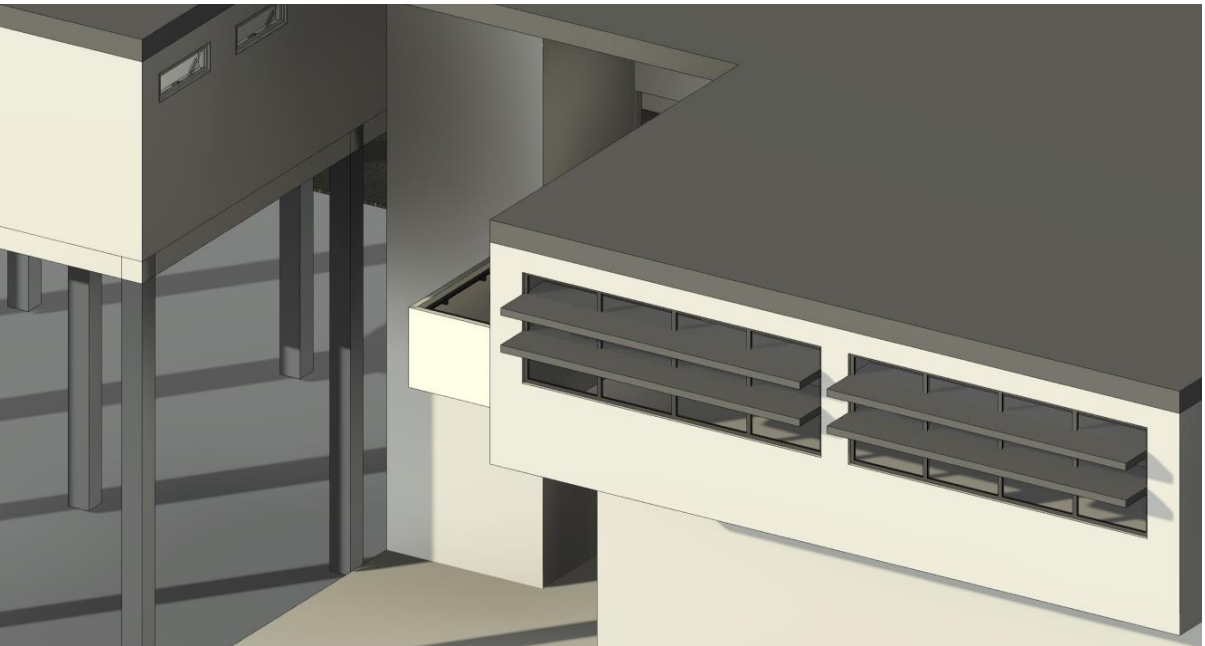


Figura 18. Fachada Este durante Solsticio de invierno a las 9:00 hrs. Elaboración propia

12:00 HRS



Figura 19. Fachada Este durante Solsticio de invierno a las 12:00 hrs. Elaboración propia

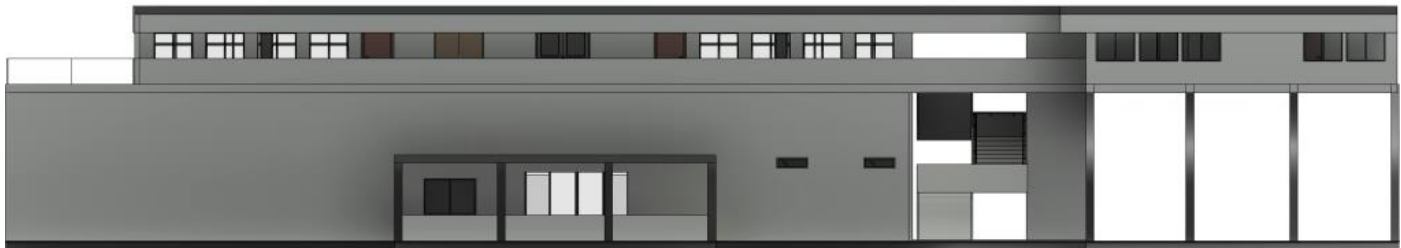


Figura 20. Fachada Oeste durante Solsticio de invierno a las 12:00 hrs. Elaboración propia

15:00 HRS

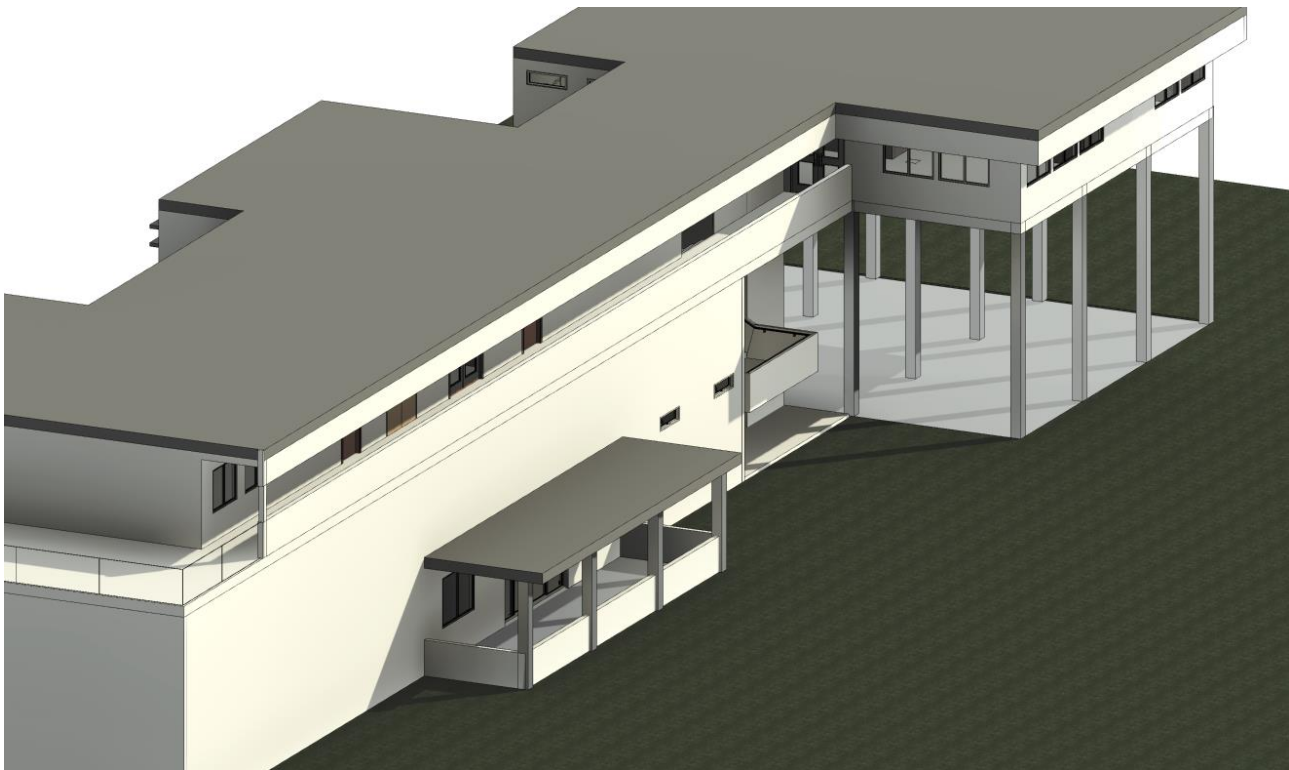


Figura 21. Fachada Este durante Solsticio de invierno a las 15:00 hrs. Elaboración propia

Como parte de las soluciones propuestas para las problemáticas de incidencia solar, se propone el uso de faldones, tanto en el área del pasillo de acceso a las aulas como para proteger las ventanas de la fachada Oeste del área administrativa, dándole semejanza a la imagen de la UAM. También se propone el uso de un pórtico en el área de la terraza de la biblioteca, protegiendo tanto la ventana como la entrada y salida a la terraza. Por último, para la fachada Este, siendo la principal del proyecto, se propusieron repisas de luz en todas las ventanas, de esta manera todas las aulas y el área administrativa pueden ganar iluminación durante la mañana, sin calentamiento por la incidencia solar.

4.2.3. Conclusión

En conclusión, el empleo de la herramienta heliodón (de base móvil y fuente móvil) fueron de gran ayuda para corroborar el análisis de las gráficas y así, identificar y dar soluciones a los diferentes problemas que presentaba la propuesta inicial del proyecto, de tal manera que se lograron seleccionar los dispositivos de control solar necesarios para lograr mitigar la incidencia solar en los horarios y fachadas más críticas, manteniendo una buena ganancia de iluminación natural así como la ganancia térmica en fechas invernales.

En general la orientación del proyecto hacía que se presentaran incidencias solares muy directas en las fachadas Este y Oeste, las cuales lograron ser solucionadas con el uso de 3 tipos de dispositivos de control solar: faldón, pórtico y repisas solares, cuyas aplicaciones fueron comprobadas por medio de un estudio solar en el software REVIT versión 2024 de Autodesk, de tal manera que ahí se pudo determinar las dimensiones y posiciones específicas de dichos dispositivos, además de comprobar que dichas soluciones funcionaron de manera correcta en cada horario y fecha crítica.

4.3. Análisis de iluminación

El análisis de iluminación es fundamental para garantizar el desempeño óptimo de los espacios en diversos contextos. Su principal objetivo es la optimización de la visibilidad, asegurando que los ambientes estén suficientemente iluminados para facilitar una buena visibilidad y minimizar la fatiga ocular, lo cual es esencial tanto en entornos laborales como en áreas públicas y residenciales (CIE, 2016).

Además, la mejora de la seguridad es una prioridad clave, ya que una iluminación adecuada puede prevenir accidentes al eliminar zonas oscuras. (IESNA, 2000). Asimismo, el análisis también juega un papel crucial en la eficiencia energética, permitiendo la evaluación y optimización de los sistemas de iluminación para reducir el consumo de energía y los costos asociados, mediante la implementación de soluciones como la iluminación LED (Rea, 2000).

Adicionalmente, asegura el cumplimiento normativo, garantizando que la iluminación se adhiera a los estándares locales e internacionales, especialmente en entornos comerciales y laborales (ASHRAE, 2016). Al mismo tiempo, en términos de confort y estética, un análisis adecuado contribuye a crear ambientes agradables y visualmente atractivos, considerando factores como el tono y la distribución de la luz (Gibson, 2009); mientras que la productividad en ambientes de trabajo también se ve influenciada por una correcta iluminación, que puede mejorar el rendimiento y el bienestar de los empleados (Hirsch, 2015).

Finalmente, el análisis de iluminación aborda el impacto ambiental al evaluar y minimizar la contaminación lumínica y promover el uso de recursos sostenibles (Peña & Sánchez, 2017). En conjunto, estos objetivos subrayan la importancia de realizar un análisis exhaustivo de la iluminación para optimizar su funcionalidad y sostenibilidad.

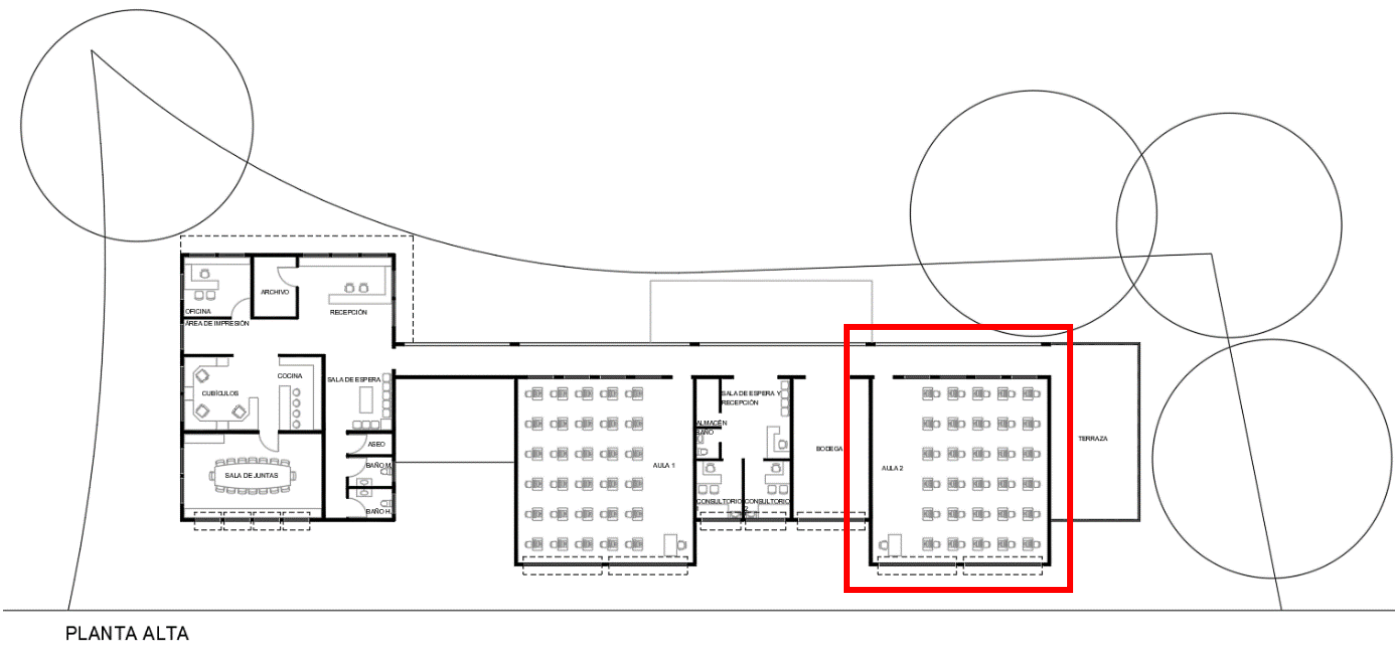
4.3.1. Confort lumínico

El confort lumínico se refiere al nivel de bienestar que experimenta una persona debido a la calidad y cantidad de la luz en un entorno. Incluye aspectos como la intensidad de la luz, el color y la distribución de la iluminación, que afectan la percepción visual y el estado de ánimo (Boyce, 2014).

Los aspectos clave del confort lumínico incluyen:

- Intensidad de la luz: la cantidad de luz disponible en un espacio, medida en lux. Una intensidad adecuada ayuda a prevenir la fatiga visual y permite realizar tareas con mayor eficacia (Boyce, 2014).
- Distribución de la luz: la manera en que la luz se distribuye en el espacio. Una distribución uniforme evita sombras duras y deslumbramientos que pueden causar incomodidad visual (Boyce, 2014).
- Temperatura del color: la tonalidad de la luz, que puede ser cálida, neutra o fría. La temperatura del color afecta el ambiente y la percepción del espacio, así como el bienestar general (Boyce, 2014).
- Deslumbramiento: el exceso de luz que puede dificultar la visión. El diseño de la iluminación debe minimizar el deslumbramiento para mejorar el confort y la seguridad visual (Boyce, 2014).

4.3.2. Área de estudio



Plano 6. Plano de planta alta. Elaboración propia.

El área de estudio es una de las aulas del centro con dimensiones de 10.15 m x 10.65 m, sin contar el pasillo que tiene 1.7 m de ancho.

Tras los análisis realizados en el heliodón, se confirmó que el proyecto cuenta, durante todo el año, con incidencia solar directa durante la mañana en la fachada Este y durante la tarde en la fachada Oeste. En consecuencia, se optó por el uso de dispositivos de control solar en ambas fachadas.

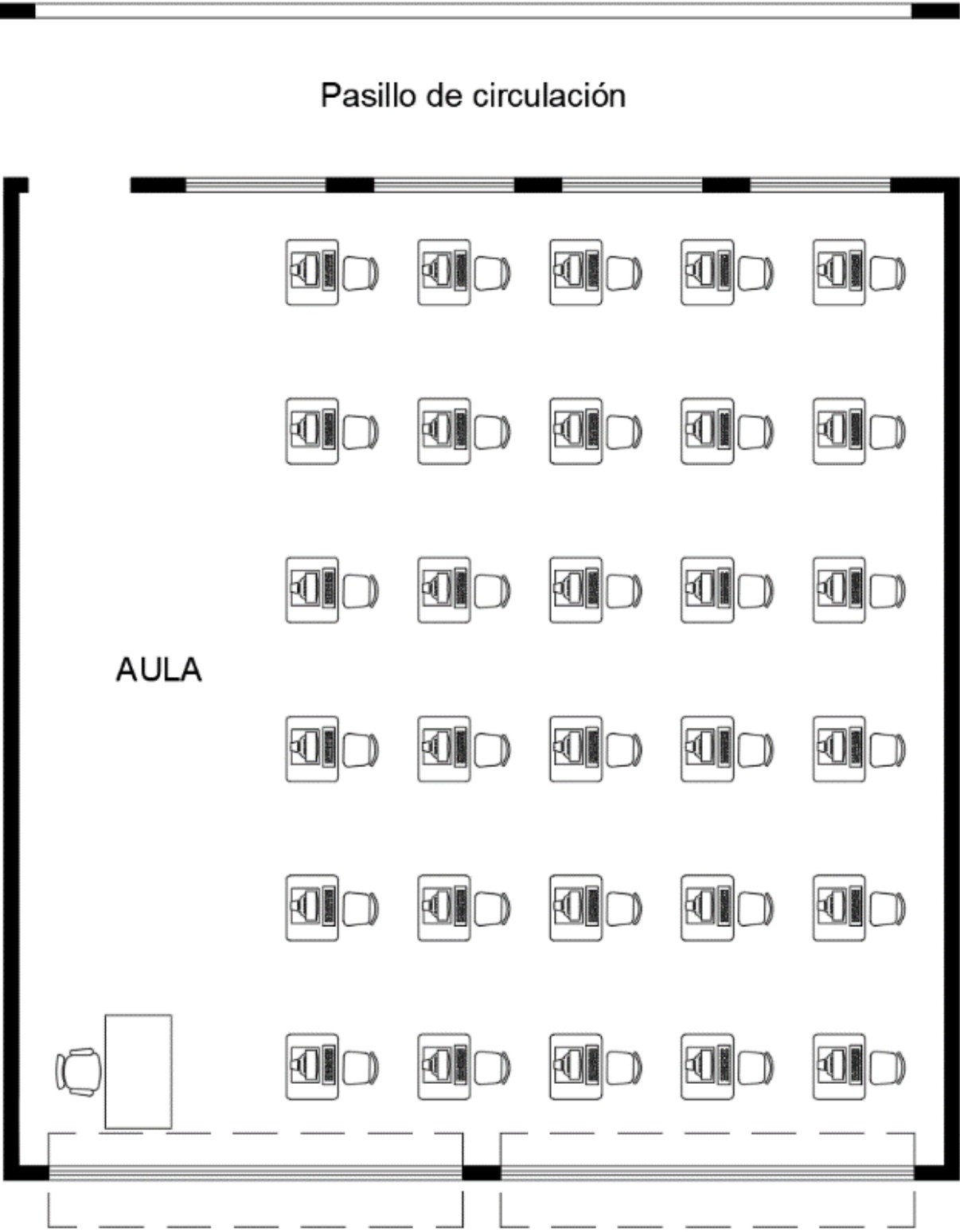
Sobre la fachada Este se proponen estantes de luz (REFERENCIA CRUZADA) con el objetivo de evitar la incidencia solar directa, pero sin dejar de ganar iluminación natural, se plantea su colocación en las ventanas a 1/3 y 2/3 de la altura, con la misma extensión de la ventana con 1 metro de ancho.

A su vez, en la fachada Oeste se cuenta con un dispositivo de control solar llamado faldón (REFERENCIA CRUZADA), para evitar sobrecalentamientos por la tarde, este se plantea de 1 metro de altura y se ubicará al borde del pasillo a una altura de 2 m sobre el nivel de piso.

Por otra parte, el centro tendrá actividades de lunes a sábado, en un horario de 09:00 a las 16:00 horas, por lo que el análisis siguiente solo se realizará dentro de las 7 horas que tendrá ocupación, las simulaciones se realizaron en los horarios 09:00, 12:00 y 15:00, debido a que son las horas de entrada, medio día y salida.

El estudio de la iluminación natural se realizó con el software Dynamic Daylighting de Andrew Marsh y en las instalaciones del cielo artificial, ubicado en el laboratorio de arquitectura bioclimática de la UAM Azcapotzalco. Este indicará, en unidades Lux, los niveles de iluminación y de esta manera saber si son los correctos o hará falta iluminación de manera artificial, de tal manera que se determine el factor de día.

Por otro lado, el análisis de iluminación artificial se realizará en el software de diseño y modelado 3D DIALux, del desarrollador alemán DIAL GmbH, el cual se emplea para la planificación, calculo, diseño y visualización de iluminación en interiores y exteriores; con este software se creará un modelo digital 3D del área para realizar una simulación a través de la cual se analizará como la luz interactúa con el entorno, asegurando el cumplimiento de las normativas de iluminación y optimizando el diseño tanto en términos estéticos como de eficiencia energética.



Plano 7. Área de estudio. Elaboración propia.

4.3.3. Normatividad

NORMATIVIDAD		
NORMA	TIPO DE INTERIOR, TAREA-ACTIVIDAD	LUX
UNE-EN 12464.1	Aula para clases nocturnas y educación de adultos	500
	Talleres de enseñanza	500
	Áreas de circulación y pasillos	100
CIE 16-1970	Aulas para clases nocturnas y educación para adultos	500
	Talleres de enseñanza	500
	Pasillos y corredores	100-200
N.T.C. del Reglamento de Construcción del Distrito Federal	Educación formal media superior y superior, y educación informal- Aulas y laboratorios	300
	Talleres de enseñanza	N/A
	Educación formal media superior y superior, y educación informal- Circulaciones	100
NOM-025-STPS-2008 Secretaría del Trabajo y Prevención Social	Talleres: áreas de empaque y ensamble aulas y oficinas.	300
	Talleres de precisión: salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios.	500
	Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas.	100

Tabla 3. Normatividad en Aulas. Elaboración propia

4.3.4. Análisis de iluminación natural

4.3.4.1. Análisis en Dynamic Daylightning de Andrew Marsh

La aplicación Dynamic Daylighting, desarrollada por Andrew Marsh, ofrece una solución avanzada para la evaluación y planificación de la iluminación natural en los espacios arquitectónicos. Este software permite a los usuarios simular cómo la luz natural incide en un edificio en diferentes momentos del día y del año, proporcionando datos cruciales sobre la distribución e intensidad de la luz (Marsh, s.f.). A través de su interfaz web accesible, los arquitectos y diseñadores pueden analizar estas simulaciones para optimizar el diseño arquitectónico, maximizando la entrada de luz natural y reduciendo la dependencia de la iluminación artificial, lo que contribuye a una mayor eficiencia energética (Marsh, s.f.).

Además, la aplicación facilita la generación de informes detallados y visualizaciones gráficas, que ayudan a interpretar los resultados y realizar ajustes en el diseño para mejorar el confort visual y cumplir con los estándares de sostenibilidad (Marsh, s.f.).

En conjunto, Dynamic Daylighting es una herramienta esencial para la planificación de soluciones sostenibles y el cumplimiento de normativas relacionadas con la iluminación natural en edificaciones, promoviendo prácticas de diseño más eficientes y respetuosas con el medio ambiente.

Por otro lado, los análisis se realizan tomando en cuenta las fechas clave durante los equinoccios (alrededor del 20 de marzo y el 23 de septiembre) y los solsticios (alrededor del 21 de junio y el 21 de diciembre) ya que representan los momentos en los que la luz natural alcanza condiciones extremas en términos de duración e intensidad. Los equinoccios corresponden a los días en los que el día y la noche tienen aproximadamente la misma duración, proporcionando una referencia para la iluminación equilibrada durante todo el año. Los solsticios, por otro lado, marcan los días con la mayor y menor duración de luz diurna, lo que es crucial para evaluar el comportamiento de la luz natural en su punto máximo y mínimo (Kleindienst, 2003).

El rango de iluminación va desde los 0 hasta los 1,500 lux, señalados en una escala de colores de fríos a cálidos respectivamente, yendo desde tonos morados, azules y verdes hacia tonos naranja, rojo y rosa.

4.3.4.1.1. Comportamiento en equinoccios

21 de marzo y 22 de septiembre

09:00

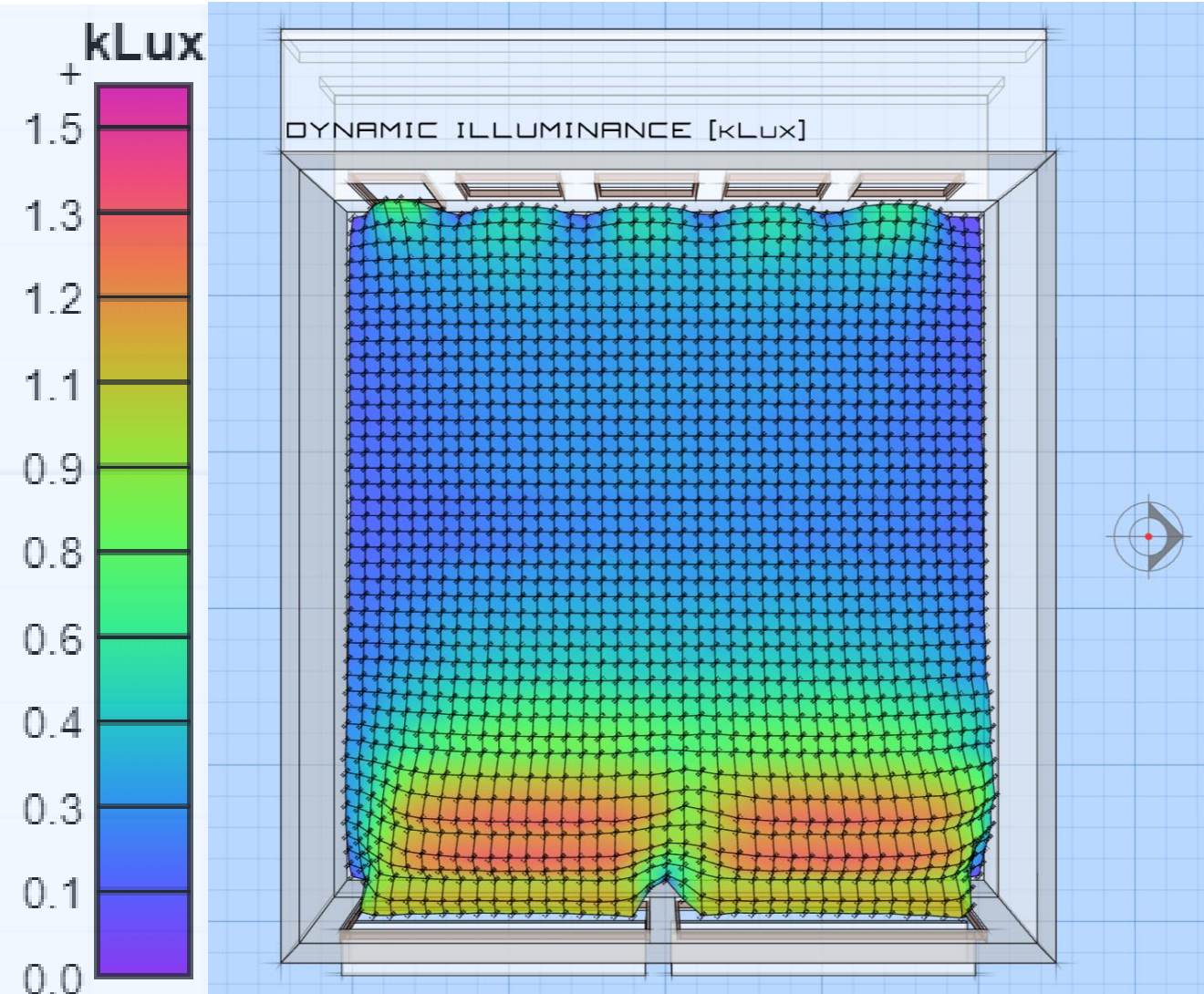


Figura 22 Análisis 09:00 hr - Andrew Marsh. Elaboración propia.

Se observa que en el área de la fachada Este se registra un máximo de 1,300 lux, al centro de la habitación se registra una iluminación de entre 300 y 400 lux, por último, en la facha Oeste, debido al pasillo y al control solar, se registra un máximo de 800 lux.

12:00

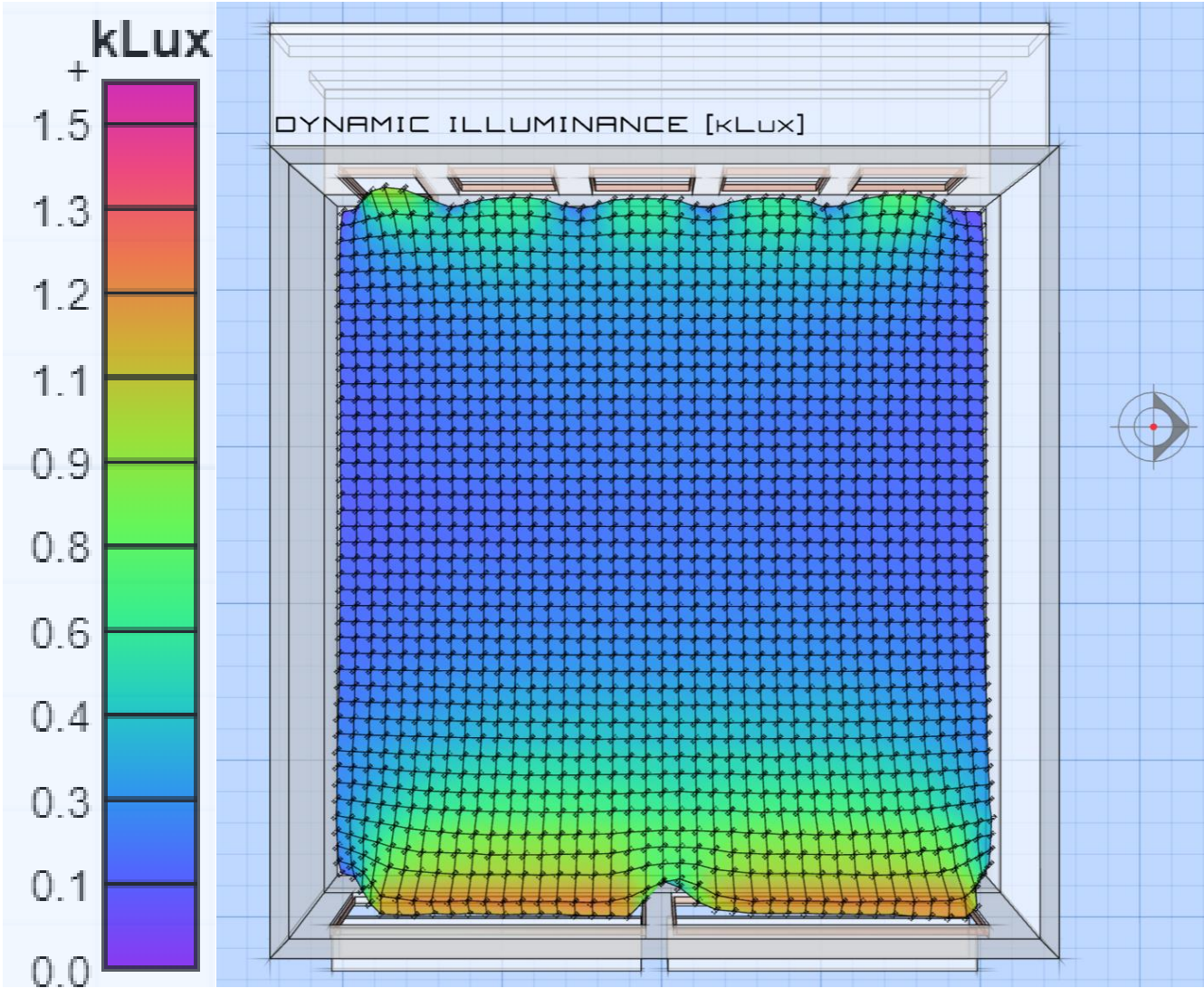


Figura 23 Análisis 12:00 hr - Andrew Marsh. Elaboración propia.

Se observa que en el área de la fachada Este se registra un máximo de 1,200 lux, al centro de la habitación se registra una iluminación de entre 300 y 400 lux, por último, en la facha Oeste, debido al pasillo y al control solar, se registra un máximo de 600 lux.

15:00

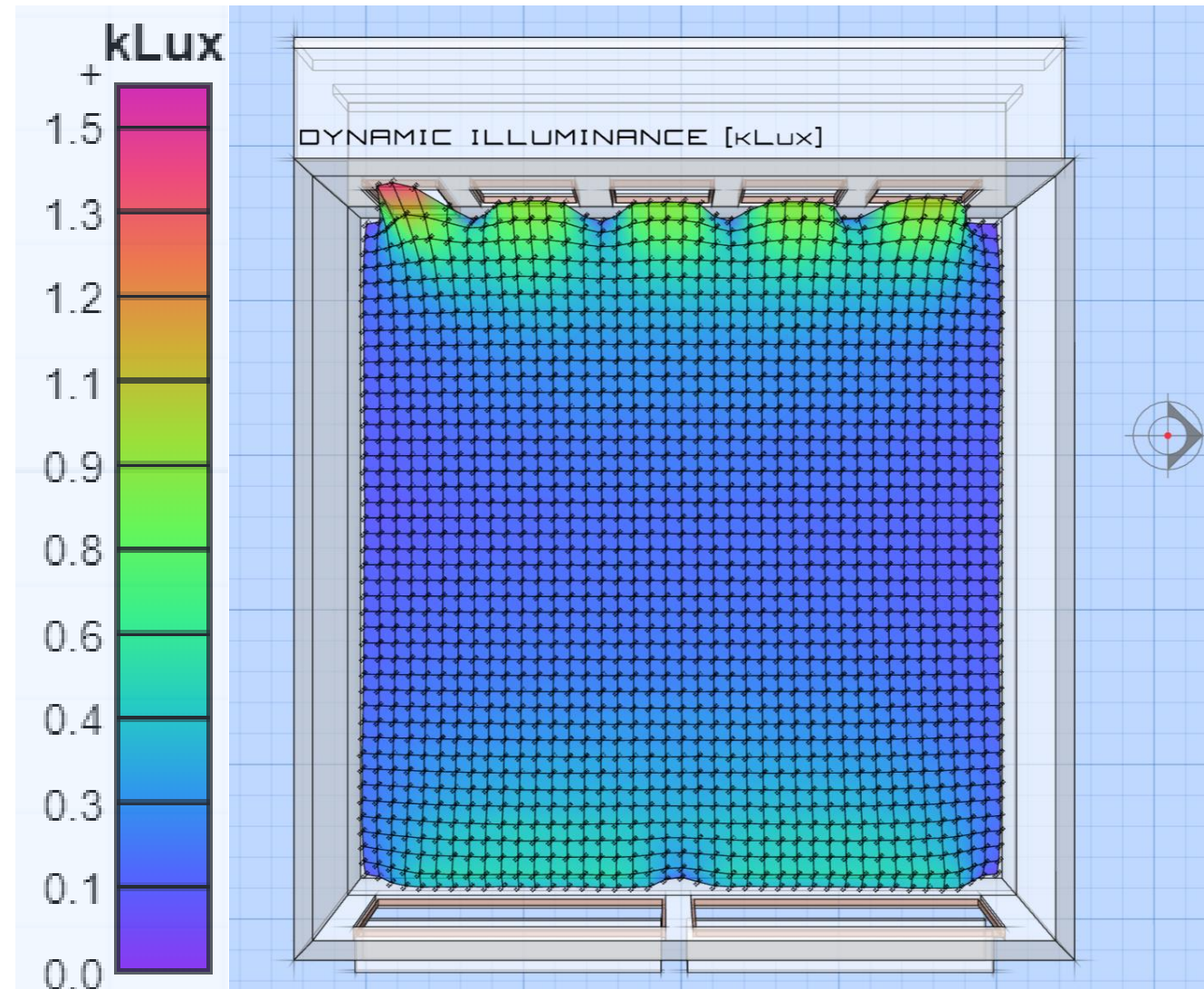


Figura 24 Análisis 15:00 hr - Andrew Marsh. Elaboración propia.

Se observa que en el área de la fachada Este se registra un máximo de 400 lux, al centro de la habitación se registra una iluminación de entre 300 y 400 lux, por último, en la facha Oeste, debido al pasillo y al control solar, se registra un máximo de 900 lux.

4.3.4.2. Comportamiento en solsticio de verano

21 de junio

09:00

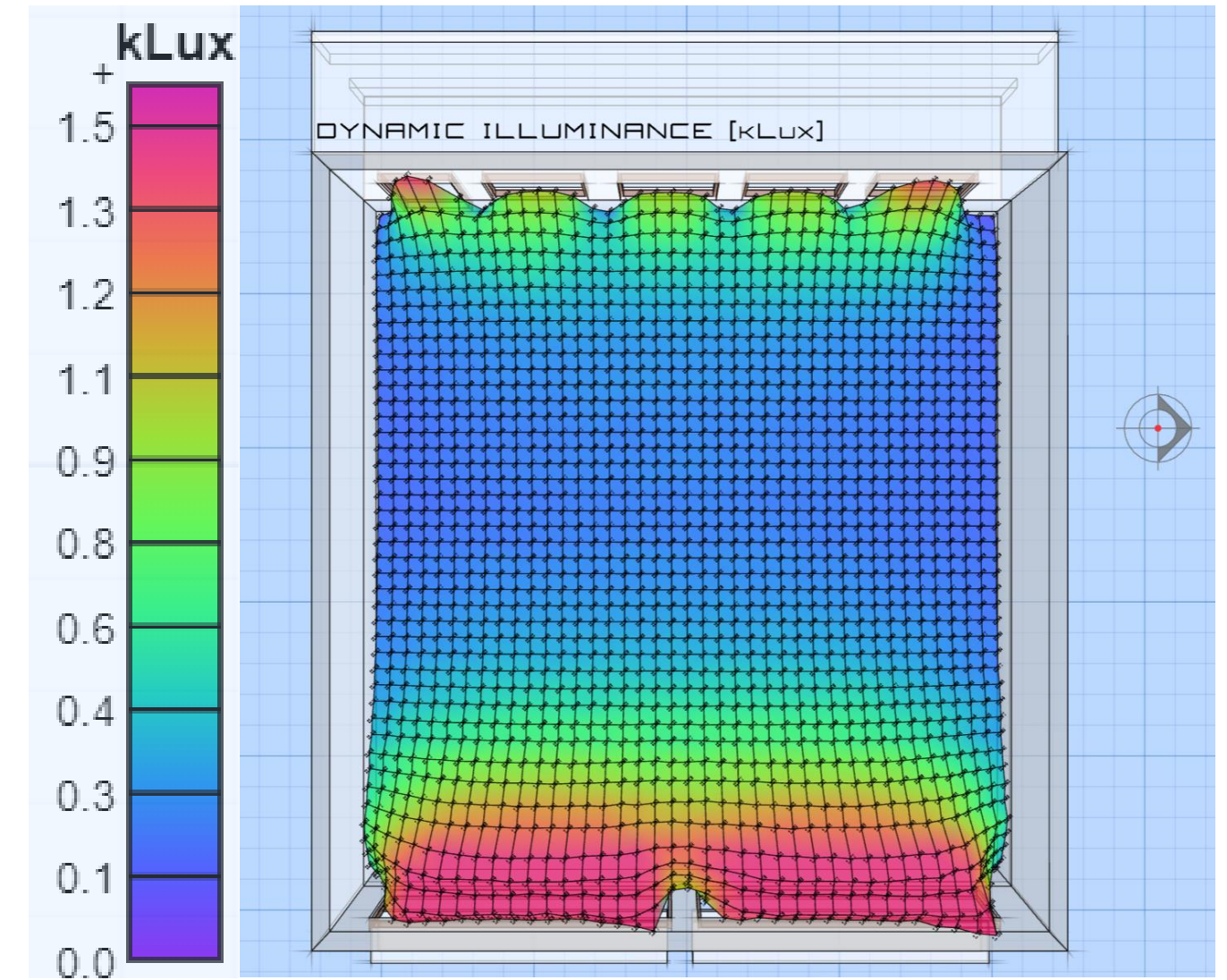


Figura 25 Análisis 09:00 hr - Andrew Marsh. Elaboración propia.

Se observa que en el área de la fachada Este se registra un máximo de 1,500 lux, al centro de la habitación se registra una iluminación de entre 300 y 400 lux, por último, en la facha Oeste, debido al pasillo y al control solar, se registra un máximo de 1,100 lux.

12:00

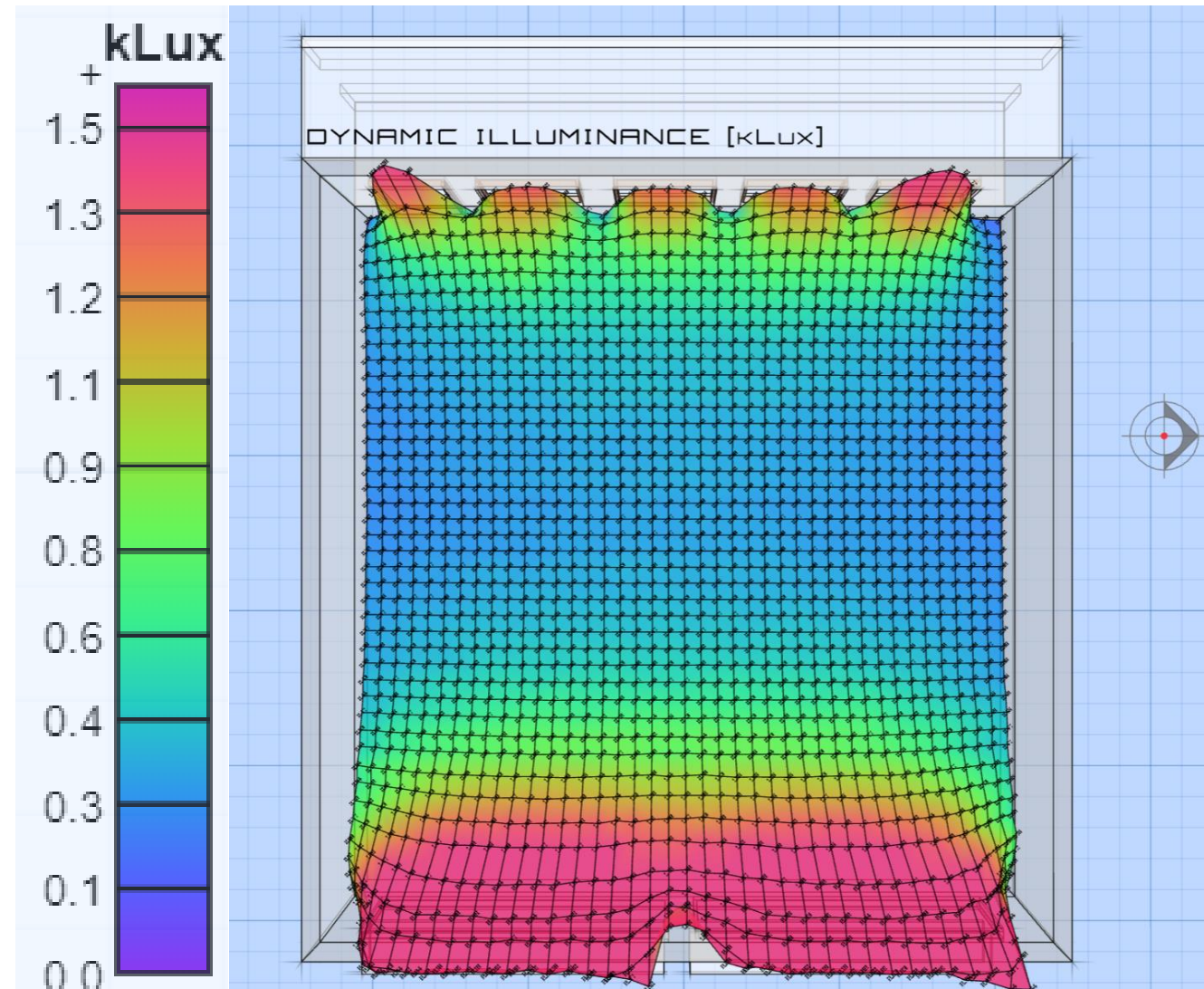


Figura 26 Análisis 12:00 hrs - Andrew Marsh. Elaboración propia.

Se observa que en el área de la fachada Este se registra un máximo de 1,500 lux, al centro de la habitación se registra una iluminación de entre 400 y 600 lux, por último, en la facha Oeste, debido al pasillo y al control solar, se registra un máximo de 1,300 lux.

15:00

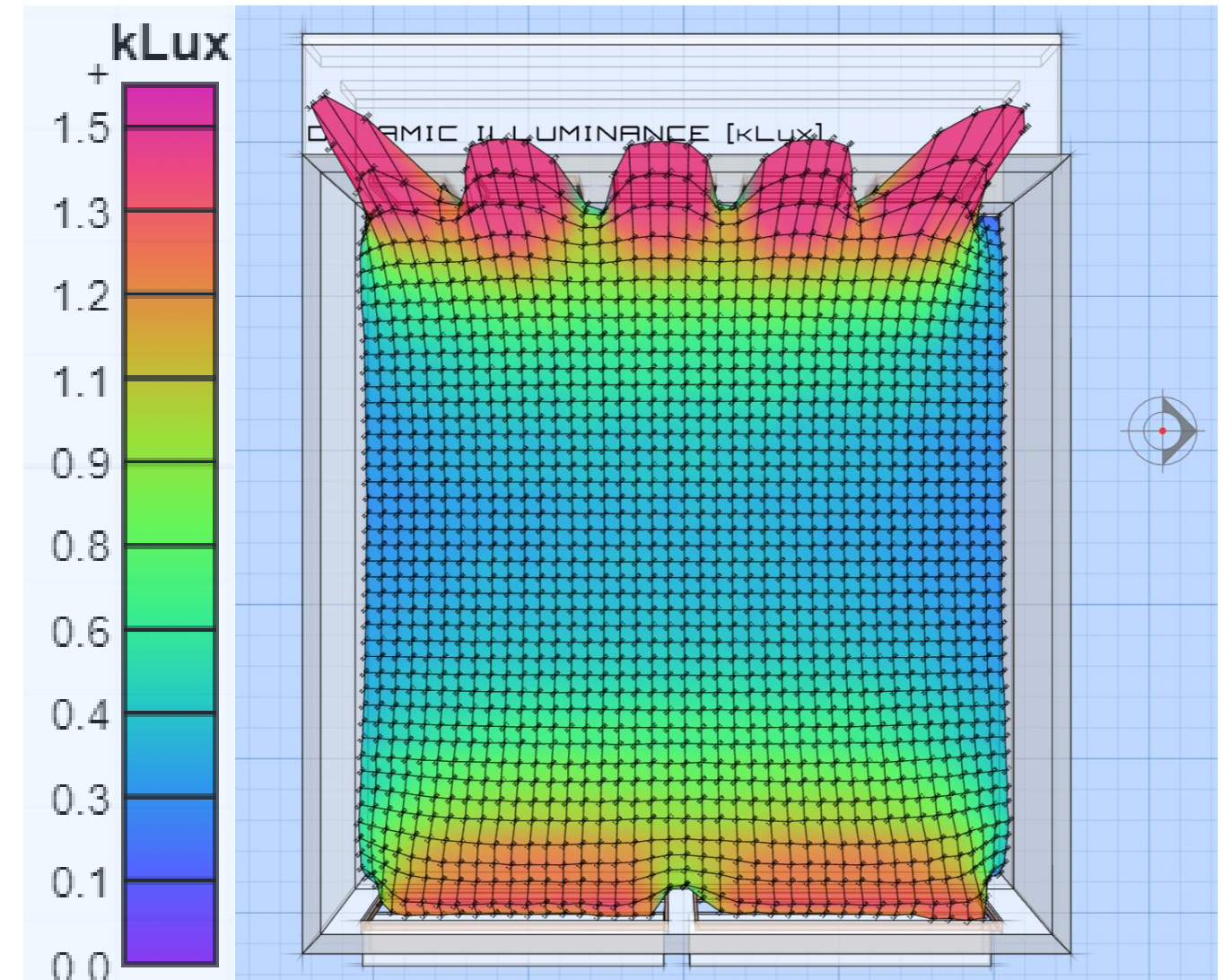


Figura 27 Análisis 15:00 hrs - Andrew Marsh. Elaboración propia.

Se observa que en el área de la fachada Este se registra un máximo de 1,200 lux, al centro de la habitación se registra una iluminación de entre 400 y 600 lux, por último, en la facha Oeste, debido al pasillo y al control solar, se registra un máximo de 1,600 lux.

4.3.4.3. Análisis de Iluminación Natural en Cielo Artificial

Un análisis de iluminación en el cielo artificial se centra en evaluar y optimizar la iluminación de espacios interiores a través de la simulación y el control de la luz artificial para imitar la luz natural o para crear ambientes específicos. La simulación ayuda a crear ambientes que imitan el ciclo diurno y estacional de la luz natural, mejorando la experiencia y el bienestar de los usuarios (IESNA, 2000).

Además, este tipo de análisis tiene varias aplicaciones y beneficios clave como la Optimización del Confort Visual ya que ayuda a ajustar los niveles de iluminación para maximizar el confort visual. Esto incluye la regulación de la intensidad y la distribución de la luz para evitar deslumbramientos, sombras excesivas o contrastes incómodos, que pueden afectar negativamente la percepción visual y el bienestar de los ocupantes (Rea, 2000).

Asimismo, ayuda a la Eficiencia Energética pues tras el análisis te permite definir que soluciones de iluminación artificial se pueden implementar para que sean energéticamente eficientes. Esto incluye el uso de tecnologías de iluminación de bajo consumo, como LED, y sistemas de control inteligentes que ajustan la iluminación según las necesidades del momento, lo que reduce el consumo energético y los costos operativos (CIE, 2016).

Por otro lado, ayuda al cumplimiento de normativas y estándares de iluminación aplicables, que pueden incluir requisitos específicos para la intensidad de la luz, uniformidad y eficiencia energética. Esto es crucial en entornos comerciales y laborales para cumplir con las regulaciones locales e internacionales (ASHRAE, 2016).

4.3.4.3.1. Modelo de cielo artificial

El cielo artificial de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) en Azcapotzalco representa una avanzada instalación diseñada para la simulación precisa de la luz natural en un entorno controlado. Utilizando tecnologías de iluminación de última generación, como paneles LED y lámparas fluorescentes, este sistema permite replicar las condiciones de la luz durante diferentes momentos del día y del año, incluyendo variaciones en la intensidad y la temperatura del color (García, 2017).

La instalación está equipada con controles dinámicos que facilitan ajustes en la intensidad y el color de la luz, permitiendo una simulación detallada de escenarios que van desde amaneceres hasta atardeceres, y condiciones meteorológicas variadas (Rodríguez, 2018). Además, el cielo artificial integra una estructura que imita el cielo natural, proporcionando una distribución uniforme de la luz y reduciendo sombras y deslumbramientos.

Esta herramienta es esencial para la investigación y el diseño en iluminación, permitiendo evaluar el impacto de diferentes configuraciones en el confort visual y el rendimiento de los espacios, así como desarrollar nuevas tecnologías y métodos de diseño (García, 2017; Rodríguez, 2018)

4.3.4.3.2. Procedimiento

En función de este análisis, las condiciones del cielo artificial simulan un cielo cubierto para que de esta manera se consideren las menores condiciones de iluminación natural. Se utilizó un luxómetro digital de pantalla LCD marca LiebeWH modelo LX1330B, con un rango de medición desde 0 a 200 000 lux.

Para ello se realizó un modelo tridimensional calibrado a escala 1:25 m del área de estudio a la cual se le realizaron aperturas en un costado, de tal manera que se pudiera ingresar y colocar el luxómetro en los diferentes puntos de medición, estos se designaron mediante un sistema de coordenadas procurando que abarcaran toda la superficie del aula, de tal manera que se obtuviera un análisis más detallado del espacio, resultando en 42 puntos, a cada 1.4 y 1.7 metros entre sí, (x-y respectivamente).

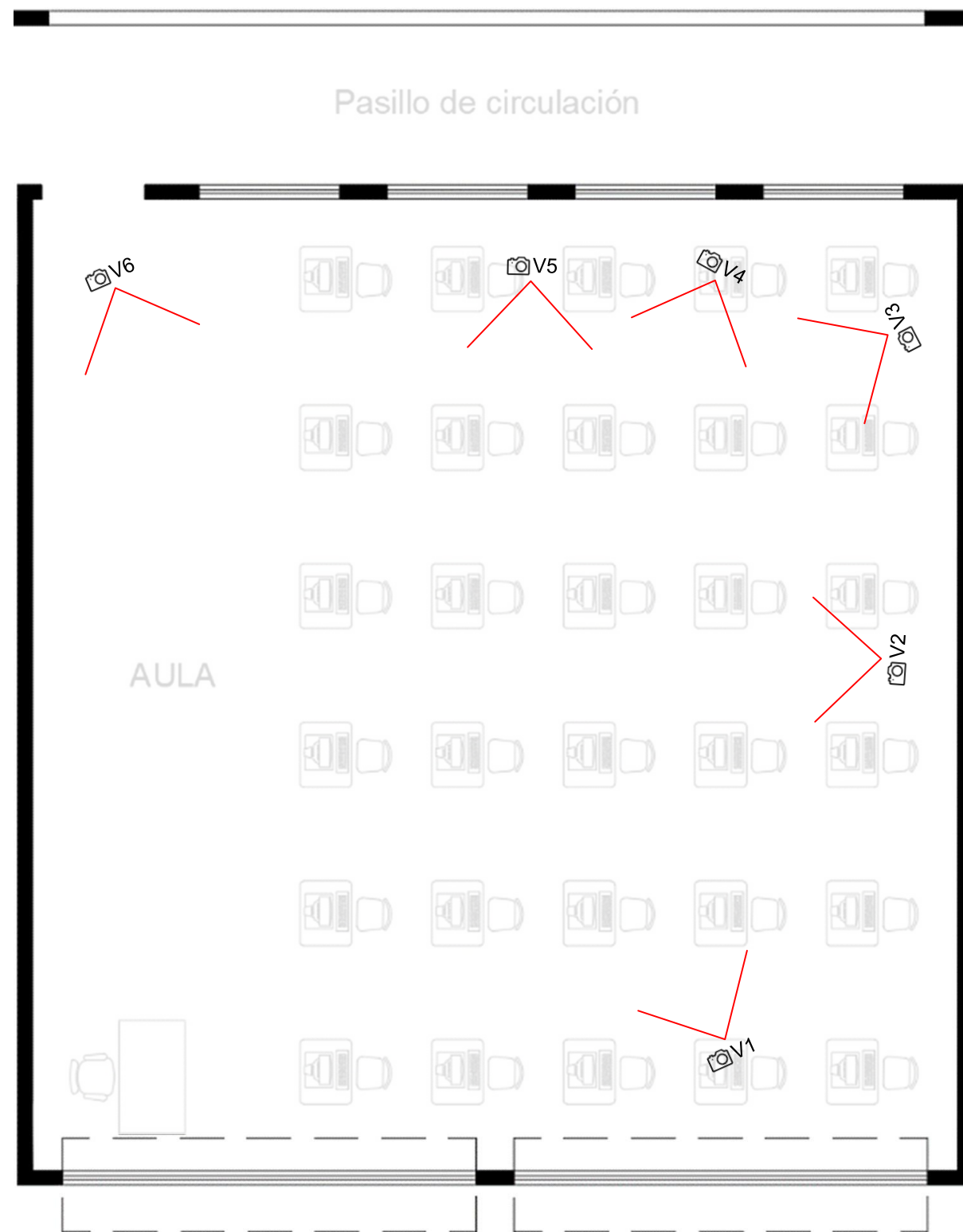
Posteriormente, se procedió a tomar las medidas en cada punto. durante este proceso se tomó la medida de lux exterior al inicio y al final de cada conjunto lineal de puntos, en su coordenada x, mientras que se tomaba una medición constante por medio de otro luxómetro colocado en la parte superior del modelo, con la finalidad de obtener el factor de día:



Fotografía 32. Luxómetro utilizado. FUENTE Amazon.com.mx

2. Ecuación de Factor de día

$$\text{Factor de día} = \frac{E_{\text{interior}} \times 100}{E_{\text{exterior}}}$$



Plano 8. Distribución de fotografías en cielo artificial. Elaboración propia



Fotografía 33. Vista 1 hacia fachada Oeste del modelo calibrado a escala



Fotografía 34. Vista 2 hacia fachada Sur del modelo calibrado a escala (1)



Fotografía 35. Vista 3 hacia fachada Sur del modelo calibrado a escala (2)



Fotografía 37. Vista 5 hacia fachada Este del modelo calibrado a escala (2)

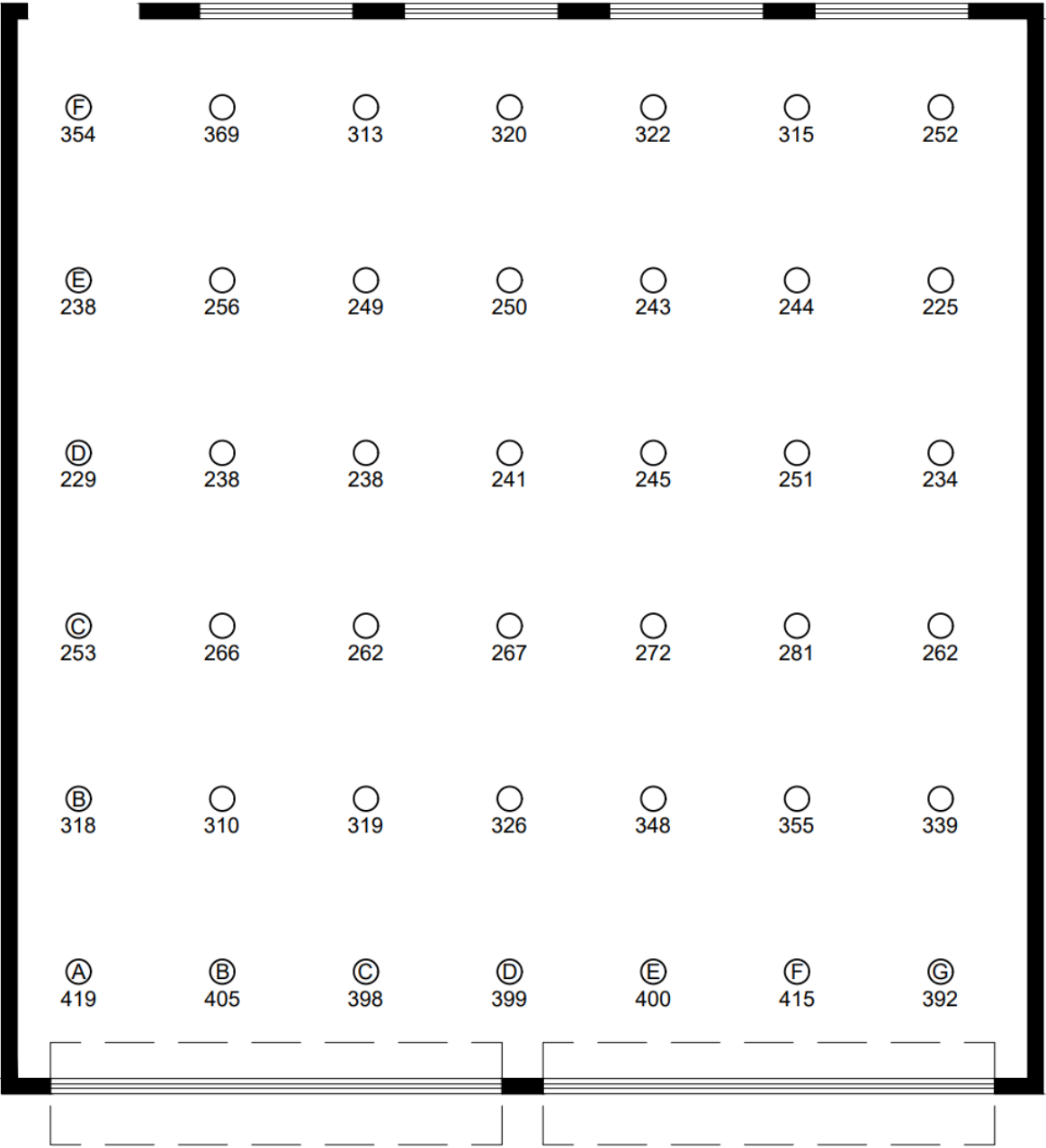


Fotografía 36. Vista 4 hacia fachada Este del modelo calibrado a escala (1)



Fotografía 38. Vista 6 hacia fachada Este del modelo calibrado a escala (3)

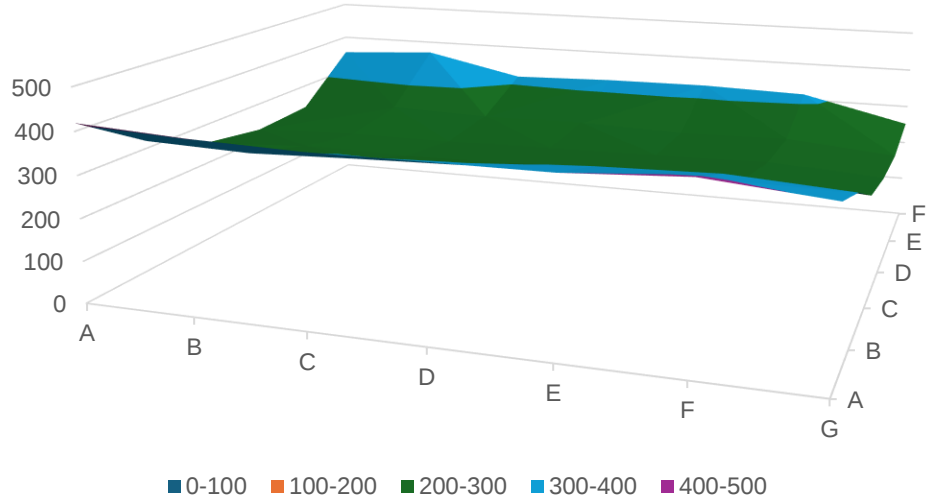
4.3.4.3.3. Resultados



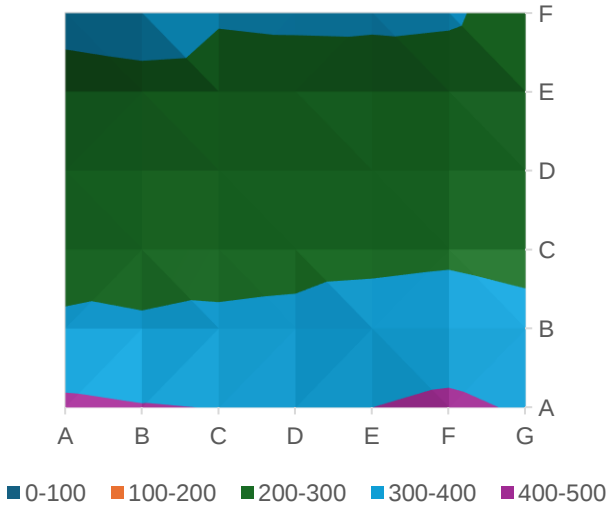
Plano 9. Puntos de medición en Aula. Elaboración propia

LUX INTERIORES						
	A	B	C	D	E	F
A	419	318	253	229	238	354
B	405	310	266	238	256	369
C	398	319	262	238	249	313
D	399	326	267	241	250	320
E	400	348	272	245	243	322
F	415	355	281	251	249	315
G	392	339	262	234	225	252

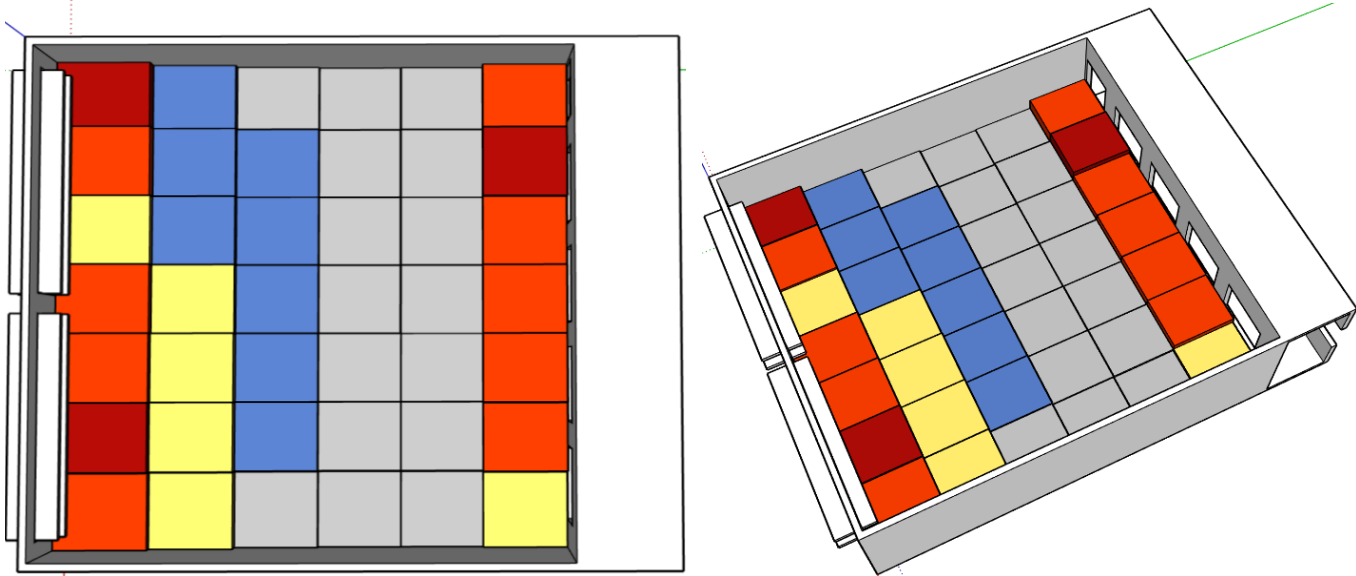
Tabla 4. Lux/Puntos de medición. Elaboración propia



Gráfica 27. Lux interiores-Tridimensional. Elaboración propia



Gráfica 28. Lux interiores-Plano. Elaboración propia



Gráfica 29. Medición de lux al interior, representación plana y tridimensional. Elaboración propia

Tras realizar las mediciones se observó que en el centro del aula se registran valores de entre los 200 a 300 lux; hacia los extremos, en la facha Este se registran valores de 400 a 500 lux y en la fachada Oeste se registran valores de 300 a 400 lux.

LUX EXTERIOR PROMEDIO						
	A	B	C	D	E	F
A	6390	6370	6340	6360	6350	6320
B	6390	6370	6340	6360	6350	6320
C	6390	6370	6340	6360	6350	6320
D	6390	6370	6340	6360	6350	6320
E	6390	6370	6340	6360	6350	6320
F	6390	6370	6340	6360	6350	6320
G	6390	6370	6340	6360	6350	6320

Tabla 5. Medición de lux en exterior. Elaboración propia

En cuanto a la medición de la luz exterior promedio todos los valores se asemejan debido a que el cielo artificial es un ambiente controlado en el cual solo influyen los sujetos presentes y su ubicación dentro del espacio durante la medición, teniendo un valor promedio de 6,350 lux.

FACTOR DE DÍA						
	A	B	C	D	E	F
A	6.56	4.99	3.99	3.60	3.75	5.60
B	6.34	4.87	4.20	3.74	4.03	5.84
C	6.23	5.01	4.13	3.74	3.92	4.95
D	6.24	5.12	4.21	3.79	3.94	5.06
E	6.26	5.46	4.29	3.85	3.83	5.09
F	6.49	5.57	4.43	3.95	3.92	4.98
G	6.13	5.32	4.13	3.68	3.54	3.99

Tabla 6. Cálculo de Factor de día. Elaboración propia

El "factor de día" es un concepto utilizado para evaluar la cantidad de luz natural que ingresa a un espacio interior en comparación con la luz disponible en el exterior. Este se expresa como un porcentaje y se calcula dividiendo la iluminancia dentro de un punto específico de un edificio por la iluminancia en un punto al aire libre bajo un cielo cubierto (Mardaljevic, 2011).

Es una herramienta esencial en el diseño arquitectónico para asegurar que los interiores reciban suficiente luz natural, lo que puede mejorar el confort visual y reducir la necesidad de iluminación artificial (Reinhart & Walkenhorst, 2001).

Según CIBSE (2002), un factor de día del 2% al 5% es considerado adecuado para espacios de trabajo, aunque valores más altos pueden generar deslumbramiento, mientras que valores más bajos indican que el espacio puede estar poco iluminado. Factores como el tamaño y la ubicación de las ventanas, la reflectancia de las superficies internas, y las obstrucciones externas influyen significativamente en el cálculo del factor de día (Littlefair, 1991).

Lo que se puede observar en la tabla numero 4 es que la mayor parte del aula se encuentra dentro del rango aceptable de luz natural, a excepción de los valores obtenidos en la columna A correspondiente a la fachada Este los cuales están sobre dicho rango, sin embargo, esta es una iluminación controlada por medio de los dispositivos solares “repisas de luz”, los cuales dirigen la luz hacia el techo disminuyendo la posibilidad de deslumbramientos y ayudando a distribuir la luz dentro del espacio.

4.3.5. Análisis de Iluminación Artificial

La iluminación artificial se refiere al uso de fuentes de luz creadas por el hombre para iluminar espacios y objetos. A diferencia de la iluminación natural, que proviene del sol, la artificial es generada por diferentes medios tales como bombillas, luces fluorescentes y LED, entre otros (Mikkelson & Phillips, 2021). Estas fuentes son fundamentales para suplir la falta de luz natural y proporcionar visibilidad en diversos entornos.

Existen varias fuentes principales de iluminación artificial:

- Lámparas Incandescentes: Utilizan un filamento de tungsteno que se calienta hasta emitir luz. Aunque su calidad de luz es aceptable y el costo inicial es bajo, son menos eficientes energéticamente y tienen una vida útil relativamente corta (Mikkelson & Phillips, 2021).
- Lámparas de descarga, por ejemplo, las fluorescentes, que funcionan mediante la excitación de un gas (mercurioso) que emite luz ultravioleta, la cual se convierte en luz visible gracias a un recubrimiento fluorescente en el interior del tubo. Son más eficientes que las incandescentes y tienen una vida útil más prolongada (Mikkelson & Phillips, 2021).
- LED (Diodos Emisores de Luz): Utilizan semiconductores para emitir luz. Son altamente eficientes, tienen una larga vida útil y producen menos calor en comparación con otras fuentes, además de permitir un control más preciso del color y la intensidad de la luz (Mikkelson & Phillips, 2021).

4.3.5.1. Análisis

4.3.5.1.1. Aula

Acorde a la normatividad, se requieren 500 lux en aulas para talleres de enseñanza y educación para adultos, de los establecimientos educativos. Procurando que la iluminación sea controlable.

Para el espacio del aula se han dispuesto 12 luminarias de tonos blancos fríos, de 43.5 watts marca Phillips, modelo SM155C, se colocaron con una distribución de 3 x 3 en los ejes “X” y “Y”

respectivamente, con el objetivo de cubrir la mayor área y alcanzar la cantidad necesaria de lux en ese espacio para que los alumnos puedan desarrollar sus tareas y trabajos sin problema.

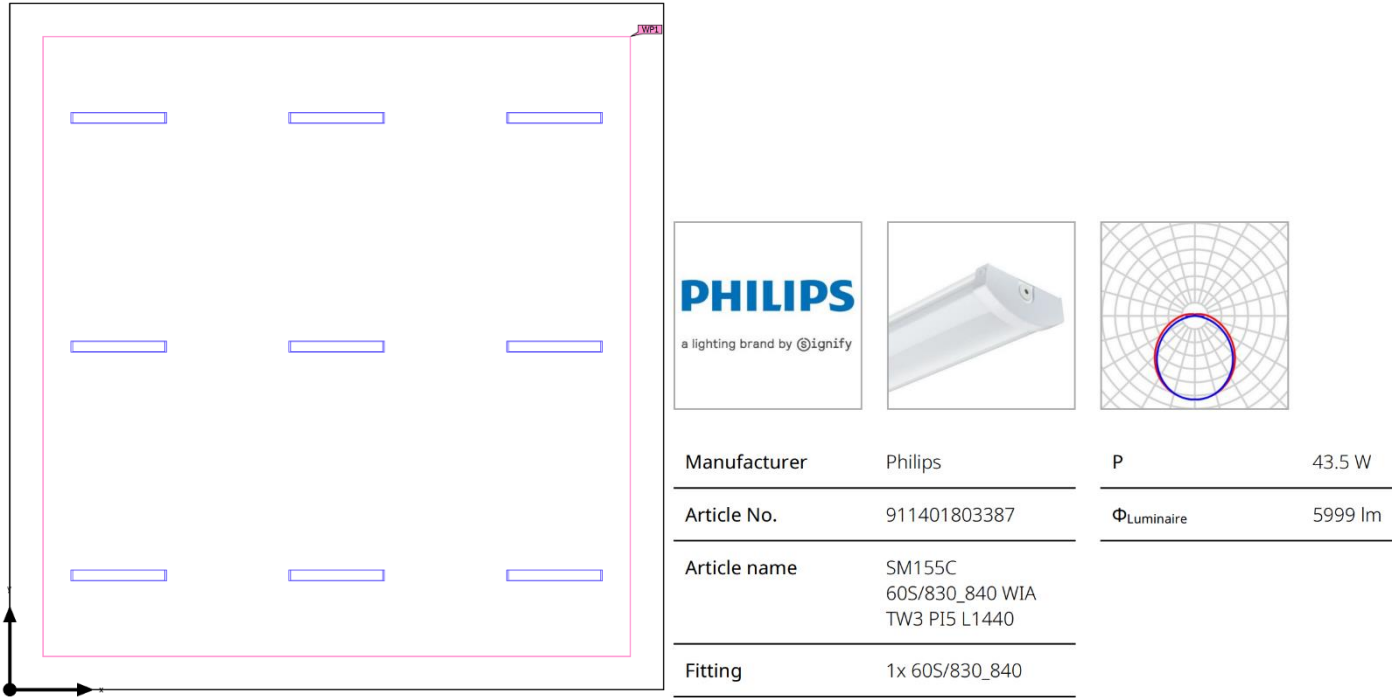


Figura 28. Plano de distribución de luminarias en aula y luminaria seleccionada.

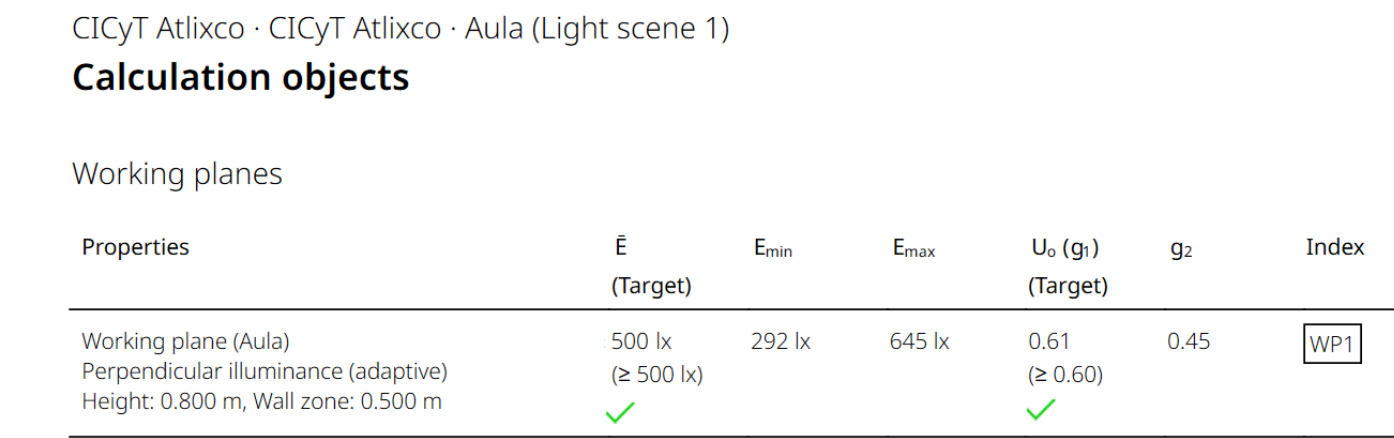


Figura 29. Resultado de cálculo de iluminación en el aula. Fuente DIALux

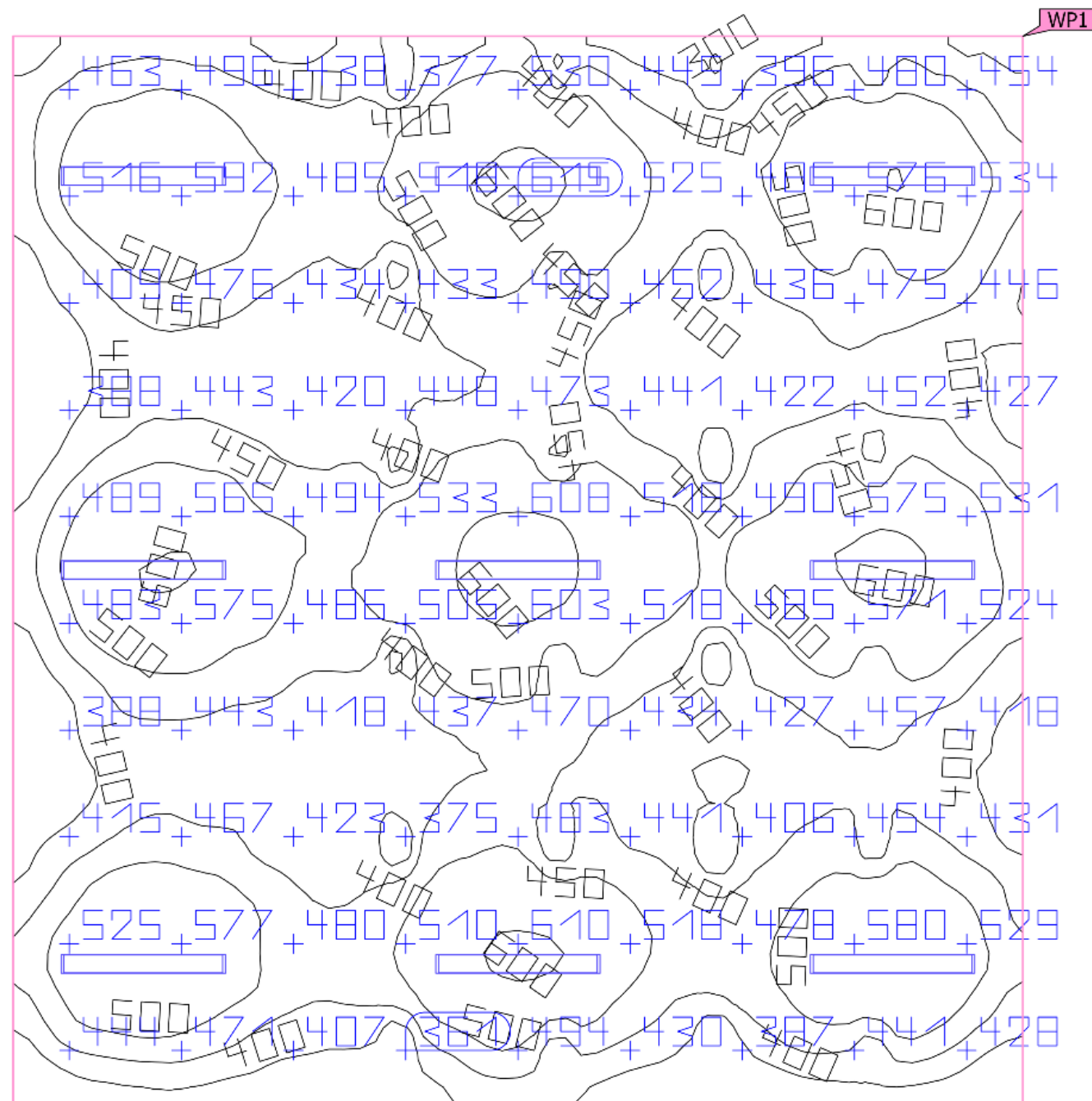


Figura 30. Esquema de distribución de lux en el Aula.

Una vez realizado el análisis lumínico con el software DIALux y gracias a la selección de luminarias, se alcanzan a registrar niveles de iluminación de entre los 500 a 600 lux, cumpliendo con los requerimientos para que se pueda ocupar el espacio y trabajar en el de manera eficiente y sin afectaciones a la salud de los usuarios.

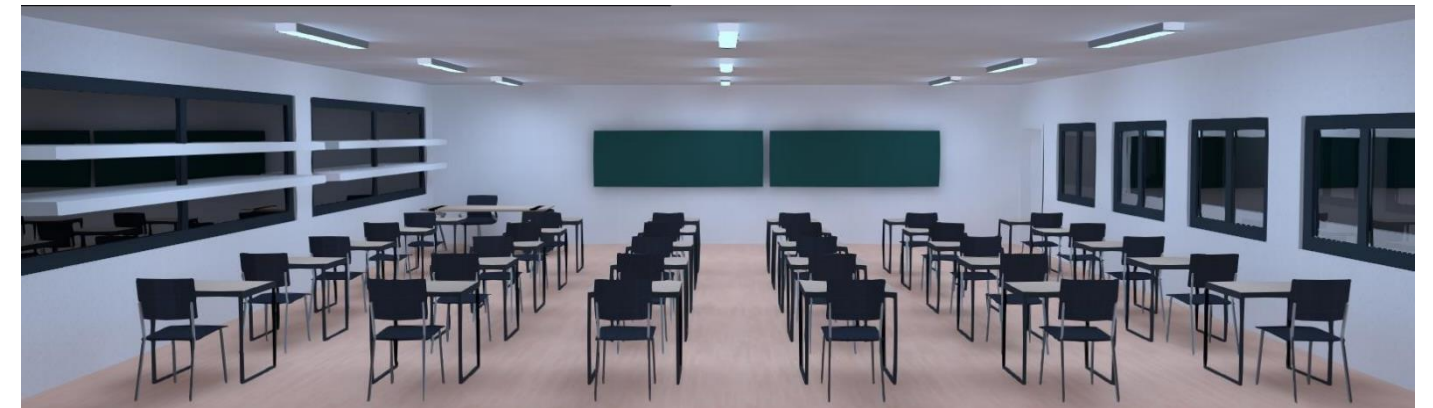


Figura 31. Vista del espacio de aula. Renderizado en DIALux

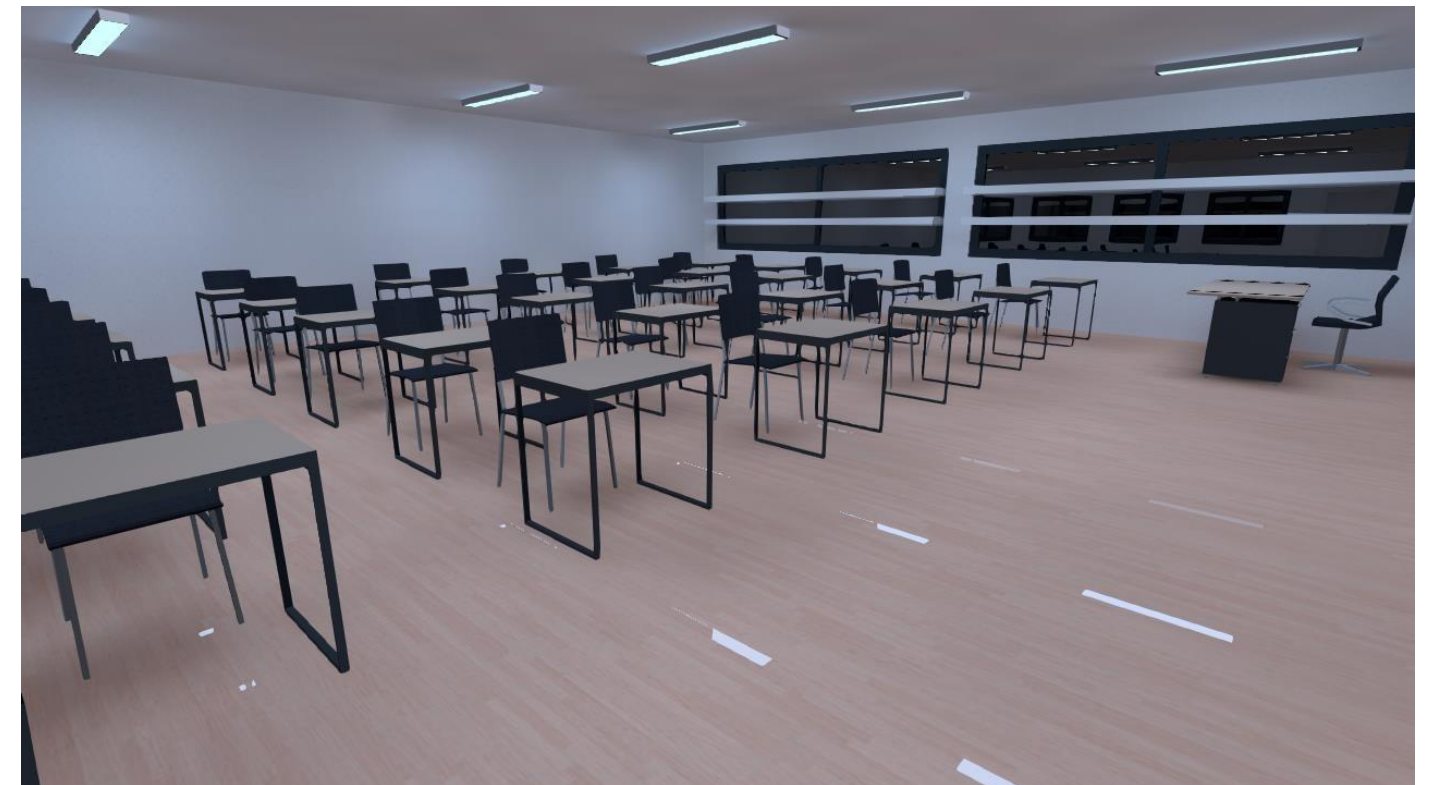


Figura 32. Vista del espacio de aula. Renderizado en DIALux



Figura 33. Vista del espacio de aula. Renderizado en DIALux

4.3.5.1.2. Pasillo

Para el espacio del pasillo se han dispuesto 3 luminarias LED de tonos blancos fríos, de 17 watts marca Phillips, modelo BN126C LED20S/830, se colocaron con una distribución en hilera una tras otra en el eje “X”.

Con el objetivo de cubrir la mayor área, alcanzar la cantidad necesaria de lux para ese espacio y que el pasillo no se convierta en circulación oscura o en penumbra.

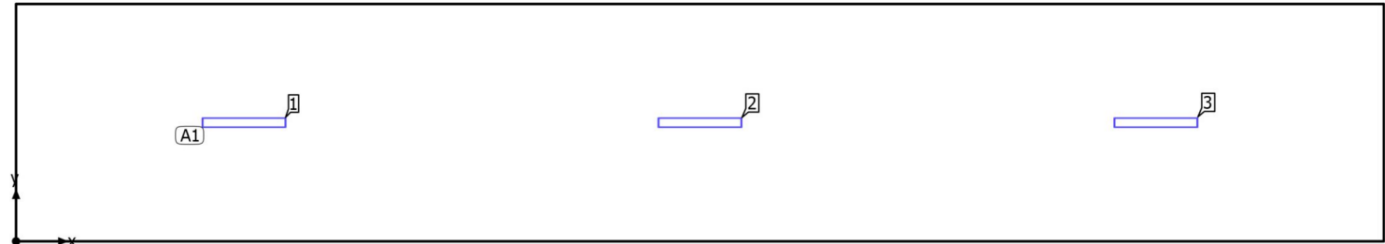


Figura 34. Plano de distribución de luminarias en pasillo. DIALux

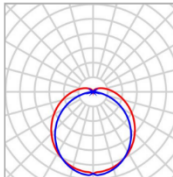
 a lighting brand by @iGnify			
Manufacturer	Philips	P	17.0 W
Article No.	911401833684	Φ _{Luminaire}	2000 lm
Article name	BN126C LED20S/830 PSU L600		
Fitting	1x 20S/830		

Figura 35. Luminaria seleccionada para pasillo. DIALux

CICyT Atlixco · CICyT Atlixco · Pasillo (Light scene 1)

Calculation objects

Working planes

Properties	$\bar{E}$ (Target)	E_{min}	E_{max}	$U_o (g_1)$ (Target)	g_2	Index
Working plane (Pasillo) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 0.000 m, Wall zone: 0.255 m	177 lx (≥ 100 lx) ✓	102 lx	227 lx	0.58 (≥ 0.40) ✓	0.45	WP2

Figura 36. Resultado de cálculo de iluminación en pasillo. Fuente DIALux

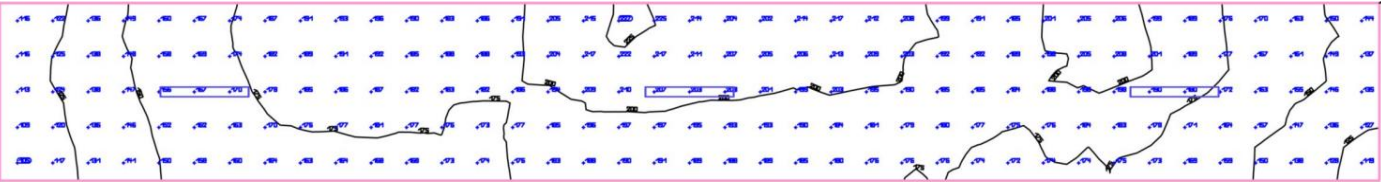


Figura 37. Esquema de distribución de lux en pasillo.

Según la Norma Europea UNE-EN 12464.1, se requieren 100 lux en áreas y pasillos, de los establecimientos educativos y zonas de tránsito. Procurando que la iluminación pueda ser controlable.

Una vez realizado el análisis lumínico con el software DIALux con la selección de luminarias, se registran niveles de iluminación entre 100 y 200 lux, cumpliendo con los requerimientos para circular en el espacio con iluminación suficiente..

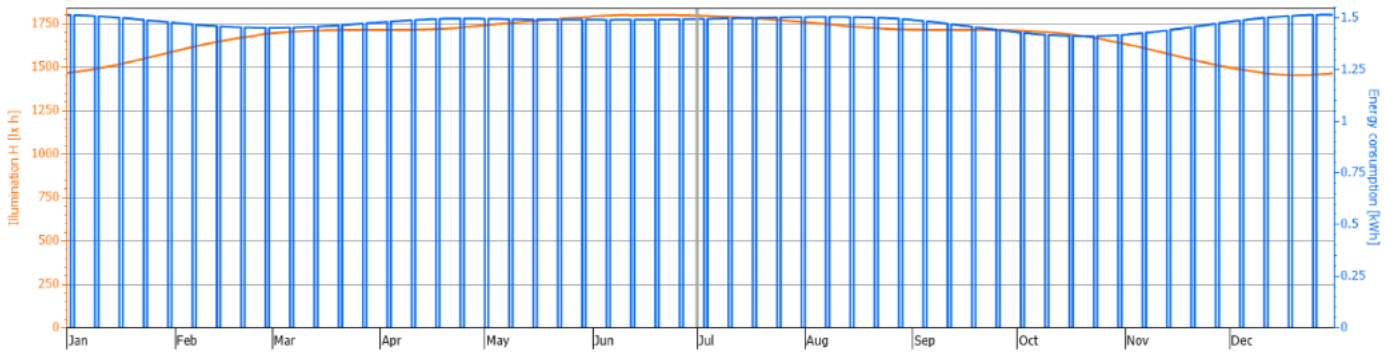


Figura 38. Vista del espacio de pasillo. Renderizado en DIALux



Figura 39. Vista del espacio de pasillo. Renderizado en DIALux

4.3.5.2. Eficiencia energética



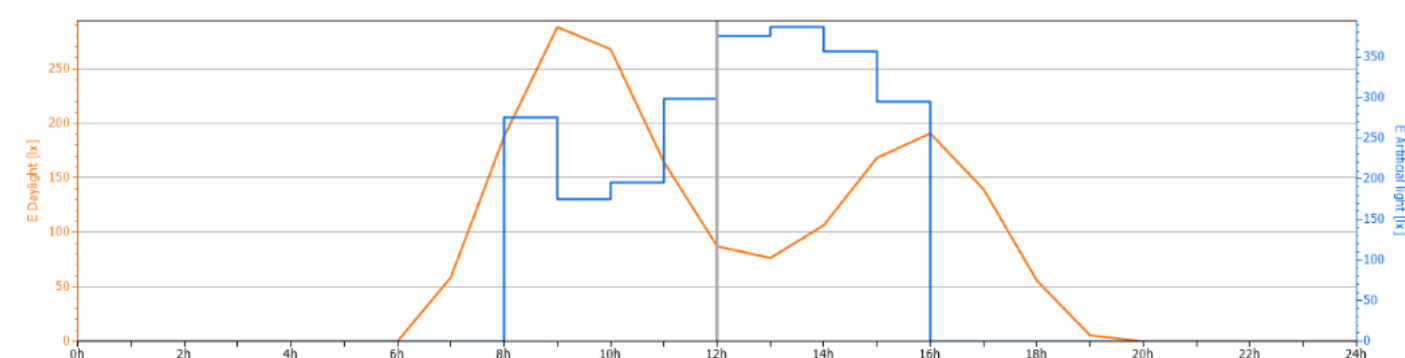
Annual energy consumption

Energy consumption		Saving	
Uncontrolled	2.35 kWh	Energy	0.85 kWh
Controlled	1.50 kWh	Costs	0.51 \$
		CO ₂	0.34 kg

Figura 40. Esquema de consumo de energía anual.

La imagen presentada en la figura 22 se muestra el análisis comparativo del consumo de energía en dos escenarios: sin control ("Uncontrolled") y controlado ("Controlled"). En el escenario sin control, el consumo energético es de 2.35 kWh, mientras que bajo control, el consumo se reduce a 1.50 kWh. Esto representa un ahorro de 0.85 kWh, lo cual no solo se traduce en una disminución del consumo energético, sino también en una reducción significativa de costos y emisiones de CO₂.

Específicamente, la implementación de un sistema de control sobre el consumo energético genera un ahorro de \$0.51 en costos y evita la emisión de 0.34 kg de CO₂. Por tanto, la adopción de tecnologías de control es una estrategia efectiva tanto para la sostenibilidad ambiental como para la reducción de gastos operativos en edificaciones y sistemas que demandan un uso intensivo de energía.



Daily schedule

Illuminance / Power consumption		Saving	
E Artificial light	376 lx	P	55.3 W
E Daylight	87.2 lx		
P	238 W	Shading	Open/None

Figura 41. Esquema de consumo energético diario.

El análisis de la segunda imagen se centra en la evaluación del uso combinado de luz natural y artificial a las 12:00 del día. El gráfico incluido en la imagen muestra la variación diaria de la iluminación natural y artificial, destacando la interacción entre ambas fuentes de luz a lo largo del día.

A las 12:00, la iluminación natural contribuye con 87.2 lux, mientras que la luz artificial aporta 376 lux, lo que se traduce en un consumo energético de 238 W. Sin embargo, gracias a la optimización del uso de la luz natural, se logra un ahorro de 55.3 W en comparación con un escenario sin optimización.

El estado de las sombras en este punto del día es "Open/None", lo que sugiere que no hay obstrucciones que impidan la entrada de luz natural, permitiendo así maximizar su uso y reducir la dependencia de la iluminación artificial. Este balance entre la luz natural y artificial no solo optimiza el consumo de energía, sino que también contribuye a la eficiencia energética del edificio, reduciendo costos operativos y minimizando el impacto ambiental.

4.3.6. Conclusión

El análisis de la iluminación natural y artificial demuestra la importancia de integrar estratégicamente ambas fuentes de luz para optimizar el consumo energético y mejorar la eficiencia energética en edificaciones.

A través del uso adecuado de la luz natural, se puede reducir significativamente la dependencia de la iluminación artificial, lo cual no solo disminuye el consumo de energía, sino que también contribuye a una mayor sostenibilidad ambiental al reducir las emisiones de CO₂ y los costos operativos asociados.

Por medio del análisis, es posible diseñar sistemas de iluminación artificial que crean ambientes específicos para diferentes actividades. Esto incluye la posibilidad de ajustar la intensidad y la distribución de la luz para adaptarse a actividades como el trabajo, el descanso o la socialización.

Los resultados obtenidos sugieren que la implementación de sistemas de control de iluminación que ajusten automáticamente la intensidad de la luz artificial en función de la disponibilidad de luz natural puede maximizar estos beneficios. Esto es particularmente relevante en momentos del día donde la luz natural es abundante, permitiendo aprovechar al máximo los recursos naturales y mejorar el confort visual en los espacios interiores.

Además, la planificación y el diseño de la distribución de la iluminación artificial deben considerar factores como la orientación del edificio, la variabilidad diaria y estacional de la luz natural, así como las necesidades específicas de los usuarios. Este enfoque integral no solo mejora la calidad del ambiente interior, sino que también contribuye a la reducción de la huella de carbono y al cumplimiento de estándares de construcción sostenible.

El equilibrio entre la iluminación natural y artificial es un factor crítico para la eficiencia energética y la sostenibilidad en el diseño de edificaciones. La adopción de prácticas y tecnologías que optimicen este balance representa un paso significativo hacia la creación de entornos más sostenibles y económicamente viables.

4.4. Análisis Acústico

4.4.1. Acústica en la arquitectura

La acústica es una rama de la física que se enfoca en el estudio de las ondas sonoras, su generación, propagación y percepción. La acústica en la arquitectura se centra en el estudio y control del sonido dentro de los espacios construidos, buscando optimizar la calidad sonora para los ocupantes. Este campo es fundamental en la creación de espacios como auditorios, teatros, oficinas y viviendas, donde el control de la reverberación y la reducción del ruido no deseado son esenciales para el confort acústico (Kuttruff, 2009).

El diseño acústico considera factores como la forma de las habitaciones, los materiales absorbentes y la disposición espacial, para controlar el comportamiento del sonido. Además, se utilizan técnicas de aislamiento acústico para mitigar el ruido externo, especialmente en entornos urbanos (Long, 2006).

El diseño acústico bioclimático busca, por tanto, integrar soluciones pasivas para controlar el sonido, aprovechando las formas, materiales y disposiciones espaciales de una manera armónica con el medio y las características del entorno (Salvador, 2016).

4.4.2. Confort acústico

El confort acústico es un factor clave dentro del diseño bioclimático porque los niveles de ruido elevados pueden afectar negativamente la salud y el bienestar de las personas. En entornos urbanos, el ruido proveniente del tráfico, la industria y la actividad humana en general es una de las principales fuentes de contaminación acústica. Según Olgyay (2015), el control del ruido es tan importante como el control de la temperatura, la humedad y la iluminación en el diseño de edificios bioclimáticos, ya que un ambiente acústico bien gestionado contribuye al bienestar físico y psicológico de los ocupantes.

4.4.2.1. Factores determinantes del confort acústico

Para lograr el confort acústico en un espacio, se deben considerar múltiples factores que afectan la forma en que el sonido se genera, propaga y se percibe dentro de un entorno construido. Según Salvador (2016), estos factores incluyen:

4.4.2.1.1. Aislamiento acústico

La capacidad de las estructuras de un edificio, como paredes, techos y ventanas, para bloquear el sonido que proviene del exterior. Un buen aislamiento acústico es esencial en zonas urbanas con altos niveles de ruido, como áreas cercanas al tráfico o industrias. Los materiales de construcción, como hormigón, ladrillos o paneles de absorción juegan un papel fundamental en la reducción de la transmisión de sonido.

4.4.2.1.2. Absorción acústica

Se refiere a la capacidad de los materiales interiores de un edificio para absorber el sonido, evitando que este se refleje y cause ecos o reverberaciones. Materiales como paneles de fibra, cortinas pesadas, alfombras y techos acústicos son utilizados para absorber las ondas sonoras y mejorar la calidad acústica interna (Olgyay, 2015).

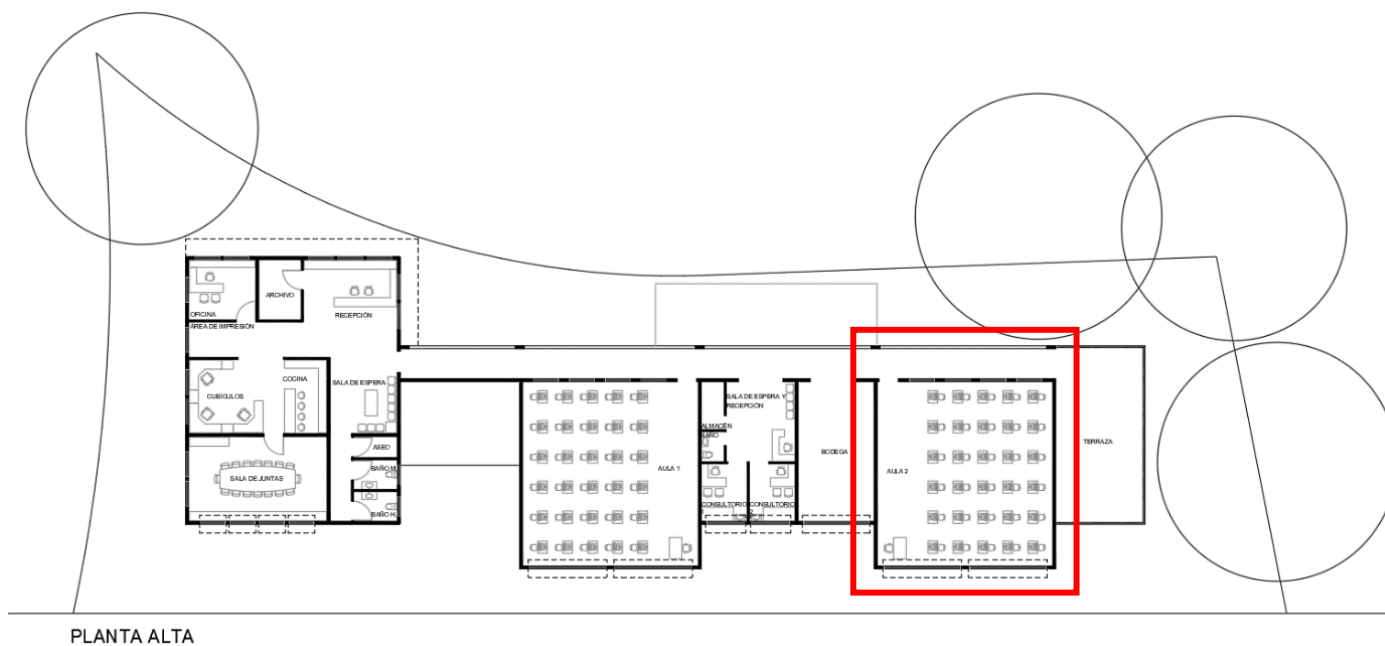
4.4.2.1.3. Disposición del espacio

La distribución del espacio interior también influye en la forma en que el sonido se propaga. Los espacios grandes y abiertos tienden a amplificar el sonido, mientras que las divisiones y barreras internas ayudan a contener el sonido y evitar su propagación indeseada. Según Givoni (2014), la zonificación acústica, donde se separan áreas ruidosas de áreas tranquilas, es clave para lograr el confort acústico en el diseño bioclimático.

4.4.2.1.4. Control de las fuentes de ruido

Un aspecto crucial para garantizar el confort acústico es identificar y gestionar las principales fuentes de ruido. Esto incluye el ruido exterior (tráfico, actividades industriales, construcción) y el ruido interior (electrodomésticos, sistemas de ventilación, conversaciones). Para mitigar estas fuentes, se utilizan medidas como ventanas de doble acristalamiento, sellos de puertas y aislamiento de maquinaria y tuberías (Reed & Gustin, 2016).

4.4.3. Área de estudio

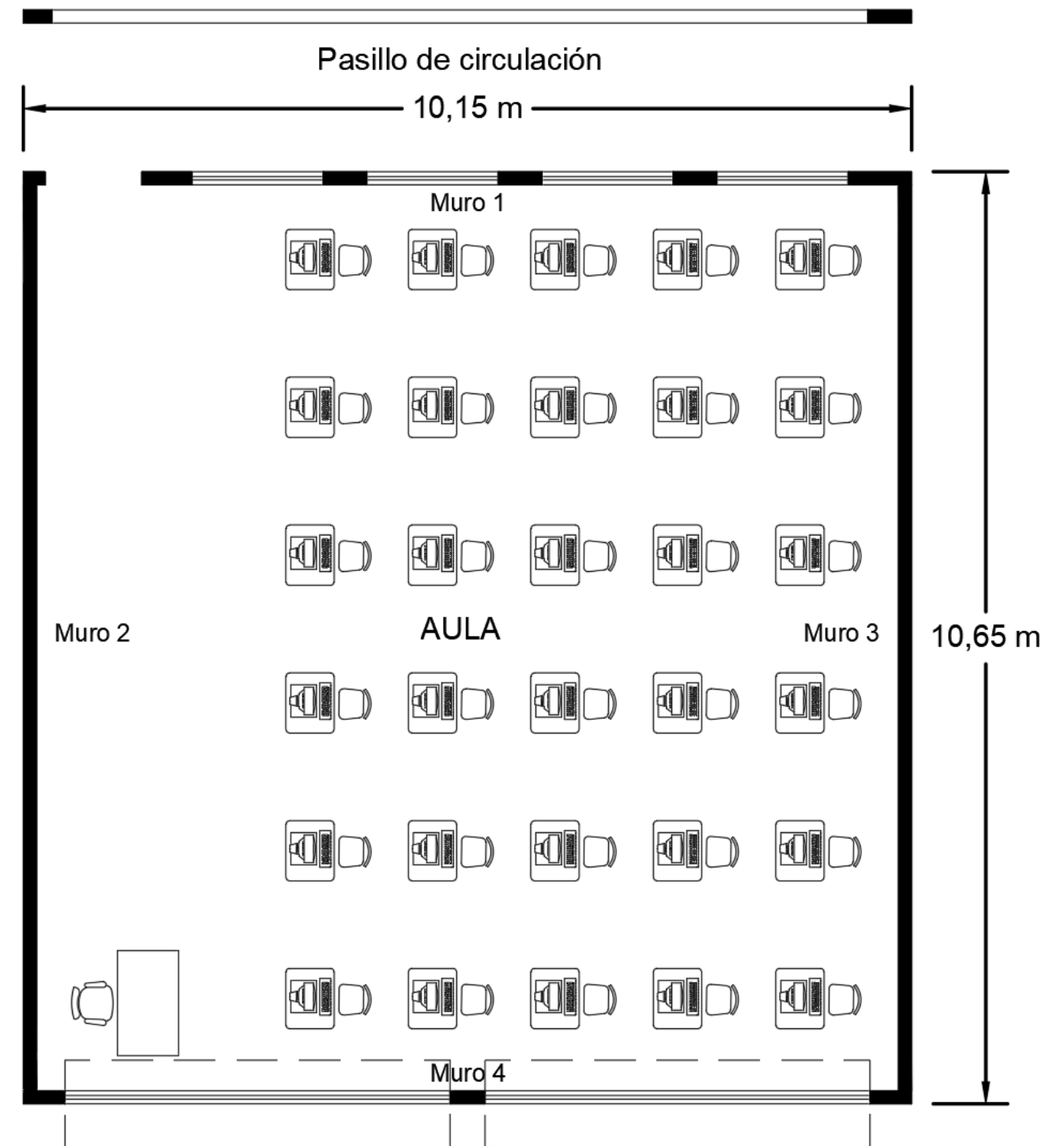


Plano 10. Área de estudio. Elaboración propia.

El área de estudio (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) es una de las aulas del centro de innovación, cultura y tecnología con dimensiones de 10.15 m x 10.65 m., una altura de 3 y una superficie de 108.0975 m². La forma es rectangular, lo que puede provocar reflexiones paralelas del sonido entre las paredes.

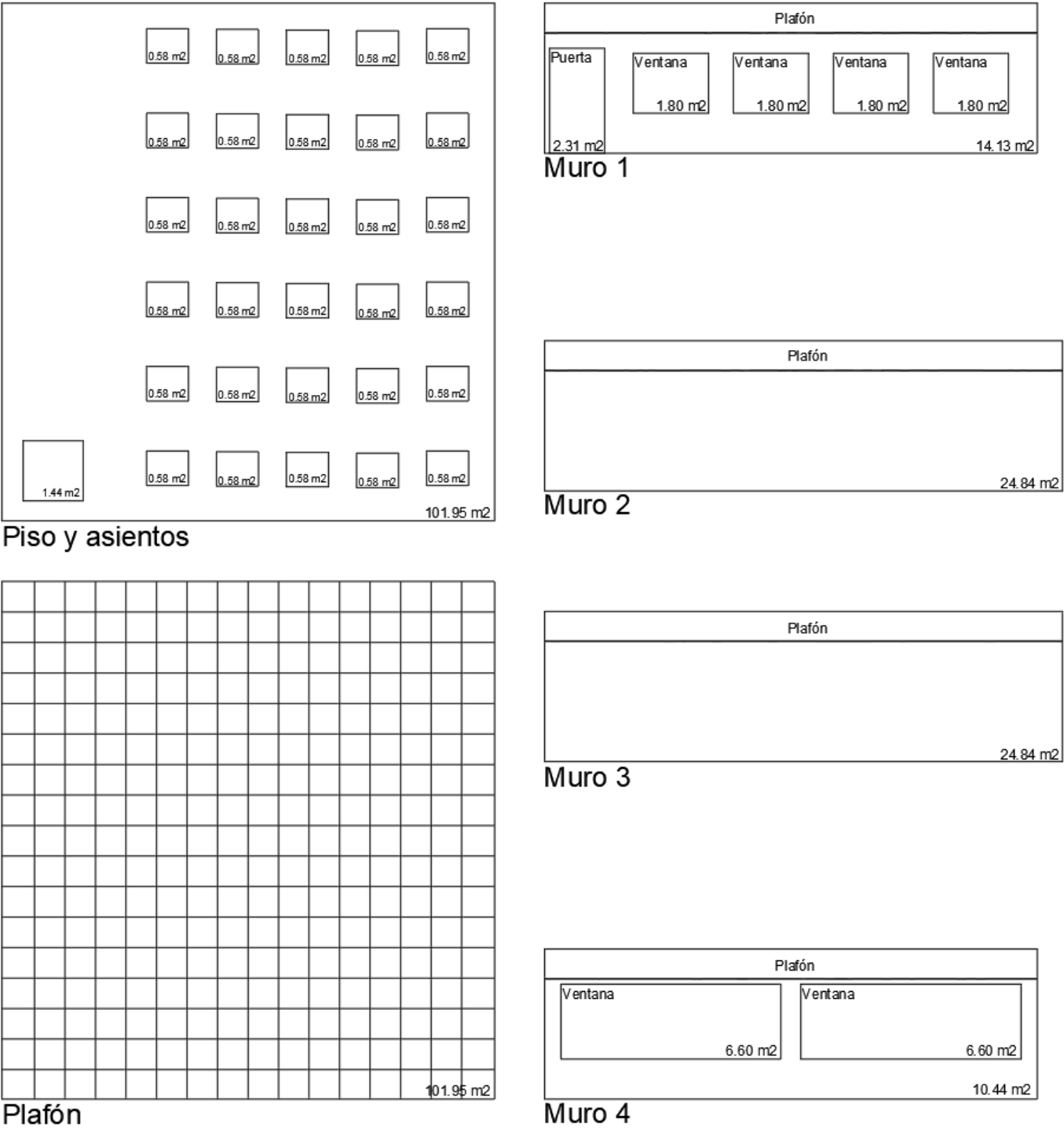
El aula 2 está compuesta de muros de concreto de 20 cm de espesor, con ventanas de vidrio de 6 mm y una puerta de tambor de madera de 2" de espesor, piso de loseta cerámica y plafón PLAKA de 61 cm x 61 cm, de 15 mm de espesor suspendido a 60 cm, dejando un espacio de entrepiso de 2.40 m de altura. Resultando en un volumen de 244.674 m³.

El aula 2 tiene una capacidad para 30 alumnos y 1 profesor, con bancas de asientos y respaldos acolchonados.



Plano 11. Aula 2. Elaboración propia.

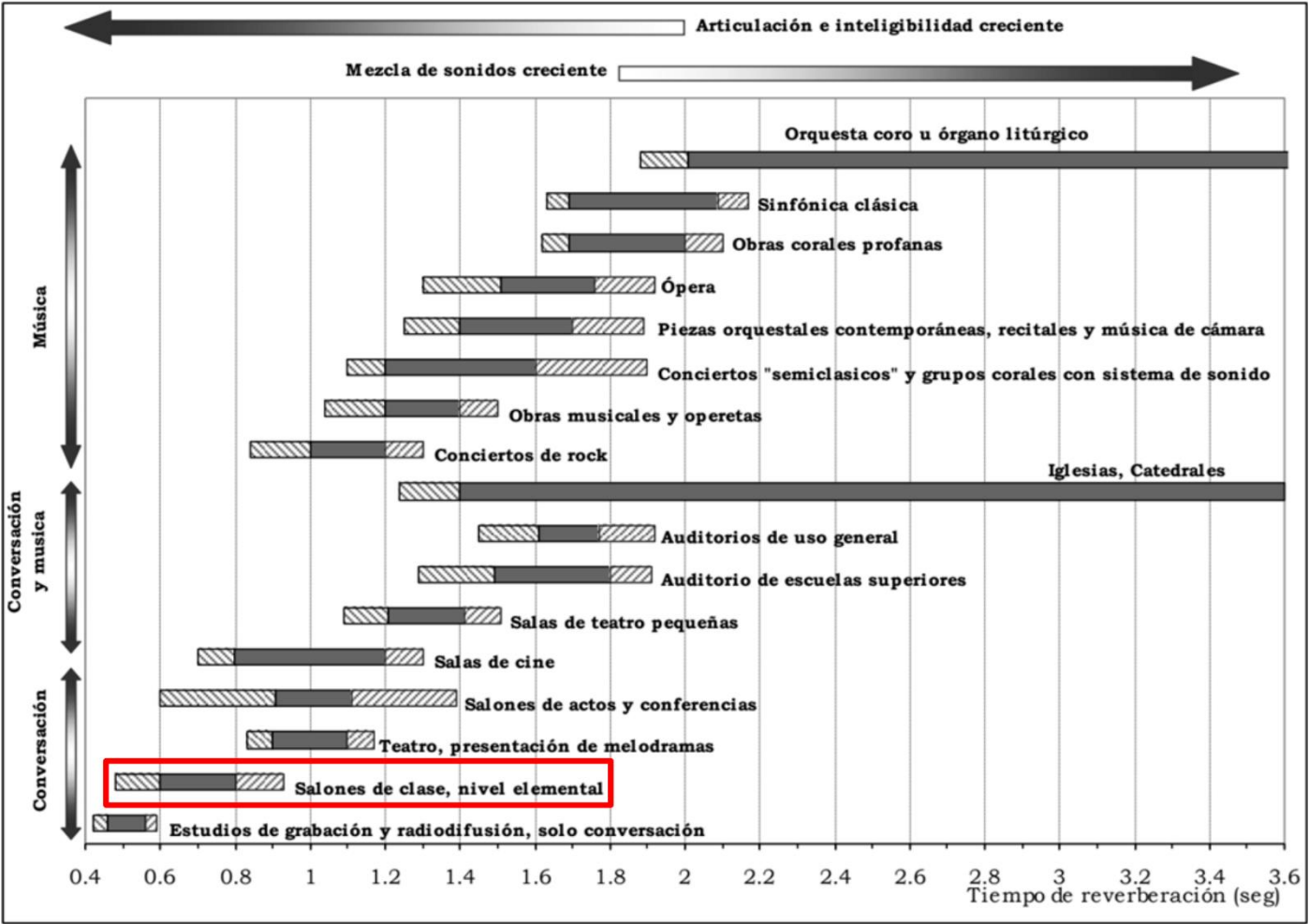
4.4.3.1. Componentes del Aula



Plano 12. Componentes del aula 2 - Estado actual. Elaboración propia.

4.4.4. Normatividad

4.4.4.1. Tiempos óptimos de reverberación



Gráfica 30 Tiempos óptimos de reverberación. Fuente INIFED <https://www.qob.mx/inifed>

La Gráfica 30 muestra la relación entre el tiempo de reverberación y distintos espacios acústicos, destacando cómo los salones de clase, con un tiempo de reverberación ideal entre **0.6 y 0.8** segundos, deben priorizar la inteligibilidad del habla para favorecer el proceso de enseñanza-aprendizaje. En este rango, se optimiza la claridad de la voz del docente y la comprensión por parte de los estudiantes, minimizando los ecos y las distorsiones sonoras que puedan interferir en la comunicación. Si el tiempo de reverberación supera este rango, el sonido tiende a mezclarse excesivamente, dificultando la transmisión clara del mensaje.

4.4.4.2. Nivel de ruido de fondo recomendado

CRITERIO	NIVELES (NR) RECOMENDADOS (dB)
Área de lactantes	25-30
Salón de clases	30-35
Aula de computación	40-50
Cuarto de música	20-30
Auditorios y salones de reunión	25-30
Bibliotecas	30-35
Oficinas semiprivadas	30-40
Oficinas generales	35-40
Teatro escolar	20-30
Talleres	40-50
Talleres pesados	NO APLICA
Espacios educativos de hasta 566 m3 el Nivel de Ruido de Fondo no deberá exceder de:	35 dB A
Espacios educativos con volumen mayor a 566 m3 el Nivel de Ruido de Fondo no deberá exceder de:	40 dB A

Tabla 7 Niveles de ruido de fondo recomendables. Fuente INIFED <https://www.gob.mx/inifed>

La Tabla 7 Niveles de ruido de fondo recomendables. Fuente INIFED <https://www.gob.mx/inifed> muestra los niveles de ruido de fondo recomendados (NR) en diferentes espacios, estableciendo que en los salones de clase el ruido de fondo no debe superar los **30-35 dB** para garantizar un ambiente adecuado para la enseñanza. Este rango es crucial para que las actividades de aprendizaje se desarrollen sin interferencias sonoras que puedan dificultar la concentración de los estudiantes o la inteligibilidad del habla del docente. Esto resalta la importancia de mantener bajos niveles de ruido para evitar distracciones y mejorar la calidad de la educación.

4.4.5. Análisis de Aislamiento acústico - Transmisión sonora

La transmisión sonora es el fenómeno por el cual el sonido viaja a través de diferentes medios, como el aire, materiales sólidos o líquidos. En un edificio, este proceso involucra cómo el sonido pasa de un espacio a otro a través de estructuras como paredes, techos y suelos. Existen dos tipos principales de transmisión sonora:

- Transmisión aérea: ocurre cuando el sonido se propaga a través del aire y atraviesa particiones, como paredes y ventanas.
- Transmisión por impacto: ocurre cuando un objeto golpea una superficie sólida, como suelos o techos, generando vibraciones que se propagan a otras áreas.

Importancia del análisis de la transmisión sonora en un edificio

Asimismo, es crucial analizar la transmisión sonora en la arquitectura para garantizar el confort acústico de los ocupantes y el rendimiento del espacio, además de establecer un nivel de ruido de fondo.

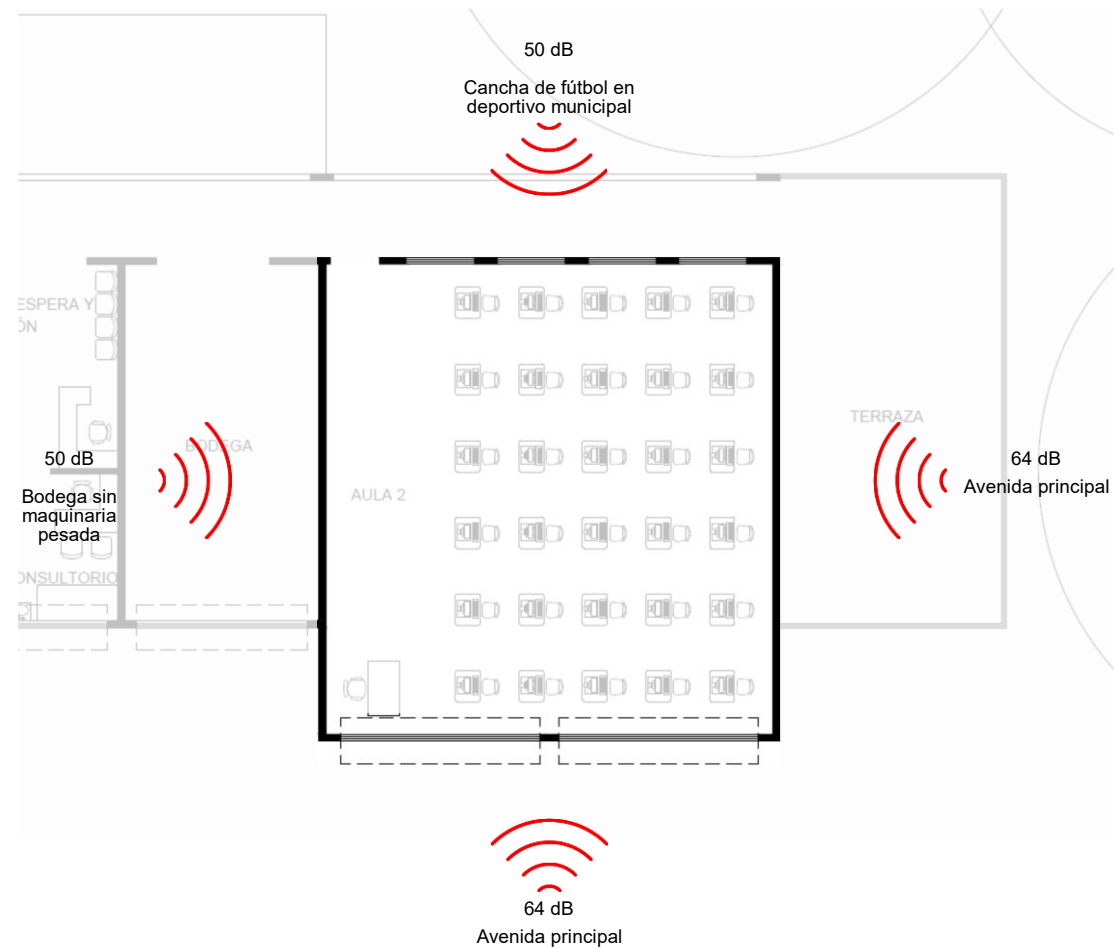
Por otro lado, la falta de control acústico puede generar problemas como:

- Molestias y distracciones: Ruido excesivo puede causar malestar, fatiga y dificultad para concentrarse en el trabajo o en actividades recreativas.
- Pérdida de privacidad: Una inadecuada insonorización puede permitir que conversaciones privadas sean escuchadas en espacios adyacentes.
- Cumplimiento normativo: En muchas regiones, existen regulaciones específicas sobre niveles de aislamiento acústico que deben cumplir los edificios, tanto en términos de transmisión aérea como de ruido por impacto.

En función de este proyecto, se busca cumplir la normativa establecida en las Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcción e Instalaciones de Infraestructura Educativa (INIFED).

4.4.5.1. Análisis del estado actual del Aula

4.4.5.1.1. Análisis



Plano 13. Fuentes de ruido exterior. Elaboración propia.

Debido al posicionamiento del aula dentro del proyecto y su orientación en el terreno, se cuentan con las siguientes incidencias sonoras (Plano 13):

- Fachada Norte y Este: 64 dB provenientes de la Avenida de los Volcanes.
- Fachada Sur: 50 dB, provenientes de la bodega situada a lado del aula, la cual solo tendrá una función de almacenamiento, sin utilización de maquinaria pesada.

- Fachada Oeste: 50 dB, provenientes de una cancha de futbol ubicada en el Deportivo “La Carolina”, aledaño al CICYT, esta cancha es de uso exclusivo para entrenamientos ya que no cuenta con infraestructura para albergar afición, manteniendo un bajo nivel de ruido.

Para comenzar el análisis, se deben describir los elementos perimetrales del área de estudio y los materiales que los conforman, con su respectivo coeficiente de transmisión sonora (STC⁴) para determinar la perdida de transmisión sonora (TL⁵) de cada material y, de esta manera, saber cuál será la reducción sonora que presenta cada elemento en dB (TLA⁶).

El aula estudiada cuenta con 4 muros de diferentes materiales, siendo los Muros 2 y 3, muros simples al ser conformados por un solo material en toda su área, mientras que los Muros 1 y 4, están compuestos por más de un material, al tener puertas y ventanas.

De esta manera, el procedimiento para un correcto análisis de estos se divide en 2:

- Muros simples: su TL se determina restando 3 dB al STC del material, determinando su reducción sonora total.
- Muros compuestos: en este caso, debido a que el muro se compone por más de un material se debe determinar un TL promedio o TLA, el cual se debe de calcular por medio de la siguiente ecuación:

3. Pérdida de Trasmisión Sonora Promedio TLA

$$TLov = log \left[\frac{\sum S_{Tot}}{\sum \frac{S_x}{10^{-0.1TL}}} \right]$$

Donde:

- S_{Tot}= Superficie total del elemento en m².

⁴ STC, por sus siglas en ingles *Sound Transmission Coefficient* (Coeficiente de Transmisión Sonora)
⁵ TL, por sus siglas en inglés *Transmission Loss* (Pérdida de Transmisión Sonora)

⁶ TLA, por sus siglas en inglés *Transmission Loss Average* (Pérdida de Trasmisión Sonora Promedio)

- S_x = Superficie del componente (muro, puerta, ventana, etc.) en m².
- TL= Pérdida de Transmisión Sonora del material en dB.

ANÁLISIS DE AULA ESTADO ACTUAL									
	ELEMENTO	MATERIAL	ÁREA (m2)	STC (dBA)	TL (dBA)	REDUCCIÓN SONORA (dB A)	FUENTE DE RUIDO EXTERIOR	RUIDO EXTERIOR (dB A)	RUIDO INTERIOR (dB A)
MURO COMPUESTO	Muro 1	Concreto sin pintar	14.13	52	49	28	Cancha de fútbol en deportivo municipal	50	22
	Ventana	Vidrio de 6mm	7.2	31	28				
	Puerta	Panel solido de madera	2.31	22	19				
	TLA				28				
MURO COMPUESTO	Muro 4	Concreto sin pintar	10.44	52	49	30	Avenida principal	64	34
	Ventana	Vidrio de 6mm	13.2	31	28				
	TLA				30				
MUROS SIMPLES	Muro 2	Concreto sin pintar	24.84	52	49	49	Bodega sin maquinaria pesada	50	1
	Muro 3	Concreto sin pintar	24.84	52	49	49	Avenida principal	64	15

Tabla 8. Análisis de Aula de Transmisión- Estado Actual. Elaboración propia.

DIFERENCIA NUMÉRICA ENTRE NIVELES L_{P1} Y L_{P2} (DB)	CANTIDAD PARA SUMARSE AL MAYOR DE ENTRE L_{P1} Y L_{P2} (DB)
0	3.0
1	2.5
2	2.1
3	1.8
4	1.5
5	1.2
6	1.0
7	0.8
8	0.6
9	0.5
10	0.4
Mayor de 10	0.0 para todos los efectos prácticos

Tabla 9. Sumatoria de decibeles. FUENTE National Institute for Occupational Safety and Health.

Para determinar el Nivel de Ruido de Fondo se realizó la sumatoria de los decibeles que cada elemento deja pasar. Para ello se utiliza como base la Tabla 9.

Por lo tanto, la sumatoria de decibeles para el aula es la siguiente:

1

+

15

=

15

15

+

22

=

22.8

22.8

+

34

=

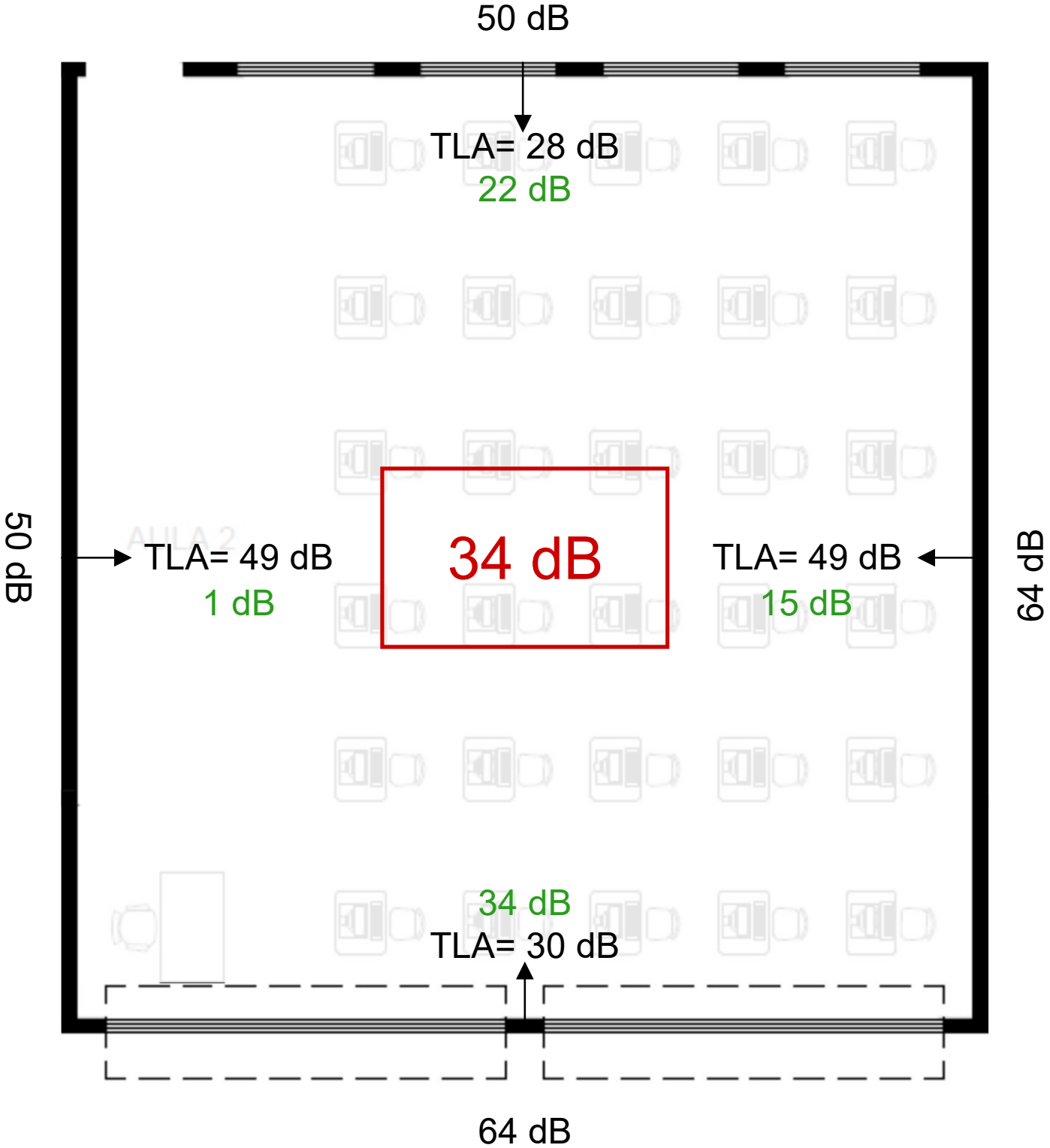
34

Resultado

34 dB

En conclusión, se obtuvieron 34 dB de Nivel de Ruido de Fondo, por lo cual el proyecto está dentro de lo establecido por las normas del INIFED, que establecen un nivel aceptable de 30-35 dB (Plano 14;Error! No se encuentra el

origen de la referencia.).



Plano 14. Nivel de Ruido de Fondo. Elaboración propia.

4.4.6. Análisis de acondicionamiento acústico Tiempo de reverberación

El tiempo de reverberación (TR) es el período que tarda el sonido en disminuir 60 decibeles después de que la fuente sonora ha dejado de emitir. Se mide en segundos y es un indicador fundamental del comportamiento acústico de un espacio cerrado (Cox & D'Antonio, 2009).

En esencia, el tiempo de reverberación refleja cuánto tiempo persiste el sonido en un espacio debido a la reflexión en las superficies internas, como paredes, techos y suelos.

Importancia del análisis del tiempo de reverberación en un edificio

El TR es un parámetro crucial en el diseño acústico de espacios como auditorios, teatros, aulas, oficinas, y cualquier lugar donde el control del sonido sea esencial. Un TR adecuado mejora la claridad del sonido, la comodidad acústica y el funcionamiento adecuado del espacio según su uso. Algunos de los principales motivos por los que es esencial analizar el TR en un edificio son:

- Claridad de la comunicación: En espacios donde la comunicación verbal es importante (salas de conferencias, aulas, oficinas), un tiempo de reverberación alto puede dificultar la comprensión de las palabras, ya que los sonidos reflejados interfieren con el sonido directo.
- Calidad del sonido: Un tiempo de reverberación equilibrado mejora la calidad del sonido. Si es demasiado corto puede hacer que el sonido se sienta seco o poco envolvente, mientras que uno demasiado largo puede hacer que el sonido se solape, generando confusión.
- Confort acústico: Un tiempo de reverberación alto puede incrementar la sensación de ruido, causando malestar y estrés. Reducir la reverberación mejora la experiencia sonora, disminuyendo las distracciones y el ruido de fondo.
- Cumplimiento normativo: En muchos países, las normativas de construcción incluyen criterios específicos sobre los niveles de reverberación, en especial en espacios educativos y de trabajo, para asegurar la salud auditiva y el confort de los usuarios. Un ejemplo es la Norma ISO 3382, que proporciona pautas para medir y controlar el tiempo de reverberación.

Cálculo y Control del Tiempo de Reverberación

El TR se calcula utilizando la Ecuación de Sabine, que relaciona el volumen del espacio y la absorción acústica de las superficies.

4. Ecuación de Sabine

$$TR = 0.161 * \frac{V}{A_{ABS}}$$

Donde:

- V= Volumen total del espacio en m³.
- A_{ABS}= Área de absorción en m².

Una vez calculado el TR, se pueden emplear diversas estrategias y materiales para controlar y ajustar el tiempo de reverberación de acuerdo con el uso previsto del espacio:

1. Materiales Absorbentes:

- a. Paneles acústicos: Generalmente de fibra mineral, lana de roca o espuma acústica, estos paneles se instalan en paredes o techos para absorber las ondas sonoras y reducir el tiempo de reverberación. Se utilizan en oficinas, estudios de grabación y auditorios.
- b. Techos acústicos: Son sistemas suspendidos que ofrecen alta absorción sonora y se utilizan en edificios comerciales, aulas y centros de conferencias.
- c. Moquetas y cortinas: Materiales suaves y porosos como alfombras y cortinas gruesas pueden colocarse estratégicamente en una sala para reducir el TR, especialmente en frecuencias altas.

2. Difusores: A diferencia de los materiales absorbentes, los difusores están diseñados para dispersar el sonido en diferentes direcciones, evitando reflexiones directas fuertes y distribuyendo el sonido de manera uniforme. Son útiles en salas de conciertos y auditorios donde se desea mantener la claridad sin absorber demasiado sonido.

3. Optimización del Diseño Arquitectónico:

- a. Formas geométricas: Las superficies curvas y no paralelas ayudan a dispersar el sonido, evitando la concentración de reflexiones en un solo punto. Esto es especialmente importante en auditorios y salas de conciertos.

- b. Control de Volumen y Superficies: Aumentar el volumen de una sala (como techos altos) puede aumentar el tiempo de reverberación, por lo que controlar el tamaño y las proporciones del espacio también es una estrategia clave en la fase de diseño.
- c. Ajustes en el mobiliario: El mobiliario también puede influir en el TR. Sillas, mesas, estanterías y otros elementos blandos y absorbentes ayudan a reducir la reverberación en espacios donde se requiere un confort acústico moderado, como oficinas o restaurantes.

4.4.6.1. Análisis del estado actual del Aula

4.4.6.1.1. Análisis

Para comenzar el análisis del tiempo de reverberación del aula, se determinaron todos los componentes del espacio y posteriormente se asignó un rango amplio de frecuencias cubriendo desde los 500 a los 4000 Hz, de tal manera que el Coeficiente de Reducción Sonora (NRC⁷) a utilizar en él, fuese el promedio resultante del NRC de todas las frecuencias (Tabla 10).

FRECUENCIAS	NRC					
	BANCAS - ASIENTOS Y RESPALDOS ACOLCHONADOS A 2/3 DE OCUPACIÓN	CONCRETO SIN PINTAR	VENTANA VIDRIO 6mm	PUERTA MADERA	PISO CERÁMICO	PLAFÓN YESO
500	0.65	0.04	0.04	0.05	0.01	0.04
1000	0.72	0.06	0.03	0.04	0.01	0.04
2000	0.72	0.08	0.02	0.04	0.02	0.07
4000	0.67	0.1	0.02	0.04	0.02	0.08
PROMEDIO	0.69	0.07	0.03	0.04	0.02	0.06

Tabla 10. Coeficientes de Reducción Sonora. FUENTE Acoustic Supplies <https://www.acoustic-supplies.com/absorption-coefficient-chart/>

Posteriormente, se determina el área de absorción del espacio por medio de la siguiente ecuación:

5. Área de Absorción

$$A_{ABS} = \sum [A * NRC]$$

Donde:

⁷ NRC, por sus siglas en inglés *Noise Reduction Coefficient*

- A= Área del material en m².
- NRC= Coeficiente de Reducción Sonora

ESTADO ACTUAL				
AULA	TIEMPO DE REVERBERACIÓN OBJETIVO DE 0.60 - 0.80			
COMPONENTE	MATERIAL	ÁREA	NRC ABS (%)	ÁREA ABS (A*NRC)
MURO 1	Concreto	14.13	0.07	0.99
	Ventana vidrio 6mm	7.2	0.03	0.22
	Puerta madera	2.31	0.04	0.09
MURO 2	Concreto	24.84	0.07	1.74
MURO 3	Concreto	24.84	0.07	1.74
MURO 4	Concreto	10.44	0.07	0.73
	Ventana vidrio 6 mm	13.2	0.03	0.40
PLAFÓN	Plafón PLAKA de yeso	101.95	0.06	6.12
PISO	Piso cerámico	101.95	0.02	2.04
MOBILIARIO / USUARIOS	Bancas - Asientos y respaldos acolchonados a 2/3 de ocupación	18.84	0.69	13.00
				27.06

Tabla 11. Análisis de Reverberación- Estado Actual. Elaboración propia

Finalmente, para determinar el TR del espacio se utiliza la ecuación de Sabine con ayuda de los datos previamente obtenidos:

	FACTOR	VOLUMEN	ÁREA ABS	TR
TR	0.161	244.674	27.06	1.46

Tabla 12. Tabla de resultados de Tiempo de Reverberación- Estado Actual. Elaboración propia.

En este caso se obtuvo un resultado en el TR de 1.46 (Tabla 12), el cual se encuentra por encima del rango de 0.6-0.8 segundos establecido por el INIFED, por lo que se concluyó en que se necesita realizar una propuesta de mejora.

4.4.6.2. Propuesta de mejora

Para estar dentro del rango de TR aceptable de 0.6-0.8 habrá que proponer materiales que tengan un coeficiente de reducción sonora alto (NRC), para que de esta manera puedan absorber mejor el sonido y el tiempo de reverberación baje.

4.4.6.2.1. Propuesta de componentes

Para mitigar el tiempo que el sonido permanecerá en el espacio, se proponen los siguientes materiales:

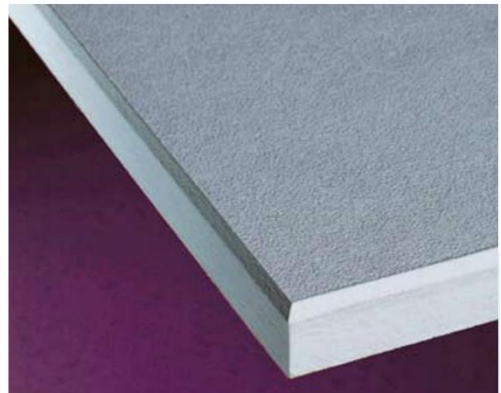
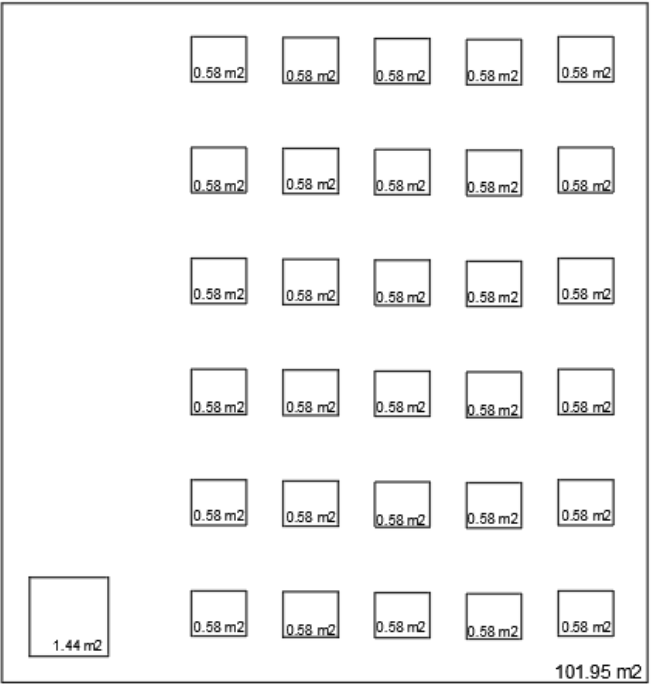


Figura 43. Panel de techo absorbente. Fuente NBS Source

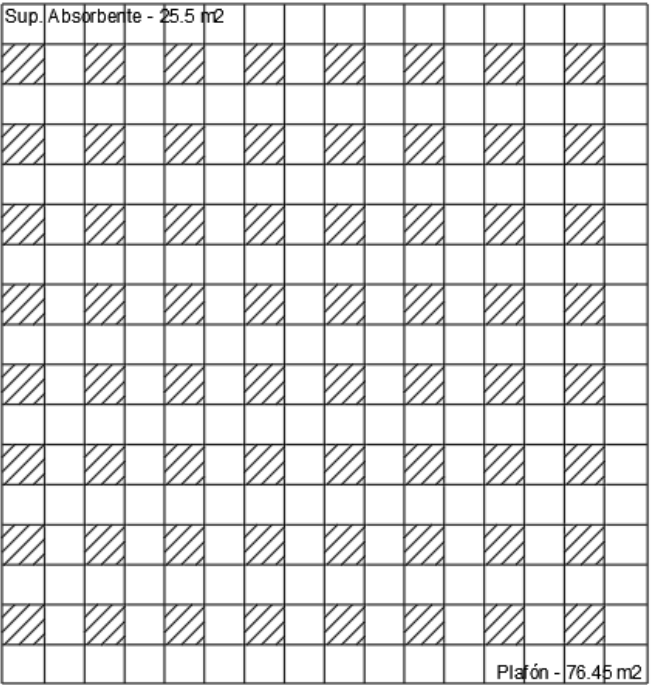


Figura 42. Espuma Techmel. Fuente NBS Source

- Panel de techo absorbente, está diseñado para su instalación en techos con el objetivo de mejorar la absorción sonora, siendo su función es reducir el ruido y la reverberación, lo que lo hace ideal para espacios como escuelas, oficinas, estudios de música y salas de conferencias. Están hechos de fibra de vidrio mineral y presentan una superficie blanca moteada con bordes biselados. (Figura 43)
 - Se propone colocar estos paneles en el plafón, distribuido uniformemente en piezas de 61x61, ocupando en total 25.5 m², una cuarta parte de la superficie total del plafón.
- Espuma Techmel, es un material de espuma de melamina de célula abierta diseñado para aplicaciones de aislamiento térmico y acústico. Se caracteriza por ser flexible, liviana y fácil de manipular, lo que facilita su instalación en diversas superficies. Su aplicación también contribuye a la absorción de sonido, lo que ayuda a mejorar la calidad acústica en interiores y mejorar la inteligibilidad del habla.
 - Se propone que sea colocada en el Muro 3, siendo 3 segmentos de 1.5 x 3 m con un área de 4.5 m² cada uno, resultando en un total de 13.5 m² de absorción. (Figura 42).

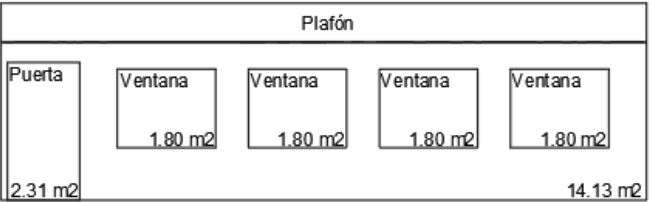


Piso y asientos

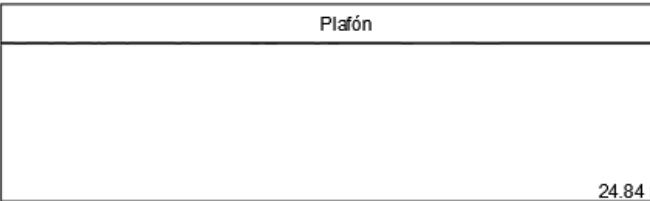


Plafón y Sup. Absorbente

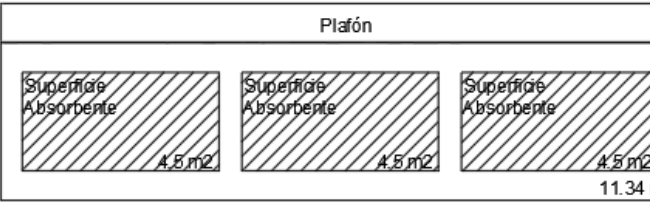
Plano 15. Componentes del aula 2 - Propuesta de mejoras. Elaboración propia.



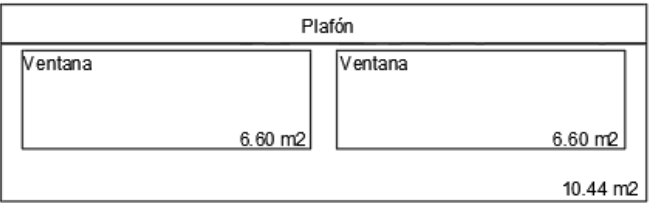
Muro 1



Muro 2



Muro 3



Muro 4

Estos materiales se propusieron con la finalidad de generar superficies absorbentes mayores, para esto, en este proyecto, se optó por la instalación de dichos materiales en los muros ciegos, debido a que estos no presentan obstáculos, pues al estar libres de ventanas, puertas o elementos decorativos, ofrecen superficies continuas que permiten una distribución uniforme de los materiales acústicos. Al no tener interrupciones físicas, estas áreas proporcionan un espacio ideal para colocar revestimientos absorbentes sin comprometer la funcionalidad o estética de otras partes del espacio. Además, el uso de estos muros asegura una absorción más homogénea del sonido.

Asimismo, la facilidad de instalación en estas áreas también permite optimizar el proceso constructivo, minimizando complicaciones técnicas y maximizando la eficacia acústica del diseño, por lo que este enfoque garantiza un equilibrio entre la reducción del tiempo de reverberación y la preservación de otras funciones del espacio, mejorando la experiencia auditiva sin afectar la usabilidad del lugar.

4.4.6.1. Análisis

Siguiendo los procedimientos antes mencionados se realizaron de nuevo los cálculos, esta vez tomando en cuenta los materiales propuestos previamente, comenzando con el cálculo del NRC promedio (Tabla 13).

	NRC							
FRECUENCIAS	BANCAS - ASIENTOS Y RESPALDOS ACOLCHONADOS A 2/3 DE OCUPACIÓN	CONCRETO SIN PINTAR	VENTANA VIDRIO 6mm	PUERTA MADERA	PISO CERÁMICO	PLAFÓN YESO	PANEL ABSORBENTE 20mm	ESPUMA TECHMEL 25MM
500	0.65	0.04	0.04	0.05	0.01	0.04	0.8	0.54
1000	0.72	0.06	0.03	0.04	0.01	0.04	1	0.74
2000	0.72	0.08	0.02	0.04	0.02	0.07	1	0.88
4000	0.67	0.1	0.02	0.04	0.02	0.08	0.85	0.92
PROMEDIO	0.69	0.07	0.03	0.04	0.02	0.06	0.91	0.77

Tabla 13. Coeficientes de Reducción Sonora, propuesta de mejora. FUENTE Acoustic Supplies <https://www.acoustic-supplies.com/absorption-coefficient-chart/>

Posteriormente se calculan las áreas de absorción de todos los componentes para obtener el área de absorción total de la propuesta de mejora.

PROPUESTA DE MEJORA					
AULA	TIEMPO DE REVERBERACIÓN OBJETIVO DE 0.60 - 0.80				
ELEMENTO	MATERIAL		AREA	NRC ABS (%)	AREA ABS (A*NRC)
MURO 1	MATERIAL PRIMARIO	Concreto	14.13	0.07	0.99
		Ventana vidrio 6mm	7.2	0.03	0.22
		Puerta madera	2.31	0.04	0.09
MURO 2	MATERIAL PRIMARIO	Concreto	24.84	0.07	1.74
MURO 3	MATERIAL PRIMARIO	Concreto	11.34	0.07	0.79
	SUPERFICIE ABSORBENTE	Espuma TEHCMEL 25mm	13.5	0.77	10.40
MURO 4	MATERIAL PRIMARIO	Concreto	10.44	0.07	0.73
		Ventana vidrio 6 mm	13.2	0.03	0.40
PLAFÓN	MATERIAL PRIMARIO	Plafón PLAKA de yeso	76.45	0.06	4.59
	SUPERFICIE ABSORBENTE	Panel de techo absorbente 20mm	25.5	0.91	23.21
PISO	MATERIAL PRIMARIO	Piso cerámico	101.95	0.02	2.04
MOBILIARIO / USUARIOS	MATERIAL PRIMARIO	Bancas - Asientos y respaldos acolchonados a 2/3 de ocupación	18.84	0.69	13.00
					58.18

Tabla 14. Análisis de Reverberación- Propuesta de mejora. Elaboración propia

Después de obtener el área de absorción total de la propuesta de mejora (Tabla 14) se procede a realizar de nuevo el cálculo de tiempo de reverberación.

	FACTOR	VOLUMEN	AREA	TR
TR	0.161	244.674	58.18	0.68

Tabla 15. Tabla de resultados de Tiempo de Reverberación- Propuesta de mejora. Elaboración propia

El cálculo del tiempo de reverberación de la propuesta de mejora (Tabla 15) da un total de 0.68, por lo que resulta dentro del rango de 0.6-0.8 segundos establecido por el INIFED.

4.4.7. Conclusión

El análisis acústico del aula realizado en el presente trabajo ha permitido evaluar y mejorar las condiciones sonoras del espacio para cumplir con los estándares adecuados para el entorno educativo. En primer lugar, se realizó un estudio del nivel de ruido de fondo, el cual debía mantenerse en un rango de 30 a 35 decibeles para no afectar la capacidad de los estudiantes para concentrarse y los procesos comunicativos durante las clases. Tras los cálculos correspondientes, se comprobó que el aula cumplía con este criterio, proporcionando un ambiente auditivo favorable para el aprendizaje.

Sin embargo, el principal reto identificado fue el tiempo de reverberación, que inicialmente presentaba un valor de 1.46 segundos, muy por encima del rango recomendado de 0.6 a 0.8 segundos para aulas educativas. Un tiempo de reverberación elevado puede dificultar la inteligibilidad del habla, generar confusión auditiva y disminuir la efectividad de la enseñanza. En este contexto, fue necesario intervenir el espacio con el objetivo de reducir este parámetro a los niveles apropiados.

Para lograr esto, se realizaron diversas modificaciones en las superficies del aula, añadiendo materiales con mayor capacidad de absorción acústica en puntos estratégicos. Entre las soluciones implementadas se incluyeron paneles absorbentes y otros elementos que optimizan la distribución del sonido y evitan la acumulación de reverberación. Después de aplicar estos materiales y realizar los nuevos cálculos, el tiempo de reverberación se redujo a 0.63 segundos, quedando dentro del rango ideal.

En resumen, los resultados obtenidos cumplen con los objetivos planteados en cuanto al control de ruido de fondo y la corrección del tiempo de reverberación. Estas mejoras acústicas no solo benefician el confort sonoro, sino que también contribuyen a un entorno de aprendizaje más eficiente y cómodo para estudiantes y profesores.

Esta intervención ha demostrado que, con las estrategias adecuadas de diseño acústico, es posible transformar espacios educativos para mejorar significativamente la calidad auditiva. Un tiempo de reverberación controlado favorece la claridad en la transmisión de la voz del docente y mejora la comprensión de los estudiantes, factores fundamentales para el éxito del proceso educativo.

4.5. Análisis Térmico

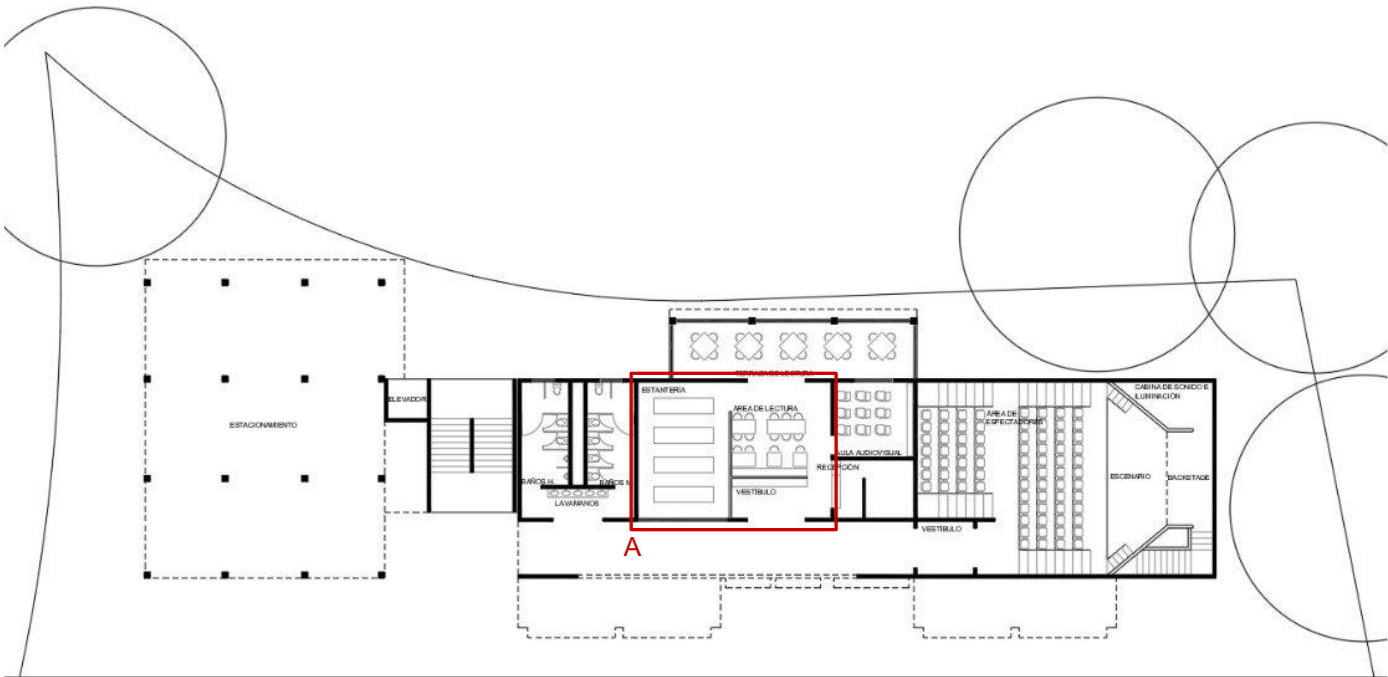
Un análisis térmico es el estudio detallado del comportamiento térmico dentro de un espacio o entorno construido, evaluando la transferencia de calor entre el edificio, sus materiales y el medio ambiente circundante. Este tipo de análisis tiene como objetivo comprender cómo la temperatura, la radiación solar, la humedad, el flujo de aire y otros factores influyen en la eficiencia energética y el confort térmico de un espacio.

Importancia de realizar un análisis térmico

- 1. Confort térmico: Permite diseñar espacios que proporcionen un ambiente confortable para los ocupantes, evitando temperaturas extremas y variaciones incómodas.
- 2. Eficiencia energética: Un análisis adecuado ayuda a identificar oportunidades para reducir el consumo de energía, optimizando el uso de sistemas pasivos (como la ventilación natural) y activos (como aire acondicionado y calefacción).
- 3. Sostenibilidad: Contribuye a reducir la huella de carbono del edificio, ya que un diseño bioclimático y un control térmico eficiente disminuyen el uso de energía y, por ende, las emisiones de gases de efecto invernadero.
- 4. Adaptación climática: Ayuda a que las edificaciones se adapten mejor a las condiciones climáticas locales, maximizando el confort con recursos naturales, como la luz solar o el viento.
- 5. Durabilidad de los materiales: El comportamiento térmico también influye en la vida útil de los materiales. Evitar picos de temperatura puede prevenir la degradación prematura de ciertos componentes constructivos.

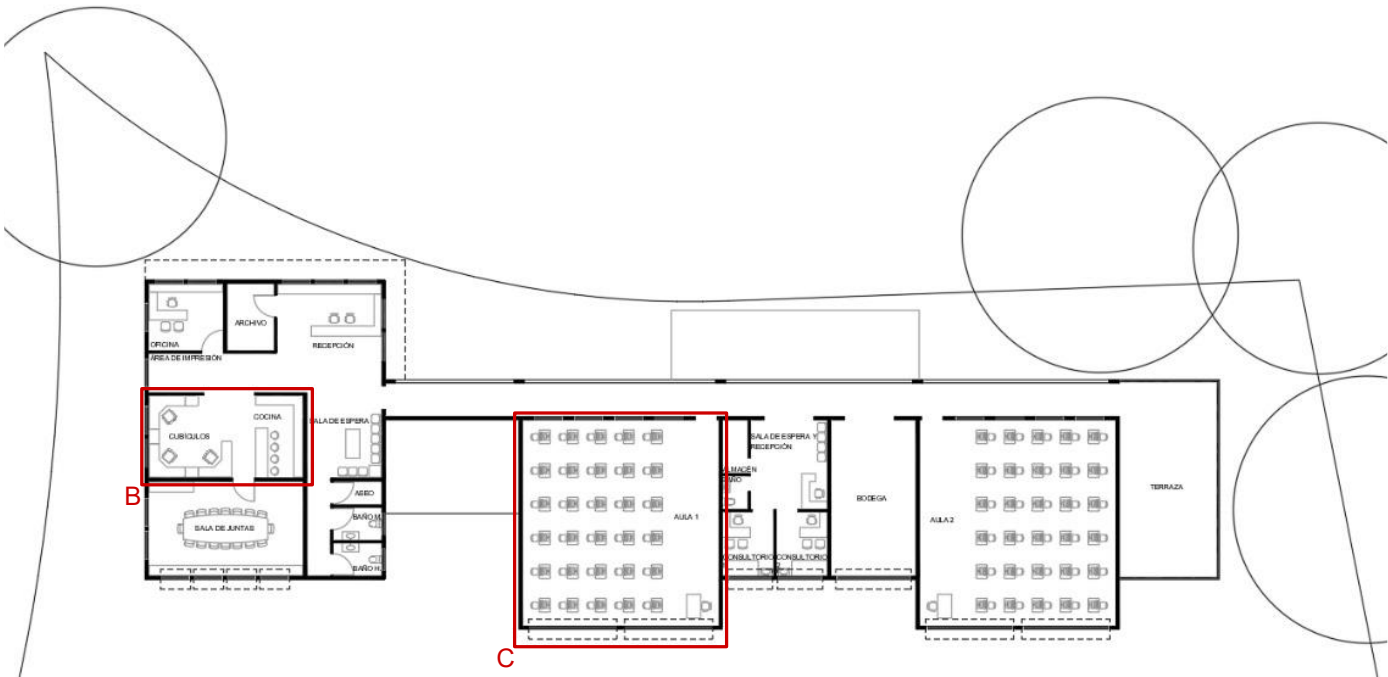
En el contexto del diseño bioclimático, un análisis térmico es crucial porque permite que el diseño arquitectónico esté en sintonía con el entorno natural, promoviendo un enfoque más equilibrado y respetuoso con el medio ambiente.

4.5.1. Áreas de estudio



PLANTA BAJA

Plano 16. Plano de Planta baja. Elaboración propia.



PLANTA ALTA

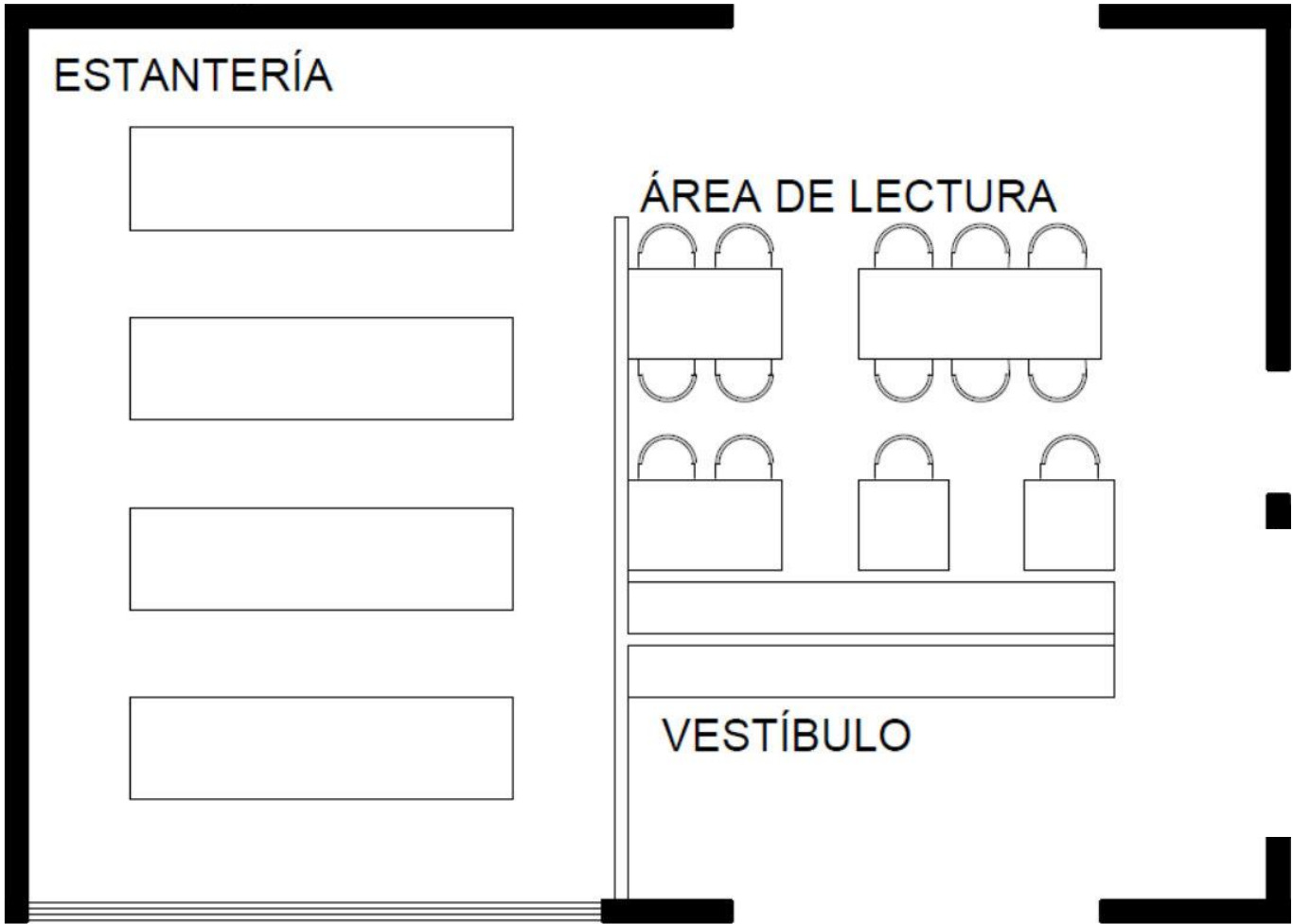
Plano 17. Plano de Planta Alta. Elaboración propia.

Para este análisis, se tomaron en cuenta 3 espacios diferentes:

- A. Biblioteca: En Planta Baja en el edificio de aulas.
- B. Cubículos: En Planta Alta en el edificio administrativo.
- C. Aula: En Planta Alta en el edificio de aulas.

El horario operativo de estos espacios será de las 9 de la mañana a las 4 de la tarde, de lunes a sábado.

4.5.1.1. Biblioteca



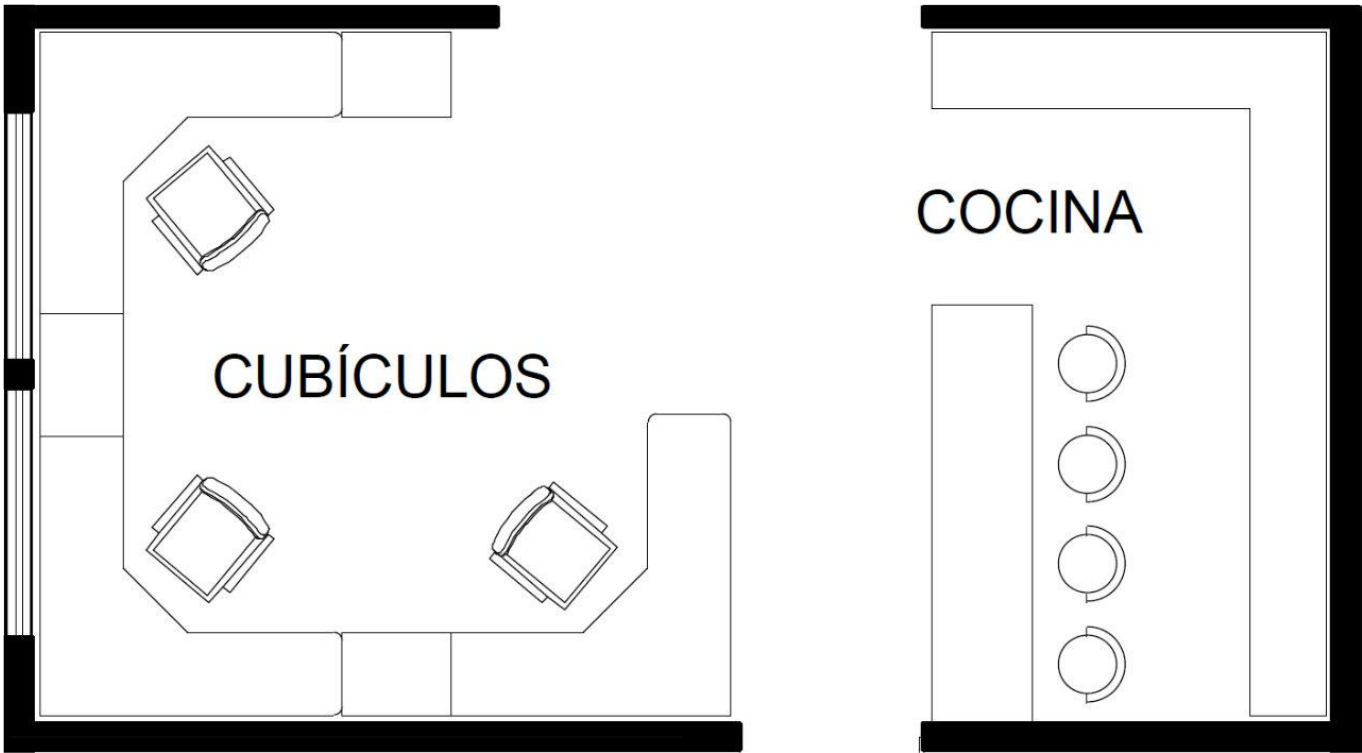
Plano 18. Plano de Biblioteca

La biblioteca es un espacio cerrado, está dividido en 3 secciones: estantería, zona de lectura y vestíbulo. Su perímetro está conformado por 4 muros de concreto, de los cuales las fachadas Norte

y Sur son colindantes al auditorio y baños, respectivamente; mientras que las fachadas Este y Oeste colindan al exterior, en ambos casos, los muros cuentan con puertas de acceso y el muro Este con una ventana para ventilación e iluminación natural.

Además, estará ocupada por mobiliario permanente como estantes, sillas y mesas de lectura; y tendrá una ocupación máxima de 20 personas.

4.5.1.2. Cubículos

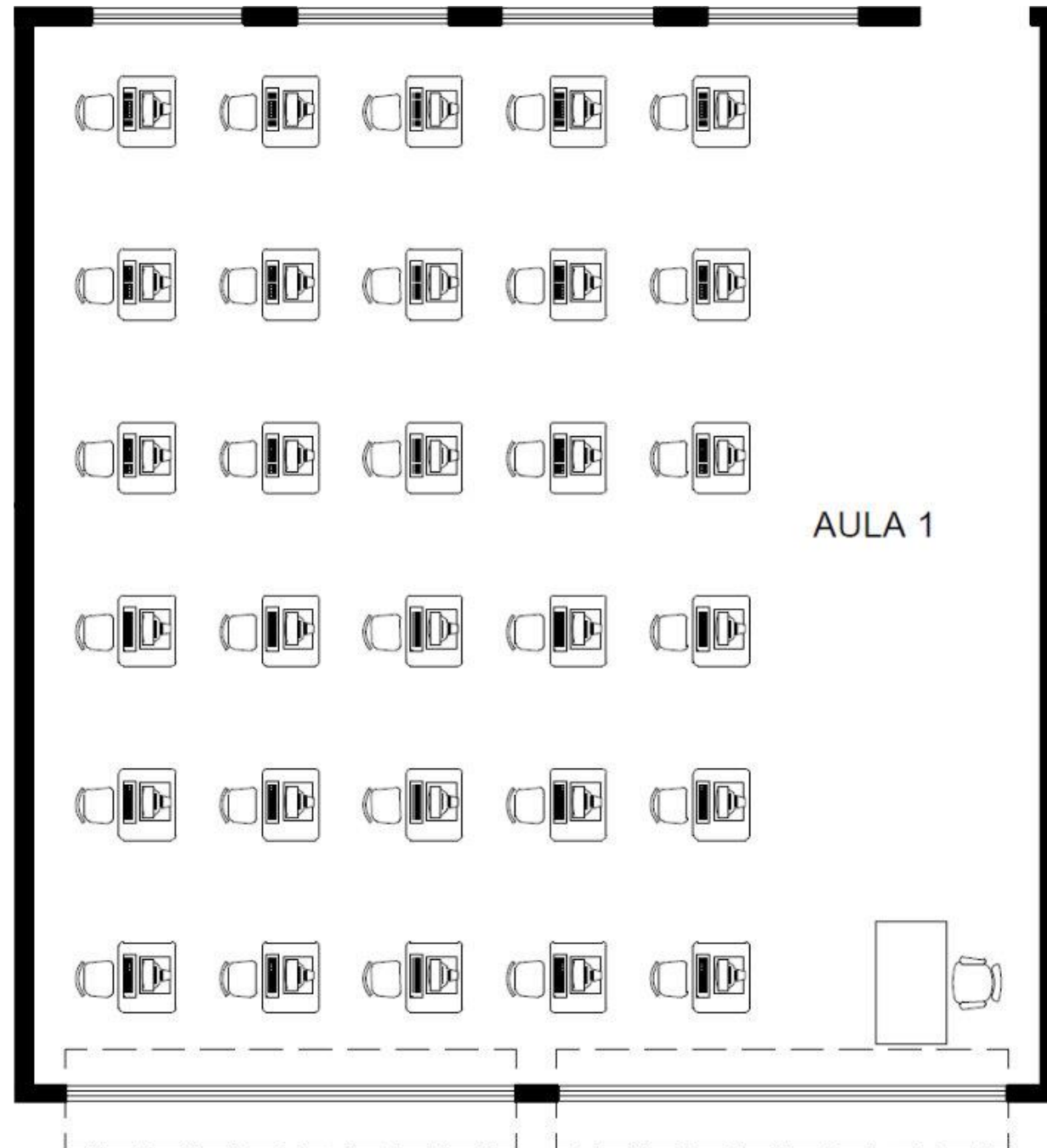


Plano 19. Plano de Cubículos. Elaboración propia.

La zona de cubículos es un espacio parcialmente cerrado y está dividido en 2 secciones: cubículos y cocina. Su perímetro está conformado por 4 muros de concreto, de los cuales los muros Norte, Este y Oeste son colindantes a otros espacios del interior del edificio de administración, de estos, el muro Este tiene una puerta con acceso a la sala de juntas, mientras que el muro Oeste cuenta con un vano hacia el área de impresión y pasillo de circulación. Por su parte, el muro Sur, el único colindante al exterior, el cual cuenta con 2 ventanas para iluminación y ventilación natural.

Este espacio estará ocupada por mobiliario permanente como escritorios, estantes y sillas. Tendrá una ocupación máxima aproximada de 5 personas.

4.5.1.3. Aula



Plano 20. Plano de aula. Elaboración propia.

El aula es un espacio cerrado y su perímetro está conformado por 4 muros de concreto, de los cuales el muro Norte es el único colindante con otro espacio interior, la enfermería; en cuanto a los muros restantes, el muro Sur es un muro ciego colindante con las escaleras, mientras que el muro Oeste, colinda con el pasillo de circulación y cuenta con 4 ventanas para ventilación e iluminación natural y una puerta de acceso, y el muro Este cuenta con 2 ventanas.

En este espacio se contará con butacas y equipo de cómputo, adicional a un escritorio y silla para el profesor. Tendrá una ocupación máxima de 31 personas.

4.5.2. Análisis en DesignBuilder

4.5.2.1. Software

Para este análisis se utiliza DesignBuilder, un software de simulación energética y análisis de edificios que permite modelar y analizar el comportamiento energético, térmico y ambiental de un edificio, además, está basado en EnergyPlus⁸, lo que lo convierte en una herramienta muy precisa y confiable para el diseño de edificios sostenibles.

Sus funciones principales son:

- Simulación de rendimiento energético: DesignBuilder utiliza motores de simulación avanzados, como EnergyPlus, para modelar con precisión el comportamiento térmico de un edificio. Permite evaluar cómo el diseño de un edificio interactúa con factores como la radiación solar, el aislamiento térmico, la ventilación y las cargas térmicas. Esto es clave para crear edificios eficientes y sostenibles.
- Modelado dinámico de confort térmico: Permite simular el confort térmico de los ocupantes en función de los factores climáticos y las características del edificio. Puedes analizar cómo varían las temperaturas interiores según la orientación, el tipo de materiales, la ventilación y otros aspectos arquitectónicos, lo que es crucial para lograr espacios confortables térmicamente.

⁸ EnergyPlus es un motor de simulación desarrollado por el Departamento de Energía de los EE. UU.

- Optimización de estrategias bioclimáticas: Con DesignBuilder se puede implementar y evaluar estrategias bioclimáticas, como la ventilación natural, la iluminación natural, el uso de sombreados y la inercia térmica de los materiales. Esto permite diseñar edificios que aprovechen mejor los recursos naturales y optimicen la eficiencia energética.
- Análisis de alternativas de diseño: Puede comparar diferentes alternativas de diseño en términos de su rendimiento térmico y energético. Esto ayuda a tomar decisiones fundamentadas sobre el tipo de materiales, ventanas, sistemas de calefacción y refrigeración, y demás aspectos del diseño para mejorar el rendimiento del edificio.
- Evaluación precisa del consumo energético: El software permite calcular de manera precisa el consumo de energía para calefacción, refrigeración e iluminación, lo que es fundamental para proyectos de arquitectura bioclimática que buscan minimizar el impacto ambiental y reducir costos operativos.
- Integración de condiciones climáticas locales: DesignBuilder tiene bases de datos meteorológicas de distintas zonas climáticas, lo que permite ajustar las simulaciones a las condiciones reales del entorno donde se va a construir. Esto es fundamental para un enfoque bioclimático, ya que optimiza el diseño según las características climáticas del lugar.
- Visualización 3D interactiva: Su interfaz de modelado en 3D facilita la visualización del edificio y sus componentes térmicos en un entorno intuitivo. Esto ayuda a interpretar cómo los cambios en el diseño afectan el rendimiento térmico y energético del edificio.
- Cumplimiento de normativas: El software facilita el cumplimiento de estándares y normativas energéticas internacionales y locales. Esto asegura que el diseño cumpla con los requisitos de sostenibilidad y eficiencia energética establecidos por las regulaciones.

4.5.2.2. Modelado

El proceso de modelado en DesignBuilder sigue una serie de pasos bien definidos que permiten simular el comportamiento energético y térmico de un edificio de manera detallada. Este proceso se realiza de la siguiente manera:

- Creación del modelo geométrico en 3D: El primer paso es crear la geometría del edificio usando las herramientas de modelado en 3D. Se definen las diferentes zonas del edificio (habitaciones, plantas, espacios exteriores, entre otros) y sus características geométricas como el tamaño, la forma y la orientación. Este modelado incluye la definición de:
 - Paredes, techos, pisos.
 - Puertas y ventanas.
 - Sombras (tanto por la propia estructura como elementos externos, como árboles o edificios cercanos).

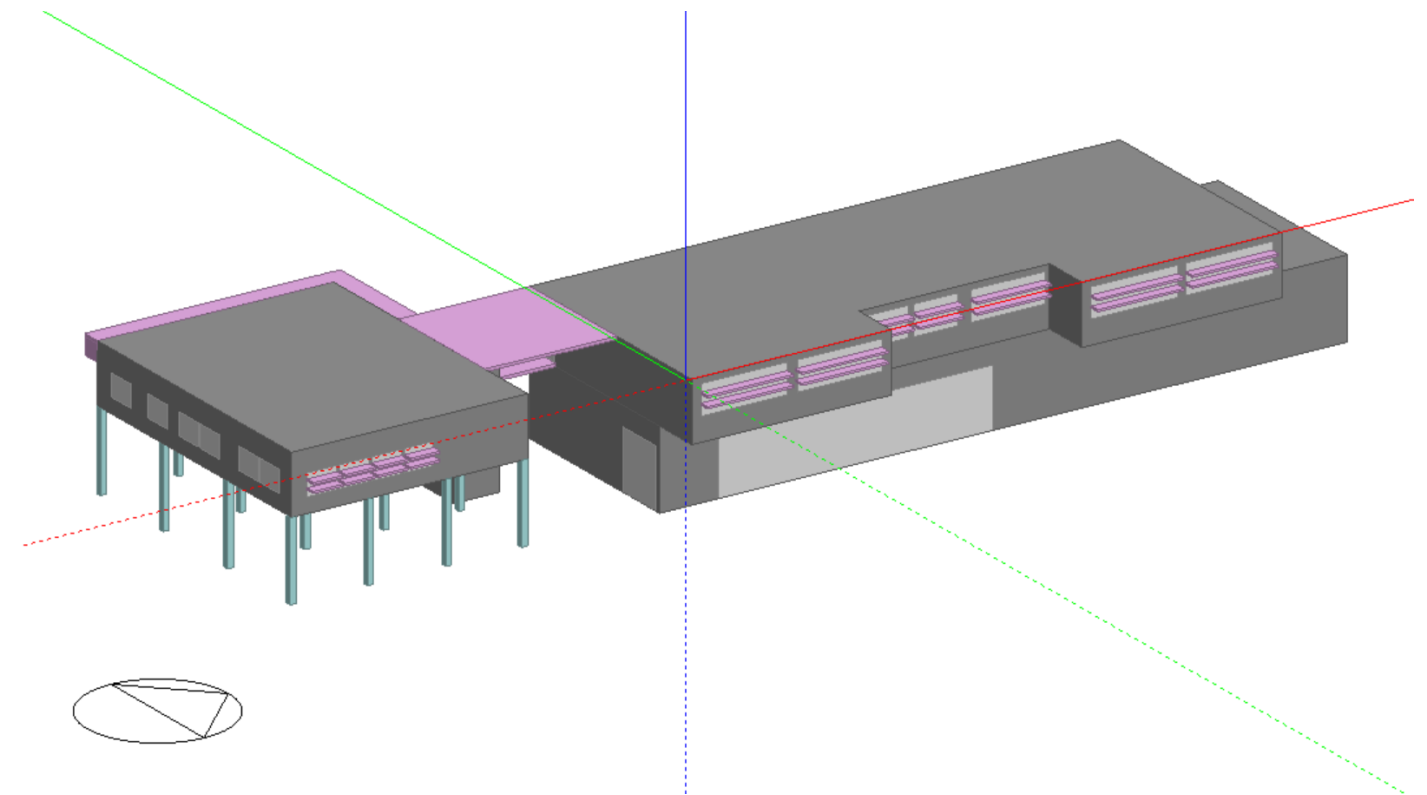


Figura 44. Perspectiva Sureste. Elaboración propia en Design Builder.

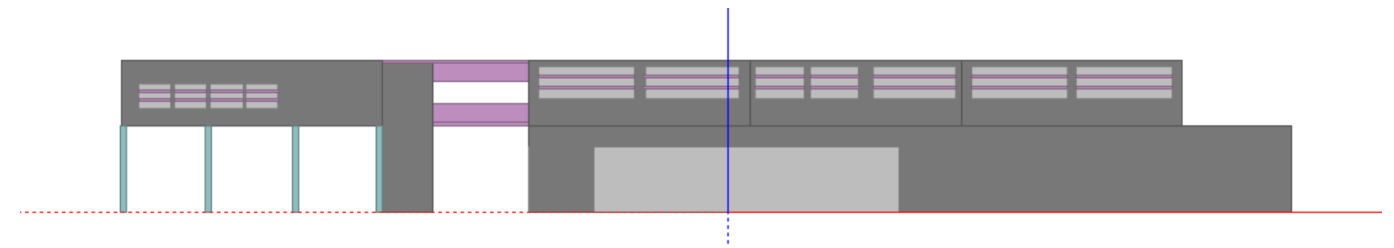


Figura 45. Alzado Este. Elaboración propia en Design Builder.

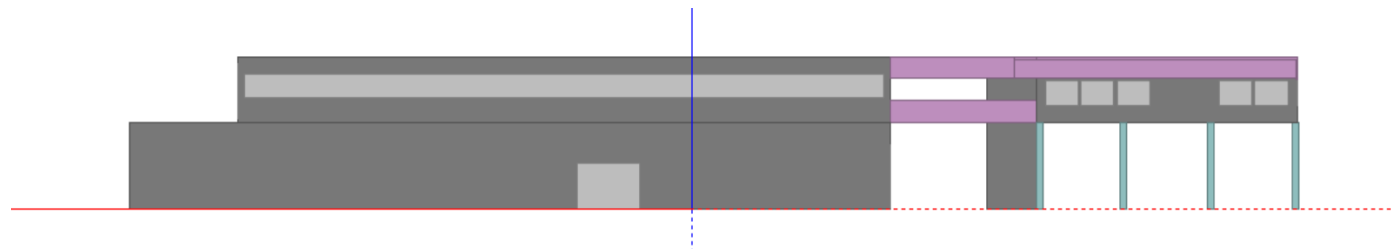


Figura 46. Alzado Oeste. Elaboración propia en Design Builder.

- Definición de propiedades constructivas: Una vez que el edificio está modelado, se asignan materiales y propiedades constructivas a cada elemento. Esto incluye especificar los tipos de paredes, techos, suelos, vidrios y cualquier otro componente que influya en el comportamiento térmico. Cada material tiene propiedades como:
 - Conductividad térmica: Cómo el material transmite el calor.
 - Capacidad calorífica: La cantidad de calor que un material puede almacenar.
 - Resistencia térmica: La capacidad del material para resistir el flujo de calor.
- Configuración de condiciones climáticas: Es fundamental definir el clima local para realizar un análisis preciso. Para este caso, DesignBuilder cuenta con una base de datos meteorológica global que permite seleccionar los datos climáticos específicos del sitio del proyecto. Estos factores son esenciales para analizar cómo el edificio interactúa con su entorno. Los parámetros climáticos incluyen:
 - Temperatura exterior.
 - Radiación solar.
 - Humedad relativa
 - Velocidad y dirección del viento.
- Asignación de usos y ocupación: DesignBuilder permite definir los patrones de uso del edificio, como los horarios de ocupación, los tipos de actividades y las cargas internas (calor generado por personas, equipos y luces). Esto es clave para simular con precisión el comportamiento térmico. Factores como el número de ocupantes, equipos electrónicos, sistemas de iluminación y cargas térmicas internas pueden ser especificados para cada zona o espacio del edificio.

- Simulación de ventilación y flujos de aire: En este paso, se configuran los sistemas de ventilación, ya sea ventilación natural o mecánica. Puedes modelar la entrada de aire fresco, el movimiento del aire a través del edificio y el escape de aire caliente. También es posible integrar sistemas de ventilación pasiva, como chimeneas solares o ventanas estratégicamente ubicadas para mejorar la ventilación natural.

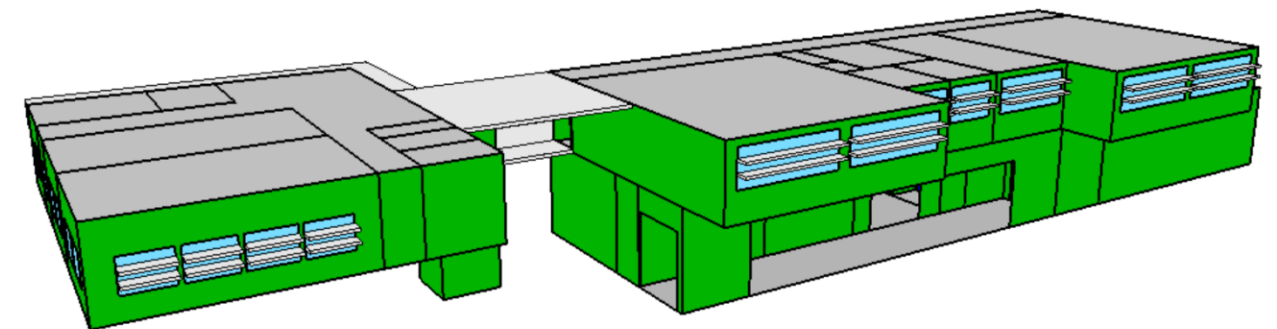


Figura 47. Perspectiva Sureste con materiales. Elaboración propia en Design Builder.

En cuanto al caso de estudio, el modelado 3D se realizó de ambos edificios, el de aulas y el de administración, incluyendo los dispositivos de control solar y colocando los materiales de los cuales se compone cada espacio. De tal manera que al realizar las simulaciones se pueda observar todo lo que incide en cada espacio, como el calor que éste podría ganar o perder debido a factores directos e indirectos tales como el sombreado de un edificio sobre otro. Para este análisis se consideró la siguiente apertura: ventanas semiabiertas (50%) y puertas cerradas (0%).

Finalmente, para la asignación de materiales se tomó como base el corte por fachada del Plano 21.

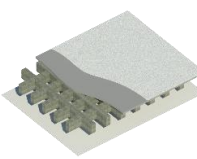
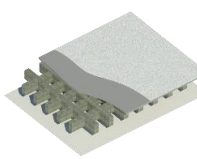
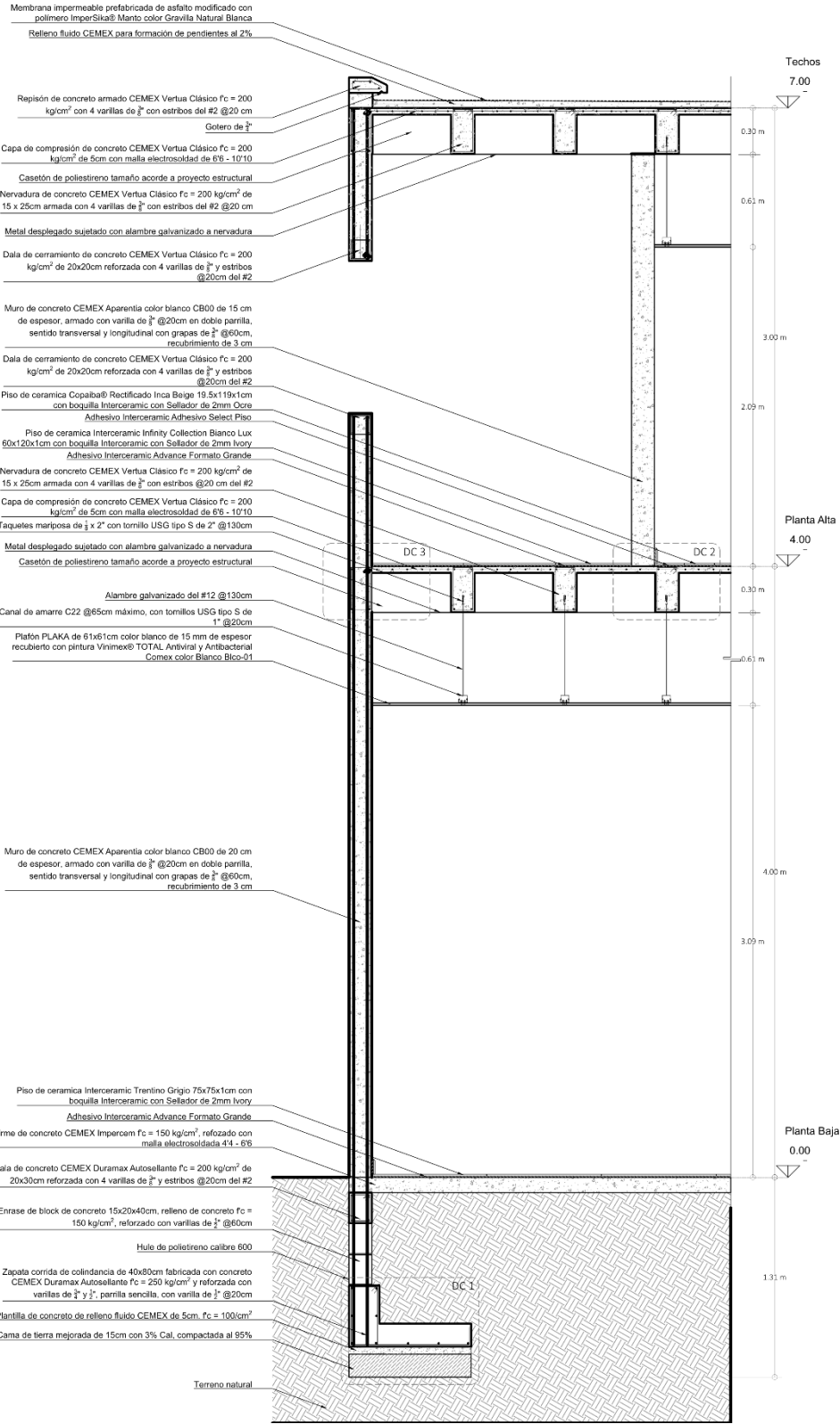
Tabla de Valores de los Materiales					
Referencia	Material	Ancho (m)	Conductividad (w/m*k)	Calor Específico (J/kg*K)	Densidad (kg/m3)
Muro aparentia Blanco CB00 de 20 cm					
	Concreto Aparentia	0.20	2.30	837.36	2321.40
Muro aparentia Blanco CB00 de 15 cm					
	Concreto Aparentia	0.15	2.27	837.36	2340.40
Cubierta de Azotea - Losa Nervada					
	Impermeabilizante Asfáltico Blanco	0.01	1.15	837.00	2325.00
	Relleno Fluido	0.10	0.16	840.00	500.00
	Nervadura	0.35	2.50	1000.00	2400.00
	Capa de Aire	0.60	0.30	1000.00	1000.00
	Plafón de Yeso	0.012	0.25	1000.00	900.00
Entrepiso - Losa Nervada					
	Piso de Loseta Cerámica	0.01	0.80	850.00	1700.00
	Pegazulejo	0.005	0.72	840.00	1860.00
	Nervadura	0.35	2.50	1000.00	2400.00
	Capa de Aire	0.60	0.30	1000.00	1000.00
	Plafón de Yeso	0.012	0.25	1000.00	900.00
Acristalamientos del Edificio					
	Vidrio Claro Genérico	0.006	0.90	-	2500.00
	Capa de Aire	0.012	0.30	1000.00	1000.00
	Vidrio Claro Genérico	0.006	0.90	-	2500.00
Puertas del Edificio					
	Madera de Roble Pintada	0.05	0.19	2390.00	700.00

Tabla 16. Valores de los materiales. Elaboración propia.



Plano 21. Corte por fachada. Elaboración propia.

4.5.2.3. Concreto en el proyecto

El uso de concreto como elemento de masividad en muros mejora significativamente el confort térmico interior y la eficiencia energética del edificio debido a su alta capacidad térmica. Los muros de concreto actúan como masa térmica, absorbiendo calor durante el día y liberándolo de forma lenta durante la noche. Esto reduce las fluctuaciones térmicas interiores, disminuyendo la demanda de sistemas de climatización.

Además, el concreto propuesto es de la marca CEMEX, el cual cuenta con una garantía de reducción de carbono, esta se puede calcular gracias a su calculadora Vertua, en la cual, al contemplar el volumen, la distancia, la resistencia y demás factores, puede estimar cuanto CO₂ estamos contribuyendo a reducir.



Figura 48. Cálculo de reducción de CO₂. Fuente Calculadora Vertua <https://www.cemexmexico.com/calculadora-vertua>.

El cálculo mostrado (Figura 48) refleja la reducción de CO₂ desde la extracción de la materia prima hasta la entrega del concreto en el proyecto.

4.5.2.4. Simulación

El uso de simulaciones permite realizar predicciones precisas sobre el comportamiento del edificio a lo largo del tiempo, evaluando su eficiencia energética y su capacidad para mantener un confort térmico adecuado. Este tipo de simulación es esencial para optimizar tanto los costos operativos como la sostenibilidad del proyecto, ya que facilita la identificación de áreas de mejora y la implementación de soluciones de diseño bioclimáticas que maximicen el uso de recursos naturales y minimicen el consumo de energía.

Es así, que el procedimiento para realizar dicha simulación es el siguiente:

- Simulación de rendimiento energético y análisis térmico: Después de configurar el modelo, se ejecuta la simulación. El software genera una serie de resultados, como:
 - Temperaturas internas en cada zona.
 - Cargas térmicas (refrigeración, calefacción).
 - Consumo energético por los sistemas HVAC.
 - Análisis de confort térmico según distintos índices (como el índice de temperatura operativa o el de confort de Fanger).
- Evaluación de resultados: El software proporciona gráficos y tablas con los resultados de la simulación, lo que facilita la interpretación de los datos. Entre los resultados, se puede ver:
 - Comportamiento térmico de cada espacio a lo largo del tiempo.
 - Consumo de energía para calefacción y refrigeración.
 - Niveles de confort térmico y eficiencia energética.
- Optimización del diseño: Después de analizar los resultados, el usuario puede ajustar el diseño o los sistemas del edificio para mejorar su rendimiento. Esto incluye la modificación de materiales, la orientación del edificio o la proporción de ventanas. DesignBuilder permite

probar múltiples alternativas de diseño para ver cómo afectan al comportamiento térmico y energético del edificio.

- Generación de informes: Una vez que se ha optimizado el modelo, se pueden generar informes detallados que incluyen el análisis térmico, el consumo energético, los costos operativos, y los niveles de confort, los cuales son útiles para justificar decisiones de diseño ante clientes o autoridades regulatorias.

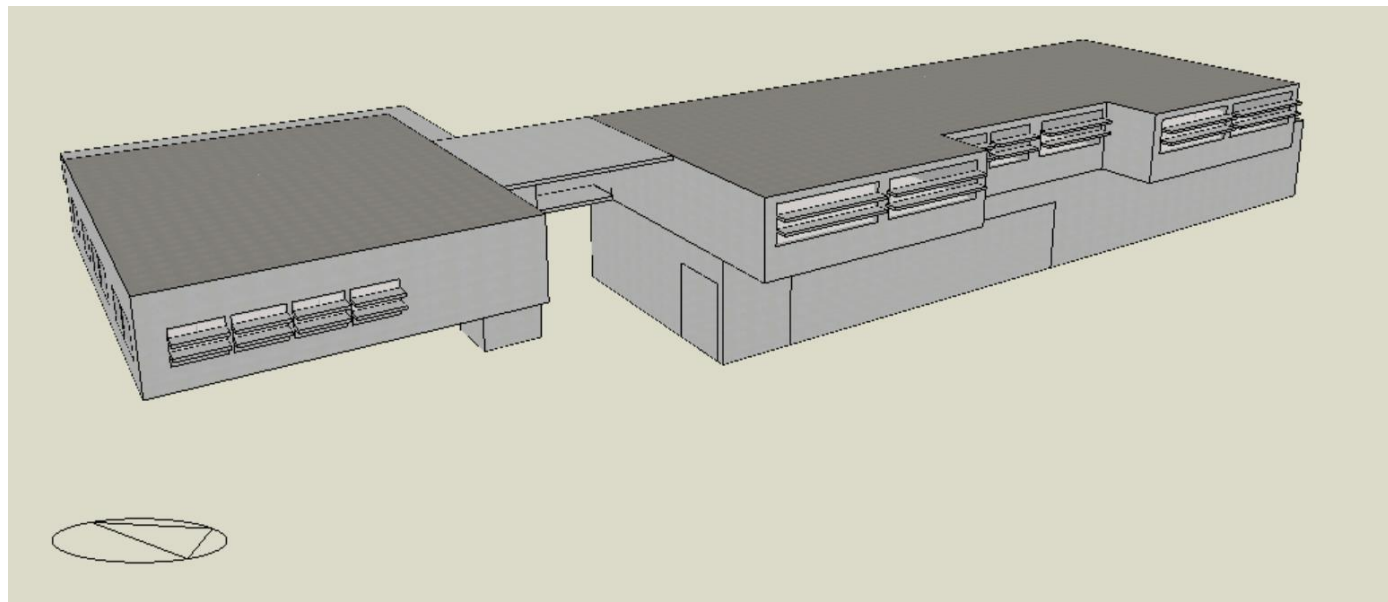


Figura 49. Perspectiva renderizada. Elaboración propia en Design Builder.

4.5.2.5. Comportamiento Térmico

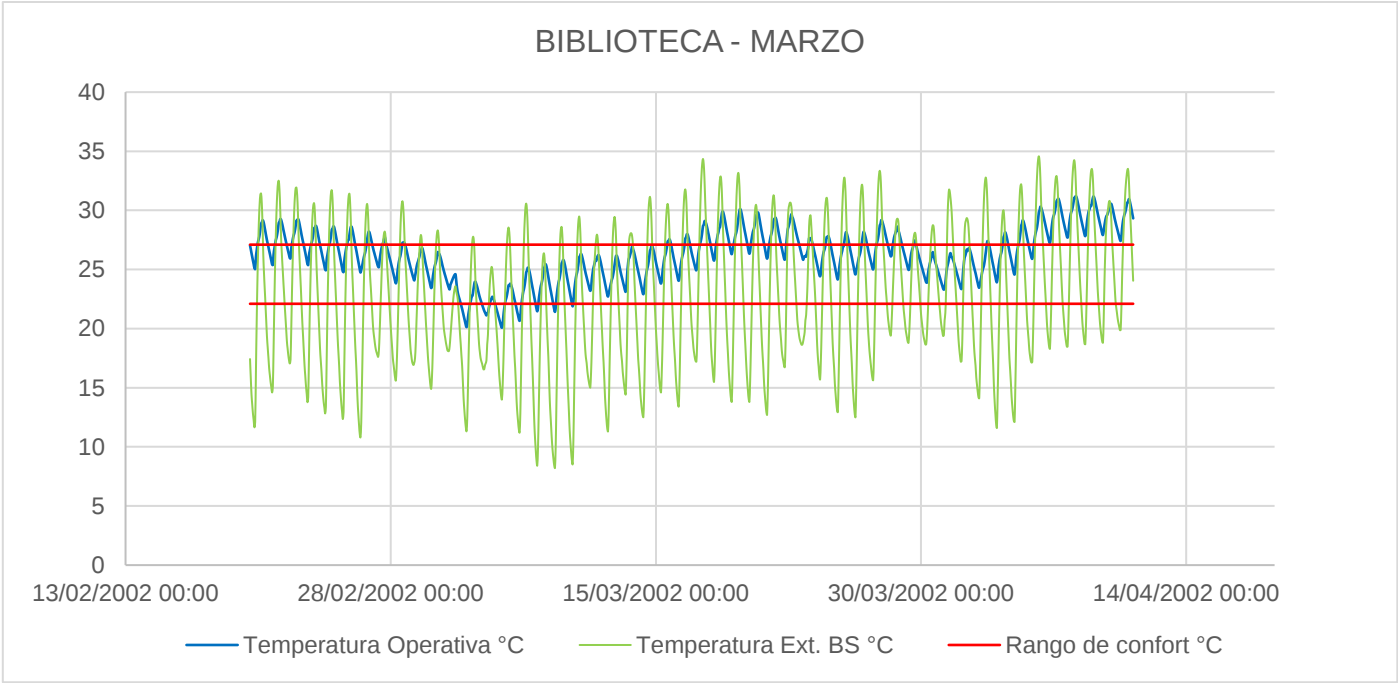
Como parte integral del análisis de la eficiencia térmica de la edificación, se generaron gráficas de los meses con condiciones críticas que permitieron observar las variables clave del comportamiento térmico tanto en el entorno exterior como en el interior del edificio. Estas gráficas incluyen la temperatura exterior de bulbo seco, que proporciona una referencia de las condiciones climáticas externas y su impacto sobre el edificio, especialmente en periodos de mayor carga térmica.

Además, se representó la temperatura operativa dentro de la edificación, tomando en cuenta los principales factores que influyen en el ambiente interior durante los horarios de operación. Estos

factores incluyen la ocupación de los espacios, la presencia de equipos de cómputo que generan calor adicional, así como el uso de luminarias que, al estar encendidas, incrementan la carga térmica interna. Estos elementos fueron considerados dentro del análisis para reflejar de manera precisa el comportamiento real de la temperatura interior durante los periodos de uso activo del edificio.

Por último, se incluyó en las gráficas el rango de confort térmico, calculado utilizando la fórmula desarrollada por Auliciems y Zsokolay. El rango de confort permite evaluar si las condiciones térmicas se encuentran dentro de los límites aceptables para asegurar el confort humano sin la necesidad de un excesivo uso de sistemas mecánicos de climatización, contribuyendo así a la eficiencia energética del edificio.

4.5.2.5.1. Biblioteca



Gráfica 31. Comportamiento Térmico de Biblioteca en marzo. Elaboración propia.

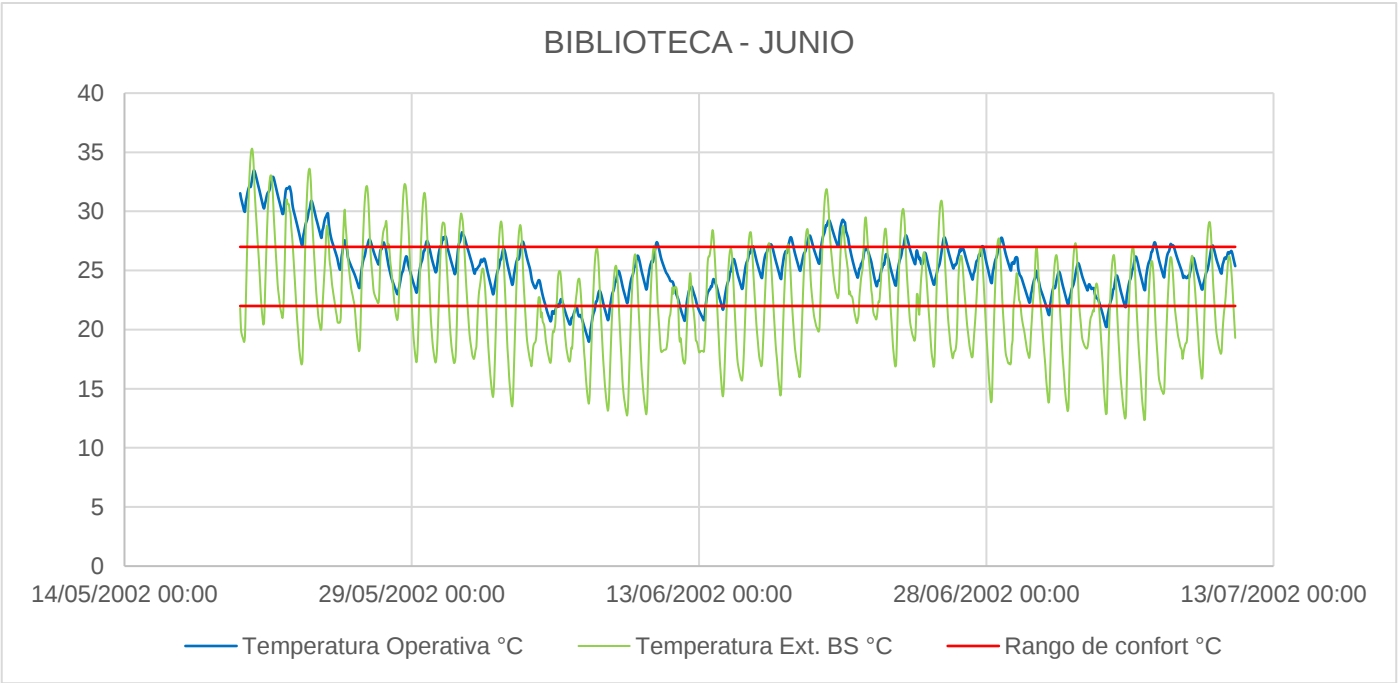
- $T_n = 24.6\text{ C}^\circ$
- $Z_c = 22.1\text{ C}^\circ - 27.1\text{ C}^\circ$

La temperatura exterior oscila entre los 8.2 C° y 34.3 C° , mientras que la temperatura operativa va de los 19.6 C° a 30.7 C° .

La temperatura operativa se encuentra dentro del rango de confort la mayor parte del mes.

Entre los días 17-22 se registran temperaturas por encima del rango de confort, mientras que los días 4-7 se encuentran por debajo del confort.

Para lograr el confort en los días de bajo calentamiento antes mencionados se recomienda deshumidificar y controlar las aperturas de los vanos que tiene el espacio, para disminuir la ventilación y conservar el calor; y para los días de sobrecalentamiento se propone facilitar la ventilación para disipar el calor.



Gráfica 32. Comportamiento Térmico de Biblioteca en junio. Elaboración propia.

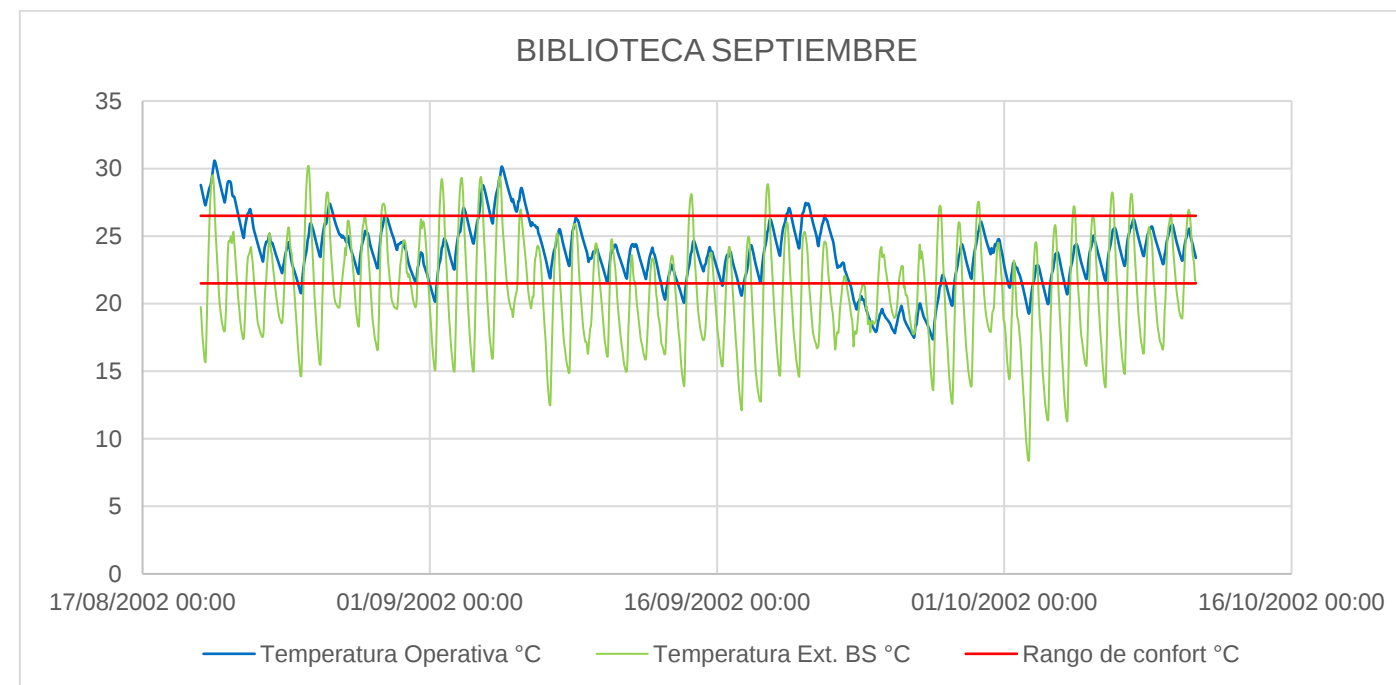
- $T_n = 24.5\text{ C}^\circ$
- $Z_c = 22\text{ C}^\circ - 27\text{ C}^\circ$

La temperatura exterior oscila entre los 12.9 C° y 31.3 C° , mientras que la temperatura operativa va de los 18.25 C° a 28.75 C° .

La temperatura operativa se encuentra dentro del rango de confort la mayor parte del mes.

Entre los días 6-7 se registran temperaturas totalmente por debajo del rango de confort, mientras que los días 19-20 están totalmente sobre el rango.

Para lograr el confort en los días de bajo calentamiento antes mencionados se recomienda controlar las aperturas de los vanos que tiene el espacio, para disminuir la ventilación y conservar el calor; y para los días de sobrecalentamiento se propone facilitar la ventilación para disipar el calor.



Gráfica 33. Comportamiento Térmico de Biblioteca en septiembre. Elaboración propia.

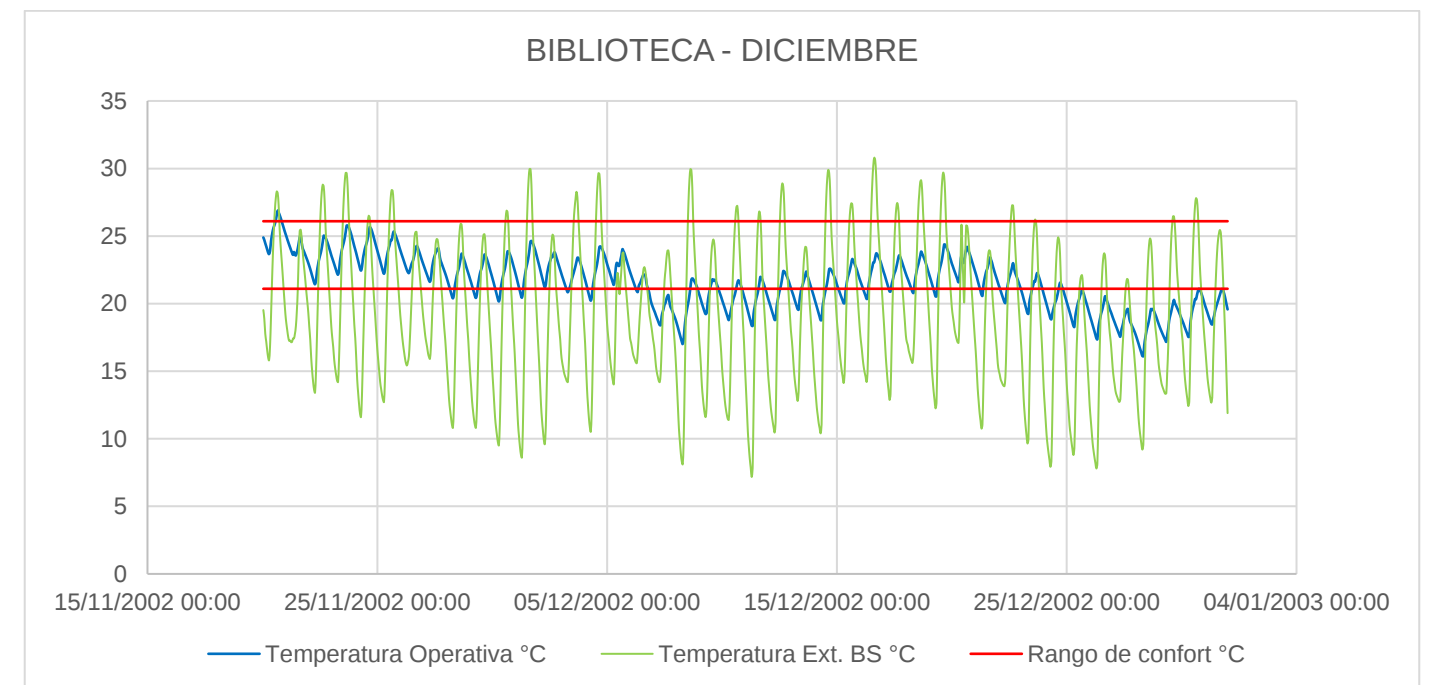
- $T_n = 24\text{ C}^\circ$
- $Z_c = 21.5\text{ C}^\circ - 26.5\text{ C}^\circ$

La temperatura exterior oscila entre los 12.3 C° y 28.7 C° , mientras que la temperatura operativa va de los 16.9 C° a 29.9 C° .

La temperatura operativa se encuentra dentro del rango de confort la mayor parte del mes.

Entre los días 3-5 se registran temperaturas totalmente por encima del rango de confort, mientras que los días 22-27 se encuentran totalmente por debajo del confort.

Para lograr el confort en los días de bajo calentamiento antes mencionados se recomienda controlar las aperturas de los vanos que tiene el espacio, para disminuir la ventilación y conservar el calor; y para los días de sobrecalentamiento se propone humidificar y facilitar la ventilación para disipar el calor.



Gráfica 34. Comportamiento Térmico de Biblioteca en diciembre. Elaboración propia.

- $T_n = 23.6\text{ C}^\circ$
- $Z_c = 21.1\text{ C}^\circ - 26.1\text{ C}^\circ$

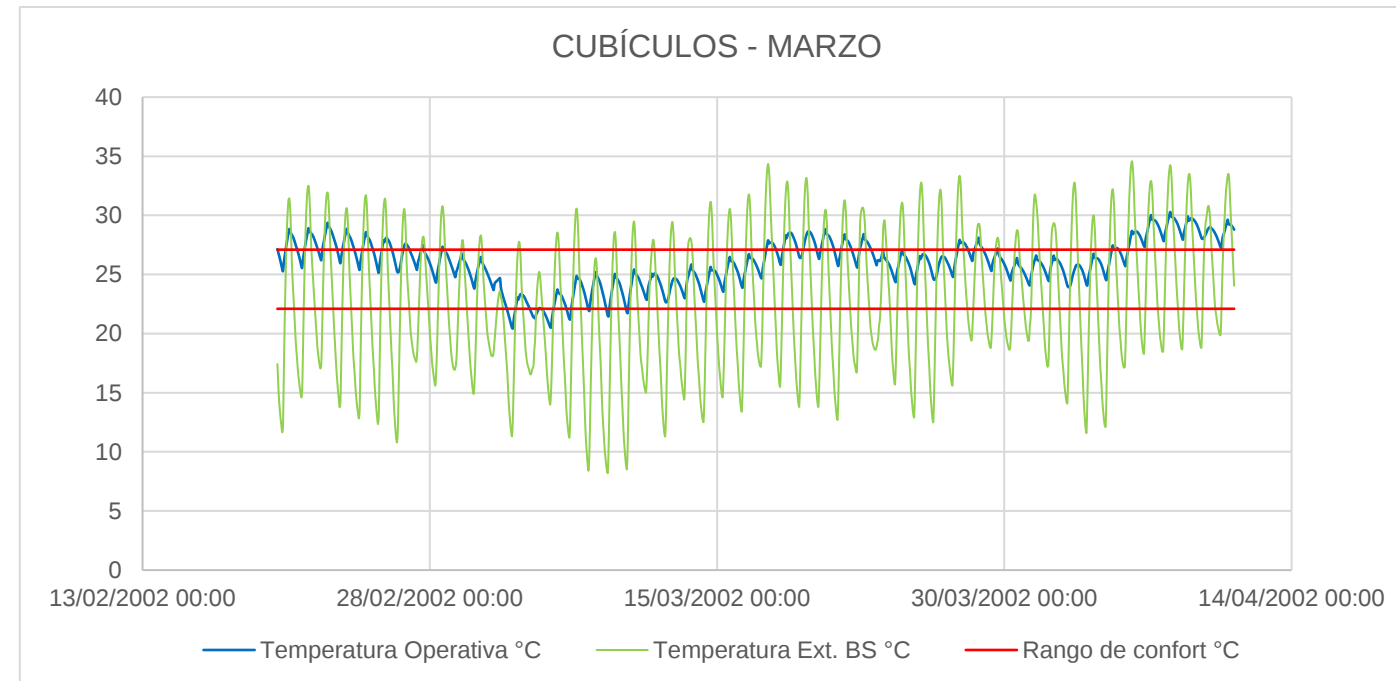
La temperatura exterior oscila entre los 7.1 C° y 30.8 C° , mientras que la temperatura operativa va de los 16.45 C° a 24.55 C° .

La temperatura operativa se encuentra dentro del rango de confort la mitad del mes.

Entre los días 6-8 y 24-31 se registran temperaturas totalmente por debajo del rango de confort, mientras que los días 9-13 y 22-23 están ligeramente por debajo del rango.

Para lograr el confort en los días de bajo calentamiento antes mencionados se recomienda deshumidificar y controlar las aperturas de los vanos que tiene el espacio, para disminuir la ventilación y conservar el calor.

4.5.2.5.2. Cubículos



Gráfica 35. Comportamiento Térmico de Cubículos en marzo. Elaboración propia.

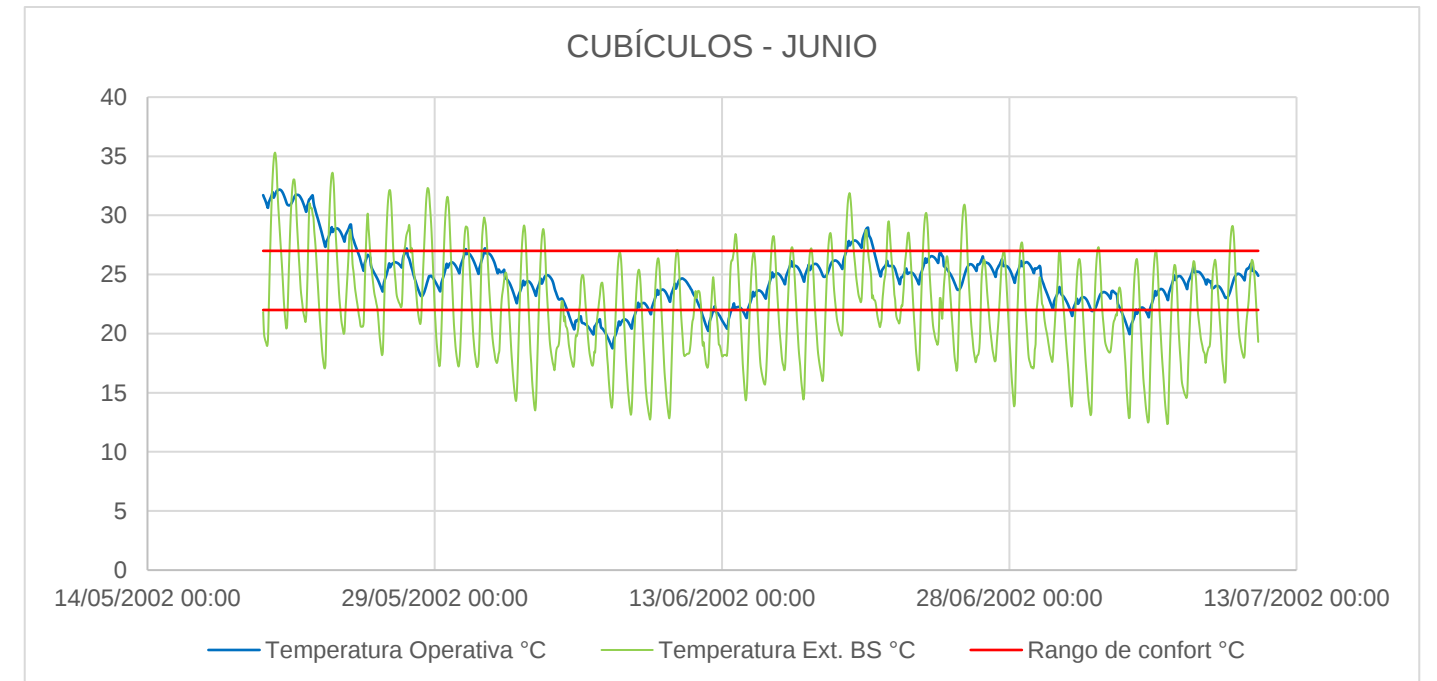
- $T_n = 24.6\text{ C}^\circ$
- $Z_c = 22.1\text{ C}^\circ - 27.1\text{ C}^\circ$

La temperatura exterior oscila entre los 8.2 C° y 34 C° , mientras que la temperatura operativa va de los 21 C° a 28 C° .

La temperatura operativa se encuentra dentro del rango de confort la mayor parte del mes.

Entre los días 3-5 se registran temperaturas ligeramente por debajo del rango de confort, mientras que los días 18-22 están ligeramente por encima del rango.

Para lograr el confort en los días de bajo calentamiento antes mencionados se recomienda controlar las aperturas de los vanos que tiene el espacio, para disminuir la ventilación y conservar el calor; y para los días de sobrecalentamiento se propone facilitar la ventilación para disipar el calor.



Gráfica 36. Comportamiento Térmico de Cubículos en junio. Elaboración propia.

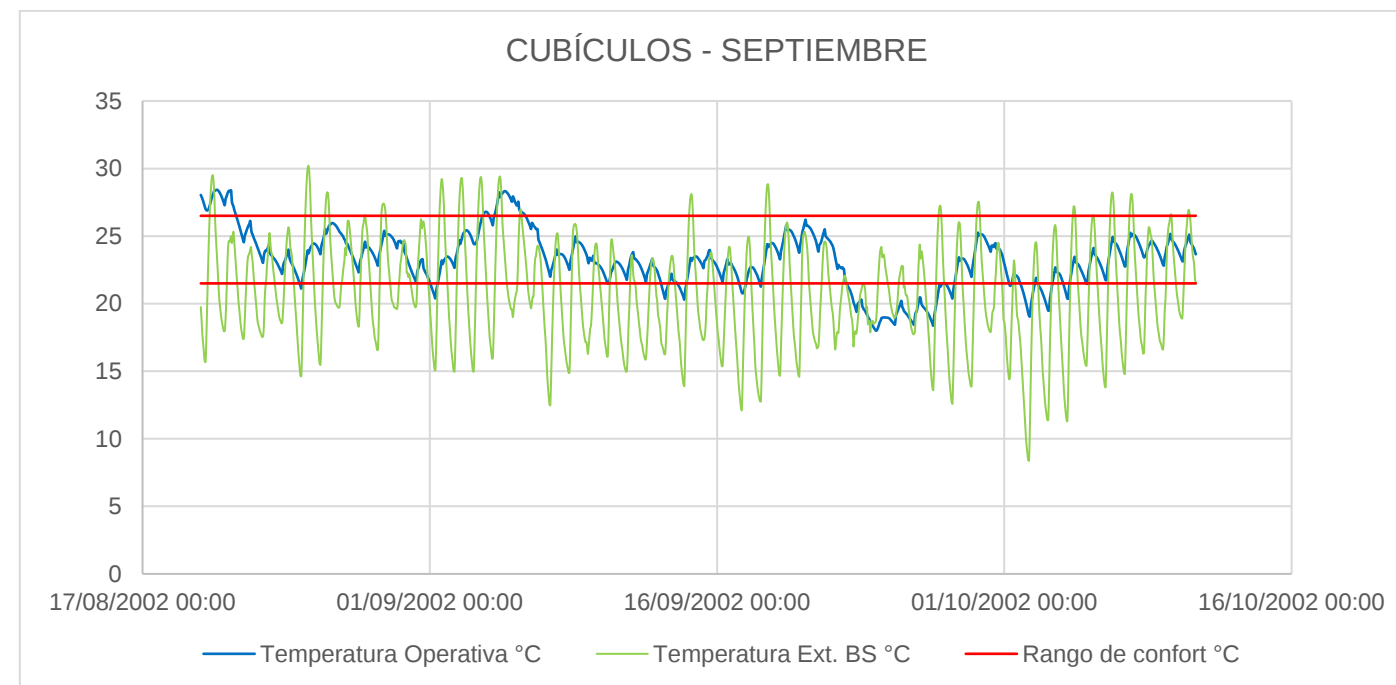
- $T_n = 24.5\text{ C}^\circ$
- $Z_c = 22\text{ C}^\circ - 27\text{ C}^\circ$

La temperatura exterior oscila entre los 11 C° y 34.5 C° , mientras que la temperatura operativa va de los 19.3 C° a 30 C° .

La temperatura operativa se encuentra dentro del rango de confort la mayor parte del mes.

Entre los días 4-8 y 12-13 se registran temperaturas totalmente por debajo del rango de confort.

Para lograr el confort en los días de bajo calentamiento antes mencionados se recomienda deshumidificar y controlar las aperturas de los vanos que tiene el espacio, para disminuir la ventilación.



Gráfica 37. Comportamiento Térmico de Cubículos en septiembre. Elaboración propia.

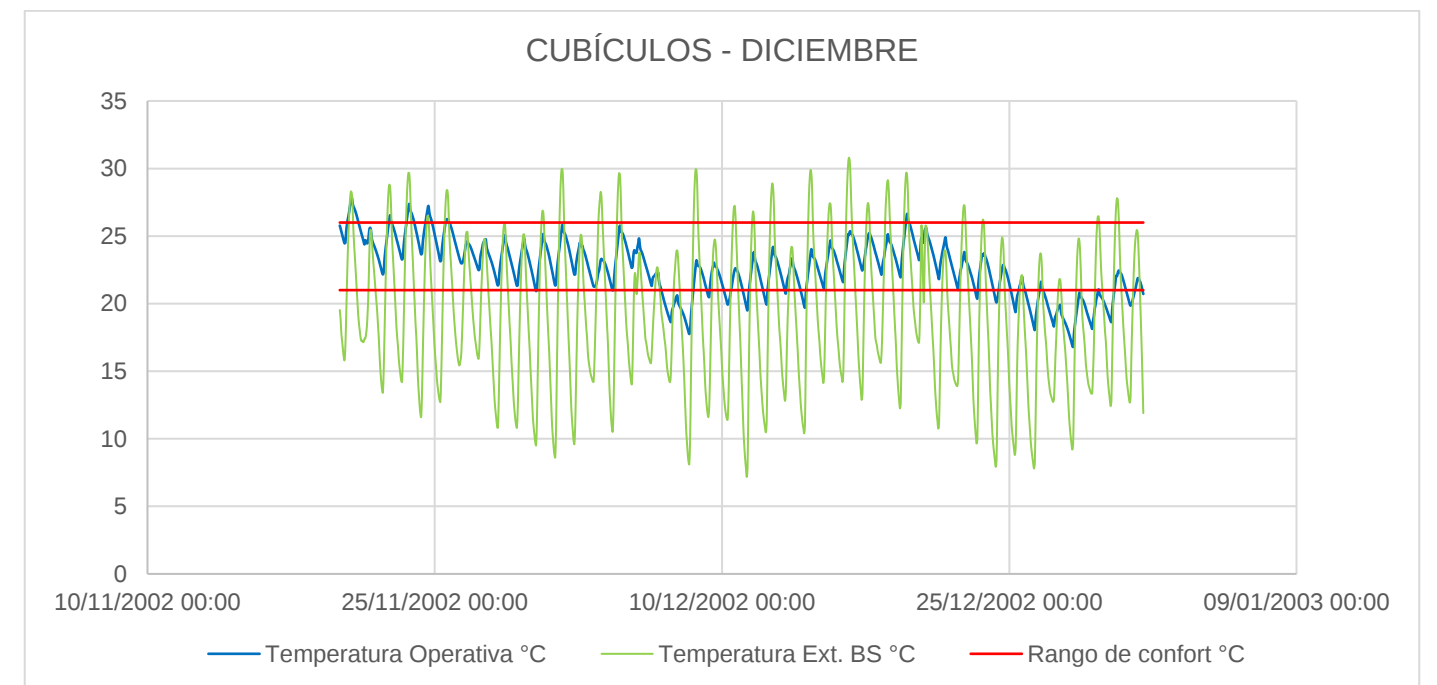
- $T_n = 24\text{ C}^\circ$
- $Z_c = 21.5\text{ C}^\circ - 26.5\text{ C}^\circ$

La temperatura exterior oscila entre los 12.3 C° y 28.8 C° , mientras que la temperatura operativa va de los 17.8 C° a 27.7 C° .

La temperatura operativa se encuentra dentro del rango de confort la mayor parte del mes.

Entre los días 3-5 se registran temperaturas totalmente sobre el rango de confort, mientras que los días 22-28 están totalmente por debajo del rango.

Para lograr el confort en los días de bajo calentamiento antes mencionados se recomienda deshumidificar y controlar las aperturas de los vanos que tiene el espacio, para disminuir la ventilación y conservar el calor; y para los días de sobrecalentamiento se propone facilitar la ventilación para disipar el calor.



Gráfica 38. Comportamiento Térmico de Cubículos en diciembre. Elaboración propia.

- $T_n = 23.5\text{ C}^\circ$
- $Z_c = 21\text{ C}^\circ - 26\text{ C}^\circ$

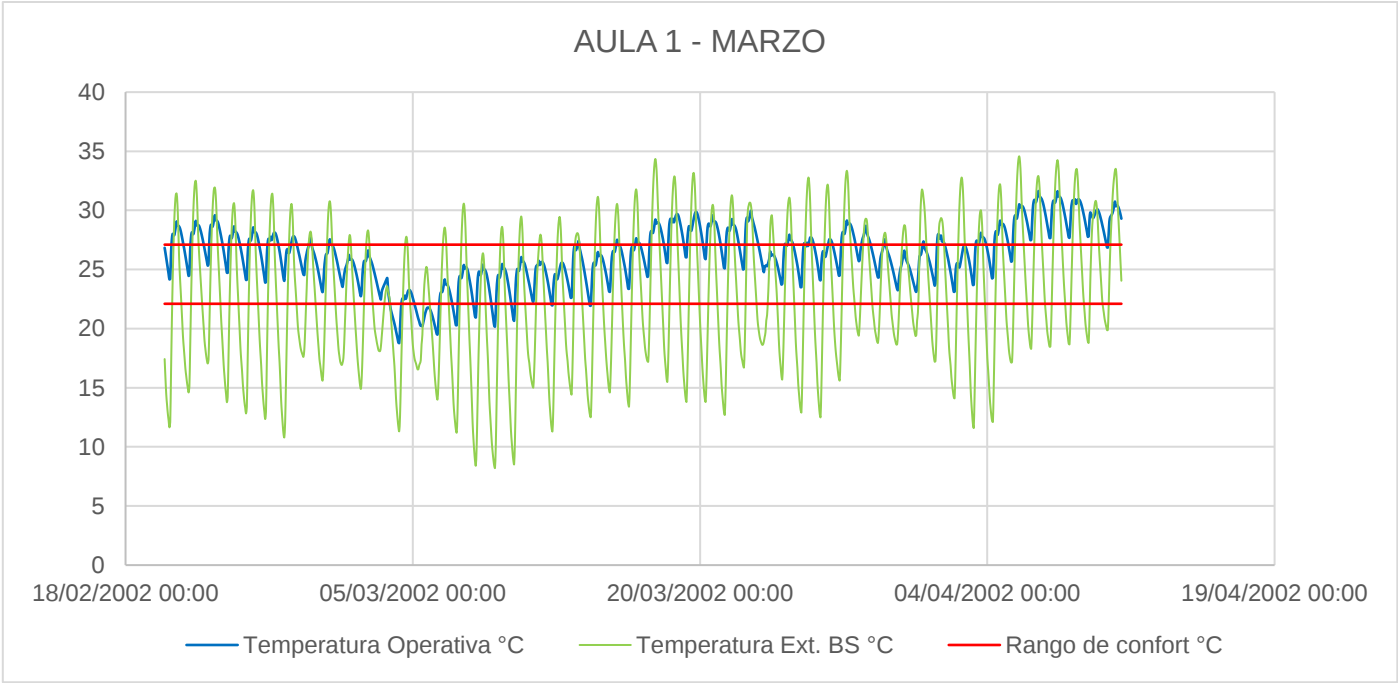
La temperatura exterior oscila entre los 11 C° y 34.5 C° , mientras que la temperatura operativa va de los 19.3 C° a 30 C° .

La temperatura operativa se encuentra dentro del rango de confort la mayor parte del mes.

Entre los días 6-8 se registran temperaturas totalmente por debajo del rango de confort, mientras que los días 9-13 están ligeramente por debajo del rango.

Para lograr el confort en los días de bajo calentamiento antes mencionados se recomienda deshumidificar y controlar las aperturas de los vanos que tiene el espacio, para disminuir la ventilación y conservar el calor.

4.5.2.5.3. Aula



Gráfica 39. Comportamiento Térmico de Aula en marzo. Elaboración propia.

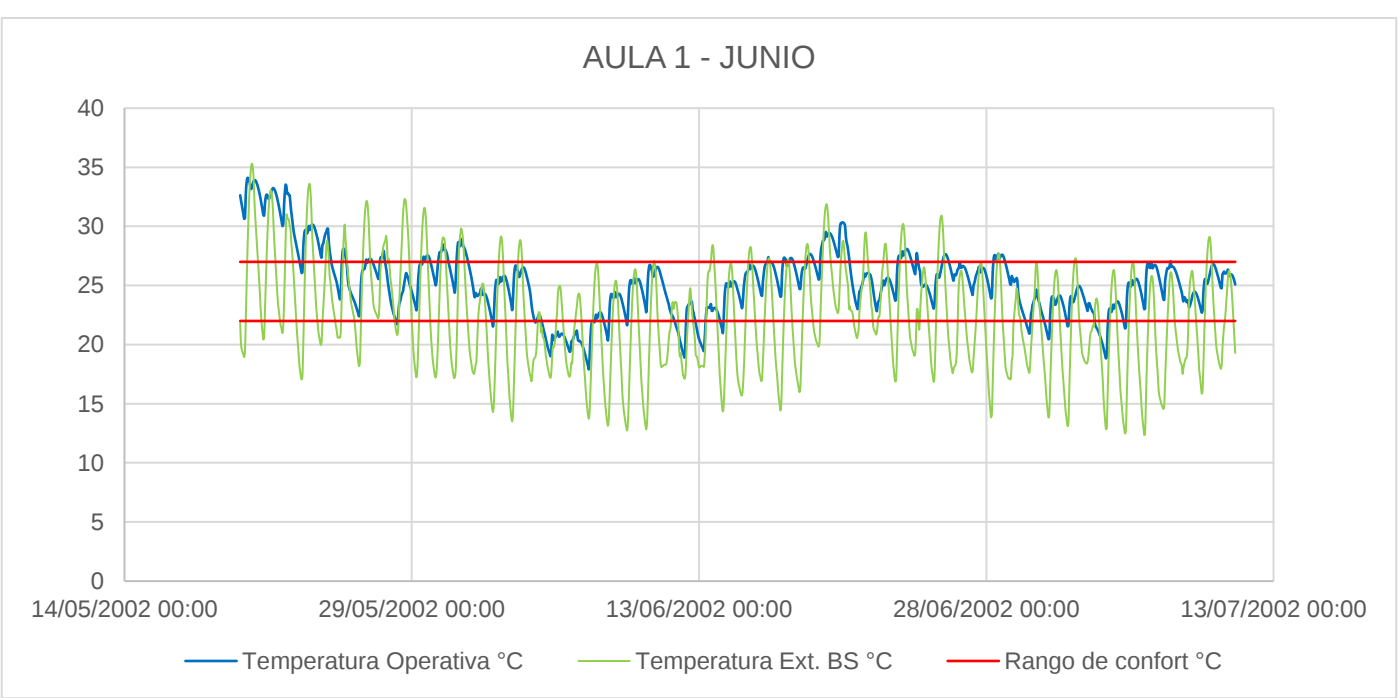
- $T_n = 24.6\text{ C}^\circ$
- $Z_c = 22.1\text{ C}^\circ - 27.1\text{ C}^\circ$

La temperatura exterior oscila entre los 8.4 C° y 34.3 C° , mientras que la temperatura operativa va de los 18.3 C° a 30 C° .

La temperatura operativa se encuentra dentro del rango de confort la mayor parte del mes.

Entre los días 3-6 se registran temperaturas totalmente por debajo del rango de confort, mientras que los días 17-22 están ligeramente por encima del rango.

Para lograr el confort en los días de bajo calentamiento antes mencionados se recomienda controlar las aperturas de los vanos que tiene el espacio, para disminuir la ventilación y conservar el calor; y para los días de sobrecalentamiento se propone facilitar la ventilación para disipar el calor.



Gráfica 40. Comportamiento Térmico de Aula en junio. Elaboración propia.

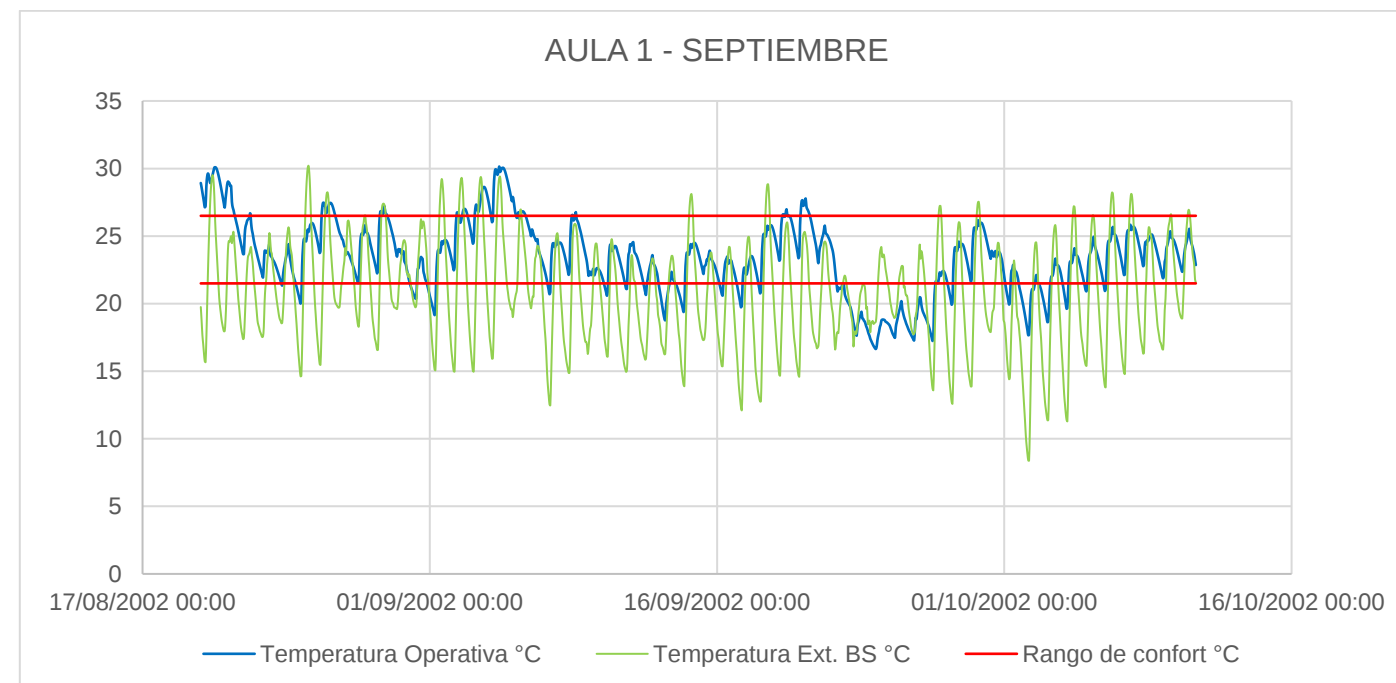
- $T_n = 24.5\text{ C}^\circ$
- $Z_c = 22\text{ C}^\circ - 27\text{ C}^\circ$

La temperatura exterior oscila entre los 12.8 C° y 31.3 C° , mientras que la temperatura operativa va de los 18.1 C° a 30.1 C° .

La temperatura operativa se encuentra dentro del rango de confort la mayor parte del mes.

Entre los días 4-7 y 12-13 se registran temperaturas totalmente por debajo del rango de confort, mientras que los días 19-20 están totalmente por encima del rango.

Para lograr el confort en los días de bajo calentamiento antes mencionados se recomienda deshumidificar y controlar las aperturas de los vanos que tiene el espacio, para disminuir la ventilación y conservar el calor; y para los días de sobrecalentamiento se propone facilitar la ventilación para disipar el calor.



Gráfica 41. Comportamiento Térmico de Aula en septiembre. Elaboración propia.

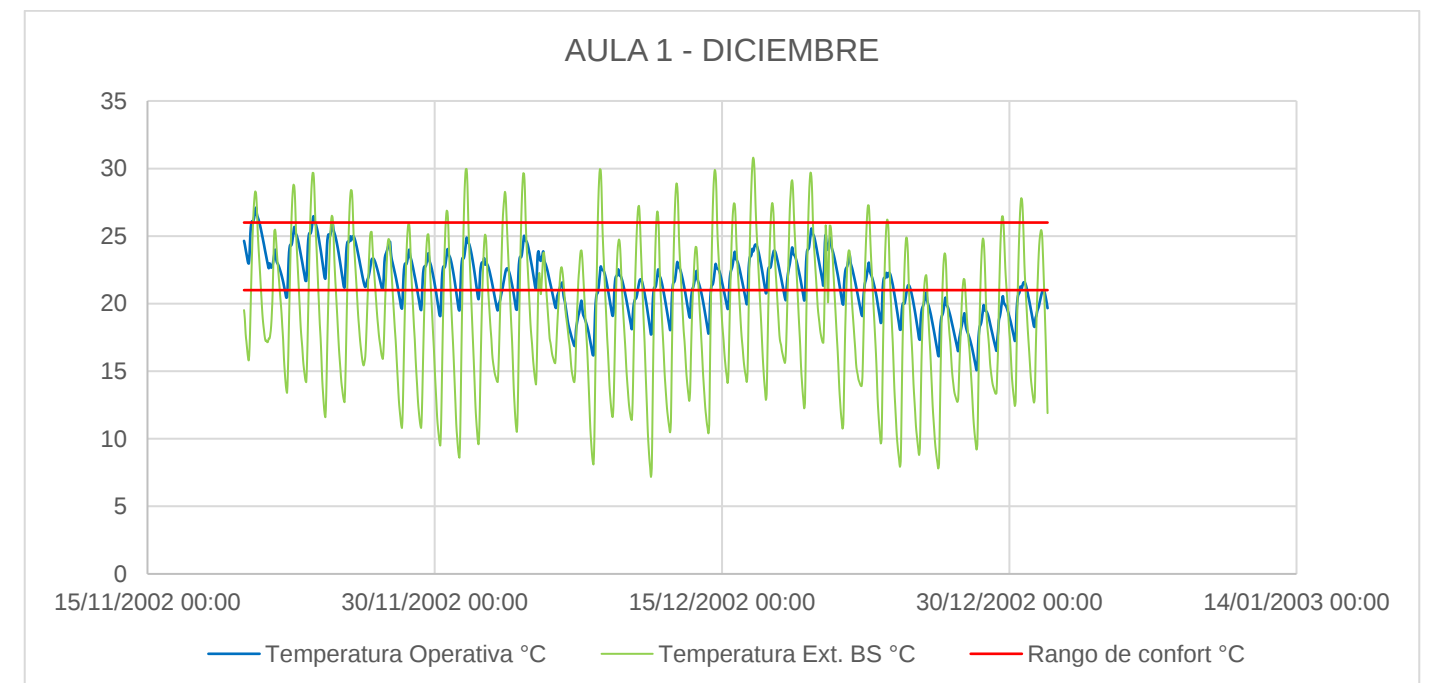
- $T_n = 24\text{ C}^\circ$
- $Z_c = 21.5\text{ C}^\circ - 26.5\text{ C}^\circ$

La temperatura exterior oscila entre los 12.5 C° y 30 C° , mientras que la temperatura operativa va de los 16.8 C° a 30.4 C° .

La temperatura operativa se encuentra dentro del rango de confort la mayor parte del mes.

Entre los días 4-5 se registran temperaturas totalmente por encima del rango de confort, del 12-14 están ligeramente por debajo del rango. Mientras que los días 22-27 están totalmente por debajo del rango.

Para lograr el confort en los días de bajo calentamiento antes mencionados se recomienda deshumidificar y controlar las aperturas de los vanos que tiene el espacio, para disminuir la ventilación y conservar el calor; y para los días de sobrecalentamiento se propone facilitar la ventilación para disipar el calor.



Gráfica 42. Comportamiento Térmico de Aula en diciembre. Elaboración propia.

- $T_n = 23.5\text{ C}^\circ$
- $Z_c = 21\text{ C}^\circ - 26\text{ C}^\circ$

La temperatura exterior oscila entre los 7.1 C° y 30.8 C° , mientras que la temperatura operativa va de los 16.6 C° a 25.8 C° .

La temperatura operativa se encuentra dentro del rango de confort la mitad del mes.

Entre los días 6-8 y 24-31 se registran temperaturas totalmente por debajo del rango de confort, mientras que los días 8-15 están ligeramente por debajo del rango.

Para lograr el confort en los días de bajo calentamiento antes mencionados se recomienda deshumidificar y controlar las aperturas de los vanos que tiene el espacio, para disminuir la ventilación y conservar el calor.

4.5.3. Propuesta de Mejora

En el análisis térmico realizado con el software Design Builder, se detectó que la temperatura operativa del aula se encontraba ligeramente por encima del rango de confort establecido para este tipo de espacio, lo que podría afectar negativamente el confort térmico de los ocupantes.

Para mitigar este problema, se propuso la incorporación de una doble cubierta o techo escudo, un sistema constructivo que introduce una segunda capa en la cubierta del edificio, creando una cámara de aire entre ambas superficies.

Esta doble cubierta funciona como una barrera térmica adicional y tiene varios mecanismos que contribuyen a la reducción de la temperatura interior. En primer lugar, la cámara de aire que se forma entre las dos capas actúa como un aislante térmico, reduciendo la transferencia de calor por conducción, este aire, al estar confinado, ralentiza el flujo de calor hacia el interior del edificio. En segundo lugar, la doble cubierta minimiza la cantidad de radiación solar que impacta directamente sobre el techo principal, lo que reduce la ganancia térmica por radiación, pues al bloquear y reflejar una parte importante de esta radiación, el calor que normalmente penetraría en el aula es disipado o absorbido por la capa superior del techo escudo, evitando que se acumule en el interior.

Además, en el caso de un techo escudo ventilado, el aire en la cámara puede circular y disiparse hacia el exterior, generando un efecto de enfriamiento por convección, donde el calor atrapado se desplaza y no llega a afectar las superficies internas del techo inferior. Esto significa que el espacio entre las cubiertas puede actuar como una especie de amortiguador térmico, manteniendo el aula más fresca durante los periodos de mayor radiación solar. Por tanto, la doble cubierta mejora la eficiencia térmica del edificio.

Para este caso específico, la doble cubierta instalada funcionó como un techo escudo, que no solo mejora la eficiencia energética del edificio, sino que también prolonga la vida útil de los materiales de la cubierta al reducir la exposición directa a las inclemencias del tiempo. La incorporación de este tipo de soluciones pasivas es fundamental cuando se presenta sobrecalentamientos en los edificios, ya que permiten alcanzar un mayor confort térmico sin depender exclusivamente de sistemas de climatización activos.

Consecutivamente, se modeló el techo escudo sobre el antiguo modelo, con la finalidad de realizar nuevamente la simulación en Design Builder, de tal manera que se pueda observar por medio de las gráficas el nuevo comportamiento del aula utilizando esta estrategia y saber si se cumplió con el objetivo de mantener la temperatura operativa dentro del rango de confort la mayor parte del tiempo.

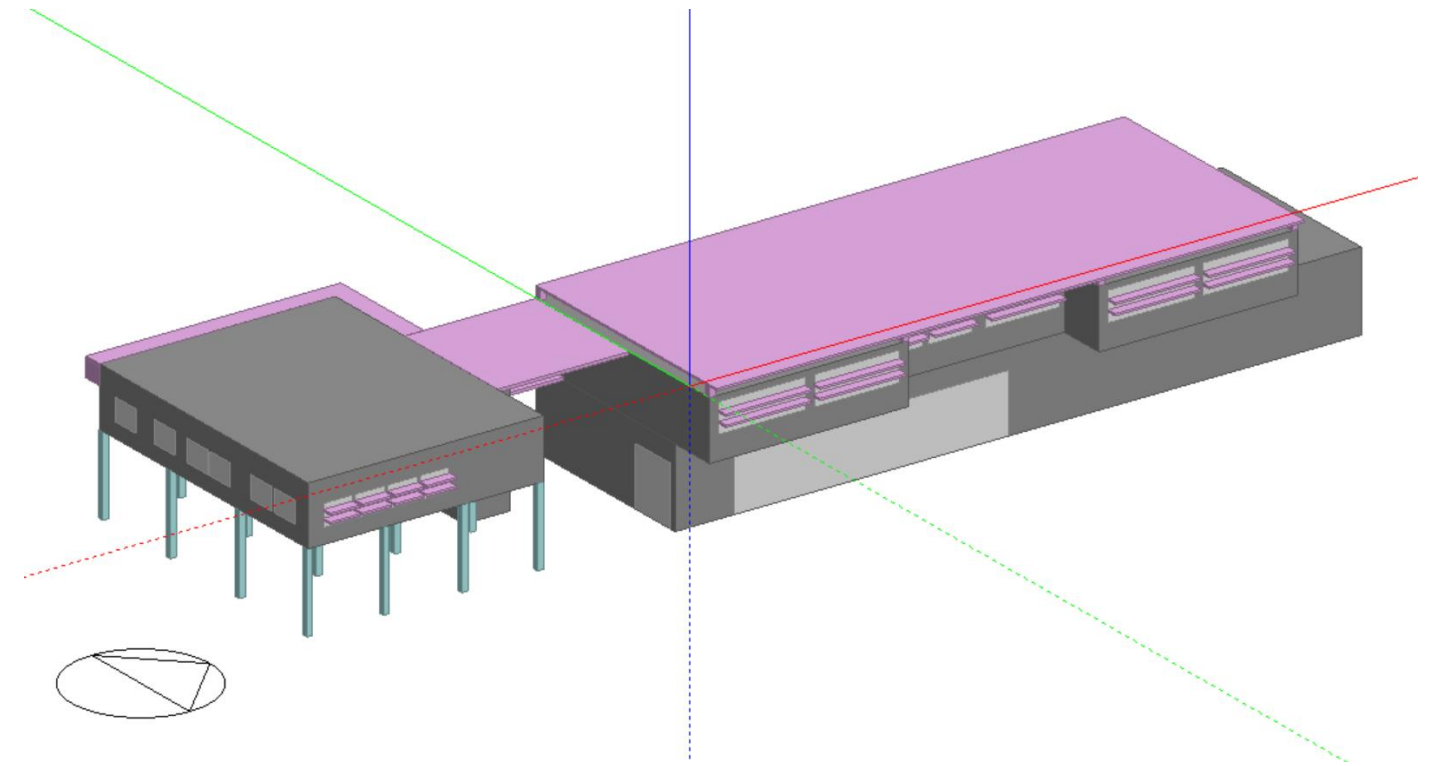
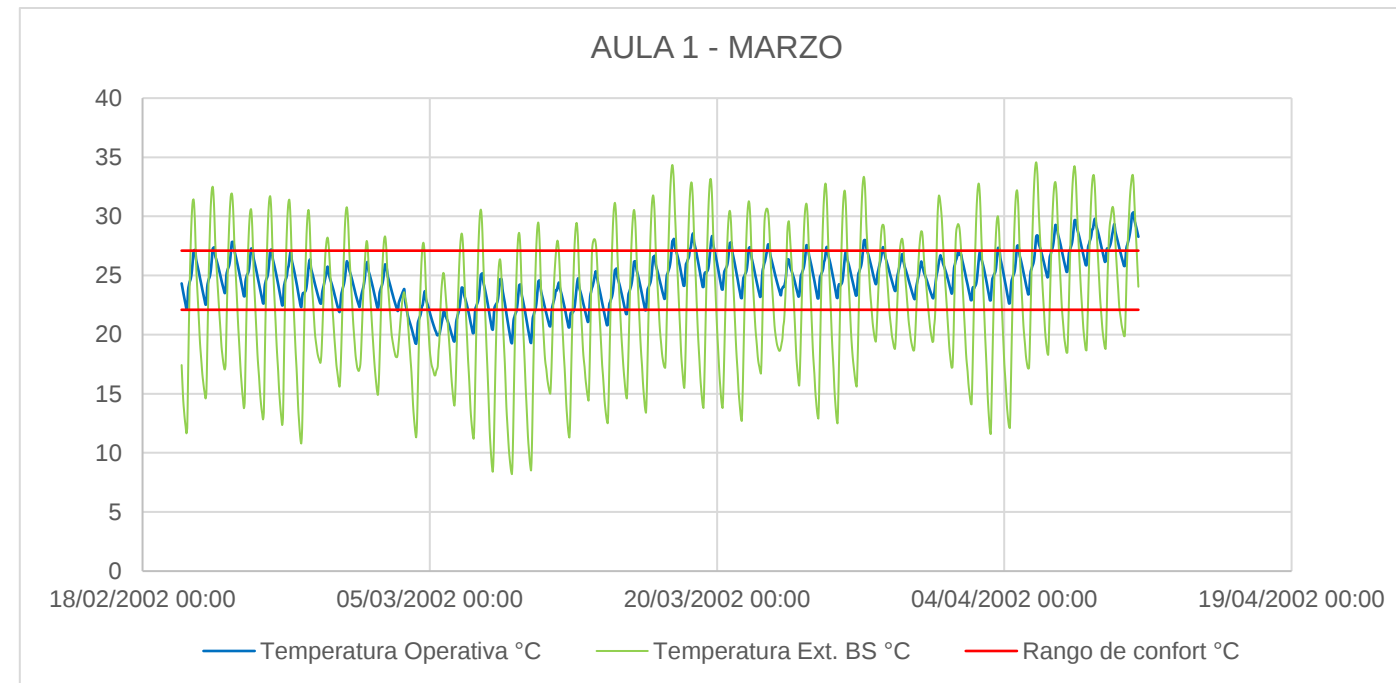


Figura 50. Perspectiva Sureste con techo escudo. Elaboración propia en Design Builder.

4.5.3.1. Comportamiento del aula con techo escudo



Gráfica 43. Comportamiento Térmico de Aula con techo escudo en marzo. Elaboración propia.

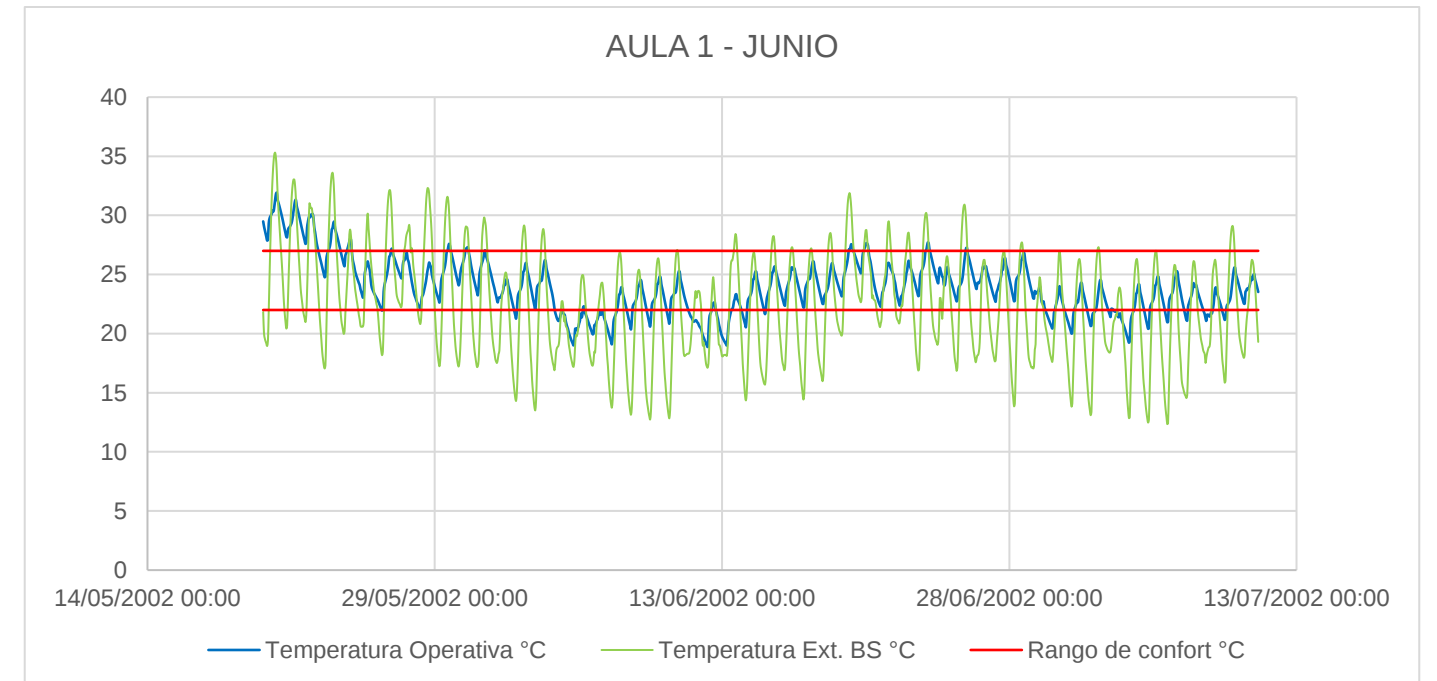
- $T_n = 24.6 \text{ C}^\circ$
- $Z_c = 22.1 \text{ C}^\circ - 27.1 \text{ C}^\circ$

La temperatura exterior oscila entre los 8.4 C° y 34.3 C° , mientras que la temperatura operativa va de los 18 C° a 28 C° .

La temperatura operativa se encuentra dentro del rango de confort la mayor parte del mes.

Entre los días 4-14 se registran temperaturas totalmente por debajo del rango de confort, mientras que los días 17-20 están ligeramente por encima del rango.

Para lograr el confort en los días de bajo calentamiento antes mencionados se recomienda controlar las aperturas de los vanos que tiene el espacio, para disminuir la ventilación y conservar el calor; y para los días de sobrecalentamiento se propone facilitar la ventilación para disipar el calor.



Gráfica 44. Comportamiento Térmico de Aula con techo escudo en junio. Elaboración propia.

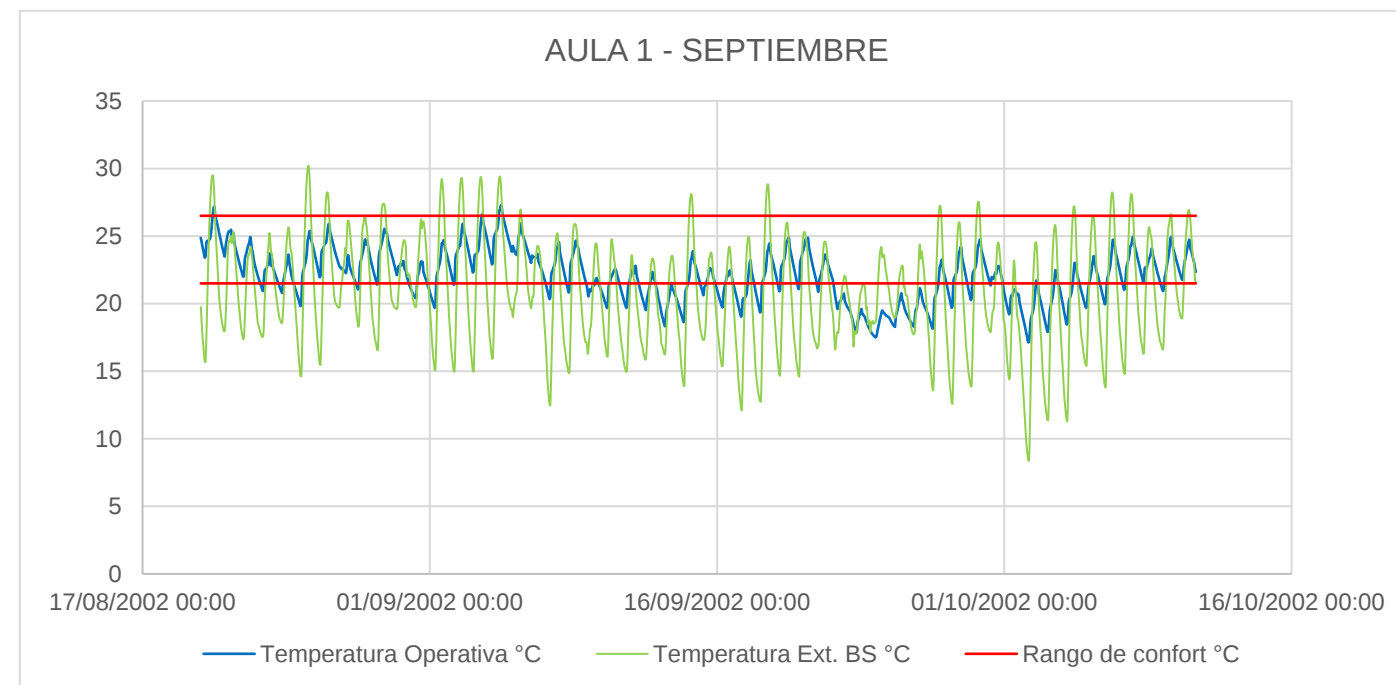
- $T_n = 24.5 \text{ C}^\circ$
- $Z_c = 22 \text{ C}^\circ - 27 \text{ C}^\circ$

La temperatura exterior oscila entre los 12.8 C° y 31.3 C° , mientras que la temperatura operativa va de los 19.1 C° a 27 C° .

La temperatura operativa se encuentra dentro del rango de confort la mayor parte del mes.

Entre los días 4-14 se registran temperaturas ligeramente por debajo del rango de confort.

Para lograr el confort en los días de bajo calentamiento antes mencionados se recomienda deshumidificar y controlar las aperturas de los vanos que tiene el espacio, para disminuir la ventilación y conservar el calor.



Gráfica 45. Comportamiento Térmico de Aula con techo escudo en septiembre. Elaboración propia.

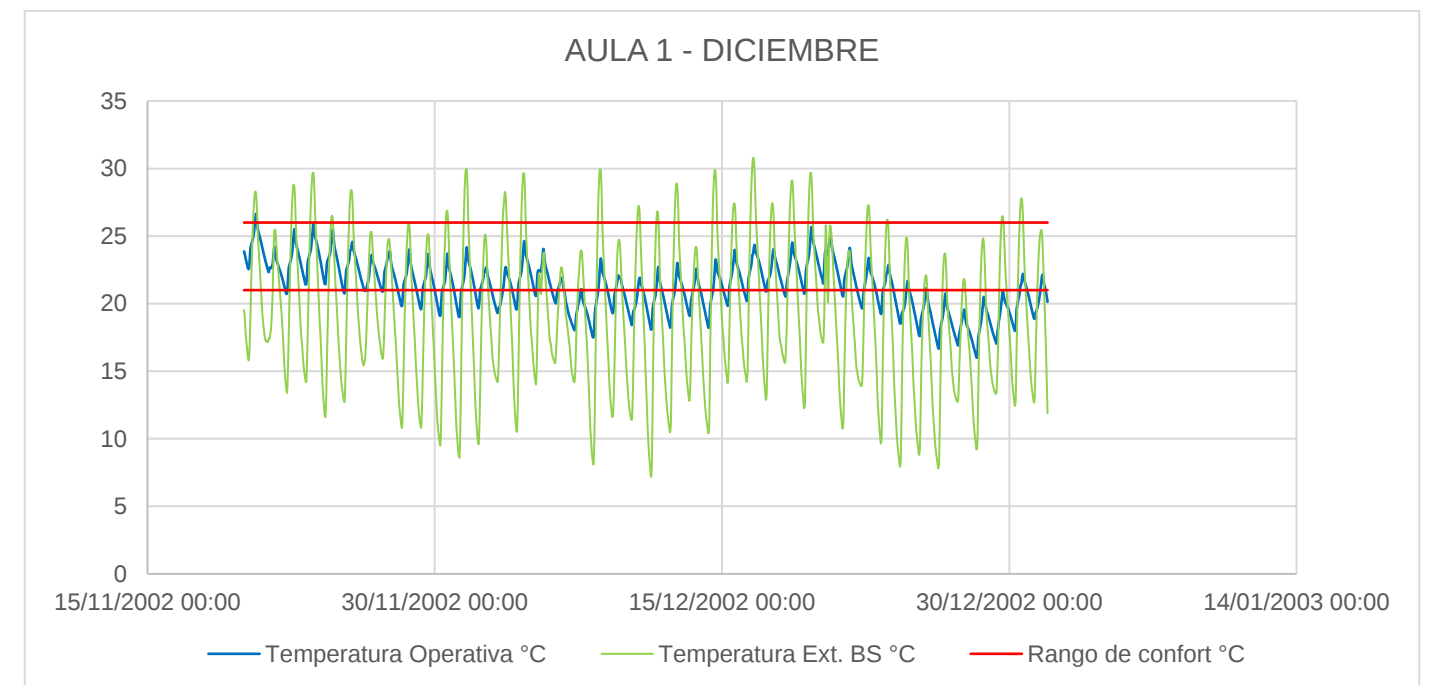
- $T_n = 24\text{ C}^\circ$
- $Z_c = 21.5\text{ C}^\circ - 26.5\text{ C}^\circ$

La temperatura exterior oscila entre los 12.5 C° y 30 C° , mientras que la temperatura operativa va de los 17.8 C° a 27.7 C° .

La temperatura operativa se encuentra dentro del rango de confort la mayor parte del mes.

Entre los días 12-14 y 22-27 se registran temperaturas totalmente por debajo del rango de confort, del 1-2, 9-11 y 16-18 están ligeramente por debajo del rango.

Para lograr el confort en los días de bajo calentamiento antes mencionados se recomienda deshumidificar y controlar las aperturas de los vanos que tiene el espacio, para disminuir la ventilación y conservar el calor.



Gráfica 46. Comportamiento Térmico de Aula con techo escudo en diciembre. Elaboración propia.

- $T_n = 23.5\text{ C}^\circ$
- $Z_c = 21\text{ C}^\circ - 26\text{ C}^\circ$

La temperatura exterior oscila entre los 7.1 C° y 30.8 C° , mientras que la temperatura operativa va de los 17.6 C° a 26 C° .

La temperatura operativa se encuentra dentro del rango de confort la mitad del mes.

Entre los días 7-9 y 25-29 se registran temperaturas totalmente por debajo del rango de confort, mientras que los días 2-6 y 10-15 están ligeramente por debajo del rango.

Para lograr el confort en los días de bajo calentamiento antes mencionados se recomienda deshumidificar y controlar las aperturas de los vanos que tiene el espacio, para disminuir la ventilación y conservar el calor.

4.5.4. Conclusión

El uso de DesignBuilder como herramienta de simulación térmica, en función de este análisis permitió obtener una evaluación precisa del comportamiento energético de los espacios estudiados gracias a su capacidad para modelar con detalle las condiciones ambientales y la interacción entre los materiales, sistemas de ventilación y el entorno climático.

En el caso específico de este proyecto, se realizó el análisis térmico de tres espacios, del edificio de aulas: la biblioteca en planta baja y un aula en planta alta, del edificio administrativo el área de cubículos en planta alta. En dicho análisis se reveló un comportamiento térmico diferenciado, mientras que la biblioteca y los cubículos presentaron condiciones térmicas más estables, el aula en la planta alta, por otro lado, sufrió de sobrecalentamiento y para corregir esta situación, se propuso un techo escudo como medida de mitigación. Posteriormente, al realizar un nuevo análisis, se confirmó la efectividad de esta intervención logrando reducir los picos de sobrecalentamiento, incluso demostrando que gracias a dicha estrategia se estabilizó la temperatura general del espacio, pues el techo escudo permitió que los picos de calor descendieran y los picos de frío se elevaran, consiguiendo que la temperatura permaneciera por más tiempo dentro del rango de confort.

En conclusión, el uso de DesignBuilder no solo facilitó la identificación precisa de los problemas térmicos en el aula, sino que también permitió evaluar de manera cuantitativa la efectividad de la solución propuesta. El proyecto demostró que, mediante la implementación de estrategias bioclimáticas adecuadas, es posible mejorar significativamente el confort térmico de los espacios, optimizando su diseño y asegurando un comportamiento térmico más equilibrado y eficiente.

4.6. Análisis NOM-008-ENER-2001 Eficiencia energetica en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales

La NOM-008-ENER-2001 es una norma oficial mexicana que establece los lineamientos para garantizar la eficiencia energética en edificaciones no residenciales a través del control de la envolvente del edificio, que incluye techos, paredes, ventanas y superficies inferiores. Esta norma busca minimizar la ganancia de calor, optimizando el diseño térmico de los edificios y reduciendo el uso de energía en los sistemas de enfriamiento, especialmente en regiones cálidas como las zonas norte y costeras de México.

El enfoque principal de la norma es limitar la ganancia de calor mediante la mejora del aislamiento térmico de las diferentes partes de la envolvente del edificio, lo que ayuda a disminuir la carga de los equipos de aire acondicionado y, por ende, a reducir el consumo energético. Para ello, se compara la ganancia de calor del edificio proyectado con un edificio de referencia que cumple con los requisitos mínimos especificados en la norma. Si el edificio proyectado tiene una ganancia de calor menor o igual que el edificio de referencia, se considera que cumple con la norma.

Entre las especificaciones técnicas, la norma establece la forma de calcular la ganancia de calor por conducción y por radiación solar. Para esto, se consideran factores como el coeficiente global de transferencia de calor de los materiales de construcción, el coeficiente de sombreado de las superficies transparentes y las orientaciones de las fachadas del edificio. El cálculo se realiza para distintas orientaciones (norte, sur, este y oeste) y diferentes componentes de la envolvente (techos, paredes y superficies inferiores), con el fin de asegurar un diseño equilibrado y eficiente en términos energéticos.

Además, la norma detalla el método de prueba para realizar el cálculo de la ganancia de calor, los requisitos de etiquetado para informar a los usuarios sobre la eficiencia energética de las edificaciones, y las sanciones aplicables en caso de incumplimiento. También incluye referencias a normas internacionales y establece un conjunto de apéndices que ofrecen valores de referencia y ejemplos de cálculos.

4.6.1. Herramienta de cálculo

Con el objetivo de apoyar al cumplimiento de la NOM-008-ENER-2001, la Secretaría de Energía (SENER) y la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), con apoyo y asesoría técnica de la Agencia Danesa de Energía, han desarrollado una herramienta de cálculo, fácil de usar, con la que desarrolladores, arquitectos y consultores, podrán revisar rápidamente el cumplimiento de sus proyectos para la Norma Oficial. Esta herramienta permite al usuario calcular el presupuesto energético del edificio proyectado y el edificio de referencia, ingresando únicamente los datos de la envolvente térmica del edificio proyectado.

4.6.2. Metodología

4.6.2.1. Identificación de los elementos de la envolvente

El primer paso consiste en identificar los elementos que forman parte de la envolvente térmica del edificio, tales como muros, ventanas, puertas y losas. Estos elementos están localizados tanto en los planos de planta como en los alzados (Figura 51), prestando especial atención a la orientación de cada uno de los elementos, ya que la dirección hacia donde están orientados influye en la ganancia térmica del edificio.

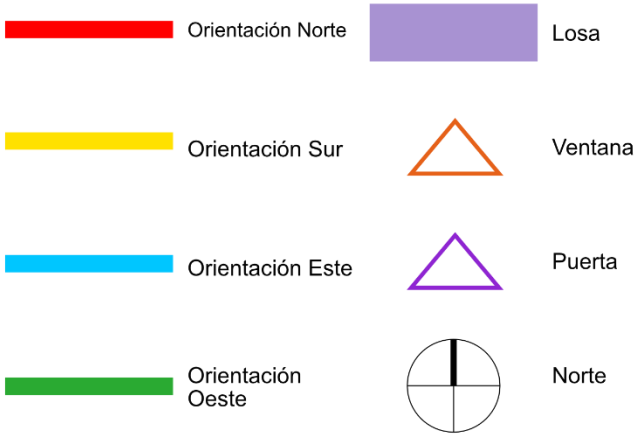
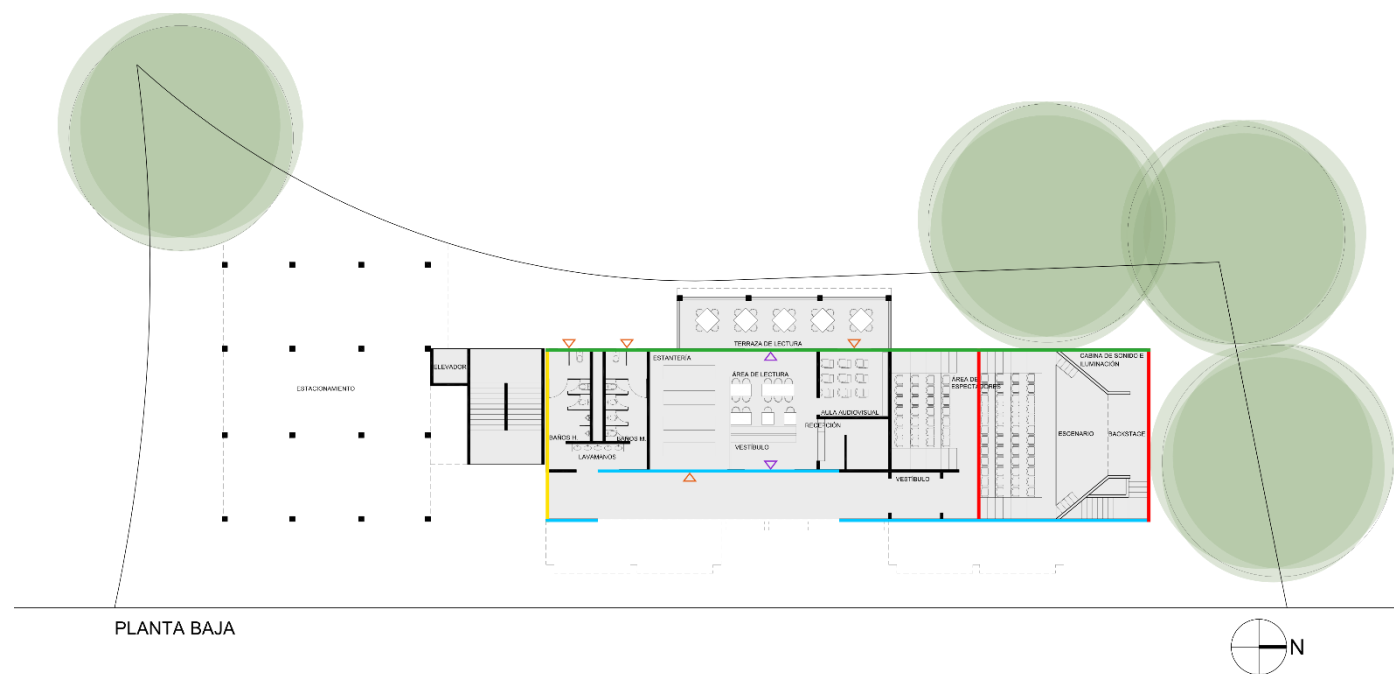
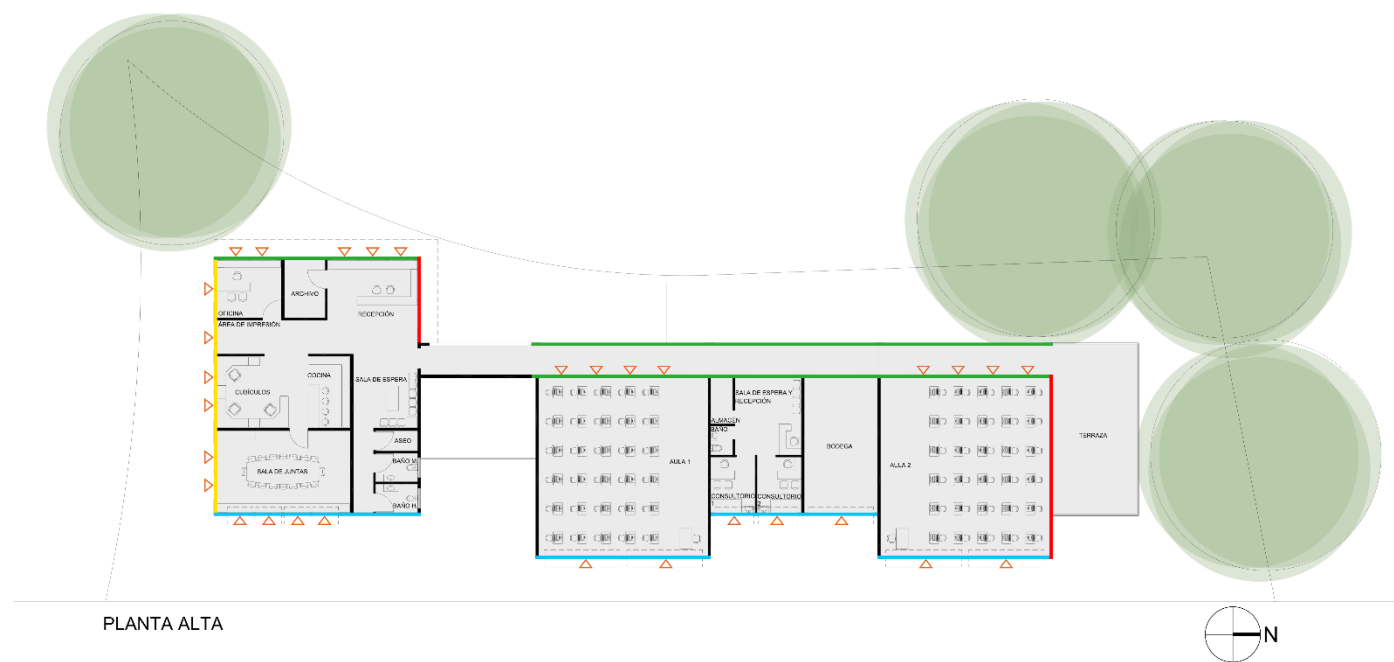


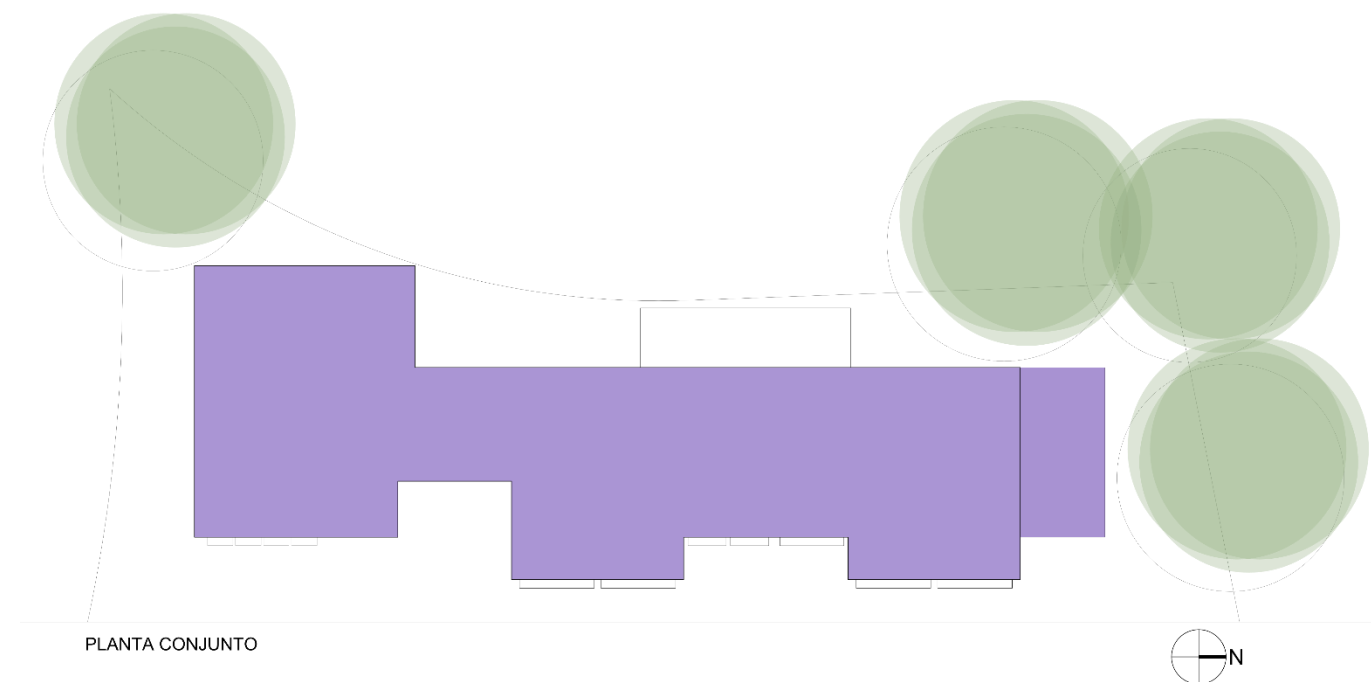
Figura 51. Simbología de elementos de la envolvente. Elaboración propia.



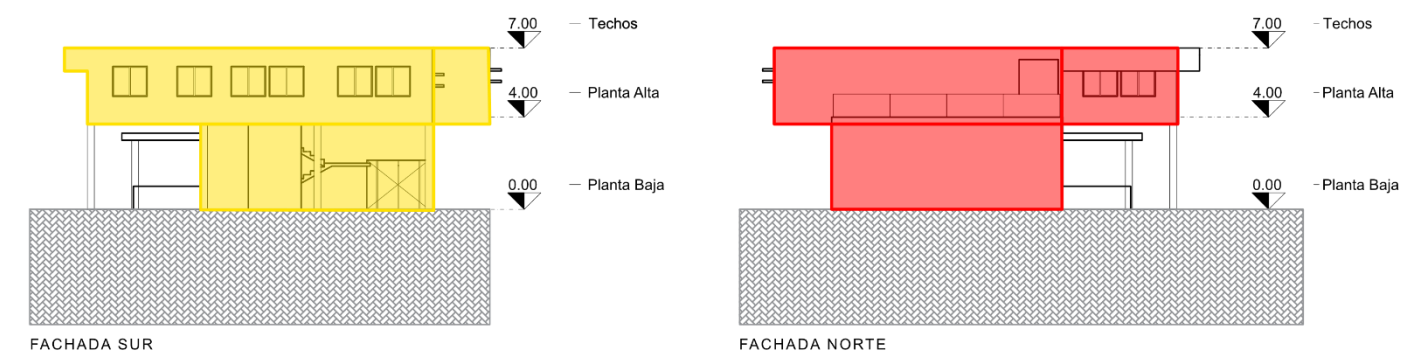
Esquema 10. Elementos de la envolvente en PB. Elaboración propia.



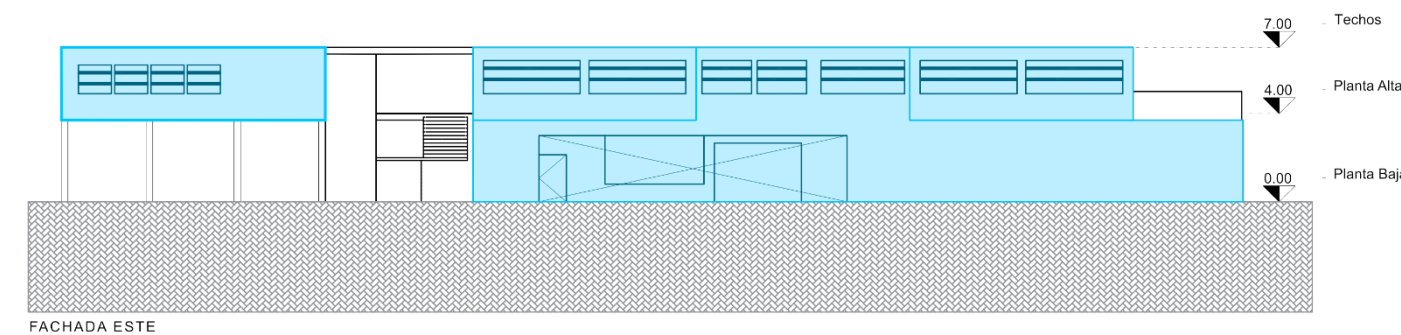
Esquema 11. Elementos de la envolvente en PA. Elaboración propia.



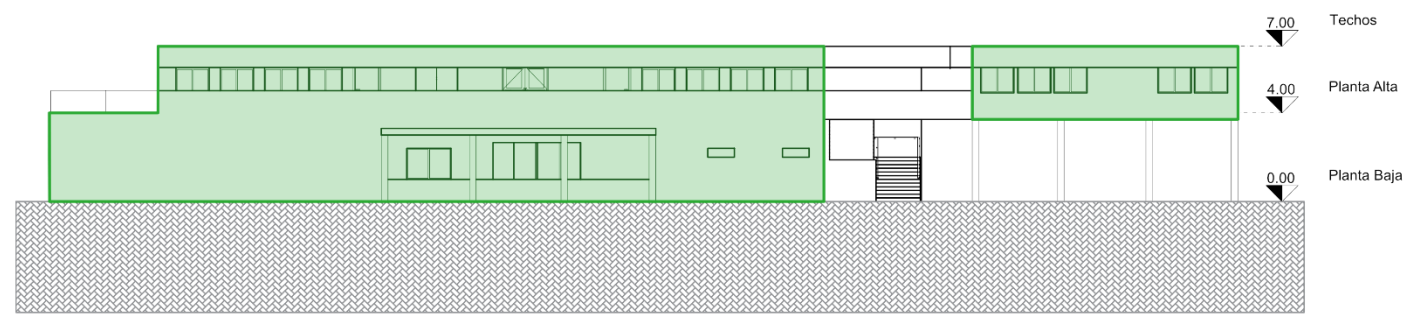
Esquema 12. Elementos de la envolvente en Azotea. Elaboración propia.



Esquema 13. Elementos de la envolvente, alzados Sur y Norte. Elaboración propia.



Esquema 14. Elementos de la envolvente, alzado Este. Elaboración propia.

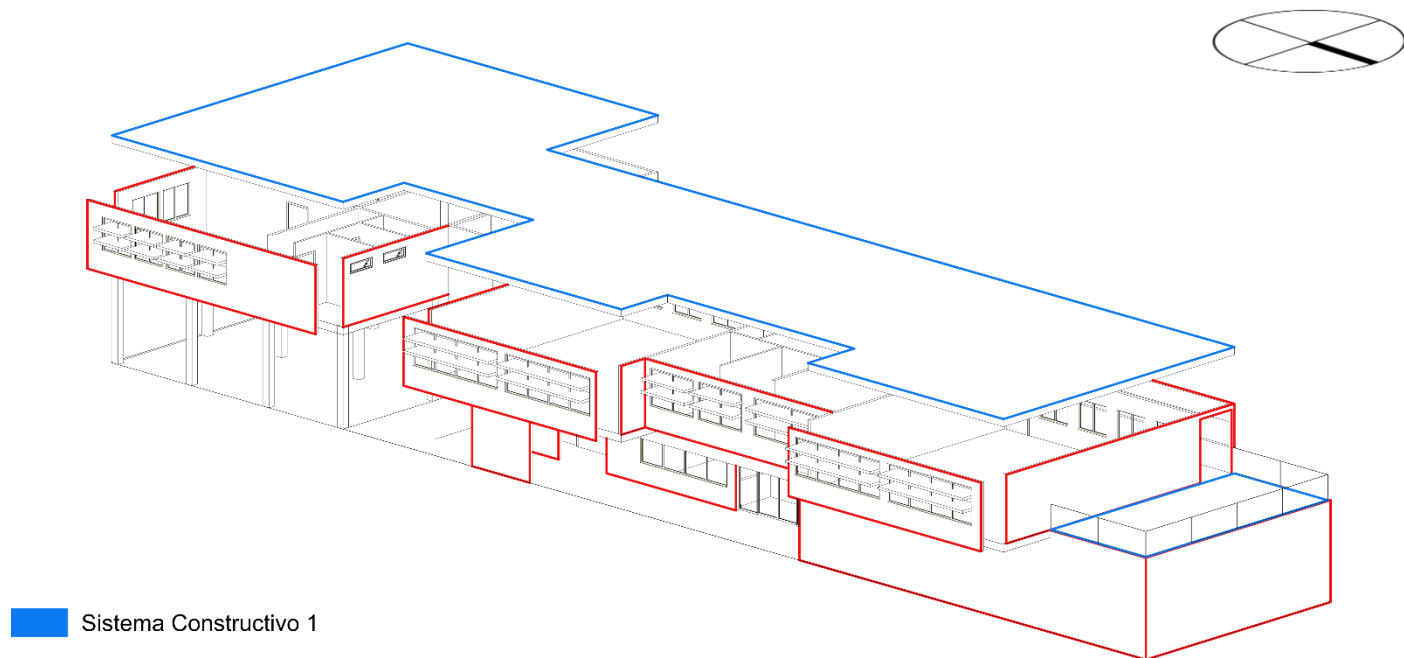


FACHADA OESTE

Esquema 15. Elementos de la envolvente, alzado Oeste. Elaboración propia.

4.6.2.2. Obtención de las áreas y materiales

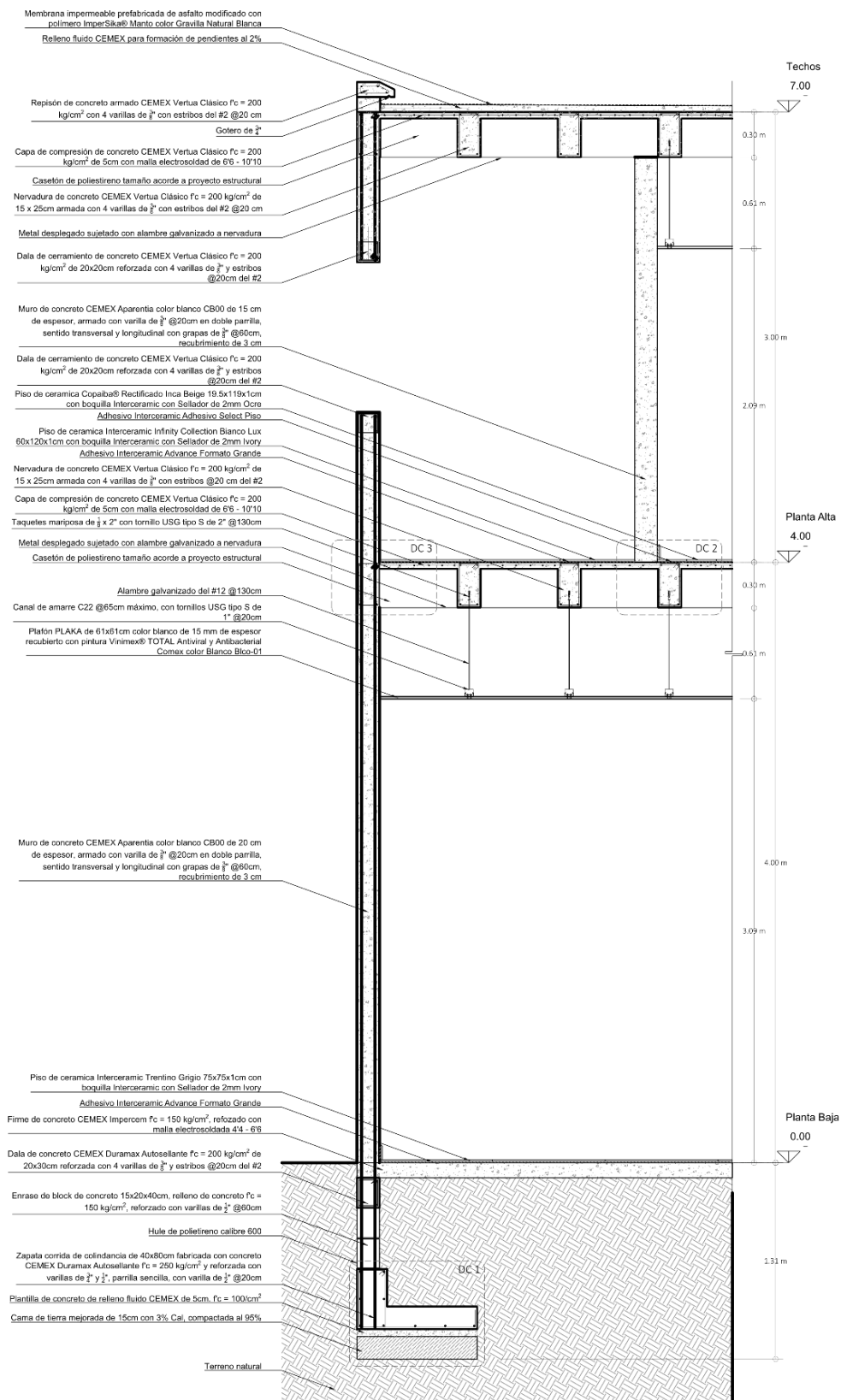
Tras la identificación de los elementos, se procede a calcular las áreas correspondientes de cada componente, tanto de los muros como de las ventanas y puertas. Adicionalmente, se determina el material de cada uno de estos elementos, debido a que las propiedades térmicas de los materiales, como la conductividad térmica y la capacidad de aislamiento, son fundamentales para la evaluación energética.



■ Sistema Constructivo 1

■ Sistema Constructivo 2

Esquema 16. Señalamiento de sistemas constructivos. Elaboración propia



Plano 22. Corte por fachada. Elaboración propia.

Nuevo sistema constructivo homogéneo

Descripción / nombre de la porción

Losa nervada CICYT

Componente de la envolvente

Techo

☒

Pared

☐

Ligero

☐

Masivo

☒

Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Aislamiento térmico (m²K/W)
Convección exterior	1.000	13.000	0.077
Imper. Asf. Blanco	0.010	0.0260	0.3846
Relleno fluido	0.100	0.1180	0.8475
Nervadura	0.350	0.0400	8.7500
Aire	0.600	0.0240	25.0000
Plafon de yeso	0.012	0.2500	0.0480
Convección interior	1.000	6.600	0.1515

M =

35.2585

K =

0.0284

Guardar datos

SENER

SECRETARÍA DE ENERGÍA

CONUEE

COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA

?

Figura 52. Descripción de la losa nervada en la herramienta de cálculo. Elaboración propia.

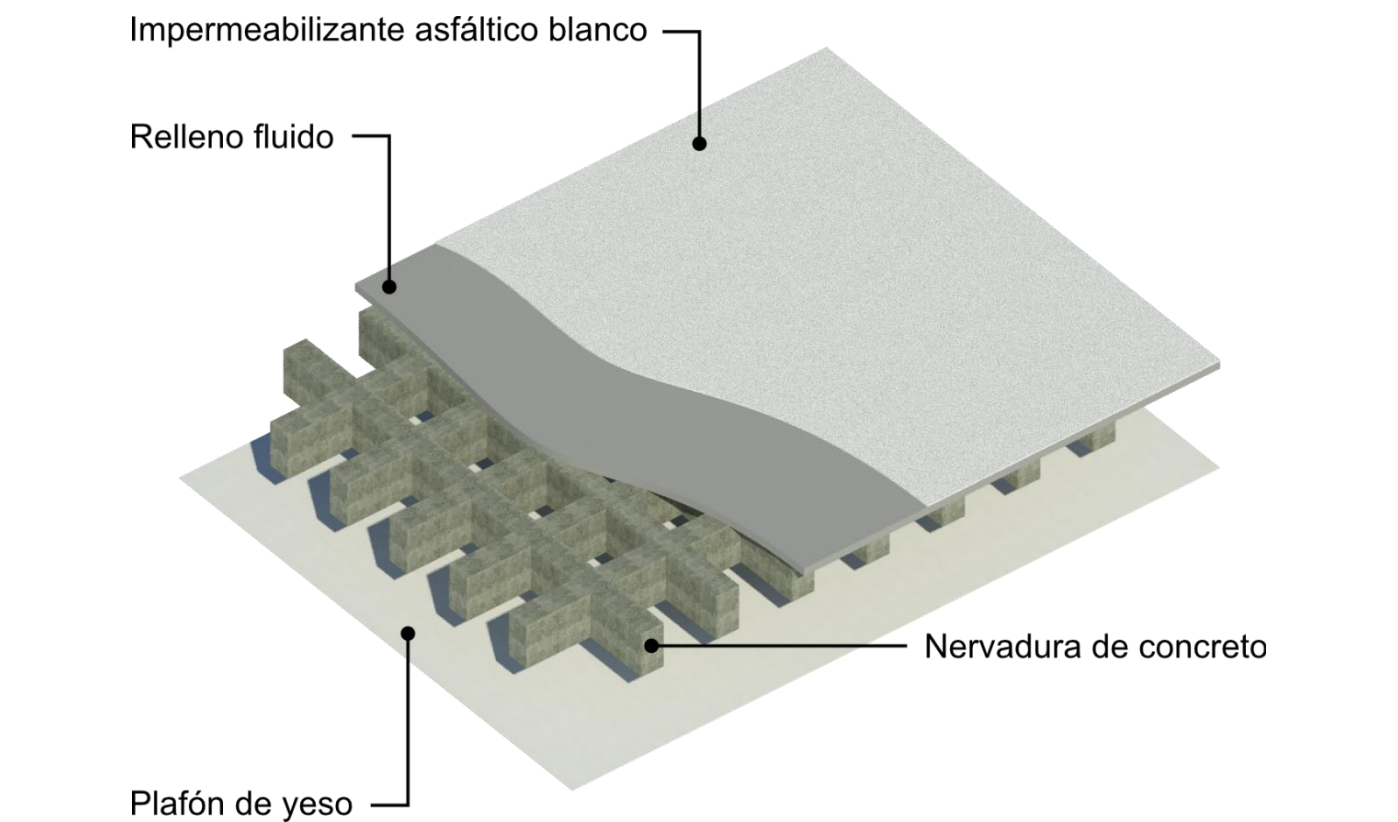


Figura 53. Detalle constructivo de la losa nervada. Elaboración propia.

El sistema constructivo 1 corresponde a la losa nervada y está compuesto por los siguientes elementos:

- Membrana impermeable prefabricada de asfalto modificado con polímero ImperSika® Manto color Gravilla Natural Blanca.
- Relleno fluido CEMEX para formación de pendientes al 2%.
- Nervadura de concreto CEMEX Vertua Clásico f'c = 200 kg/cm2 de 15 x 25cm armada con 4 varillas de 3 8 " con estribos del #2 @20 cm.
- Capa de aire de 60cm entre nervadura de concreto y plafón de yeso.
- Plafón PLAKA de 61x61cm color blanco de 15 mm de espesor recubierto con pintura Vinimex® TOTAL Antiviral y Antibacterial Comex color Blanco Blco-01.

Nuevo sistema constructivo homogéneo

Descripción / nombre de la porción

Concreto aparente 20 cm

Componente de la envolvente

Techo

☐

Pared

☒

Ligero

☐

Masivo

☐

Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Aislamiento térmico (m²K/W)
Convección exterior	1.000	13.000	0.077
Concreto aparentia	0.200	1.4000	0.1429
			0.000
			0.000
			0.000
			0.000
Convección interior	1.000	8.100	0.1235

M =

0.3432

K =

2.9134

Guardar datos

SENER

SECRETARÍA DE ENERGÍA



CONUEE

COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA

?

Figura 54. Descripción de muro de concreto aparentia en la herramienta de cálculo. Elaboración propia.

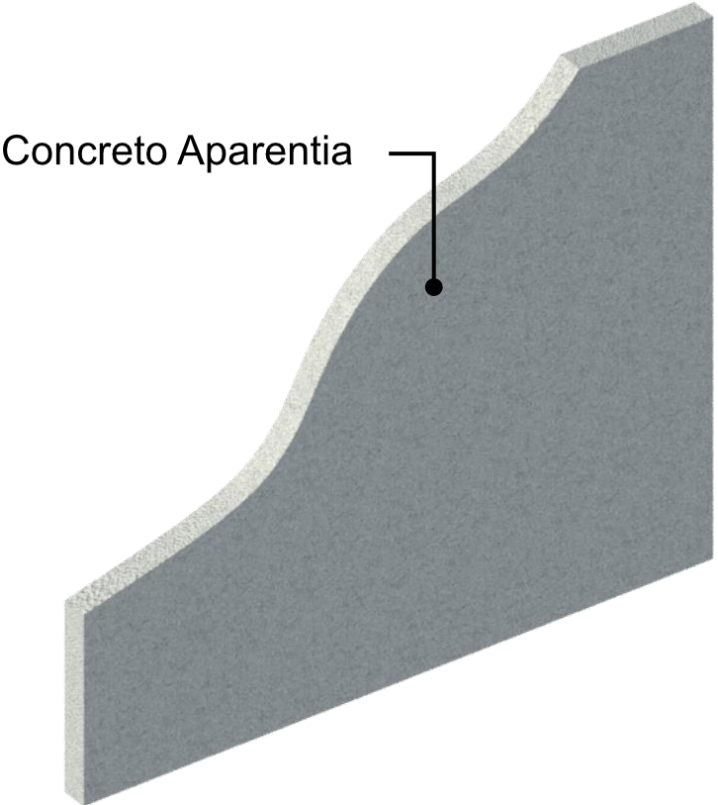


Figura 55. Detalle constructivo de muro de concreto aparentia. Elaboración propia.

El sistema constructivo 2 corresponde a los muros perimetrales de concreto y únicamente está compuesto por concreto CEMEX Aparentia color blanco CB00 de 15 cmde espesor, armado con varilla de 3/8" @20cm en doble parrilla, sentido transversal y longitudinal con grapas de 3/8" @60cm, recubrimiento de 3 cm.

El motivo de que se ocupara este material es que, además de cumplir con propiedades estructurales, permite alcanzar cualidades estéticas mediante el uso de colores integrales, agregados y/o cementos. Es ideal para elementos, en donde la imagen, la forma y la textura a través del concreto son primordiales.

Ventanas del proyecto



Ventana

Nombre de la ventana: Ventanas AULAS

Esta ventana está en: MURO 1 ESTE

Área de la ventana: 26.4 m²

Tipo de vidrio: Doble 6-12-6 Claro/Aro Claro K= 2.77 CS= 0.89

Agregar nuevo tipo de vidrio

Tipo de sombra: Ventana rematada

E 1.5 P 0.5 W 4.4

Guardar

Ir a pantalla de confirmación

SENER
SECRETARÍA DE ENERGÍA

CONUEE
COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA

Figura 56. Descripción de ventanas del proyecto en la herramienta de cálculo. Elaboración propia.

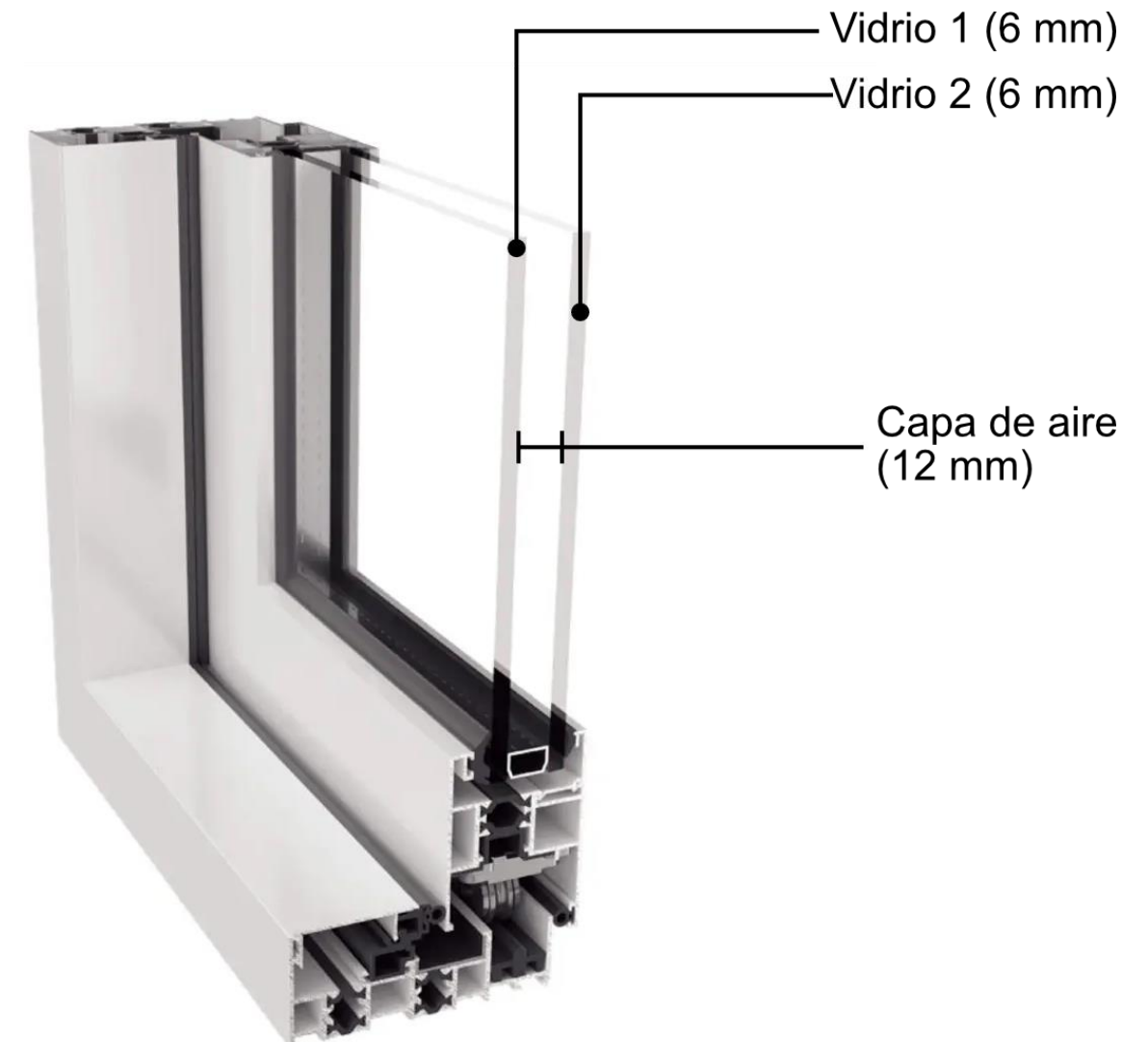


Figura 57. Detalle constructivo de ventana de doble acristalamiento. Fuente Finestres Girona.

Las ventanas del proyecto son de marcos de aluminio y doble acristalamiento compuestas por los siguientes elementos:

- Capa de vidrio claro de 6mm
- Capa de aire de 12mm
- Capa de vidrio claro de 6mm

Puertas del proyecto



Puerta

Nombre de la puerta: Porton Biblio.

Esta puerta está en: MURO 1 ESTE

Área de la puerta: 10.54 m²

Material de la puerta: Puerta de acero rellena de PUR K= 0.50

Agregar nuevo tipo de puerta

Guardar

Ir a pantalla de confirmación

SENER
CONUEE

Figura 58. Descripción de puertas del proyecto en la herramienta de cálculo. Elaboración propia.

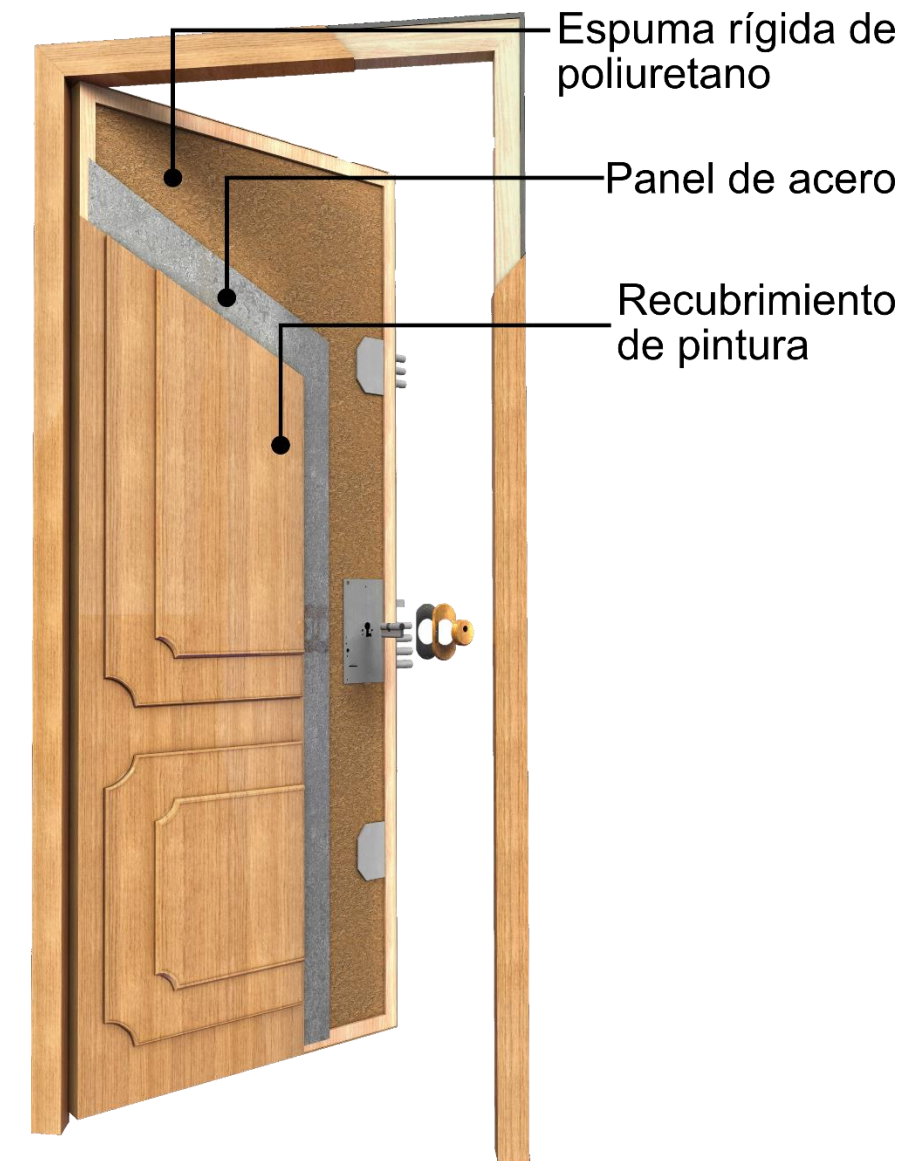


Figura 59. Detalle constructivo de puertas del proyecto. Fuente Roconsa.com.

Las puertas del proyecto son de marcos de acero y están compuestas por los siguientes elementos:

- Recubrimiento de pintura (1mm)
- Panel de acero (5mm)
- Relleno de espuma rígida de poliuretano (40mm)

4.6.2.3. Ingreso de datos en la herramienta

Una vez recopilada la información, los datos se ingresaron a la herramienta de cálculo. El proceso de ingreso se realizó de manera secuencial, comenzando con los muros, seguidos por las losas, luego las ventanas y finalmente las puertas. Cada ventana y puerta fue asociada al muro correspondiente de la envolvente al que estaban conectadas, para garantizar que la herramienta calcule correctamente su influencia en la eficiencia térmica del edificio.

Muros

Agregar otro

1 MURO 1 ESTE

área 269 m2 Masivo

Concreto Aparente 20 cm

EditarBorrar

2 MURO 1 NORTE

área 92.8 m2 Masivo

Concreto Aparente 20 cm

EditarBorrar

3 Muro 1 OESTE

área 266.2 m2 Masivo

Concreto Aparente 20 cm

EditarBorrar

4 Muro 1 SUR

área 92.8 m2 Masivo

Techo/superficie inferior

Agregar otro

1 TECHO CICYT

área 593.64 m2

Losa nervada CICYT

☒Techo

☐sup. inferior

EditarBorrar

Ventanas

Agregar otra

1 Ventanas AULAS

área 26.4 m2

colocada en: MURO 1 ESTE

Doble 6-12-6 ClaroAireClaro

EditarBorrar

2 Ventana SalaJun

área 7.8 m2

colocada en: MURO 1 ESTE

Doble 6-12-6 ClaroAireClaro

EditarBorrar

3 Ventana Enf.

área 6.75 m2

colocada en: MURO 1 ESTE

Doble 6-12-6 ClaroAireClaro

EditarBorrar

Puertas

Agregar otra

1 Porton Biblio

area 10.54 m2 Masivo

colocada en: MURO 1 ESTE

Puerta de acero rellena de PUR

EditarBorrar

2 Puerta Biblio 2

area 3.52 m2 Masivo

colocada en: Muro 1 OESTE

Puerta de acero rellena de PUR

EditarBorrar

Calcular

SENER

CONUEE

Figura 60. Listado de elementos. Elaboración propia en la herramienta de cálculo de NOM-008-ENER-2001

4.6.2.4. Cálculo de la eficiencia energética

Tras completar el ingreso de los datos, la herramienta ejecutó el cálculo comparativo, evaluando la eficiencia energética del edificio en estudio frente a un edificio de referencia que la herramienta utiliza como estándar.

Este análisis permitió identificar el grado de cumplimiento de los parámetros de eficiencia energética establecidos por la NOM-008-ENER-2001.

Resultados

	Conducción (W)	Radiación (W)	Total (W)
Edificio de referencia	-3179.88	30436.72	27256.84
Edificio proyectado	-2234.66	6587.79	4353.13

Cumple con la norma

Si

☒

No

☐

84.0%

Guardar datos

Mejorar este diseño

Imprimir formatos

SENER

CONUEE

Figura 61. Resultado obtenido. Fuente elaboración propia en la herramienta de cálculo.

4.6.3. Resultados

La herramienta utilizada permite comparar el desempeño energético del edificio proyectado frente a un edificio de referencia, evaluando dos factores clave: la conducción y la radiación que impactan el consumo de energía para climatización. En la Figura 61, se observan los siguientes resultados:

- Edificio de referencia:
 - Conducción: -3179.88 W
 - Radiación: 30,436.72 W
 - Total: 27,256.84 W

Estos valores representan las pérdidas y ganancias térmicas que experimentaría un edificio estándar de referencia bajo las mismas condiciones climáticas.

- Edificio proyectado:
 - Conducción: -2234.66 W
 - Radiación: 6,587.79 W
 - Total: 4,353.13 W

El edificio proyectado presenta una mejora significativa en comparación con el edificio de referencia, especialmente en cuanto a la radiación, lo que refleja un mayor control sobre la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio. Esta mejora se debe a las características del diseño proyectado gracias a las estrategias pasivas de diseño, como el uso de mejores materiales aislantes o elementos constructivos que reducen la radiación solar directa.

Eficiencia energética

La herramienta indica que el 84% de la energía total es eficiente en comparación con el edificio de referencia. Este valor está relacionado con la capacidad del edificio proyectado para reducir la ganancia y pérdida de calor, manteniendo un mejor comportamiento térmico y menor demanda de energía para climatización.

Finalmente, la herramienta confirma que el edificio proyectado cumple con la norma. Este resultado sugiere que el diseño es más eficiente que el del edificio de referencia, lo que implicará

un menor consumo energético a lo largo de su vida útil, contribuyendo así a la sostenibilidad del proyecto.

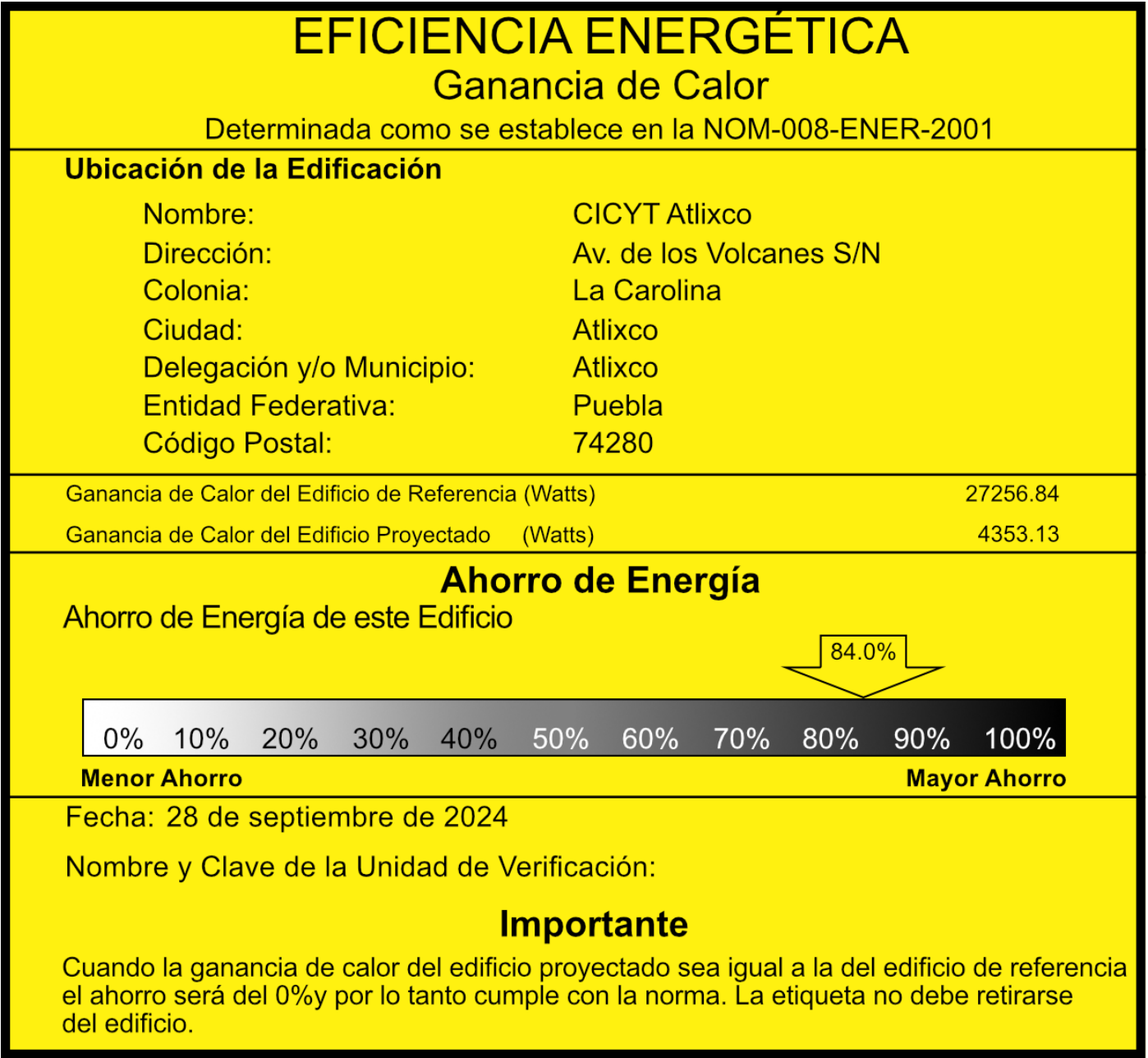


Figura 62. Etiqueta de eficiencia energética. Fuente Low Carbon & GIZ, 2015.

4.6.4. Conclusión

Este marco normativo es fundamental para evaluar si una edificación cumple con los estándares de eficiencia energética. En este caso, el análisis de eficiencia energética del edificio proyectado, utilizando la herramienta de cálculo basada en la NOM-008-ENER-2001, permitió evaluar de manera cuantitativa el desempeño térmico de la envolvente del edificio en comparación con un edificio de referencia. A través de este procedimiento, se identificaron los elementos de la envolvente, se obtuvieron sus respectivas áreas y materiales, y se ingresaron de manera secuencial en la herramienta para realizar el cálculo correspondiente.

El resultado obtenido, de 84% de eficiencia energética, refleja un desempeño positivo del edificio proyectado. Este valor sugiere que el diseño implementado es capaz de controlar adecuadamente las pérdidas y ganancias térmicas, gracias a la utilización de materiales y técnicas constructivas eficientes. La reducción en la radiación y conducción térmica en comparación con el edificio de referencia pone de manifiesto la eficacia del diseño en términos de sostenibilidad y eficiencia energética.

Además, el cumplimiento de la norma con el 84% de eficiencia asegura que el edificio cumple con los estándares mínimos de desempeño establecidos por la NOM-008-ENER-2001, lo que implica que el edificio proyectado demandará menos energía para climatización y será más sostenible a largo plazo. En términos prácticos, este análisis confirma que las estrategias pasivas y los materiales seleccionados son apropiados para mejorar el comportamiento energético del edificio, reduciendo su impacto ambiental y su consumo energético operativo.

De este modo, se concluye que el uso de herramientas de simulación y cálculo como la aplicada en este análisis no solo es esencial para cumplir con la normatividad vigente, sino que también resulta fundamental para optimizar los diseños arquitectónicos, logrando edificios más eficientes y sostenibles en el contexto de la construcción contemporánea.

4.7. Ecotecnologías

4.7.1. Captación pluvial

La captación de agua pluvial es un proceso mediante el cual se recolecta y almacena el agua de lluvia para su posterior uso, con el objetivo de reducir la demanda sobre fuentes convencionales de agua potable y promover un uso más sostenible del recurso hídrico. Este sistema puede implementarse tanto en áreas urbanas como rurales, y su popularidad ha crecido debido a la necesidad de mejorar la gestión de los recursos hídricos en el contexto del cambio climático y el crecimiento demográfico.

El sistema se compone generalmente de una superficie de captación, que puede ser el techo de una edificación o áreas pavimentadas, junto con canaletas y tuberías que dirigen el agua hacia los tanques de almacenamiento. Una vez recolectada, el agua pasa por diferentes niveles de filtración y purificación, dependiendo de su uso final, que puede incluir actividades como el riego, limpieza, y en algunos casos, el consumo humano, siempre y cuando se someta a un tratamiento adecuado (Gould & Nissen-Petersen, 1999).

4.7.1.1. Ventajas y desventajas

Ventajas

Uno de los principales beneficios de la captación pluvial es la reducción en la demanda de agua potable proveniente de sistemas de abastecimiento convencionales. En este sentido, la captación pluvial ofrece una fuente de agua complementaria, especialmente en regiones con problemas de sequía o en áreas donde el costo de extracción y distribución del agua es elevado (Domenech & Saurí, 2011). Además, este sistema contribuye a la mitigación de inundaciones, ya que reduce el volumen de escorrentía superficial al recolectar el agua directamente desde las áreas de captación. Esta medida disminuye la carga sobre los sistemas de drenaje y las posibilidades de encharcamientos o inundaciones en temporadas de lluvias intensas.

Asimismo, la captación pluvial promueve la autosuficiencia hídrica y reduce la huella ambiental de las edificaciones. En términos económicos, aunque la instalación inicial puede ser costosa, el ahorro en el consumo de agua a largo plazo puede justificar la inversión, especialmente en áreas donde el agua tiene un alto costo (Fewkes, 2012).

Desventajas

A pesar de sus múltiples ventajas, la captación pluvial presenta ciertas desventajas. La calidad del agua recolectada puede ser un problema si las superficies de captación están contaminadas o si el sistema de almacenamiento no cuenta con los filtros adecuados. Es posible que se recojan sedimentos, hojas y otros desechos que comprometan la calidad del agua, lo que obliga a incorporar sistemas de purificación o filtrado adicionales, especialmente si se pretende usar para consumo humano (Gould & Nissen-Petersen, 1999).

Otro desafío es el costo inicial de instalación, que puede ser elevado, sobre todo en edificaciones ya construidas donde no se contempló un sistema de captación desde el diseño. También es importante destacar que la cantidad de agua recolectada depende de las precipitaciones locales, por lo que en regiones con escasas lluvias la captación pluvial puede no ser una solución suficiente o viable durante todo el año.

4.7.1.2. Factores para implementar un sistema de captación pluvial

Para implementar de manera efectiva un sistema de captación pluvial, es necesario evaluar una serie de factores que aseguren su eficiencia. En primer lugar, es fundamental contar con una superficie de captación adecuada, generalmente un techo inclinado o una superficie impermeable, que permita dirigir el agua hacia el sistema de recolección sin pérdidas significativas. Además, es necesario dimensionar correctamente los tanques de almacenamiento de acuerdo con la cantidad de lluvia esperada y las necesidades de consumo del edificio.

Otro factor clave es la instalación de sistemas de filtrado y purificación que aseguren que el agua sea de calidad suficiente para su uso previsto. En sistemas más avanzados, es posible integrar tecnologías de filtración como filtros de carbón activado o UV, especialmente si se planea utilizar el agua para consumo humano o para actividades sanitarias. Asimismo, es importante considerar las necesidades de mantenimiento del sistema, ya que las canaletas y los filtros pueden acumular suciedad y obstruirse, lo que reduce su eficacia (Fewkes, 2012).

El diseño del sistema debe tener en cuenta las precipitaciones locales y su variabilidad a lo largo del año. En zonas con estaciones secas prolongadas, puede ser necesario complementar la captación pluvial con otras fuentes de agua, o aumentar la capacidad de almacenamiento para cubrir los periodos de escasez. Por último, la implementación de sistemas de captación pluvial

también puede estar sujeta a normativas locales que regulan la recolección y uso de agua de lluvia, por lo que es importante consultar las leyes y reglamentos aplicables.

4.7.1.3. Propuesta

Atlixco, ubicado en el estado de Puebla, es conocido por su clima templado y la presencia de abundantes lluvias durante ciertas épocas del año, influenciadas por su altitud y cercanía a montañas como el Popocatepetl. El valor de precipitación media anual de 856 mm/año (Figura 63) indica una cantidad considerable de lluvias, lo que es crucial para la planificación de sistemas de drenaje y el manejo de agua pluvial.

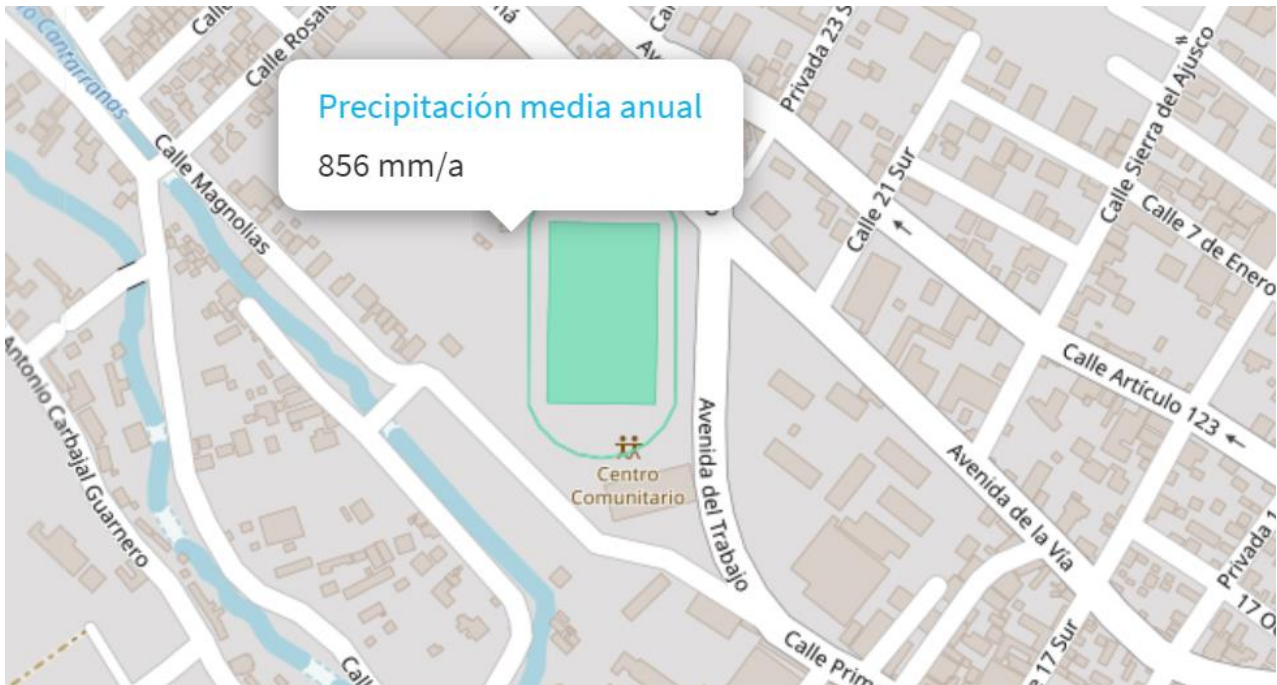


Figura 63. Precipitación media anual. Fuente Capital sustentable <https://capitalsustentable.shinyapps.io/calculadora/>.

Además, este valor puede influir en la estrategia de diseño bioclimático del proyecto en esta área, ya que la integración de sistemas de captación de agua de lluvia se vuelven una opción factible para cubrir cierta parte de la demanda del lugar.

Este tipo de información es esencial en la fase de planificación de proyectos, pues permite tomar decisiones más informadas sobre el uso eficiente de los recursos hídricos.

El área destinada para la captación pluvial en el proyecto cuenta con una superficie de 593.64 m² (Figura 64). Este espacio es clave dentro del diseño sustentable del edificio, ya que su tamaño y disposición permiten aprovechar la precipitación media anual del sitio, siendo de 856 mm/año.

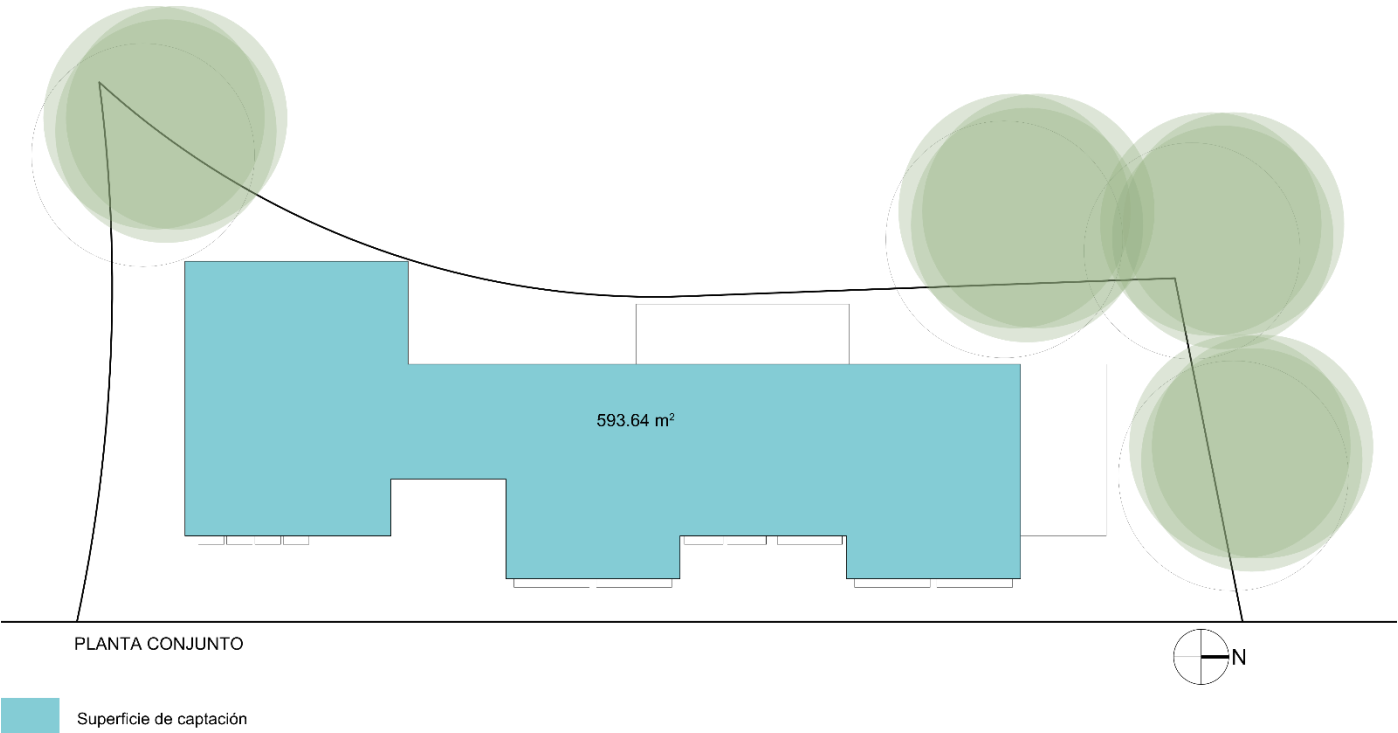


Figura 64. Superficie de captación pluvial. Elaboración propia.

El área de captación está diseñada para recolectar agua de lluvia, la cual será aprovechada para diversas funciones dentro del edificio, tales como el riego de áreas verdes y el abastecimiento de agua no potable. Esta estrategia de captación pluvial es fundamental para reducir el consumo de agua potable y mejorar la autosuficiencia del proyecto.

Para calcular de una manera sencilla el potencial de captación pluvial se hizo mediante el uso de la *Calculadora para el aprovechamiento de lluvia*⁹, en la cual, para obtener el estimado de litros

⁹ La *Calculadora para el aprovechamiento de lluvia* es una iniciativa de Cántaro Azul, Isla Urbana y Neta Cero financiada por la Fundación Gonzalo Río Arronte y desarrollada por Capital Sustentable, 2017.

de agua de lluvia que se podrán captar se ingresaron datos como, el número de ocupantes de los edificios, la cantidad de litros que se ocupan al día por habitante, el uso que se le va a dar al agua captada y su calidad, el entorno en el que se esta captando la lluvia, el área de captación, el tipo de almacenamiento, la capacidad de la cisterna y la base de datos de donde se obtiene la precipitación promedio anual.

Número de usuarios	Uso diario por usuario (L)
160	50
Área de captación (m²)	Tipo del almacenamiento
590	Plástico Rotomoldeado
Calidad requerida	Entorno
Para WC, riego y otros	Urbano
Vol. del almacenamiento (L)	Datos de precipitación
10000	WorldClim (1970-2000)

Figura 65. Datos Ingresados para cálculo de captación pluvial. Fuente Capital sustentable <https://capitalsustentable.shinyapps.io/calculadora/>.

Se contemplaron los edificios a ocupación máxima con un total de 160 ocupantes, en un consumo no residencial de 50 L de agua al día, sin necesidad de filtros para uso de aseo o higiene personal, ya que el agua captada solo estará destinada para W.C. y riego, almacenada en una cisterna con una capacidad máxima de 10,000 L.

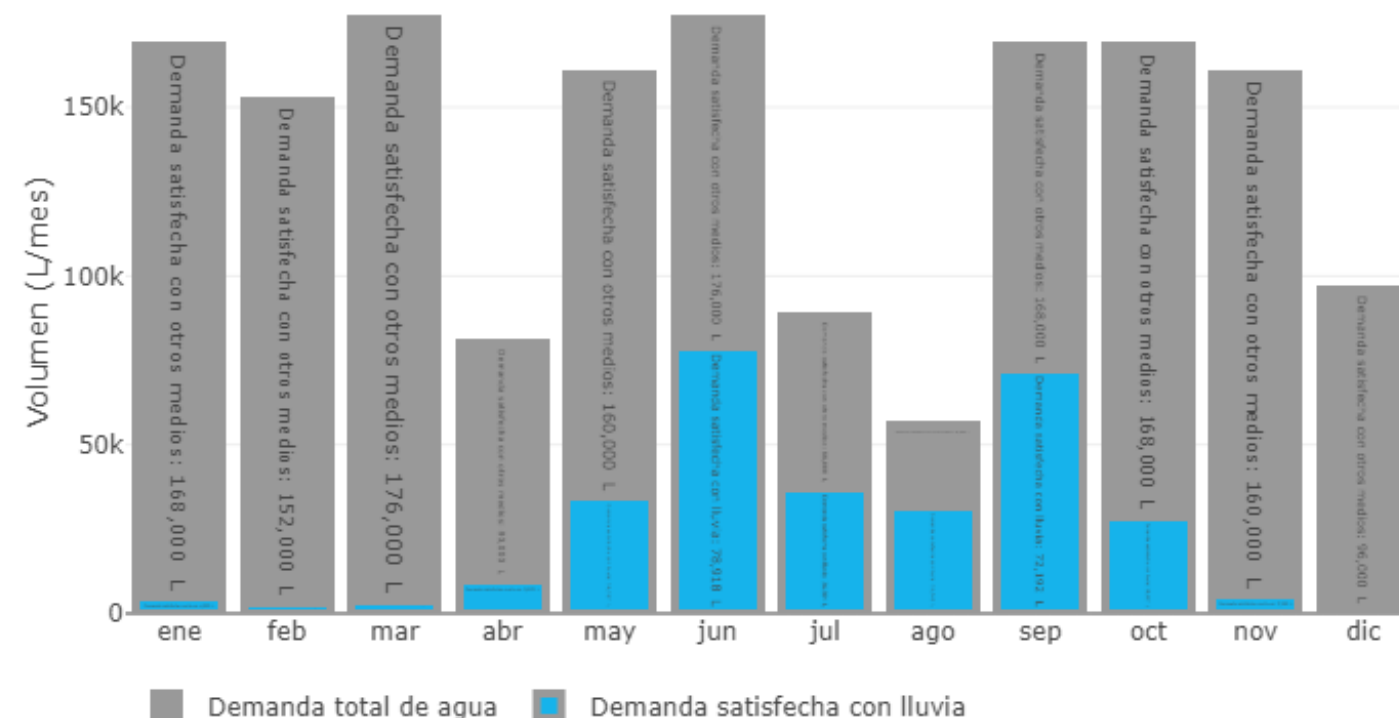
El cálculo da como resultado la cantidad potencial de litros de agua de lluvia captable al año, el porcentaje de uso de agua de lluvia y el costo estimado por la realización de la cisterna.



Figura 66. Resultados de la calculadora para el aprovechamiento de lluvia. Fuente Capital sustentable <https://capitalsustentable.shinyapps.io/calculadora/>.

Después de obtener estos resultados, también se puede observar como el agua de lluvia captada puede satisfacer las necesidades de los edificios, cuanta agua puede ser captada dependiendo la capacidad del almacenamiento con el que se cuente y el costo desglosado de la construcción de la cisterna de 10,000 L, mediante los siguientes gráficos:

La Gráfica 47 muestra la demanda total de agua mensual en barras grises y la cantidad de agua de lluvia captada que satisface esa demanda en barras azules. El análisis es clave para evaluar la eficiencia de un sistema de captación pluvial en una edificación.



Gráfica 47. Demanda y satisfacción de agua. Fuente Capital sustentable <https://capitalsustentable.shinyapps.io/calculadora/>.

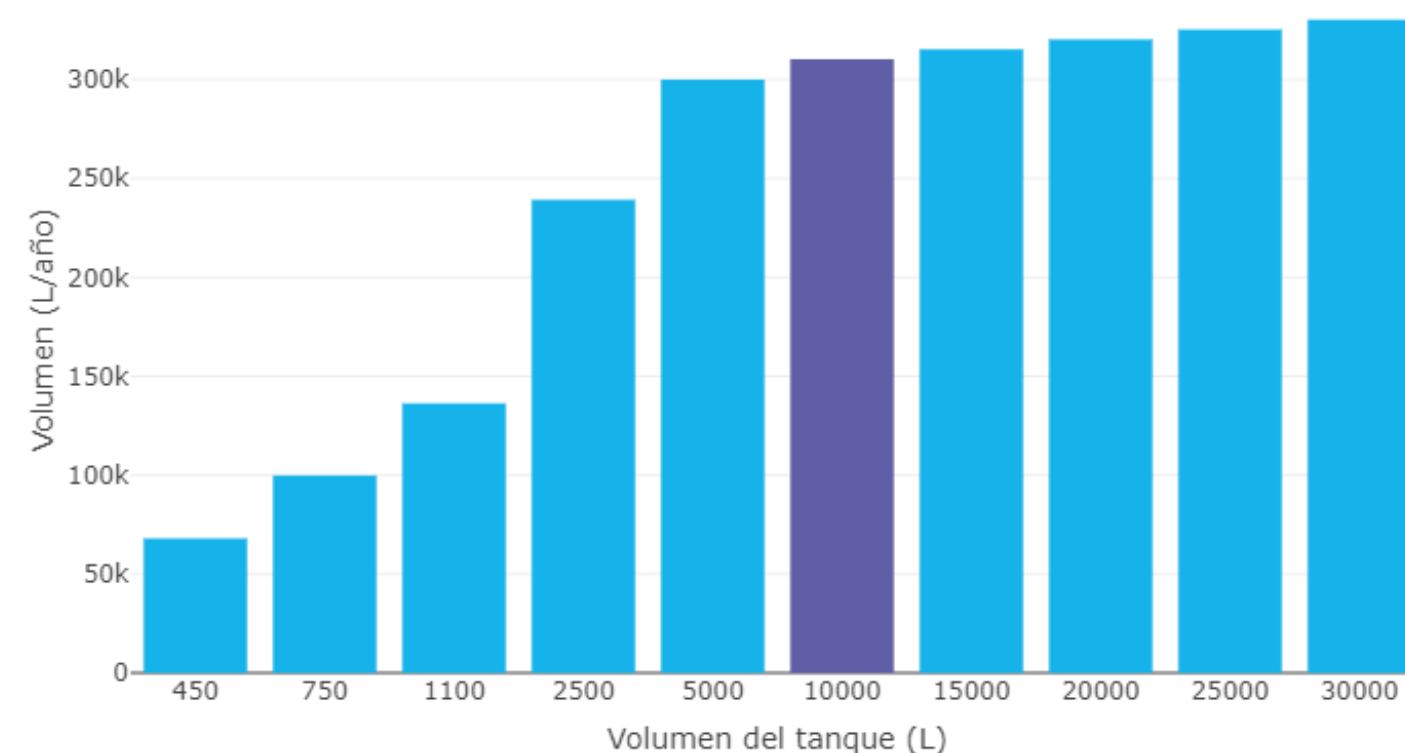
En meses como junio, julio y septiembre, la captación pluvial juega un rol significativo al cubrir más del 40% de la demanda total de agua, lo cual se refleja en las barras azules que alcanzan volúmenes de entre 72,000 L y 78,000 L. Este aporte es posible debido a la mayor precipitación pluvial en esos meses, lo que permite una reducción notable en el consumo de agua proveniente de otras fuentes.

Sin embargo, en otros meses como enero, febrero y diciembre, la cantidad de agua captada es casi insignificante, lo que significa que la totalidad de la demanda es satisfecha por medios convencionales, como se observa en las barras grises que representan valores entre 152,000 y 168,000 litros por mes. En estos meses, la baja pluviosidad reduce la eficiencia del sistema, haciendo que la captación pluvial no sea suficiente para contribuir significativamente a las necesidades hídricas de la edificación.

Este análisis sugiere que, aunque la captación pluvial puede ser útil durante los meses de alta precipitación, es necesario tener sistemas complementarios para asegurar el suministro de agua durante el resto del año.

La Gráfica 47 muestra la relación entre el volumen del tanque de captación de agua pluvial (en litros) y el volumen anual de agua aprovechada (en litros por año). A medida que aumenta el tamaño del tanque, también lo hace la cantidad de agua captada, alcanzando un volumen máximo aprovechado en torno a los 15,000 litros de capacidad.

A partir de los 10,000 litros, el volumen captado se estabiliza en aproximadamente 300,000 litros/año, lo que indica que tanques más grandes no necesariamente captarán más agua, debido a las limitaciones de la precipitación anual disponible en la zona.

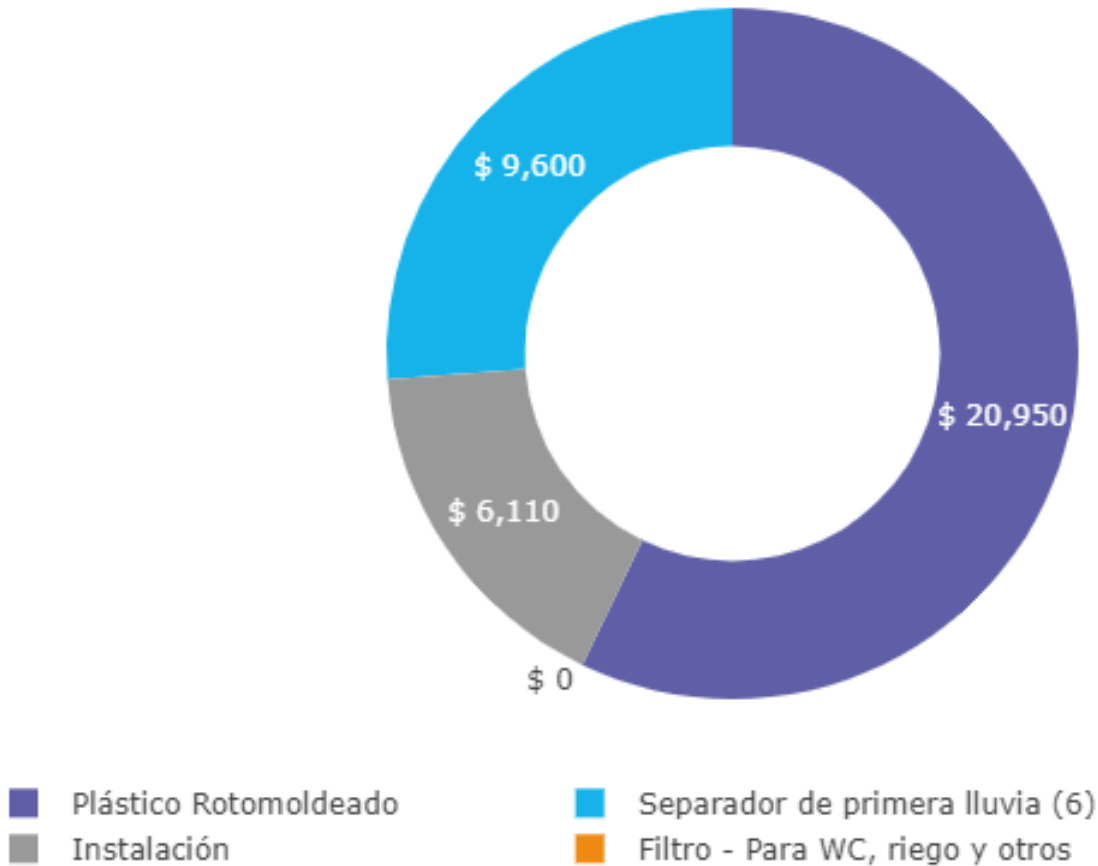


Gráfica 48. Volumen de captación. Fuente Capital sustentable <https://capitalsustentable.shinyapps.io/calculadora/>.

La Gráfica 49 muestra el costo desglosado para un sistema de captación pluvial con un tanque de 10,000 litros. Los costos se distribuyen en tres componentes principales:

- Plástico Rotomoldeado (color púrpura): Representa el tanque de almacenamiento y tiene un costo de \$20,950.
- Separador de primera lluvia (color azul): Con un costo de \$9,600, esta parte del sistema ayuda a eliminar los primeros contaminantes del agua pluvial.
- Instalación (color gris): Incluye la instalación del sistema, con un costo de \$6,110.

Cada sección del gráfico muestra el costo correspondiente, sumando un total aproximado de \$36,660.



Gráfica 49. Costo de cisterna de 10,000 L. Fuente Capital sustentable <https://capitalsustentable.shinyapps.io/calculadora/>.

4.7.2. Conclusión

La captación pluvial es una estrategia eficaz y sostenible para optimizar el uso del agua, especialmente en contextos urbanos y en regiones con estrés hídrico. Aunque presenta desafíos en términos de costos iniciales y calidad del agua, sus ventajas en cuanto a ahorro de agua potable, reducción de inundaciones y fomento de la autosuficiencia hídrica la convierten en una opción viable para la gestión de recursos hídricos en edificios y viviendas sostenibles. Su implementación debe estar bien planificada, teniendo en cuenta las características del lugar y las necesidades del usuario, para maximizar su eficiencia y los beneficios a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

Anon., 2019. Secretaría de Turismo.<https://www.gob.mx/sectur/articulos/atlixco-puebla#:~:text=Atlixco%2C%20nombre%20azteca%20formado%20Atl,Xicalancas%20que%20tributaban%20a%20Tenochtitl%C3%A1n>.

Anon., 2023. Programa Municipal de desarrollo urbano de Atlixco, Puebla. 2021-2024. Única ed. Puebla (Atlixco): Gobierno del Estado de Puebla.

Anon., 2024. Auditoría Superior del Estado de Puebla.
<https://www.auditoriapuebla.gob.mx/sujetos-de-revision/informes/informes-individuales/itemlist/category/458-atlixco>

Anon., 2024. DATA MÉXICO.
<https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/atlixco?redirect=true&totalGenderEducation=genderOption>

Anon., s.f. Enciclopedia. https://enciclopediagro.org/index_php/indices/indice-flora-y-fauna/

Anon., s.f. Red de Árboles. <https://www.reddearboles.org/es-MX/enciclopedia/nwcproduct/11659/Guayabo-arbol-nativo>

CONAGUA, s.f. Normales Climatológica por Estado. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=pue>

El Sol de Puebla, 2023. Atlixco pasó de villa a ducado y después a ciudad | Los tiempos idos, 18 febrero.

INEGI Cartografía, s.f. Guía para la interpretación de cartografía.
https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825231736/702825231736_1.pdf

INEGI Topografía, 2005. Guía para la interpretación de cartografía.
https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825231743/702825231743_1.pdf

[INEGI, s.f. Geografía y Medio Ambiente. <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/#mapas>

INEGI, s.f. Guía para la interpretación de cartografía.
https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825092030.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía., 2016. Catálogo de tipos de Vegetación Natural e Introducida de México con fines estadísticos y geográficos.
https://www.snieg.mx/Documentos/Geografico/sesiones/doc_12016/5_Catalogo_de_Tipos_de_VegetacionNatural_e_Inducida_de_Mex.pdf

Instituto Nacional de Etadistica y Geografía, 2016. Cátalogo de tipos de vegetación natural e introducida de México con fines estadísticos y geográficos.
https://www.snieg.mx/Documentos/Geografico/sesiones/doc_12016/5_Catalogo_de_Tipos_de_VegetacionNatural_e_Inducida_de_Mex.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO, Actualización 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014.
[ttps://www.fao.org/3/i3794es/I3794es.pdf](https://www.fao.org/3/i3794es/I3794es.pdf)

Secretaría de Gobernación, Orden Jurídico Poblano., 2016. Programa Sectorial de Movilidad Urbana Sustentable del Municipio de Atlixco, Puebla.
https://ojp.puebla.gob.mx/media/k2/attachments/Programa_Sectorial_de_Movilidad_Urbana_Sustentable_del_Municipio_de_Atlixco_7042016.pdf

Software development. (s/f). Andrewmarsh.com. Recuperado el 7 de agosto de 2024, de <https://andrewmarsh.com/software/>

Marsh, A. J. (s/f). PD: Dynamic daylight. Bitbucket.io. Recuperado el 7 de agosto de 2024, de <https://drajmarsh.bitbucket.io/daylight-box.html>

Dynamic daylighting. (s/f). Andrewmarsh.com. Recuperado el 7 de agosto de 2024, de <https://andrewmarsh.com/software/daylight-box-web/>

- ASHRAE. (2016). *ASHRAE Handbook: Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- CIE. (2016). *CIE S 017/E:2016 - International Lighting Vocabulary*. International Commission on Illumination.
- Gibson, J. J. (2009). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Psychology Press.
- Hirsch, R. (2015). *Lighting for Work: A Guide to Lighting Design*. Springer.
- IESNA. (2000). *The Lighting Handbook: Reference & Application*. Illuminating Engineering Society of North America.
- Peña, J., & Sánchez, E. (2017). *Impacto Ambiental de la Iluminación Artificial*. Editorial Universitaria.
- Rea, M. S. (2000). *Lighting for the Visual Environment*. Taylor & Francis.
- Kleindienst, J. (2003). *Daylight and Sunlight: A Practical Guide for Designers*. Architectural Press
- DIALux es el estándar mundial en software de diseño de iluminación. (s/f). Dialux.com. Recuperado el 18 de agosto de 2024, de <https://www.dialux.com/es-ES/>
- Mikkelson, D. A., & Phillips, J. S. (2021). *Principles of lighting design*. Wiley.
- Boyce, P. R. (2014). *Human factors in lighting* (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17170>
- IES (Illuminating Engineering Society). (2020). *Lighting Handbook: Reference & Application* (10th ed.). Illuminating Engineering Society.
- García, C. (2017). *Estudio y Evaluación del Cielo Artificial en la UAM Azcapotzalco*. Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco.
- Rodríguez, M. (2018). *Tecnologías Avanzadas en el Diseño de Iluminación Artificial*. Editorial Académica.
- CIBSE. (2002). *Daylighting and window design (Lighting Guide 10)*. Chartered Institution of Building Services Engineers.
- Littlefair, P. J. (1991). *Site layout planning for daylight and sunlight: A guide to good practice*. Building Research Establishment.
- Mardaljevic, J. (2011). Daylight factor simulations: State of the art and future directions. In *Proceedings of Building Simulation 2011* (pp. 179-186). International Building Performance Simulation Association.
- Reinhart, C. F., & Walkenhorst, O. (2001). Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. *Energy and Buildings*, 33(7), 683-697.
- Software development*. (s/f). Andrewmarsh.com. Recuperado el 7 de agosto de 2024, de <https://andrewmarsh.com/software/>
- Marsh, A. J. (s/f). *PD: Dynamic daylight*. Bitbucket.io. Recuperado el 7 de agosto de 2024, de <https://drajmarsh.bitbucket.io/daylight-box.html>
- Dynamic daylighting*. (s/f). Andrewmarsh.com. Recuperado el 7 de agosto de 2024, de <https://andrewmarsh.com/software/daylight-box-web/>
- ASHRAE. (2016). *ASHRAE Handbook: Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- CIE. (2016). *CIE S 017/E:2016 - International Lighting Vocabulary*. International Commission on Illumination.
- Gibson, J. J. (2009). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Psychology Press.
- Hirsch, R. (2015). *Lighting for Work: A Guide to Lighting Design*. Springer.

- IESNA. (2000). *The Lighting Handbook: Reference & Application*. Illuminating Engineering Society of North America.
- Peña, J., & Sánchez, E. (2017). *Impacto Ambiental de la Iluminación Artificial*. Editorial Universitaria.
- Rea, M. S. (2000). *Lighting for the Visual Environment*. Taylor & Francis.
- Kleindienst, J. (2003). *Daylight and Sunlight: A Practical Guide for Designers*. Architectural Press
- DIALux es el estándar mundial en software de diseño de iluminación. (s/f). Dialux.com. Recuperado el 18 de agosto de 2024, de <https://www.dialux.com/es-ES/>*
- Mikkelsen, D. A., & Phillips, J. S. (2021). *Principles of lighting design*. Wiley.
- Boyce, P. R. (2014). *Human factors in lighting* (3rd ed.). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/b17170>
- IES (Illuminating Engineering Society). (2020). *Lighting Handbook: Reference & Application* (10th ed.). Illuminating Engineering Society.
- García, C. (2017). *Estudio y Evaluación del Cielo Artificial en la UAM Azcapotzalco*. Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco.
- Rodríguez, M. (2018). *Tecnologías Avanzadas en el Diseño de Iluminación Artificial*. Editorial Académica.
- CIBSE. (2002). *Daylighting and window design (Lighting Guide 10)*. Chartered Institution of Building Services Engineers.
- Littlefair, P. J. (1991). *Site layout planning for daylight and sunlight: A guide to good practice*. Building Research Establishment.
- Mardaljevic, J. (2011). Daylight factor simulations: State of the art and future directions. In *Proceedings of Building Simulation 2011* (pp. 179-186). International Building Performance Simulation Association.
- Reinhart, C. F., & Walkenhorst, O. (2001). Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. *Energy and Buildings*, 33(7), 683-697.
- U.S. Department of Energy. (2020). *EnergyPlus Engineering Reference: The Reference to EnergyPlus Calculations*. U.S. Department of Energy. Disponible en: <https://energyplus.net/documentation>
- DesignBuilder Software Ltd. (2023). *DesignBuilder User Manual*. DesignBuilder Software Ltd. Disponible en: <https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/>
- ASHRAE. (2021). *ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Disponible en: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55>
- Givoni, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. John Wiley & Sons. ISBN: 978-0471291770.
- Olgyay, V. (2015). *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton University Press. ISBN: 978-0691169738.
- Szokolay, S. V. (2014). *Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design*. Routledge. ISBN: 978-0415824989.
- Santamouris, M., & Asimakopoulos, D. (1996). *Passive Cooling of Buildings*. James & James Science Publishers. ISBN: 978-1873936904.
- Heschong, L. (1979). *Thermal Delight in Architecture*. The MIT Press. ISBN: 978-0262580397.
- Ermann, M. (2015). *Architectural acoustics illustrated*. Wiley.

- Salvador, A. (2016). *Acústica arquitectónica: Guía para la integración del diseño acústico en la arquitectura*. Editorial.
- Olgyay, V. (2015). *Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press.
- Givoni, B. (2014). *Climate considerations in building and urban design*. Wiley.
- Reed, R., & Gustin, S. (2016). *Architectural acoustics*. Academic Press.
- Guinness World Records. (2014). *Loudest crowd roar at a sports stadium*. Recuperado de <https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/loudest-crowd-roar-at-a-sports-stadium/>
- Organización Mundial de la Salud. (2005). *Guidelines for community noise*. Recuperado de <https://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>
- Basterretxea, K., Torío, I., & Sáenz, J. R. (2020). *Acoustic comfort in sports facilities: The influence of design and material choices*. Journal of Sports Engineering, 15(2), 123-134. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-06047-8>
- Sound absorption coefficient chart. (s/f). Acoustic Supplies. Recuperado el 9 de septiembre de 2024, de <https://www.acoustic-supplies.com/absorption-coefficient-chart/>
- Beranek, L. L. (1996). *Acoustics*. Acoustical Society of America.
- Everest, F. A., & Pohlmann, K. C. (2009). *Master Handbook of Acoustics*. McGraw-Hill Education.
- AENOR (2000). *UNE-EN 12354: Edificios. Estimación del rendimiento acústico de edificios a partir de las características de los elementos*.
- Kuttruff, H. (2017). *Room Acoustics* (6th ed.). CRC Press.
- Beranek, L. L. (2004). *Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture* (2nd ed.). Springer.
- ISO 3382-1:2009. *Acoustics – Measurement of Room Acoustic Parameters*. International Organization for Standardization.
- Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa. (s/f). Gob.mx. Recuperado el 25 de septiembre de 2024, de <https://www.gob.mx/inifed>
- Beranek, L. L. (2017). *Acoustics: Sound Fields and Transducers*. Academic Press.
- Cox, T., & D'Antonio, P. (2009). *Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, Design and Application*. CRC Press.
- De aplicación, 1. Objetivo y. Campo. (s/f). *Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales*. Gob.mx. Recuperado el 1 de octubre de 2024, de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/693753/NOM-008.pdf>
- DOF - Diario Oficial de la Federación. (s/f). Gob.mx. Recuperado el 1 de octubre de 2024, de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=767644&fecha=25/04/2001
- Ventana de aluminio de doble hoja. (s/f). Tectonica.archi. Recuperado el 1 de octubre de 2024, de <https://tectonica.archi/materials/ventana-de-aluminio-de-doble-hoja/>
- Concreto Aparentia. (s/f). Cemexmexico.com. Recuperado el 1 de octubre de 2024, de <https://www.cemexmexico.com/productos/concreto/aparentia-concreto-premezclado>
- Ventanas Aluminio. (s/f). Finestresgirona.com. Recuperado el 1 de octubre de 2024, de <https://finestresgirona.com/es/ventanas-aluminio.html>
- Domenech, L., & Saurí, D. (2011). A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): Social experience, drinking water savings and economic costs. Journal of Cleaner Production, 19(6), 598-608.

Gould, J., & Nissen-Petersen, E. (1999). Rainwater Catchment Systems for Domestic Supply: Design, Construction and Implementation. Intermediate Technology Publications.

Fewkes, A. (2012). Modelling the performance of rainwater collection systems: Towards a generalised approach. Urban Water Journal, 9(4), 257-265.