

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE CRITERIOS BIOCLIMÁTICOS Y ECOTECNOLOGÍAS EN LA RENOVACIÓN DE ESPACIO EDUCATIVO

D.I. Fernando De Lara Martínez

Trabajo terminal para optar por el grado de
Especialista en Diseño Ambiental
Área de concentración en **Arquitectura Bioclimática**

Director de ICR:
Dra. Fabiola Sagrario Sosa Rodríguez

Codirector de ICR:
Dr. Fausto Eduardo Rodríguez Manzo

Ciudad de México
Noviembre 2024

DOI: 10.24275/uama.5809.11870

AGRADECIMIENTOS

A Andy, por su cariño, su paciencia, su motivación, su confianza en mi, y el total e incondicional apoyo a todos mis proyectos.

A mis padres, mi familia y amigos, por sus palabras de aliento y por apoyar cualquier camino que decida emprender.

A la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, a su cuerpo docente y administrativo, por la orientación, el apoyo, y por la oportunidad de integrarme nuevamente a sus filas académicas.

A mis compañeros de posgrado, por los momentos compartidos, las discusiones enriquecedoras, los valiosos consejos, el aprendizaje mutuo, la complicidad y la amistad.

Al Municipio de Naucalpan y a la Escuela Primaria Jaime Torres Bodet, por brindarme la oportunidad de participar en el proyecto y contribuir con soluciones para la sociedad.

A CONAHCYT, por el valioso apoyo económico que hizo posible la realización de mis estudios de posgrado.

RESUMEN

Este documento presenta el trabajo de investigación sobre la intervención de un espacio educativo mediante la aplicación de los conceptos de habitabilidad y sostenibilidad; entendiendo como “habitables”, a aquellos espacios propicios que ofrezcan las condiciones de bienestar, confort, salud y seguridad, para fomentar procesos eficaces de enseñanza–aprendizaje (Hernández, 2010); Y como “sostenible”, la implementación de soluciones que resuelvan las problemáticas y necesidades de hoy pensando en mañana; que consideren los impactos ambientales, sociales y económicos de su aplicación, así como las estrategias para un consumo consciente de recursos naturales y energéticos.

El desarrollo de la investigación se enfoca en plantear el diseño de un centro educativo a nivel anteproyecto que resuelva las necesidades de los usuarios, que analice las condiciones del terreno, su entorno físico, geográfico, urbano y climatológico; para generar una propuesta arquitectónica que considere estrategias de diseño bioclimático y provea condiciones adecuadas de confort térmico, lumínico y acústico. Dichas condiciones de habitabilidad y confort serán evaluadas a fin de determinar su efectividad, cumplimiento de la normativa, así como determinar las oportunidades de adecuación o mejora.

ABSTRACT

This document presents the research work on the intervention of an educational space through the application of the concepts of habitability and sustainability; understanding as “habitable”, those conducive spaces that offer the conditions of well-being, comfort, health and safety, to promote effective teaching-learning processes (Hernández, 2010); And as “sustainable”, the implementation of solutions that solve the problems and needs of today with tomorrow in mind; that consider the environmental, social and economic impacts of their application, as well as strategies for conscious consumption of natural and energy resources.

The development of the research focuses on proposing the design of an educational center at a preliminary project level that solves the needs of the users, that analyzes the conditions of the terrain, its physical, geographical, urban and climatological environment; to generate an architectural proposal that considers bioclimatic design strategies and provides adequate thermal, lighting and acoustic comfort conditions. These habitability and comfort conditions will be evaluated in order to determine their effectiveness, compliance with regulations, as well as determine opportunities for adaptation or improvement.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1	3.7. VIENTO	24
1.1. ANTECEDENTES DEL EDIFICIO EDUCATIVO	2	3.8. PRECIPITACIÓN Y EVAPORACIÓN.....	27
2. ANÁLISIS DE SITIO.....	4	3.9. TEMPERATURA EFECTIVA CORREGIDA	28
2.1. INTRODUCCIÓN	5	3.10. DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO.....	29
2.2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA.....	5	3.11. TABLAS DE MAHONEY	31
2.2.1. Localización.....	5	3.12. GRÁFICA PSICROMÉTRICA.....	31
2.2.2. Fisiografía.....	6	3.13. CONCLUSIONES	34
2.2.3. Geomorfología.....	6	4. ANTEPROYECTO ARQUITECTÓNICO.....	35
2.2.4. Topografía	7	4.1. PROPUESTA CONCEPTUAL.....	37
2.2.5. Geología.....	8	4.2. PLANOS ARQUITECTÓNICOS.....	39
2.2.6. Edafología	9	4.2.1. Plano de conjunto	39
2.2.7. Hidrografía superficial.....	10	4.2.2. Plano isométrico de conjunto.....	41
2.2.8. Vegetación y biodiversidad.....	10	4.2.3. Plano de plantas arquitectónicas.....	42
2.3. DEMOGRAFÍA.....	12	4.2.4. Plano de fachadas	43
2.3.1. Población.....	12	4.2.5. Plano de cortes por fachada y detalles.....	44
2.4. INFRAESTRUCTURA.....	13	4.2.6. Plano de penetración solar y dispositivos de control.....	45
2.4.1. Hidráulica.....	13	5. ANÁLISIS DE GEOMETRÍA SOLAR	48
2.4.2. Sanitaria.....	13	5.1. INTRODUCCIÓN.....	49
2.4.3. Eléctrica y alumbrado	14	5.2. CASO DE ESTUDIO.....	49
2.4.4. Carretera y ferroviaria.....	14	5.3. TRAYECTORIA SOLAR	50
2.4.5. Vialidad y transporte.....	14	5.4. EVALUACIÓN DE LA PENETRACIÓN SOLAR Y LA PROYECCIÓN DE SOMBRAS	50
2.4.6. Salud.....	15	5.4.1. Estudio en solsticio de invierno.....	51
2.4.7. Deporte, Cultura y Recreación.	16	5.4.2. Estudio en equinoccio de primavera y otoño.....	52
2.4.8. Sistema Educativo.....	16	5.4.3. Estudio en solsticio de verano	53
2.5. CONCLUSIONES	18	5.5. EVALUACIÓN DE DISPOSITIVOS DE CONTROL SOLAR.....	54
3. ANÁLISIS CLIMÁTICO	19	5.5.1. Estudio solar en equinoccios y solsticios.....	55
3.1. INTRODUCCIÓN	20	5.6. CONCLUSIONES	56
3.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	20	6. ANÁLISIS DE VENTILACIÓN.....	57
3.3. TEMPERATURA.....	21	6.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DE LA SIMULACIÓN.....	58
3.4. HUMEDAD.....	22	6.2. HERRAMIENTA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA.....	58
3.5. RANGO DE RADIACIÓN SOLAR	23	7. ANÁLISIS TÉRMICO	63
3.6. RANGO DE ILUMINACIÓN.....	23	7.1. INTRODUCCIÓN.....	64
		7.2. CASO DE ESTUDIO.....	64

7.3. HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN	66	11.2.1. Paneles fotovoltaicos	113
7.4. RESULTADOS DE SIMULACIÓN	67	11.2.2. Colector solar	116
7.5. CONCLUSIONES	69	11.3. AGUA.....	119
8. NORMATIVIDAD.....	70	11.3.1 Captación de agua pluvial.....	119
8.1. INTRODUCCIÓN	71	11.3.2. Tratamiento de aguas residuales.....	123
8.2. NORMATIVIDAD APLICABLE	71	11.3.3. Concreto permeable.....	125
8.3. CASO DE ESTUDIO	71	11.4. VEGETACIÓN	126
8.4. METODOLOGÍA	72	11.4.1. Introducción.....	126
8.5. DESARROLLO DE LA EVALUACIÓN.....	73	11.4.2. Azoteas verdes.....	127
8.6. RESULTADOS DE EVALUACIÓN	75	11.4.3. Vegetación complementaria.....	129
8.7. CONCLUSIONES	76	11.5. DISPOSITIVOS AHORRADORES	131
9. ANÁLISIS DE CONFORT LUMÍNICO	77	12. VISUALIZACIÓN FINAL DE PROYECTO.....	132
9.1. INTRODUCCIÓN	78	12.1. RENDERS	133
9.2. OBJETIVO Y HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS	78	13. CONCLUSIONES.....	137
9.3. CASO DE ESTUDIO	78	14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	140
9.4. DATOS NORMATIVOS.....	79		
9.5. ILUMINACIÓN NATURAL	79		
9.5.1. Estudio con andrew marsh dynamic daylight	80		
9.5.2. Estudio en cielo artificial	84		
9.5.3. Estudio con DIALux Evo ®	86		
9.6. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL - DIALux Evo ®	89		
9.7. CONCLUSIONES	99		
10. ANÁLISIS DE CONFORT ACÚSTICO	100		
10.1. INTRODUCCIÓN	101		
10.2. CASO DE ESTUDIO	101		
10.3. DATOS NORMATIVOS.....	102		
10.4. METODOLOGÍA	104		
12.4.1. Acondicionamiento acústico	104		
12.4.2. Aislamiento acústico	106		
11. ECOTECNOLOGÍAS.....	110		
11.1. INTRODUCCIÓN	111		
11.2. ENERGÍA.....	113		

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de Escuela Primaria. Fuente: Elaboración propia con datos e imágenes de Google Maps.	2
Figura 2. Plano de conjunto. Fuente: Dirección de la Escuela Primaria.	2
Figura 3. Imagen 3D de sitio. Fuente: Google Earth.	2
Figura 4. Topografía de terreno en corte. Fuente: Elaboración Arq. Jorge Calderón.	3
Figura 5. Fotografías de sitio. Fuente: Elaboración propia.	3
Figura 6. Mapa de Localización geográfica de Naucalpan. Fuente: Adaptado de : Naucalpan de Juárez (2022b).	5
Figura 7. Mapa de Fisiografía de Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez, 2022.	6
Figura 8. Mapa de Geomorfología de Naucalpan. Fuente: (Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey, 2022).	7
Figura 9. Mapa de Modelo digital de elevación topográfica. Fuente: Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey (2022).	7
Figura 10. Mapa de pendientes Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey (2022).	8
Figura 11. Mapa de Geología Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2023b).	8
Figura 12. Mapa de Edafología Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2023b).	9
Figura 13. Mapa de Hidrografía superficial Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2023b).	10
Figura 14. Tabla tipo de vegetación en Mapa de Vegetación Naucalpan 1983. Fuente: INEGI carta uso del suelo.	11
Figura 15. Mapa de Vegetación Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022a).	11
Figura 16. Mapa de Vegetación Naucalpan 1983. Fuente: INEGI carta uso del suelo.	11
Figura 17. Pirámide poblacional Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022a).	12
Figura 18. Población municipal por edad de 0-14 años y sexo. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022a).	12
Figura 19. Población con algún tipo de discapacidad. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022a).	12
Figura 20. Mapa de Sistema Lerma-Cutzamala. Fuente: Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey (2022).	13
Figura 21. Mapa de acceso a electricidad. Fuente: Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey (2022).	14
Figura 22. Mapa de Infraestructura carretera y ferroviaria. Fuente: Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey (2022).	14
Figura 23. Mapa de vialidades municipales. Fuente: Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey (2022).	15
Figura 24. Gráfica de población con seguridad social. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022a).	15
Figura 25. Mapa de cobertura educativa Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey (2022).	17
Figura 26. Gráfica de Población que asiste a la escuela. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022a).	17
Figura 27. Mapa de climas. Fuente: (Naucalpan de Juárez, 2022a).	20
Figura 28. Gráfica de humedad relativa. Fuente: BAT (Fuentes, 2024).	22

Figura 29. Gráfica de rango de radiación. Fuente: Elaboración propia con Climate Consultant (Parallels Software International, s/f).	23
Figura 30. Gráfica de rango de iluminación. Fuente: Elaboración propia en Climate Consultant.	23
Figura 31. Gráfica de velocidad de viento. Fuente: Elaboración propia en Climate Consultant.	24
Figura 32. Gráfica de rueda de vientos en invierno. Fuente: Elaboración propia en Climate Consultant.	24
Figura 33. Gráfica de rueda de vientos primavera. Fuente: Elaboración propia en Climate Consultant.	25
Figura 34. Gráfica de rueda de vientos verano. Fuente: Elaboración propia en Climate Consultant.	25
Figura 35. Gráfica de rueda de vientos otoño. Fuente: Elaboración propia en Climate Consultant.	26
Figura 36. Gráfica de velocidad de vientos mensual. Promedio mensual vientos. Fuente: BAT. Dr. Víctor Fuentes F.	26
Figura 37. Gráfica de Velocidad media por orientación. Fuente: BAT. Dr. Víctor Fuentes F.	27
Figura 38. Gráfica anual de vientos. Fuente: BAT. Dr. Víctor Fuentes F.	27
Figura 39. Gráfica de precipitación y evaporación mensual. BAT. Dr. Víctor Fuentes F.	27
Figura 40. Gráfica de análisis mensual de temperatura efectiva corregida. Fuente: BAT. Dr. Víctor Fuentes F.	28
Figura 41. Gráfica anual de diagrama bioclimático. Fuente: BAT. Dr. Víctor Fuentes F.	29
Figura 42. Gráfica mensual de diagrama bioclimático. Fuente: BAT. Dr. Víctor Fuentes F.	30
Figura 43. Representación de estrategias pasivas para conseguir confort térmico. Fuente: Climate Consultant.	31
Figura 44. Gráfica psicrométrica Diciembre. Fuente: Climate Consultant (Parallels Software International, s/f).	32
Figura 45. Gráfica psicrométrica Enero. Fuente: Climate Consultant. (Parallels Software International, s/f).	32
Figura 46. Gráfica psicrométrica Marzo. Fuente: Climate Consultant. (Parallels Software International, s/f).	33
Figura 47. Gráfica psicrométrica Abril. Fuente: Climate Consultant. (Parallels Software International, s/f).	33
Figura 48. Gráfica psicrométrica Mayo. Fuente: Climate Consultant. (Parallels Software International, s/f).	33
Figura 49. Gráfica psicrométrica Junio. Fuente: Climate Consultant. (Parallels Software International, s/f).	33
Figura 50. Imagen descriptiva de conjunto arquitectónico nivel Anteproyecto. Fuente: Elaboración propia.	36
Figura 51. Imagen descriptiva de concepto del conjunto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia.	37
Figura 52. Objetivos y soluciones a implementar con proyecto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia.	38
Figura 53. Estrategias pasivas en el conjunto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia.	38
Figura 54. Plano-Fachada de conjunto. Fuente: Elaboración propia.	39
Figura 55. Plano-Planta de conjunto. Fuente: Elaboración propia.	40
Figura 56. Plano-Isométricos de conjunto. Fuente: Elaboración propia.	41
Figura 57. Plano-Plantas arquitectónicas. Fuente: Elaboración propia.	42
Figura 58. Plano-Fachadas arquitectónicas. Fuente: Elaboración propia.	43
Figura 59. Plano-Cortes por fachada y detalles. Fuente: Elaboración propia.	44
Figura 60. Plano-Análisis de penetración solar y dispositivos de control en Equinoccios. Fuente: Elaboración propia.	45

Figura 61. Plano-Análisis de penetración solar y dispositivos de control en Solsticio de verano. Fuente: Elaboración propia.....	46	Figura 92. Dispositivo de control solar "Repisa seccionada". Fuente: Elaboración propia.	65
Figura 62. Plano-Análisis de penetración solar y dispositivos de control en Solsticio de invierno. Fuente: Elaboración propia.....	47	Figura 93. Tabla 1 de sistemas constructivos 1. Fuente Elaboración propia con información de (DesignBuilder Software Ltd, 2019).....	65
Figura 63. Caso de estudio Geometría solar del conjunto arquitectónico de anteproyecto. Fuente: Elaboración propia.....	49	Figura 94. Tabla 2 de sistemas constructivos. Fuente: Elaboración propia con información de (DesignBuilder Software Ltd, 2019).....	66
Figura 64. Sección de edificio B para estudio de geometría solar. Fuente: Elaboración propia.	49	Figura 95. Modelo 3D de los componentes constructivos del edificio de estudio. Fuente: (DesignBuilder Software Ltd, 2019).....	67
Figura 65. Trayectoria solar del emplazamiento vista SE. Fuente: Elaboración propia en REVIT.....	50	Figura 96. Temperatura operativa vs zona de confort térmico. Fuente: elaboración propia con datos de (DesignBuilder Software Ltd, 2019).....	67
Figura 66. Trayectoria solar del emplazamiento vista NE. Fuente: Elaboración propia en REVIT.....	50	Figura 97. Temperatura operativa mes más caluroso. Fuente: Elaboración propia con datos de (DesignBuilder Software Ltd, 2019).....	68
Figura 67. Trayectoria solar del emplazamiento. Fuente: Elaboración propia.....	50	Figura 98. Temperatura operativa mes menos caluroso. Fuente: Elaboración propia con datos de (DesignBuilder Software Ltd, 2019).....	68
Figura 68. Estudio solar en Solsticio de Invierno sin dispositivos de control solar. Fuente: Elaboración propia.....	51	Figura 99. Balance térmico anual. Fuente: Elaboración propia con datos de (DesignBuilder Software Ltd, 2019).....	69
Figura 69. Estudio solar en Equinoccio de primavera y otoño sin dispositivos de control solar. Fuente: Elaboración propia.....	52	Figura 100. Análisis Normativo. Edificio B en conjunto arquitectónico de anteproyecto. Fuente: Elaboración propia.	71
Figura 70. Estudio solar en Solsticio de Verano sin dispositivos de control solar. Fuente: Elaboración propia.....	53	Figura 101. Representación 3D de sección de edificio B sometido a evaluación. Fuente: Elaboración propia.....	71
Figura 71. Imagen configuración de anteproyecto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia.....	54	Figura 102. Ejemplo comparativo de edificio proyectado vs edificio de referencia. Fuente: (SENER-CONUEE, 2016).....	72
Figura 72. Dispositivo de control solar en aula tipo. Fuente: Elaboración propia.....	54	Figura 103. Isométricos por fachadas de sección Edificio B para estudio NOM-008-ENER-2001. Fuente: Elaboración propia.	73
Figura 73. Trayectoria solar sobre aula tipo en Equinoccio. Fuente: Elaboración propia en REVIT.....	54	Figura 104. Captura de Muros - Fuente: Adaptado de herramienta cálculo NOM-008-ENER-2001 . (SENER-CONUEE & Agencia Danesa de Energía, 2017).....	73
Figura 74. Estudio solar con dispositivos de control – Solsticio de invierno. Fuente: Elaboración propia.....	55	Figura 105. Planos de identificación de Muros y Techos para estudio NOM-008-ENER-2001. Fuente: Elaboración propia.	73
Figura 75. Estudio solar con dispositivos de control – Equinoccio primavera. Fuente: Elaboración propia.....	55	Figura 106. Captura de Techos - Fuente: Adaptado de herramienta cálculo NOM-008-ENER-2001 . (SENER-CONUEE & Agencia Danesa de Energía, 2017).....	73
Figura 76. Estudio solar con dispositivos de control – Solsticio de verano. Fuente: Elaboración propia.....	55	Figura 107. Captura de Puertas - Fuente: Adaptado de herramienta cálculo NOM-008-ENER-2001 . (SENER-CONUEE & Agencia Danesa de Energía, 2017).....	74
Figura 77. Rueda de vientos invierno. Fuente: Climate Consultant. (Parallels Software International, s/f).....	58	Figura 108. Isométricos fachada Sur-Este de sección Edificio B para estudio NOM-008-ENER-2001. Fuente: Elaboración propia.	74
Figura 78. Escala de vientos de Beaufort. Fuente: (Gonzalo, 2003).....	59	Figura 109. Planos de identificación de puertas, ventanas y dispositivos de sombreado para estudio NOM-008-ENER-2001. Fuente: Elaboración propia.	74
Figura 79. Criterio de ventilación en aulas tipo. Fuente: Elaboración propia.....	59	Figura 110. Captura de Ventanas - Fuente: Adaptado de herramienta cálculo NOM-008-ENER-2001. (SENER-CONUEE & Agencia Danesa de Energía, 2017).....	74
Figura 80. Comportamiento de viento en vista de planta. Fuente: Elaboración propia con Flow design.	60		
Figura 81. Efectos del viento según la disposición y altura de los edificios. Fuente: (Gonzalo, 2003).....	60		
Figura 82. Comportamiento de viento en vista plano de corte. Fuente: Elaboración propia con Flow design.	61		
Figura 83. Protección o aprovechamiento de los vientos. Fuente: (Gonzalo, 2003).....	61		
Figura 84. Comportamiento del viento en techos con pendiente. Fuente: (Gonzalo, 2003).....	61		
Figura 85. Comportamiento de la presión del viento sobre los edificios. Fuente: Elaboración propia con Flow design.	62		
Figura 86. Comportamiento de las presiones verticales del viento en un edificio. Fuente: (Fuentes, 2022).....	62		
Figura 87. Comportamiento de las presiones Horizontales del viento en un edificio. Fuente: (Fuentes, 2022).....	62		
Figura 88. Conjunto arquitectónico de anteproyecto. Fuente: Elaboración propia.	64		
Figura 89. Edificio B con diagrama solar. Fuente: Elaboración propia en (DesignBuilder Software Ltd, 2019).....	64		
Figura 90. Edificio B, planta de aula tipo PB-N1. Fuente: Elaboración propia.....	65		
Figura 91. Edificio B, Fachadas noreste y suroeste. Fuente: Elaboración propia.	65		

Figura 111. Pantalla de resultado de evaluación. Fuente: Herramienta de cálculo NOM-008-ENER-2001. (SENER- CONUEE & Agencia Danesa de Energía, 2017)	75
Figura 112. Ejemplo de distribución de la información de la etiqueta de la envolvente de los edificios no residenciales. Fuente: Adaptada de NOM-008-ENER-2001.....	75
Figura 113. Conjunto arquitectónico de anteproyecto. Fuente: Elaboración propia.	78
Figura 114. Edificio B, planta de aula tipo PB-N1. Fuente: Elaboración propia.....	78
Figura 115. Edificio B, Fachadas noreste y suroeste. Fuente: Elaboración propia.	79
Figura 116. Dispositivo de control solar "Repisa seccionada". Fuente: Elaboración propia.....	79
Figura 117. Configuración para evaluación de iluminación natural. Fuente: Dynamic Daylight. (Marsh, 2019).....	80
Figura 118. Resultados de evaluación lumínica Equinoccio. Fuente: Elaboración propia con imágenes de Dynamic Daylight. (Marsh, 2019)	81
Figura 119. Resultados de evaluación lumínica Solsticio de verano. Fuente: Elaboración propia con imágenes de Dynamic Daylight. (Marsh, 2019)	82
Figura 120. Resultados de evaluación lumínica Solsticio de invierno. Fuente: Elaboración propia con imágenes de Dynamic Daylight. (Marsh, 2019)	83
Figura 121. Evaluación de modelo físico en cielo artificial UAM Azcapotzalco. Fuente: Elaboración propia.....	84
Figura 122. Matriz de lecturas de iluminación para aula tipo en PB. Fuente: Elaboración propia.....	84
Figura 123. Gráficas de niveles de iluminación en aula tipo PB. Fuente: Elaboración propia.....	84
Figura 124. Cálculos y gráfica de factor de luz de día en aula tipo PB. Fuente: Elaboración propia.	84
Figura 125. Fotografía iluminación interior aula tipo PB. Fuente: Elaboración propia.....	85
Figura 126. Fotografía iluminación interior aula tipo PB. Fuente: Elaboración propia.....	85
Figura 127. Matriz de lecturas de iluminación para aula tipo en N1. Fuente: Elaboración propia.....	85
Figura 128. Gráficas de niveles de iluminación en aula tipo N1. Fuente: Elaboración propia.....	85
Figura 129. Cálculos y gráfica de factor de luz de día en aula tipo N1. Fuente: Elaboración propia.	85
Figura 130. Fotografía iluminación interior aula tipo N1. Fuente: Elaboración propia.....	86
Figura 131. Fotografía iluminación interior aula tipo N1. Fuente: Elaboración propia.....	86
Figura 132. Aula tipo PB. Izq. Diagrama isolux, Derecha arriba: Representación fotorealista, Derecha abajo: Imagen colores falsos. Fuente: Elaboración propia mediante DIALux evo. (DIAL GmbH, 2024)	87
Figura 133. Aula tipo PB. Demanda de energía. Fuente: Elaboración propia mediante DIALux evo. (DIAL GmbH, 2024).....	87
Figura 134. Aula tipo N1. Izq. Diagrama isolux, Derecha arriba: Representación fotorealista, Derecha abajo: Imagen colores falsos. Fuente: Elaboración propia mediante DIALux evo. (DIAL GmbH, 2024)	88
Figura 135. Aula tipo N1. Demanda de energía. Fuente: Elaboración propia mediante DIALux evo. (DIAL GmbH, 2024).....	88
Figura 136. Plano de conjunto, edificio y aula de caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.....	89

Figura 137. Cálculo de flujo luminoso requerido. Fuente: https://www.rapidtables.org/calc/light/lumen-to-lux-calculator.html	89
Figura 138. Especificaciones de Luminaria TLED. Fuente: https://www.lighting.philips.com/support/tools/productfinder	89
Figura 139. Definición de plano de trabajo para estudio de iluminación planta baja. Fuente DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024).....	89
Figura 140. Cantidad y disposición de luminarias en planta baja. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)	90
Figura 141. Promedio de flujo luminoso sobre el plano de trabajo planta baja. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)	90
Figura 142. Cálculo de líneas Isolux planta baja. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)	90
Figura 143. Visualización de curvas fotométricas planta baja. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)	90
Figura 144. Izquierda - Líneas Isolux, Centro - Visualización Colores falsos, Derecha - Render planta baja. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024).....	91
Figura 145. Render interior iluminación planta baja. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)	92
Figura 146. Render exterior iluminación planta baja. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)	92
Figura 147. Render principal de interior iluminación planta baja. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)	93
Figura 148. Plano de conjunto, edificio y aula de caso de estudio Nivel 1. Fuente: Elaboración propia.	94
Figura 149. Cálculo de flujo luminoso requerido para nivel 1. Fuente: https://www.rapidtables.org/calc/light/lux-to-lumen-calculator.html	94
Figura 150. Especificaciones de Luminaria TLED. Fuente: https://www.lighting.philips.com/support/tools/productfinder	94
Figura 151. Definición de plano de trabajo para estudio de iluminación nivel 1. Fuente DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024).....	94
Figura 152. Cantidad y disposición de luminarias en Nivel 1. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024).....	95
Figura 153. Promedio de flujo luminoso sobre el plano de trabajo Nivel 1. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024).....	95
Figura 154. Cálculo de líneas Isolux Nivel 1. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)	95
Figura 155. Visualización de curvas fotométricas Nivel 1. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)	95
Figura 156. Izquierda - Líneas Isolux, Centro - Visualización Colores falsos, Derecha - Render Nivel 1. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)	96
Figura 157. Render interior iluminación Nivel 1. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024).....	97
Figura 158. Render exterior iluminación Nivel 1. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024).....	97
Figura 159. Render principal de interior iluminación Nivel 1. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)	98
Figura 160. Conjunto arquitectónico de anteproyecto. Fuente: Elaboración propia.....	101
Figura 161. Visualización 3D de sección de Edificio B para estudio acústico. Fuente: Elaboración propia.	101
Figura 162. Entorno del emplazamiento arquitectónico. Fuente: Google Earth	102

Figura 163. Gráfica ilustrativa de tiempo de reverberación TR. Fuente: https://www.acousticlab.com/tiempo-de-reverberacion-y-formula-de-sabine/	Figura 186. Diagrama de funcionamiento de un SCALL. Fuente: (SEDEMA & ISLA URBANA, 2020).....
102	119
Figura 164. Tiempos óptimos de reverberación en diversos espacios. Fuente: (INIFED, 2014).....	Figura 187. Componentes básicos de un SCALL. Fuente:(SEDEMA & ISLA URBANA, 2020)
103	119
Figura 165. Emisores de ruido externos. Fuente: (INIFED, 2014).....	Figura 188. Huella de techo para captación pluvial. Fuente: (SEDEMA & ISLA URBANA, 2020).....
103	120
Figura 166. Planos ilustrativos del espacio de estudio en Planta Baja. Fuente: Elaboración propia	Figura 189. Características de las superficies de captación. Fuente: (SEDEMA & ISLA URBANA, 2020)
104	120
Figura 167. Placas de poliéster decorativas en Nivel 1. Fuente: Elaboración propia con imágenes de https://sineco-acustica.com/	Figura 190. Superficies de captación pluvial en conjunto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia.....
105	121
Figura 168. Planos ilustrativos del espacio de estudio en Nivel 1. Fuente: Elaboración propia.....	Figura 191. Dimensiones de huella de techo de losa inclinada. Fuente: Elaboración propia
105	121
Figura 169. Emplazamiento de proyecto arquitectónico y las fuentes de ruido del entorno. Fuente: Elaboración propia con imagen de Google Earth, (EPA, 2020) y (Orozco & Aguirre, 2019).....	Figura 192. Fuente: (Téllez et al., 2022).....
106	121
Figura 170. Niveles de ruido de las fuentes exteriores más comunes. Fuente: (EPA, 2020).....	Figura 193. Gráfica de precipitación mensual en emplazamiento del espacio educativo. Fuente: BAT (Fuentes, 2024).....
106	121
Figura 171. Nivel de ruido resultante de la suma energética en cada Barrera del caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.....	Figura 194. Esquema de funcionamiento Bio-Reactor. Fuente: https://biotar.mx/
107	123
Figura 172. Planos ilustrativos del espacio de estudio Ruido de Fondo en Planta Baja. Fuente: Elaboración propia.....	Figura 195. Imagen descriptiva Bio-Reactor. Fuente: https://biotar.mx/
108	123
Figura 173. Fórmulas utilizadas para realizar el cálculo de TL según el tipo de barrera. Fuente: (Cowan, 1994).....	Figura 196. Dimensiones comerciales de cisternas. Fuente Elaboración propia con información de https://rotoplas.com/
109	124
Figura 174. Objetivos y soluciones a implementar con proyecto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia	Figura 197. Diagrama de instalación Bio-reactor. Fuente: https://biotar.mx/
111	124
Figura 175. Ecotecnologías viables a implementar en proyecto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia.....	Figura 198. Concreto permeable. Fuente: https://ximetrika.com
112	125
Figura 176. Componentes de un sistema fotovoltaico. Fuente: https://solinc.com.mx	Figura 199. Concreto permeable. Fuente: https://360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-permeable-desarrollo-urbano-de-bajo-impacto/
113	125
Figura 177. Gráfica de radiación solar total diaria. Fuente: BAT (Fuentes, 2024).....	Figura 200. Soluciones de concreto CEMEX aplicados a concreto permeable de proyecto. Fuente: https://www.cemexmexico.com/productos/concreto
114	125
Figura 178. Ficha de panel fotovoltaico ERA. Fuente: https://www.energiadeamerica.mx/	Figura 201. Propuesta vegetativa para espacio educativo. Fuente: Elaboración propia.
115	126
Figura 179. Tarifa DAC de CFE México. Fuente: https://lumek.com.mx/blog/que-es-y-como-salir-de-la-tarifa-dac-de-cfe	Figura 202. Esquema de componentes de un sistema de azotea verde. Fuente: https://generacionverde.com/azoteas-verdes/
115	127
Figura 180. Fuente: (SEDATU-CONAVI, 2019)	Figura 203. Plano planta de azoteas verdes. Fuente: Elaboración propia
116	128
Figura 181. Diagrama de instalación típica del sistema de calentador solar. Fuente: https://www.tienda.grupoapolosolar.com/MLM-1471124411-calentador-solar-uso-domestico-150-lt-axol-eco-grupo-apollo_JM	Figura 204. Rasante Dichondra. Fuente. https://www.warners.com.au/
116	128
Figura 182. Resultados de cálculo de colectores solares. Fuente: Calculadora Solar. (SENER-CONUEE & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, s/f)	Figura 205. Sedum mexicanum rasante. Fuente: https://www.gardensonline.com.au/gardenshed/plantfinder/show_2513.aspx
117	128
Figura 183. Calentador solar Termosifón 150L. Fuente: Calorex https://www.calorex.com.mx/calentadores/solar	Figura 206. Delosperma cooperi (Hierba del hielo). Fuente: https://www.badapedia.com/plantas/planta-de-externior/7102/
118	128
Figura 184. Calentador solar termosifón 150L comercial. Fuente: https://www.surtidor.com/calentador-agua-calorex-termsifon-05121372010.html	Figura 207. Ophiopogon japonicus. Fuente: https://www.nparks.gov.sg/florafauweb/flora/8/5/8542
118	129
Figura 185. Especificaciones Calentador solar Calorex 153L. Fuente: https://www.calorex.com.mx/calentadores/solar	Figura 208. Propuesta vegetativa para espacio educativo. Fuente: Elaboración propia.
118	129
	Figura 209. Delosperma cooperi (Hierba del hielo). Fuente: https://www.badapedia.com/plantas/planta-de-externior/7102/
	129
	Figura 210. Árbol Liquidámbar. Fuente: https://ecuador.inaturalist.org/taxa/49658-Liquidambar-styraciflua
	129
	Figura 211. Arbol Fraxinus uhdei. Fuente: https://mexico.inaturalist.org/taxa/134212-Fraxinus-uhdei
	130
	Figura 212. Arbol Cercis canadensis. Fuente: https://rngr.net/publications/semillas-de-especies-forestales/monografias/cercis-canadensis-l-fabaceae/at_download/file
	130

Figura 213. Mingitorio seco infantil. Fuente: https://naturalplanet.com.mx/	131
Figura 214. Llave economizadora. Fuente: https://www.gersamex.com/llave-economizadora-a-pared-helvex-tv100-cromo/p	131
Figura 215. Sanitario ecológico infantil. Fuente: https://naturalplanet.com.mx/	131
Figura 216. Regadera ahorradora. Fuente: https://naturalplanet.com.mx/	131
Figura 217. Render 01. Fuente: Elaboración propia	133
Figura 218. Render 02. Fuente: Elaboración propia	134
Figura 219. Render 03. Fuente: Elaboración propia	135
Figura 220. Render 04. Fuente: Elaboración propia	136
Figura 221. Render 05. Fuente: Elaboración propia	136
Figura 222. Render 06. Fuente: Elaboración propia	136
Figura 223. Render 07. Fuente: Elaboración propia	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Población de usuarios. Fuente: Dirección de Escuela Primaria.....	2	Tabla 32. Cálculo de Tiempo de Reverberación para espacio de estudio en Nivel 1. Fuente: Elaboración propia.	105
Tabla 2. Rango de pendientes. Fuente: Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey (2022)	7	Tabla 33. Atenuación de ruido x distancia. Fuente: Elaboración propia.....	107
Tabla 3. Distribución Geológica de Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2023b)	8	Tabla 34. Niveles de ruido de referencia. Fuente: Elaboración propia con distintas referencias.....	107
Tabla 4. Usos de suelo y vegetación Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2023b)	11	Tabla 35. Suma energética de decibeles. Fuente: (Ermann, 2015)	107
Tabla 5. Población según condición de habla indígena. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022a)	12	Tabla 36. Valores STC de materiales constructivos. Fuente: Elaboración propia con información de distintas referencias	108
Tabla 6. Infraestructura en salud Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022b).....	15	Tabla 37. Cálculo de ruido de fondo en Planta Baja. Fuente: Elaboración propia.	108
Tabla 7. Índice de rezago en salud. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022a).....	15	Tabla 38. Suma energética del nivel de ruido de fondo interior en Aula Planta Baja. Fuente: Elaboración propia.	109
Tabla 8. Infraestructura deportiva Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022b)	16	Tabla 39. Índices de Consumo de Energía Eléctrica por región climática (kWh/m ² -año). Fuente: (Chatellier & McNeil, 2019).....	114
Tabla 9. Infraestructura de cultura Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022a)	16	Tabla 40. Datos de consumo energético en el conjunto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia.....	114
Tabla 10. Infraestructura de educación Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022b).....	16	Tabla 41. Resumen de radiación solar en sitio. Fuente: Elaboración propia con datos de BAT y normales meteorológicas.....	115
Tabla 11. Tabla de cobertura educación Naucalpan. Fuente: (Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey, 2022).....	17	Tabla 42. Determinación de paneles fotovoltaicos para proyecto. Fuente: Elaboración propia.....	115
Tabla 12. Condición de analfabetismo. Fuente: (Naucalpan de Juárez, 2022a)	17	Tabla 43. Cálculo del retorno de inversión por la implementación de paneles fotovoltaicos. Fuente: Elaboración propia.	115
Tabla 13. Zona de Confort térmico. Fuente: BAT Fuentes (2024)	21	Tabla 44. Coeficientes de escurrimiento por material. Fuente: (CONAGUA, 2024).....	120
Tabla 14. Temperaturas horarias. Fuente: BAT (Fuentes, 2024)	21	Tabla 45. Cálculo de área total de captación del conjunto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia.	120
Tabla 15. Normales Climatológicas del Estado de México. Municipio de Naucalpan. Fuente: CONAGUA (s/f)....	21	Tabla 46. Dotación mínima de agua por usuario por día. Fuente: (INIFED, 2022)	121
Tabla 16. Zona de Confort humedad relativa. Fuente: BAT (Fuentes, 2024)	22	Tabla 47. Cálculo de consumo total diario de agua en escuela. Fuente: Elaboración propia.....	121
Tabla 17. Humedad relativa horaria. Fuente: BAT (Fuentes, 2024)	22	Tabla 48. Cálculo de capacidad del depósito para SCALL. Fuente: Elaboración propia.	122
Tabla 18. Promedio mensual vientos. Fuente: BAT. Dr. Víctor Fuentes F.	26	Tabla 49. Características de los depósitos de almacenamiento de agua. Fuente: (SEDEMA & ISLA URBANA, 2020)	122
Tabla 19. Precipitación y evaporación mensual. BAT. Dr. Víctor Fuentes F.	27	Tabla 50. Tabla de capacidades de Bio-Reactor. Fuente: https://biotar.mx/	123
Tabla 20. Análisis mensual de temperatura efectiva corregida. Fuente: BAT. Dr. Víctor Fuentes F.....	28	Tabla 51. Capacidad de tanques según la demanda. Fuente: https://biotar.mx/	124
Tabla 21. Tablas de Mahoney. Fuente: BAT. Dr. Víctor Fuentes F. con imágenes de Climate Consultant.	31	Tabla 52. Cálculo preliminar de módulos Bio-Reactor. Fuente: Elaboración propia	124
Tabla 22. Requerimientos y estrategias para llegar a zona de confort. Elaboración propia con datos de Climate Consultant.....	31	Tabla 53. Cálculo definitivo de módulos Bio-Reactor. Fuente: Elaboración propia.....	124
Tabla 23. Cálculo de zona de confort térmico Auliciems + Szokolay. Fuente: Elaboración propia	67		
Tabla 24. Definición de muros y techos para cálculo NOM-008-ENER-2001. Fuente: Elaboración propia	73		
Tabla 25. Definición de puertas, ventanas y dispositivos de sombreado para cálculo NOM-008-ENER-2001. Fuente: Elaboración propia	74		
Tabla 26. Niveles de iluminación por normativa. Fuente Elaboración propia.	79		
Tabla 27. Niveles de iluminación PB. Fuente: Elaboración propia.....	87		
Tabla 28. Niveles de iluminación N1. Fuente: Elaboración propia.....	88		
Tabla 29. Factores que influyen en el tiempo de reverberación. Fuente: (INIFED, 2014).....	102		
Tabla 30. Criterio de ruido de fondo en espacios educativos. Fuente: (INIFED, 2014).....	103		
Tabla 31. Cálculo de Tiempo de Reverberación para espacio de estudio Planta Baja. Fuente: Elaboración propia.	104		

1. INTRODUCCIÓN

La participación de las instituciones de educación superior en proyectos de índole social conecta la investigación y los avances científicos con las necesidades concretas de la sociedad. Esto permite abordar problemas locales de manera más eficiente e inmediata, promoviendo soluciones profesionales a problemas específicos. Al final, ésta práctica fortalece el desarrollo social, mejora la calidad de vida y fomenta el bienestar comunitario, contribuyendo a un desarrollo integral que beneficia tanto a la academia como a la sociedad.

En este sentido, la Coordinación de Enlaces Estratégicos de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco se dedica a fomentar la colaboración entre la universidad y diferentes actores, incluyendo municipios, empresas, y organizaciones, en los ámbitos público, privado, social y académico. Esta coordinación busca promover la colaboración sistemática y articular el conocimiento académico con proyectos y programas que generen un impacto en el desarrollo social, económico y ambiental de las comunidades.

Este proyecto de investigación en particular, se desarrolla dentro del programa de vinculación de la Coordinación de Enlaces Estratégicos con diversos municipios del Estado de México, que busca facilitar proyectos educativos, tecnológicos y de investigación para responder a las demandas locales pertinentes, como parte de los planes de desarrollo municipal definidos por la administración pública.

Naucalpan de Juárez es uno de los municipios en convenio con la universidad y planteó la oportunidad de participación en diversos proyectos de mejora de la infraestructura educativa como parte del Plan de Desarrollo Municipal de Naucalpan (2020-2024), incluyendo la creación y mantenimiento de espacios educativos dignos y seguros.

La principal problemática en materia de infraestructura educativa en Naucalpan, se centra en la falta de mantenimiento y renovación de las instalaciones escolares, muchas de las cuales se encuentran en deterioro. Existe una necesidad de ampliar la capacidad de las escuelas para atender a una creciente demanda de estudiantes debido al aumento poblacional. La insuficiencia de recursos financieros para realizar mejoras estructurales y equipar adecuadamente las escuelas también afecta negativamente la calidad educativa (Naucalpan, 2022).

Este proyecto de investigación abordó la intervención de la Escuela Primaria Pública Estatal: “Jaime Torres Bodet”, localizada en la colonia Hidalgo, en el Municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México. La justificación principal de trabajar con un espacio educativo de nivel básico reside en generar un impacto positivo desde raíz.

Intervenir espacios educativos en el nivel básico es crucial porque ya que son los entornos donde los niños comienzan su formación académica y personal. El desenvolverse en mejores instalaciones y un ambiente educativo de calidad favorece el desarrollo cognitivo, emocional y social de los estudiantes, reduce la deserción escolar, y fomenta la equidad al proporcionar condiciones dignas para todos los alumnos; promoverá un aprendizaje más efectivo, seguro y motivador. Así finalmente la inversión en estos espacios puede impactar por añadidura el futuro de las comunidades. (UNESCO, 2015)

Las problemáticas que se advirtieron en el plantel, residen principalmente en la carencia de espacios de calidad, espacios insuficientes, sistemas constructivos inadecuados, deficiencia de condiciones térmicas y lumínicas al interior de las aulas y oficinas, así como falta de infraestructura y mobiliario obsoleto.

A lo largo del presente documento se abordarán una serie de propuestas y análisis que pretenden dar solución a las demandas requeridas. El objeto de estudio de este trabajo consistirá en generar una propuesta arquitectónica adecuada para la edificación de la escuela primaria seleccionada, cuyo requerimiento principal será proveer de espacios funcionales, sostenibles y confortablemente habitables para las actividades académicas de estudiantes, profesores y administrativos del centro escolar.

La propuesta de un espacio educativo adecuado tendrá la misión de generar un sentido de pertenencia en la comunidad de alumnos, promover la permanencia de su matrícula y coadyuvar en el rendimiento y el éxito en las actividades de enseñanza-aprendizaje del nivel básico educativo. Como referencia teórica en el desarrollo de éste proyecto, la OCDE define un espacio educativo como: “aquellos espacios físicos que alojan diversas pedagogías y programas de enseñanza y aprendizaje, incluso tecnologías actuales; un espacio que demuestra rendimiento y funcionamiento óptimos y rentables a lo largo del tiempo; que respeta y está en armonía con el medio ambiente; y que anima a la participación social, proporcionando un entorno sano, cómodo, seguro, protegido y estimulante para sus usuarios” (Kuuskorpi, 2011).

1.1. ANTECEDENTES DEL EDIFICIO EDUCATIVO

La Escuela Primaria objeto de estudio, está localizada en la Colonia Hidalgo, al sureste del Municipio de Naucalpan, Estado de México, coordenadas geográficas Latitud 19°26' N - Longitud 99°14' O, y con una Altitud de 2,337 msnm. Se encuentra edificada sobre un terreno a desnivel de área 3,345 m², un perímetro total de 211.7 m lineales y un área construida en planta baja de 862 m².

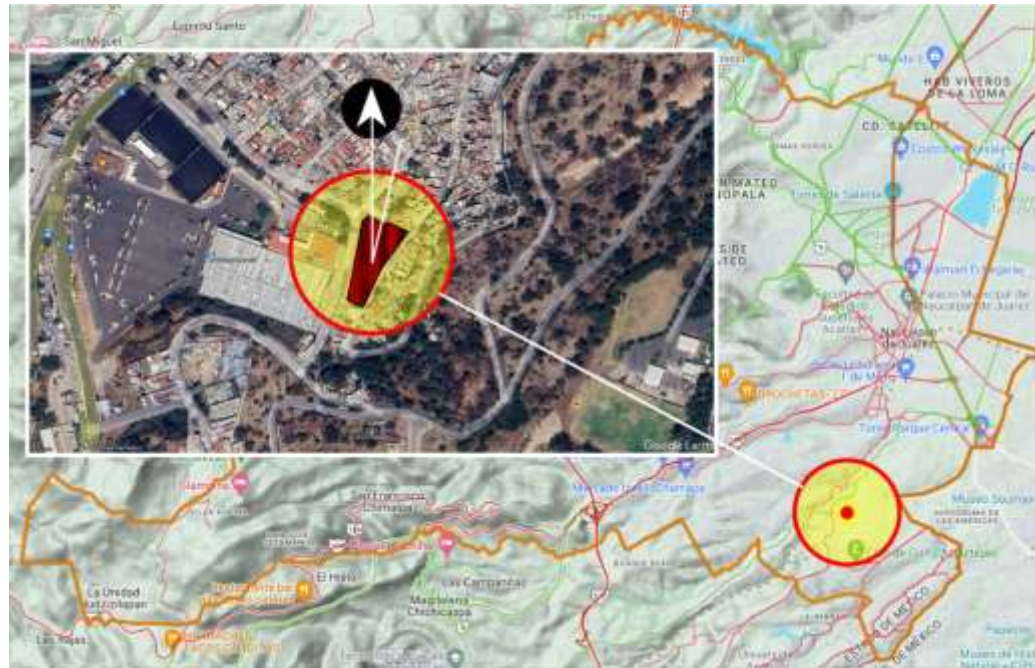


Figura 1. Localización de Escuela Primaria. Fuente: Elaboración propia con datos e imágenes de Google Maps.

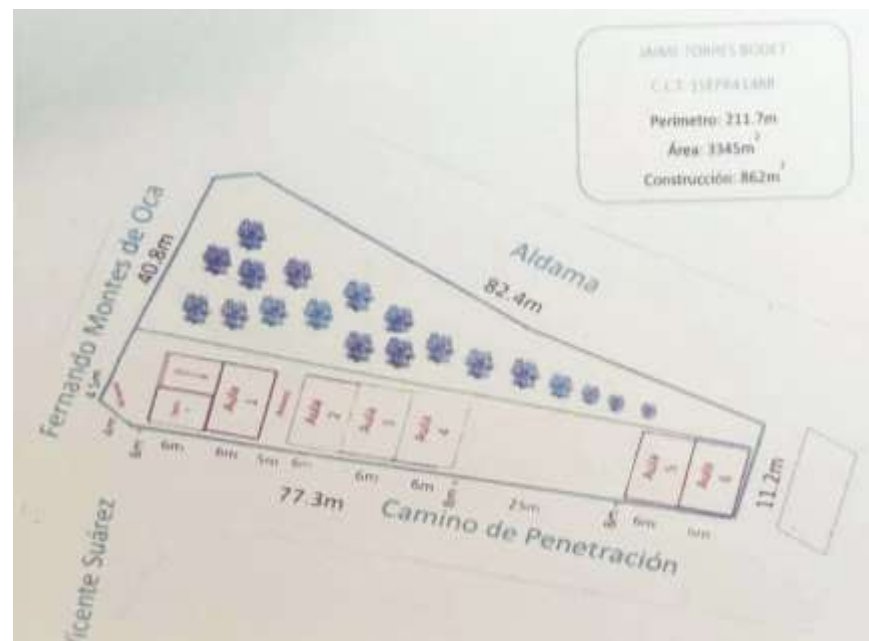


Figura 2. Plano de conjunto. Fuente: Dirección de la Escuela Primaria.



Figura 3. Imagen 3D de sitio. Fuente: Google Earth.

El centro escolar cuenta con 1 aula por cada grado, una oficina administrativa, una bodega, 1 cuarto de sanitarios para hombres y 1 para mujeres, así como un patio utilizado como plaza cívica, zona de eventos, cancha para juegos y actividades al aire libre. Todos los espacios edificados mediante sistema constructivo de casetas prefabricadas de lámina.

	GRADO	AULAS	ALUMNOS	
	1	1	32	
	2	1	33	
	3	1	23	
	4	1	24	
	5	1	24	
	6	1	31	
		6	167	
		MUJERES	HOMBRES	TOTAL
DOCENTES		4	2	6
ALUMNOS		84	83	167

Tabla 1. Población de usuarios. Fuente: Dirección de Escuela Primaria.

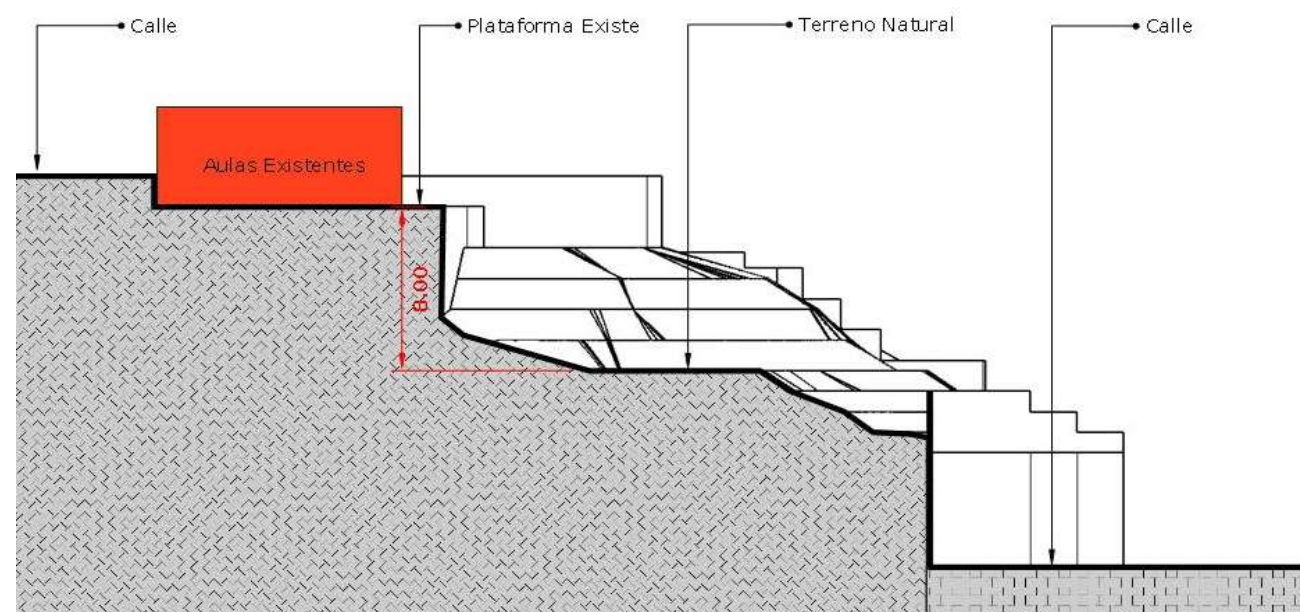


Figura 4. Topografía de terreno en corte. Fuente: Elaboración Arq. Jorge Calderón.

La directora en turno, Profra. Olivia Delgado Vargas, refiere algunas necesidades y dinámicas que se han tenido que implementar para subsanar las deficiencias y problemáticas del centro educativo actual, información que se ha complementado con la observación durante la visita al sitio.

No se cuenta con zona de alimentos y los niños comen sentados en el piso del patio; no se cuenta con zona de juegos, Tienen la necesidad de un espacio que funcione como bodega de materiales educativos y libros; requieren un espacio para impartir clases de cómputo; los pupitres no son funcionales y requieren una renovación que los haga más prácticos y multifuncionales; Se tiene escasa vegetación; Se siente un calor intenso al interior de las aulas la mayor parte del año y tienen que cubrir las ventanas pues la incidencia solar es intensa a lo largo del día en horas de clase; no se cuenta con conserje ni con caseta de vigilancia, no se cuenta con estacionamiento; los niños deben salir a recreo a distintos horarios debido a la saturación en el patio; se cuenta con acceso limitado para usuarios con silla de ruedas.



Figura 5. Fotografías de sitio. Fuente: Elaboración propia

2. ANÁLISIS DE SITIO

2.1. INTRODUCCIÓN

Para poder iniciar un proceso de diseño y realizar propuestas arquitectónicas de manera adecuada y organizada, es necesario recopilar toda la información pertinente y necesaria de la localización geográfica y el espacio de tierra que será utilizado para la edificación. Es necesario conocer los sistemas naturales, sociales y culturales el emplazamiento a fin de identificar los factores que puedan tener un impacto en los espacios a edificar (Lynch, 1971).

Para ello, fue de utilidad realizar una documentación de mapas e información estadística de diversas instituciones, principalmente gubernamentales, así como la obligada visita física al sitio a fin de visualizar en primera persona las oportunidades, ventajas y limitantes que pudiese llegar a tener el proyecto. Este contexto general permitirá principalmente tener presentes las consideraciones pertinentes y tomar decisiones informadas

2.2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

2.2.1. Localización

El terreno a intervenir se encuentra localizado en Naucalpan de Juárez, uno de los 125 municipios que conforman el Estado de México. Cuenta con una superficie de 157.04 km², limita al norte con Atizapán de Zaragoza, al noroeste con Jilotzingo, al suroeste con Xonacatlán y Lerma, al sur con Huixquilucan, al sureste con la alcaldía Miguel Hidalgo, al este con y al noreste con Tlalnepantla de Baz. (Naucalpan de Juárez, 2022b)

La escuela primaria se encuentra localizada en calle Fernando Montes de Oca S/N, Colonia Hidalgo, Naucalpan de Juárez, México, C.P. 53598. Coordenadas geográficas: 19°26'26.3"N 99°14'48.1"O, Altitud 2,337 msnm. La colonia Hidalgo es una localidad del municipio que abarca un área cercana a 23 hectáreas. En lo consecutivo, se identificará el terreno a intervenir con un círculo rojo sobre el mapa a analizar.

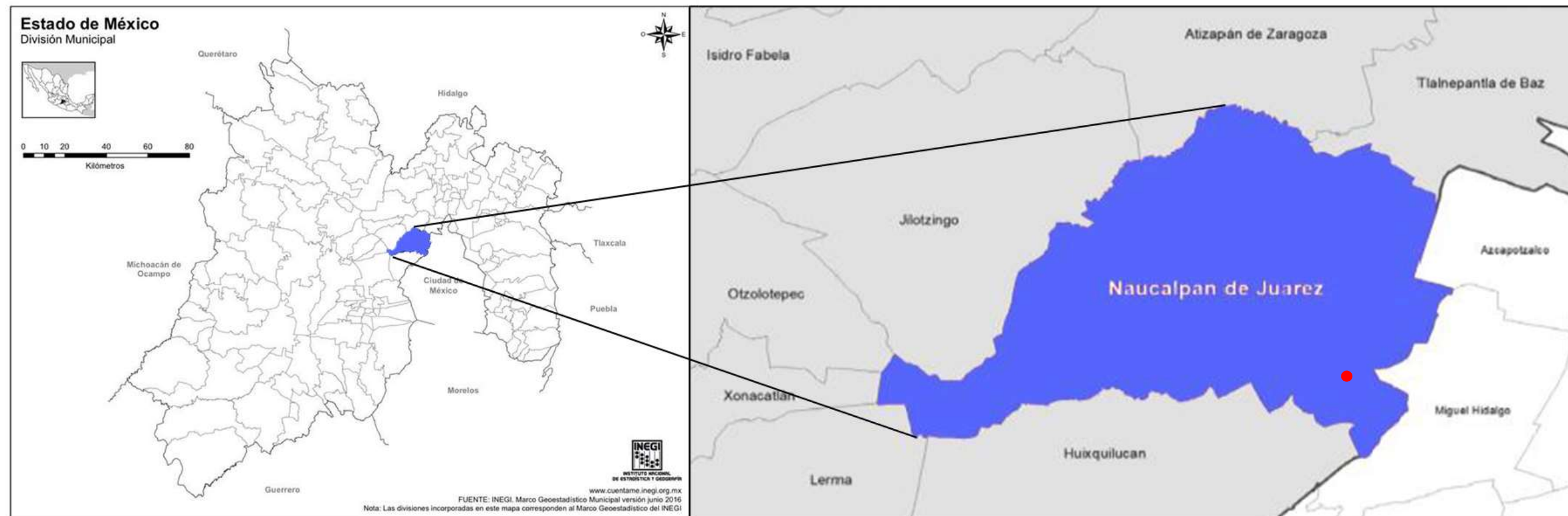


Figura 6. Mapa de Localización geográfica de Naucalpan. Fuente: Adaptado de : Naucalpan de Juárez (2022b)

2.2.2. Fisiografía

Naucalpan pertenece a la provincia eje Neovolcánico y a la subprovincia lagos y volcanes de Anáhuac en un 100% de su territorio, su sistema de topoformas es: lomerío de tobas (39.75%), Vaso lacustre (30.71%) y sierra volcánica con estrato volcanes o estrato volcanes aislados (29.54%). En el oeste se encuentra la región de la gran sierra volcánica compleja, en el centro se presenta lomerío suave y en el este vaso lacustre. (Naucalpan de Juárez, 2022b). Figura 7.

En el mapa anterior se identifica la ubicación del sitio a intervenir, a través del cual, se deduce que se encuentra localizado en el vaso lacustre de la región.

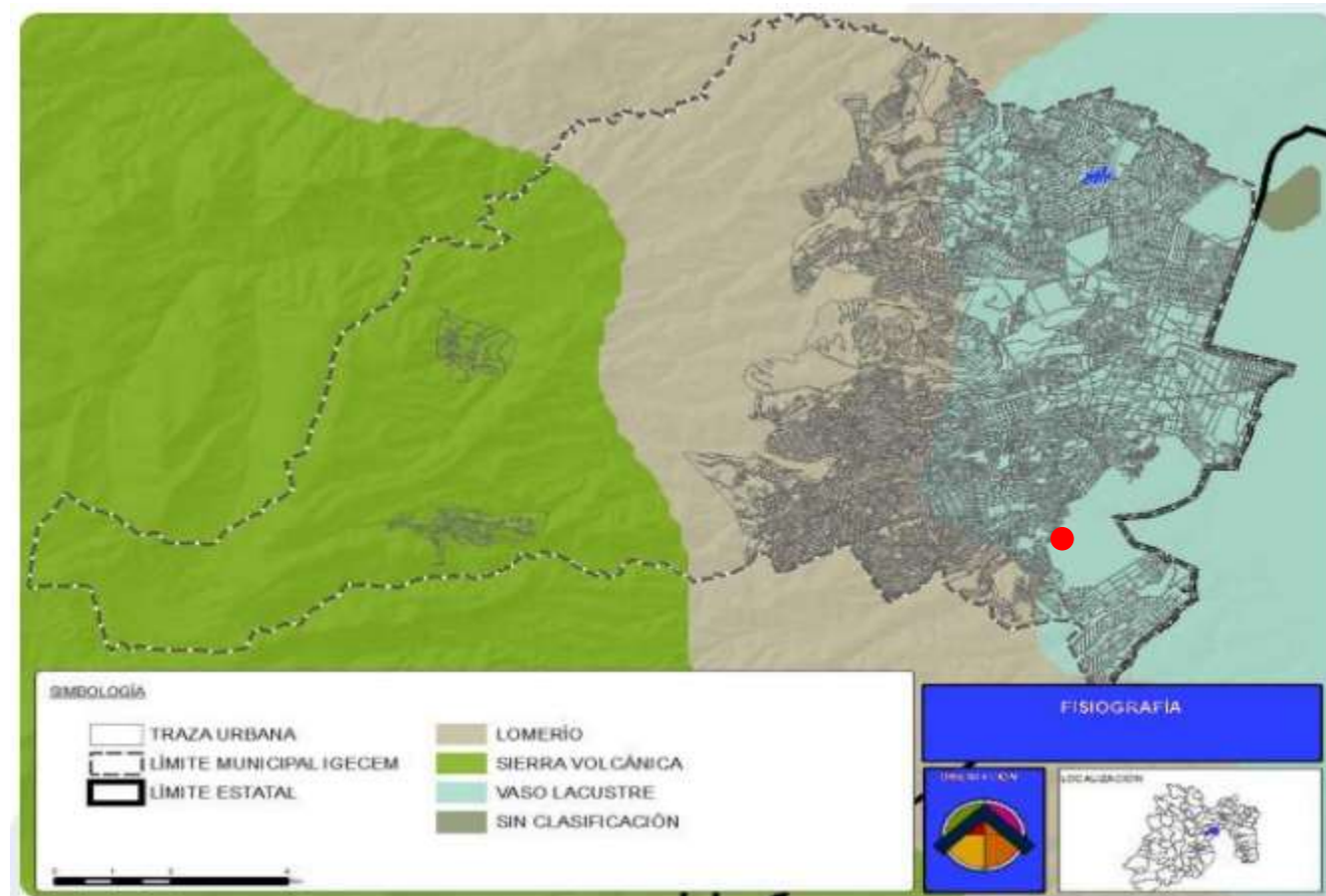


Figura 7. Mapa de Fisiografía de Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez, 2022.

2.2.3. Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico y de acuerdo con la regionalización de topoformas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía de INEGI (2010), el territorio administrativo del municipio de Naucalpan de Juárez incluye: sierras, lomeríos y llanuras (Figura 8). La porción oeste de sierras, está enclavada dentro del sistema de topoformas de la Sierra de las Cruces que abarca parte del Distrito Federal, Estado de México y Morelos. Hacia la parte central del municipio se encuentra la topoforma predominante de lomeríos de tobas, la cual abarca 39.1% del territorio municipal. Su formación es debida a los derrames volcánicos provenientes de las Sierras que se encuentran hacia el oeste del municipio.

Consecuentemente, la prevalencia de barrancas con dirección norte-noreste deriva de las corrientes de lava. La altura sobre el nivel del mar en el municipio oscila entre 2,300 y 3,450 metros. En la zona de lomeríos las principales elevaciones son: El cerro La Malinche con una altura de 3,450 msnm; Cerro San Francisco con una altura de 3,210 msnm; Cerro Magnolia con una altura de 2,750 msnm; y Cerro las Ánimas con una altura de 2,690 msnm.

Hacia el centro del territorio municipal se localizan los cerros de los Remedios, Moctezuma, El Cabrito, los Guajolotes, Monte de la Ascensión, Las Piedras, Loma Panda, Cerro de la Escalera, El Cedazo, Nopala, Juan Guitarras y el Ocotillo.

También destacan por su presencia en el municipio los siguientes: El Órgano; La Cantera, El Cedral, San Joselito, La Plantación y Peña del Rayo; La Palma, Cerro Gordo, El Cerrito, El Salto y San Miguel de las Pulgas; el Ojuelo, Chimalpa Viejo y Tronco Blanco. (Sistema Municipal de información estadística y Geográfica, 2022a).

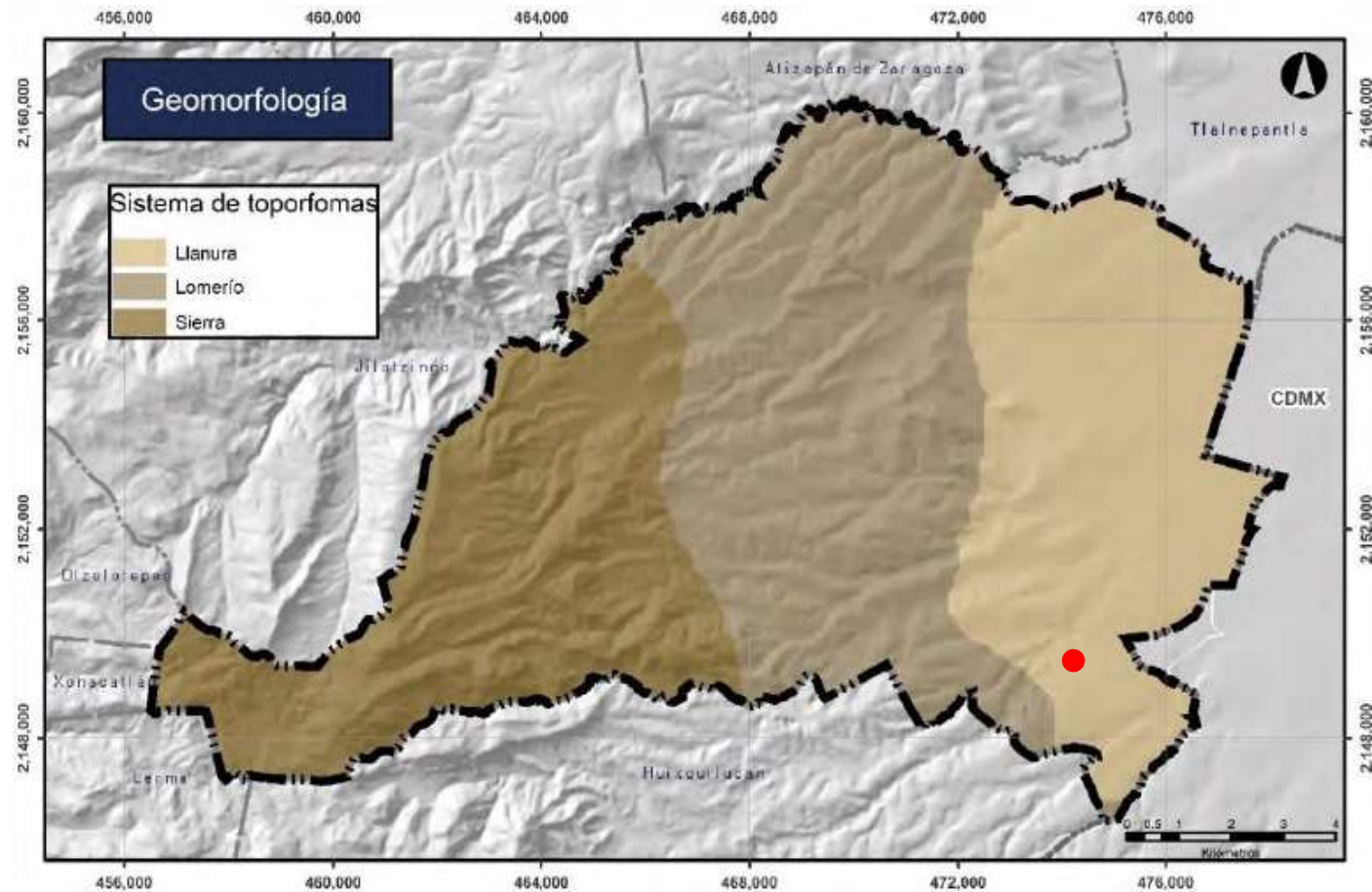


Figura 8. Mapa de Geomorfología de Naucalpan. Fuente: (Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey, 2022)

2.2.4. Topografía

El rango de elevaciones va de 2,252 msnm en la porción este del municipio, hasta 3,447 msnm en la Sierra de las Cruces al oeste.

Las pendientes abruptas se encuentran al poniente del municipio, en la zona de Sierras, con valores de inclinación mayores al 34%, y cubren más de 1,700 hectáreas (Tabla 2). El mayor número de hectáreas presenta pendientes altas y corresponden al 48.55% del territorio. Uno de los aspectos característicos de este tipo de pendientes es que, el escurrimiento superficial del agua y otros materiales define el relieve como de “alta energía”. Por su parte, las pendientes clasificadas como medias (27.7 %), suaves (2.96 %) y planas se distribuyen entre los lomeríos y las llanuras, respectivamente. En las zonas de pendientes suaves o casi planas, la energía del relieve es considerada baja, como lo son las zonas de llanura, mismas que ocupan una proporción del 5.36% del territorio. (Sistema Municipal de información estadística y Geográfica, 2022a)

Rango %	Descripción	Ha	% del territorio
menor a 2%	Plana	618.51	5.36
2-5 %	Suave	341.12	2.96
5-15 %	Media	3,194.37	27.70
15 al 34 %	Alta	5,598.76	48.55
mayor al 34 %	Abrupta	1,778.15	15.42

Tabla 2. Rango de pendientes. Fuente: Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey (2022)

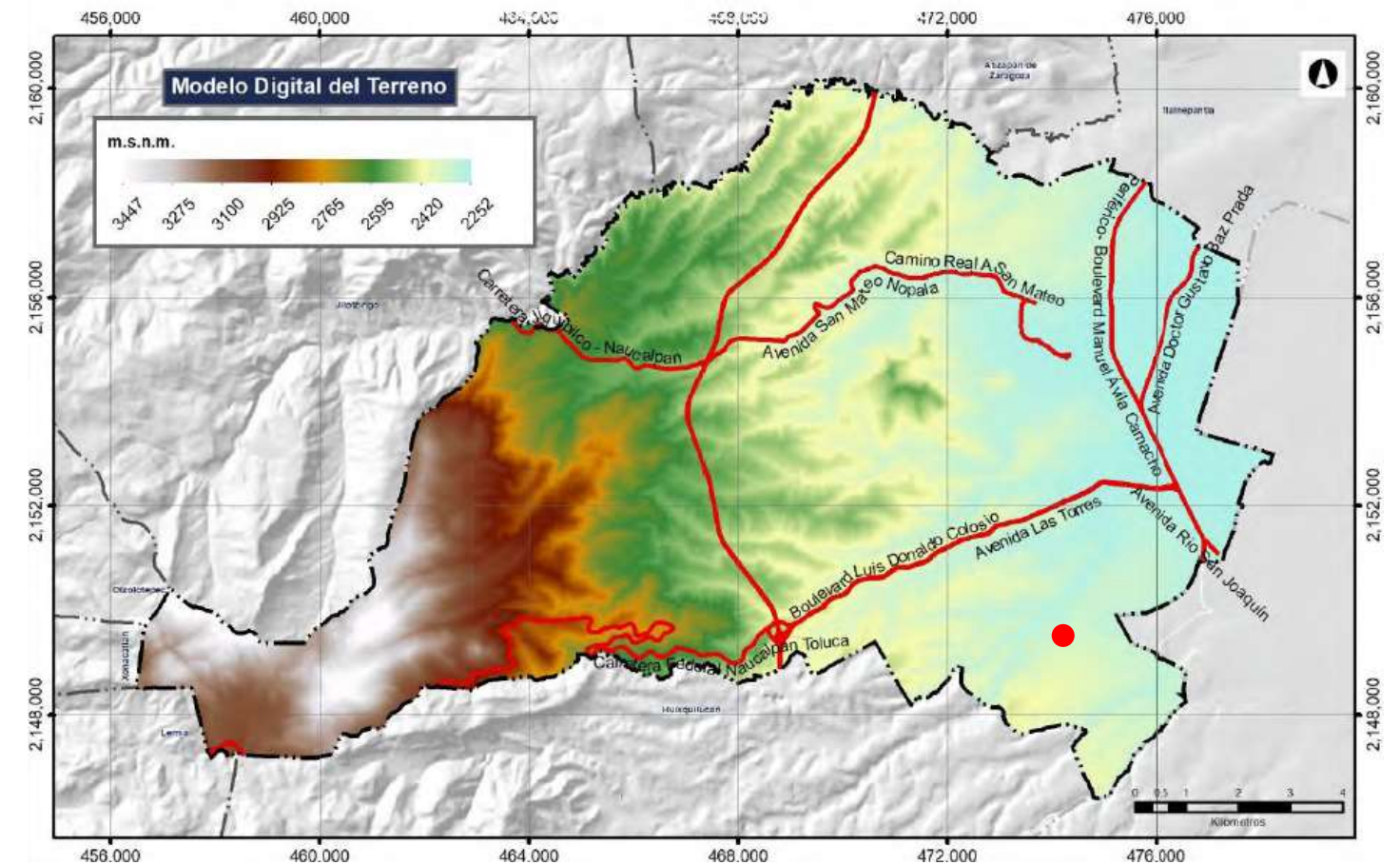


Figura 9. Mapa de Modelo digital de elevación topográfica. Fuente: Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey (2022)

Según el mapa anterior (Figura 9), para el caso de estudio, se puede identificar la correspondencia con una elevación entre 2252 y 2420 msnm y un porcentaje de pendiente media que va del 5% al 15% (Figura 10).

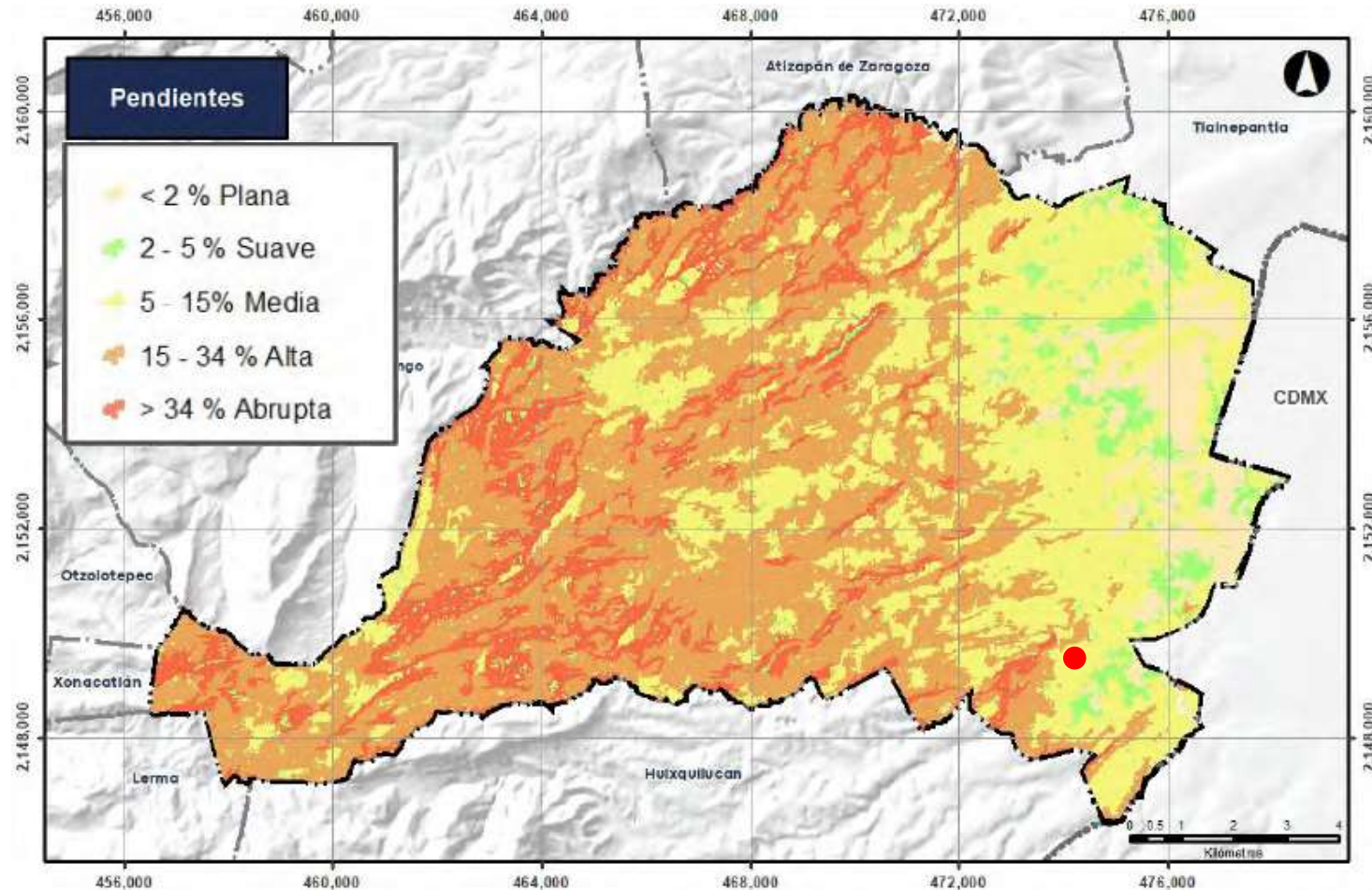


Figura 10. Mapa de pendientes Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey (2022)

2.2.5. Geología

Las unidades litológicas consisten de rocas volcánicas que forman las laderas orientales de la Sierra de las Cruces, están formadas por rocas de los períodos Terciario y Cuaternario de la era Cenozoica. La mayor parte de las rocas son Vulcano clásticas y se clasifican como: Rocas ígneas extrusivas de carácter intermedio (Andesitas) y Volcánicos de caída (Tobas) de donde han derivado brechas volcánicas, lahares y depósitos aluviales con suelos residuales, además de depósitos lacustres. La relación litológica con las topofomas corresponde muy estrechamente. En la zona de Sierra Volcánica existen andesitas y Tobas en afloramientos aislados; mientras que, en la zona de Lomeríos de Tobas, predominan las Tobas (volcánicos de caída); finalmente las partes bajas dominadas por topofomas de Vaso Lacustre, la litología corresponde con depósitos aluviales y lacustres, con algunas zonas de toba arenosa (Arenisca-Toba) y afloramientos reducidos de ígneas extrusivas intermedias (Naucalpan de Juárez, 2023a). (Figura 11).

Roca	área	Porcentaje
Ts(Vc), Volcanoclástico	9151.26	58.27%
Q(s), Ígnea extrusiva	3387	21.57%
Ts(A) Andesita	3165.81	20.16%
Total	15704.07	100.00%

Tabla 3. Distribución Geológica de Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2023b)

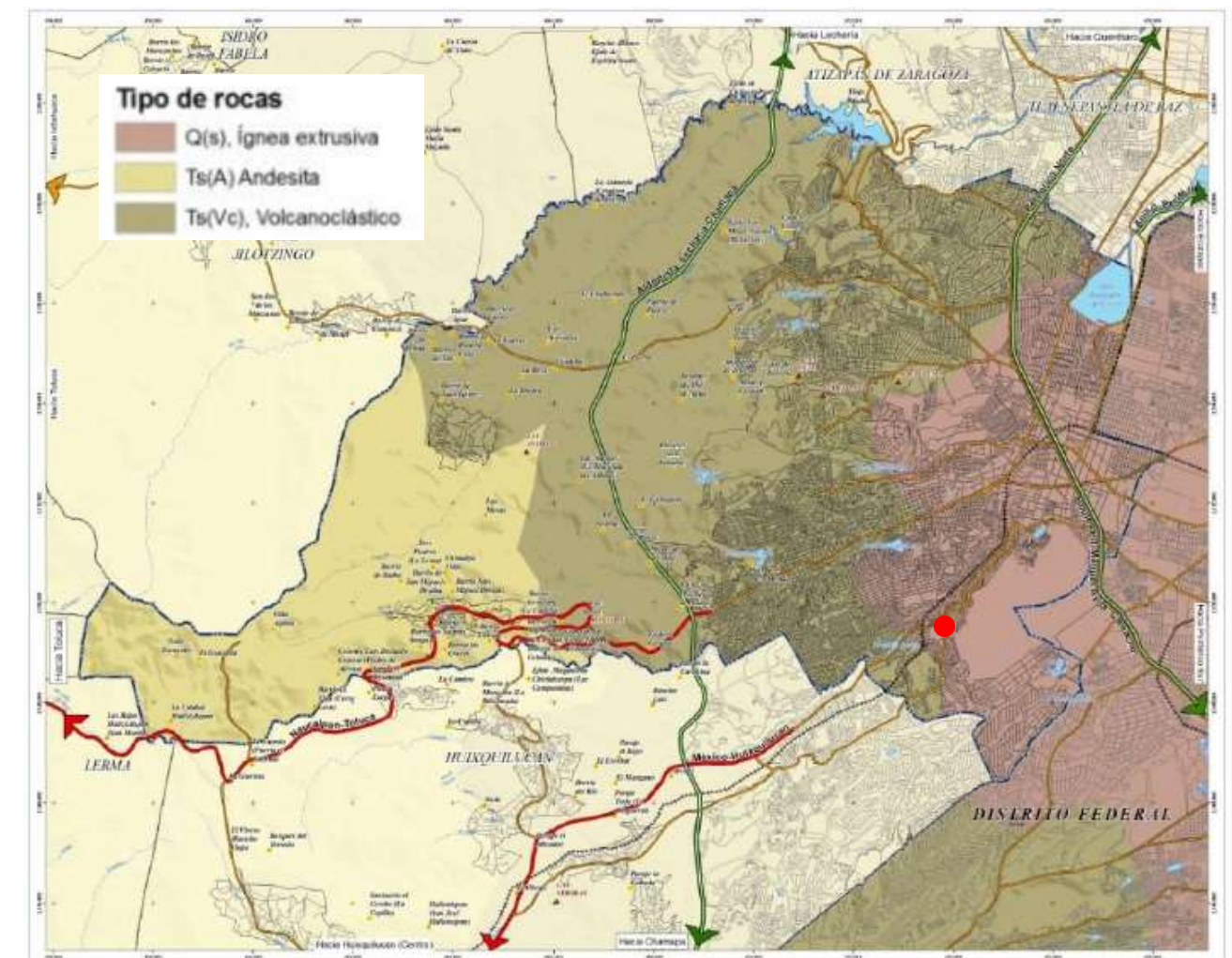


Figura 11. Mapa de Geología Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2023b)

2.2.6. Edafología

Los suelos representan la capa más superficial en una columna estratigráfica, que derivan de los procesos geomórficos que ocurren en la naturaleza a partir del ciclo de intemperismo-erosión-transporte y deposición.

Los suelos de las partes altas del Municipio derivan de cenizas volcánicas, por tanto, predominan los andosoles. En las áreas de mayor pendiente y donde la capa de suelo es muy delgada dominan los litosoles. En la parte media y baja del municipio y donde la pendiente es menor, los suelos son más desarrollados y predomina el feozem. Es sobre estos suelos donde se expande la mancha urbana del Municipio.

Andosol: es el suelo negro que hay en los volcanes y sus alrededores. El término andosol deriva de los vocablos japoneses “an” que significa negro y do que significa suelo. Se desarrollan sobre cenizas y otros materiales volcánicos ricos en elementos vítreos. Tienen altos valores en contenido de materia orgánica, sobre un 20 por ciento, además tienen una gran capacidad de retención de agua y mucha capacidad de cambio. Se encuentran en regiones húmedas, del ártico al trópico, y pueden encontrarse junto una gran variedad de vegetales. Su rasgo más sobresaliente es la formación masiva de complejos amorfos humus-aluminio.

Litosol: es un suelo de origen residual con menos de 10 cm de profundidad, limitado por roca, tepetate o caliche cementado. Son los suelos más abundantes del país. Se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación, principalmente se localizan en las sierras y barrancos. Tiene características muy variables que dependen del material parental. Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión, es muy variable, ya que depende de otros factores ambientales. El uso de estos suelos depende principalmente de la vegetación que los cubre. En bosques y selvas su uso es forestal; cuando hay matorrales o pastizales se puede llevar a cabo un pastoreo limitado y en algunos casos se destina a la agricultura, en especial al cultivo del maíz o el nopal, condicionado a la presencia de corrientes superficiales.

Feozem: suelos que se presentan en cualquier tipo de relieve y clima, literalmente significan tierra parda. En el municipio se encuentran dos tipos de este grupo de suelo, los háplicos y el lúvico. Ambos son de origen aluvial-residual. Tienen una capa oscura, suave y rica en materia orgánica y nutrimentos. El primero no presenta otra característica distintiva y es moderada o altamente fértil; el segundo tiene una capa de acumulación de arcillas en el subsuelo, es moderadamente fértil y puede ser utilizados para la agricultura o dedicado a la explotación forestal, dependiendo de su profundidad y del relieve del terreno. (Naucalpan de Juárez, 2023a).

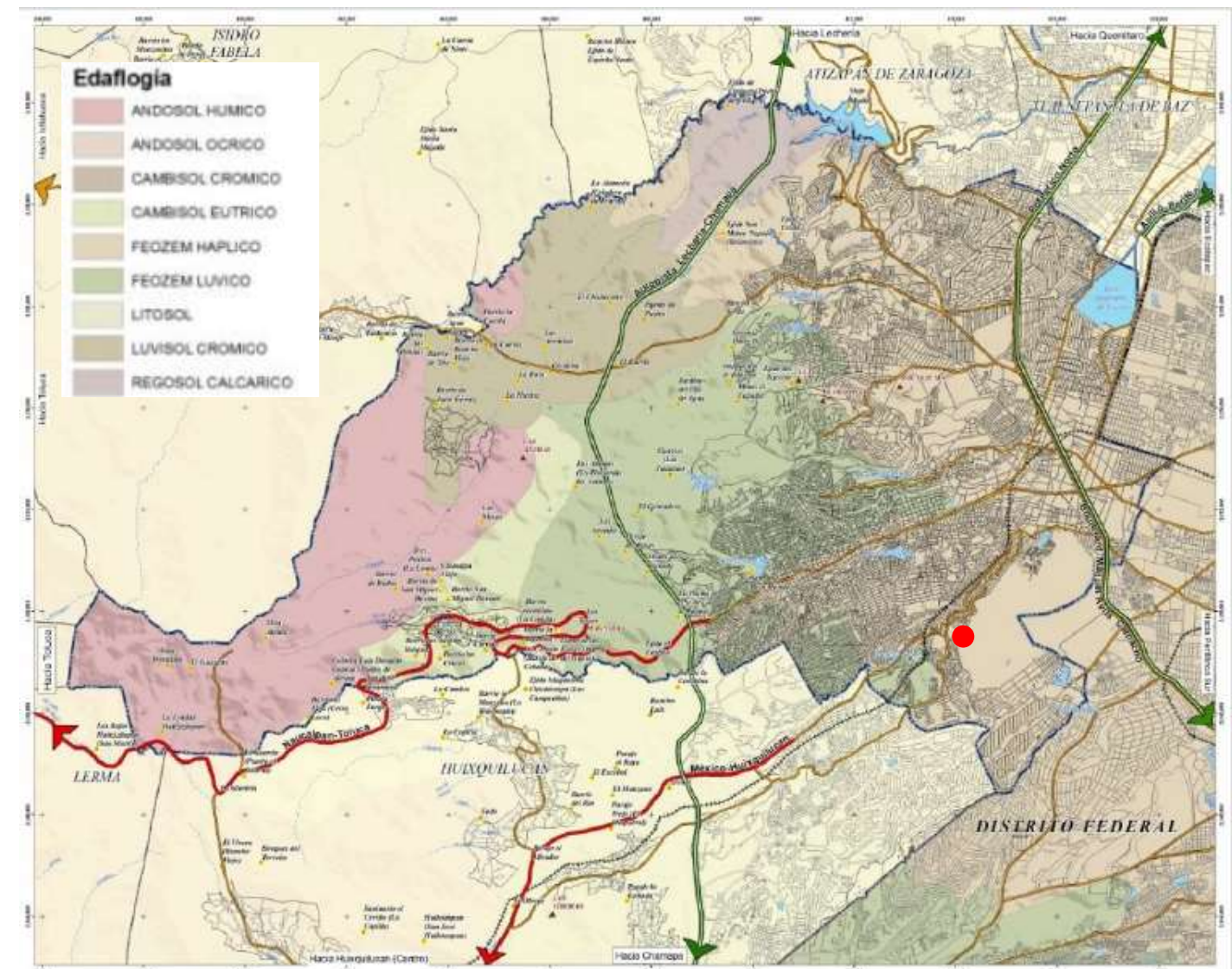


Figura 12. Mapa de Edafología Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2023b)

2.2.7. Hidrografía superficial

La red hidrográfica del Municipio comprende una serie de corrientes que se originan en las partes altas de las Sierras de las Cruces y Monte Alto o Malinche, al poniente y sur poniente, y son corrientes de curso corto e intermitente -algunas son permanentes, aunque la mayor parte del año su caudal es bajo; estas siguen una dirección oriente-nororiente y dado que durante la temporada de lluvias aumenta significativamente su caudal, se han construido presas para controlar sus aguas y evitar inundaciones en la zona poblada de la parte baja del Municipio.

En el municipio el sistema hidrológico superficial está formado por ocho ríos: Río Hondo, Arroyo el Sordo, Río Verde, Río Chico de los Remedios, San Mateo, San Joaquín, Los Cuartos y Río Totolinga, además de diversos escurrimientos intermitentes.

Debido a la topografía y los niveles de precipitación de la zona (entre 700 mm y 1,300 mm como media anual), existen en el municipio nueve presas, entre las que se encuentran: Chamapa, Los Cuartos, El Colorado, El Sordo, La Colorada (o Las Coloradas), Las Julianas, San Joaquín, Totolinga, Tenantongo y el Vaso Regulador el Cristo.

Cabe señalar, que las condiciones de la red hidrológica superficial son inadecuadas, existen altos niveles de contaminación en los ríos y escurrimientos debido a las descargas de aguas negras, así como, a la presencia de basura en los cauces.

Esta situación se agrava en el cauce de los ríos Hondo y Verde, donde la acumulación de basura podría provocar en el periodo de altas precipitaciones una disminución en la velocidad del escurrimiento y la libre circulación hidrológica, que conllevaría a inundaciones en las colonias aledañas. (Sistema Municipal de información estadística y Geográfica, 2022a)

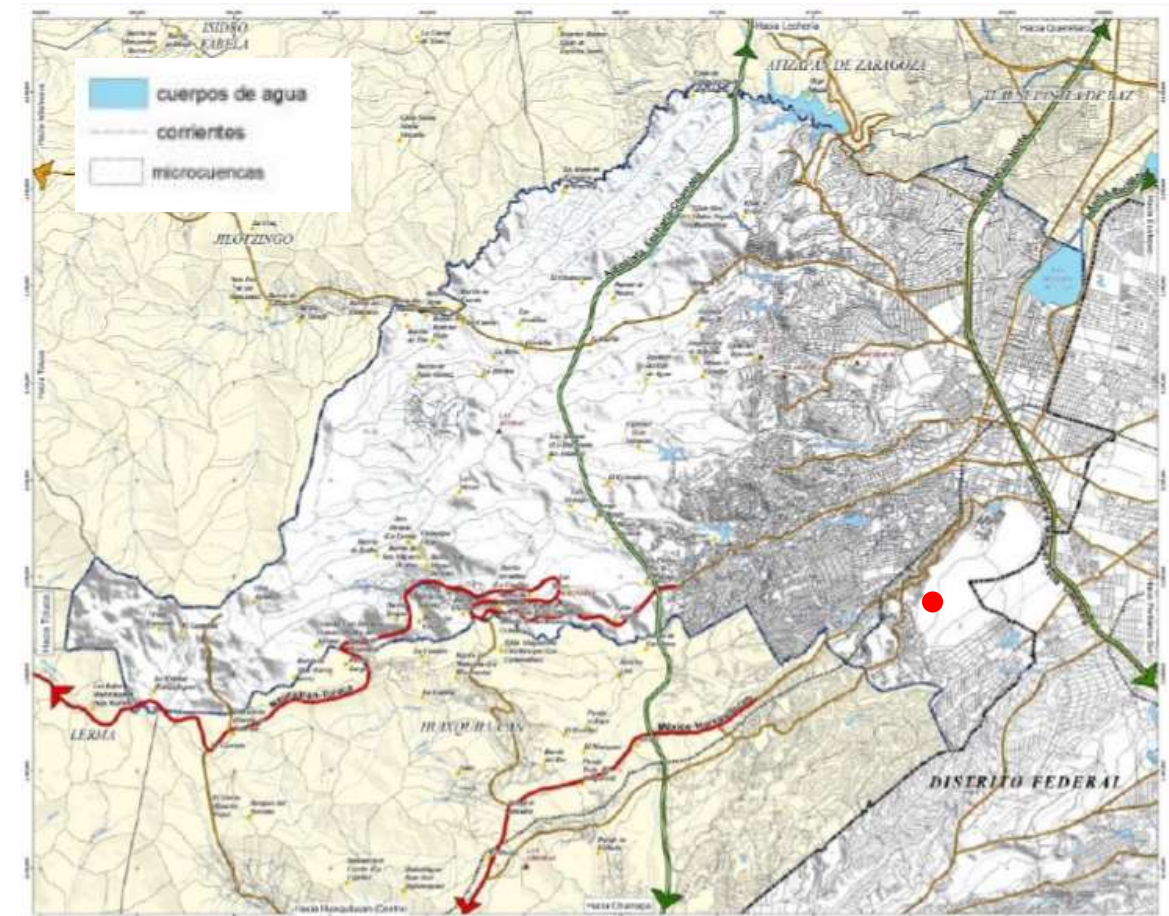


Figura 13. Mapa de Hidrografía superficial Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2023b)

2.2.8. Vegetación y biodiversidad

De la superficie total del Municipio, el 40% corresponde al área urbana que abarca la mayor parte del oriente del territorio municipal y el resto corresponde al área ocupada por asentamientos humanos rurales, el Parque Otomí Mexica, zonas boscosas y áreas agrícolas de temporal de autoconsumo que se limitan al cultivo de granos básicos y algunos frutales.

La flora del municipio está compuesta por árboles de coníferas, pirul, encino, huizache, garambullo, trueno, cedro, alcanfor, fresno, álamo, ocote, eucalipto y la que existe entre los arbustos de abrojo, escobilla, higuera y jarilla. En lo que se refiere a árboles frutales, se pueden encontrar ciruelo, manzano, durazno, pera, perones, capulín y chabacano, y plantas de ornato como jacaranda y buganvilia.

Se encuentran las áreas naturales del municipio como el Parque Nacional de Los Remedios, Parque Estado de México Naucalli, Parque Otomí-Mexica y el Parque Estatal Metropolitano, considerados como protegidos, que en su conjunto representan aproximadamente el 18.33% del territorio municipal.

El bosque de encino se localiza entre los valores altitudinales de mil 800 y 2 mil 650 msnm, en zonas donde predominan los climas del grupo de templados, se identifica en el territorio 21% de superficie predominante en pastizales y 50% está urbanizado. (Sistema Municipal de información estadística y Geográfica, 2022b).

Según mapa de INEGI de 1983, El punto de estudio se encuentra localizado en zona de pastizales, actualmente absorbido por la mancha urbana.

DESCRIPCIÓN	ÁREA(Has)	PORCENTAJE
Agrícola Temporal	1,946.08	12.4
Bosque de Encino	2,262.85	14.4
Bosque de Oyamel	1,054.05	6.7
Bosque de Pino	141.53	0.9
Cuerpos de Agua	127.41	0.8
Pastizales	3,943.80	25.1
Zona Urbana	6,228.37	39.7
Total	15,704.07	100.00

Tabla 4. Usos de suelo y vegetación Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2023b)

USO AGRICOLA		TIPO DE CULTIVO	
A _r	AGRICULTURA DE RIEGO	ANUAL	A
A _{tp}	AGRICULTURA DE TEMPORAL PERMANENTE	PERMANENTE	P
A _{tn}	AGRICULTURA DE TEMPORAL NOMADA	SEMIPERMANENTE	Sp
USO PECUARIO			
P _n	PASTIZAL NATURAL		
P _c	PASTIZAL CULTIVADO		
P _i	PASTIZAL INDUCIDO		
USO FORESTAL			
FB	BOSQUE NATURAL	CONIFERAS	C
FB _a	BOSQUE ARTIFICIAL	LATIFOLIADAS	L
FB _g	BOSQUE DE GALERIA		
FB _c	BOSQUE CADUCIFOLIO		
(P)	PINO		
(A)	OYAMEL		
(J)	ENEBRO		
(Gu)	CEDRO BLANCO		
(Q)	ENCINO		
(Al)	AILE		
(L)	LIQUIDAMBAR		
(Po)	ALAMO		
(S)	SÁUCE		
(Eu)	EUCALIPTO		
(Ca)	CASUARINA		
(Ma)	PARAISO		
(Om)	CEDRO ROJO		
(R)	PRIMAVERA		
(Sm)	PIRUL		
FS _a	SELVA ALTA	SELVA SECUNDARIA	F(S)
FS _m	SELVA MEDIANA	CADUCIFOLIA	(c)
FS _b	SELVA BAJA	PERENNIFOLIA	(p)
		SUB-CADUCIFOLIA	(sc)
		SUB-PERENNIFOLIA	(sp)
ASOCIACIONES ESPECIALES DE VEGETACION			
Pal	PALMAR	Ms	MATORRAL SUBINERME
Mn	MANGLAR	S	VEGETACION SECUNDARIA
Pop	POPAL	H	VEGETACION HALOFILA
Tu	TULAR	Dc	VEGETACION DE DUNAS COSTERAS
Ca	CARDONAL	Da	VEGETACION DE DESIERTOS ARENOSOS
lz	IZOTAL	Pe	VEGETACION DE PARAMOS DE ALTURA
No	NOPALERA	CR	CRASI-ROSULIFOLIOS ESPINOSOS
Sa	SABANA	Mz	MEZQUITAL
Ch	CHAPARRAL	Qt	ENCINAR TROPICAL
Me	MATORRAL ESPINOSO	G	VEGETACION DE GALERIA
Mi	MATORRAL INERME		
DESPROVISTO DE VEGETACION			
Des	AREAS EN PROCESO DE DESMONTE	Dr	DESIERTOS ARENOSOS
E _f	EROSION EOLICA FUERTE	Sl	SALINAS
E _m	EROSION HIDRICA MODERADA	Sc	ESCORIA
E _l	ERIALES LEVE		
Dc	DUNAS COSTERAS		

Figura 14. Tabla tipo de vegetación en Mapa de Vegetación Naucalpan 1983. Fuente: INEGI carta uso del suelo.

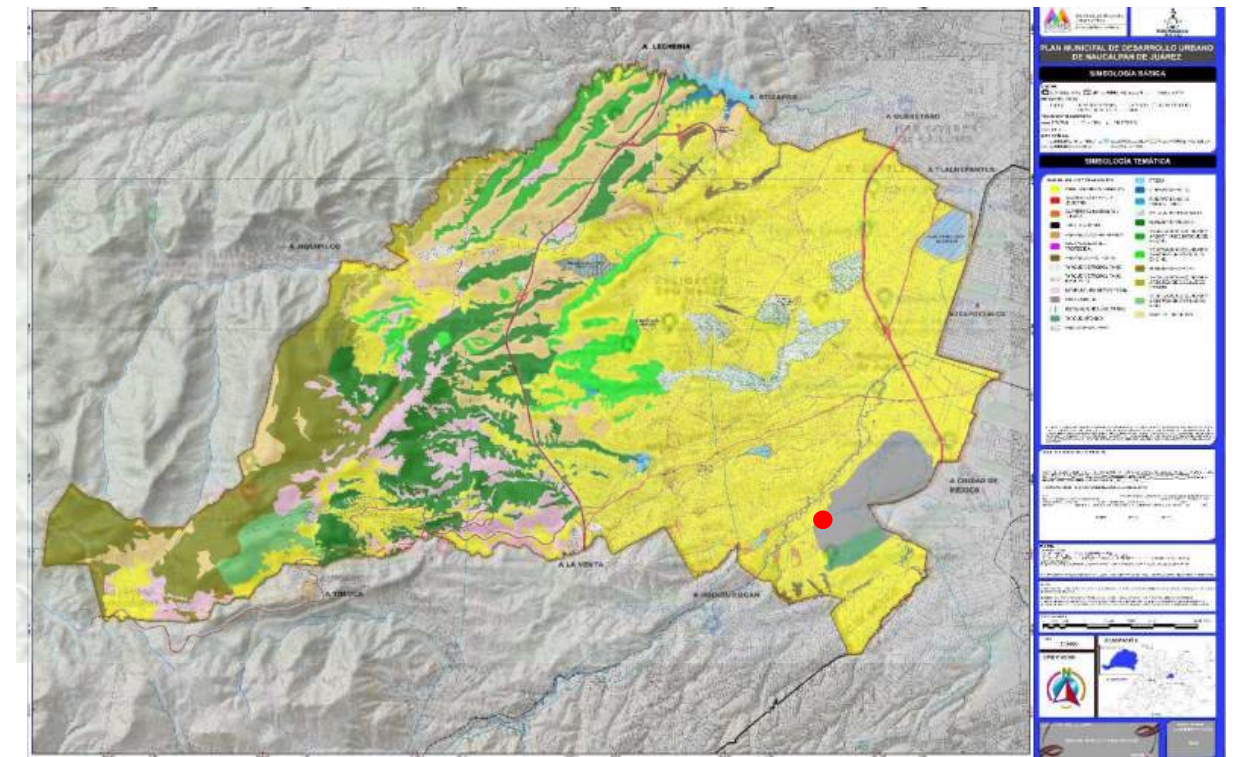


Figura 15. Mapa de Vegetación Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022a)

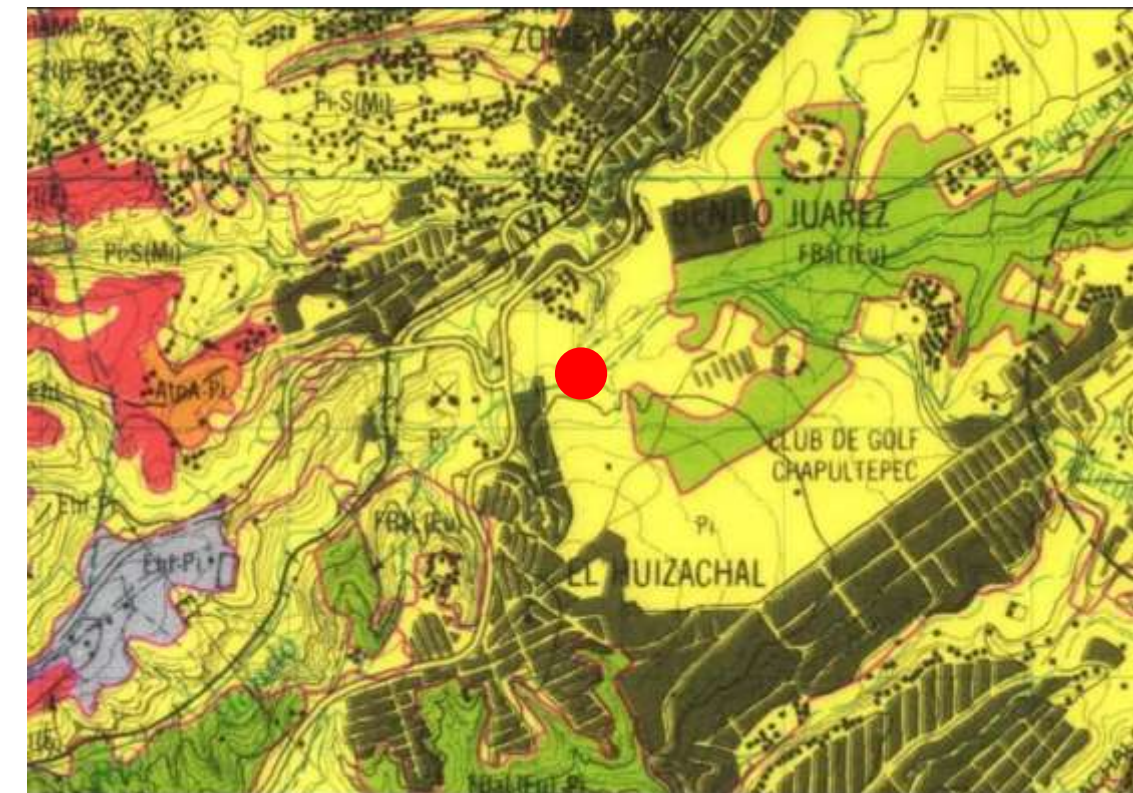


Figura 16. Mapa de Vegetación Naucalpan 1983. Fuente: INEGI carta uso del suelo.

2.3. DEMOGRAFÍA

2.3.1. Población

La población total de Naucalpan de Juárez en 2020 fue 834,434 habitantes, siendo 51.8% mujeres y 48.2% hombres. Los rangos de edad que concentraron mayor población fueron 20 a 24 años (67,599 habitantes), 15 a 19 años (66,292 habitantes) y 25 a 29 años (66,043 habitantes). En la colonia Hidalgo habitan unas 6,120 personas en 1,600 hogares. Se registran 2,581 habitantes por km2, con una edad promedio de 28 años, 2,000 son menores de 14 años y 2,000 tienen entre 15 y 29 años de edad. Se contabilizan cerca de 3,000 personas con edades de entre 30 y 59 años, y 400 individuos de más de 60 años.

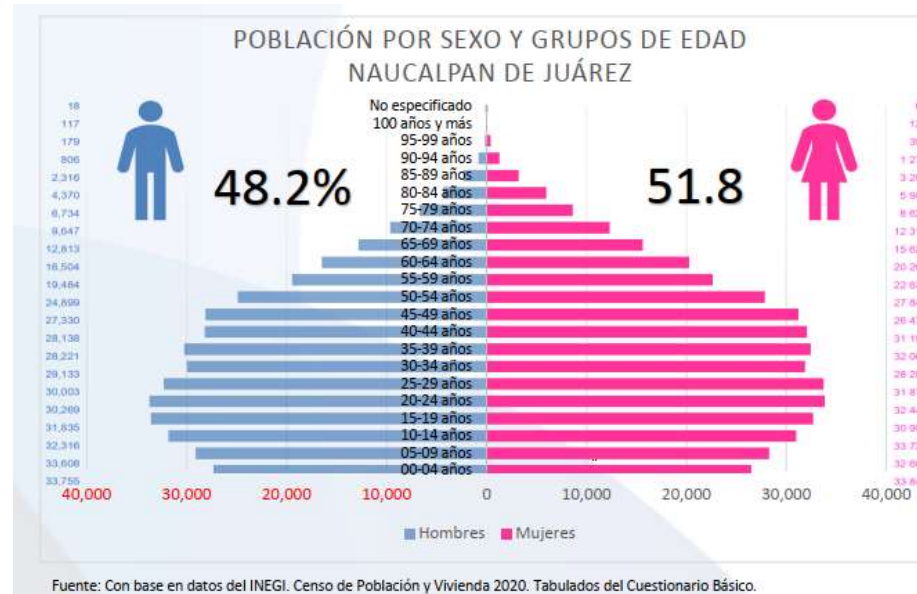


Figura 17. Pirámide poblacional Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022a)

Destaca como población mayoritaria la parte del grupo joven, pues 44.81% del total (de 0 a 29 años de edad). El grupo de 20 a 24 años representa 8.10% del total de la población, seguido por el grupo de 15 a 19 años, que representa 7.94% del total. El grupo de 30 a 59 años representa 40.63%, mientras que el compuesto por las personas de 60 años en adelante es el de menor tamaño, con 14.51% de la población total.

Respecto a la población de niños y niñas (menores de 12 años), y adolescentes (mayores de 12 y menores de 18 años), el porcentaje corresponde a un 41.6% de la masa poblacional total del municipio. (Naucalpan de Juárez, 2022a).

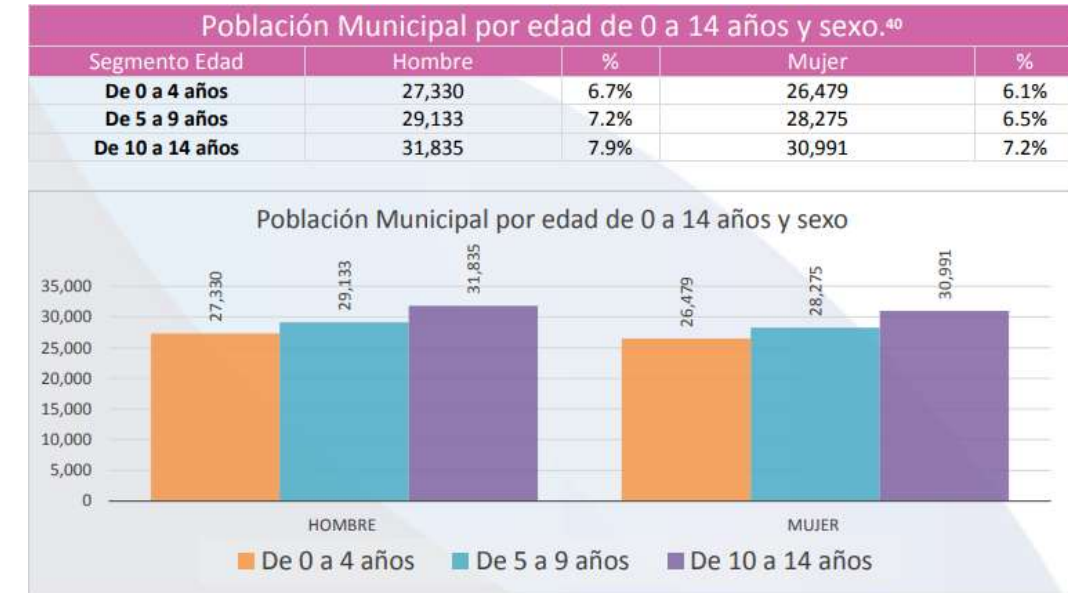


Figura 18. Población municipal por edad de 0-14 años y sexo. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022a)

Con base en los indicadores del INEGI 2020, de la población total del municipio, existen 18,711 personas hablantes de alguna lengua indígena. Los pueblos indígenas presentes en la región del municipio son: Mazahua, Náhuatl y Otomí. 35.4% de la población indígena habla la lengua Náhuatl y 10.3% Mixteco.

Grupo de edad	Habla indígena		Habla español		No especificado		Población total	
	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre
0-14	298	278	285	265	13	10	71,191	73,105
15-29	2,347	2,208	2,303	2,174	40	28	100,255	99,679
60 o más	7,241	6,339	7,084	6,230	72	68	245,806	214,401
Total	9,886	8,825	9,672	8,669	125	106	417,252	387,185

Tabla 5. Población según condición de habla indígena. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022a)



Figura 19. Población con algún tipo de discapacidad. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022a)

2.4. INFRAESTRUCTURA

2.4.1. Hidráulica

Se categoriza a Naucalpan como “saturado”, lo que significa la necesidad de vigilar los crecimientos, restricciones de servicios de agua potable.

El Organismo Público Descentralizado para la Prestación de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Municipio de Naucalpan (OAPAS), es la dependencia municipal encargada de la provisión y distribución del servicio de agua potable, drenaje, alcantarillado, así como de la adecuada disposición y tratamiento de las aguas residuales producidas dentro del Municipio.

Las fuentes de abastecimiento del OAPAS se conforman por los pozos que extraen agua subterránea del acuífero administrativo de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), así como de las aguas superficiales y subterráneas que alimentan la distribución del Sistema Lerma, Cutzamala y Presa Madin.

En el municipio de Naucalpan de Juárez existe un total de 66 pozos de los cuales 47 bombean a tanques y cárcamos de bombeo, mientras que otros 19 pozos bombean agua directamente a la red de distribución. El gasto de los pozos alcanza 1,098.13 L/s.

La potabilización del agua extraída de las fuentes de captación operadas por el OAPAS se realiza mediante cloración. De conformidad con información del OAPAS, en el año 2013 se registraron 1,193 km de tuberías que conforman la red de distribución de agua potable, con diámetros de tubería que oscilan entre 1” y 42”.

En la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) fue consagrada en el párrafo quinto del artículo 4° desde el 2012, el volumen mínimo de consumo de agua por individuo para cumplir con las necesidades básicas se encuentra entre los 50 y 100 litros diarios.

La cobertura del sistema de agua potable en el Municipio es del 99.3 %, lo que implica que al menos 1,344 viviendas no reciben el servicio de agua potable de la red de distribución municipal. (Naucalpan, 2022).

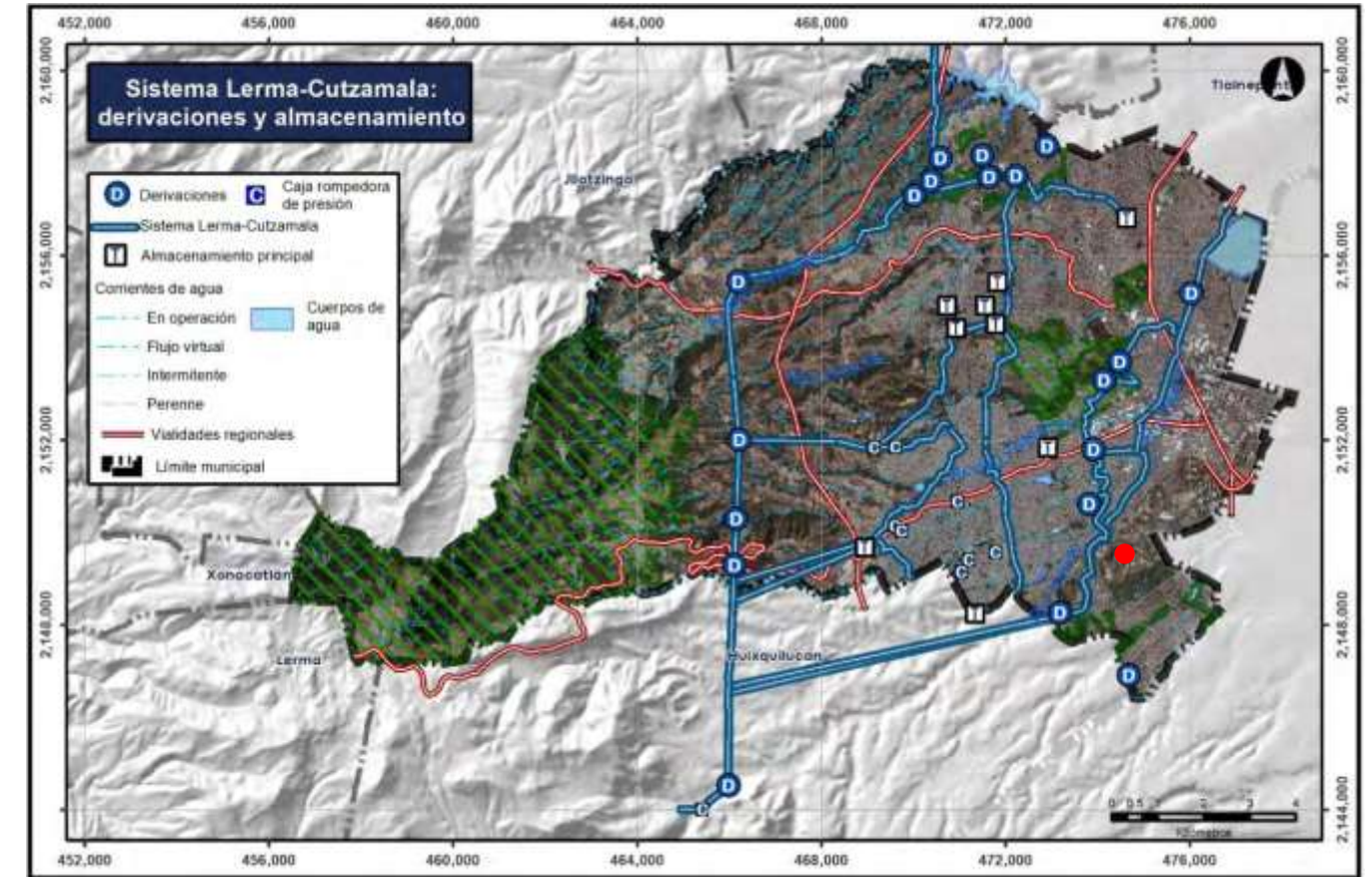


Figura 20. Mapa de Sistema Lerma-Cutzamala. Fuente: Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey (2022)

2.4.2. Sanitaria

El agua residual generada en el municipio es captada y conducida a través de la red de alcantarillado municipal hacia los cárcamos de aguas negras. Ese caudal se vierte en cuerpos receptores de jurisdicción federal. En ese sentido, aproximadamente el 2.0% del agua residual es captada y tratada en 7 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

En total, para el año 2022 el OAPAS reporta 21 cárcamos sanitarios para inyectar presión para el desalojo de las aguas residuales en dirección de los cuerpos receptores, de jurisdicción federal.

Por otro lado, existen 76 PTAR particulares pertenecientes a centros comerciales, tiendas departamentales, supermercados, manufactureras y asociaciones habitacionales.

De acuerdo con información del PDM 2022-2024, se cuenta con un total de 157 mil 299 conexiones a la red, y 146 mil 925 descargas domiciliarias. En cuanto al servicio de drenaje, el 99.1% de las casas cuentan con conexiones al drenaje que el OAPAS opera. (Naucalpan de Juárez, 2022b).

2.4.3. Eléctrica y alumbrado

La transmisión de energía eléctrica en el municipio es administrada por la CFE. Consiste en cuatro subestaciones y una red de 101.96 km de largo de transmisión. En lo relativo al acceso a la electricidad, se observa una cobertura muy cercana al 100%, salvo en áreas muy específicas del municipio. (Sistema Municipal de información estadística y Geográfica, 2022a)

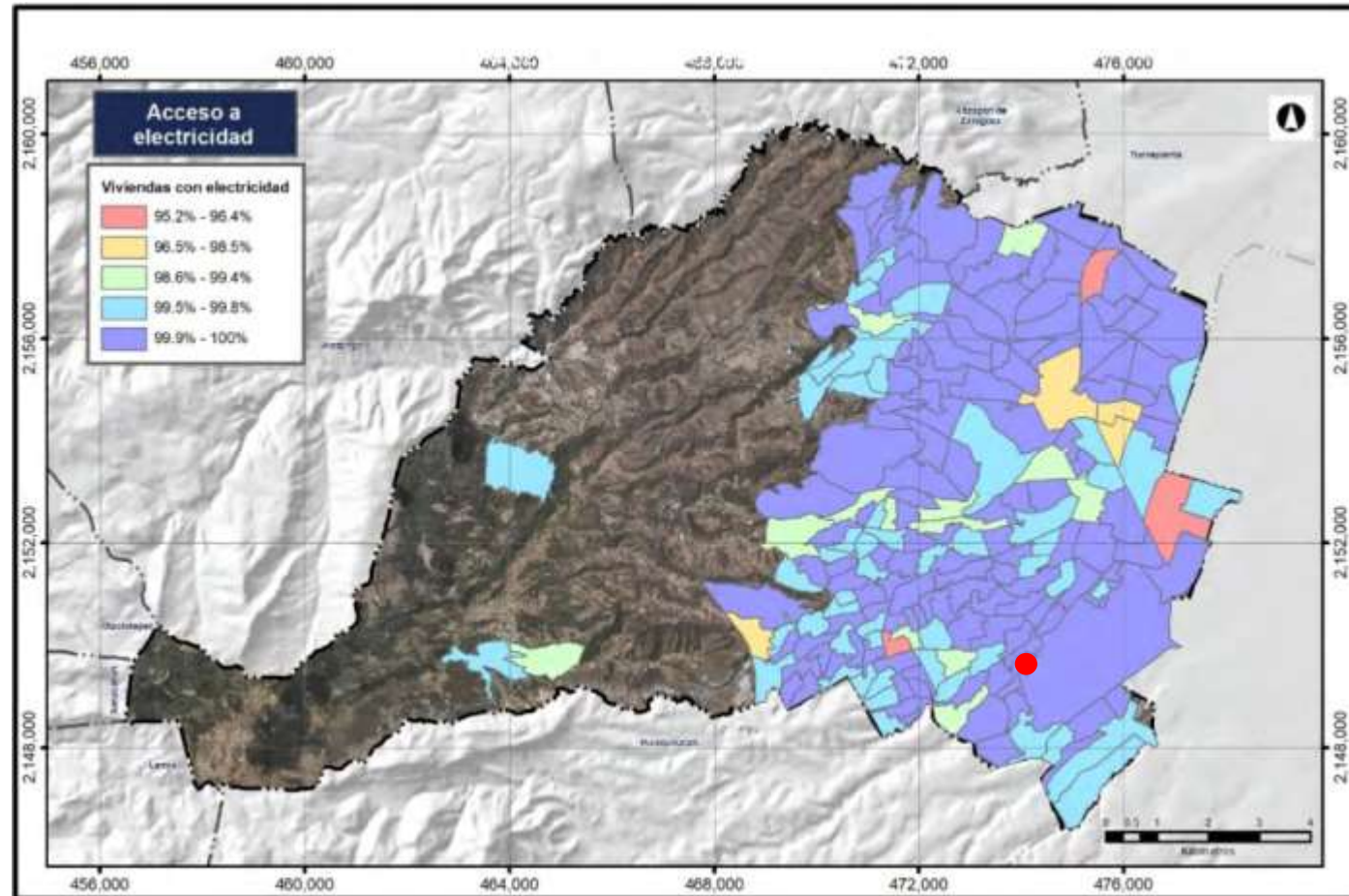


Figura 21. Mapa de acceso a electricidad. Fuente: Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey (2022)

2.4.4. Carretera y ferroviaria

La infraestructura ferroviaria y carretera localizada en el municipio de Naucalpan, forma parte del extenso y complejo sistema que comunica el Valle de México con el norte y oeste del país. La responsabilidad primaria de mantenimiento radica en la federación y el gobierno estatal. La infraestructura vial primaria del municipio suma 124.76 km.

El sistema ferroviario consiste en una sola línea correspondiente a la ruta del ferrocarril de Acámbaro, anteriormente clasificada como «fuera de operación», pero hoy en día se encuentra concesionada al «Kansas City Southern» de México y en operación para transporte de carga.

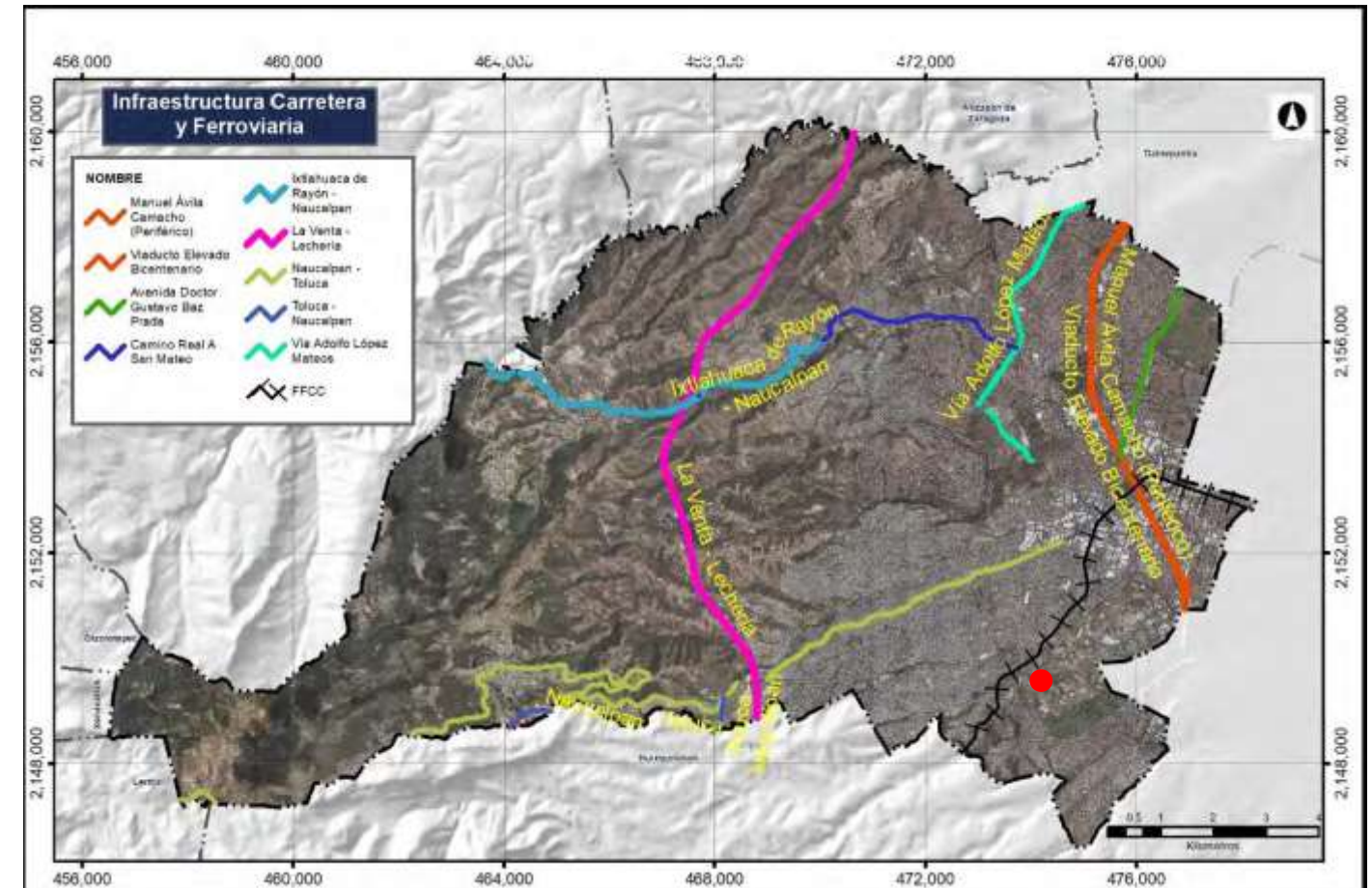


Figura 22. Mapa de Infraestructura carretera y ferroviaria. Fuente: Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey (2022)

2.4.5. Vialidad y transporte

Las vialidades en el territorio municipal se clasifican en tres categorías:

A. Primarias, representadas por vías de acceso controlado, avenidas y otras arterias principales. Representa el espacio físico cuya función es facilitar el flujo del tránsito vehicular continuo o controlado por semáforo, entre distintas zonas de la ciudad, con la posibilidad de reserva para carriles exclusivos. Sus intersecciones generalmente son a desnivel; cuentan con carriles centrales y laterales, separados por camellones. La incorporación y desincorporación al cuerpo de flujo continuo, deberá realizarse a través de carriles de aceleración y desaceleración en puntos específicos.

B. Secundarias o colectoras, Avenidas o calles que ligan a las vialidades primarias con el sistema de calles locales. Representa el espacio físico cuya función es permitir el acceso a los predios y facultar el flujo de tránsito vehicular no continuo. Sus intersecciones pueden estar controladas por semáforos

C. Terciarias o locales, construidas para dar acceso directo a propiedades, ligándose al sistema de vialidades colectoras. Tienen un carácter estrictamente local, su principal función es brindar acceso a los predios dentro de los barrios y las colonias, facilitan el tránsito entre la red primaria y colectoras. Los volúmenes, las velocidades y capacidad vial son los más reducidos dentro de la red vial y generalmente las intersecciones no están semaforizadas.

En el municipio se encuentran 17 categorías de vialidades. De las 17 categorías, la que ocupa la mayor extensión son las “calles”, con más de un millón de metros lineales, y le siguen las “avenidas”, con poco más de 169 kilómetros lineales.

2.4.6. Salud

En Naucalpan de Juárez, las opciones de atención de salud más utilizadas en 2020 fueron IMSS (Seguro social) (308k), Otro lugar (165k) y Consultorio de farmacia (143k).



Figura 24. Gráfica de población con seguridad social. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022a)

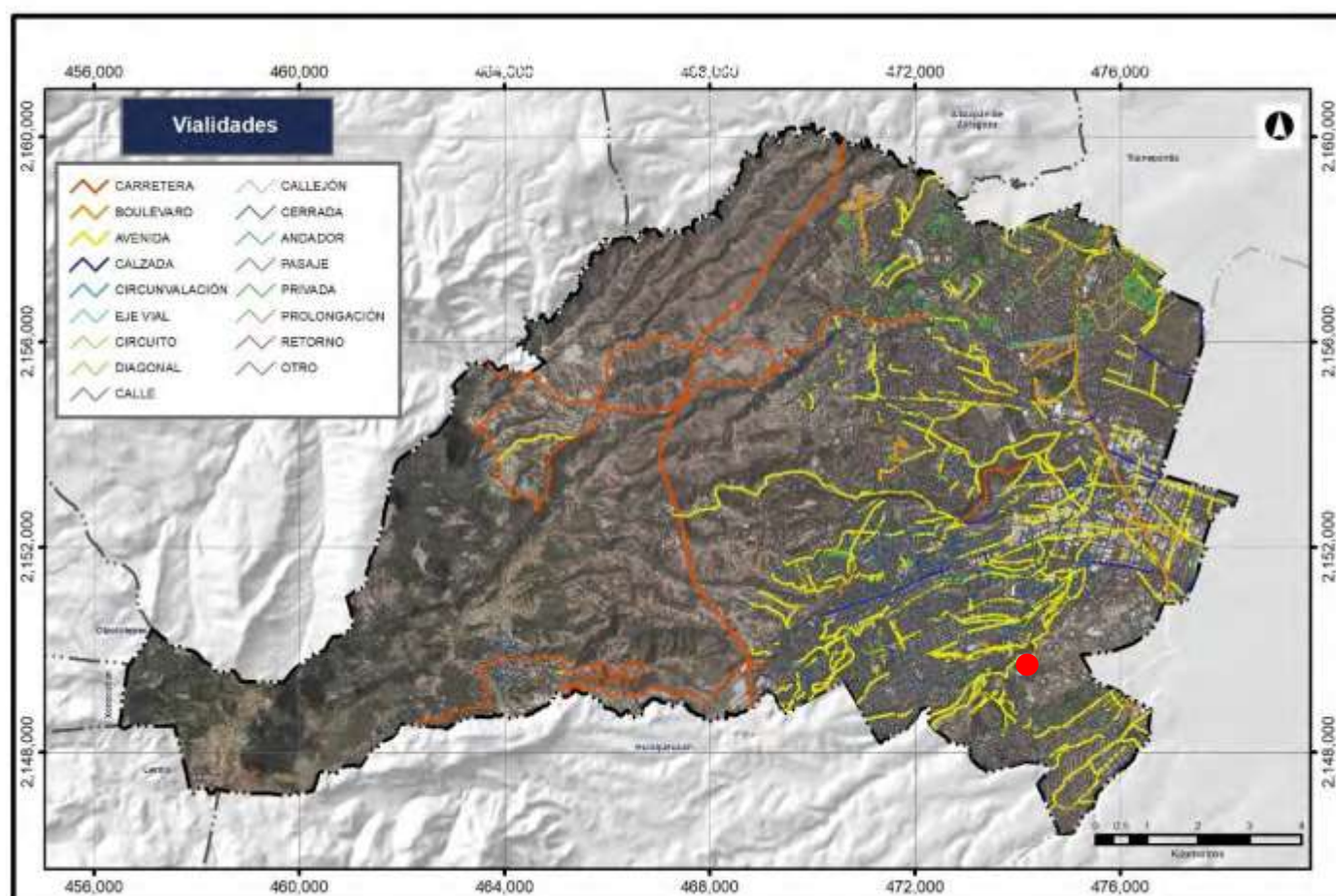


Figura 23. Mapa de vialidades municipales. Fuente: Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey (2022)

Localidad	Total	Consulta Externa a/	Hospitalización general b/	Hospitalización Especializada
Estado de México	1,881	1,779	79	23
Naucalpan de Juárez	69	66	2	1

Tabla 6. Infraestructura en salud Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022b)

Localidad	Año	Población total	Población sin derechohabiencia a servicios de salud	Grado de rezago social	Lugar que ocupa en el contexto nacional
Estado de México	2020	16,992,418	33.4	Bajo	17
Naucalpan de Juárez	2020	834,434	30.9	Muy bajo	2,387

Tabla 7. Índice de rezago en salud. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022a)

2.4.7. Deporte, Cultura y Recreación.

El municipio de Naucalpan de Juárez cuenta con infraestructura para atender las necesidades de Cultura Física y Deporte y con ello erradicar conductas perjudiciales en las niñas y niños, así como en los jóvenes. Es necesario señalar que se debe impulsar la participación en los programas de deportes a toda la sociedad y en especial a los adultos mayores y personas con diferentes capacidades para erradicar problemas de salud.

El Parque Naucalli, se encuentra a tan solo 2.5 km distancia del predio. Esta reserva ecológica considerada como una de las pocas áreas verdes de la ciudad. Es muy frecuentado por los habitantes de la zona, ya que cuenta con extensas áreas verdes, espacios para la recreación y para actividades deportivas y culturales. En su interior se encuentra el Foro Felipe Villanueva, donde se presentan algunas exposiciones, así como el Centro Cultural Ágora y la Casa de Cultura, que imparte varios talleres y lleva a cabo muestras de arte.

De igual manera y en un punto más cercano se encuentra el parque La Hoja, a solo 1.2 km del predio al cual se puede acceder de manera gratuita y al cual se tardaría en recorrer el usuario 15 min a pie hasta el sitio. Aunque este parque no brinda tantas amenidades como el Parque Naucalli es una excelente opción para practicar deportes al aire libre.

Infraestructura para el Deporte	
Infraestructura	Número
Deportivos	16
Parques	3
Gimnasio	1
Frontones	1
Plaza Cívica	1
Juegos infantiles	13
Áreas de feria y exposiciones	1
Canchas de fútbol	18

Tabla 8. Infraestructura deportiva Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022b)

Infraestructura de Cultura		
Tipología	No. de Equipamiento	Cobertura de atención
Bibliotecas públicas	31	Local
Museo regional	3	Regional
Casa de cultura	4	Local
Teatro	4	Regional
Auditorio Municipal	8	Regional

Tabla 9. Infraestructura de cultura Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022a)

2.4.8. Sistema Educativo

De acuerdo con el Sistema Normativo de Equipamiento Urbano en el Tomo I. Educación y Cultura, se consideran equipamientos urbanos pertenecientes al subsistema educación a todos aquellos establecimientos donde se brinden servicios educativos de aspectos general, técnico, profesional, especial y de capacitación en aspectos particulares o diferentes ramas científicas o tecnológicas. Los equipamientos dedicados a la educación se estructuran en grados y niveles sucesivos de acuerdo con los rangos de edad de la población usuaria (SEDESOL, 1999).

Infraestructura de Educación ³⁰		
Tipología	No. de planteles	Cobertura de atención (a)
Jardín de niños	292	22,295
Escuela Primaria	293	94,193
Telesecundaria	13	2,890
Secundaria General	106	33,644
Preparatoria general	53	25,571
Centro de Bachillerato Tecnológico	17	2,616
Instituto tecnológico	2	111
Universidad tecnológica	22	35,909

Tabla 10. Infraestructura de educación Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022b)

El análisis de cobertura y distribución espacial, permite identificar el nivel de atención de los equipamientos con base en la cobertura o radio de servicio de cada inmueble y la población potencial por manzana de cada localidad que se encuentra en este radio. Este análisis permitirá identificar el nivel de servicio que ofrecen, la población cubierta por localidad y mostrará la distribución de cada uno de los equipamientos y las zonas que carecen de servicios.

El Sistema Normativo de Equipamiento Urbano (SEDESOL, 1999), define los radios de cobertura para cada uno de los niveles educativos de la siguiente forma (Figura 25):

- Educación Inicial (0 a 2 años): 750 metros.
- Educación básica: Preescolar (3 a 5 años): 750 metros, Primaria (6 a 11 años): 500 metros, Secundaria (12 a 14 años): 1,000 metros (general).
- Educación media superior: Preparatoria (15 a 17 años): 2,500 metros (general).
- Educación superior: Universidad (18 a 24 años): 10,000 metros (cobertura urbana) y 200 km (cobertura regional).
- Educación especial: Centro de Atención Múltiple (CAM) (Población con discapacidad): 2,500 metros; Capacitación y formación para el trabajo: 2,000 metros.

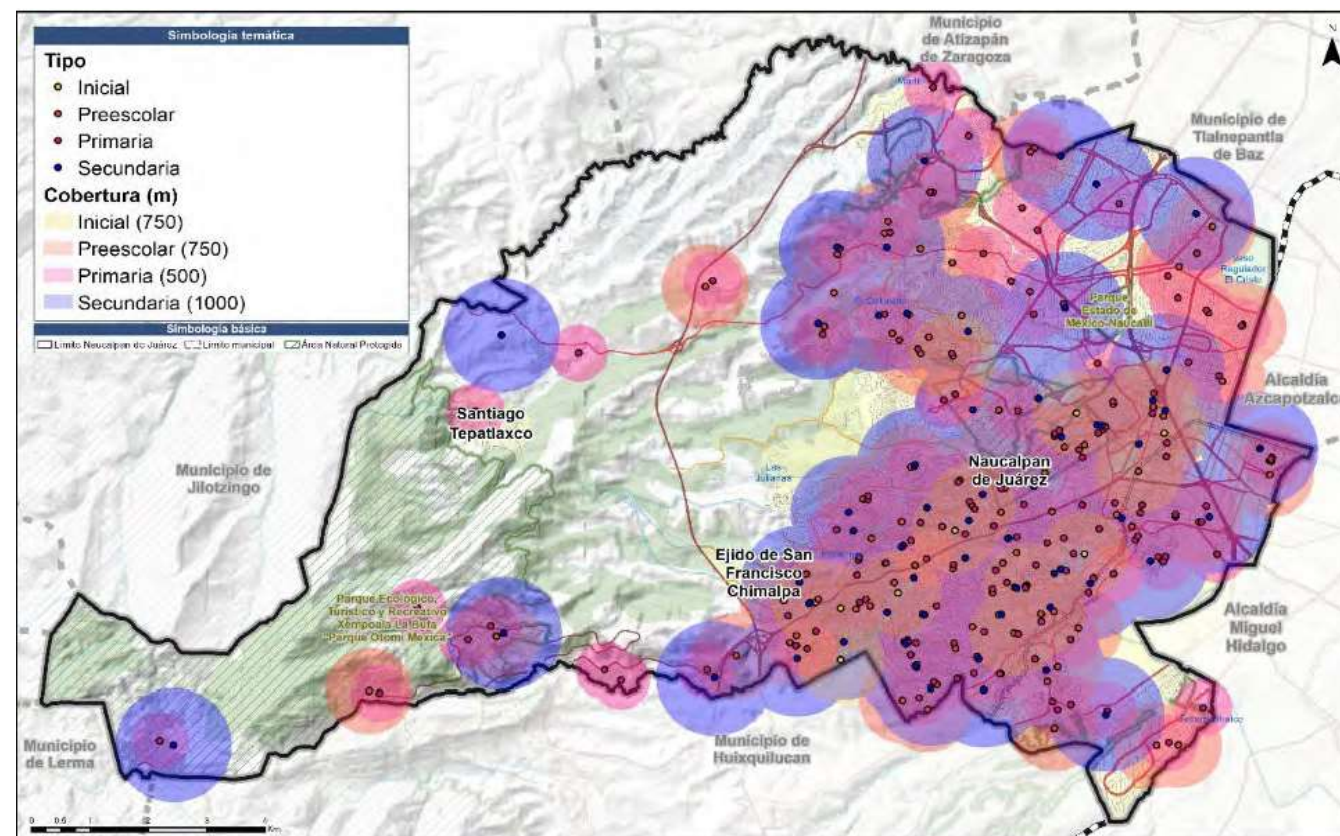


Figura 25. Mapa de cobertura educativa Naucalpan. Fuente: Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey (2022)

La siguiente tabla muestra la cobertura que existe por nivel educativo para las distintas localidades del municipio.

Localidad	Inicial 0 a 2 %	Preescolar 3 a 5 %	Primaria 6 a 11 %	Secundaria 12 a 14 %	Preparatoria 15 a 17 %	Universidad 18-24 %	CAM Población con discapacidad %	CECATI Población en General %
Ejido de San Francisco Chimalpa	61.95%	93.12%	65.11%	95.24%	65.37%	100.00%	0.00%	100.00%
Naucalpan de Juárez	44.30%	87.05%	89.85%	89.40%	88.27%	100.00%	69.78%	90.02%
San Francisco Chimalpa	0.00%	74.95%	92.37%	90.94%	96.53%	100.00%	0.00%	0.00%
Santiago Tepatlaxco	0.00%	0.00%	87.23%	0.00%	100.00%	100.00%	0.00%	0.00%
Localidades Rurales	1.73%	55.69%	36.66%	53.37%	78.76%	100.00%	30.21%	18.39%
Total	40.86%	84.60%	86.42%	86.98%	87.69%	100.00%	66.47%	85.32%

Tabla 11. Tabla de cobertura educación Naucalpan. Fuente: (Naucalpan de Juárez & Tecnológico de Monterrey, 2022)

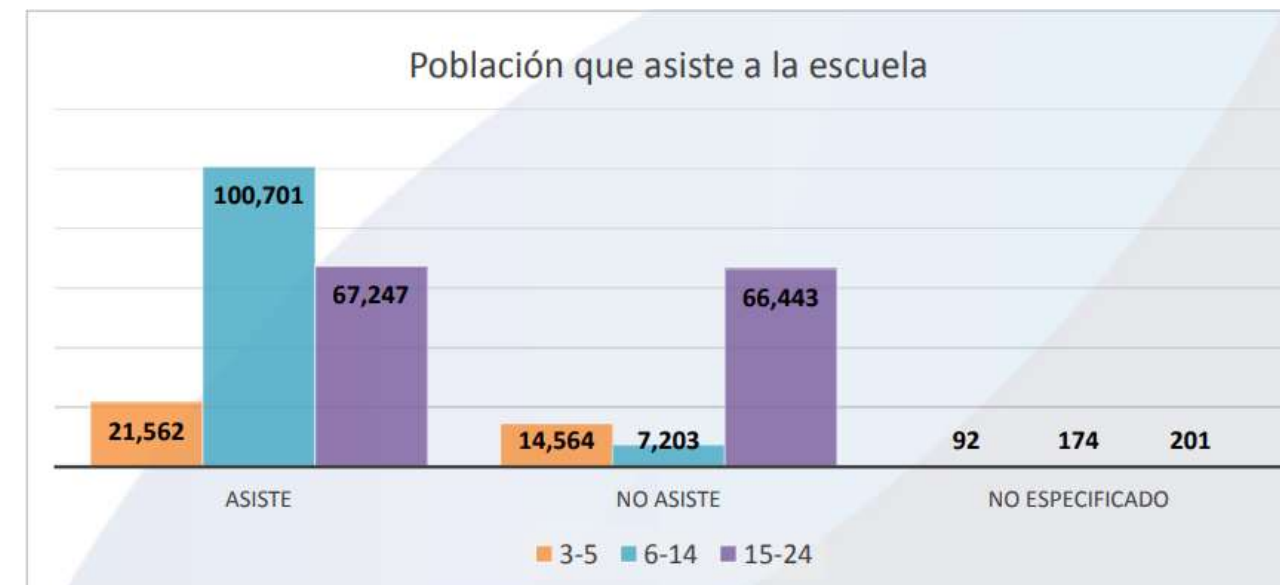


Figura 26. Gráfica de Población que asiste a la escuela. Fuente: Naucalpan de Juárez (2022a)

La tasa de analfabetismo de Naucalpan de Juárez en 2020 fue 2.03%. Del total de población analfabeta, 31% correspondió a hombres y 69% a mujeres. Esto según Censo de población y vivienda (2020) considerando a la población analfabeta mayor a 15 años graficando en intervalos de 4 años hasta los 85 años o más que no saben leer ni escribir.

Porcentaje de la Población de 15 años y más alfabeta y analfabeta. ²⁷				
Estado/Municipio	Población Alfabeta	%	Población Analfabeta	%
Estado de México	12,458,140	96.9	372,454	2.9
Naucalpan de Juárez	645,417	97.7	13,390	2.0

Población de 15 años y más, según condición de analfabetismo, periodo 2015. ²⁸								
Población de 15 años y más	Analfabetas	%	Sin primaria terminada	%	Sin secundaria terminada	%	Rezago total	%
648,734	14,103	2.17	46,935	7.23	109,957	16.94	170,995	26.35

Tabla 12. Condición de analfabetismo. Fuente: (Naucalpan de Juárez, 2022a)

2.5. CONCLUSIONES

Ubicación y Contexto Ambiental

El sitio de estudio se localiza en una zona lacustre, lo que indica la presencia de acuíferos subterráneos. La geomorfología del terreno es de llanura, con una altitud que varía entre los 2252 y 2420 metros sobre el nivel del mar, y una pendiente media entre el 5% y el 15%. Estos factores sugieren un clima templado con variaciones significativas de temperatura, lo que es importante para el diseño de estrategias bioclimáticas que optimicen el confort térmico.

Condiciones del Suelo y Geología

El terreno en las áreas bajas está compuesto por depósitos aluviales y lacustres, lo cual puede facilitar la infiltración y almacenamiento de agua para sistemas de captación de agua pluvial. En las zonas más altas y con pendientes pronunciadas, el suelo es delgado y rocoso, predominando los litosoles. Este tipo de suelo puede limitar la capacidad de desarrollar infraestructuras subterráneas y requiere soluciones especiales de cimentación. En áreas de pendiente baja, suelos más fértiles como el feozem son propicios para la creación de espacios verdes y huertos urbanos.

Hidrología y Manejo de Aguas

El municipio de Naucalpan cuenta con nueve presas, lo que refleja la necesidad de un manejo adecuado del agua. Sin embargo, los altos niveles de contaminación en la red hidrológica por descargas de aguas residuales y basura son un desafío que el proyecto debe abordar mediante sistemas de tratamiento de aguas y reciclaje. La captación de agua pluvial y el uso de tecnologías sostenibles para el tratamiento de aguas residuales pueden ser fundamentales para minimizar el impacto ambiental.

Infraestructura Urbana y Equipamiento

El 40% del municipio está urbanizado, concentrándose en la zona oriental. La colonia Hidalgo, donde se ubica el sitio de estudio, tiene una alta densidad poblacional con una gran proporción de menores de 14 años, lo que exige que el diseño arquitectónico considere espacios educativos, recreativos y seguros para los niños. Además, la infraestructura hídrica del municipio es "saturada", por lo que el proyecto deberá enfocarse en soluciones de eficiencia hídrica, como el uso de sistemas de aguas grises y tecnologías de bajo consumo.

Factores Climáticos y Energéticos

El sitio presenta un clima templado típico de la altitud mencionada, con diferencias de temperatura a lo largo del día y el año. Se recomienda el uso de técnicas de diseño pasivo como la orientación adecuada de los edificios para maximizar la ganancia solar en invierno y minimizarla en verano. Asimismo, se sugiere el aprovechamiento de la ventilación cruzada y estrategias de sombreado natural para mejorar el confort térmico sin recurrir a sistemas mecánicos.

Condiciones Socioeconómicas

Con una población de 834,434 habitantes, donde el 41.6% son menores de 18 años, el proyecto debe enfocarse en crear espacios accesibles y adaptados a las necesidades de una población joven. La colonia Hidalgo, en donde se sitúa la escuela primaria a intervenir, habitan unas 6,120 personas en 1,600 hogares. Se registran 2,581 habitantes por km², con una edad promedio de 28 años, 2,000 de ellos son menores de 14 años, por lo que la presencia de una alta proporción de habitantes niños en la colonia, requiere la inclusión de áreas verdes, espacios educativos y zonas recreativas que promuevan el desarrollo infantil. Además, la infraestructura vial, de tipo terciario y con bajo tráfico, permite diseñar espacios peatonales seguros y accesibles, promoviendo la movilidad sostenible.

Aspectos Normativos y Uso de Suelo

El sitio se encuentra en una zona de crecimiento urbano, en un área que solía ser de pastizales, lo que ofrece la oportunidad de reintegrar elementos de la naturaleza al diseño, utilizando techos verdes y espacios que fomenten la biodiversidad local. El municipio cuenta con cuatro áreas naturales protegidas, lo que sugiere una tendencia hacia la conservación del entorno natural y que puede integrarse en el proyecto mediante el uso de vegetación local.

Este análisis revela características clave para el desarrollo del proyecto arquitectónico bioclimático, en el que se recomienda la aplicación de estrategias de diseño pasivo, el uso de materiales sostenibles y locales, la implementación de sistemas de captación y tratamiento de agua, y el fomento de espacios verdes para mejorar la calidad de vida de los habitantes. Además, se debe considerar el impacto social, diseñando espacios educativos y recreativos para la comunidad joven, mientras se promueve la eficiencia energética y la sostenibilidad en todas las fases del proyecto.

3. ANÁLISIS CLIMÁTICO

3.1. INTRODUCCIÓN

Un análisis climático constituye una aproximación detallada a las condiciones medio ambientales de una ubicación específica. Incluye la identificación de distintas variables y patrones como la temperatura, humedad, viento, radiación solar y precipitación, que sirven como marco de referencia previo a la proyección de un edificio.

Este análisis considera las características del clima preponderantes en la zona de estudio con información de datos estadísticos históricos como fuente de referencia, provenientes de estaciones de monitoreo fijas, establecidas por instituciones gubernamentales principalmente.

3.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por E. García, el clima que predomina en el municipio es templado-húmedo, con una temperatura media anual de 15°C, con una mínima de 3.4°C y máxima de 32.5°C. Se presenta un verano fresco y largo, con lluvias durante los meses de mayo a septiembre y una precipitación promedio anual de 979.2 milímetros cúbicos y se pueden distinguir tres sub tipos de climas diferenciados por la humedad y la temperatura. Los tipos y subtipos de clima son:

1) C(W1) - Templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media, presentado en 47% del territorio municipal. Ubicado en la zona oriente que corresponde a la parte más baja y plana del territorio y que es donde se asienta la mayor parte de la población y cuya temperatura media anual oscila entre 12°C y 18°C, en el mes más frío la temperatura desciende hasta -3°C y la temperatura del mes más cálido asciende hasta 22°C.

2) C(W2) - Templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad, presentado en 41% del municipio; ocupa una amplia franja en la parte central del Municipio, precisamente donde empieza el relieve a ser abrupto.

3) C(E)(W2) - Semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad, presentado en 12% del municipio. Ubicada al poniente, con verano fresco largo y una temperatura media anual entre 5°C y 12°C, el mes más frío entre disminuye la temperatura hasta -3°C.

En verano se presentan lluvias, con una precipitación media anual de 972.2mm, en la Presa Totolinga, aumentado hasta 1,000 mm al este y disminuyendo a una media de 665 mm al oeste. En el municipio se manifiesta un porcentaje de humedad medio de 70%, registrando un máximo en verano de 81% y un mínimo en invierno, de 45%.

En época de frío, que se hace presente entre los meses de noviembre a febrero ocurren heladas cuya presencia es variable; al igual que los vientos que duran hasta los meses de febrero y marzo.

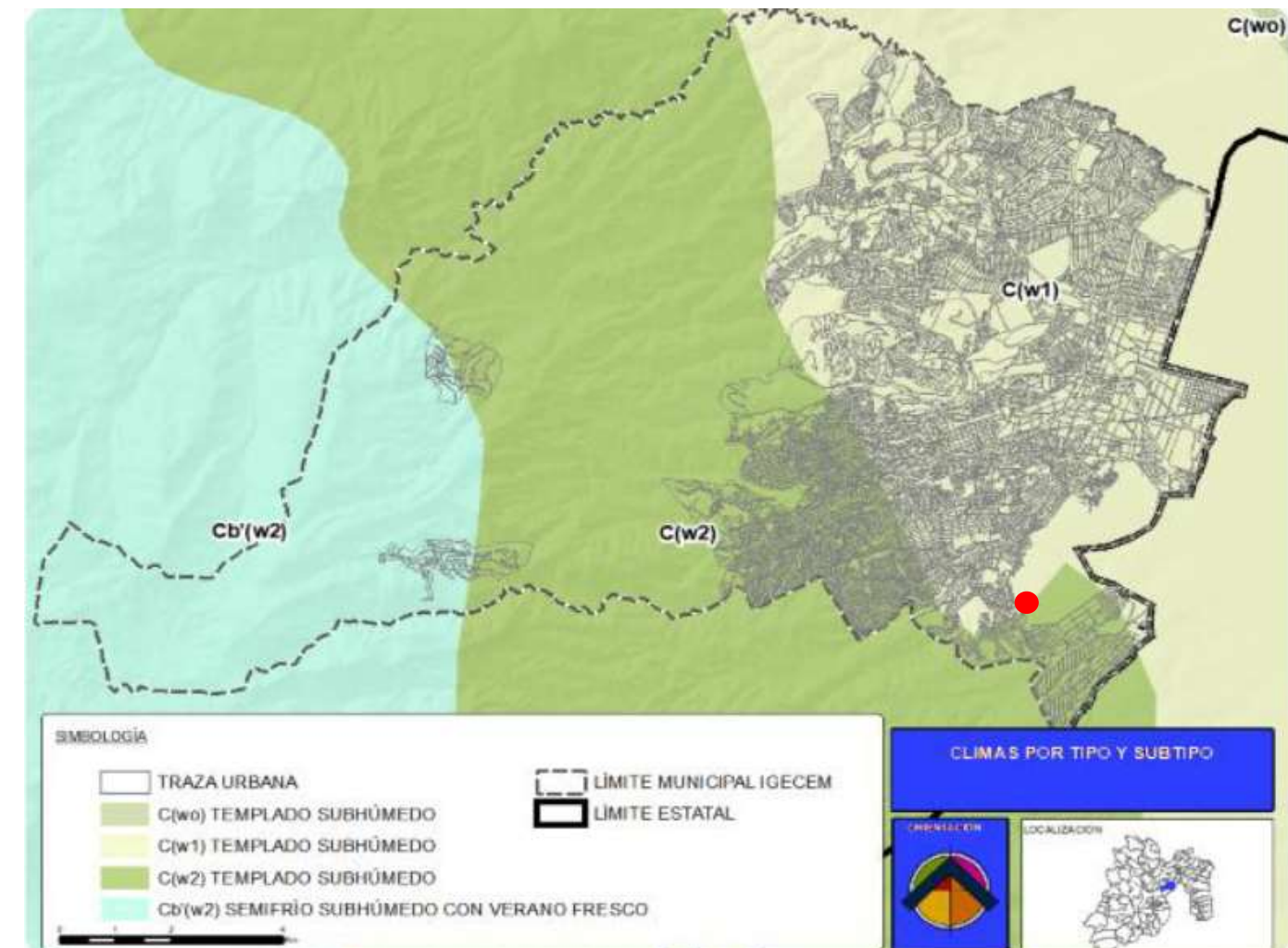


Figura 27. Mapa de climas. Fuente: (Naucalpan de Juárez, 2022a)

3.3. TEMPERATURA

La temperatura promedio anual en esta ubicación es de 16.7 °C. En base a lo cual obtenemos la zona de confort, Integrada por: una temperatura neutra, límite de temperatura superior e inferior, indicada en la siguiente Tabla 13.

LÍMITE SUPERIOR DE LA ZC (ZCs)	°C		24.2	24.7	25.3	25.8	26.1	26.0	25.6	25.7	25.5	25.2	24.8	24.4	25.3
TEMPERATURA NEUTRA (Tn)	°C		21.7	22.2	22.8	23.3	23.6	23.5	23.1	23.2	23.0	22.7	22.3	21.9	22.8
LÍMITE INFERIOR DE LA ZC (ZCi)	°C		19.2	19.7	20.3	20.8	21.1	21.0	20.6	20.7	20.5	20.2	19.8	19.4	20.3

Tabla 13. Zona de Confort térmico. Fuente: BAT Fuentes (2024)

La tabla muestra el registro climatológico gestionado por CONAGUA en la estación 00015127 denominada "Totolica San Bartolo", con datos de temperatura de cada mes durante el periodo 1981-2010. La temperatura más baja que se registra es de 4 °C en el mes de enero y la temperatura más alta se registra en el mes de mayo 28°C. El siguiente cálculo de zona de confort es realizado a la ecuación de Auliciems y Szokolay:

$$\text{Temperatura neutra} = 17.6 + (\text{Temperatura media} * 0.31) = 17.6 + (16.7 * 0.31) = 22.77^\circ$$

$$\text{Zona de confort límite superior} = 22.77^\circ + 2.5 = 25.27^\circ$$

$$\text{Zona de confort límite inferior} = 22.77^\circ - 2.5 = 20.27^\circ$$

La tabla muestra las temperaturas horarias que se presentan mensualmente a lo largo de un año. Se puede observar que, en todas las estaciones del año, desde que amanece (línea punteada) hasta las 11 am se requiere calentamiento, y solo en invierno hasta el mediodía. La tipología de proyecto es para una escuela primaria, con un horario de uso matutino, de 8:00 a 13:00 hrs. aprox.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL													
NORMALES CLIMATOLÓGICAS													
ESTADO DE: MEXICO											PERIODO: 1981-2010		
ESTACION: 00015127 TOTOLICA SAN BARTOLO	LATITUD: 19°27'56" N.					LONGITUD: 099°14'44" W.					ALTURA: 2,287.0 MSNM.		
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	22.4	24.3	26.2	27.5	28.0	26.3	24.4	24.5	23.8	23.5	23.3	22.7	24.7
MAXIMA MENSUAL	25.5	26.9	28.8	31.6	32.9	30.4	28.9	29.4	26.2	25.8	25.9	24.4	
AÑO DE MAXIMA	1987	2008	1991	1998	1998	2010	2009	2009	1987	2007	1988	1994	
MAXIMA DIARIA	28.0	30.0	32.0	34.5	37.0	35.0	32.0	32.0	30.0	30.0	28.0	27.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	31/2008	27/2003	12/2006	03/1998	23/1996	08/1995	08/2009	15/2009	20/2009	16/2007	17/1986	14/1987	
AÑOS CON DATOS	27	27	26	26	25	28	28	27	26	25	25	18	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	13.2	14.9	16.8	18.4	19.4	19.1	17.9	18.0	17.5	16.6	15.1	13.8	16.7
AÑOS CON DATOS	27	27	26	26	25	28	28	27	26	25	25	18	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	4.0	5.5	7.3	9.4	10.8	11.8	11.4	11.5	11.3	9.7	6.9	5.0	8.7
MINIMA MENSUAL	2.0	3.4	4.1	5.7	6.5	6.2	5.9	6.1	5.8	5.5	3.9	1.5	
AÑO DE MINIMA	1986	1983	1989	1992	1993	1993	1993	1993	1993	1993	1988	1990	
MINIMA DIARIA	-4.5	-2.5	-1.5	4.0	5.0	5.0	5.0	4.5	2.5	1.5	-0.5	-1.5	
FECHA MINIMA DIARIA	14/1986	03/1998	05/1987	03/1985	05/1993	23/1993	02/1991	31/1993	26/1991	27/1987	07/1982	21/1982	
AÑOS CON DATOS	27	27	26	26	25	28	28	27	26	25	25	19	

Tabla 15. Normales Climatológicas del Estado de México. Municipio de Naucalpan. Fuente: CONAGUA (s/f)

Con base a estos datos podemos determinar el límite inferior a partir del cual se considera necesario aplicar estrategias para ganancias de calor y el límite superior para perder, o evitar ganancias de calor. A partir del mediodía y hasta las 19 hrs. mayormente la temperatura está dentro de la zona de confort. Solo en primavera (marzo-abril-mayo) y el inicio del verano (mes de junio), de las 13 hrs. a las 18 hrs. se observa un sobrecalentamiento. Durante la primavera y verano, se observa un requerimiento de ganancia térmica de entre las 8:00 a las 11:00 hrs. y en otoño e invierno un requerimiento de ganancia térmica de entre las 8:00 a las 12:00 hrs.

HORA	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	BC %	CF %	SC %
ENE	4.2	4.0	4.6	6.2	8.6	11.6	14.8	17.8	20.2	21.8	22.4	22.2	21.6	20.6	19.4	17.8	16.0	14.2	12.2	10.4	8.6	7.0	5.8	4.8	70.8	29.2	0.0
FEB	5.7	5.5	6.1	7.7	10.2	13.3	16.5	19.6	22.1	23.7	24.3	24.1	23.5	22.5	21.2	19.6	17.8	15.9	13.9	12.0	10.2	8.6	7.3	6.3	70.8	29.2	0.0
MAR	7.5	7.3	7.9	9.5	12.0	15.1	18.4	21.5	24.0	25.6	26.2	26.0	25.4	24.4	23.1	21.5	19.7	17.7	15.8	13.8	12.0	10.4	9.1	8.1	62.5	20.8	16.7
ABR	9.6	9.4	9.9	11.5	13.9	16.9	20.0	23.0	25.4	27.0	27.5	27.3	26.7	25.8	24.5	23.0	21.2	19.4	17.5	15.7	13.9	12.4	11.1	10.2	58.3	25.0	16.7
MAY	11.0	10.8	11.3	12.8	15.1	17.9	20.9	23.7	26.0	27.5	28.0	27.8	27.3	26.4	25.2	23.7	22.1	20.3	18.5	16.7	15.1	13.6	12.4	11.5	58.3	20.8	20.8
JUN	12.0	11.8	12.2	13.5	15.4	17.8	20.3	22.7	24.6	25.9	26.3	26.1	25.7	24.9	23.9	22.7	21.3	19.8	18.3	16.8	15.4	14.2	13.2	12.4	58.3	33.3	8.3
JUL	11.5	11.4	11.8	12.9	14.7	16.8	19.0	21.2	22.9	24.0	24.4	24.3	23.8	23.2	22.2	21.2	19.9	18.6	17.2	15.9	14.7	13.6	12.6	12.0	62.5	37.5	0.0
AGO	11.6	11.5	11.9	13.0	14.8	16.9	19.1	21.3	23.0	24.1	24.5	24.4	23.9	23.3	22.3	21.3	20.0	18.7	17.3	16.0	14.8	13.7	12.7	12.1	62.5	37.5	0.0
SEP	11.4	11.3	11.7	12.8	14.4	16.5	18.6	20.7	22.3	23.4	23.8	23.7	23.3	22.8	21.7	20.7	19.5	18.2	16.9	15.6	14.4	13.4	12.5	11.8	62.5	37.5	0.0
OCT	9.9	9.7	10.1	11.3	13.2	15.4	17.8	20.1	21.9	23.1	23.5	23.3	22.9	22.2	21.2	20.1	18.7	17.3	15.9	14.5	13.2	12.0	11.0	10.3	70.8	29.2	0.0
NOV	7.1	6.9	7.4	8.8	11.0	13.7	16.5	19.2	21.4	22.8	23.3	23.1	22.6	21.7	20.6	19.2	17.6	16.0	14.2	12.6	11.0	9.6	8.5	7.6	70.8	29.2	0.0
DIC	5.2	5.0	5.5	7.1	9.4	12.3	15.4	18.3	20.6	22.2	22.7	22.5	21.9	21.0	19.8	18.3	16.6	14.8	12.9	11.1	9.4	7.9	6.7	5.8	70.8	29.2	0.0
ANUAL	8.9	8.7	9.2	10.6	12.7	15.3	18.1	20.7	22.9	24.3	24.7	24.6	24.0	23.2	22.1	20.7	19.2	17.6	15.9	14.3	12.7	11.4	10.2	9.4	64.9	29.9	5.2

Tabla 14. Temperaturas horarias. Fuente: BAT (Fuentes, 2024)

Escala Cromática (ZC mensual)			
Sobrecalentamiento (SC)	29.3	<	
	27.3	29.3	
	25.3	27.3	
Confort (CF)	20.3	25.3	
Bajocalentamiento (BC)	18.3	20.3	
	16.3	18.3	
	<	16.3	

3.4. HUMEDAD

El porcentaje de humedad relativa óptimo será del 50%, considerándose a lo largo del año un límite superior hasta del 70% y el límite inferior del 30%.

LÍMITE SUPERIOR DE LA ZC (ZCs)	%		70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
LÍMITE INFERIOR DE LA ZC (ZCI)	%		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

Tabla 16. Zona de Confort humedad relativa. Fuente: BAT (Fuentes, 2024)

De acuerdo a la gráfica de humedad relativa, a lo largo del año la humedad relativa media, se encuentra dentro de la zona de confort.

En base a la tabla de humedad relativa horaria (Tabla 17). Se observa que durante el verano, otoño y la mitad del invierno, de las 7 am a la 9 am la humedad relativa es elevada, sobrepasando en las primeras horas de la mañana el 80% y reduciéndose hacia la tarde.

En contraparte, durante la segunda mitad del invierno y la primavera, la humedad relativa puede estar por debajo del límite mínimo del 30%. Esto en un horario de entre las 13 a las 19 hrs.

Con base a estos datos podemos determinar el límite inferior a partir del cual se considera necesario aplicar estrategias para humidificar y el límite superior para deshumidificar.

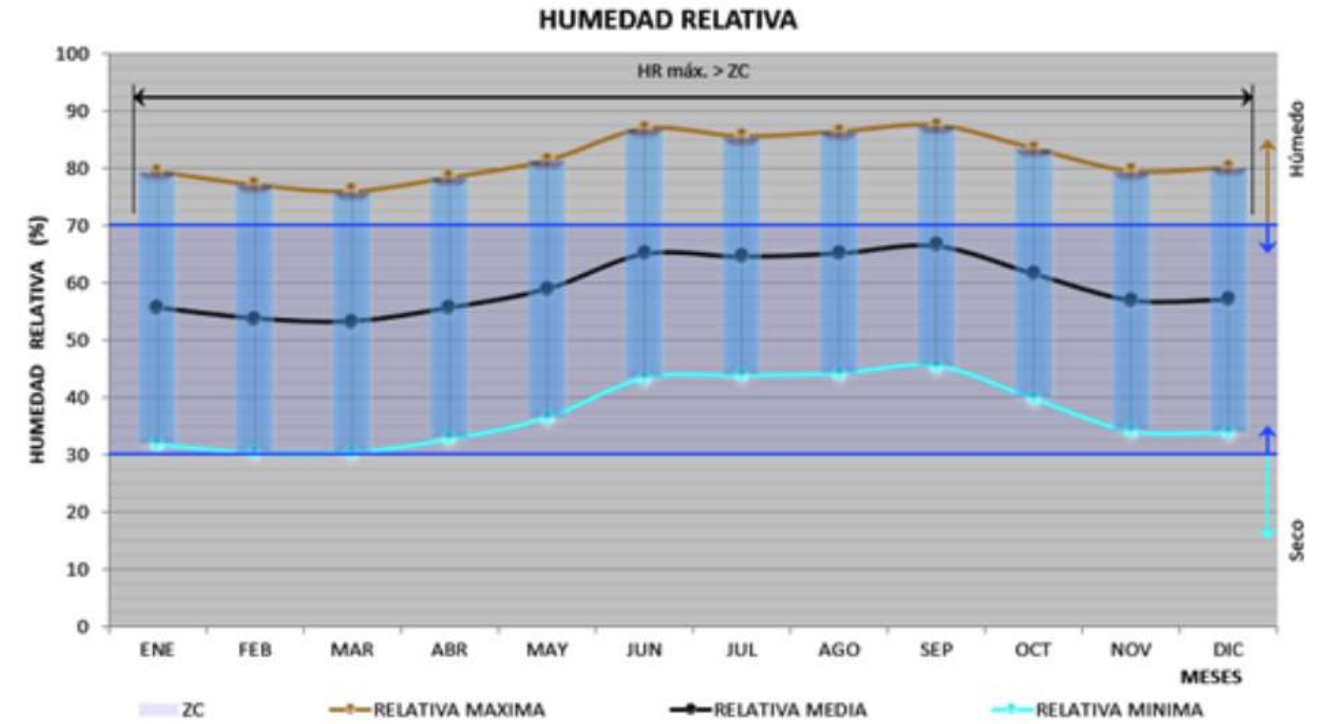


Figura 28. Gráfica de humedad relativa. Fuente: BAT (Fuentes, 2024)

Por las mañanas, aunque la humedad relativa sobrepasa el 70%, se sugiere el evitar abrir las ventanas para deshumidificar por ventilación natural, debido a que la temperatura exterior puede estar por debajo de la zona de confort, y para la falta de humedad en el horario y periodo antes descrito. Se considera que el impacto es mínimo, ya que el horario escolar estaría concluyendo a las 13 hrs. Sin embargo, se propone la utilización de áreas verdes a un costado de las ventanas para un posible horario extendido o labores de los maestros después de clases.

HUMEDADES RELATIVAS HORARIAS

PROM. HUM.		HORA																									HB %	CF %	HA %
Min.	Max.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0			
25.0	78.0	ENE	64.8	69.2	72.9	75.7	77.4	78.0	76.4	71.8	64.8	56.1	46.9	38.3	31.2	26.6	25.0	25.6	27.3	30.1	33.8	38.3	43.3	48.7	54.3	59.7	16.7	58.3	25.0
23.0	65.0	FEB	54.5	58.1	61.0	63.2	64.5	65.0	63.7	60.1	54.5	47.6	40.4	33.5	27.9	24.3	23.0	23.5	24.8	27.0	29.9	33.5	37.5	41.8	46.2	50.5	29.2	70.8	0.0
22.0	60.0	MAR	50.5	53.7	56.4	58.4	59.6	60.0	58.9	55.6	50.5	44.3	37.7	31.5	26.4	23.1	22.0	22.4	23.6	25.6	28.3	31.5	35.1	39.0	43.0	46.9	29.2	70.8	0.0
23.0	60.0	ABR	50.8	53.9	56.5	58.4	59.6	60.0	58.9	55.7	50.8	44.7	38.3	32.3	27.3	24.1	23.0	23.4	24.6	26.5	29.1	32.3	35.8	39.6	43.4	47.2	29.2	70.8	0.0
30.0	70.0	MAY	60.0	63.4	66.2	68.3	69.6	70.0	68.8	65.3	60.0	53.5	46.5	40.0	34.7	31.2	30.4	30.4	31.7	33.8	36.6	40.0	43.8	47.9	52.1	56.2	0.0	100.0	0.0
42.0	79.0	JUN	69.8	72.9	75.5	77.4	78.6	79.0	77.9	74.7	69.8	63.7	57.3	51.3	46.3	43.1	42.0	42.4	43.6	45.5	48.1	51.3	54.8	58.6	62.4	66.2	0.0	70.8	29.2
50.0	82.0	JUL	74.0	76.7	78.9	80.6	81.7	82.0	81.0	78.3	74.0	68.8	63.2	58.0	53.7	51.0	50.0	50.3	51.4	53.1	55.3	58.0	61.1	64.3	67.7	70.9	0.0	58.3	41.7
45.0	84.0	AGO	74.3	77.5	80.3	82.3	83.6	84.0	82.8	79.4	74.3	67.9	61.1	54.8	49.6	46.2	45.0	45.4	46.7	48.7	51.5	54.8	58.5	62.5	66.5	70.5	0.0	58.3	41.7
55.0	85.0	SEP	77.5	80.0	82.1	83.7	84.7	85.0	84.1	81.5	77.5	72.6	67.4	62.5	58.5	55.9	55.0	55.3	56.3	57.9	60.0	62.5	65.4	68.4	71.6	74.6	0.0	50.0	50.0
43.0	88.0	OCT	76.8	80.6	83.7	86.1	87.5	88.0	86.6	82.7	76.8	69.4	61.6	54.3	48.3	44.4	43.0	43.5	44.9	47.3	50.4	54.3	58.5	63.1	67.9	72.5	0.0	58.3	41.7
38.0	85.0	NOV	73.3	77.2	80.5	83.0	84.5	85.0	83.6	79.5	73.3	65.6	57.4	49.8	43.5	39.4	38.0	38.5	40.0	42.5	45.8	49.8	54.2	59.0	64.0	68.8	0.0	62.5	37.5
25.0	80.0	DIC	66.3	70.9	74.7	77.6	79.4	80.0	78.3	73.6	66.3	57.3	47.7	38.8	31.4	26.7	25.0	25.6	27.4	30.3	34.1	38.8	44.0	49.6	55.4	61.0	16.7	54.2	29.2
35.1	76.3	ANUAL	66.0	69.5	72.4	74.6	75.9	76.3	75.1	71.5	66.0	59.3	52.1	45.4	39.9	36.3	35.1	35.5	36.9	39.0	41.9	45.4	49.3	53.6	57.9	62.1	10.1	65.3	24.7

Tabla 17. Humedad relativa horaria. Fuente: BAT (Fuentes, 2024)

Escala Cromática		
Humedad Alta (HA)	80.0	<
	75.0	80.0
Confort (CF)	70.0	75.0
	30.0	70.0
Humedad Baja (HB)	25.0	30.0
	20.0	25.0
	<	20.0

3.5. RANGO DE RADIACIÓN SOLAR

El rango de promedio anual de radiación de 150 a 750 w/m2 (Figura 29).

En primavera se tiene la mayor incidencia de radiación, alcanzando casi los 900 w/m2 en la hora más crítica, de marzo a mayo siendo los meses con mayor radiación.

En verano podemos observar que desciende la radiación en junio, pero en julio hay un pico llegando casi a los 800 w/m2 y de nuevo vuelve a descender en agosto.

Al inicio de otoño podemos observar en la gráfica que existe un descenso a casi 600 w/m2 encontrándose dentro del rango de confort.

Mientras que en invierno se mantienen las máximas en el rango de confort.

Con esto podemos concluir que ya que, durante la primavera, se registra la mayor radiación, lo que puede provocar un aumento considerable en las temperaturas. Por lo tanto, en esta época es importante implementar estrategias de diseño y construcción que minimicen la entrada directa del sol al interior de los edificios, con el fin de reducir la carga térmica y mantener condiciones de confort para los ocupantes.

3.6. RANGO DE ILUMINACIÓN

El promedio mensual de iluminación está por arriba de los 80,000 lux y la mínima es de 20,000 lux. Podemos percatarnos que los meses de marzo y abril son los que tienen un promedio mayor llevando a los 55,000 lux, mientras que julio y agosto son los meses con un promedio de iluminación mínima por debajo de los 20,000 lux (Figura 30).

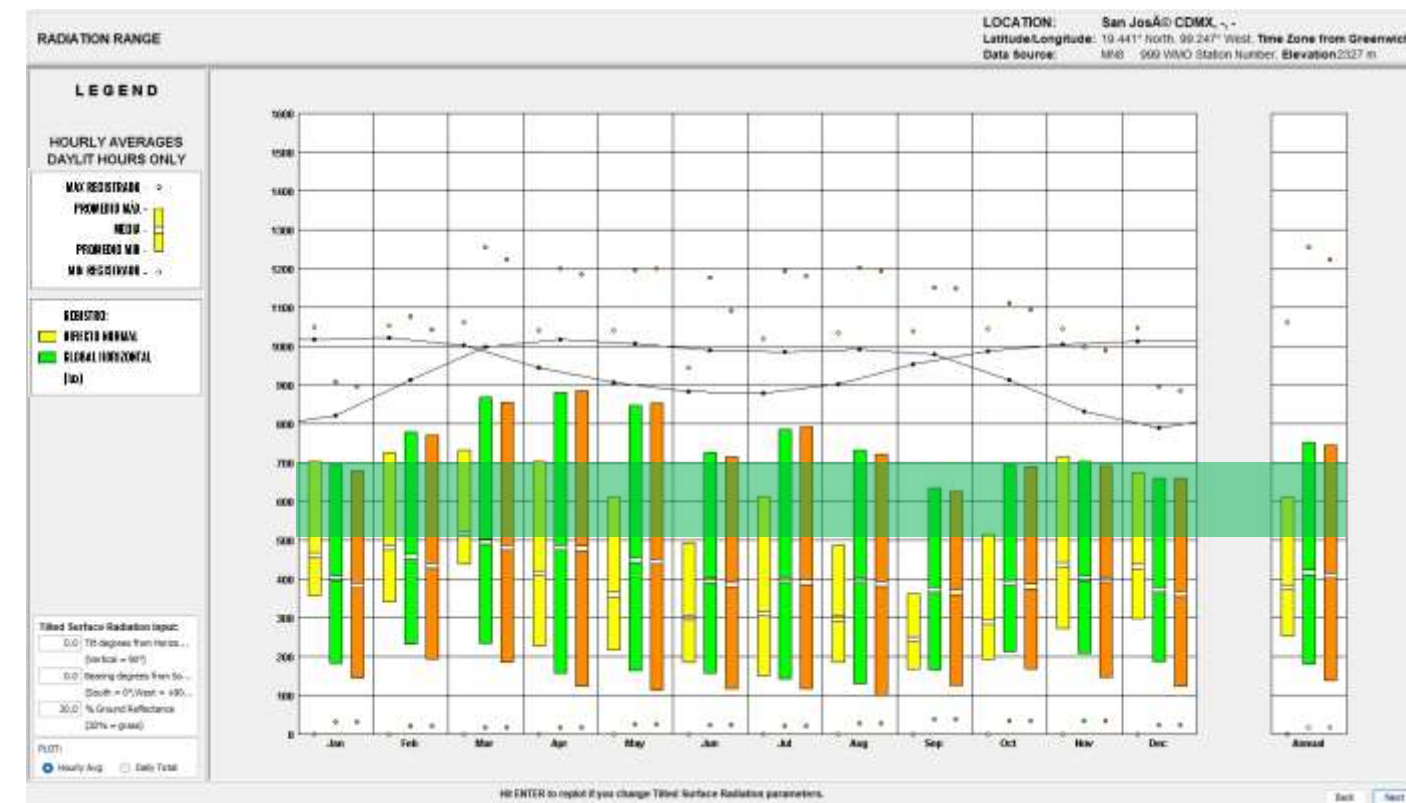


Figura 29. Gráfica de rango de radiación. Fuente: Elaboración propia con Climate Consultant (Parallels Software International, s/f)

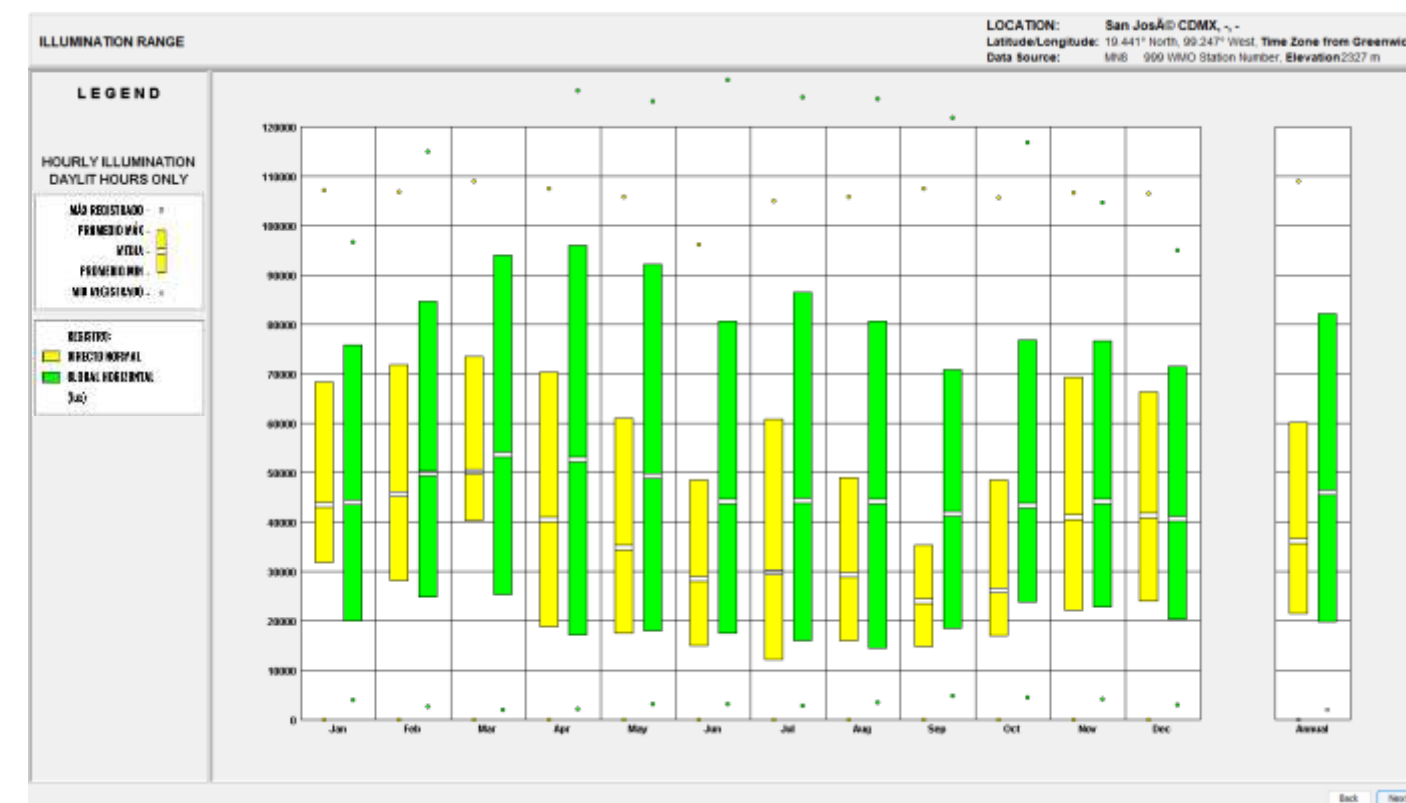


Figura 30. Gráfica de rango de iluminación. Fuente: Elaboración propia en Climate Consultant.

3.7. VIENTO

Climate consultant genera las siguientes gráficas y resultados según los datos meteorológicos y la definición de una ventana de uso habitable de 07:00 hrs. a 17:00 hrs. La velocidad promedio del viento en Naucalpan, Estado de México no rebasa los 4 m/s, y el promedio anual ronda los 1.7 m/s.

Los vientos dominantes en invierno se presentan principalmente del oeste-suroeste, con una velocidad media de 1.5 m/s, una temperatura de entre 0° a 20°C y una frecuencia cercana al 9% (Figura 32).

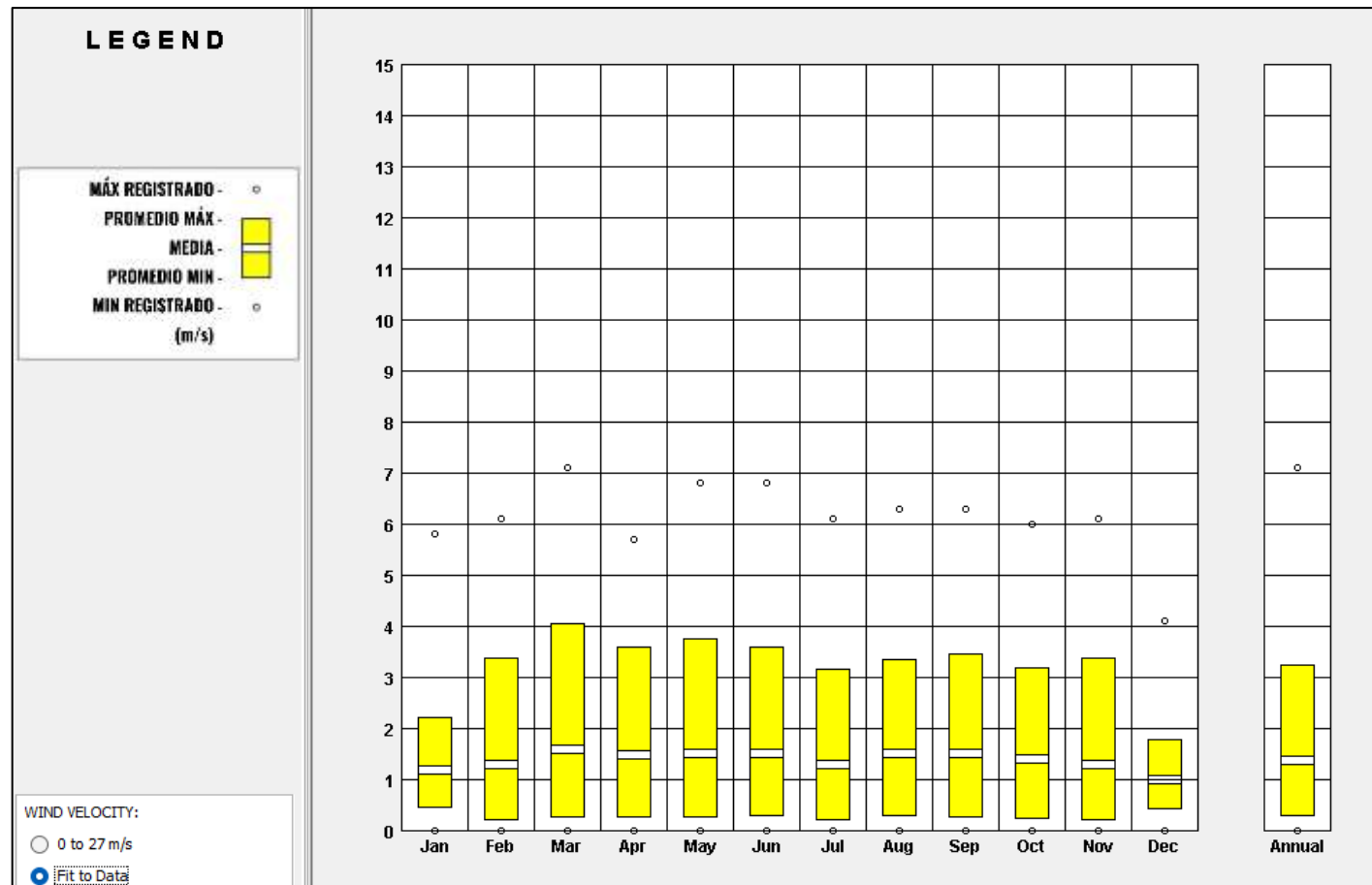


Figura 31. Gráfica de velocidad de viento. Fuente: Elaboración propia en Climate Consultant.

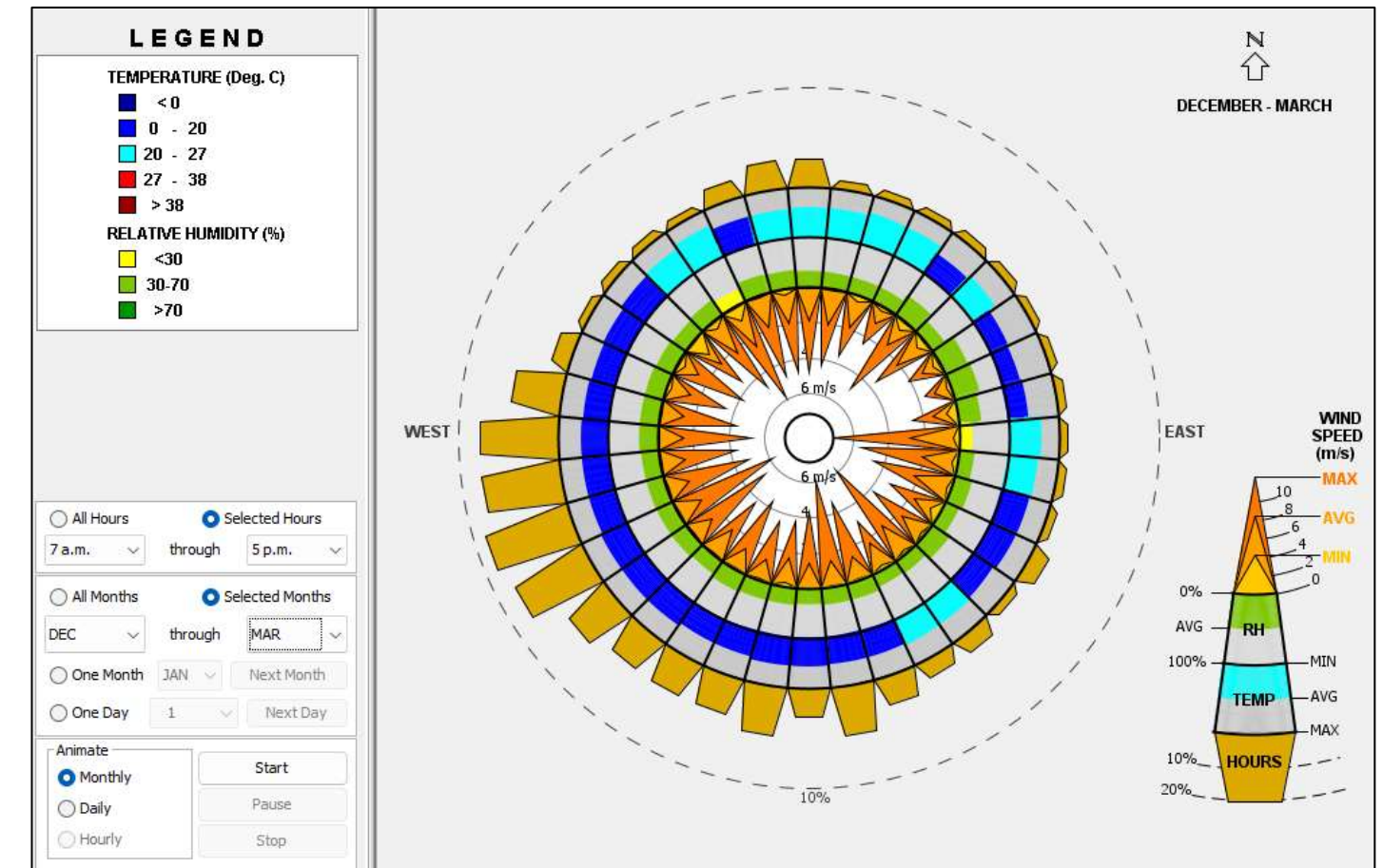


Figura 32. Gráfica de rueda de vientos en invierno. Fuente: Elaboración propia en Climate Consultant.

En la Figura 31 se aprecia una mayor velocidad de los vientos en primavera llegando en marzo hasta los 4 m/s en su registro máximo. En verano y otoño su máxima velocidad disminuye a un rango de entre 3 m/s a 3.5 m/s, y en invierno disminuye considerablemente a entre 1.9 m/s y 2.1 m/s.

Los vientos dominantes en primavera se presentan principalmente del suroeste, a una velocidad media de 2 m/s, con una temperatura que oscila entre 20° y 27°C y una frecuencia cercana al 9% (Figura 33)

Los vientos dominantes en verano provienen del suroeste y el sureste a una velocidad media de 1.9 m/s, con una temperatura de entre 20° y 27°C y frecuencia a del 7% (Figura 34)

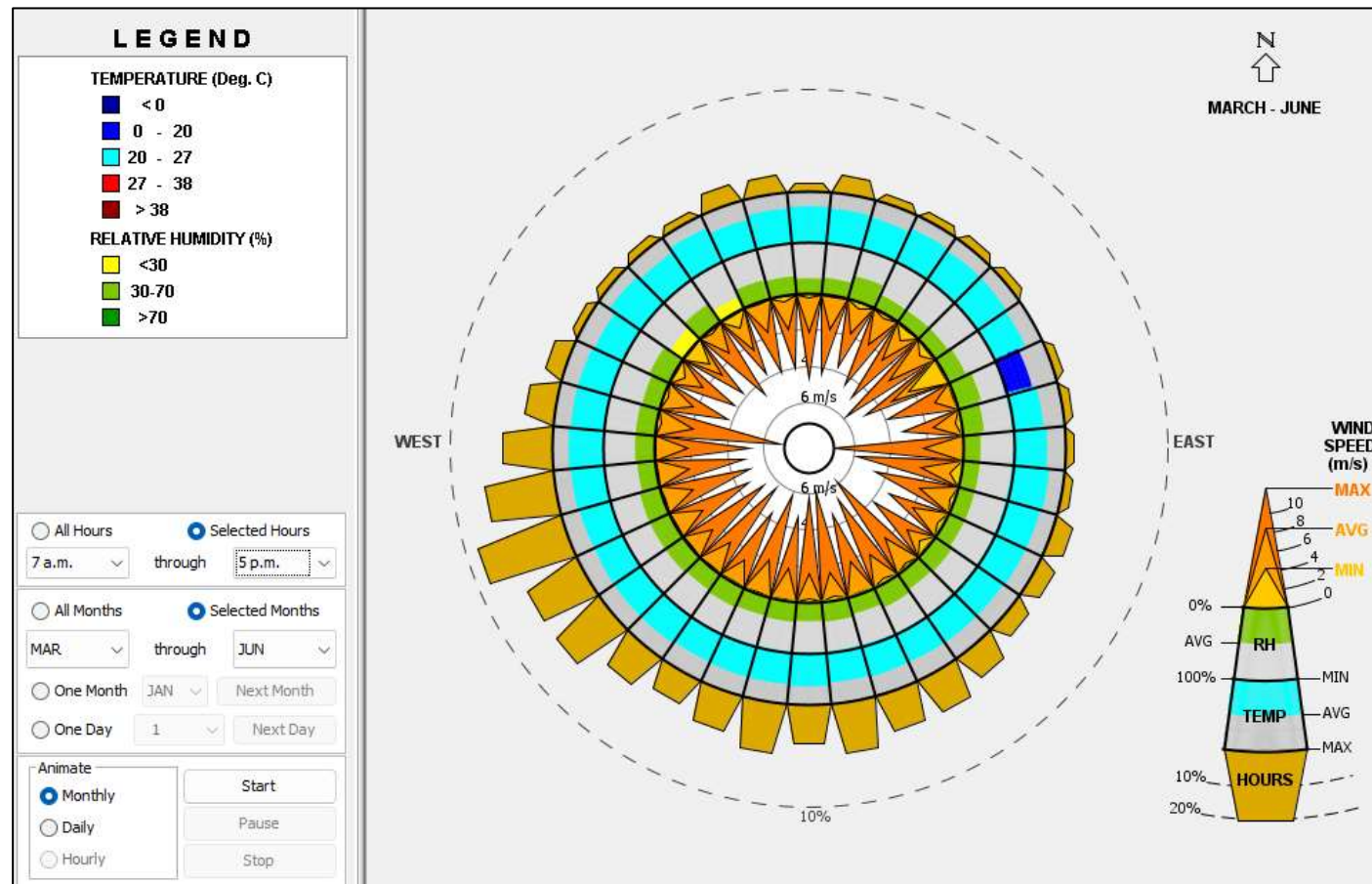


Figura 33. Gráfica de rueda de vientos primavera. Fuente: Elaboración propia en Climate Consultant.

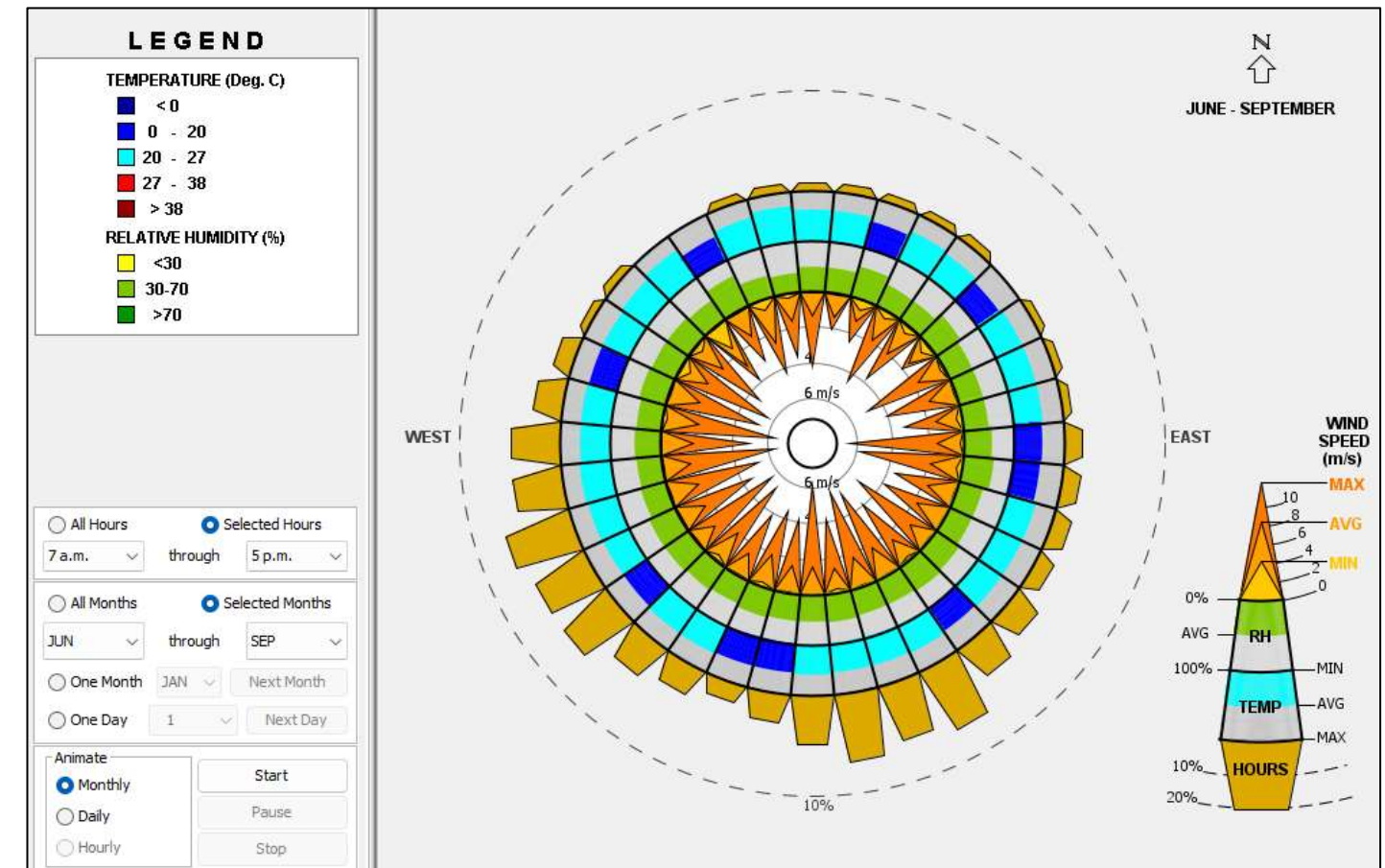


Figura 34. Gráfica de rueda de vientos verano. Fuente: Elaboración propia en Climate Consultant.

Los vientos dominantes en otoño provienen del suroeste - oeste, sur y sureste, a un rango de velocidad media de entre 1.5 – 2 m/s, con una temperatura de 0° a 20°C y una frecuencia de entre el 5 y 7% (Figura 35).

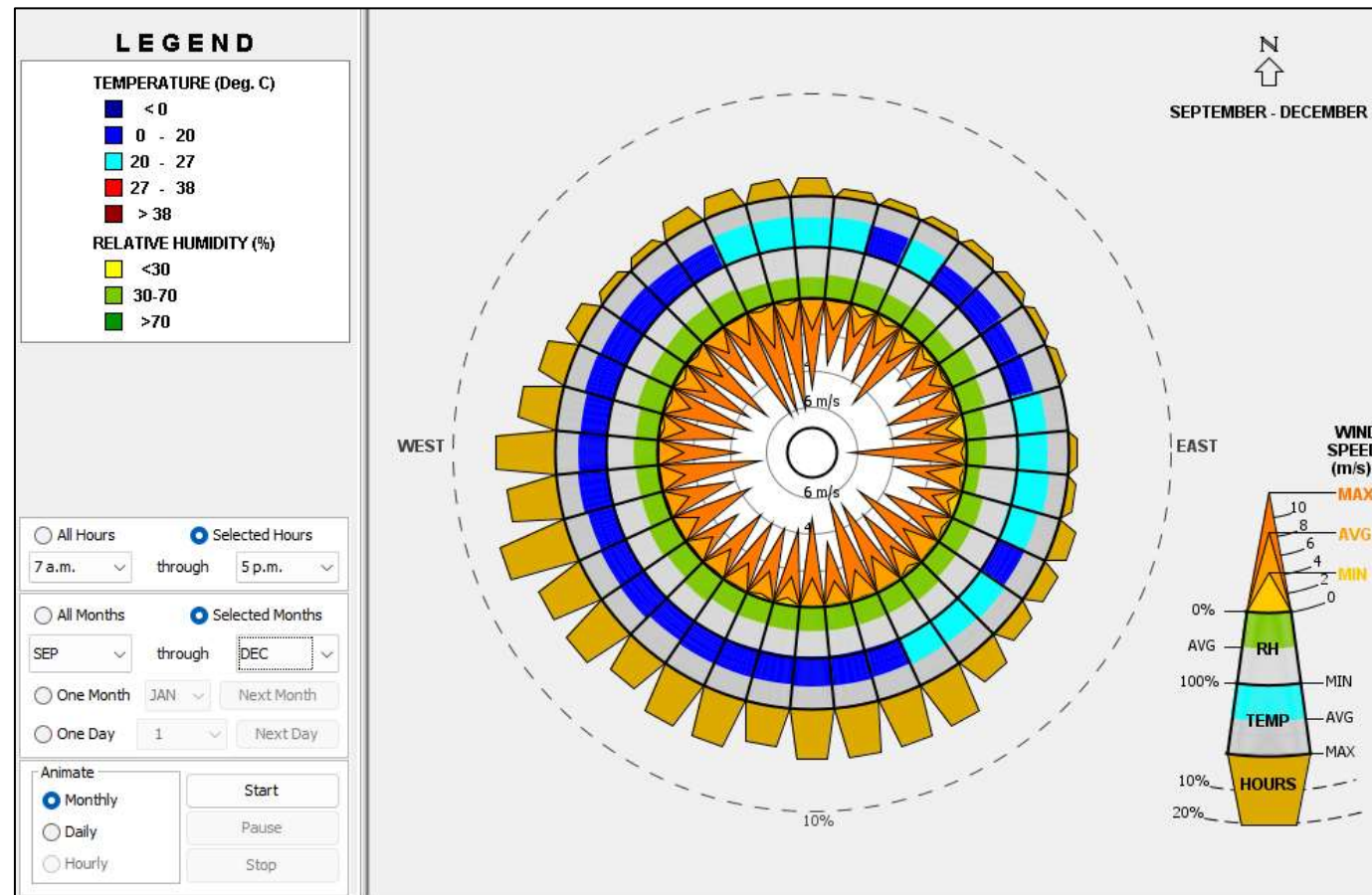


Figura 35. Gráfica de rueda de vientos otoño. Fuente: Elaboración propia en Climate Consultant.

La siguiente Tabla 18 proveniente del sistema BAT, resume las condiciones mensuales de los vientos para el sitio en análisis, describiendo que los vientos dominantes a lo largo del año provienen del suroeste principalmente y los vientos reinantes provienen del oeste, a una velocidad promedio anual de 1.7 m/s, ofreciendo la mayor parte del año un ambiente en calma.

VIENTO	UNIDAD	MESES												ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
DOMINANTE		SW	W	W	W	SW	SW	S	W	S	S	SW	W	SW
REINANTE		SW	W	W	W	SW	SW	S	W	S	W	SW	SW	W
MÁXIMA	m/s	1.2	1.8	1.7	2.1	2.0	2.0	1.5	1.6	1.7	2.0	1.7	1.5	1.8
PROMED.	m/s	1.2	1.8	1.7	2.1	1.9	2.0	1.5	1.6	1.6	1.8	1.7	1.5	1.7
CALMAS	(%)	88.0	90.0	89.0	92.0	88.0	91.0	90.0	93.0	82.0	87.0	90.0	85.0	88.8

Tabla 18. Promedio mensual vientos. Fuente: BAT. Dr. Víctor Fuentes F.

La siguiente Figura 36 nos muestra que gran parte del año se conserva una velocidad media por debajo de los 2 m/s, lo cual permite un ambiente de confort; aunque existen algunos picos por sobre los 2 m/s en el mes de abril.

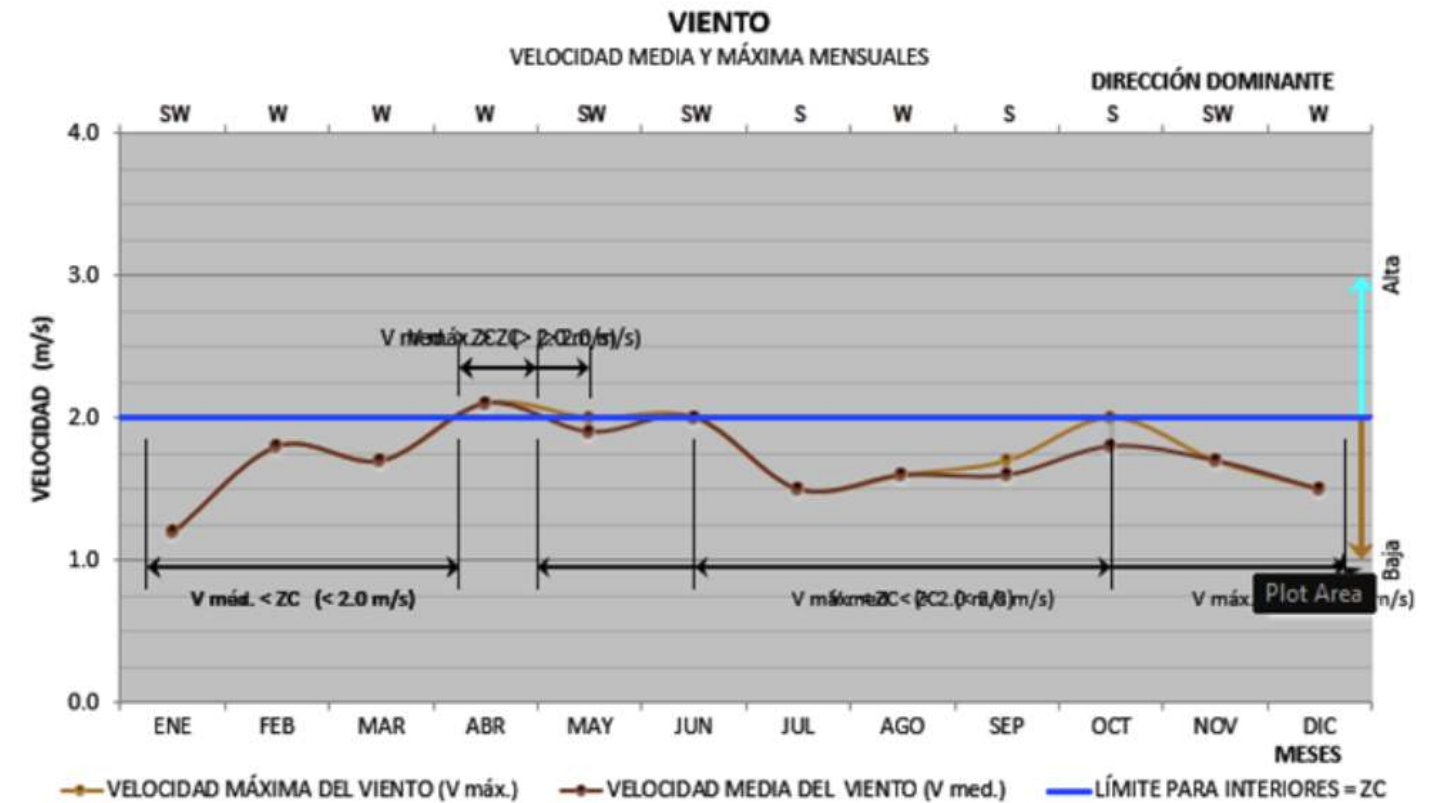


Figura 36. Gráfica de velocidad de vientos mensual. Promedio mensual vientos. Fuente: BAT. Dr. Víctor Fuente F.

También se observa que la velocidad media de los vientos dominantes no llega a exceder los 2 m/s en las orientaciones sur, oeste y suroeste.

La conclusión del presente análisis reside en considerar una predominancia de la dirección del viento proveniente del oeste y suroeste con una velocidad del viento en confort, que permitiría ventilar los espacios interiores con relativa facilidad y sin mayores complicaciones. Será conveniente implementar ventanas orientadas hacia estas direcciones y tener presente que, en primavera, se pueden presentar incrementos de velocidad, lo que requerirá un control adecuado de los cerramientos.

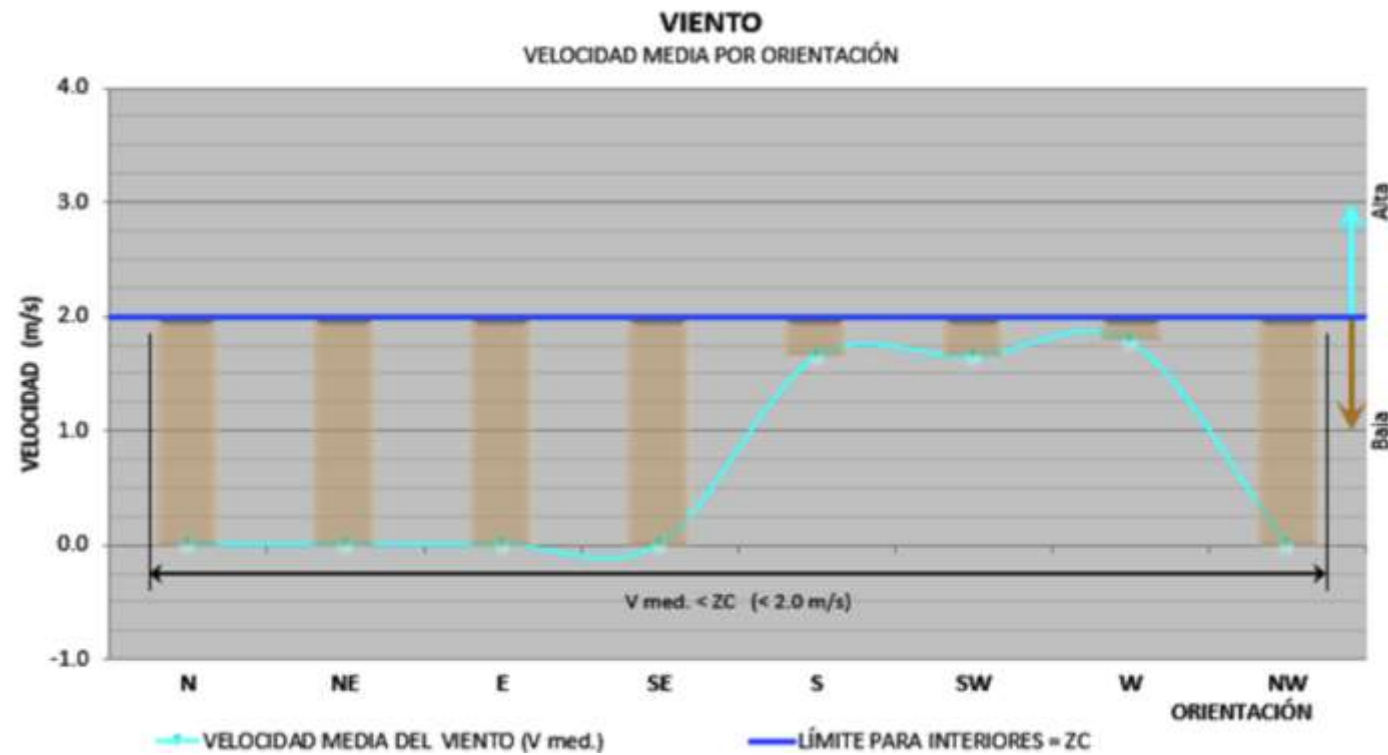


Figura 37. Gráfica de Velocidad media por orientación. Fuente: BAT. Dr. Víctor Fuentes F.

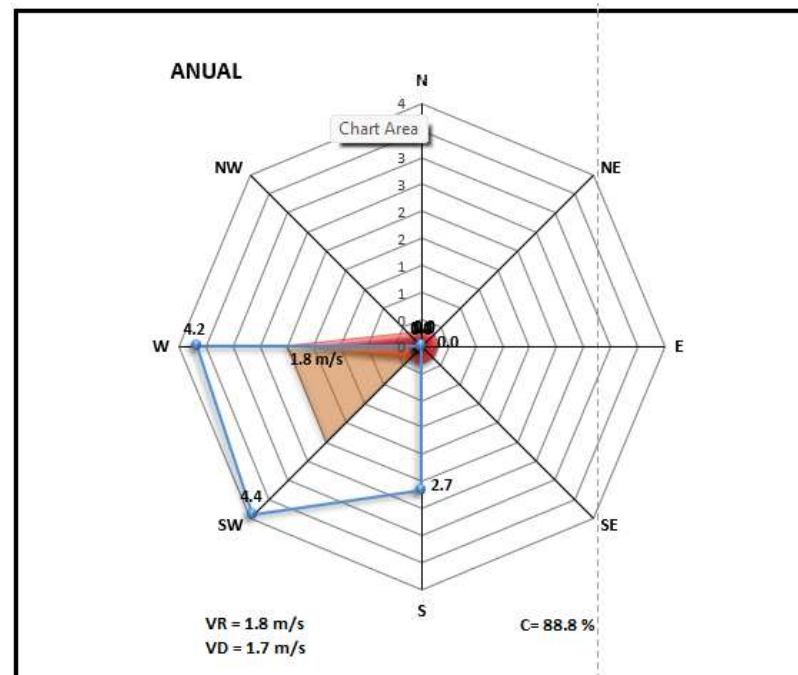


Figura 38. Gráfica anual de vientos. Fuente: BAT. Dr. Víctor Fuentes F.

3.8. PRECIPITACIÓN Y EVAPORACIÓN

PRECIPITACIÓN Y EVAPORACIÓN																
FUENTE	PARÁMETROS	UNIDAD	AÑOS	MESES												ANUAL
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
a	TOTAL	mm	10	5.1	8.6	11.7	23.1	46.7	144.0	183.5	179.0	150.4	62.3	10.3	7.1	831.8
a	MAXIMA	mm	10	29.0	56.0	43.0	84.5	99.0	350.0	343.0	294.0	328.6	153.9	39.0	61.8	350.0
a	FECHA	aaaa	n/d	1992	1982	1997	1985	1988	1986	1991	1995	1998	1998	2002	1995	JUN-1986
a	MAXIMA EN 24 h	mm	10	19.1	15.1	32.4	29.8	21.5	48.6	52.0	52.6	59.3	31.1	12.1	14.0	59.3
a	FECHA	dd/aaaa	n/d	31/2006	01/2010	21/2002	28/2008	03/2007	28/2002	19/2005	03/2010	13/2010	29-10/10	02/2003	17/2009	13-sep-2010
a	MAXIMA EN 1 h	mm	10	4.7	12.0	4.9	18.5	11.7	23.8	32.3	21.3	42.2	18.2	8.8	10.5	42.2
a	FECHA	dd/aaaa	n/d	07/2002	05/2009	03/2003	17/2002	11/2005	22/2005	21/2002	13/2006	05/2007	04/2001	12/2003	19/2001	3-sep-2007
a	MINIMA	mm	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
a	FECHA	aaaa	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
c	EVAPORACIÓN TOTAL	mm	20	70.8	73.7	109.4	116.7	127.2	106.9	97.9	100.6	100.1	67.5	57.6	52.2	1080.6
b	LÍMITE PLUVIAL SUPERIOR (LIs)	mm		150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0
b	LÍMITE PLUVIAL INFERIOR (LIi)	mm		40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0

Límite Indicativo Superior (LIs) que permite distinguir una precipitación intensa de una precipitación moderada **150.0 mm**

Límite Indicativo Inferior (LIi) que permite distinguir una precipitación moderada de una precipitación escasa **40.0 mm**

Tabla 19. Precipitación y evaporación mensual. BAT. Dr. Víctor Fuentes F.

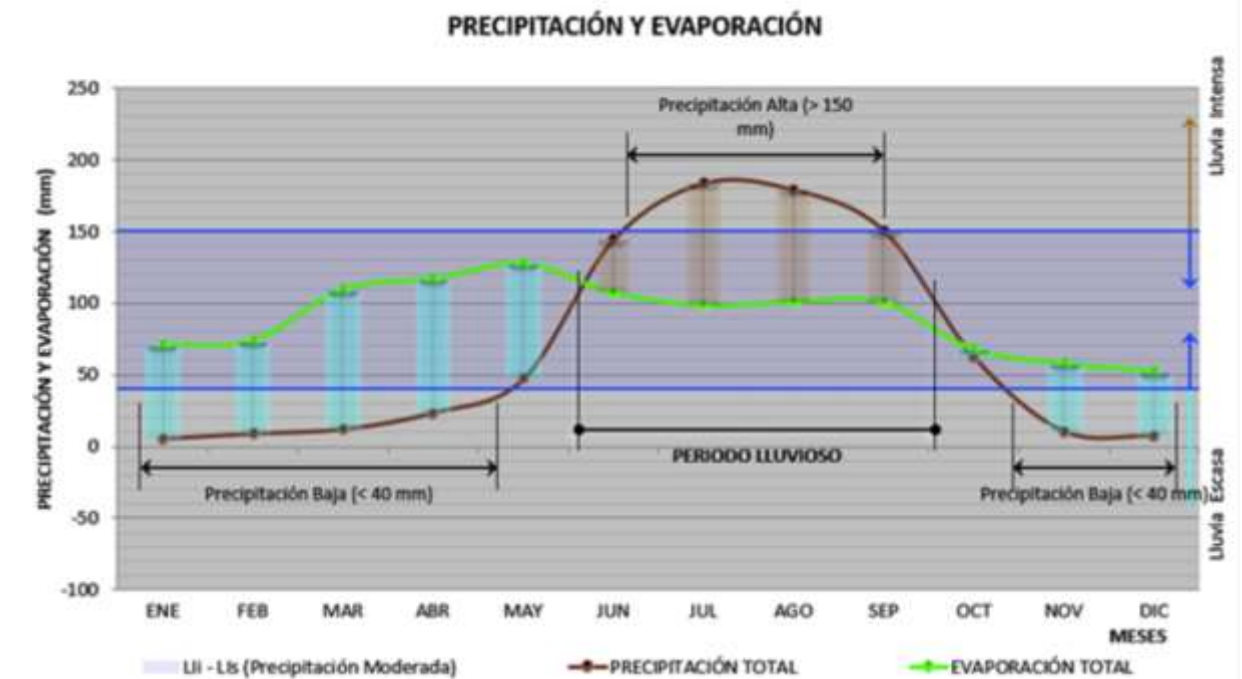


Figura 39. Gráfica de precipitación y evaporación mensual. BAT. Dr. Víctor Fuentes F.

Las gráficas de la Figura 39 muestra que de enero al 20 de abril (aprox.) hay baja precipitación, así como de mediados de octubre hasta diciembre. El periodo de precipitación alta va de mediados de mayo a mediados de septiembre. La precipitación intensa va de principios de junio a principios de septiembre, en este periodo de 3 meses aprox. se deben proteger puertas y ventanas y se puede tener captación de agua.

3.9. TEMPERATURA EFECTIVA CORREGIDA

De acuerdo a los resultados que muestran las gráficas mensuales de temperatura efectiva corregida (Figura 40), esta se encuentra en los 12 meses por debajo del límite inferior de la zona de confort, con base en esto, se debe tener buen control de las ventanas operables para limitar la ventilación a los interiores.

Mes	Temp. Efectiva Corregida	Zona de Confort	Diferencia
Enero	8.8°C	19.2°C - 24.2°C	10.4°C
Febrero	8.5°C	19.7°C - 24.7°C	11.2°C
Marzo	10.3°C	20.3°C - 25.3°C	10.0°C
Abril	11.8°C	20.8°C - 25.8°C	9.0°C
Mayo	12.7°C	21.1°C - 26.1°C	8.4°C
Junio	12.8°C	21.0°C - 26.0°C	8.2°C
Julio	12.5°C	20.6°C - 25.6°C	8.1°C
Agosto	12.5°C	20.7°C - 25.7°C	8.2°C
Septiembre	12.1°C	20.5°C - 25.5°C	8.4°C
Octubre	10.4°C	20.2°C - 25.2°C	9.8°C
Noviembre	9.5°C	19.8°C - 24.8°C	10.3°C
Diciembre	8.4°C	19.4°C - 24.4°C	11.0°C

Tabla 20. Análisis mensual de temperatura efectiva corregida. Fuente: BAT. Dr. Víctor Fuentes F.

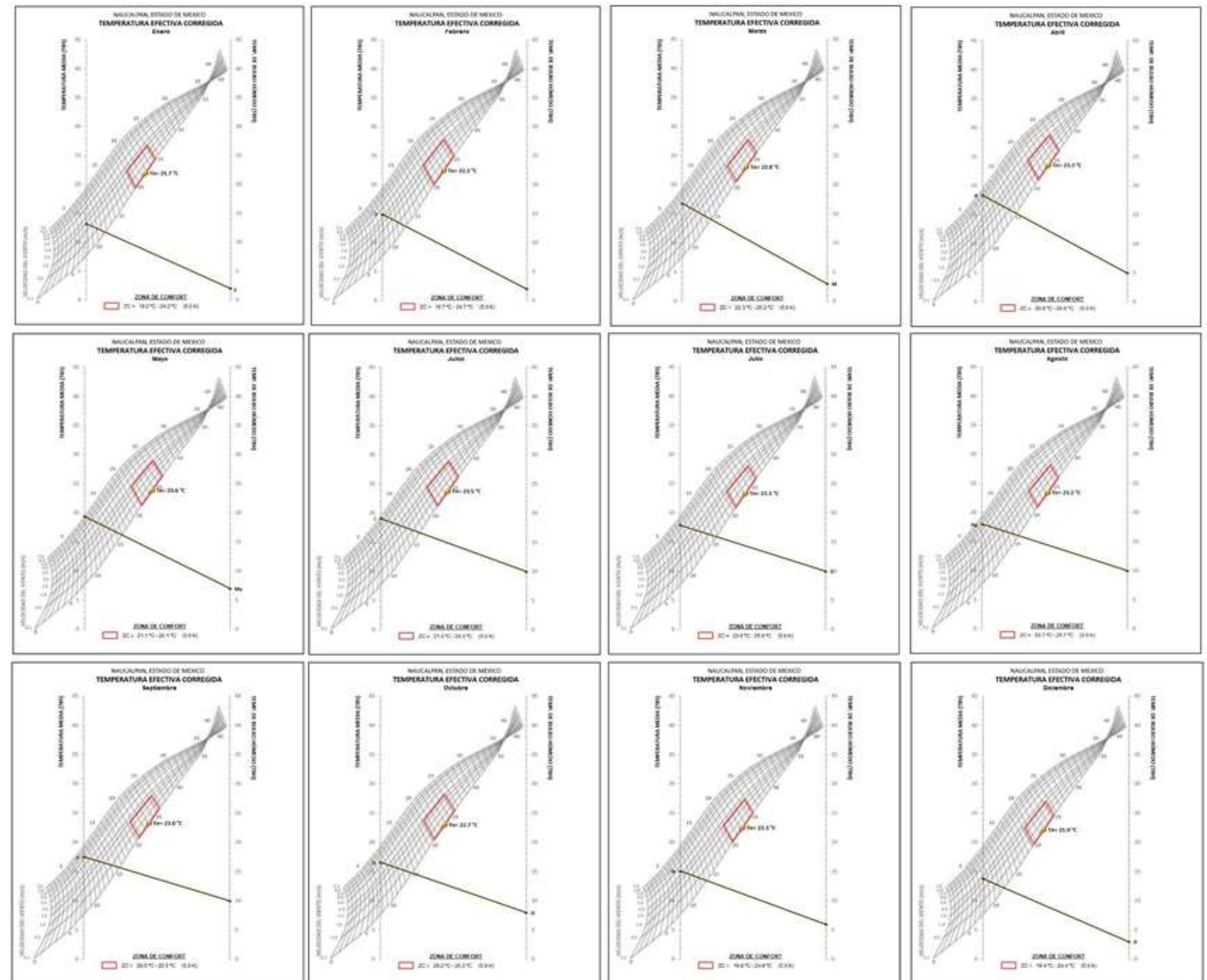


Figura 40. Gráfica de análisis mensual de temperatura efectiva corregida. Fuente: BAT. Dr. Víctor Fuentes F.

3.10. DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO

A continuación, se muestra el diagrama bioclimático anual elaborado con los siguientes valores (Figura 41):

- Temperatura Neutra mensual en base al nivel metabólico: 22.8 °C. La temperatura neutra se calculó con la ecuación de Auliciems y Szokolay.
- Trazo Higrométrico Anual:
Temperatura máxima-Humedad relativa mínima 24.7°C – 37.1%
Temperatura Mínima-Humedad relativa máxima 8.7°C – 81.7%
- Nivel Metabólico: Se considera una actividad de bajo metabolismo, considerando que son alumnos sentados tomando clase = 130 W.

Resultados:

Ventilación: Por la tarde en primavera y verano, durante los meses de abril, mayo y junio, respectivamente - Se requiere ventilación natural, con una velocidad de viento en un rango de entre 0.25m/s a 0.50m/s.

Humedad relativa: Por la tarde en primavera y verano, durante los meses de abril, mayo y junio, respectivamente - Se requiere humidificación del ambiente: en Abril, cercano a 1.5 g, en Mayo de 2 g y en Junio de 1 g por cada kg de aire. De forma general, a lo largo del año, por las mañanas la humedad relativa excede el 70%; sin embargo, considerando que la temperatura es baja, no se recomienda la ventilación natural. Conforme la mañana avanza, la humedad relativa se reducirá por debajo del 70% aproximadamente después de las 09:00 hrs. De forma particular, por las mañanas: durante la primavera, en el mes de mayo; en el verano, en los meses de junio-julio-agosto-septiembre; en el otoño, en el mes de octubre la humedad relativa sobrepasa el 80%.

Radiación solar: A lo largo del año, por las tardes se requiere evitar la radiación directa. Considerando las estaciones, se puede decir que, durante el verano, otoño e invierno, por la tarde la temperatura se encuentra en zona de confort. Por lo que se debe de evitar la radiación directa para no sobrecalentar los espacios; durante la primavera y parte del verano: marzo, abril, mayo y junio, respectivamente, la temperatura está por encima de la zona de confort, lo que se acentúa la necesidad de evitar la radiación directa. Por otro lado, a lo largo del año, en la mañana se requieren ganancias térmicas. En primavera y verano hasta aproximadamente las 10:00 hrs; en otoño e invierno, aproximadamente hasta las 11:00 hrs

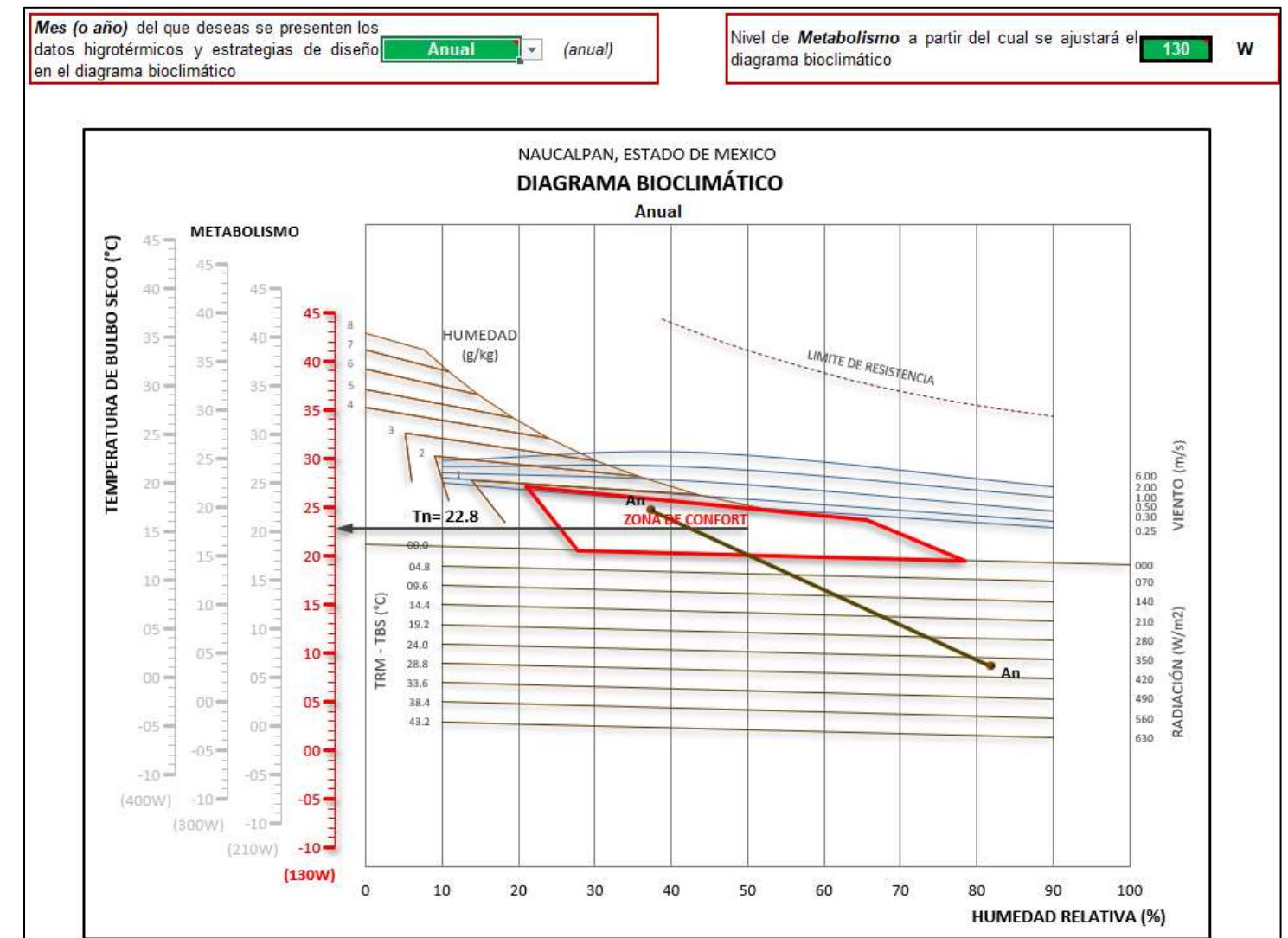
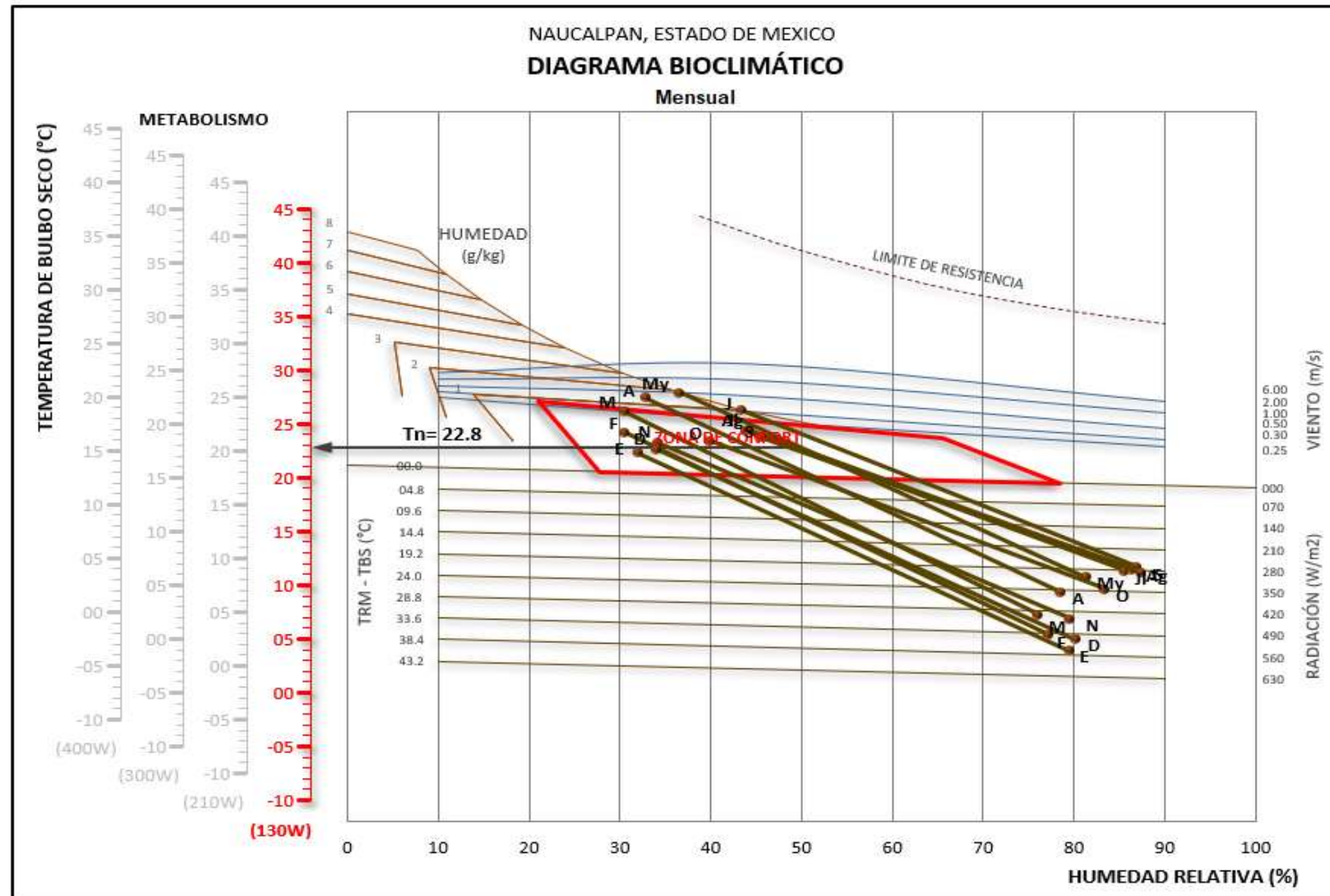


Figura 41. Gráfica anual de diagrama bioclimático. Fuente: BAT. Dr. Víctor Fuentes F.

Mes (o año) del que deseas se presenten los datos higrotérmicos y estrategias de diseño (mensual) en el diagrama bioclimático

Nivel de **Metabolismo** a partir del cual se ajustará el diagrama bioclimático W



3.11. TABLAS DE MAHONEY

Las principales recomendaciones que sugiere la tabla de Mahoney hacen referencia a una configuración reducida de los espacios e implementar un concepto de patio compacto; sugiere no ofrecer ventilación en exceso e integrar ventanas pequeñas que permitan una ganancia solar directa mínima; promueve la adecuada implementación de dispositivos de control solar de manera permanente y sistemas constructivos con masividad que permitan un retardo térmico superior a las 8 hrs. La siguiente Tabla 21 ofrece una muestra de las estrategias sugeridas con referencias gráficas.

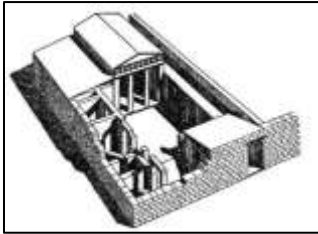
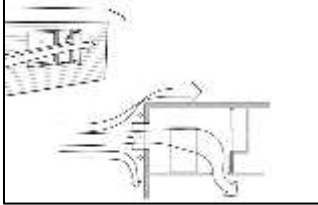

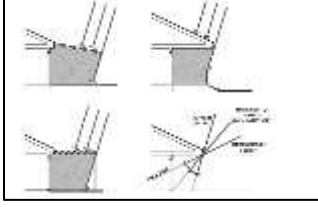
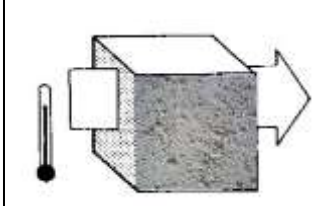
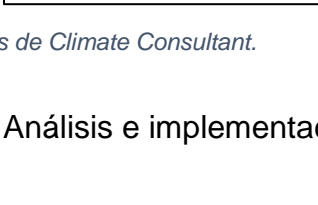

	No.	RECOMENDACIONES	
DISTRIBUCIÓN	1		
	2	Concepto de patio compacto	
ESPACIAMIENTO	3		
	4		
	5	Configuración compacta	
VENTILACIÓN	6		
	7		
	8	Ventilación NO requerida	
TAMAÑO DE ABERTURAS	9		
	10		
	11		
	12	Muy Pequeñas (10% - 20%)	
POSICIÓN DE ABERTURAS	14		
	15		
PROTECCIÓN DE ABERTURAS	16	Sombreado total y permanente	
	17	Sombreado total y permanente	
MUROS Y PISOS	18		
	19	Masivos (arriba de 8 h de retardo térmico)	
TECHUMBRE	20		
	21		
	22	Masiva (arriba de 8 h de retardo térmico)	
ESPACIOS NOCTURNOS EXT.	23		
	24	Grandes drenajes pluviales	

Tabla 21. Tablas de Mahoney. Fuente: BAT. Dr. Víctor Fuentes F. con imágenes de Climate Consultant.

3.12. GRÁFICA PSICROMÉTRICA

De acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad relativa mensual, se realizó la siguiente Tabla 22, que muestra las posibles estrategias a implementar de acuerdo al porcentaje de horas mensuales requeridas para llegar a la zona de confort. Cabe señalar que se consideró un horario de uso habitable de las 07:00 – 17:00 hrs. correspondiente al periodo de uso de los espacios escolares en nivel primaria turno matutino.

	ESTRATEGIA / REQUERIMIENTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC
1	CONFORT	13%	22%	19%	33%	49%	57%	50%	60%	52%	51%	34%	19%
2	SOMBREADO / PROTECCIÓN SOLAR	19%	37%	39%	49%	49%	30%	25%	24%	18%	22%	22%	21%
5	ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO DIRECTO	21%	25%	34%	33%	29%	10%					10%	19%
9	GANANCIA INERNA DE CALOR	32%	33%	33%	29%	21%	32%	44%	38%	45%	39%	41%	37%
13	SOLU HUMIDIFICACIÓN	28%	23%	24%	13%	6%						11%	26%

Tabla 22. Requerimientos y estrategias para llegar a zona de confort. Elaboración propia con datos de Climate Consultant.

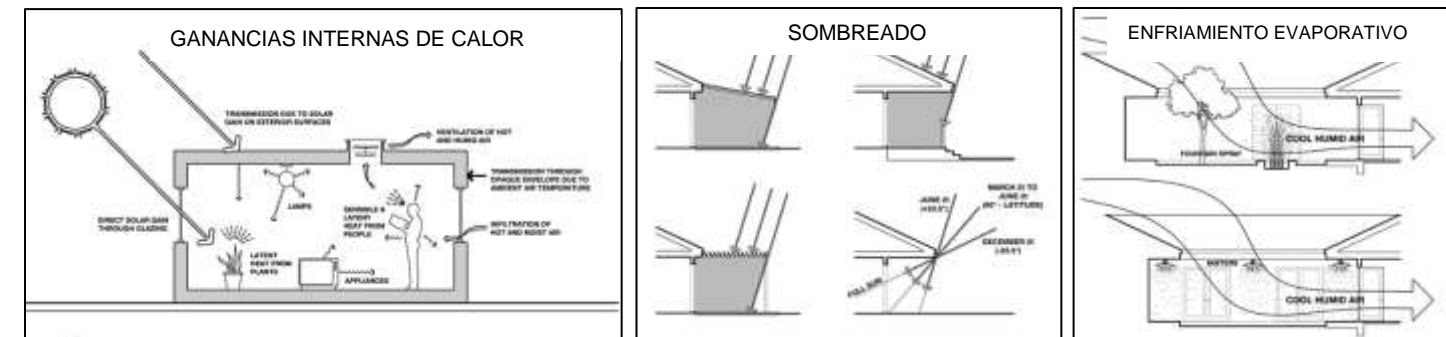


Figura 43. Representación de estrategias pasivas para conseguir confort térmico. Fuente: Climate Consultant.

Las siguientes gráficas de las Figuras 45-49 corresponden a los meses críticos ENERO-DICIEMBRE, MARZO-JUNIO, complementan la visualización del comportamiento de la humedad relativa y la temperatura, así como las condiciones de confort relacionadas con las estrategias a implementar.

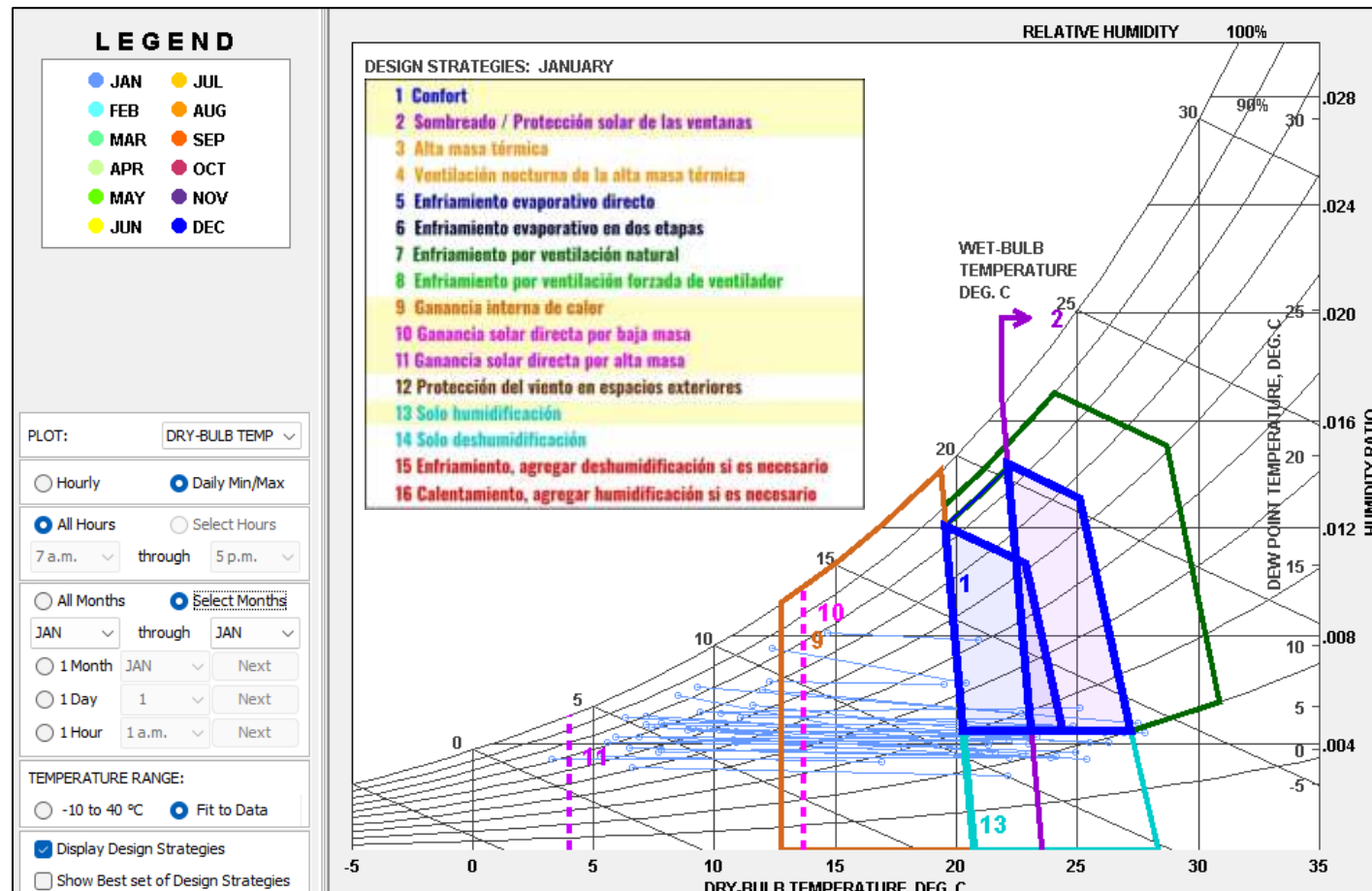


Figura 45. Gráfica psicrométrica Enero. Fuente: Climate Consultant. (Parallels Software International, s/f)

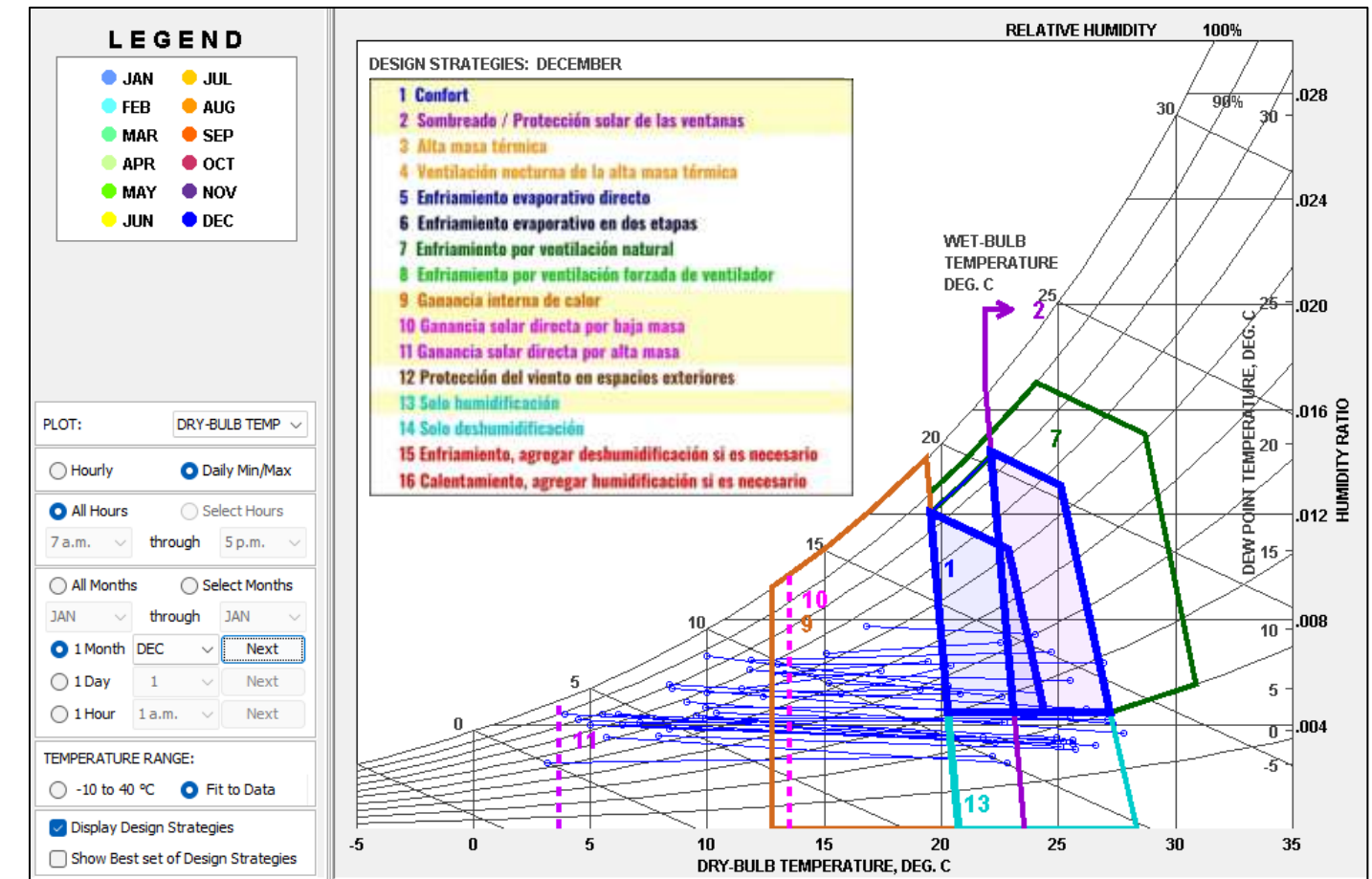


Figura 44. Gráfica psicrométrica Diciembre. Fuente: Climate Consultant (Parallels Software International, s/f).

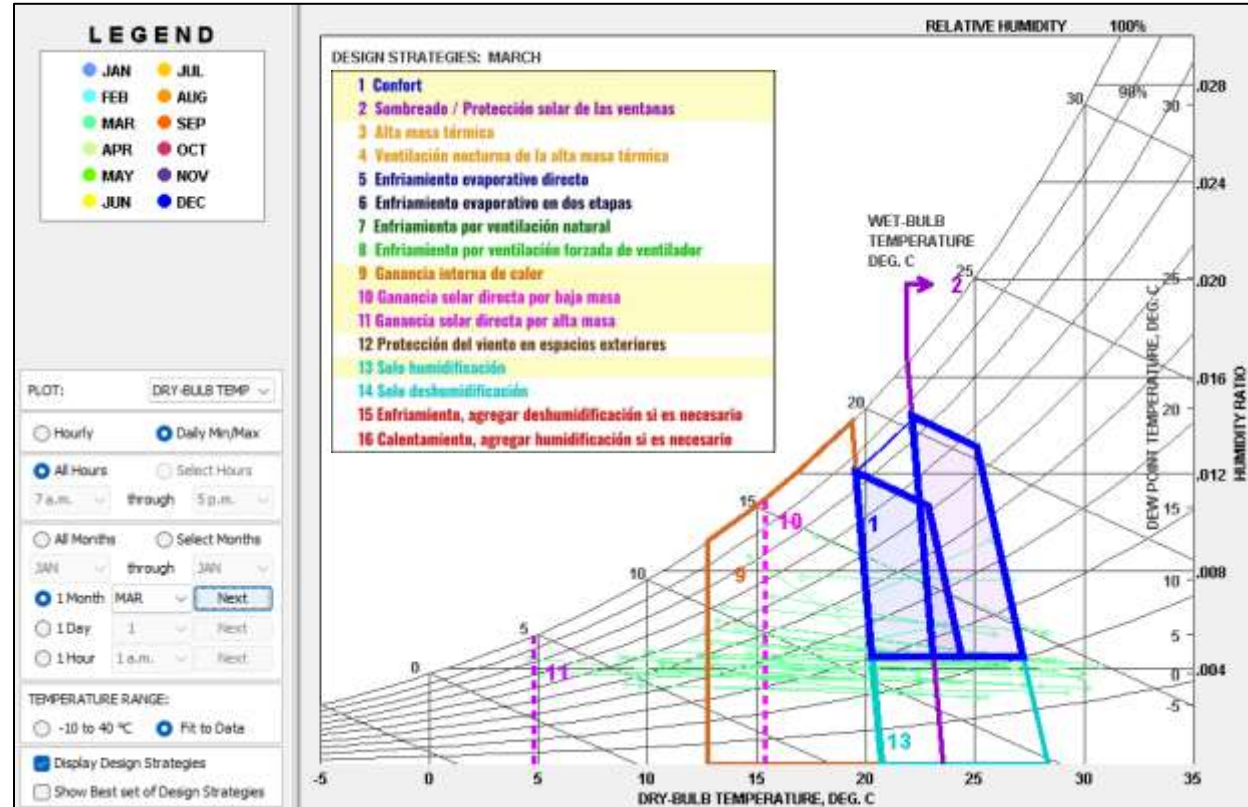


Figura 46. Gráfica psicrométrica Marzo. Fuente: Climate Consultant. (Parallels Software International, s/f)

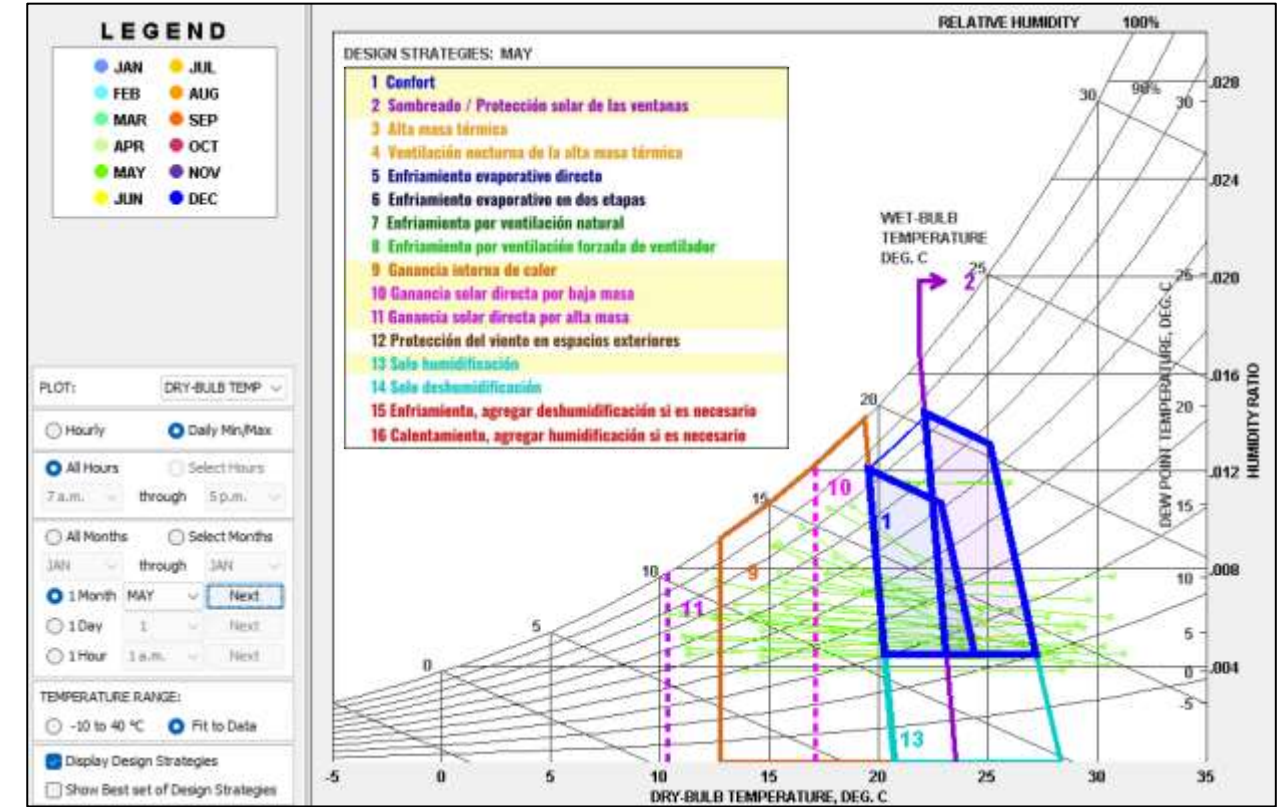


Figura 48. Gráfica psicrométrica Mayo. Fuente: Climate Consultant. (Parallels Software International, s/f)

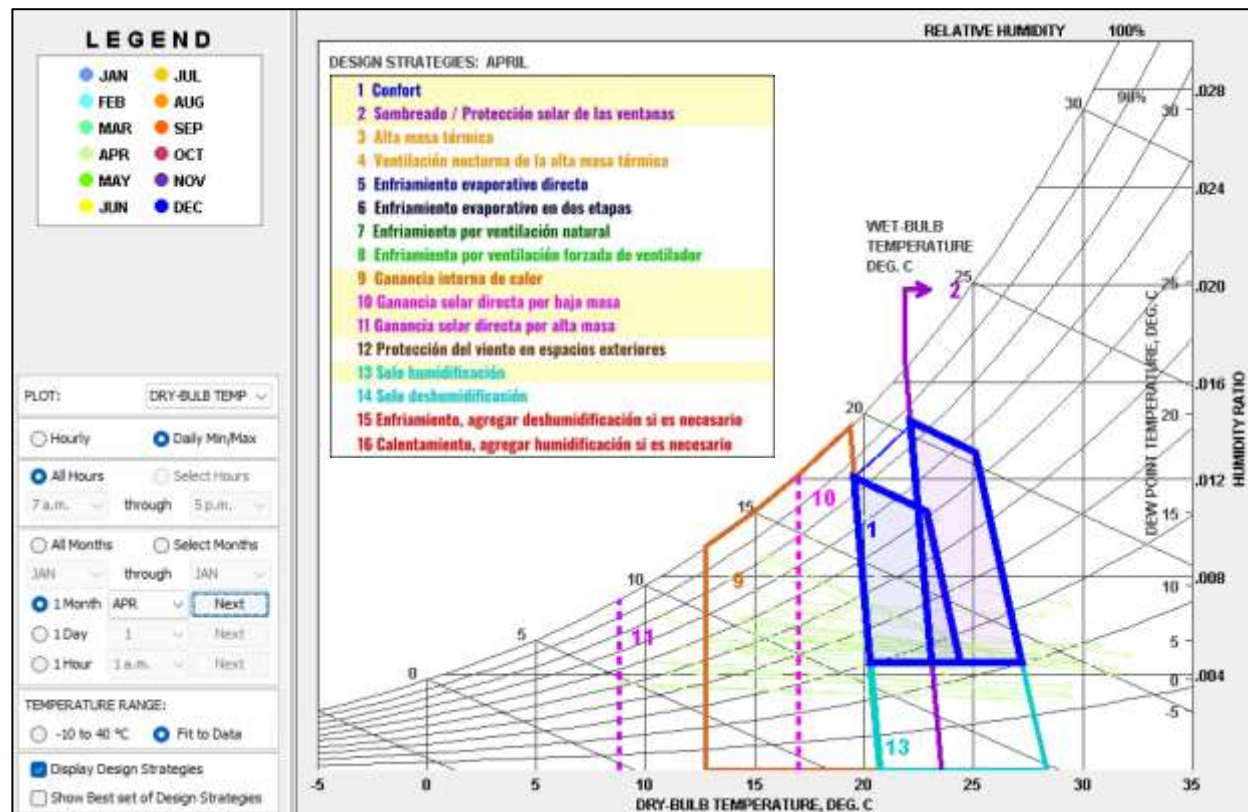


Figura 47. Gráfica psicrométrica Abril. Fuente: Climate Consultant. (Parallels Software International, s/f)

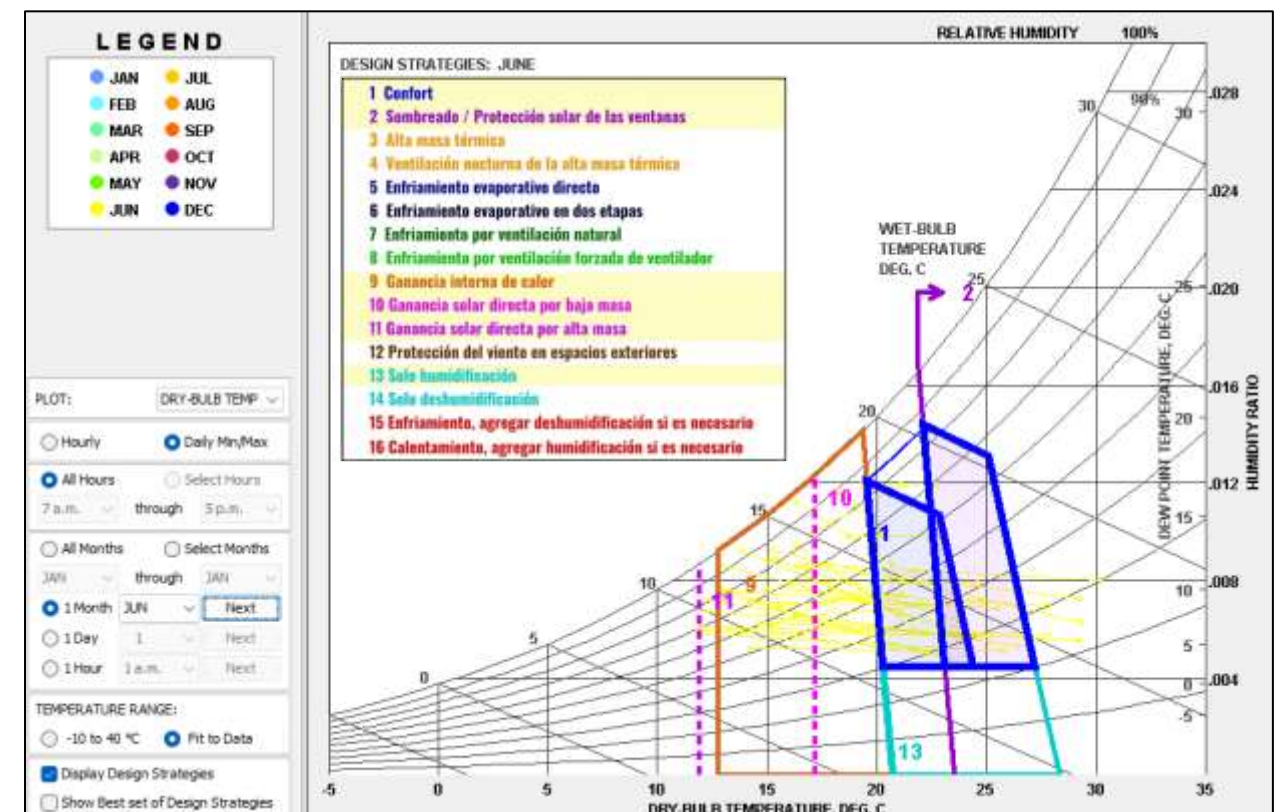


Figura 49. Gráfica psicrométrica Junio. Fuente: Climate Consultant. (Parallels Software International, s/f)

3.13. CONCLUSIONES

El sitio de estudio se caracteriza por un clima templado subhúmedo (C(W1)), con lluvias en verano. La temperatura media anual oscila entre los 12°C y los 18°C, con una mínima de 4°C en enero y una máxima de 28°C en mayo. La temperatura neutra es de 22.77°C, mientras que la zona de confort se encuentra entre 20.37°C y 25.27°C. La mayor parte del año presenta la necesidad de calefacción desde el amanecer hasta alrededor del mediodía. La humedad relativa anual varía entre el 52% y el 65%.

El rango promedio de radiación anual va de 150 a 750 W/m², con picos de hasta 900 W/m² en primavera. Este alto nivel de radiación en meses cálidos requiere estrategias de control solar para evitar sobrecalentamiento y deslumbramiento, especialmente en las tardes. La iluminación directa mensual promedio es de 38,000 lux, con una global de 48,000 lux, lo que favorece el uso de iluminación natural en el diseño arquitectónico.

La velocidad promedio del viento es de 1.7 m/s, con máximos de 4 m/s, predominando los vientos del oeste y suroeste. Estas condiciones sugieren aprovechar la ventilación natural en el diseño para los meses cálidos, considerando la orientación de los edificios hacia las direcciones dominantes del viento. El nivel de precipitación anual es de 831.8 mm, con lluvias concentradas entre mayo y septiembre, lo que sugiere la incorporación de sistemas de recolección de agua pluvial en el proyecto.

Estrategias sugeridas por las herramientas de análisis bioclimático

El análisis de temperatura efectiva corregida indica que el sitio se encuentra la mayor parte del año por debajo de la zona de confort. El diagrama bioclimático indica requerimientos de ventilación natural y humidificación por las tardes en meses calurosos (Abril a Junio) y sugiere limitar la radiación solar directa después del medio día para no sobrecalentar los espacios, pero si permitir la incidencia por las mañanas para ganar calor interior, en primavera y verano hasta aproximadamente las 10 am y en otoño e invierno hasta aprox. 11 am.

Las tablas de Mahoney sugieren una configuración compacta para reducir la exposición al viento frío y minimizar pérdidas de calor en invierno, con ventanas cuidadosamente ubicadas y dimensionadas para optimizar la ventilación controlada y la entrada de luz natural; así como la implementación de dispositivos de control solar adecuados como aleros y persianas, para maximizar la ganancia solar en invierno y minimizarla en verano solar sin llegar al sobrecalentamiento y deslumbramiento. De igual manera sugiere sistemas constructivos masivos que permitan el retardo de a transferencia térmica con el exterior y mejorar el confort térmico.

Finalmente, la gráfica psicrométrica muestra los requerimientos y estrategias para llegar a una zona de confort durante todo el año. Estas estrategias están divididas en cuatro categorías: Confort, Sombreado/Protección Solar, Ganancia Interna de Calor y Humidificación, y se expresan como porcentajes mensuales. Durante los meses de menor temperatura, las principales necesidades son de ganancia de calor y humidificación, mientras que en los meses cálidos se enfoca en sombreado y protección solar.

En conclusión, el diseño arquitectónico para este sitio debe basarse en la implementación de estrategias de control solar, ventilación natural, y uso de materiales con características de control térmico que permitan mantener un equilibrio durante todo el año. Será crucial aprovechar la radiación solar en invierno y proteger los espacios del sobrecalentamiento en verano, optimizando la orientación y configuración del edificio. Las ventanas y dispositivos de sombreado jugarán un papel fundamental en el control climático del edificio.

4. ANTEPROYECTO ARQUITECTÓNICO

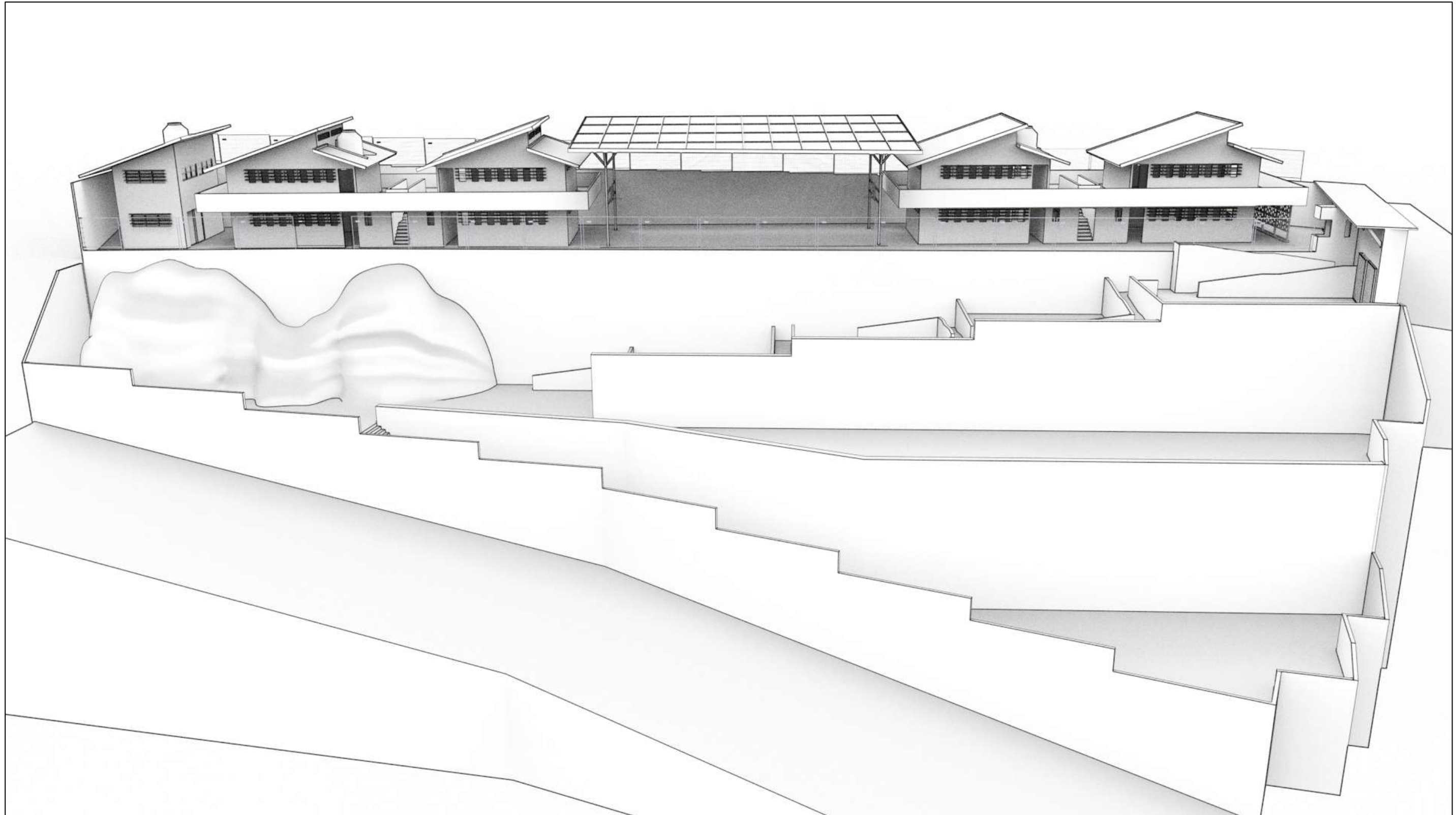


Figura 50. Imagen descriptiva de conjunto arquitectónico nivel Anteproyecto. Fuente: Elaboración propia.

4.1. PROPUESTA CONCEPTUAL

El diseño propone una primera etapa de reconfiguración de edificios sobre la plataforma existente, conformada por bloques de "AULAS TIPO" de 2 niveles, que proporcionan mayor amplitud y nuevos espacios requeridos. En el actual terreno en pendiente se propone la construcción de un estacionamiento, zona de juegos, huerto con áreas verdes y una serie de terrazas multiusos para actividades al aire libre. Éstas últimas están proyectadas para recibir en una segunda etapa el mismo módulo de AULA TIPO en caso de incrementar la matrícula escolar.

Basado en las estrategias y recomendaciones procedentes del análisis climático y la información resultante de los nomogramas, la propuesta será conservar zonas compactas en el bloque de aulas, implementar ventanas pequeñas que permitan ganancia solar directa mínima a la vez de limitar la ventilación en exceso; corredores y volados amplios que limiten permanentemente la radiación solar directa, sistema constructivo de muros masivos para promover retardo térmico y conservar las ganancias internas de calor.



Figura 51. Imagen descriptiva de concepto del conjunto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia

El proyecto tiene el objetivo de ofrecer espacios funcionales, confortables y sustentables. Para cumplir con el objetivo, el proyecto se complementa y desarrolla desde su concepción en estrategias bioclimáticas divididas en 2 categorías principales:

1. Diseño y configuración de la envolvente y el conjunto arquitectónico.
2. Ecotecnologías.

Ambas categorías alineadas a enfrentar los retos que las condiciones climáticas imperantes demandan. La Figura 52 muestra los objetivos a cumplir y las soluciones a implementar en el proyecto orientadas a tales objetivos, que se pueden clasificar como sigue:

1. Energía
2. Agua
3. Residuos sólidos
4. Altas temperaturas y condiciones climáticas extremas.

En cuanto a diseño y configuración de la envolvente y los espacios del conjunto se pretende implementar las estrategias mostradas en la Figura 53, La categoría de ecotecnologías se profundizará con más detalle en el capítulo 11.

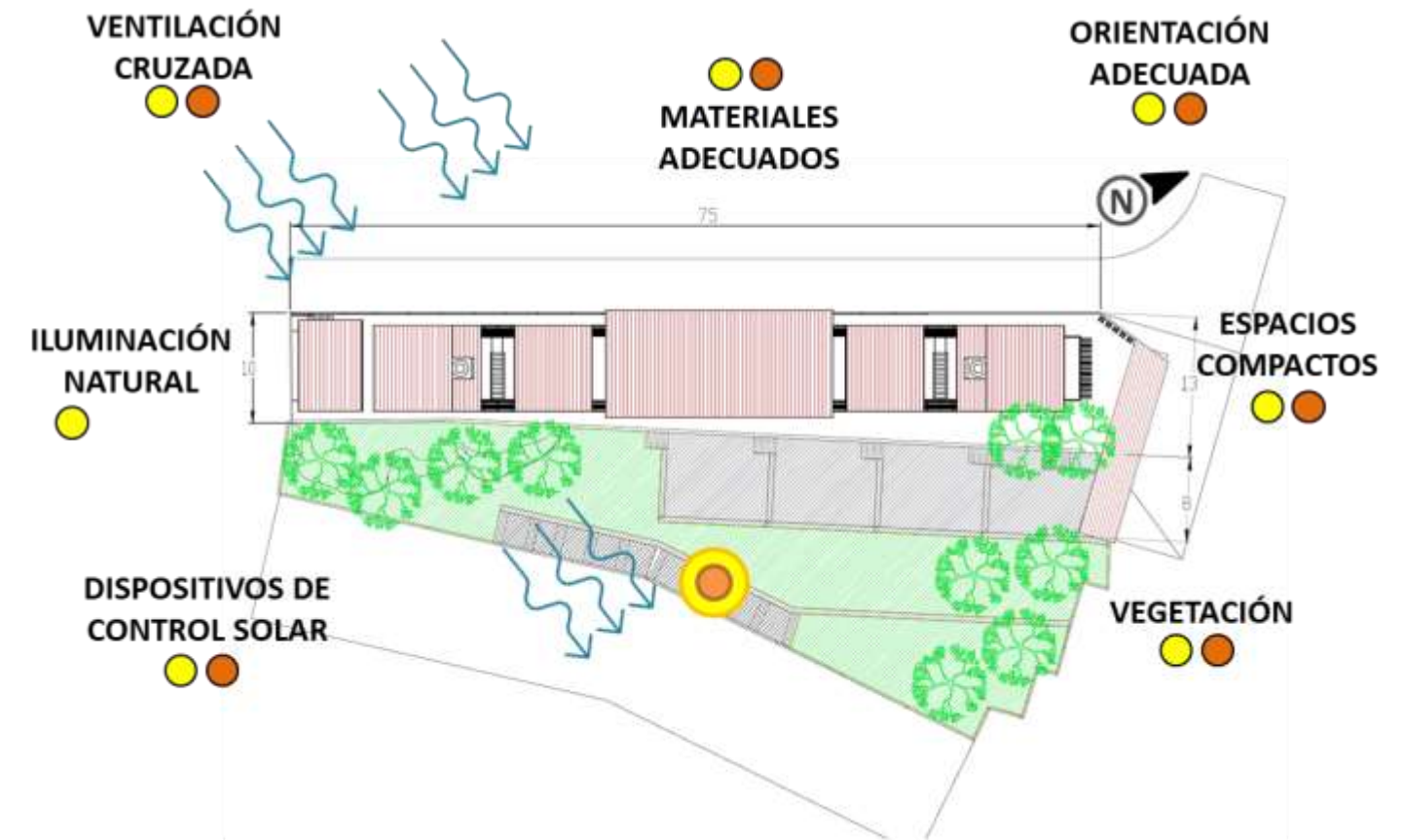


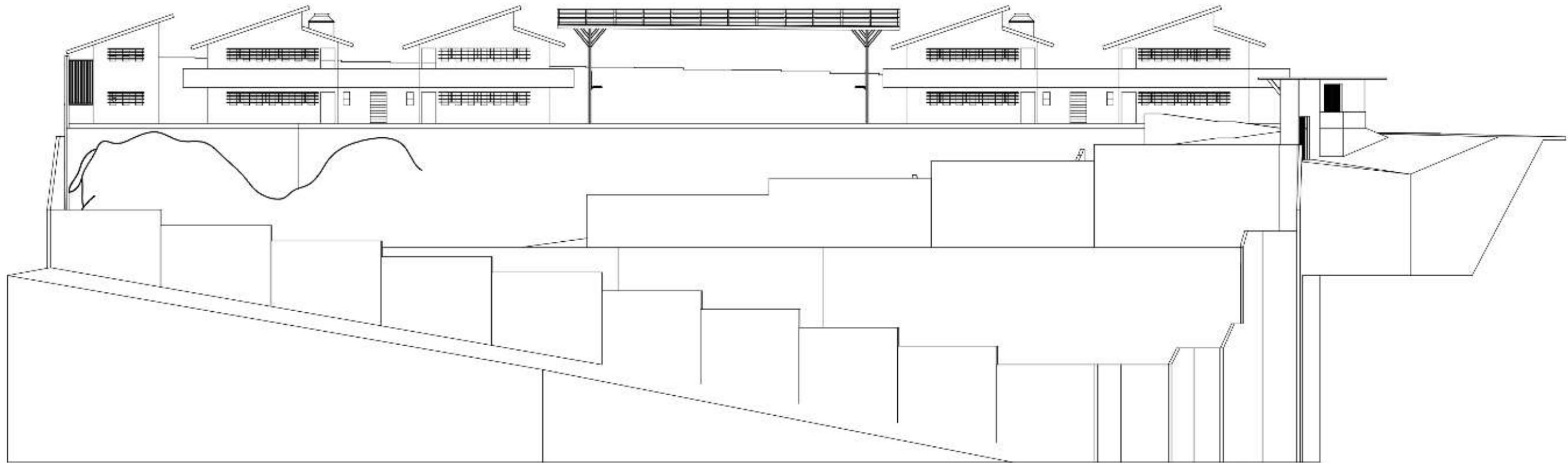
Figura 53. Estrategias pasivas en el conjunto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia

	SOLUCIÓN IMPLEMENTADA	OBJETIVOS
Energía eléctrica E	Iluminación natural Control pasivo de la temperatura Captación de energía solar	Reducción de costos y de huella energética Reducción de huella de carbono Reducción de gases de efecto invernadero
Escases de agua A	Captación de agua pluvial Implementación de biodigestor	Reducción de consumo Fuentes alternativas Reducción de contaminación
Residuos sólidos R	Separación Reciclaje Compostaje	Reducir generación Optimizar recursos
Altas temperaturas T	Orientación adecuada Estrategias pasivas Sistemas constructivos térmicos	Confort higrotérmico

Figura 52. Objetivos y soluciones a implementar con proyecto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia

4.2. PLANOS ARQUITECTÓNICOS

4.2.1. Plano de conjunto



FACHADA DE CONJUNTO

Figura 54. Plano-Fachada de conjunto. Fuente: Elaboración propia

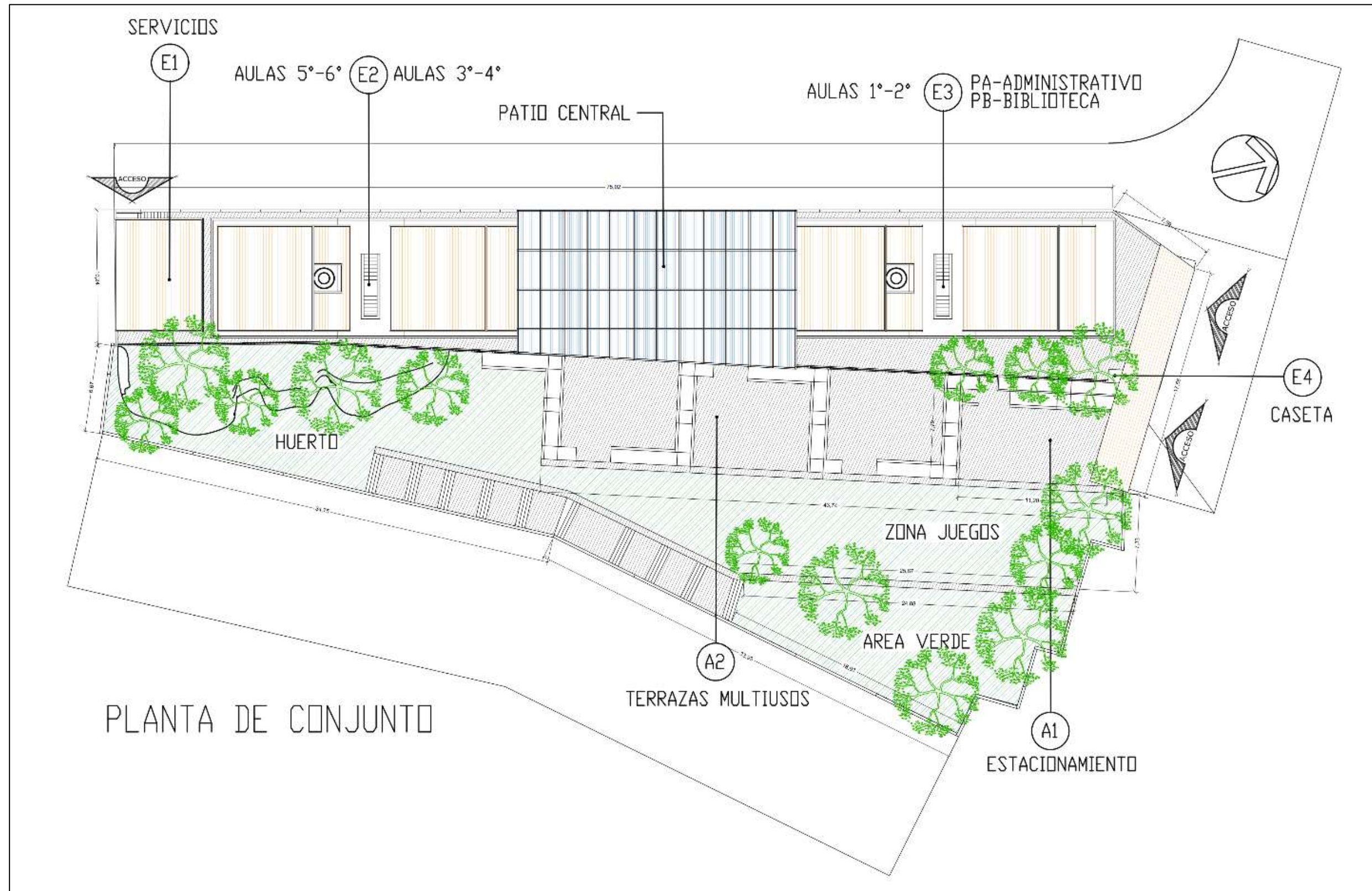


Figura 55. Plano-Planta de conjunto. Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Plano isométrico de conjunto

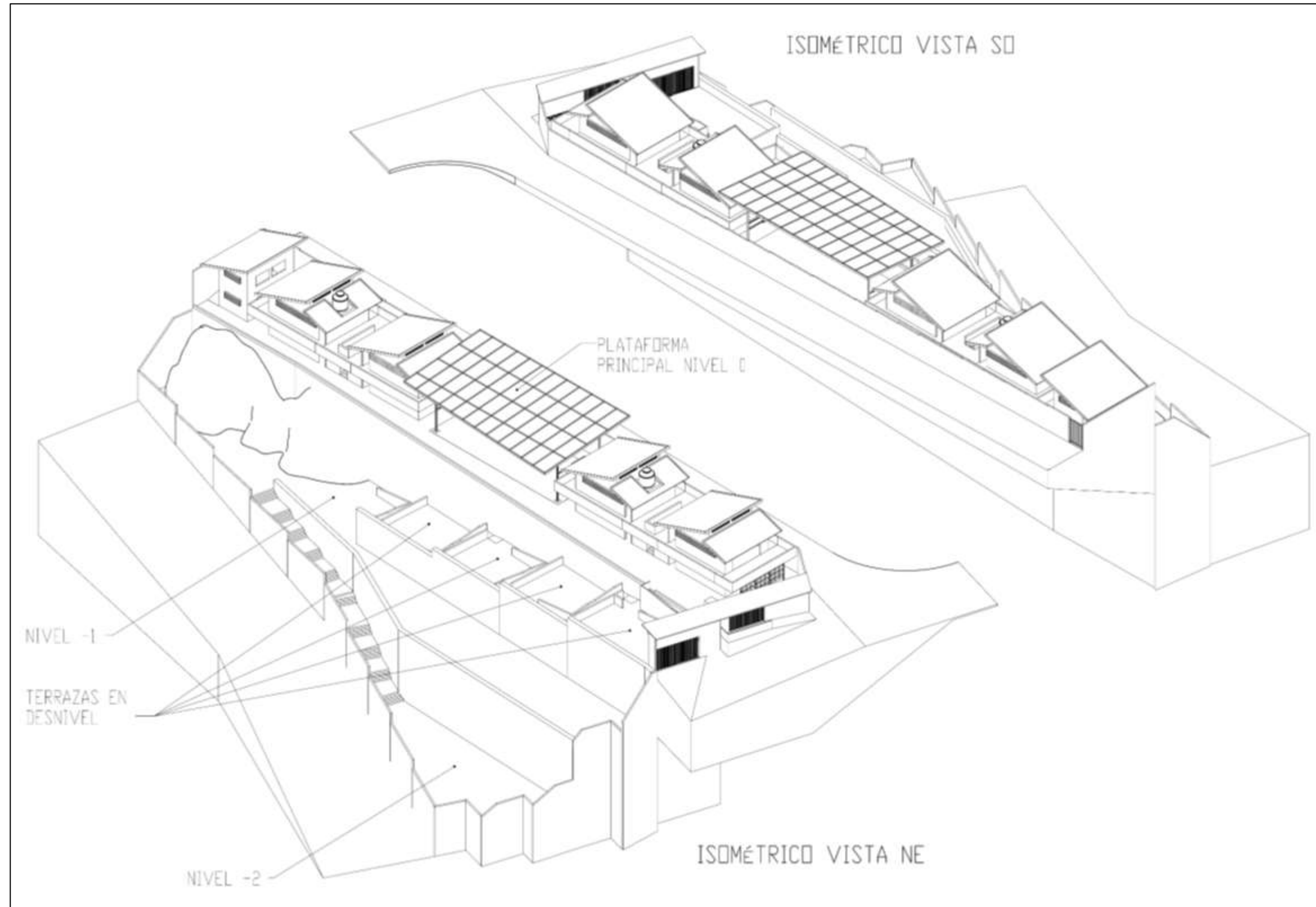


Figura 56. Plano-Isométricos de conjunto. Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Plano de plantas arquitectónicas

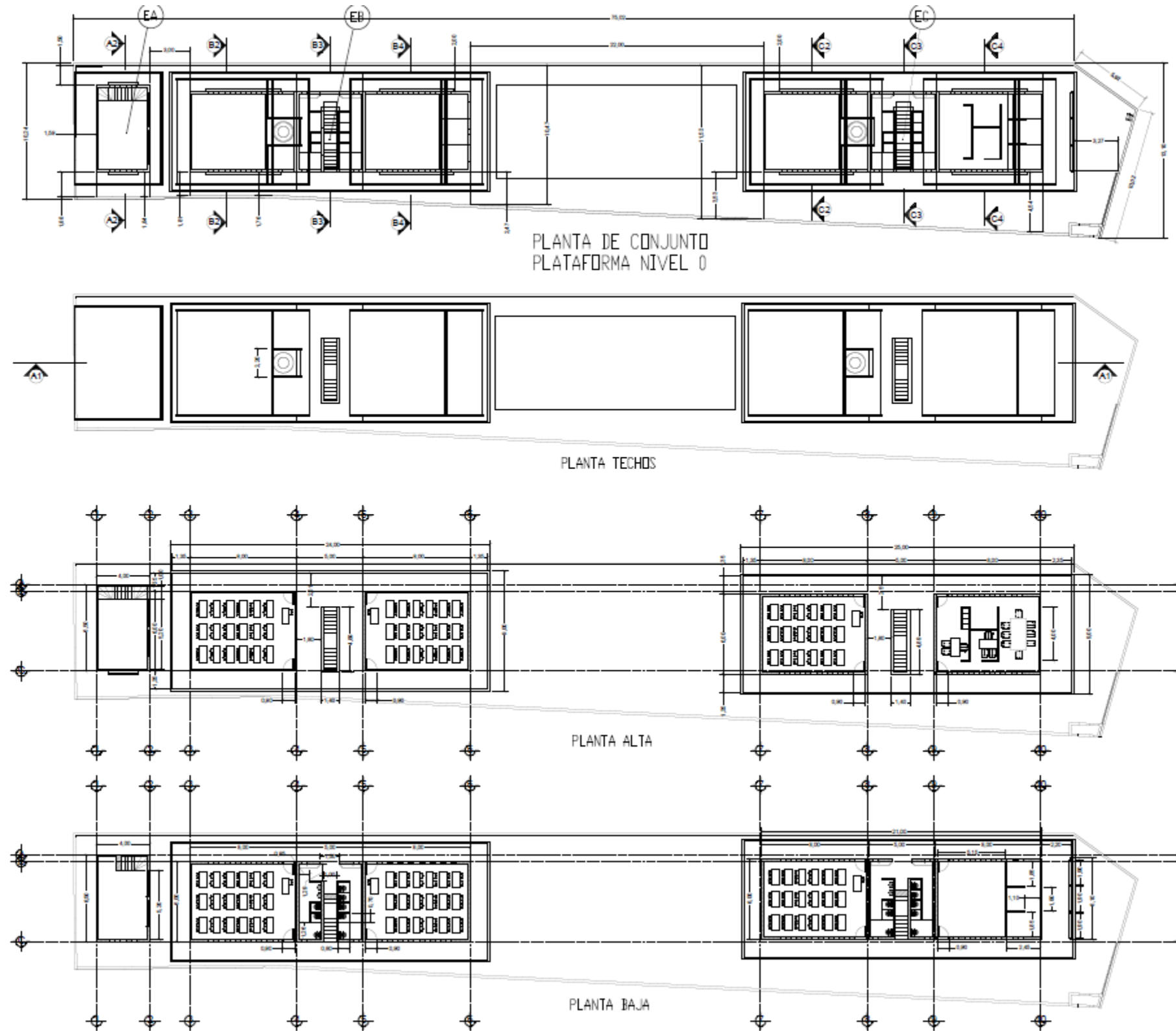


Figura 57. Plano-Plantas arquitectónicas. Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Plano de fachadas

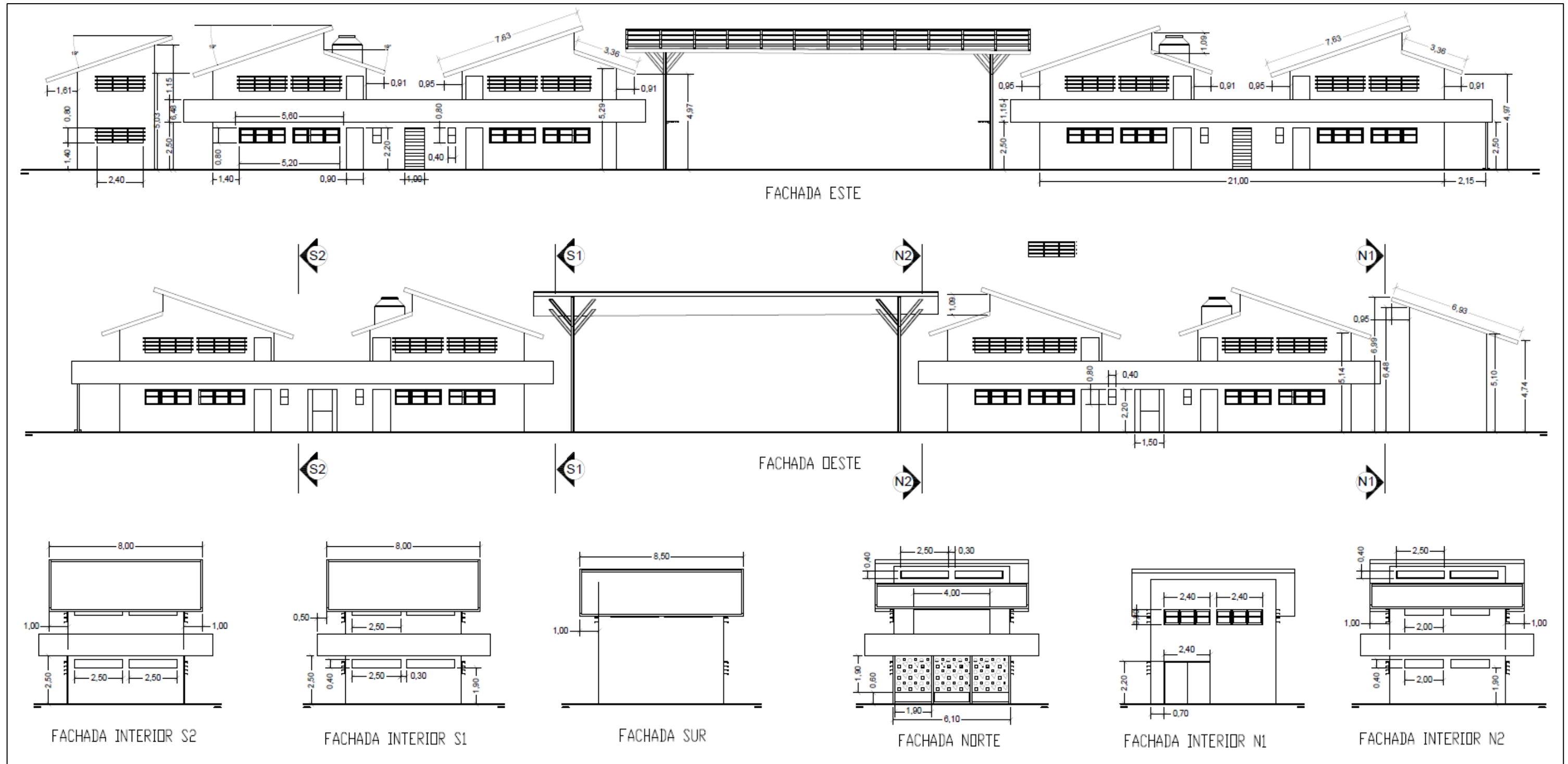


Figura 58. Plano-Fachadas arquitectónicas. Fuente: Elaboración propia

4.2.5. Plano de cortes por fachada y detalles

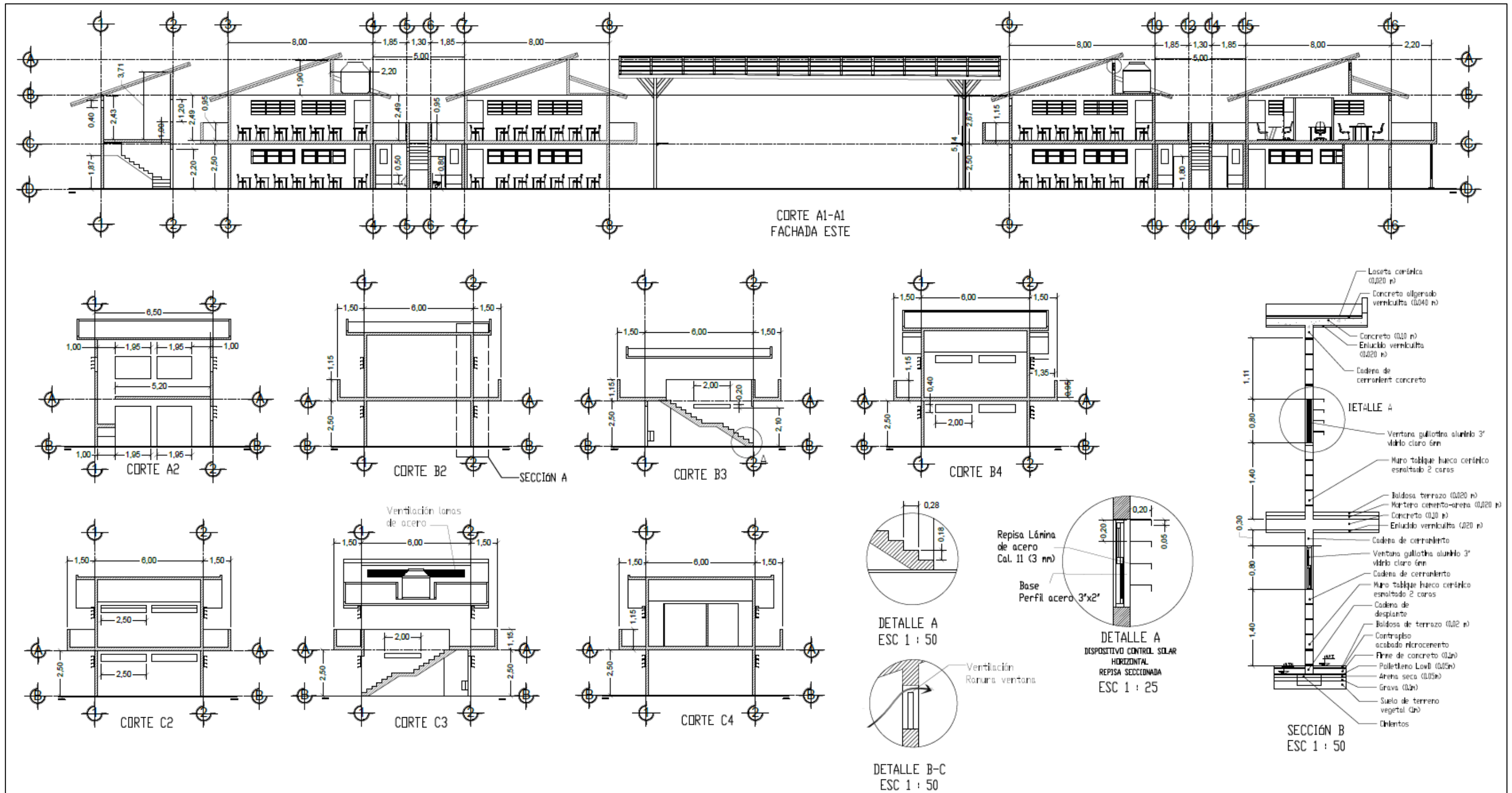


Figura 59. Plano-Cortes por fachada y detalles. Fuente: Elaboración propia

4.2.6. Plano de penetración solar y dispositivos de control

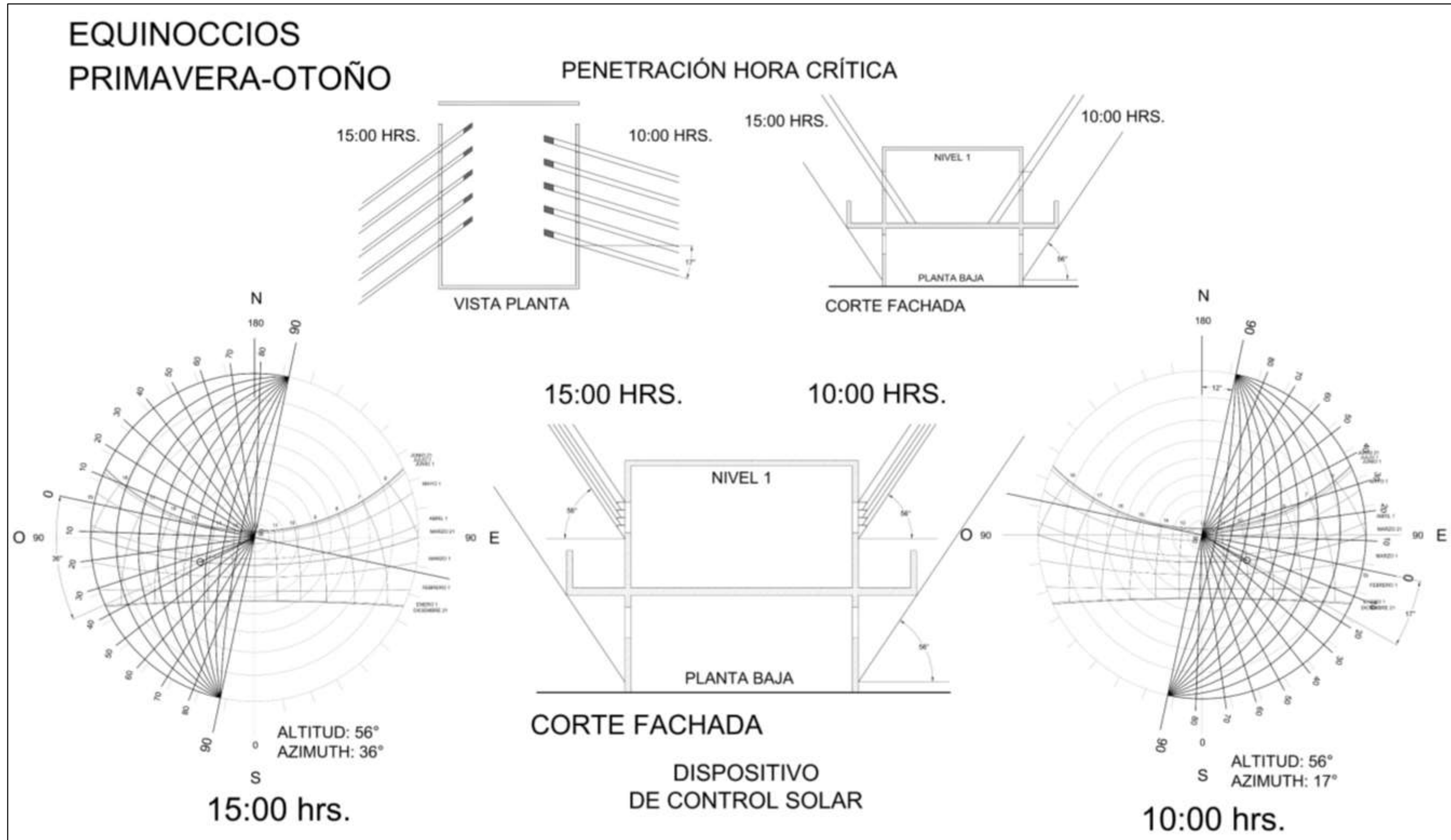


Figura 60. Plano-Análisis de penetración solar y dispositivos de control en Equinoccios. Fuente: Elaboración propia

SOLSTICIO VERANO

PENETRACIÓN HORA CRÍTICA

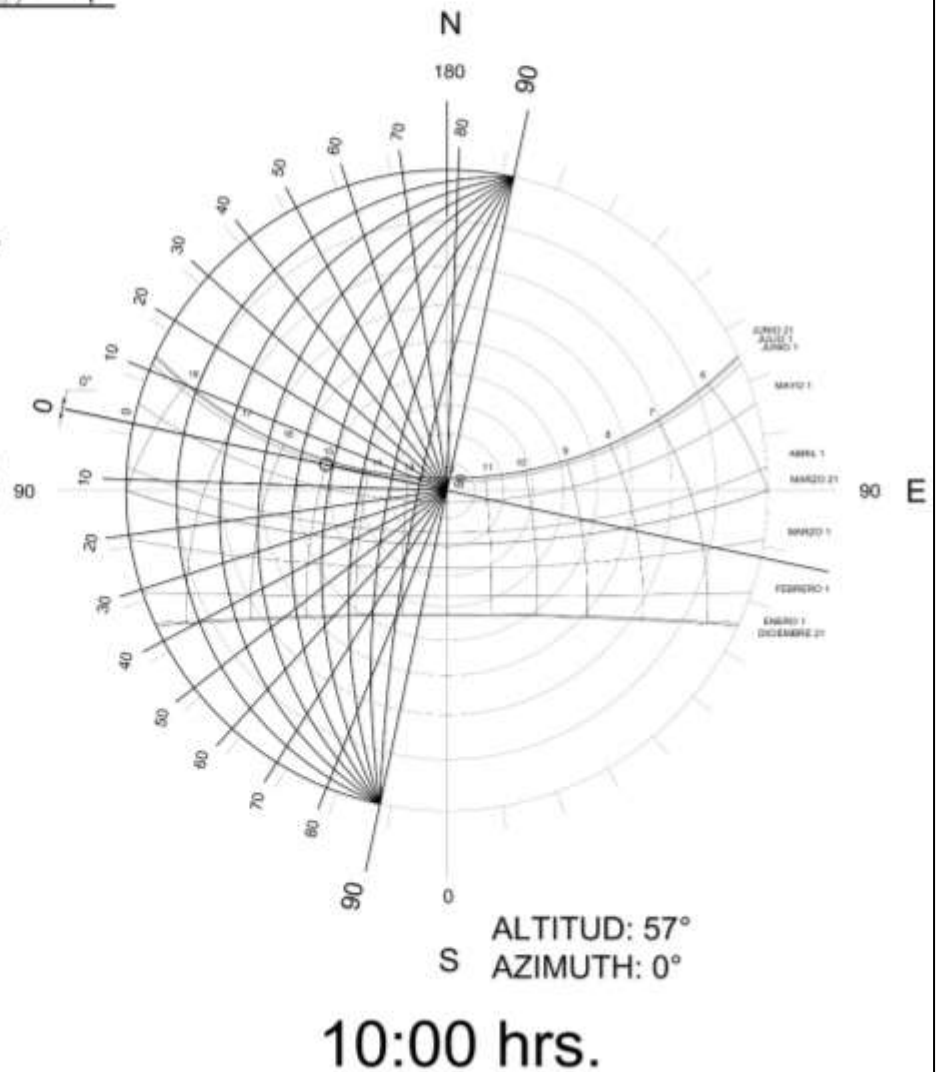
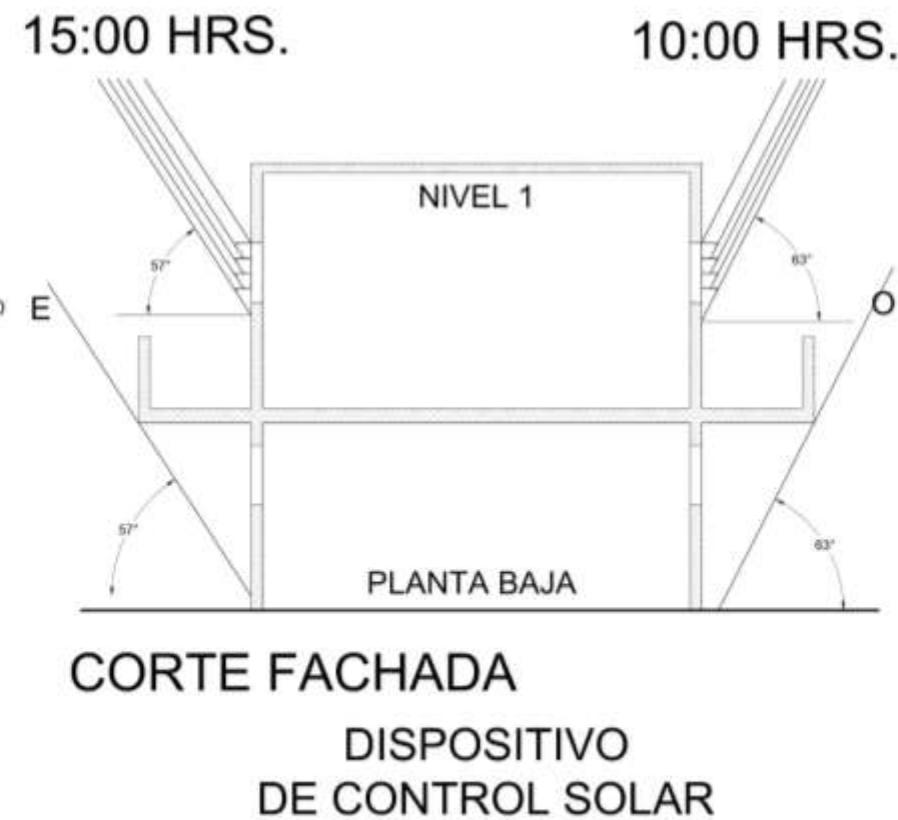
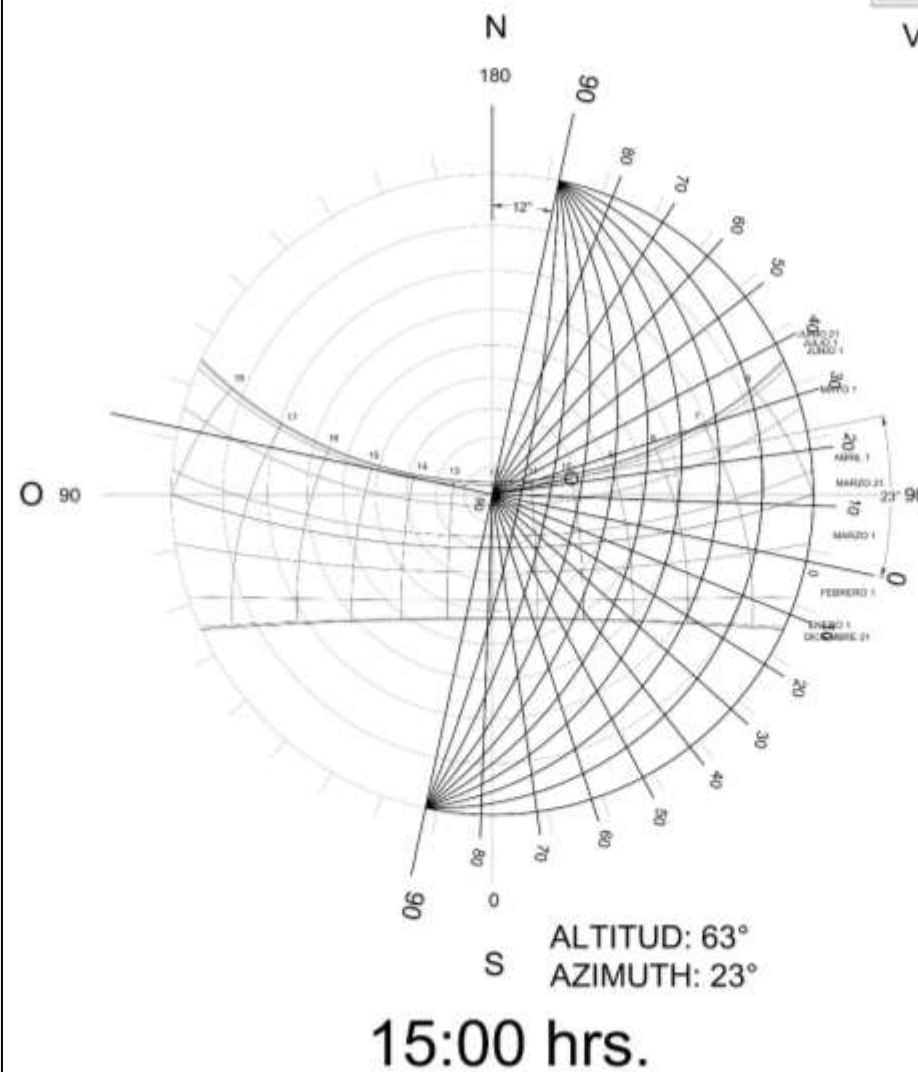
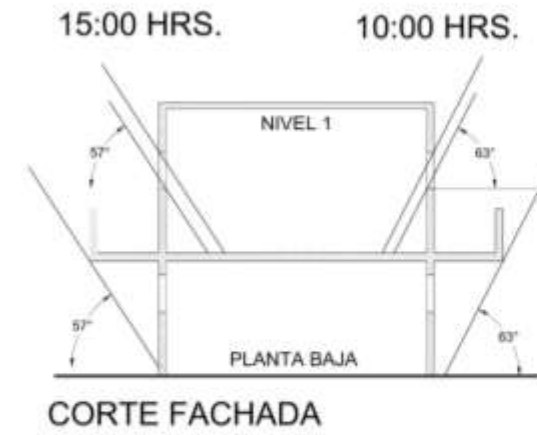
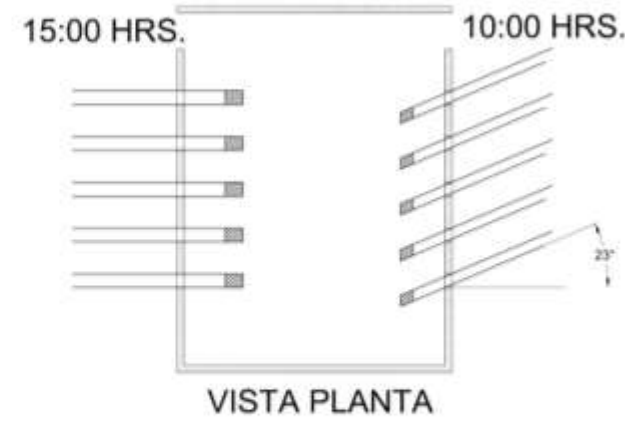


Figura 61. Plano-Análisis de penetración solar y dispositivos de control en Solsticio de verano. Fuente: Elaboración propia

SOLSTICIO INVIERNO

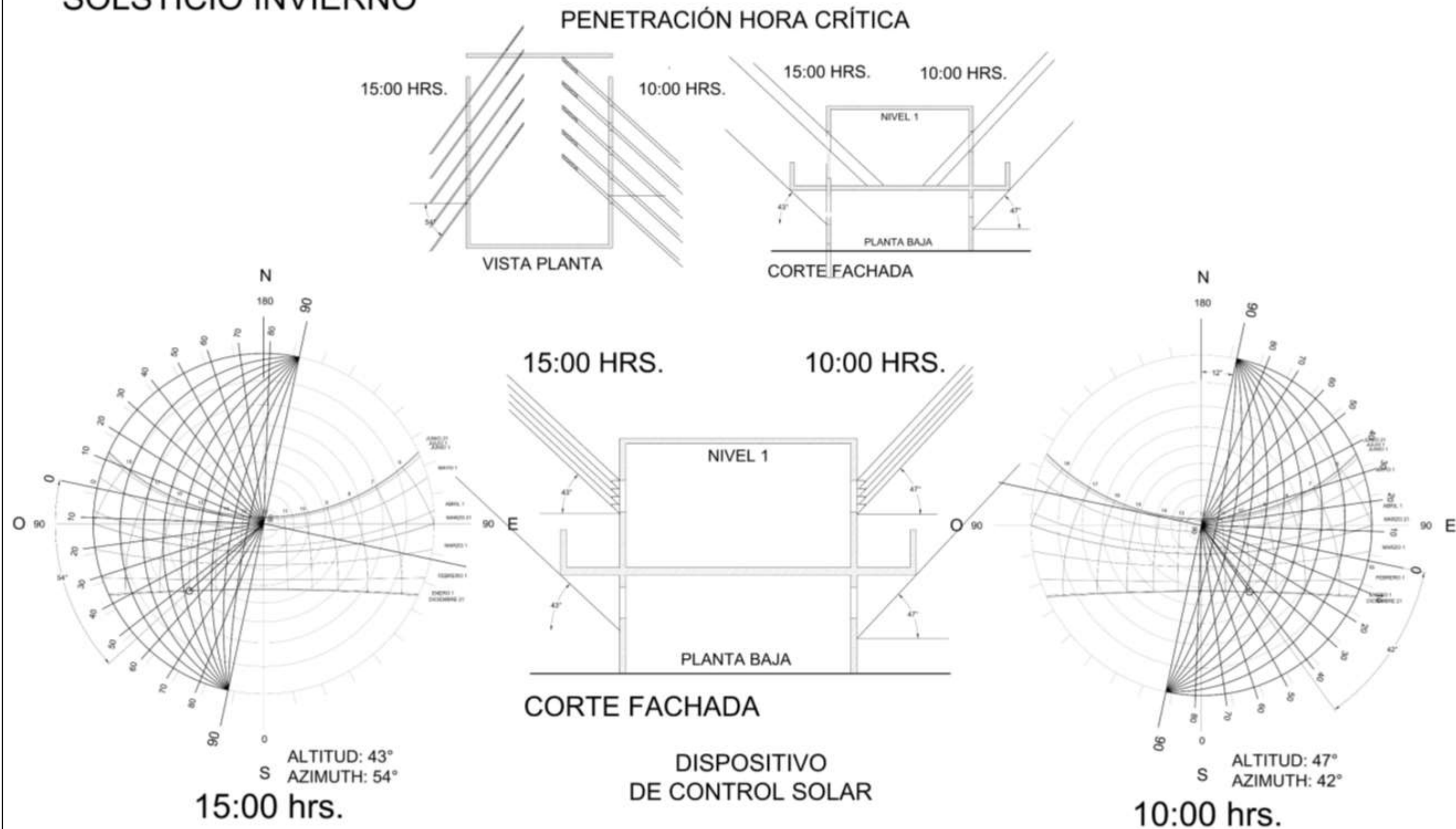


Figura 62. Plano-Análisis de penetración solar y dispositivos de control en Solsticio de invierno. Fuente: Elaboración propia

5. ANÁLISIS DE GEOMETRÍA SOLAR

5.1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento certero del comportamiento de la trayectoria solar en el emplazamiento arquitectónico es un proceso fundamental para la proyección pues permite aprovechar de la mejor manera los aportes lumínicos, térmicos y energéticos provenientes del sol. El análisis de este comportamiento celeste involucra el identificar como es que los rayos solares interactúan con el edificio proyectado a lo largo del día y a lo largo del año.

Estas consideraciones determinarán la orientación correcta de las fachadas y el diseño general del proyecto, pues incide directamente en la ubicación de las aberturas, cerramientos, alturas, materiales y sistemas constructivos particulares de los componentes de la envolvente.

Lo anterior con la finalidad de aprovechar y controlar los recursos de luz, calor y energía para proveer de espacios funcionales, confortables, saludables y sostenibles.

Este análisis de trayectoria solar, en realidad trata de un análisis de los movimientos de traslación y rotación de la tierra, de la inclinación que ella posee con respecto al ecuador terrestre ($23^{\circ} 26' 21.448''$) y de las coordenadas de localización geográfica (Latitud y Longitud) del sitio de estudio. Información con la cual es posible localizar al sol en un punto de la bóveda celeste mediante la identificación de su posición respecto al plano horizontal y al meridiano del observador (Altura y Acimut).(Fuentes, 2022).

El estudio de la geometría solar puede realizarse de 3 maneras:

1. Mediante métodos gráficos, que no proporcionan información precisa, pero son visualmente comprensibles y traducibles al diseño con fines arquitectónicos.
2. A través de métodos matemáticos utilizados principalmente para estudios técnicos de balances energéticos, evaluación de transferencia térmica y diseño de dispositivos solares, entre otros.
3. Mediante modelos físicos de simulación con maquetas y equipos de análisis solar como el heliodon, que nos permiten la observación cualitativa del comportamiento del sol en los edificios. (Fuentes, 2022).

5.2. CASO DE ESTUDIO

La evaluación de geometría solar en el espacio educativo se concentrará en las aulas tipo localizadas en una sección del edificio B. (Figura 64)

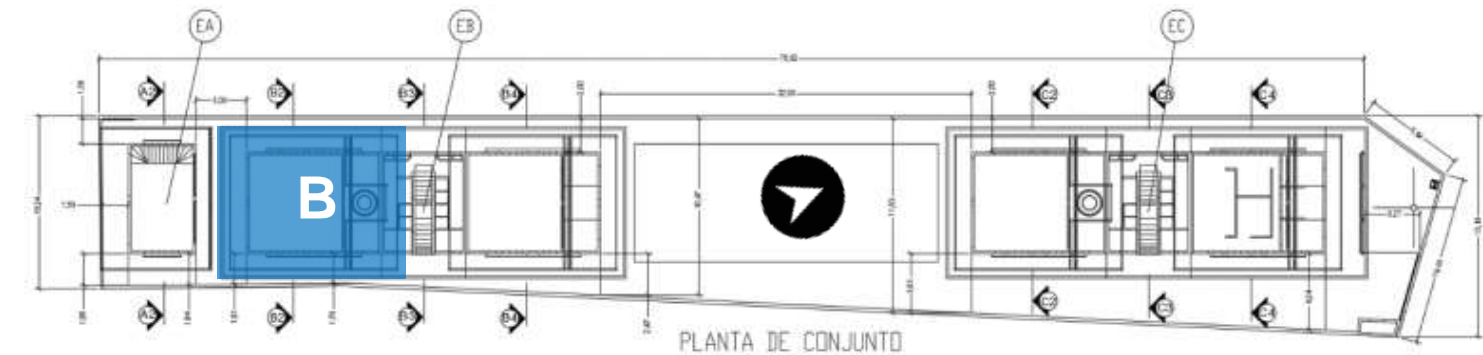


Figura 63. Caso de estudio Geometría solar del conjunto arquitectónico de anteproyecto. Fuente: Elaboración propia.



Figura 64. Sección de edificio B para estudio de geometría solar. Fuente: Elaboración propia.

5.3. TRAYECTORIA SOLAR

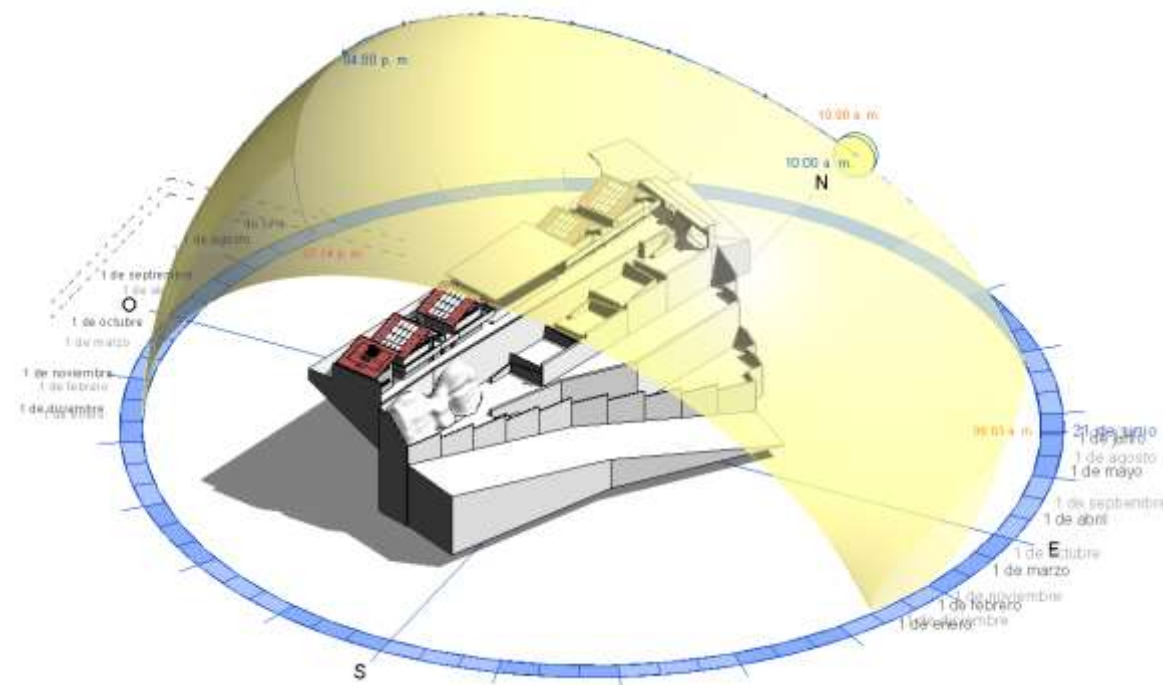


Figura 65. Trayectoria solar del emplazamiento vista SE. Fuente: Elaboración propia en REVIT

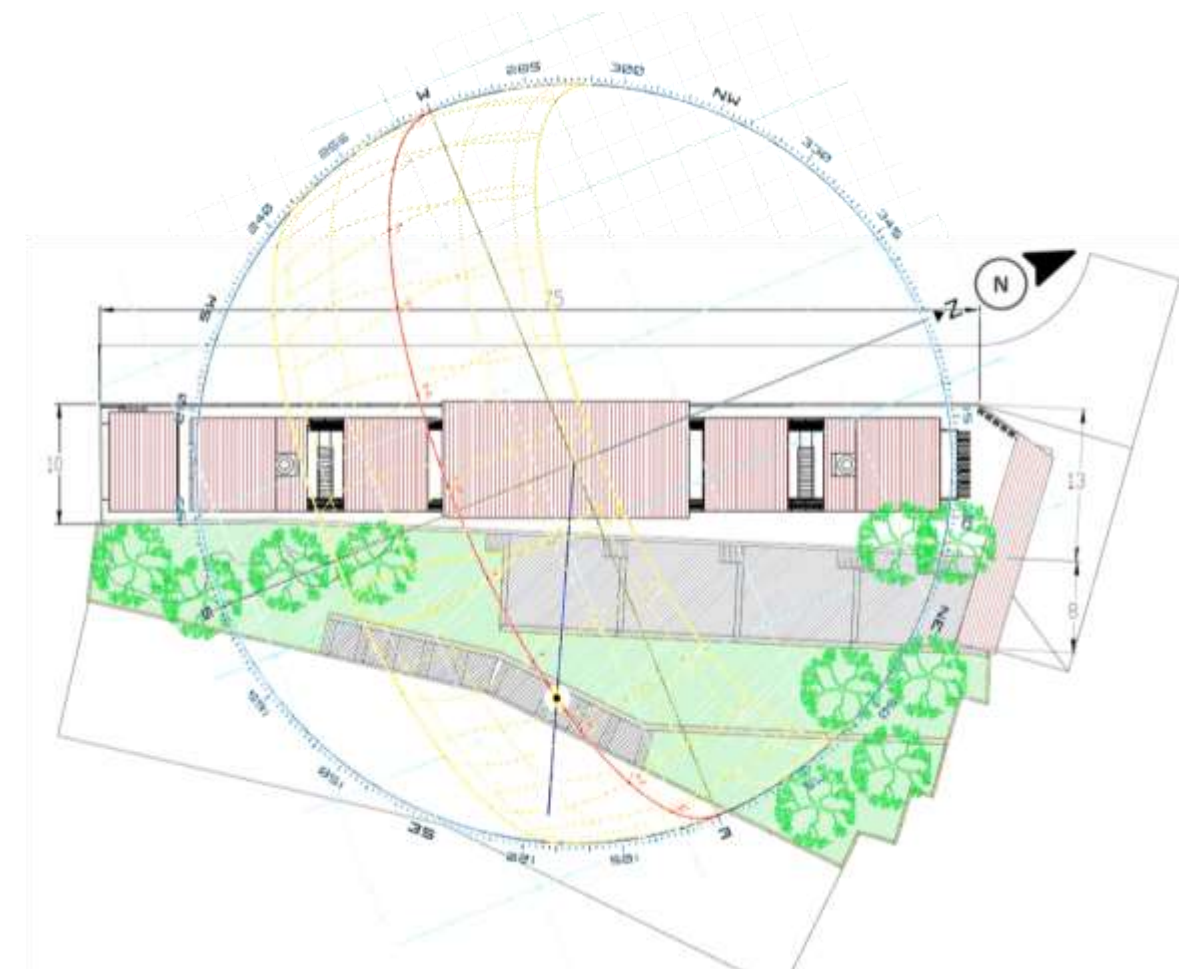


Figura 67. Trayectoria solar del emplazamiento. Fuente: Elaboración propia

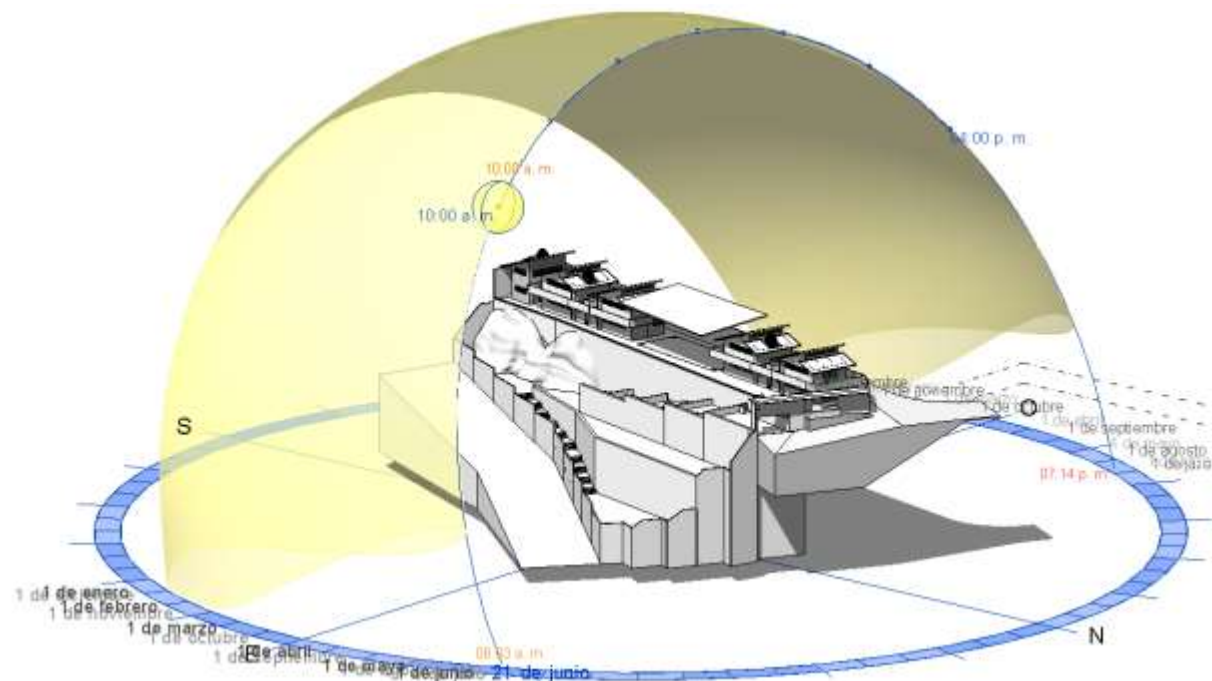


Figura 66. Trayectoria solar del emplazamiento vista NE. Fuente: Elaboración propia en REVIT

5.4. EVALUACIÓN DE LA PENETRACIÓN SOLAR Y LA PROYECCIÓN DE SOMBRAS

El presente análisis se concentró en la evaluación de la incidencia de los rayos solares sobre el edificio proyectado en las trayectorias solares de:

Equinoccio de primavera y equinoccio de otoño (21 de Marzo y 21 de Septiembre, respectivamente), Solsticio de verano y Solsticio de Invierno (21 de Junio y 21 de Diciembre, respectivamente). Consideró además 2 horarios de evaluación (10:00 hrs y 15:00 hrs., consideradas como las horas de mayor incidencia de rayos solares sobre el edificio en sus fachadas Este y Oeste, donde se han proyectado ventanas y puertas.

5.4.1. Estudio en solsticio de invierno

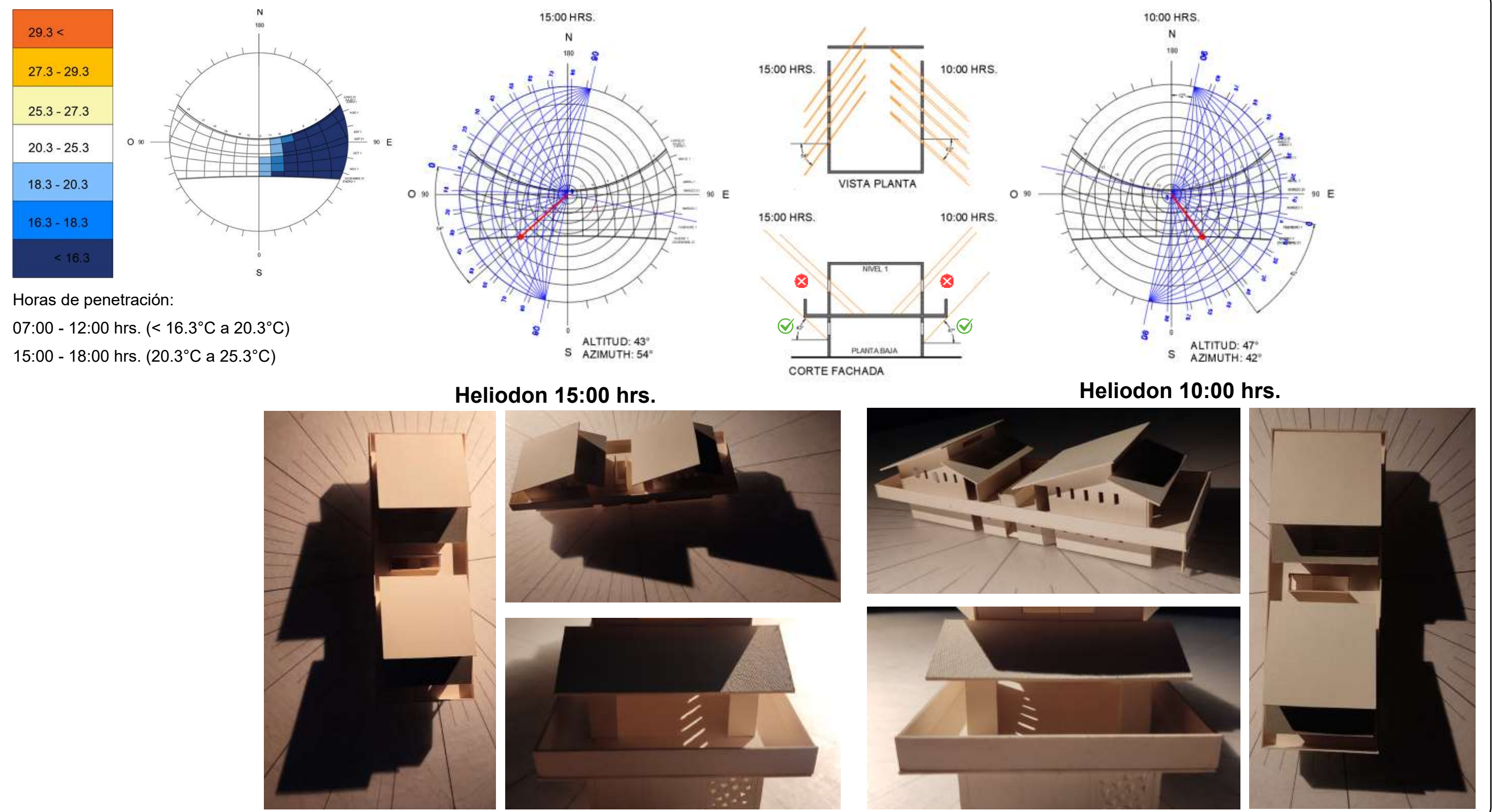
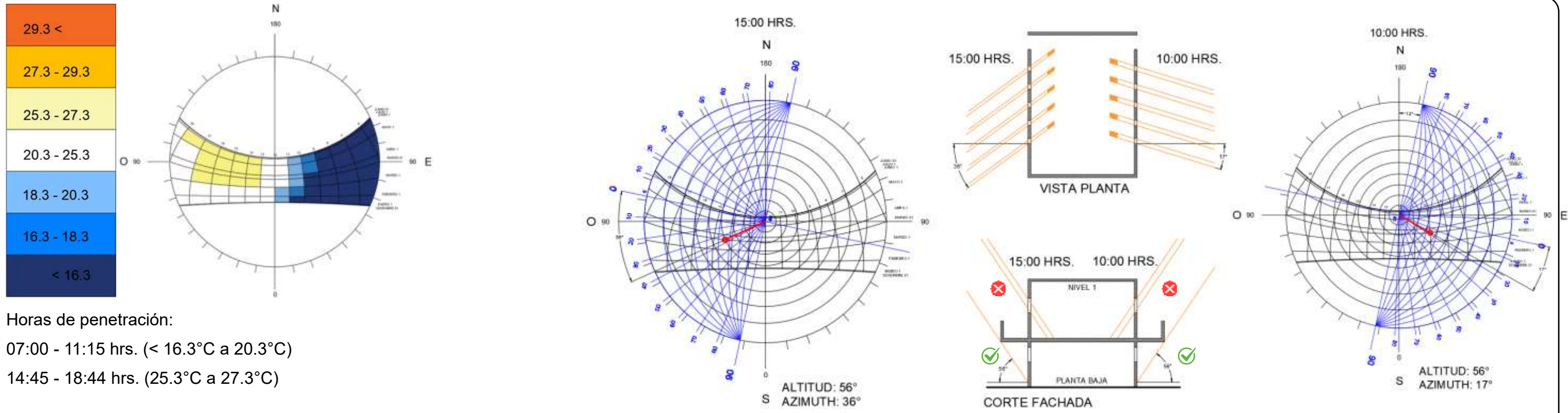


Figura 68. Estudio solar en Solsticio de Invierno sin dispositivos de control solar. Fuente: Elaboración propia

5.4.2. Estudio en equinoccio de primavera y otoño



Heliodon 15:00 hrs.

Heliodon 10:00 hrs.

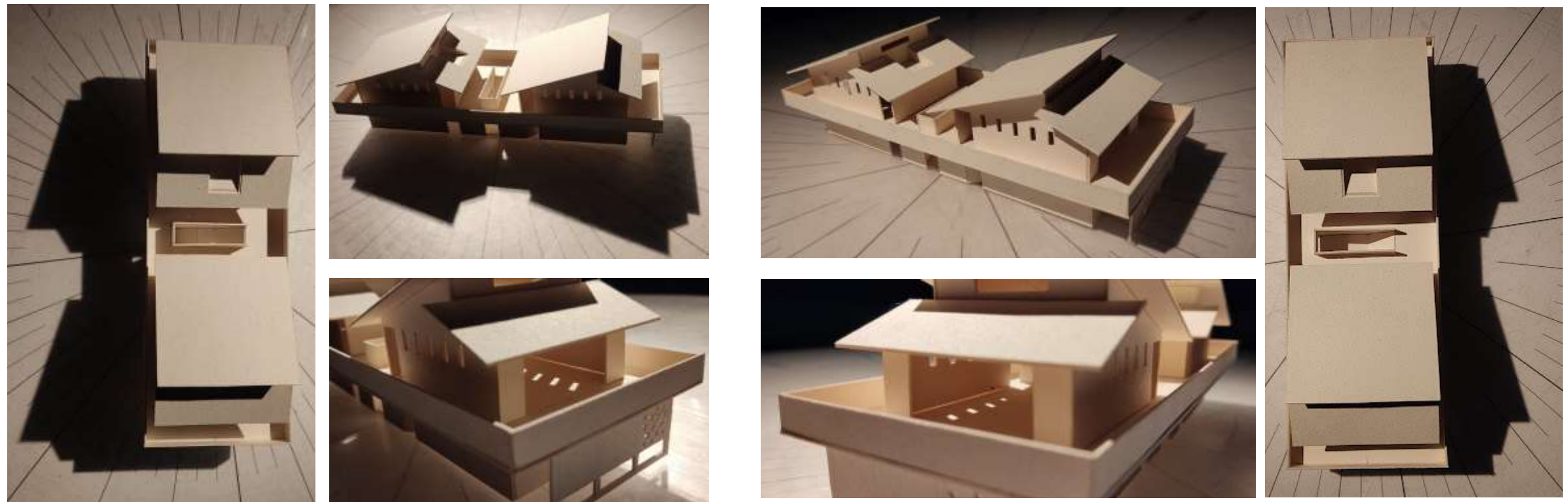
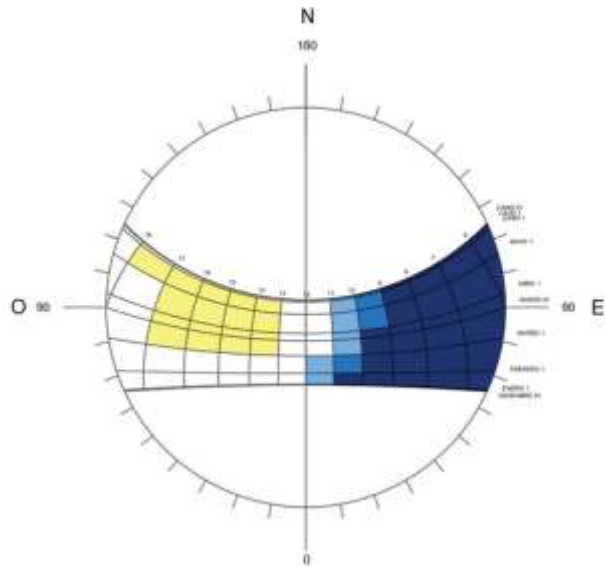
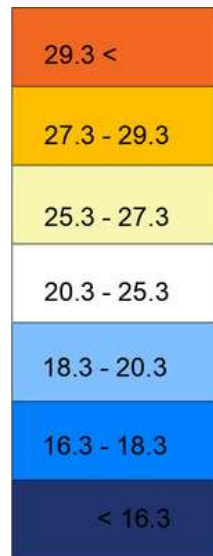


Figura 69. Estudio solar en Equinoccio de primavera y otoño sin dispositivos de control solar. Fuente: Elaboración propia

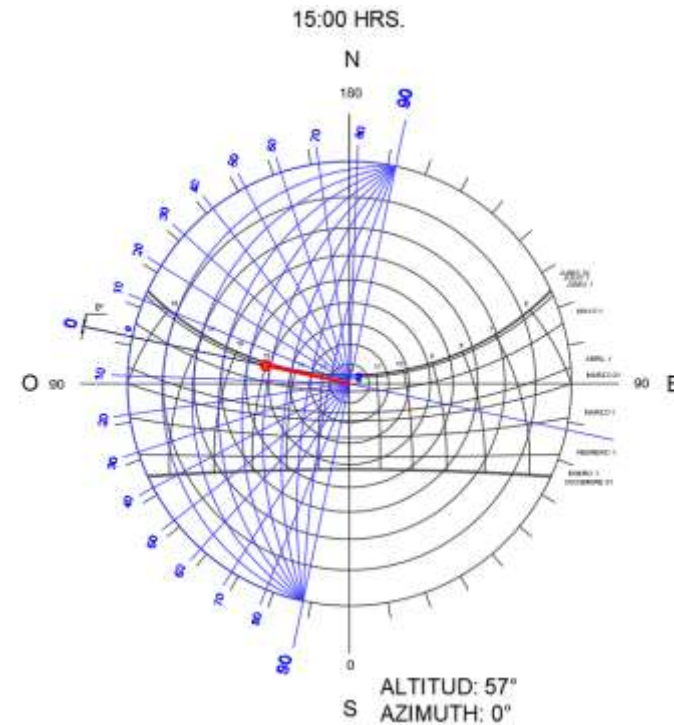
5.4.3. Estudio en solsticio de verano



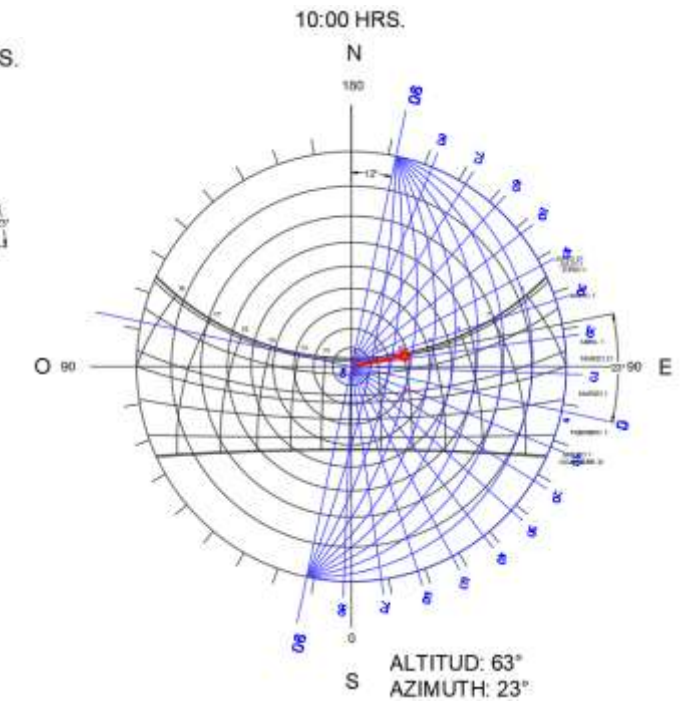
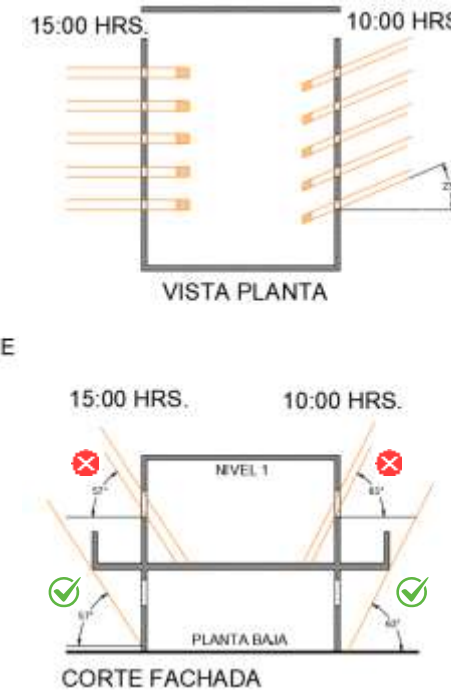
Horas de penetración:

06:00 - 11:00 hrs. (< 16.3°C a 20.3°C)

14:30.- 19:00 hrs. (25.3°C a 27.3°C)



Heliodon 15:00 hrs.



Heliodon 10:00 hrs.

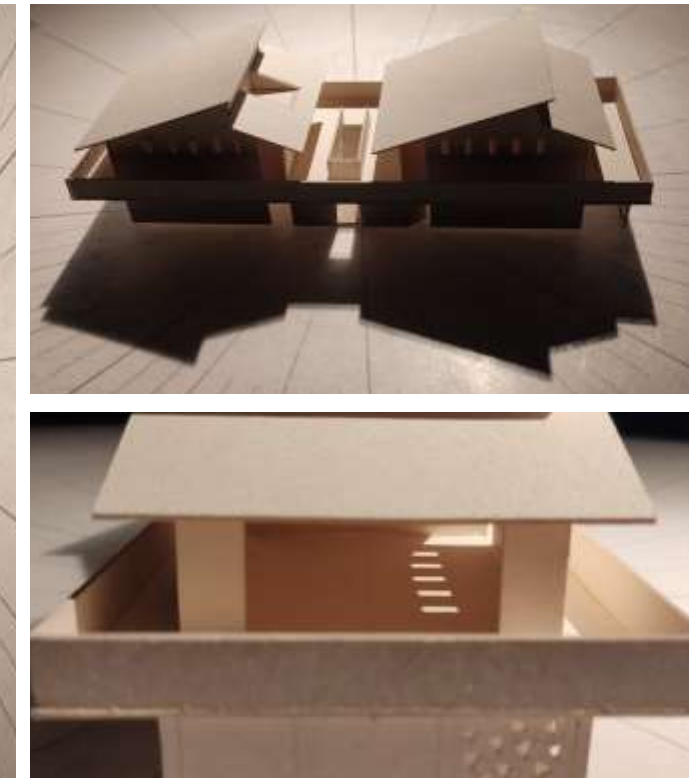
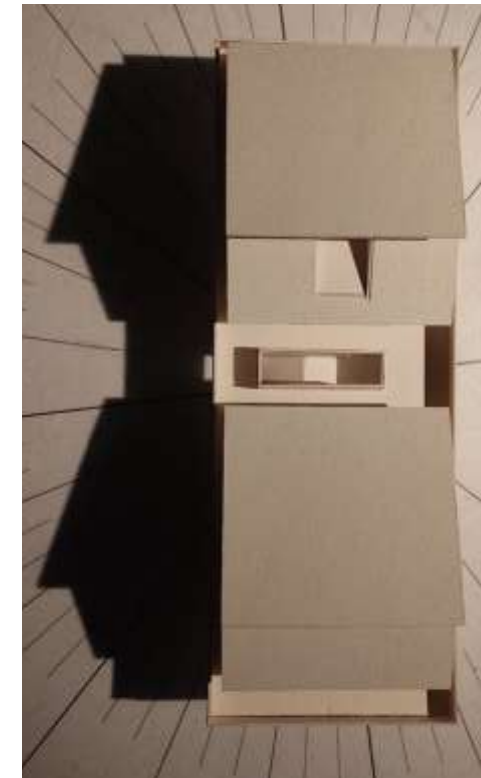
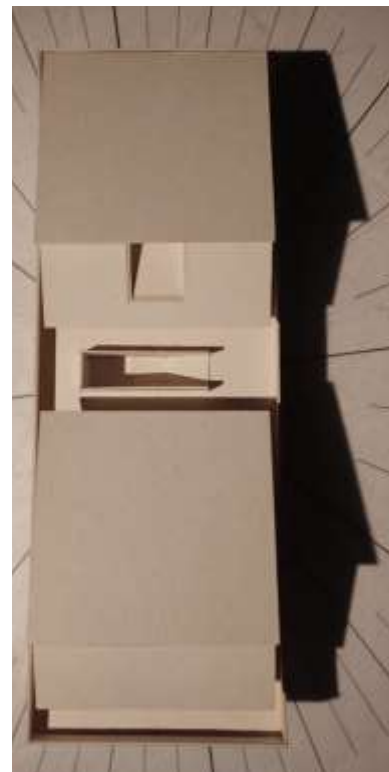


Figura 70. Estudio solar en Solsticio de Verano sin dispositivos de control solar. Fuente: Elaboración propia

5.5. EVALUACIÓN DE DISPOSITIVOS DE CONTROL SOLAR

Basado en el estudio solar preliminar en Heliodón y el trazo de la gráfica estereográfica, se determina trabajar con "AULA TIPO" la cual replica condiciones de sombreado y penetración para la mayoría de los espacios en el conjunto arquitectónico, además de permitir estudio con gráfica gnomónica por lo práctico de sus dimensiones.



Figura 71. Imagen configuración de anteproyecto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia

Debido a las condiciones de temperatura predominantes y los requerimientos de ganancia térmica por la mañana, se determina limitar la incidencia solar al interior de 10:00 hrs. - 15:00 hrs.

Para cumplir el objetivo, las proyecciones gráficas indican un requerimiento de protección horizontal de 80 cm de profundidad para las aulas del primer nivel puesto que el volado del techo no fue suficiente para cubrir la incidencia solar. Dado lo amplio del requerimiento, se propone implementar el dispositivo Repisa seccionada con dimensión y espaciado de 20 cm en 4 secciones para cumplir la función.

Además de proveer protección, sumarán a la iluminación natural debido a la reflexión de la radiación solar sin deslumbramiento.

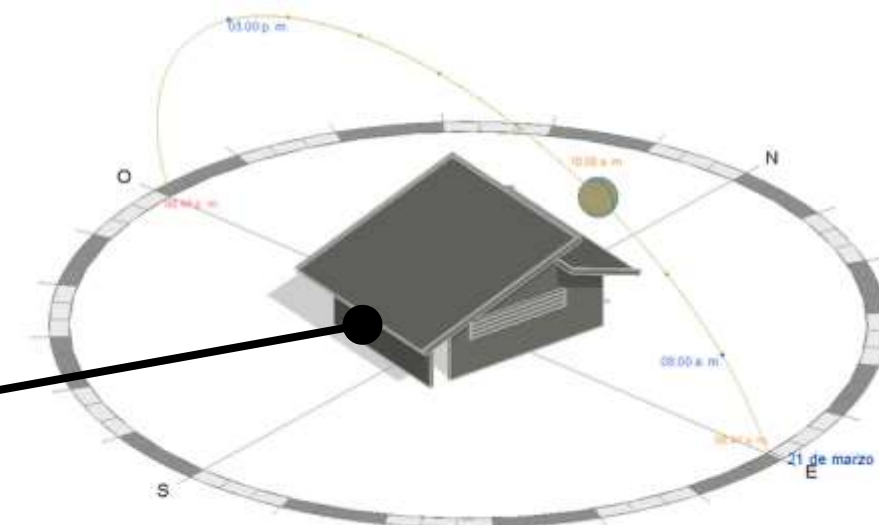


Figura 73. Trayectoria solar sobre aula tipo en Equinoccio. Fuente: Elaboración propia en REVIT

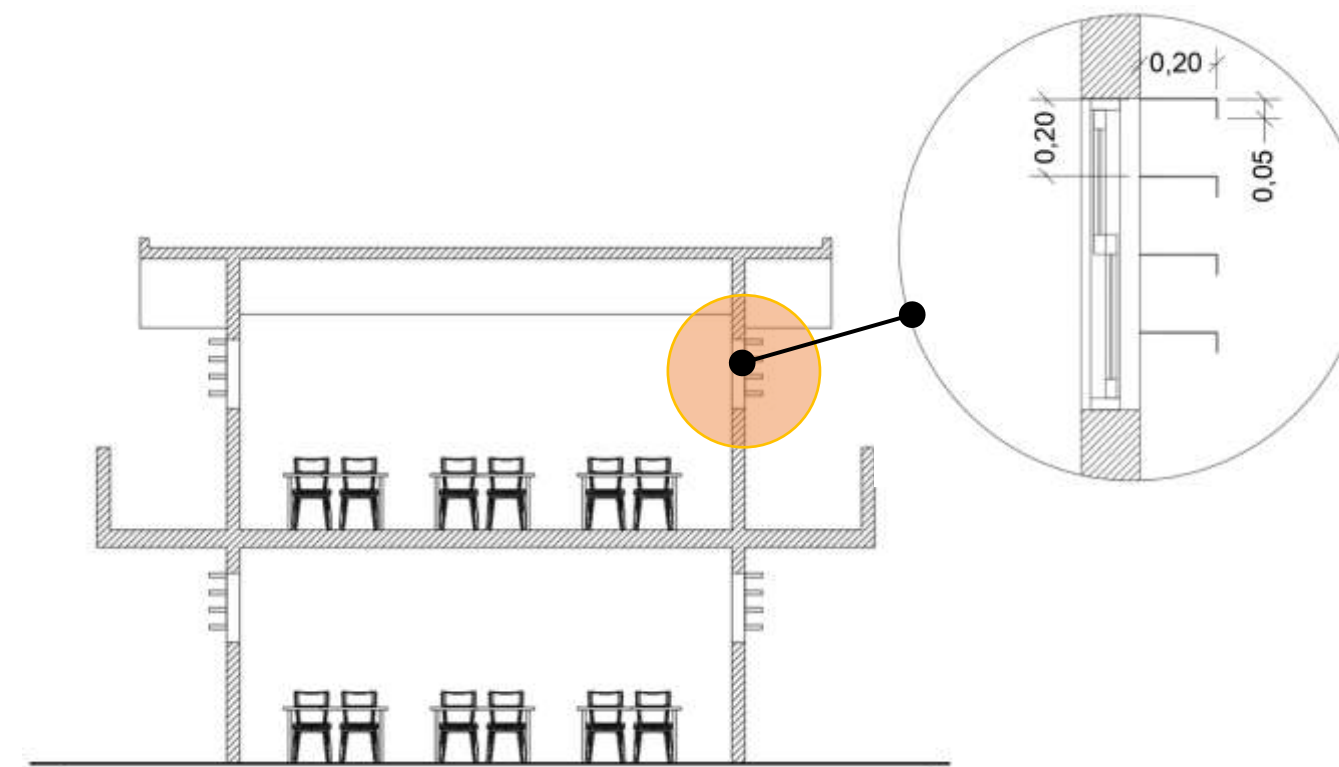


Figura 72. Dispositivo de control solar en aula tipo. Fuente: Elaboración propia

El corredor del primer nivel provee suficiente protección solar a lo largo del año, por lo que no es necesario implementar la repisa seccionada a menos que se pretenda conservar la simetría con el proyecto.

5.5.1. Estudio solar en equinoccios y solsticios

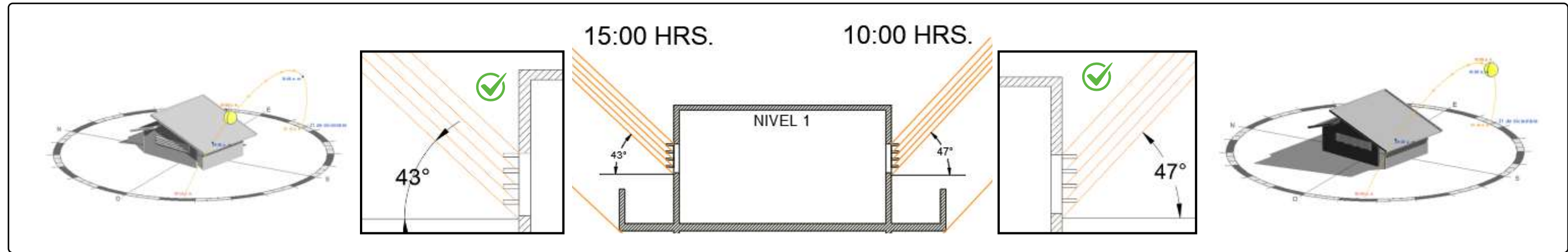


Figura 74. Estudio solar con dispositivos de control – Solsticio de invierno. Fuente: Elaboración propia

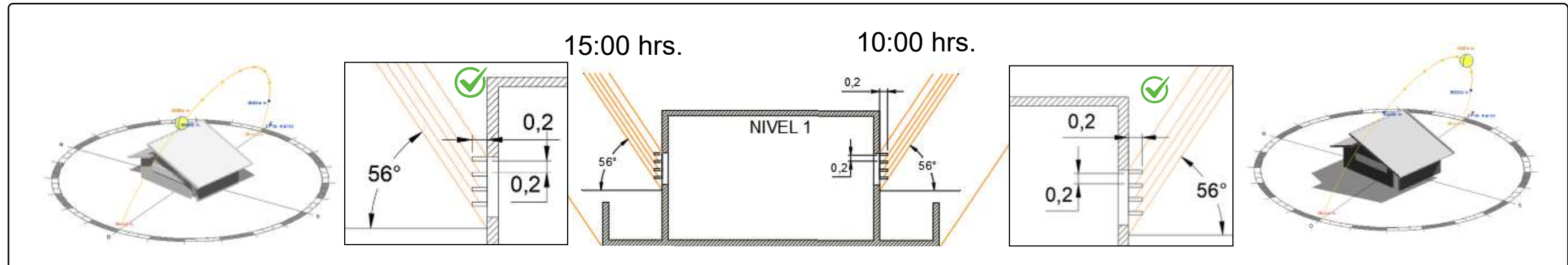


Figura 75. Estudio solar con dispositivos de control – Equinoccio primavera. Fuente: Elaboración propia

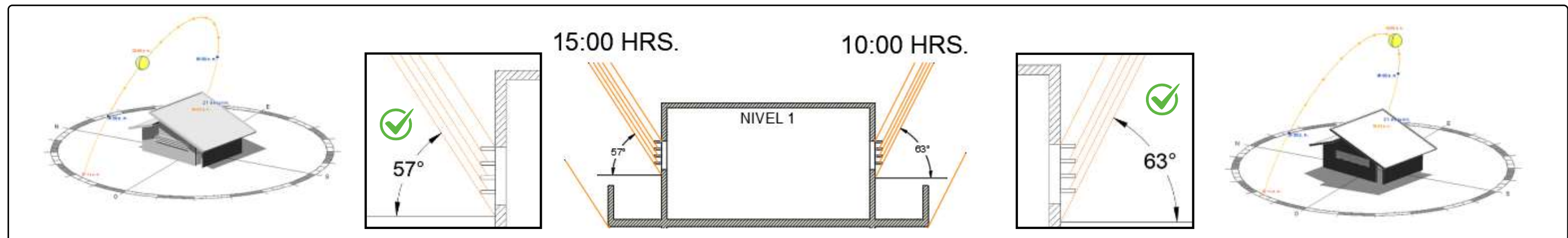


Figura 76. Estudio solar con dispositivos de control – Solsticio de verano. Fuente: Elaboración propia

5.6. CONCLUSIONES

Someter las propuestas arquitectónicas a estudios de trayectoria solar arroja información importante que impacta positivamente el diseño y la solución de espacios, sobre todo aquellos cuya intención es brindar ambientes de confort y habitabilidad adecuada.

El estudio realizado al modelo físico dentro del Heliodón, permite observar en primera instancia que las aulas de planta baja estaban completamente cubiertas y protegidas de la incidencia solar a lo largo del día y que la propuesta preliminar ofrecía un sombreado adecuado a los pasillos principales del conjunto de aulas. En segunda instancia se observó que los volados del techo en el primer nivel no fueron suficientes para cubrir la penetración en ventanas y sería necesario recurrir a dispositivos de control solar complementarios.

Como se puede observar en los resultados de la evaluación, la implementación del dispositivo horizontal “Repisa seccionada” funciona adecuadamente para limitar la penetración en el horario especificado entre las 10:00-15:00 hrs. durante todo el año. El seccionar la repisa en 4 partes en lugar de un volado profundo de 80 cm ofrece beneficios tanto en fabricación como en instalación, además de proveer de una superficie adicional de reflexión de iluminación natural hacia el interior.

Fue interesante y pertinente realizar el estudio de la geometría solar con distintas herramientas, tanto digitales como análogas pues permite observar las coincidencias y confirmar las decisiones de diseño desde diversos métodos. En la experiencia, me resultó importante identificar que un diseño preliminar puede ser evaluado digitalmente en herramientas como Revit pero que resulta muy enriquecedor someterlo a un estudio físico solar natural o artificial para complementar el análisis.

Así mismo, considero muy práctico utilizar la gráfica estereográfica y el transportador de sombras para identificar con mayor precisión los requerimientos y diseñar con mayor certeza tanto envolventes como dispositivos de control solar. Esta definición digital puede regresar a una evaluación digital en Revit o física en Heliodon para confirmar que la propuesta definida es la correcta y opera como se espera.

Dado lo anterior se puede concluir que para llegar a óptimos resultados en éste tipo de análisis dependerá de la combinación e interacción adecuada entre:

1. Un adecuado análisis climático para identificar las condiciones, requerimientos y posibilidades,
2. Conocimiento sustentado de los dispositivos de control solar disponibles, su funcionamiento, requerimientos, beneficios y límites,
3. Modelo digital de la propuesta arquitectónica capaz de ser evaluados en Revit o herramienta con similares capacidades,
4. Modelo físico volumétrico para evaluar en Heliodón o en gráfica gnomónica,
5. Utilización de gráfica estereográfica para proyectar dispositivos con mayor precisión.

6. ANÁLISIS DE VENTILACIÓN

6.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DE LA SIMULACIÓN

El análisis de ventilación en espacios arquitectónicos dedicados a la educación primaria es fundamental para garantizar un ambiente saludable y confortable para los estudiantes y docentes. En este contexto, la ventilación adecuada contribuye no solo al bienestar físico, sino también al rendimiento académico, al permitir la renovación constante del aire y la regulación de la temperatura. Al garantizar una ventilación eficiente, se minimiza la acumulación de contaminantes y CO₂, mejorando la calidad del aire interior, lo que es crucial para el desarrollo y el confort de los usuarios.

El objetivo de la simulación será principalmente identificar el comportamiento del viento impactado sobre los edificios del conjunto arquitectónico, pues a través de esta información será posible pronosticar las condiciones de flujo de aire en el espacio educativo y conocer si la configuración del diseño arquitectónico permite o limita los intercambios de aire, temperatura y humedad interior, condiciones que delimitan el nivel de confort para los usuarios.

6.2. HERRAMIENTA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

Para realizar el estudio de ventilación se hizo uso del software Autodesk Flow Design, que es un software de simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD) diseñado para ofrecer una manera rápida y visual de analizar el flujo de aire o líquidos alrededor de objetos y estructuras en un entorno virtual. La herramienta consta de una interfaz fácil de usar que permite a los usuarios obtener resultados de simulación rápidamente, sin necesidad de ser expertos en CFD. Está diseñado para arquitectos, ingenieros y diseñadores que buscan integrar simulaciones de flujo en su proceso de diseño.

Una de sus características principales es la capacidad de realizar simulaciones en tiempo real, lo que permite observar inmediatamente el impacto de los cambios de diseño sobre el flujo de aire sin esperar largos tiempos de procesamiento. Su análisis permite visualizar el comportamiento del flujo de viento a través de las edificaciones del conjunto arquitectónico, para así identificar las zonas de mayor incidencia y los vórtices generados por la disposición de los edificios; agilizando la identificación de zonas de estancamiento o turbulencias y optimizar el diseño.

Ofrece resultados visuales claros y comprensibles en forma de líneas de flujo, campos de velocidad y presión, facilitando la evaluación y comunicación de los resultados.

CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE

Se realizó la simulación de ventilación de todo el conjunto arquitectónico del proyecto, considerando la correcta orientación, la velocidad y la dirección de los vientos dominantes, configurados según las condiciones del emplazamiento a intervenir, siendo 2m/s provenientes principalmente del Oeste y Sur Oeste respectivamente (Figura 77).

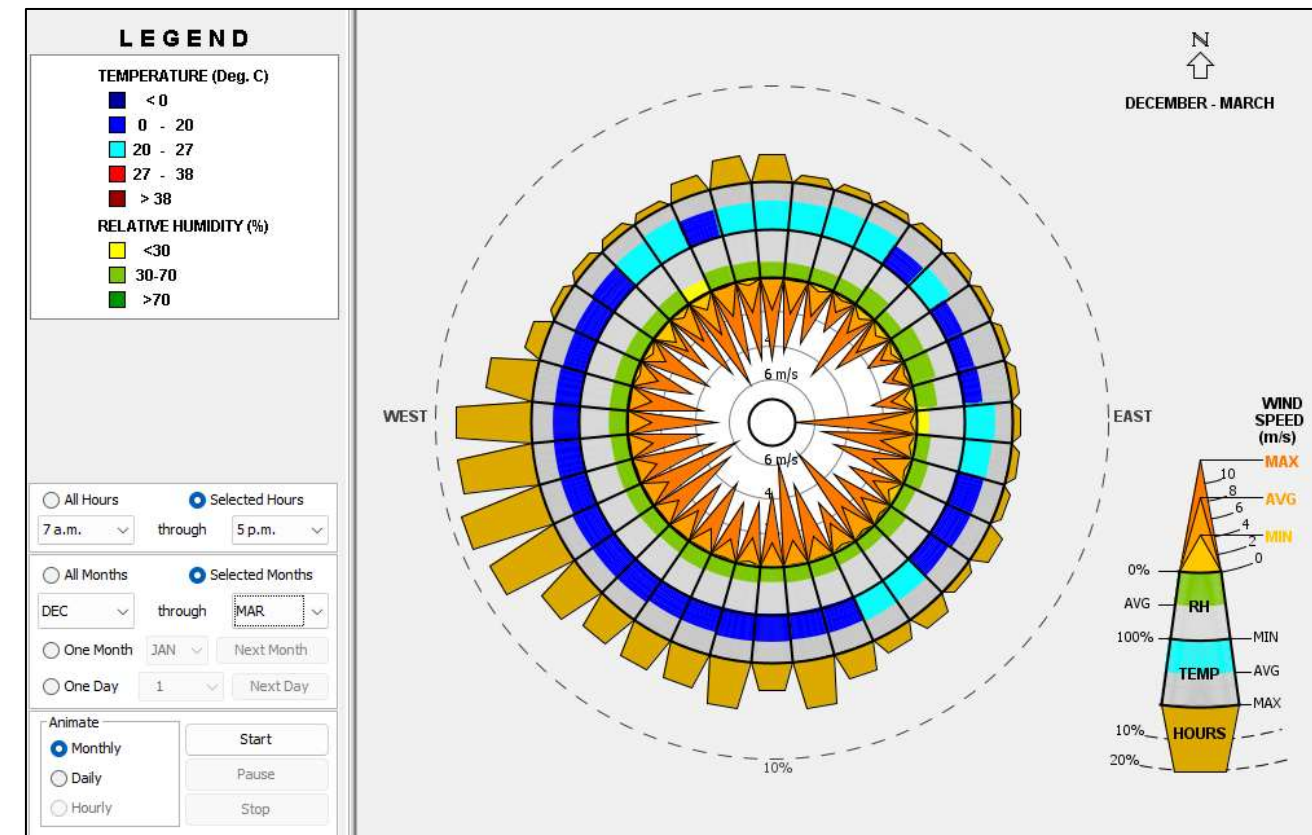


Figura 77. Rueda de vientos invierno. Fuente: Climate Consultant. (Parallels Software International, s/f)

La Figura 78 muestra la escala de Beaufort, donde se indican los efectos del viento según su intensidad y velocidad. El caso de estudio con una velocidad promedio de 2m/s corresponde a un viento ligero con efectos visibles en una columna de humo, aún sin ser perceptible por el rostro.

En la siguiente Figura 79 se muestra la especificación del criterio de ventilación utilizado en las aulas tipo del espacio educativo. Será importante evaluar si el comportamiento del viento en la simulación permite confirmar la hipótesis del criterio propuesto.

Nº de	VIENTO	EFECTOS PERCEPTIBLES DEL VIENTO	VEL mudo	VEL Km/h	SIM
0	CALMA	calma, el humo se eleva vertical	00	0	○
1	AIRE LIGERO	la dirección del viento es indicada por la columna de humo, pero no por las veletas	02	1,5-5	○
2	SOPLO LIGERO	se nota el viento en el rostro, las hojas producen sonido, la veleta se mueve	05	6-11	○
3	BRISA LIGERA	las hojas y ramas de las plantas se dejan oír su rumor, una bandera se extiende al viento	08	12-19	○
4	BRISA MODERADA	el viento levanta polvareda y se mueven ramas de las plantas, vuelan hojas de papel	13	20-29	○
5	BRISA VIVA	los árboles no corpulentos se tambalean, se forman pequeñas olas en lagos-estancos	18	30-39	○
6	BRISA FUERTE	las ramas gruesas se mueven es difícil sostener el paraguas	24	40-50	○
7	VIENTO VIVO	los árboles son sacudidos hay dificultad al caminar	30	51-61	○
8	GRAN VIENTO	las ramas son arrancadas de los árboles, el viento impide caminar	37	62-74	○
9	VIENTO VIOLENTO	comienzan los daños en viviendas.	44	75-87	○
10	VIENTO de TEMPESTAD	son frecuentes árboles arrancados, daños graves	52	88-101	○
11	FUERTE TEMPESTAD	mucha destrucción. se producen raras veces	60	102-116	○
12	HURACAN	región devastada viento excepcional	68	117-132	○

Figura 78. Escala de vientos de Beaufort. Fuente: (Gonzalo, 2003)

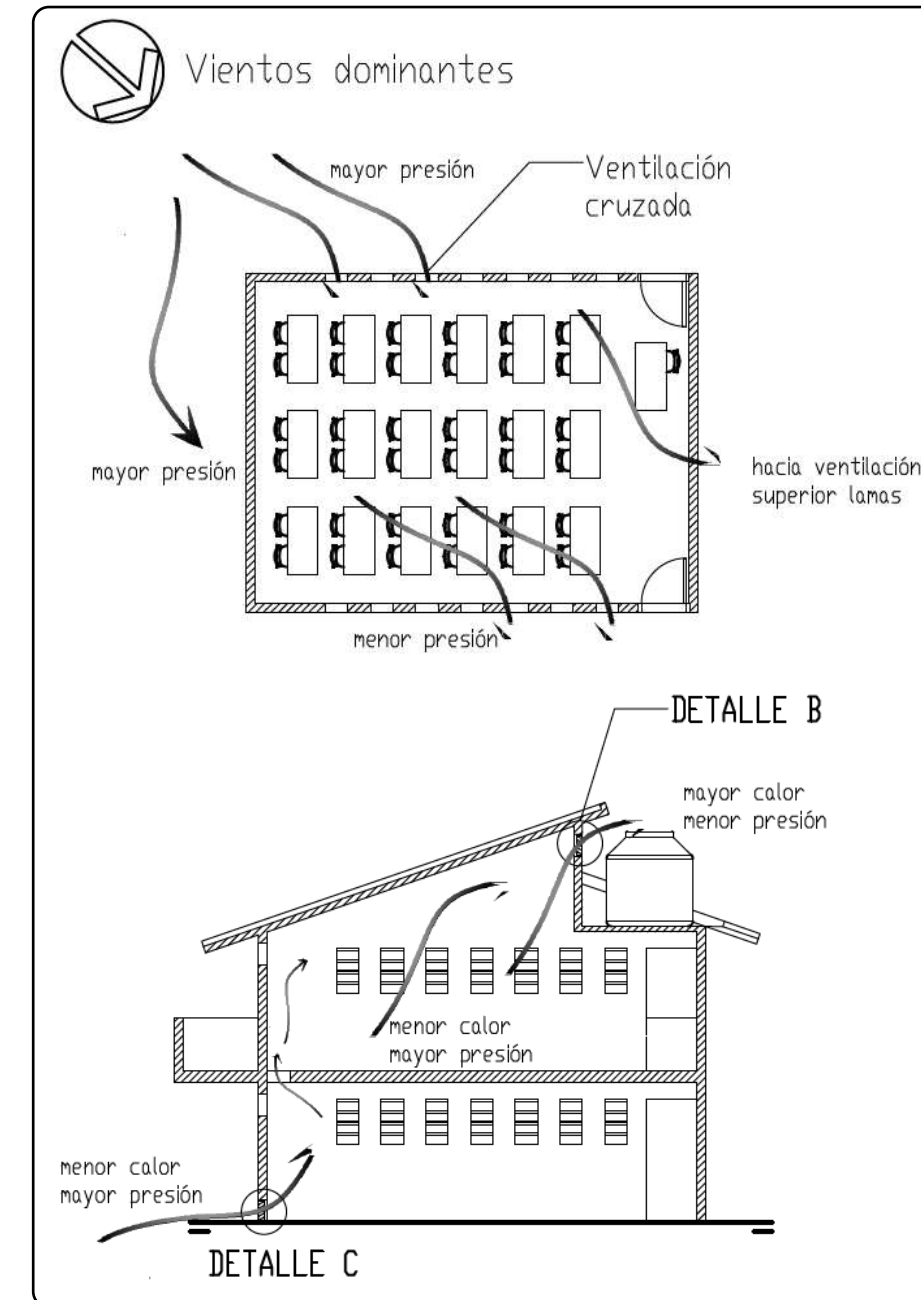


Figura 79. Criterio de ventilación en aulas tipo. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 80 se observa el flujo laminar del viento incidente sobre la fachada Oeste y Sur-Oeste. La vista de planta permite identificar el comportamiento y velocidades del viento por efecto de su paso a través de los edificios.

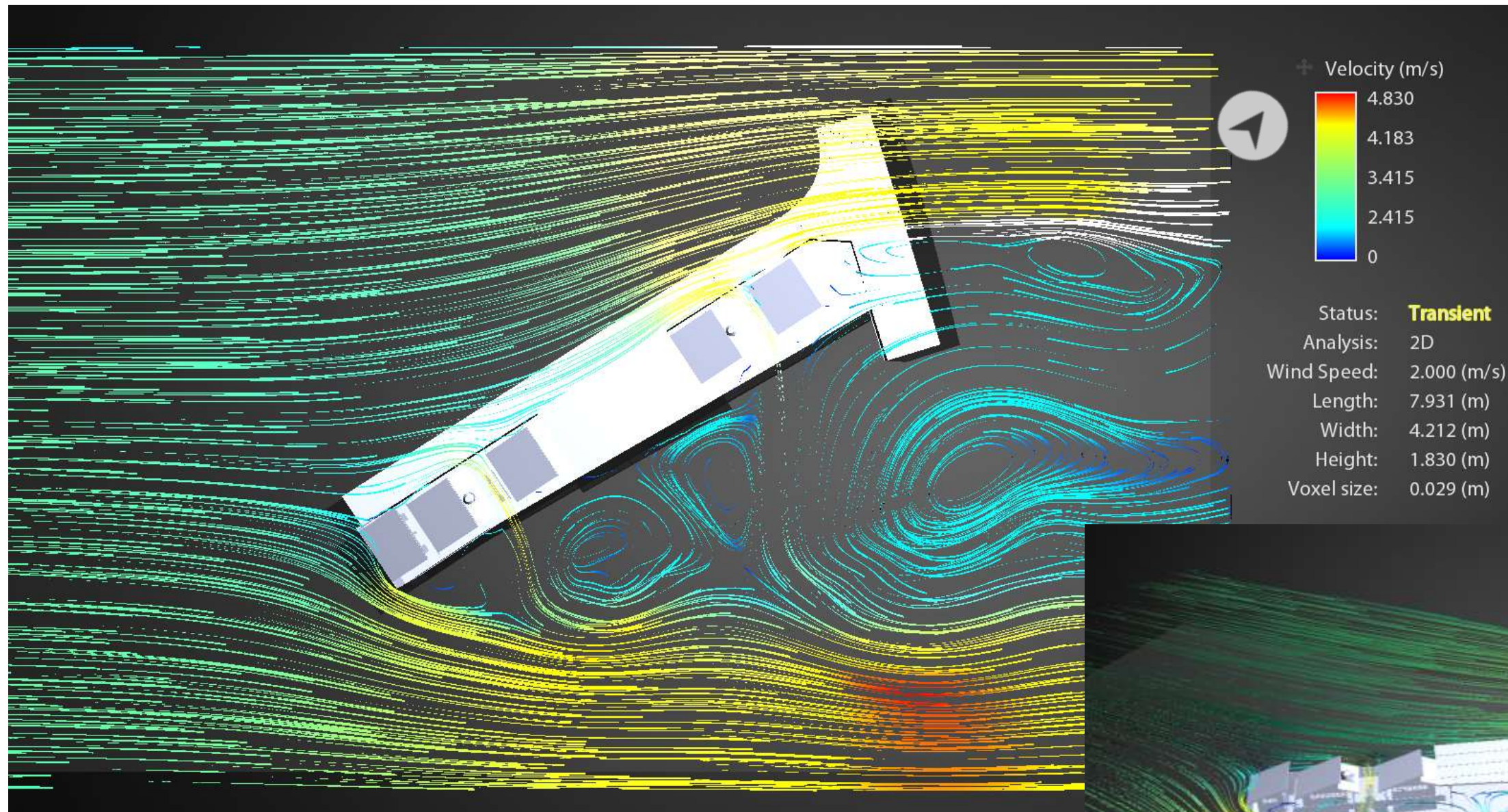


Figura 80. Comportamiento de viento en vista de planta. Fuente: Elaboración propia con Flow design.

Se identifica principalmente un efecto de Canalización entre los edificios, efectos Venturi en algunos pasillos estrechos conducidos hacia espacios más abiertos y efectos de Surcos en las esquinas de los edificios. El efecto de canalización supone que el viento cruzará de manera natural entre las aulas, permitiendo fluya como se propone en el criterio de ventilación (Figura 81).

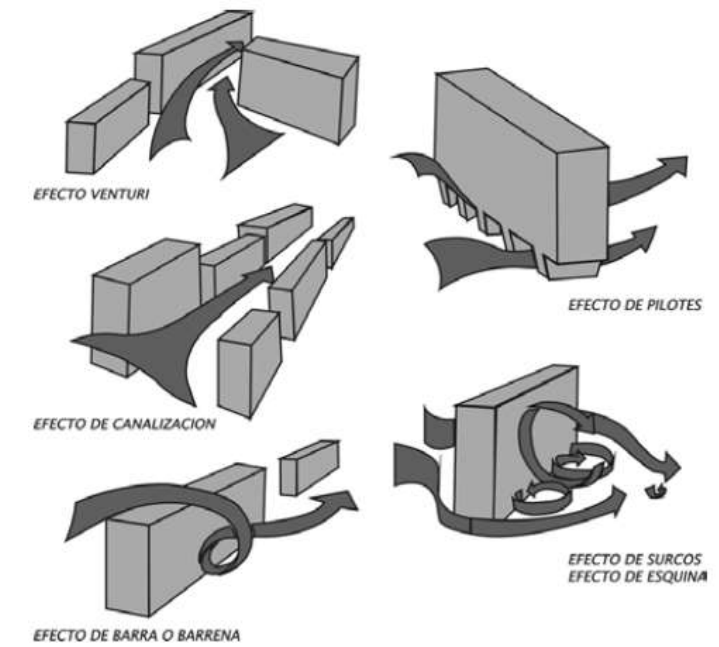
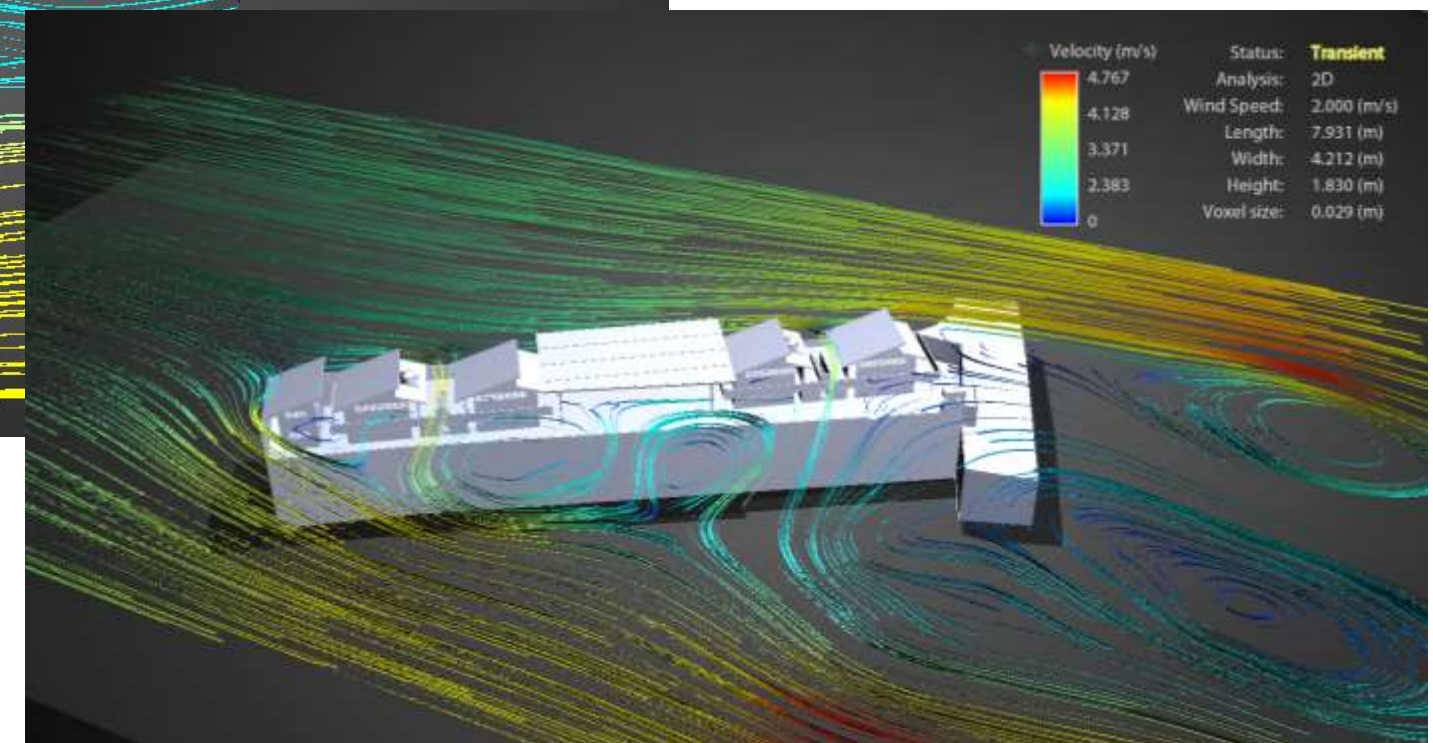


Figura 81. Efectos del viento según la disposición y altura de los edificios. Fuente: (Gonzalo, 2003)



En la Figura 82 se observa el flujo laminar del viento incidente sobre la fachada Sur en una vista de corte vertical a fin de identificar el comportamiento y velocidades del viento por efecto de su paso a través de los techos de los edificios.

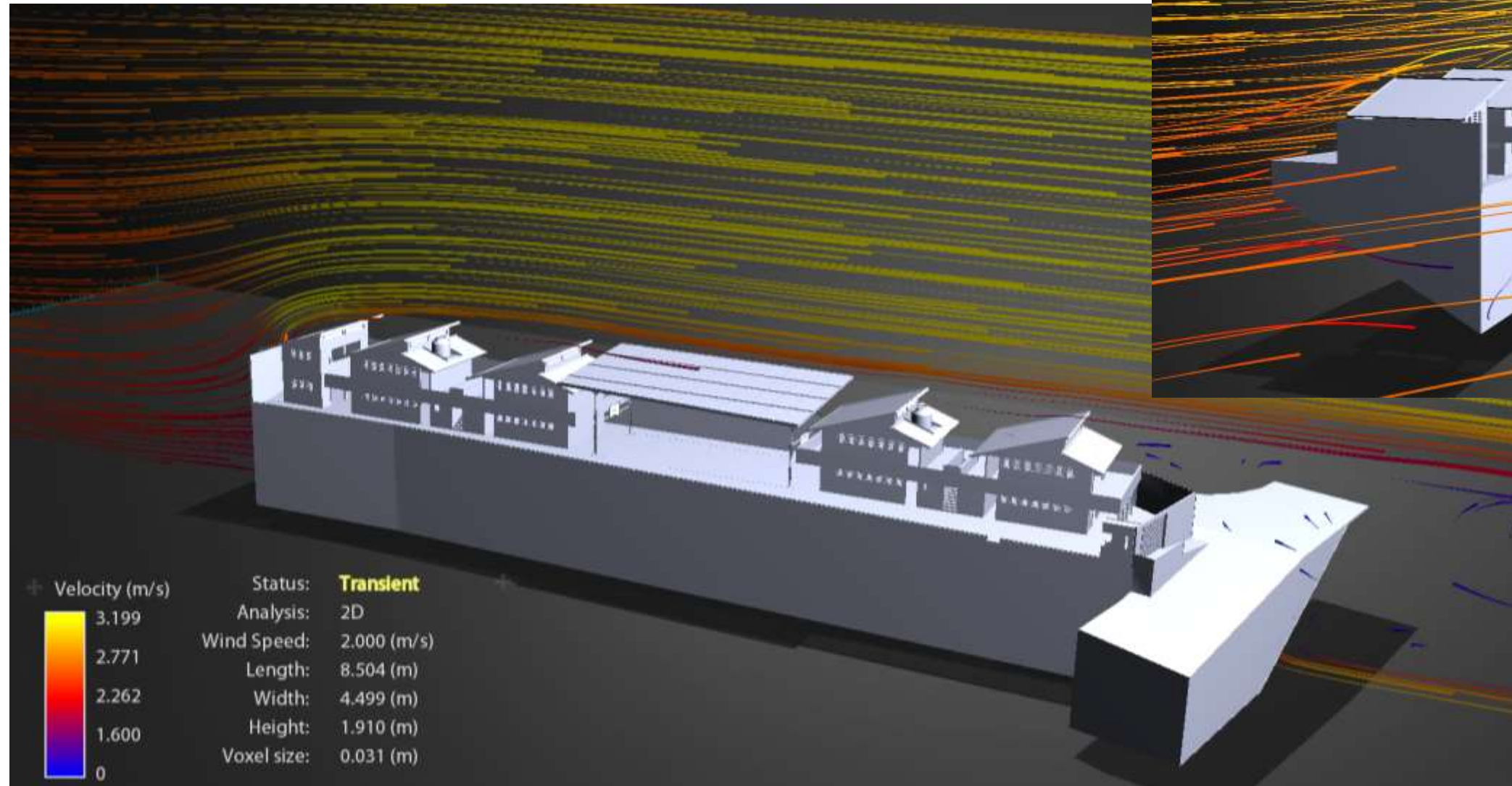


Figura 82. Comportamiento de viento en vista plano de corte. Fuente: Elaboración propia con Flow design.

La simulación muestra un incremento de la velocidad conforme impacta sobre las losas de los primeros edificios y reduce al llegar a la zona del patio central. El incremento de la velocidad en estos puntos del techo, promueven un flujo de la masa de aire adecuado para permitir la extracción del aire interior de las aulas proveniente de las aberturas localizadas en la parte alta del muro norte.

También se identifica que la disposición de los edificios en el conjunto funciona a modo de protección (Figura 83), limitando una posible incidencia de viento a mayores velocidades.

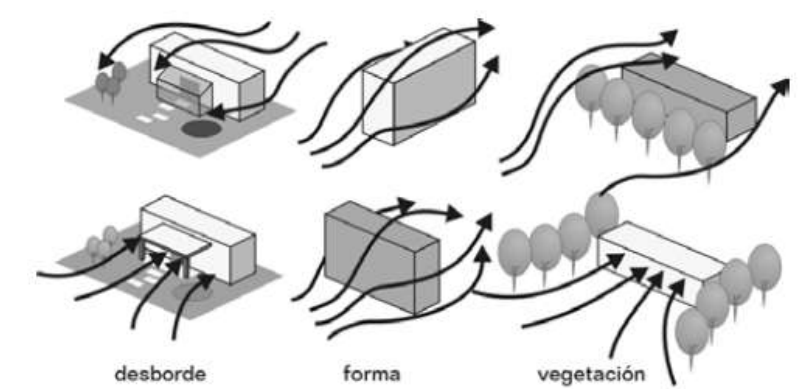
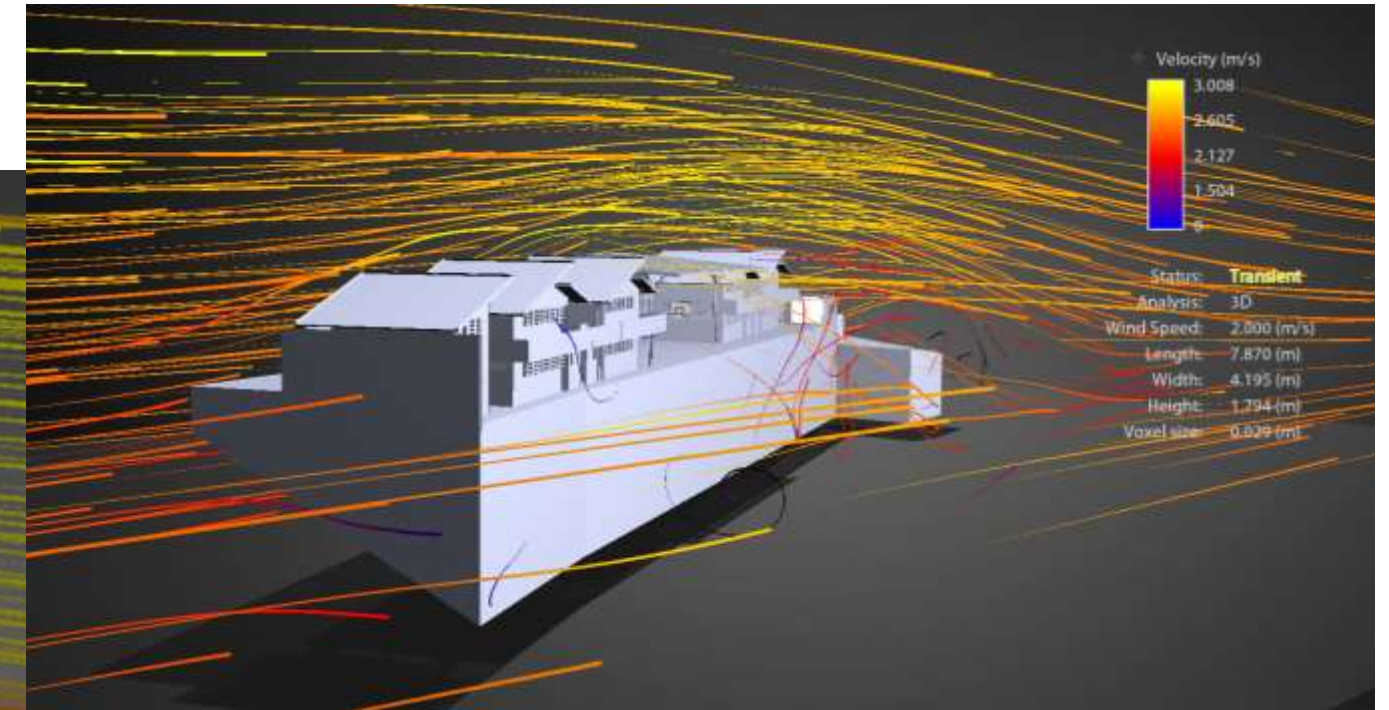


Figura 83. Protección o aprovechamiento de los vientos. Fuente: (Gonzalo, 2003)

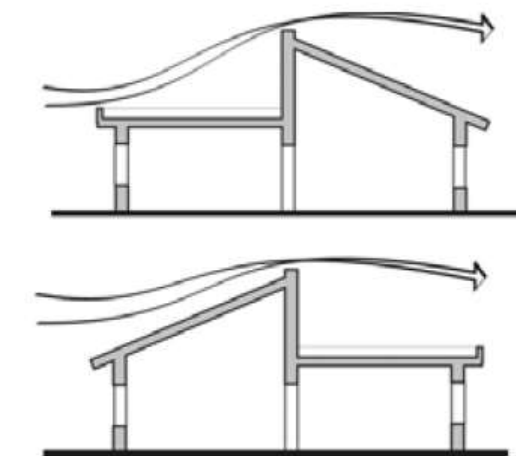


Figura 84. Comportamiento del viento en techos con pendiente. Fuente: (Gonzalo, 2003)

Finalmente, la Figura 85, muestra el comportamiento de la presión ejercida por el viento sobre los edificios en relación con la velocidad y orientación incidente. Mediante esta visualización se observan los puntos de presión positiva y negativa en cada aula, dato que supone la confirmación de la hipótesis del flujo estimado en el criterio de ventilación inicial.

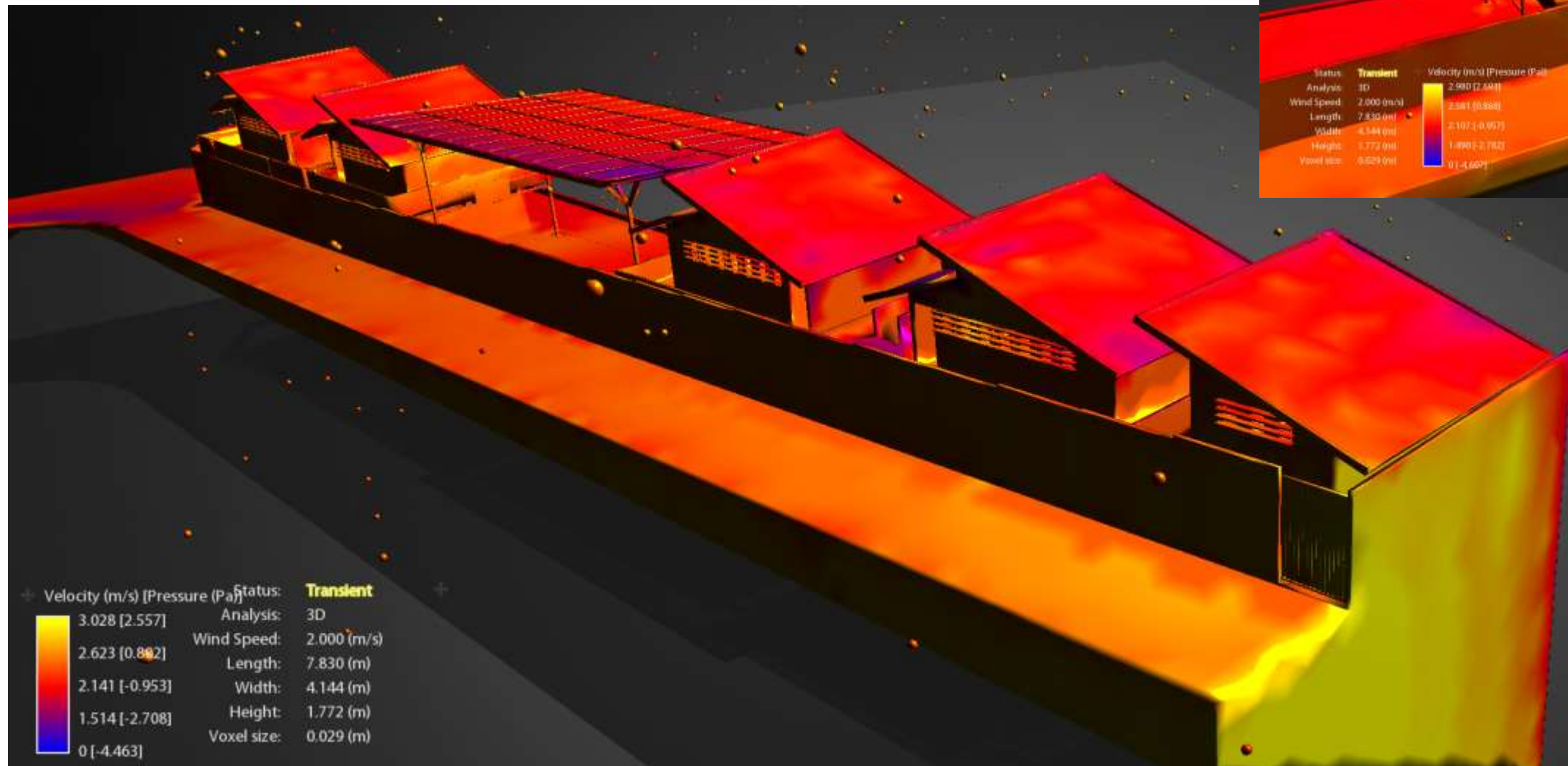


Figura 85. Comportamiento de la presión del viento sobre los edificios. Fuente: Elaboración propia con Flow design.

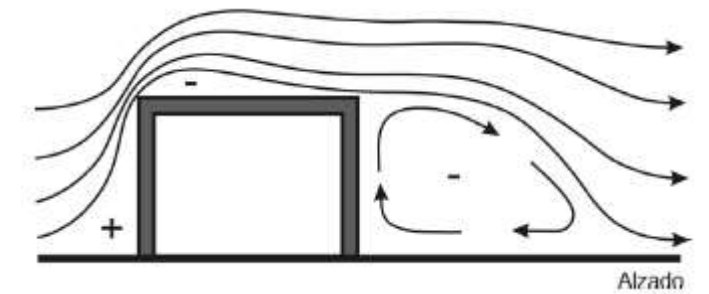
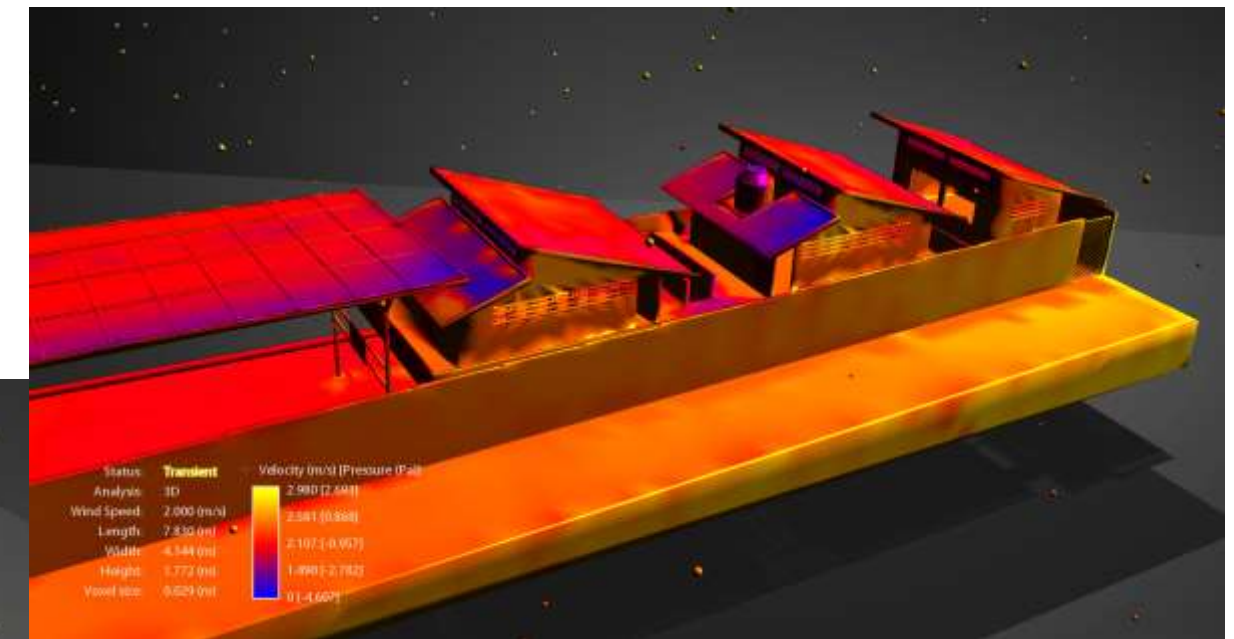


Figura 86. Comportamiento de las presiones verticales del viento en un edificio. Fuente: (Fuentes, 2022)

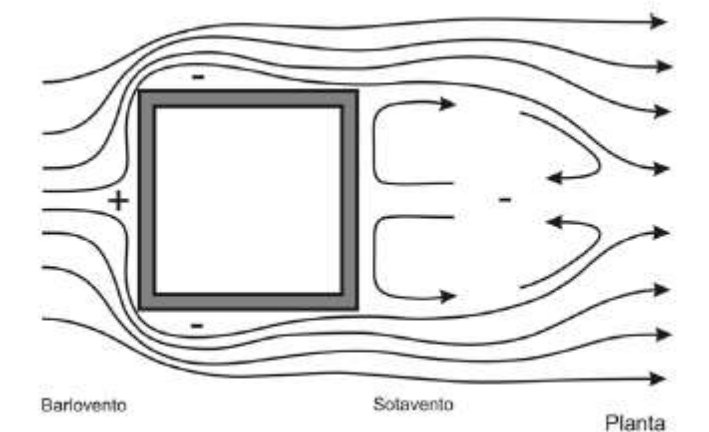


Figura 87. Comportamiento de las presiones Horizontales del viento en un edificio. Fuente: (Fuentes, 2022)

7. ANÁLISIS TÉRMICO

7.1. INTRODUCCIÓN

Los espacios arquitectónicos son principalmente edificados para proveer de un envolvente de protección a los usuarios habitantes; una protección que permita experimentar una sensación de bienestar y comodidad en relación a las condiciones ambientales exteriores.

Esta sensación de bienestar se consigue cuando el cuerpo humano llega al punto de menor gasto de energía necesaria para ajustarse al medio ambiente, punto denominado “zona de confort” (Olgay, 2015). Los factores que intervienen en ese proceso de ajuste pueden ser: Ambientales (Temperatura, viento, humedad, radiación) y Personales-biológicos (Metabolismo, actividad, vestimenta, estado de salud, aclimatación, edad, género, complejión y alimentación). (Szokolay, 2008).

Dado que vivir en esta zona de confort térmico es una de las necesidades biológicas básicas del cuerpo humano según Maslow (1984); resulta imperativo mantener condiciones térmicas idóneas dentro de las edificaciones (Szokolay, 2008). En este sentido, el refugio construido es el principal medio que podemos configurar para modificar el ambiente habitable y proveer condiciones que se aproximen a esta zona de confort térmica (Olgay, 2015). De esta manera, se suman las características formales y materiales de la envolvente arquitectónica como factores decisivos en la generación de espacios térmicamente confortables, con variables como la orientación, la ubicación de aberturas y sistemas constructivos cuyas propiedades térmicas, relacionadas a su espesor, conductividad, densidad y calor específico determinaran las características de acondicionamiento y nivel de confort interior.

7.2. CASO DE ESTUDIO

El presente análisis tiene el objetivo de identificar las condiciones de confort térmico que ofrece la propuesta arquitectónica definida en anteproyecto para la Escuela Primaria Jaime Torres Bodet.

Los espacios de estudio serán 2 aulas tipo, localizadas en Planta baja y Primer nivel del Edificio B del conjunto arquitectónico, mismo que se encuentra orientado 12° al Noroeste (Figura 88).

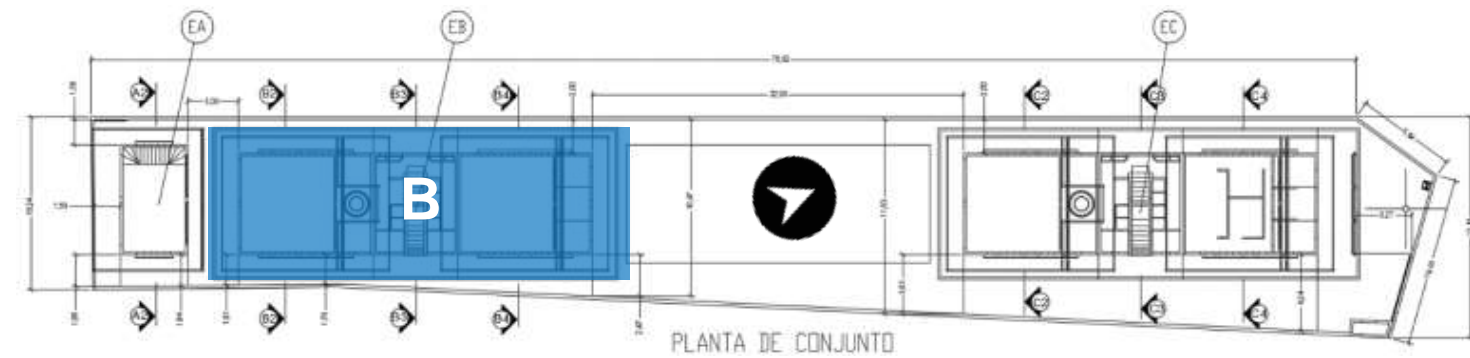


Figura 88. Conjunto arquitectónico de anteproyecto. Fuente: Elaboración propia.

Ambas aulas tipo cuentan con un área similar de $7.7 \text{ m} \times 5.7 \text{ m} = 43.89 \text{ m}^2$, pero con variantes en la altura de sus techos, la ubicación y cantidad de ventanas, así como distintos dispositivos de control solar (Figura 91).

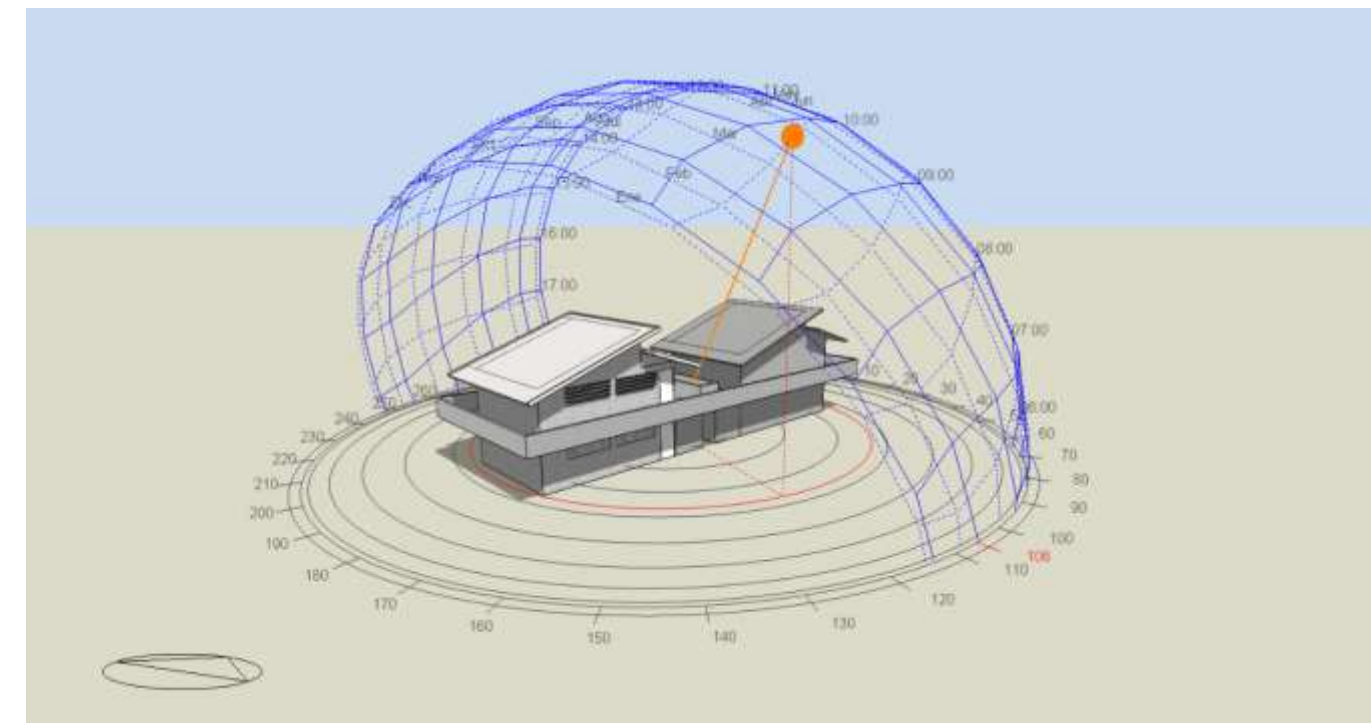


Figura 89. Edificio B con diagrama solar. Fuente: Elaboración propia en (DesignBuilder Software Ltd, 2019)

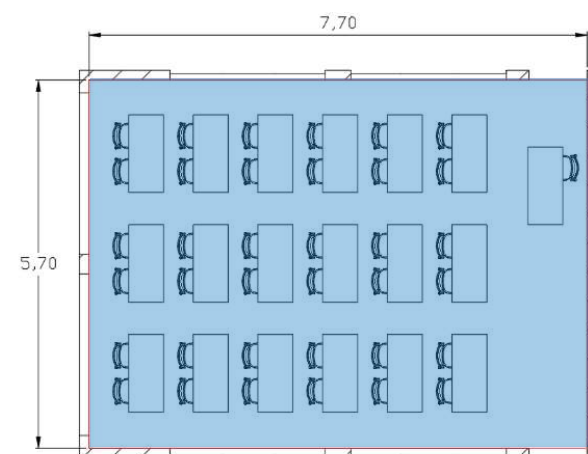


Figura 90. Edificio B, planta de aula tipo PB-N1. Fuente: Elaboración propia.

AULA TIPO PLANTA BAJA. Fachada Este y Oeste: 2 ventanas de 0.80 m x 2.40 m y 1 puerta de 2.20 m x 0.90 m. Fachada Sur: 2 ventanas de 0.40 m x 2.50 m. El pasillo del primer nivel funge como dispositivo de control solar para limitar la incidencia en las ventanas este y oeste por lo que no se implementó ningún otro sistema.

AULA TIPO PRIMER NIVEL. Fachada Este y Oeste: 2 ventanas de 0.80 m x 2.40 m y 1 puerta de 2.20 m x 0.90 m. Fachada Sur: 2 ventanas de 0.40 m x 2.50 m. Fachada norte: 2 ventanas de 0.40 m x 2.50 m. Losa de techo en 2 secciones inclinadas.

Las ventanas de las fachadas Este y Oeste cuentan con un dispositivo de control solar horizontal denominado “Repisa seccionada” conformada por 4 superficies planas equidistantes de 20 cm de profundidad dispuestas a lo largo del vano (2.40 m) y un “faldón” de 5 cm de altura; cuya función será retener la incidencia de la radiación directa hacia el interior del espacio (Figura 92).

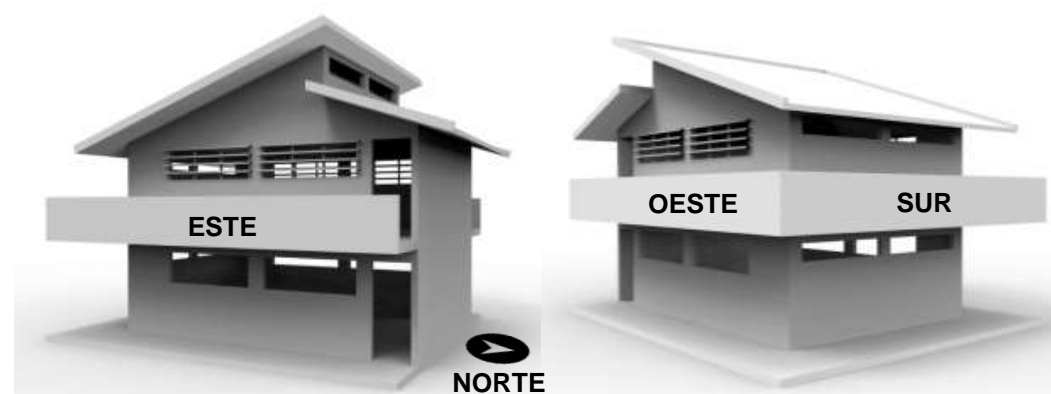


Figura 91. Edificio B, Fachadas noreste y suroeste. Fuente: Elaboración propia.

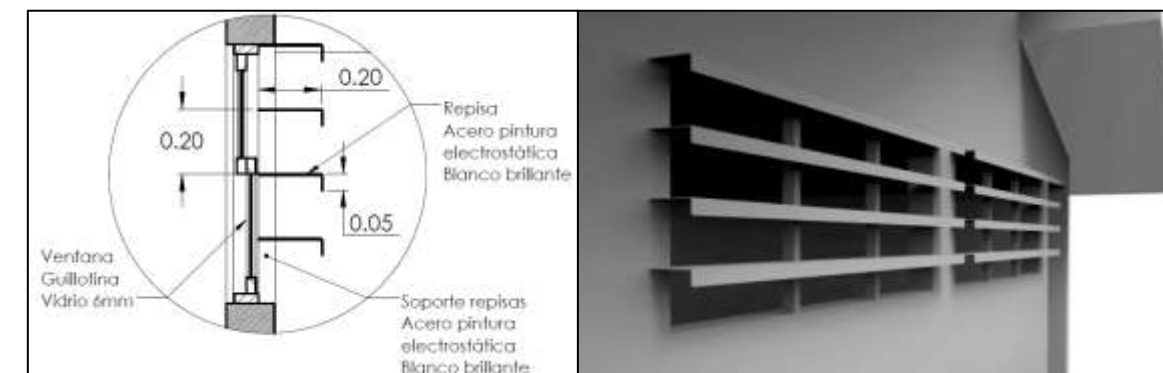


Figura 92. Dispositivo de control solar "Repisa seccionada". Fuente: Elaboración propia.

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Los componentes de la envolvente arquitectónica a evaluar serán: Suelo sobre terreno, Muros, Entrepiso, Cubiertas inclinadas y Cubiertas planas; además de considerar también la definición de ventanas y puertas. Cada uno de estos componentes es identificado en las siguientes figuras (Figura 93 y Figura 94) describiendo las capas que lo integran, sus espesores, materiales y el valor U^1 de transferencia térmica.

MUROS				
CAPA	ESPESOR INDIVIDUAL (m)	ESPESOR TOTAL (m)	MATERIAL	VALOR U W/m^2K
1	0.120	0.120	TABIQUE CERÁMICO HUECO ESMALTADO 2 CARAS VINTEX	2.381

PUERTA METÁLICA				
CAPA	ESPESOR INDIVIDUAL (m)	ESPESOR TOTAL (m)	MATERIAL	VALOR U W/m^2K
1. INT	0.002	0.002	ACERO PINTADO BLANCO	2.631
2	0.050		AIR GAP	
3. EXT	0.002		ACERO PINTADO BLANCO	

VENTANA VIDRIO CLARO 6 MM				
CAPA	ESPESOR INDIVIDUAL (m)	ESPESOR TOTAL (m)	MATERIAL	VALOR U W/m^2K
1	0.120	0.120	TABIQUE CERÁMICO HUECO ESMALTADO 2 CARAS VINTEX	5.812

Figura 93. Tabla 1 de sistemas constructivos 1. Fuente Elaboración propia con información de (DesignBuilder Software Ltd, 2019)

¹ “U” es un coeficiente de transferencia térmica, una medida que indica la tasa de transferencia de calor a través de un material por unidad de área, por diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. Cuanto más bajo sea el

valor U, mejor será la capacidad de aislamiento del material, ya que permite menos transferencia de calor. Se expresa en unidades de $W/m^2 \cdot K$ (ASHRAE. 2017).

SUELO DE TERRENO				
CAPA	ESPESOR INDIVIDUAL (m)	ESPESOR TOTAL (m)	MATERIAL	VALOR U W/m²K
1. INT	0.020	1.2915	BALDOSA TERRAZO	0.944
2	0.020		MORTERO CEMENTO ARENA	
3	0.100		CONCRETO	
4	0.002		POLIETILENO LOW DENSITY	
5	0.050		ARENA SECA	
6	0.100		GRAVA	
7. EXT	1.000		TIERRA VEGETAL	



CUBIERTA PLANA				
CAPA	ESPESOR INDIVIDUAL (m)	ESPESOR TOTAL (m)	MATERIAL	VALOR U W/m²K
1. EXT	0.005	0.245	IMPERMEABILIZANTE ASFALTICO BLANCO	2.051
2	0.200		CONCRETO	
3. INT	0.040		ENLUCIDO VERMICULITA	



CUBIERTA INCLINADA				
CAPA	ESPESOR INDIVIDUAL (m)	ESPESOR TOTAL (m)	MATERIAL	VALOR U W/m²K
1. EXT	0.005	0.245	IMPERMEABILIZANTE ASFALTICO BLANCO	1.768
2	0.040		CONCRETO ALIGERADO VERMICULITA	
3	0.100		CONCRETO	
4. INT	0.020		ENLUCIDO VERMICULITA	



LOSA DE ENTREPISO				
CAPA	ESPESOR INDIVIDUAL (m)	ESPESOR TOTAL (m)	MATERIAL	VALOR U W/m²K
1. INT	0.020	0.245	BALDOSA TERRAZO	2.162
2	0.020		MORTERO CEMENTO ARENA	
3	0.100		CONCRETO	
4. INT	0.020		ENLUCIDO VERMICULITA	



Figura 94. Tabla 2 de sistemas constructivos. Fuente: Elaboración propia con información de (DesignBuilder Software Ltd, 2019)

² ASHRAE. Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.

7.3. HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN

Design Builder es un software que permite evaluar el desempeño de los edificios en modo pasivo y es utilizado para determinar si las soluciones arquitectónicas ofrecen un buen desempeño energético y ambiental. En él, se pueden crear modelos digitales de edificios e incluir todas sus características geométricas y de construcción para simular su rendimiento térmico y energético.

CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE

A continuación, se enlista la correcta configuración del software y las acciones requeridas para obtener un cálculo que ofrezca una aproximación más real de las condiciones de envolvente:

1. Configuración de datos climáticos y carga de archivo EPW (Energy Plus Weather data). Este archivo contiene los datos climáticos del punto geográfico de estudio, provenientes de registros históricos, estaciones meteorológicas cercanas e información satelital; y es generado mediante el software Meteonorm u obtenido a través del sitio web <https://climate.onebuilding.org>.
2. Carga de planos en formato DXF y modelado 3D de la geometría de la envolvente, con sus cerramientos, aberturas, dispositivos de control solar y edificios adyacentes.
3. Definición de la orientación del edificio respecto al norte geográfico.
4. Selección y definición de materiales de los sistemas constructivos con información de su densidad (Kg/m3), calor específico (J/Kg°C) y valores de conductividad K (W/m°C) y asignar tales propiedades a cada componente.
5. Definición de datos de ocupación y actividad de los usuarios a través de una plantilla ASHRAE² Educación No residencial, con un horario de actividad entre 08:00 y 15:00 hrs. considerando una densidad de 37 personas, mayoritariamente niños, generando calor metabólico en actividad de lectura con un factor de 0.75 que servirá para realizar el cálculo de las ganancias internas de la envolvente.
6. Definición de las opciones de cálculo para simulación:
 1. Periodo de simulación entre 01 Enero y 31 Diciembre con intervalos de resultados mensuales y diarios.

2. Soleamiento y sombreado incluirá los edificios y componentes adyacentes a la envolvente de estudio.
3. Los resultados generados realizarán cálculos de la transferencia de calor entre las superficies, las ganancias internas y solares, así como ofrecer datos sobre el comportamiento de las aberturas y las superficies.

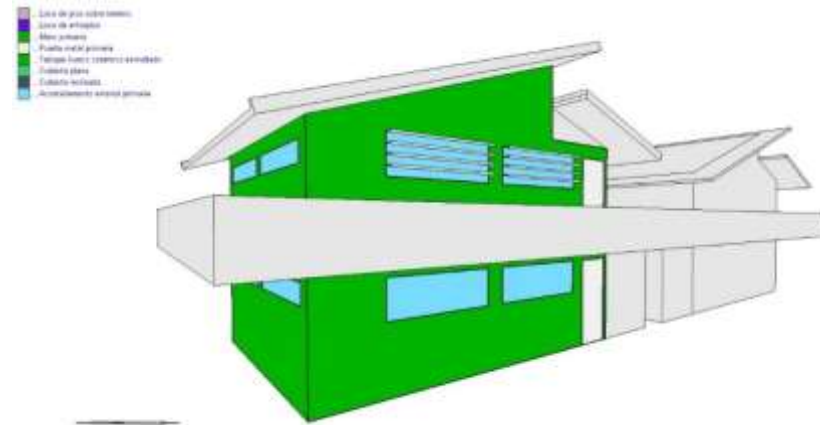


Figura 95. Modelo 3D de los componentes constructivos del edificio de estudio. Fuente: (DesignBuilder Software Ltd, 2019)

7.4. RESULTADOS DE SIMULACION

La Figura 96 permite visualizar el comportamiento de la temperatura operativa³ durante un año en relación con la temperatura exterior y la zona de confort térmico (obtenida según los datos climáticos y el cálculo de la temperatura neutra mediante la metodología de Auliciems⁴ y la definición de límites superior e inferior de la zona de confort postulados por Szokolay) (Szokolay, 2008).

Auliciems	Szokolay	
	Zona confort sup	Zona confort inf
$T_n = 17.6 + (0.31 * T_{med})$	$T_n + 2.5$	$T_n - 2.5$
ZONA DE CONFORT		

Tabla 23. Cálculo de zona de confort térmico Auliciems + Szokolay. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 96 se observa que la línea de temperatura operativa (representada por triángulos) se mantiene por debajo de la zona de confort inferior (representada por rombos) la mayor parte del

año entre 1.4°C y 1.6 °C, y sólo los meses más calurosos, abril y mayo se mantienen en el límite; información con la que se determina una necesidad de ganancia de calor durante todo el año para entrar en rangos de confort, deduciendo así que la envolvente arquitectónica requiere una reconfiguración para cumplir con los objetivos.

En la Figura 97 se muestra el comportamiento diario de la misma temperatura operativa en comparación con las variables de temperatura exterior y la zona de confort para el mes más caluroso del año (Mayo), que responde de manera similar por debajo de la zona inferior de confort durante 13 días por lo que se confirma una necesidad de ganancia o contención de calor al interior de la envolvente.

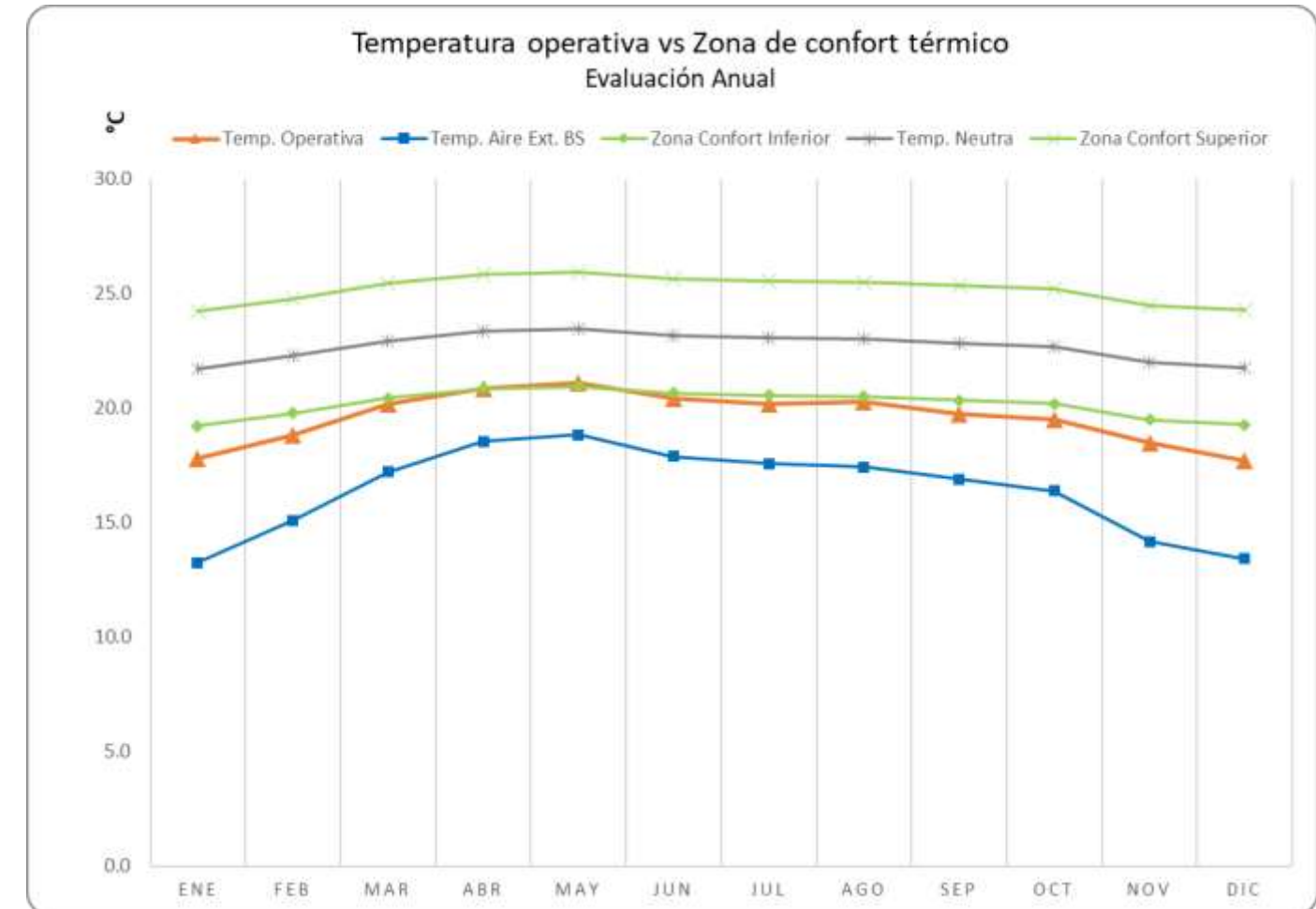


Figura 96. Temperatura operativa vs zona de confort térmico. Fuente: elaboración propia con datos de (DesignBuilder Software Ltd, 2019)

³ Indicador que combina la temperatura del aire y la temperatura radiante media emitida por las superficies para reflejar más exactamente la percepción térmica de los ocupantes dentro de un espacio. (ASHRAE. 2017).

⁴ Modelo utilizado para evaluar el confort térmico en diferentes zonas climáticas, tomando en cuenta tanto los factores climáticos externos como las respuestas fisiológicas de las personas. (Auliciems, A., et al, 2007).

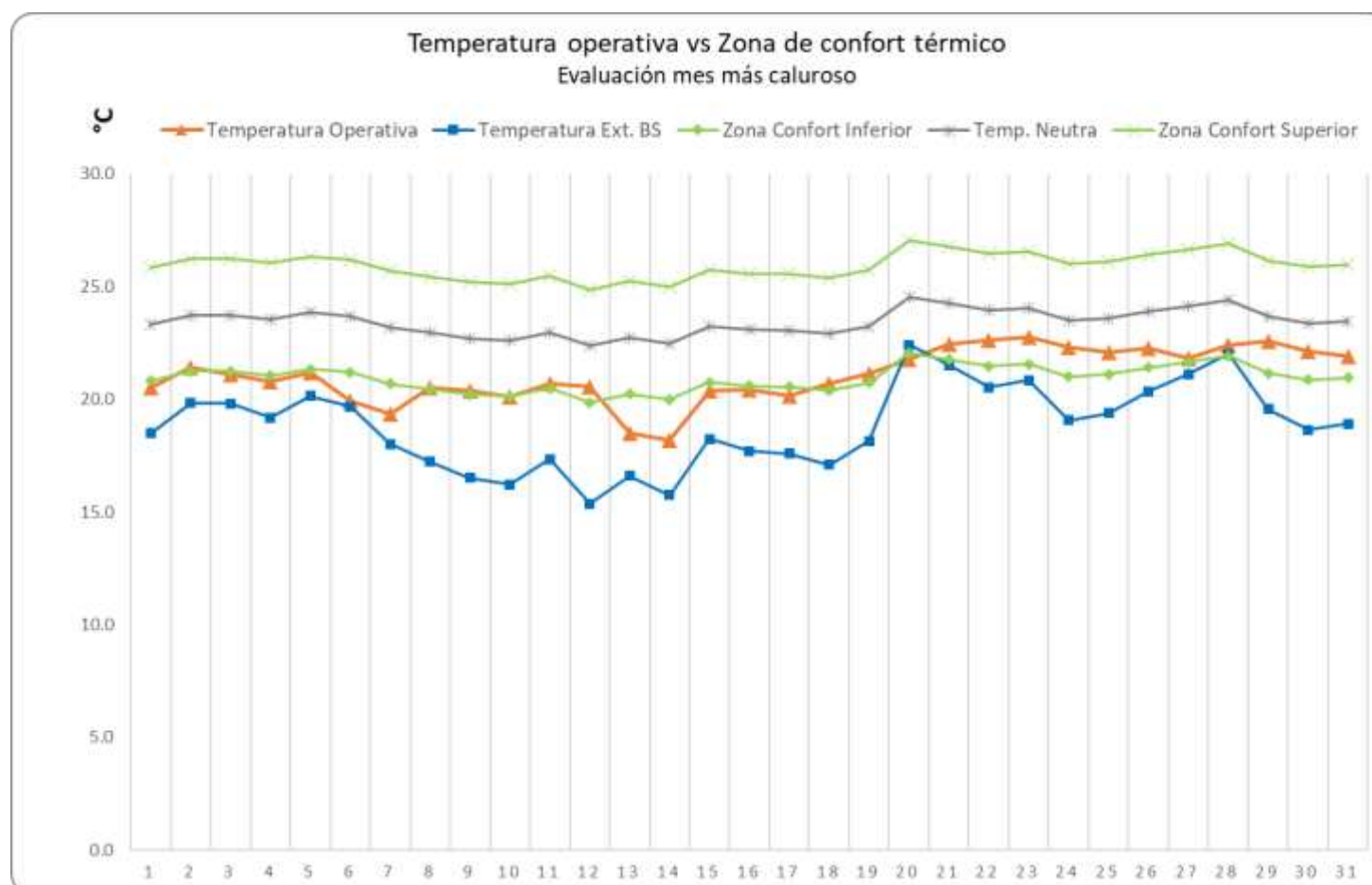


Figura 97. Temperatura operativa mes más caluroso. Fuente: Elaboración propia con datos de (DesignBuilder Software Ltd, 2019)

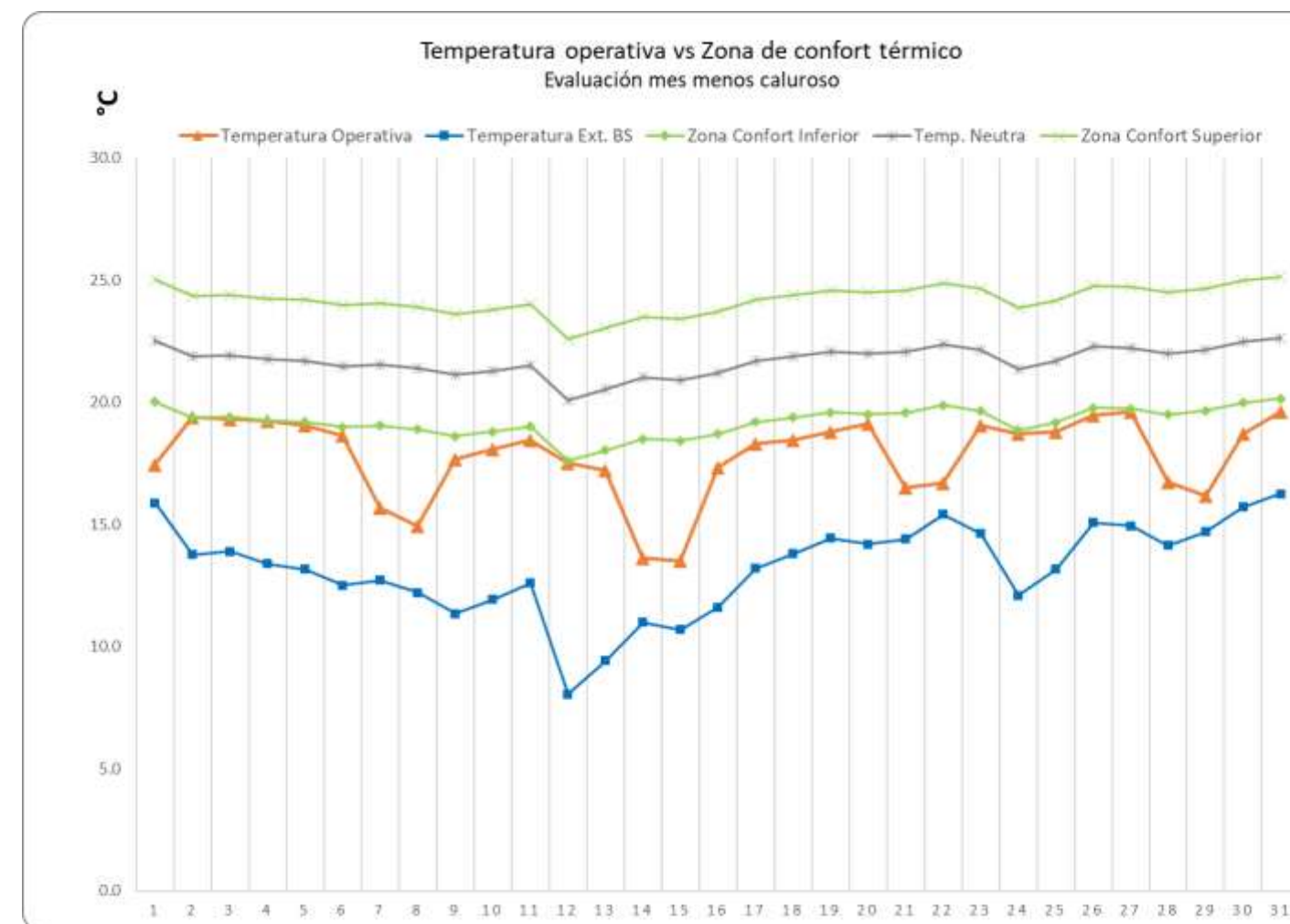


Figura 98. Temperatura operativa mes menos caluroso. Fuente: Elaboración propia con datos de (DesignBuilder Software Ltd, 2019)

Un escenario más crítico, se observa en la Figura 98 sometiendo a evaluación la temperatura operativa en el mes menos caluroso del año (Enero), donde casi en su totalidad, se encuentra por debajo de la zona de confort, requiriendo aún más ganancia de calor para incrementar temperatura por al menos 3°C para llegar al límite inferior de la zona de confort durante 20 días y un incremento de cerca de 5°C para conseguir mínimas condiciones de confort durante 8 días con la menor temperatura de entre 13°C y 17°C.

La Figura 99 presenta un gráfico donde se determina visualmente el comportamiento anual de los componentes de la envolvente arquitectónica funcionando de manera integral, estableciendo transferencias energéticas con el medio ambiente, los edificios, los elementos adyacentes, así como los ocupantes del espacio; y así identificar las áreas de oportunidad para implementar las reconfiguraciones necesarias.

En la gráfica se observan importantes ganancias internas debidas a la ocupación y ganancias solares por las ventanas; sin embargo, existen pérdidas importantes a través de los muros en primer lugar de entre los 600 – 1000 kWh. Motivo por el cual se sugiere replantear el sistema constructivo de los muros a fin de conseguir mayor concentración del calor interior y cederlo al exterior con un retardo térmico mayor.

7.5. CONCLUSIONES

Como análisis general, la envolvente arquitectónica propuesta es un espacio que provee condiciones de confort en el límite, con posibilidades de mejora con cambios no drásticos, de modo tal que una reconfiguración principalmente en el sistema constructivo de los muros podría incrementar la capacidad de conservación de calor interior para ofrecer espacios más confortables a los usuarios.

También es posible considerar el incremento de la superficie de ventanas con objeto de incrementar las ganancias solares y de iluminación, adecuando también los dispositivos de control solar para limitar la incidencia lumínica directa solar y evitar los deslumbramientos.

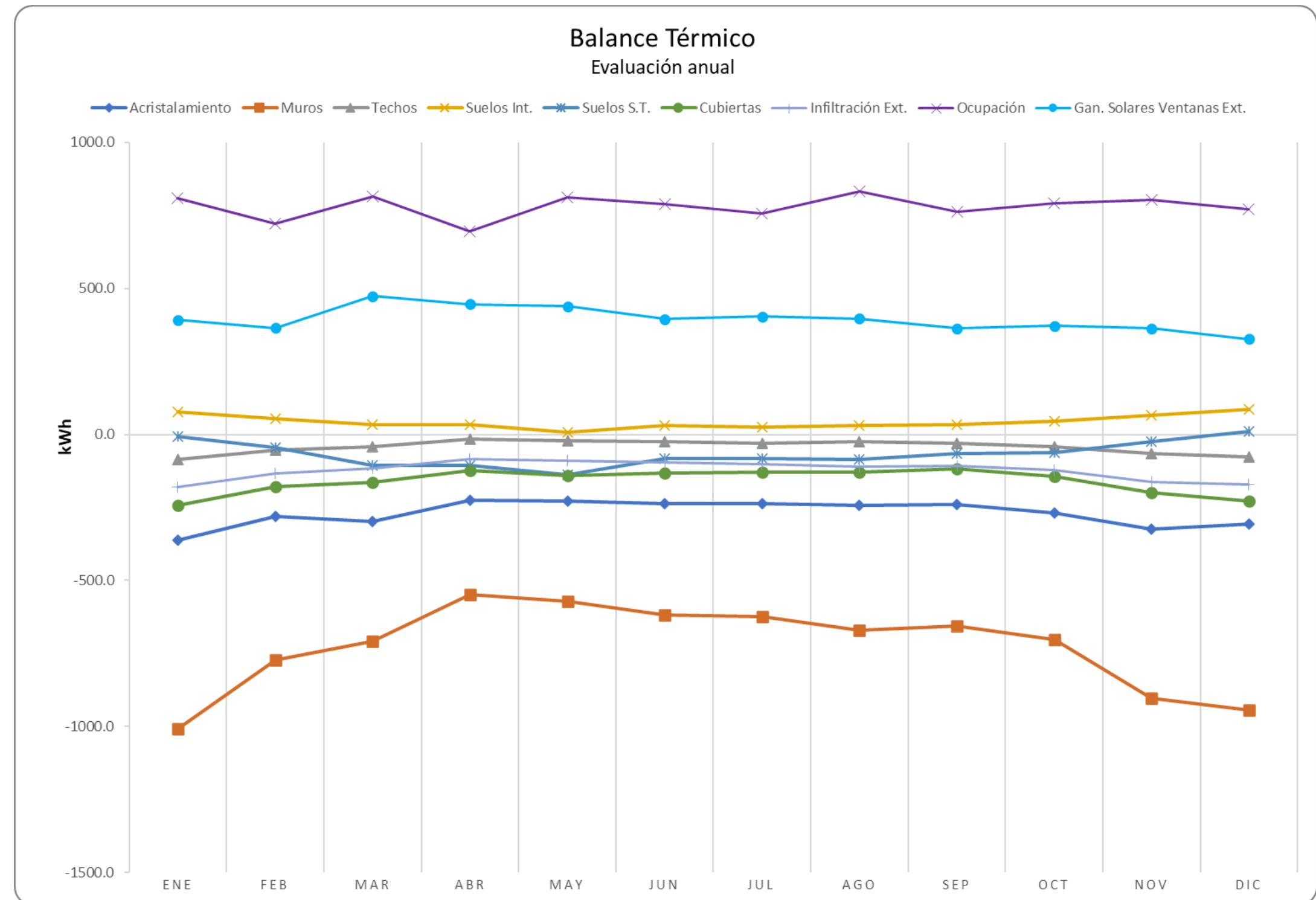


Figura 99. Balance térmico anual. Fuente: Elaboración propia con datos de (DesignBuilder Software Ltd, 2019)

8. NORMATIVIDAD

8.1. INTRODUCCIÓN

La envolvente de un edificio, compuesto por muros, techos, puertas y ventanas, son aquellas barreras que funcionan como interfaz de separación entre el espacio interior y el medio ambiente, al mejorar las características térmicas de cada uno de estos componentes, podemos reducir las ganancias o pérdidas de temperatura, reducir los gastos energéticos y proveer de confort a los usuarios.

Estas características de la envolvente arquitectónica tienen un gran impacto en la cantidad de energía necesaria para mantener la temperatura interior dentro de un rango confortable. En México, el mayor consumo de energía en las edificaciones es por concepto de acondicionamiento de aire, durante las épocas de mayor calor, principalmente en las zonas norte y costera del país. La ganancia por radiación solar es la fuente más importante a controlar, lo cual se logra con un diseño adecuado de la envolvente (NOM-008-ENER-2001, 2001).

Evaluar un edificio basado en la norma, proporciona una guía de diseño inmediata para analizar las condiciones térmicas-energéticas y establecer los lineamientos y criterios que garanticen la eficiencia de la envolvente, y así construir más edificios más sostenibles desde el punto de vista energético.

8.2. NORMATIVIDAD APLICABLE

Para este trabajo de investigación, se sometió la propuesta arquitectónica a los criterios de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-008-ENER-2001.

El objetivo de la norma es limitar las ganancias de calor de las edificaciones a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento.

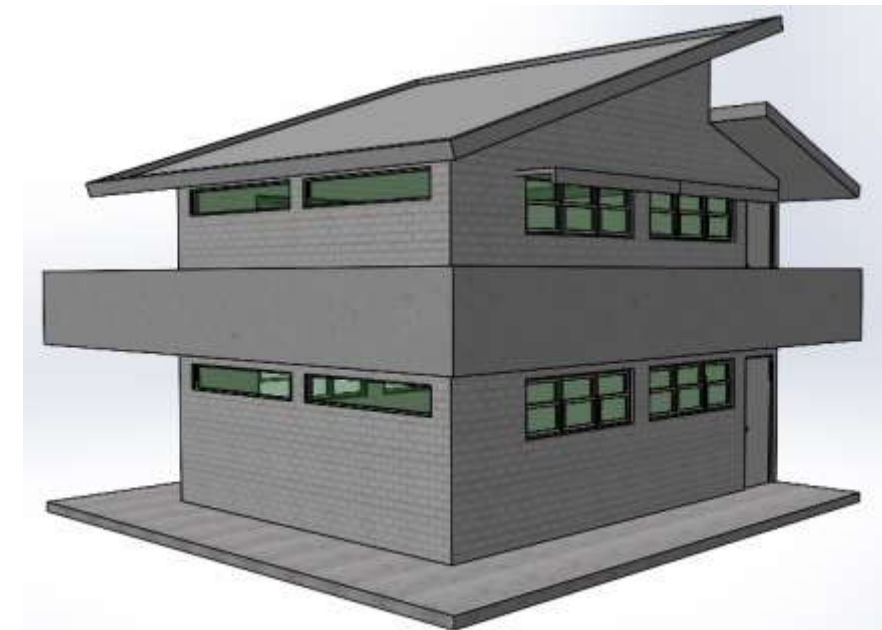
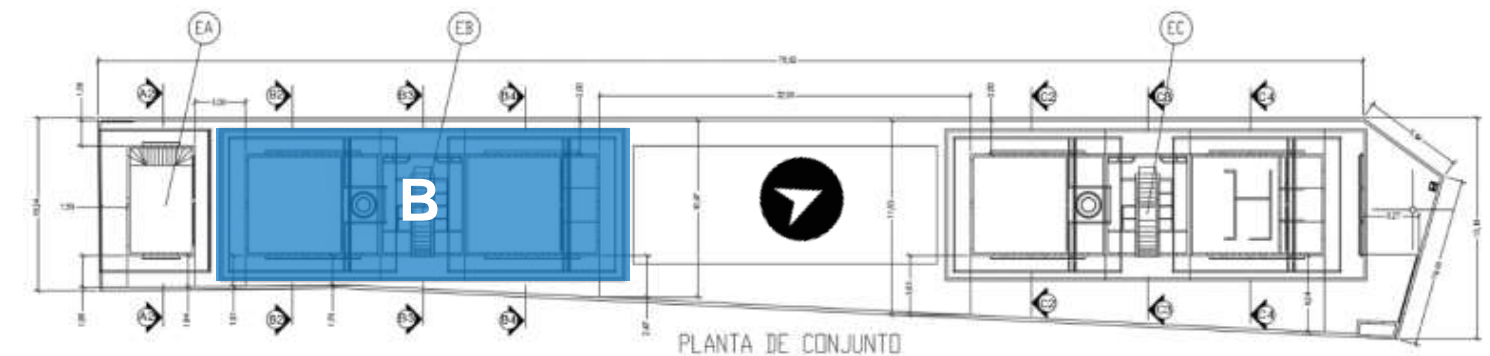
Esta norma se enfoca en reducir el consumo de energía derivado de la climatización interior, para calentar o reducir temperatura, al mejorar las propiedades térmicas de los materiales de construcción. Al implementar esta norma, se busca optimizar el aislamiento y minimizar las pérdidas o ganancias de calor, lo que resulta en un uso más racional de los recursos energéticos y en una mayor sostenibilidad ambiental del edificio.

Su campo de aplicación hacia todos los edificios nuevos y las ampliaciones de edificios existentes. Quedan excluidos edificios cuyo uso primordial sea industrial o habitacional. Si el uso de un edificio dentro del campo de aplicación de esta Norma constituye el 90% o más del área construida, esta Norma aplica a la totalidad del edificio.

8.3. CASO DE ESTUDIO

La envolvente de estudio será una sección del edificio B del conjunto arquitectónico, que corresponde a un edificio con aulas tipo, propuesto en anteproyecto (Figura 100). Este edificio cuenta una orientación de 12° al noroeste y consta de 1 aula en planta baja y 1 aula en Nivel 1.

Ambas aulas han sido proyectadas con sistemas constructivos similares en muros, pisos, techos, puertas y ventanas; con un área similar de 43.89 m², pero con variantes en la altura de sus techos, así como la ubicación y cantidad de ventanas. La Figura 101 muestra una imagen descriptiva del caso de estudio sometido a evaluación.



8.4. METODOLOGÍA

El presente estudio se realizó mediante una herramienta digital desarrollada y provista por 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.

Se trata de una herramienta para calcular el cumplimiento del proyecto con la Norma Oficial Mexicana a través de la captura de la información de los componentes del edificio y sus sistemas constructivos.

El objetivo será conseguir que la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado sea menor o igual a la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia (Figura 102). Para ello, sigue el siguiente procedimiento:

1. Definición de la zona climática. Al capturar la localización del emplazamiento, la herramienta identifica las condiciones ambientales y las exigencias de aislamiento que demanda el edificio, a través de las categorías de zonas climáticas para México que La NOM-008-ENER-2001 establece.
2. Ingreso de parámetros constructivos. Se ingresan las características físicas de los componentes de la envolvente como: Orientación, tipo de materiales, espesor de muros y techos, superficie y propiedades térmicas, para ventanas: dimensiones, muro de ubicación, tipo de vidrio y elementos de sombreado.
3. La herramienta calcula la transferencia térmica de todos los componentes por conducción y radiación. Se busca que los valores calculados de resistencia térmica superen los valores mínimos especificados en la norma para cada tipo de construcción y zona climática.
4. Evaluación de cumplimiento: Finalmente, la herramienta verifica si la envolvente del edificio cumple con los requisitos de eficiencia energética establecidos en la norma, comparados con el envolvente de referencia emitiendo un porcentaje de eficiencia energética.

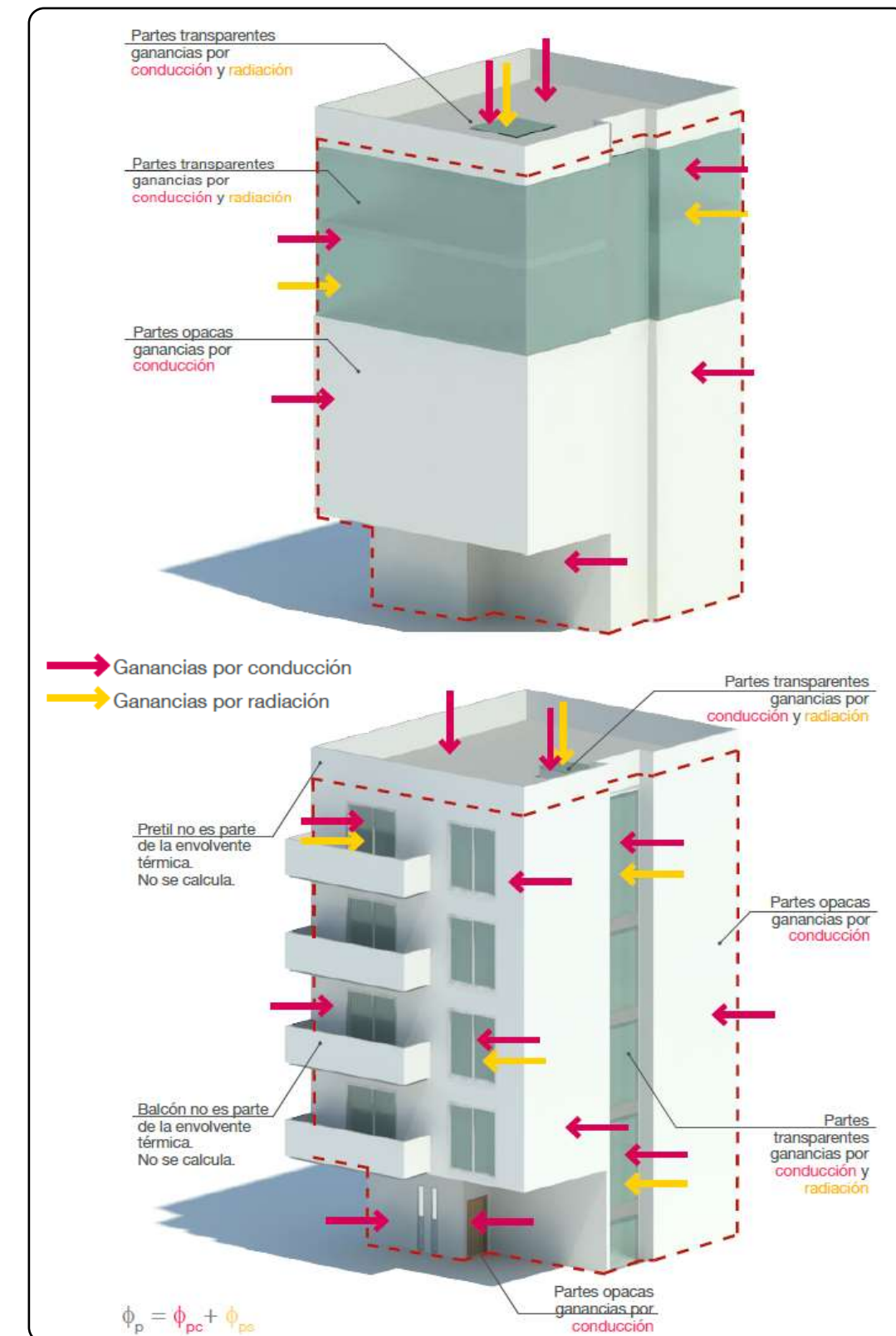


Figura 102. Ejemplo comparativo de edificio proyectado vs edificio de referencia. Fuente: (SENER-CONUEE, 2016)

8.5. DESARROLLO DE LA EVALUACIÓN

Definición y captura de muros y techos.

Muro

Nombre del muro: Muro N1
Orientación: Norte
Área del muro: 31.2 m²
Sistema constructivo: Tabique hueco cerámico esmaltado A=1.04

MURO Tabique hueco cerámico esmaltado blanco 2 caras						
CAPA	ESPESOR (m)	ESPESOR TOTAL (m)	MATERIAL	CONDUCTIVIDAD K (W/m°C)	FUENTE	Valor K
1	0.120	0.120	TABIQUE CERÁMICO HUECO ESMALTADO 2 CARAS VINTEX	0.1573	NOVACERAMIC	1.04

Fuente: (NOVACERAMIC, 2022)

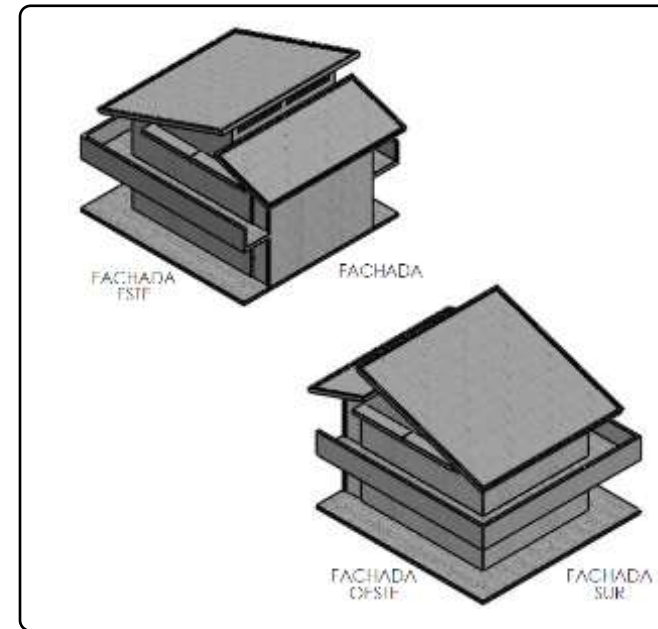


Figura 103. Isométricos por fachadas de sección Edificio B para estudio NOM-008-ENER-2001. Fuente: Elaboración propia.

Figura 104. Captura de Muros - Fuente: Adaptado de herramienta cálculo NOM-008-ENER-2001 . (SENER- CONUEE & Agencia Danesa de Energía, 2017)

Techo o superficie inferior

Nombre de la porción: Techo S1
Área de la porción: 60.8 m²
La porción es un techo
Sistema constructivo: Concreto-vermiculita-loseta 1.57

CUBIERTA INCLINADA Concreto + vermiculita + loseta cerámica						
CAPA	ESPESOR (m)	ESPESOR TOTAL (m)	MATERIAL	CONDUCTIVIDAD K (W/m°C)	FUENTE	Valor K
1. EXT	0.020	0.180	LOSETA CERÁMICA	1.4	CIBSE Guide A (2006)	1.57
2	0.040		CONCRETO ALIGERADO VERMICULITA	0.17	BRE, DB	
3	0.100		CONCRETO	1.75	González	
4. INT	0.020		ENLUCIDO VERMICULITA	0.2	DB	

Fuente: (CIBSE, 1999; ISO 10456:2007 - Building materials and products — Hygrothermal properties — Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values, 2007; Norma Chilena Oficial NCh. 853, s/f)

Figura 106. Captura de Techos - Fuente: Adaptado de herramienta cálculo NOM-008-ENER-2001 . (SENER- CONUEE & Agencia Danesa de Energía, 2017)

MUROS								
NOMBRE	ORIENTACIÓN	SISTEMA CONSTRUCTIVO	Valor K	CANT.	ANCHO	ALTO	AREA m ²	
MN1_Muro N1	NORTE	Mampostería con tabique hueco cerámico esmaltado, castillo ahogado con mortero y refuerzos horizontales de varilla corrugada	1.04	1	6	5.2	31.20	
MN2_Muro N2	NORTE			1	6	1	6.00	
ME1_Muro E1	ESTE			1	-	-	46.27	
MS1_Muro S1	SUR			1	6	5.1	30.60	
MO1_Muro O1	OESTE			1	-	-	46.27	

TECHOS								
NOMBRE	TIPO	SISTEMA CONSTRUCTIVO	Valor K	CANT.	ANCHO	ALTO	AREA m ²	
TS1_Techo S1	TECHO	concreto armado + vermiculita + loseta	1.57	1	7.6	8	60.80	
TN1_Techo N1	TECHO			1	3.4	8	27.20	

Tabla 24. Definición de muros y techos para cálculo NOM-008-ENER-2001. Fuente: Elaboración propia

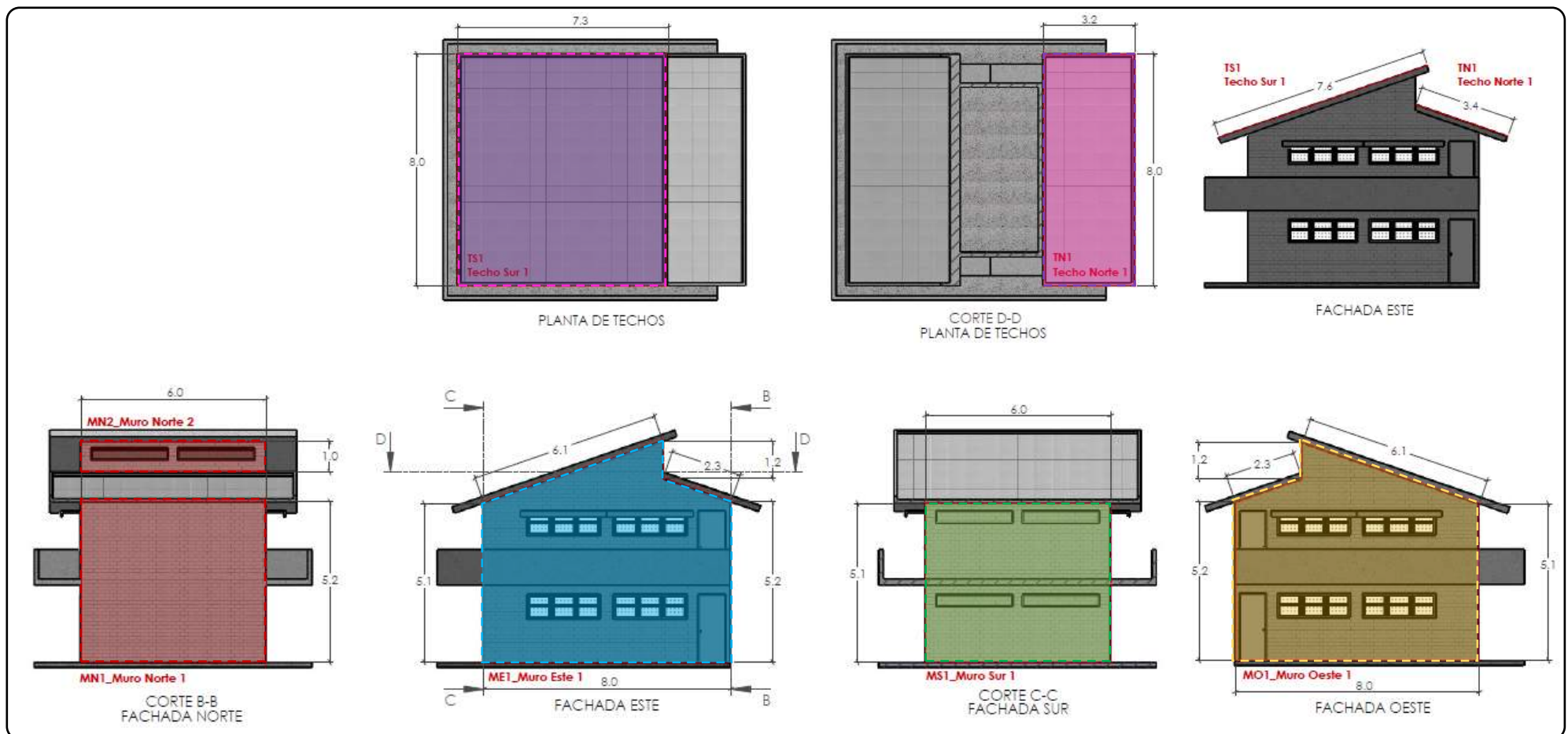


Figura 105. Planos de identificación de Muros y Techos para estudio NOM-008-ENER-2001. Fuente: Elaboración propia.

Definición y captura de puertas, ventanas y elementos de sombreado

Puerta

Nombre de la puerta: Puerta O1

Esta puerta está en: Muro O1

Área de la puerta: 3.96 m²

Material de la puerta: Mator porcelanizado 2C + Panel K= 1.59

PUERTA Acero porcelanizado 2C + Panel cartón + MDF						
CAPA	ESPESOR (m)	ESPESOR TOTAL (m)	MATERIAL	CONDUCTIVIDAD K (W/m°C)	FUENTE	Valor K
1. INT	0.002	0.035	ACERO PORCELANIZADO	50	ISO 10456 DB	1.59
2	0.003		TABLERO MDF	0.14	DESIGN BUILDER	
3	0.025		PANAL DE ABEJA DE CARTON 1"	0.065	TIMOMARQUEZ	
4	0.003		TABLERO MDF	0.14	DESIGN BUILDER	
3. EXT	0.002		ACERO PORCELANIZADO	50	ISO 10456 DB	

Fuentes: (CIBSE, 1999; ISO 10456:2007 - Building materials and products — Hygrothermal properties — Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values, 2007; Norma Chilena Oficial NCh. 853, s/f)

Figura 107. Captura de Puertas - Fuente: Adaptado de herramienta cálculo NOM-008-ENER-2001. (SENER- CONUEE & Agencia Danesa de Energía, 2017)

Ventana

Nombre de la ventana: Ventana N1

Esta ventana está en: Muro N1

Área de la ventana: 2.8 m²

Tipo de vidrio: Claro 6mm K= 4.86 CS= 1.20

Tipo de sombra: Sin Sombra

Figura 110. Captura de Ventanas - Fuente: Adaptado de herramienta cálculo NOM-008-ENER-2001. (SENER- CONUEE & Agencia Danesa de Energía, 2017)

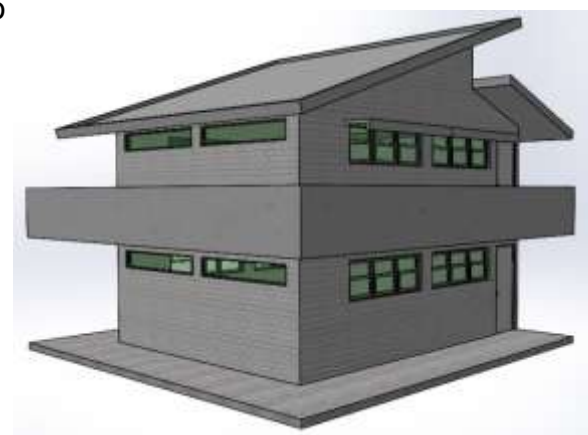


Figura 108. Isométricos fachada Sur-Este de sección Edificio B para estudio NOM-008-ENER-2001. Fuente: Elaboración propia.

VENTANAS Y SOMBRAS

ID	MURO	SISTEMA CONSTRUCTIVO	Valor K	CANT.	ANCHO	ALTO	AREA m ²	TIPO SOMBRA
VN1_Vent N1	MN1_Muro N1	Vidrio claro 6 mm	4.86	2	2.5	0.4	2.00	SIN
VE1_Vent E1	ME1_Muro E1			2	2.4	0.8	3.84	VOLADO L=0.6 H=0.2 A=0.6
VE2_Vent E2	ME1_Muro E1			2	2.4	0.8	3.84	SIN
VS1_Vent S2	MS1_Muro S1			4	2.5	0.4	4.00	SIN
VO1_Vent O1	MO1_Muro O1			2	2.4	0.8	3.84	VOLADO L=0.6 H=0.2 A=0.6
VO2_Vent O2	MO1_Muro O1			2	2.4	0.8	3.84	SIN

PUERTAS

ID	MURO	SISTEMA CONSTRUCTIVO	Valor K	CANT.	ANCHO	ALTO	AREA m ²
PE1_Puerta E1	ME1_Muro E1	Acero porcelanizado	2.631	2	0.9	2.2	3.96
PO1_Puerta O1	MO1_Muro O1	2C + panel		2	0.9	2.2	3.96

Tabla 25. Definición de puertas, ventanas y dispositivos de sombreado para cálculo NOM-008-ENER-2001. Fuente: Elaboración propia

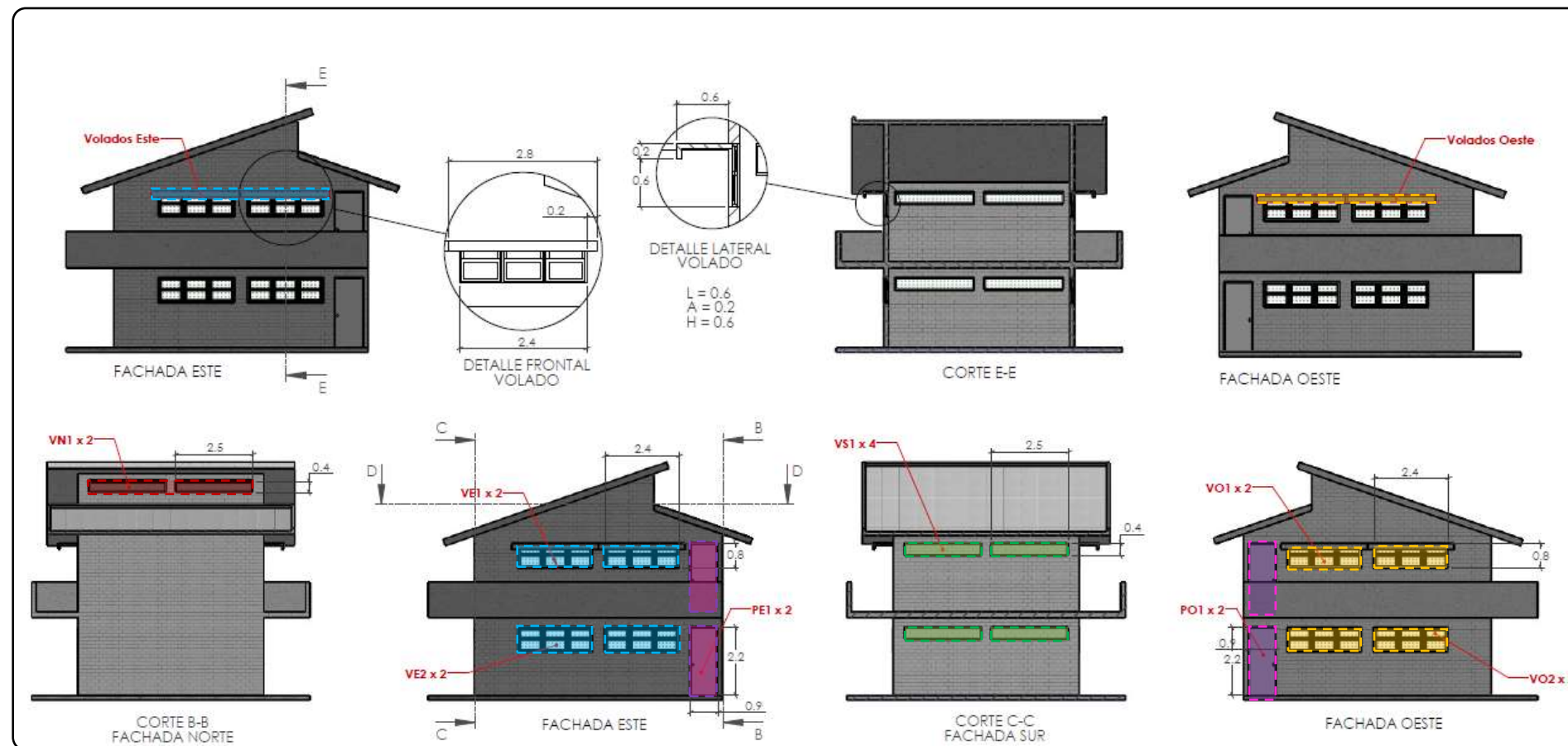


Figura 109. Planos de identificación de puertas, ventanas y dispositivos de sombreado para estudio NOM-008-ENER-2001. Fuente: Elaboración propia.

8.6. RESULTADOS DE EVALUACIÓN

En la Figura 111 se presentan los resultados del análisis térmico-energético realizado mediante la herramienta de evaluación, los cuales demuestran que el edificio proyectado posee un mejor desempeño energético en comparación con el edificio de referencia. El valor total de 3,461.14 W representa la suma neta de las pérdidas por conducción y las ganancias por radiación del edificio proyectado, siendo significativamente menor al valor obtenido para el edificio de referencia. Esto indica que el edificio proyectado ha sido diseñado para ser más eficiente energéticamente, implementando mejoras en la selección de materiales y estrategias pasivas que minimizan la ganancia de calor solar y mejoran el aislamiento térmico.

El software de evaluación confirma que el edificio cumple con la normativa vigente y que es un 37% más eficiente respecto al edificio de referencia, lo que se traduce en una optimización significativa en la reducción de cargas energéticas, un menor consumo de energía y un mayor confort térmico para los usuarios.

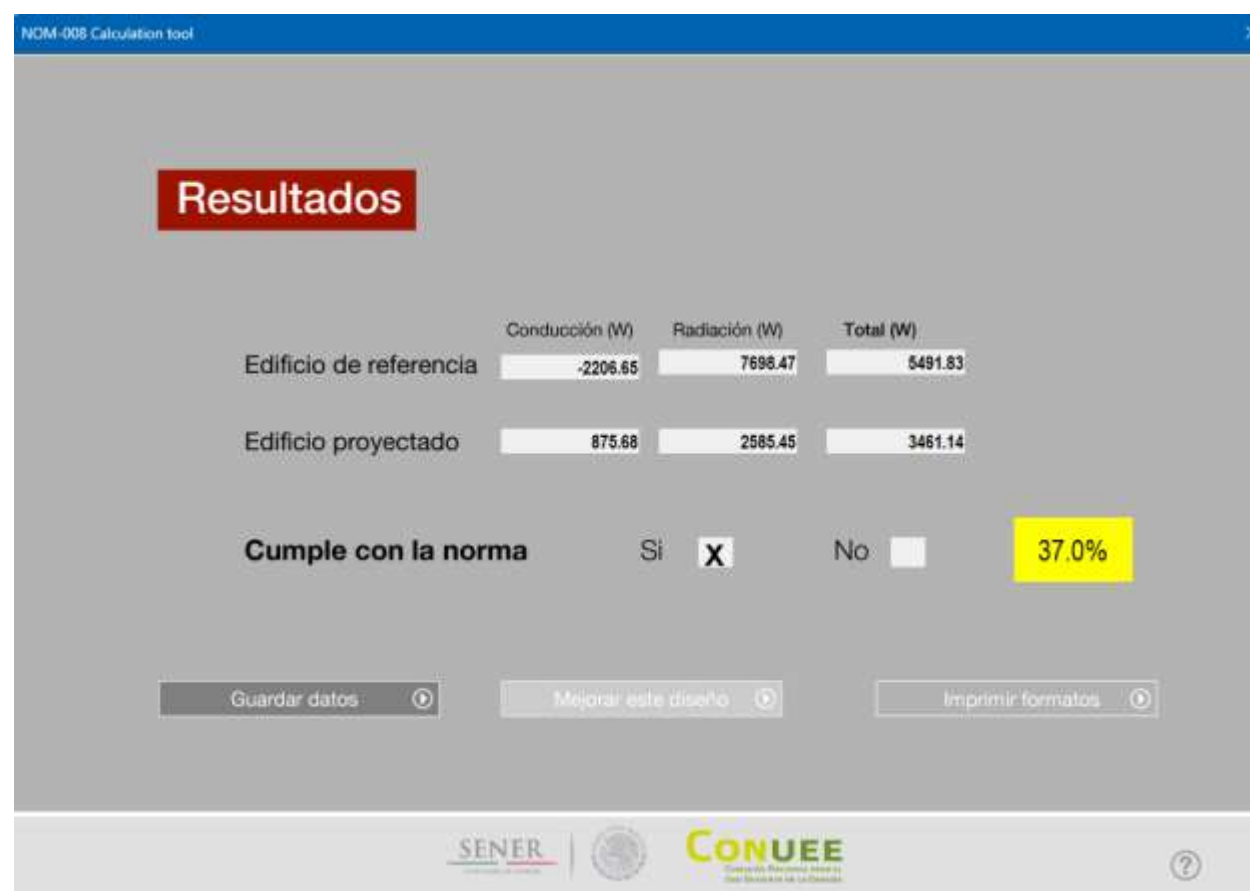


Figura 111. Pantalla de resultado de evaluación. Fuente: Herramienta de cálculo NOM-008-ENER-2001. (SENER-CONUEE & Agencia Danesa de Energía, 2017)

En cuanto a los valores específicos, el dato de conducción para el edificio proyectado, con un valor positivo de 875.68 W, indica que las pérdidas por conducción son considerablemente menores en comparación con el edificio de referencia. Esto sugiere la implementación de un mejor aislamiento térmico o la reducción de la transferencia de calor a través de los elementos de la envolvente del edificio. El valor de radiación, con 2,585.45 W, representa la ganancia de calor solar en el edificio proyectado, también inferior a la del edificio de referencia. Este resultado sugiere que el diseño del edificio incorpora medidas para mitigar la incidencia solar directa y las ganancias térmicas asociadas.

Como parte del cumplimiento de la normativa, los edificios nuevos o ampliaciones de edificaciones existentes que entren dentro del campo de aplicación de la NOM-008-ENER-2001 deberán contar con una etiqueta que proporcione a los usuarios una relación entre la ganancia de calor solar del edificio proyectado y la del edificio de referencia. La Figura 112 ilustra un ejemplo de dicha etiqueta, la cual identifica que el edificio cumple con la norma y comunica al consumidor la eficiencia energética de su construcción.

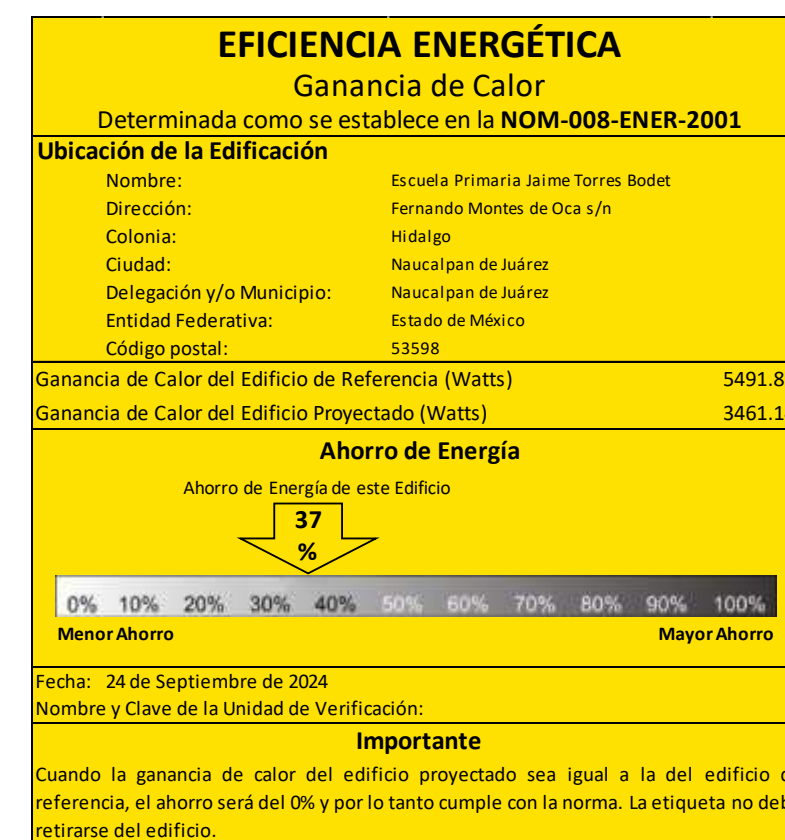


Figura 112. Ejemplo de distribución de la información de la etiqueta de la envolvente de los edificios no residenciales. Fuente: Adaptada de NOM-008-ENER-2001

8.7. CONCLUSIONES

Este análisis demuestra que el edificio proyectado cumple con los criterios de eficiencia energética establecidos en la NOM-008-ENER-2001, logrando una reducción de ganancias de calor del 37% en comparación con el edificio de referencia. Esto sugiere que la envolvente térmica del proyecto está diseñada para ser energéticamente eficiente, lo que contribuirá a reducir el consumo de energía asociado a la climatización, mejorando el confort térmico y optimizando el uso de recursos.

Los resultados de la evaluación indican que el edificio reduce el consumo energético destinado al enfriamiento, al minimizar las ganancias de calor por conducción y radiación. Sin embargo, los estudios térmicos realizados con Design Builder revelan que, a lo largo del año, la temperatura operativa del espacio se encuentra por debajo de la zona de confort en ciertas épocas. Por lo tanto, esta ganancia de calor podría representar una ventaja en temporadas de bajas temperaturas, mejorando las condiciones térmicas del espacio.

Este cruce de información entre los análisis de la NOM-008-ENER-2001 y los resultados de Design Builder permiten inferir que, si se reduce la ganancia de calor por radiación a través de las ventanas, por ejemplo, para obtener un grado mayor de eficiencia energética (menos watts ganados), entonces se estaría limitando la incidencia solar y reduciendo la temperatura operativa del espacio. Por el contrario, incrementar la superficie de acristalamiento, para obtener mayor ganancia de calor por radiación e incrementar la temperatura operativa, se traduciría en menor eficiencia térmica para la NOM-008-ENER-2001, e incluso, un incumplimiento. De tal manera que podemos concluir que al reducir las ganancias, se consigue más eficiencia, pero éste hecho no necesariamente otorga beneficios de confort térmico interior y deben considerarse variables adicionales para implementar las estrategias más adecuadas.

9. ANÁLISIS DE CONFORT LUMÍNICO

9.1. INTRODUCCIÓN

El confort lumínico se define como el estado en el que la iluminación, tanto natural como artificial, permite la realización de actividades visuales de manera eficiente y sin causar fatiga o deslumbramiento, proporcionando una sensación de bienestar y satisfacción visual en el usuario. Este concepto incluye la calidad, cantidad, y distribución uniforme de la luz en un espacio, así como la capacidad para controlar y adaptar la iluminación según las necesidades específicas del entorno. (Boyce, 2014).

Un espacio arquitectónico con condiciones lumínicas adecuadas, considera factores como un envolvente correctamente orientado, conformado por materiales constructivos con determinadas propiedades reflectantes, la definición de un tamaño y ubicación estratégica de las aberturas, la implementación de dispositivos de control solar, y en caso necesario, la integración de luminarias eléctricas eficientes para cumplir con los requerimientos de iluminación específicos para los espacios, los usuarios y sus actividades. Estos requerimientos están definidos por reglamentos y normas aplicables al tipo de espacio y a la ubicación geográfica de los mismos; y son principalmente: Nivel de iluminación, uniformidad en la distribución de la luz, disminución de los deslumbramientos, el índice de reproducción cromática y la temperatura de color.

Particularmente, el confort lumínico en los espacios educativos está determinado por la calidad, la cantidad y el equilibrio de la iluminación natural y artificial que incide al interior de ellos, y tiene el objetivo de ofrecer ambientes que promuevan la comodidad, la concentración, el aprendizaje y por ende, la salud de los estudiantes y docentes.

9.2. OBJETIVO Y HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS

Con el fin de evaluar las condiciones lumínicas de los espacios educativos propuestos en el anteproyecto arquitectónico, se realizarán los cálculos y simulaciones de la iluminación natural y artificial mediante las herramientas digitales: Dynamic Daylight de Andrew Marsh®, DIALux evo® y en el dispositivo “Cielo Artificial” dentro del laboratorio de Arquitectura Bioclimática de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco mediante un modelo tridimensional físico calibrado a escala.

9.3. CASO DE ESTUDIO

Los espacios de estudio serán 2 aulas tipo, localizadas en Planta baja y Primer nivel del Edificio B del conjunto arquitectónico, mismo que se encuentra orientado 12° al Nor-Oeste (Figura 113).

Ambas aulas tipo con materiales y acabados interiores: muros, pisos, techos, puertas y ventanas de colores claros definidos y una reflectancia particular a fin de promover el incremento de luz natural y limitar los índices de deslumbramiento a los usuarios.

Ambas aulas tipo cuentan con un área similar de $7.7 \text{ m} \times 5.7 \text{ m} = 43.89 \text{ m}^2$ pero con variantes en la altura de sus techos, la ubicación y cantidad de ventanas, así como distintos dispositivos de control solar (Figura 114).

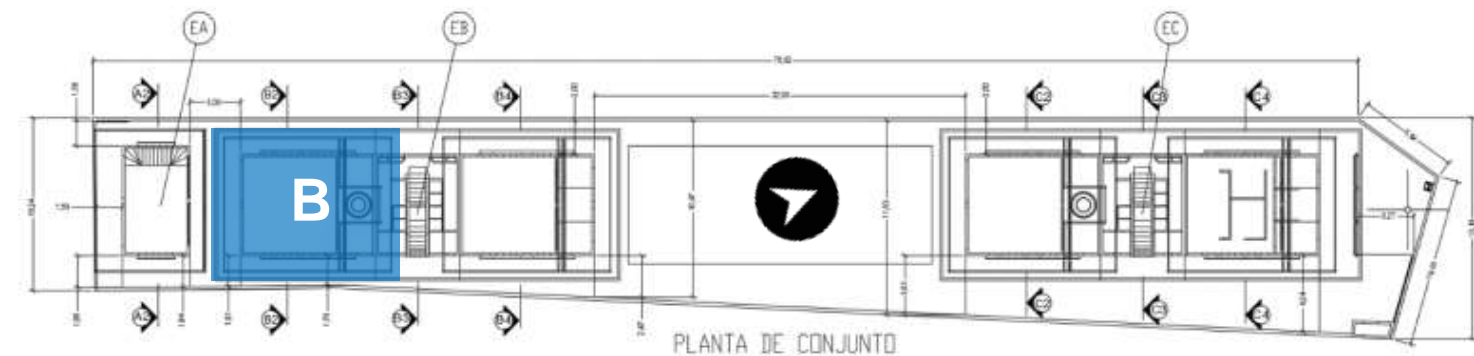


Figura 113. Conjunto arquitectónico de anteproyecto. Fuente: Elaboración propia.

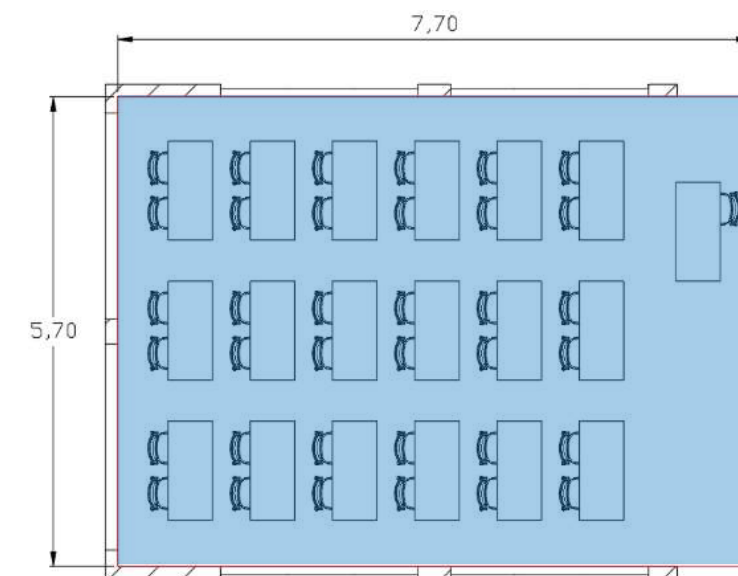


Figura 114. Edificio B, planta de aula tipo PB-N1. Fuente: Elaboración propia.

AULA TIPO PLANTA BAJA. Fachada Este y Oeste: 2 ventanas de $0.80 \text{ m} \times 2.40 \text{ m}$ y 1 puerta de $2.20 \text{ m} \times 0.90 \text{ m}$. Fachada Sur: 2 ventanas de $0.40 \text{ m} \times 2.50 \text{ m}$. El pasillo del primer nivel funge como dispositivo de control solar para limitar la incidencia en las ventanas este y oeste por lo que no se implementó ningún otro sistema.

AULA TIPO PRIMER NIVEL. Fachada Este y Oeste: 2 ventanas de 0.80 m x 2.40 m y 1 puerta de 2.20 m x 0.90 m. Fachada Sur: 2 ventanas de 0.40 m x 2.50 m. Fachada norte: 2 ventanas de 0.40 m x 2.50 m. Losa de techo en 2 secciones inclinadas (Figura 115).

Las ventanas de las fachadas Este y Oeste cuentan con un dispositivo de control solar horizontal denominado "Repisa seccionada" conformada por 4 superficies planas equidistantes de 20 cm de profundidad dispuestas a lo largo del vano (2.40 m) y un "Faldón vertical" de 5 cm de altura; cuya función será retener la incidencia de la radiación directa hacia el interior del espacio (Figura 116).

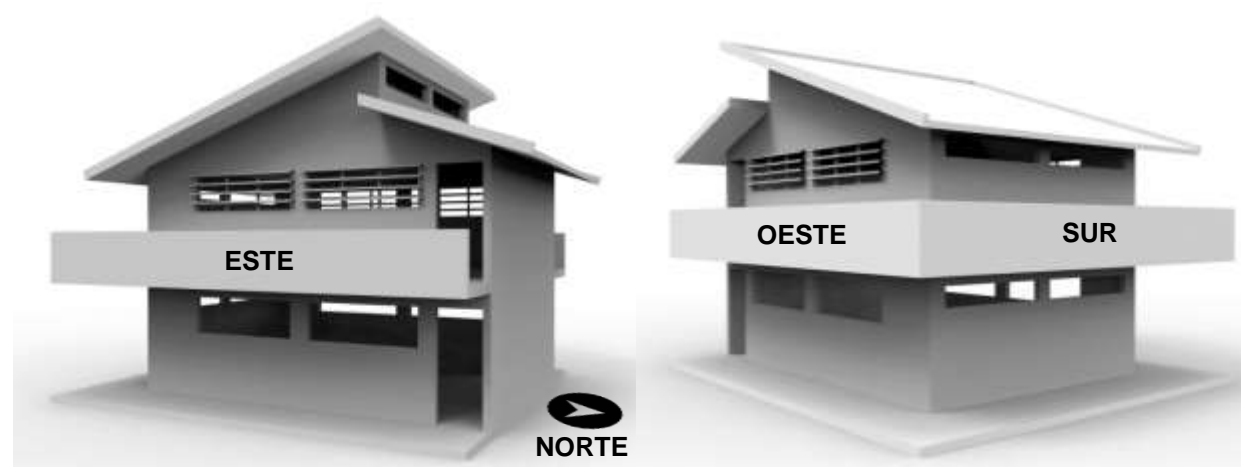


Figura 115. Edificio B, Fachadas noreste y suroeste. Fuente: Elaboración propia.

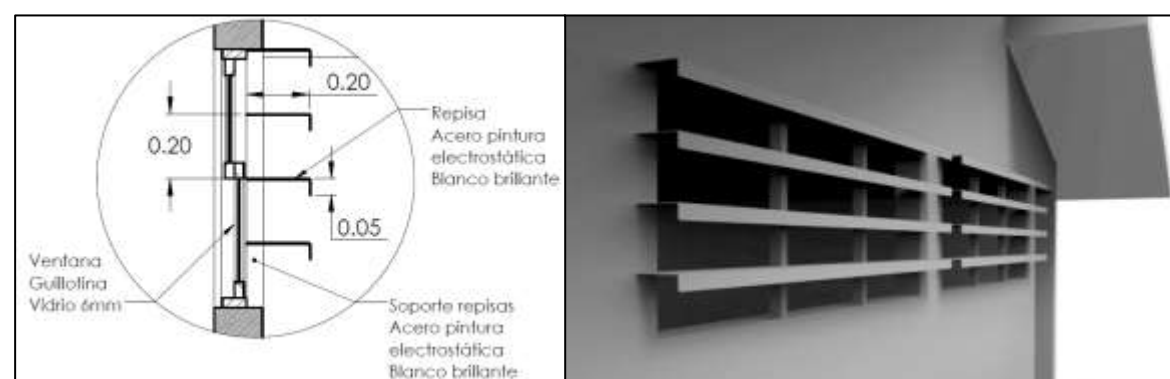


Figura 116. Dispositivo de control solar "Repisa seccionada". Fuente: Elaboración propia.

9.4. DATOS NORMATIVOS

Para efectos del estudio lumínico del proyecto, se consideraron datos de la normativa internacional y de las reglamentaciones mexicanas que servirá de referencia base para cumplir con los niveles óptimos de iluminación en el espacio escolar. La Tabla 26 muestra una recopilación de los parámetros útiles para el estudio de iluminación en espacios educativos, información proveniente de las distintas normas y organismos consultados. El alcance del estudio en este momento será la evaluación de los parámetros ideales de iluminación en el Aula (resaltados en la primer fila) y que atienden a: Niveles de iluminación (Lux), índice de reproducción cromática (Ra / CRI) e índice de deslumbramiento (UGR).

	LUX Intensidad lumínica						UGR (rating unified glare) Medida del deslumbramiento psicológico						Ra / CRI Índice de reproducción cromática					
	Europa UNE	IES	Intl CIE	DIALUX	México NTC	México STPS	Europa UNE	IES	Intl CIE	DIALUX	México NTC	México STPS	Europa UNE	IES	Intl CIE	DIALUX	México NTC	México STPS
AULA ESCOLAR	300	15 fc	300	300	300	300	19	19	19				80	80	80			
PIZARRÓN	500		500				19		19				80		80			
SALA DE LECTURA	500		500				19		19				80		80			
OFICINA ADMINISTRATIVA	300		500				19		19				80		80			
SALAS DE PROFESORES	300		300	300			19		22	19			80		80	80		
SALA DE CÓMPUTO			500	300		500			19	19					80	80		
BIBLIOTECA CONSULTA	500		500	500			19		19	19			80		80	80		
AREAS DE CIRCULACIÓN Y PASILLOS	100	20 fc	100-200	200	100	100	25			22			80			80		
ESCALERAS	150			150		50	25			25			80			80		
SANITARIOS			200-300															

Tabla 26. Niveles de iluminación por normativa. Fuente: Elaboración propia.

9.5. ILUMINACIÓN NATURAL

Puede provenir de una porción de luz de la bóveda celeste, ya sea de forma directa o difusa; y/o de la reflexión de esa luz sobre cualquier superficie ya sea interior o exterior.

Como parámetro de referencia, la iluminación o "claridad" en el cenit en un día nublado es cercana a 3 veces mayor que en el horizonte, y la iluminación en un día despejado es 10 veces mayor en dirección al sol que en la parte menos clara de la bóveda celeste.

El objetivo de este análisis es verificar que la configuración arquitectónica en orientación, distribución de los espacios y la definición de las aberturas sean tales que permitan una incidencia de luz diurna⁵ adecuada para cumplir con los requerimientos normativos, así como:

1. Ofrecer niveles adecuados de iluminación de acuerdo a las actividades en el espacio educativo.
2. Reducir o evitar el deslumbramiento.
3. Reducir o evitar altos contrastes en las áreas de estudio.
4. Reducir o evitar los reflejos.
5. Difundir uniformemente la luz mediante reflexiones múltiples en muros y plafones.

Para realizar la evaluación se utilizaron las herramientas digitales: Dynamic Daylight de Andrew Marsh® y DIALux evo® mediante un modelo 3D digital; y el dispositivo “Cielo Artificial” mediante un modelo tridimensional físico calibrado a escala. A continuación, se describen cada una de las evaluaciones con sus particularidades.

9.5.1. Estudio con andrew marsh dynamic daylight

Esta aplicación en línea permite realizar un análisis dinámico de la luz natural en tiempo real dentro de una habitación rectangular simple, basándose en distribuciones de iluminación en distintas configuraciones de cielo, y obteniendo cálculos sencillos, rápidos e intuitivos sin comprometer la precisión. La plataforma sirve como banco de pruebas para experimentos con técnicas interactivas de manipulación de modelos sin las complejidades de la geometría CAD completa.

La metodología consistió en definir geoméricamente las dimensiones y orientación del espacio a evaluar, la ubicación y dimensiones de las aberturas arquitectónicas, así como de los dispositivos de control solar. Para efectos del estudio se modeló el aula tipo de planta baja con los dispositivos de control solar “Repisa seccionada”, cuya fachada norte se encuentra orientada 12° al noroeste.

Configuración de software:

- Escenarios de evaluación: Equinoccio de Primavera / Otoño, Solsticio de Verano y Solsticio de Invierno, en 3 horarios críticos: 09:00 hrs, 12:00 hrs. y 15:00 hrs.
- Carga de archivos meteorológicos de localidad Naucalpan en archivo EPW con los datos meteorológicos del emplazamiento.
- LUX como unidad de medida.
- Uso de cielo dinámico y de datos meteorológicos por hora.
- Análisis basado en clima: Autonomía de luz diurna standard.
- Umbral de luz diurna: 300 Lux.

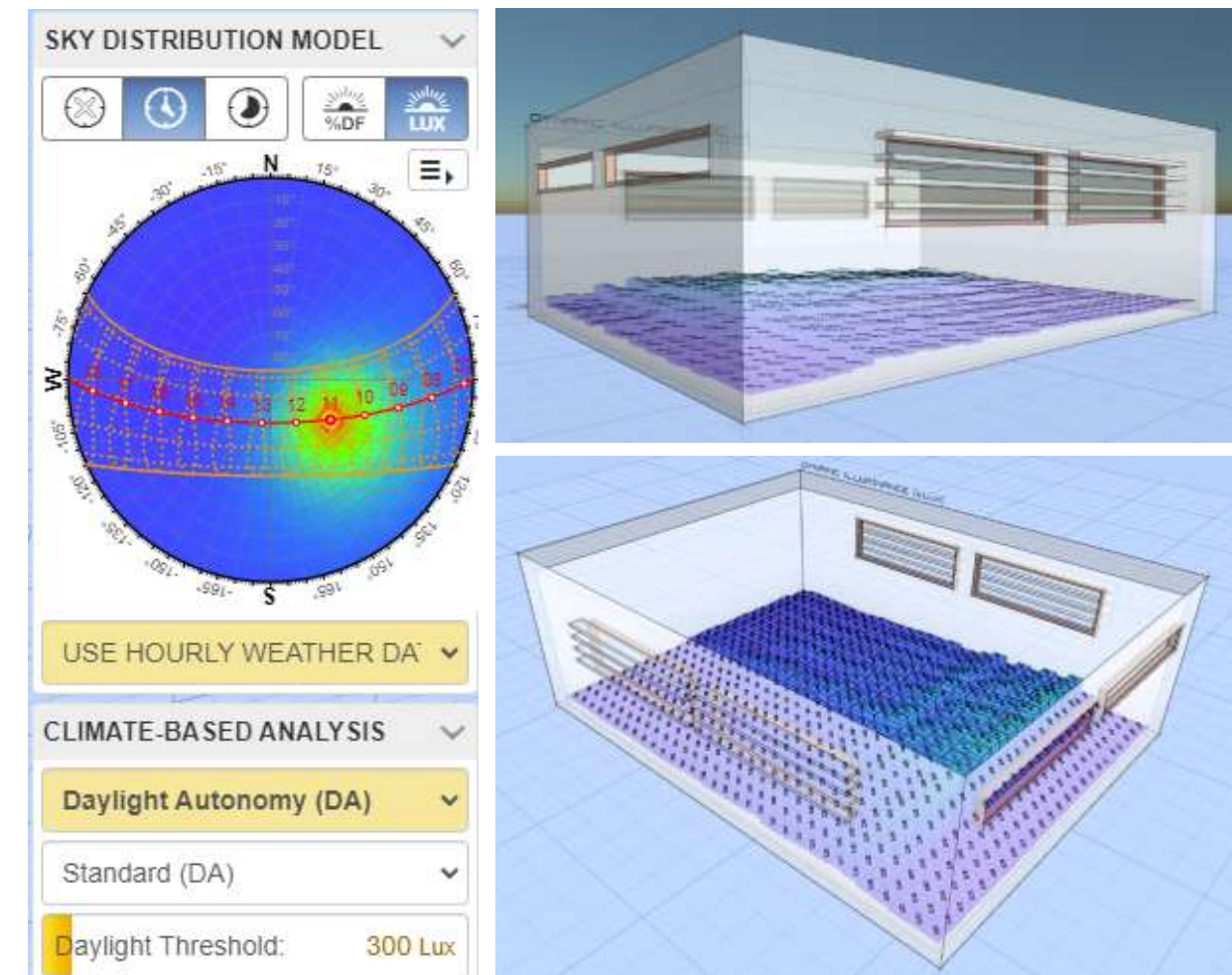
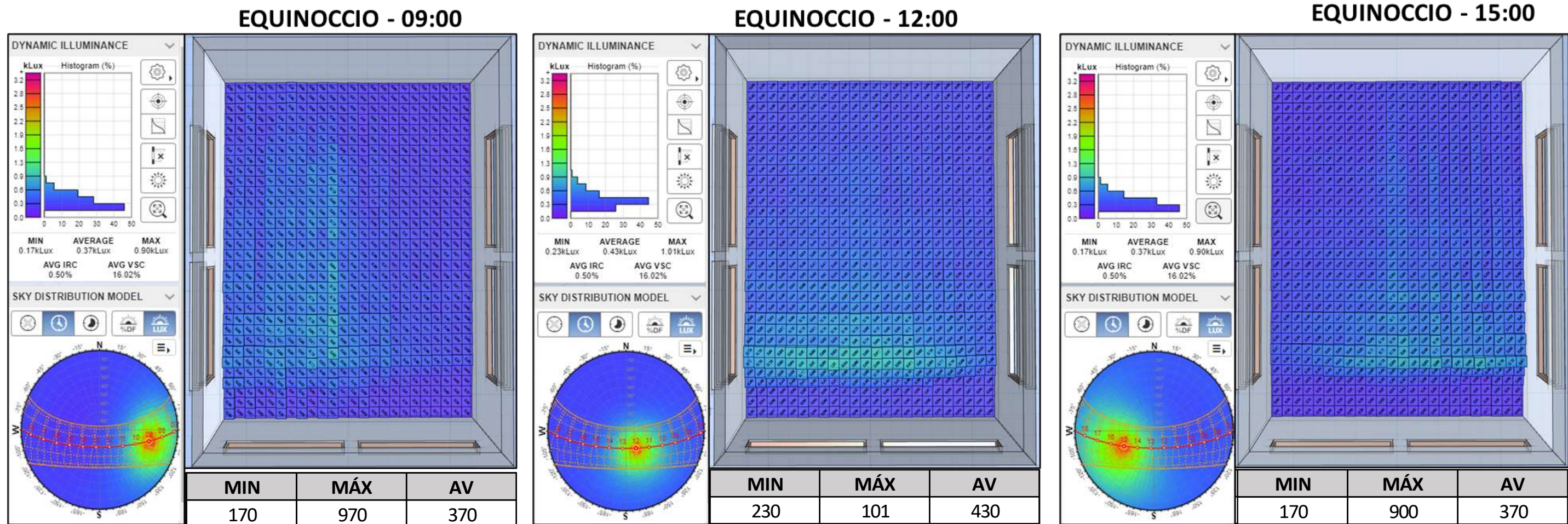


Figura 117. Configuración para evaluación de iluminación natural. Fuente: Dynamic Daylight. (Marsh, 2019)

⁵ Luz diurna. Se refiere a la luz natural proveniente del sol durante el día, que incluye tanto la luz directa del sol como la luz difusa del cielo y la reflejada por las superficies del entorno (Tregenza, P., & Wilson, M., 2011).

Descripción y análisis de resultados de la evaluación en equinoccio de primavera / otoño en los horarios críticos.



La zona útil cuenta con suficiente iluminación. El perímetro de las fachadas N-S-E con oscilaciones entre 170-300 Lux, y el perímetro de la fachada O cuenta con mayor incidencia de luz natural entre 250-570 Lux. **Iluminación conveniente para la actividad escolar.**

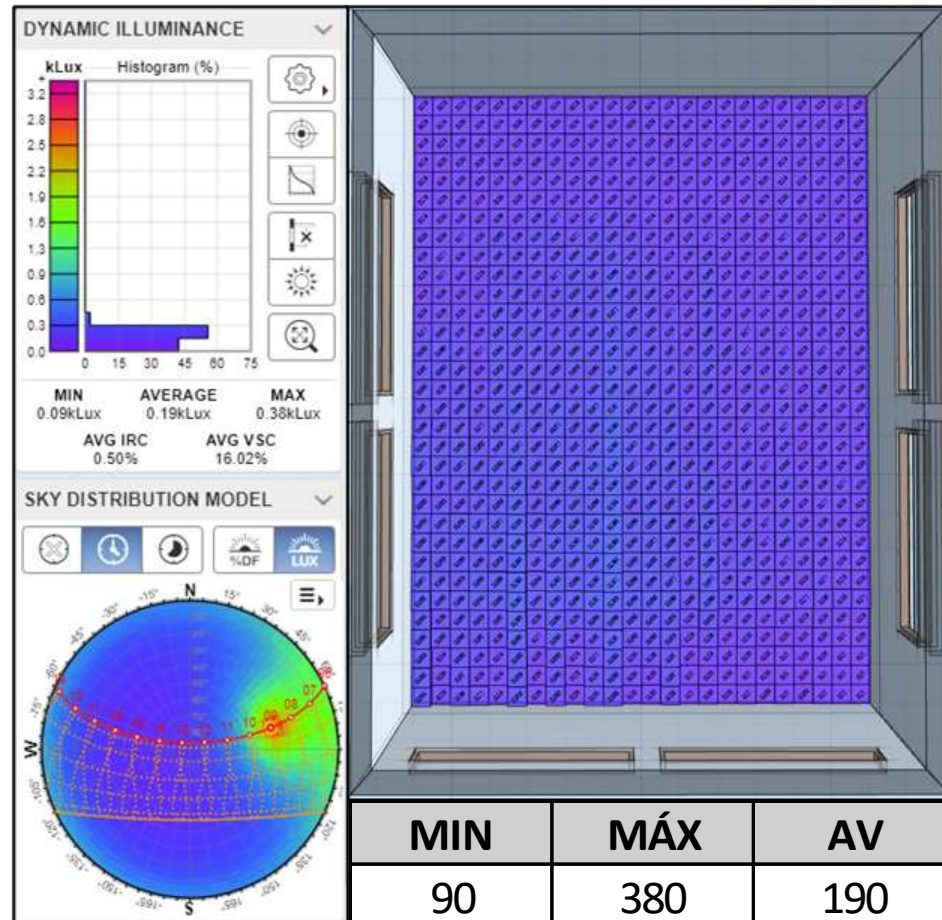
Zona útil cuenta con iluminación más uniforme. El perímetro de las fachadas N-E-O con oscilaciones entre 270-300 Lux, y el perímetro de la fachada S cuenta con la menor incidencia de luz natural entre 240-300 Lux. La última línea de escritorios hacia la fachada sur muestra una iluminación por encima de los 300 Lux, a pesar de ello, el espacio ofrece una **iluminación conveniente para la actividad escolar.**

La zona útil cuenta con suficiente iluminación. El perímetro de las fachadas N-S-O con oscilaciones entre 170-300 Lux, y el perímetro de la fachada E cuenta con mayor incidencia de luz natural entre 250-570 Lux. La última línea de escritorios hacia la fachada sur muestra una iluminación por encima de los 300 Lux, a pesar de ello, el espacio ofrece una **iluminación conveniente para la actividad escolar.**

Figura 118. Resultados de evaluación lumínica Equinoccio. Fuente: Elaboración propia con imágenes de Dynamic Daylight. (Marsh, 2019)

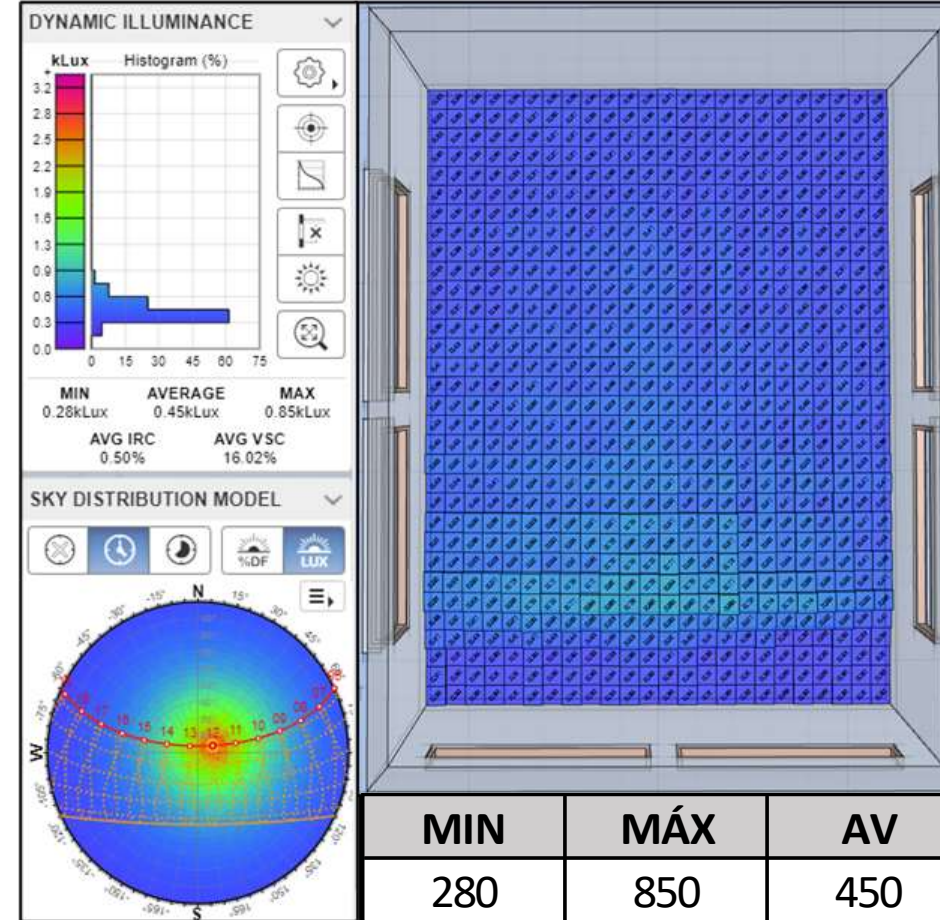
Descripción y análisis de resultados de la evaluación en solsticio de verano en los horarios críticos.

SOLSTICIO VERANO - 09:00



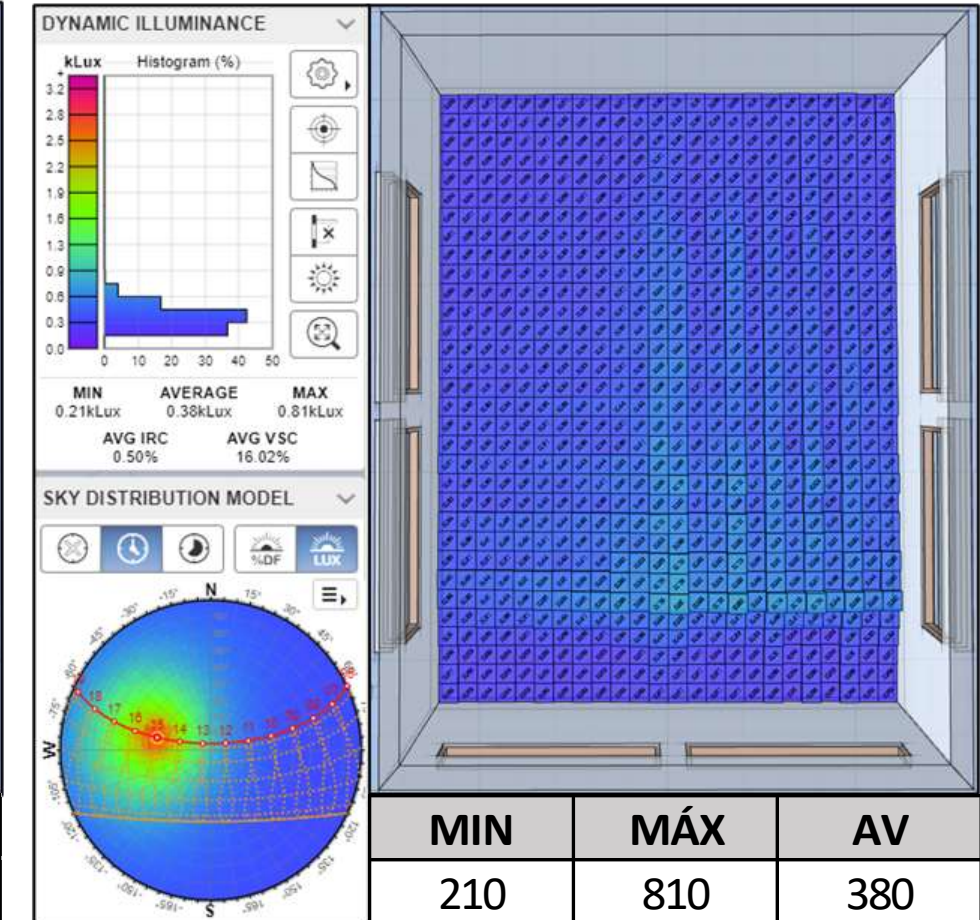
La zona útil cuenta con baja iluminación. El perímetro en todas las fachadas oscilan entre 090-260 Lux. Sólo una sección central del espacio ronda entre 300-380 Lux. **Iluminación en el límite de baja iluminación para la actividad escolar.**

SOLSTICIO VERANO - 12:00



Zona útil cuenta con iluminación más uniforme. El perímetro de las fachadas N-E-O con oscilaciones entre 320-640 Lux, y el perímetro de la fachada S cuenta con la menor incidencia de luz natural entre 300-360 Lux. La última línea de escritorios hacia la fachada sur muestra una iluminación de hasta 850 Lux, a pesar de ello, el espacio ofrece una **iluminación conveniente para la actividad escolar.**

SOLSTICIO VERANO - 15:00

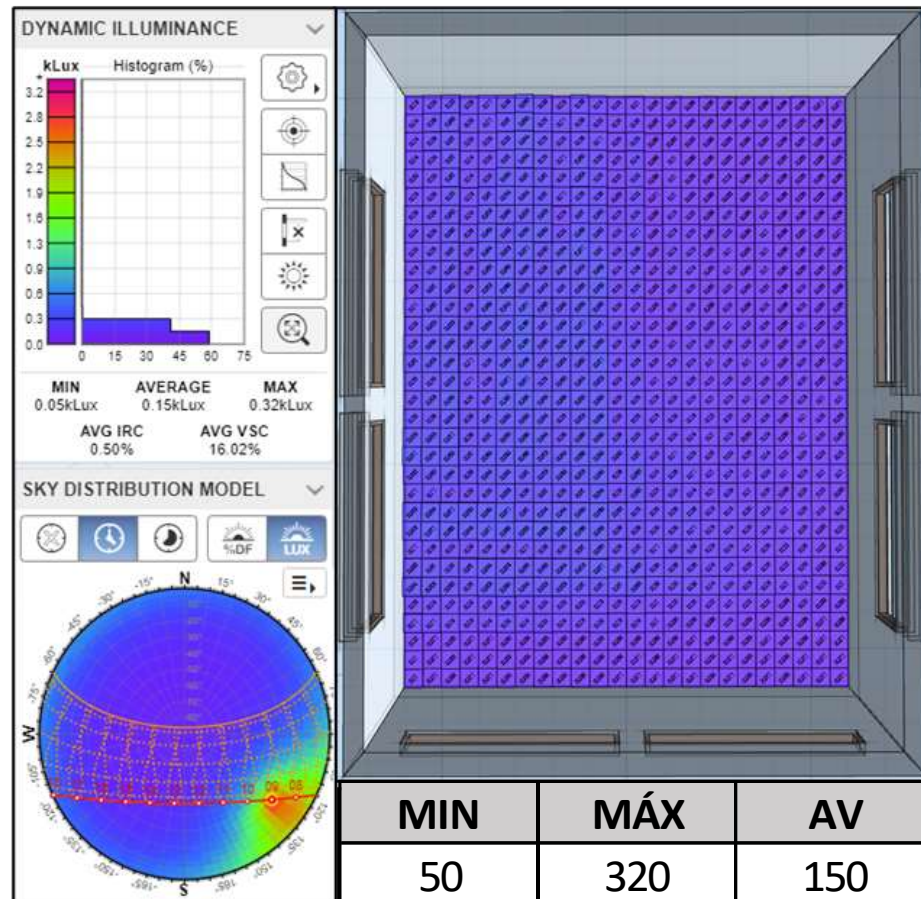


La zona útil cuenta con suficiente iluminación. El perímetro de las fachadas N-E-O con oscilaciones entre 250-600 Lux, y el perímetro de la fachada S cuenta con menor incidencia de luz natural entre 210-430 Lux. La última línea de escritorios hacia la fachada sur muestra una iluminación de hasta 810 Lux, a pesar de ello, el espacio ofrece una **iluminación conveniente para la actividad escolar.**

Figura 119. Resultados de evaluación lumínica Solsticio de verano. Fuente: Elaboración propia con imágenes de Dynamic Daylight. (Marsh, 2019)

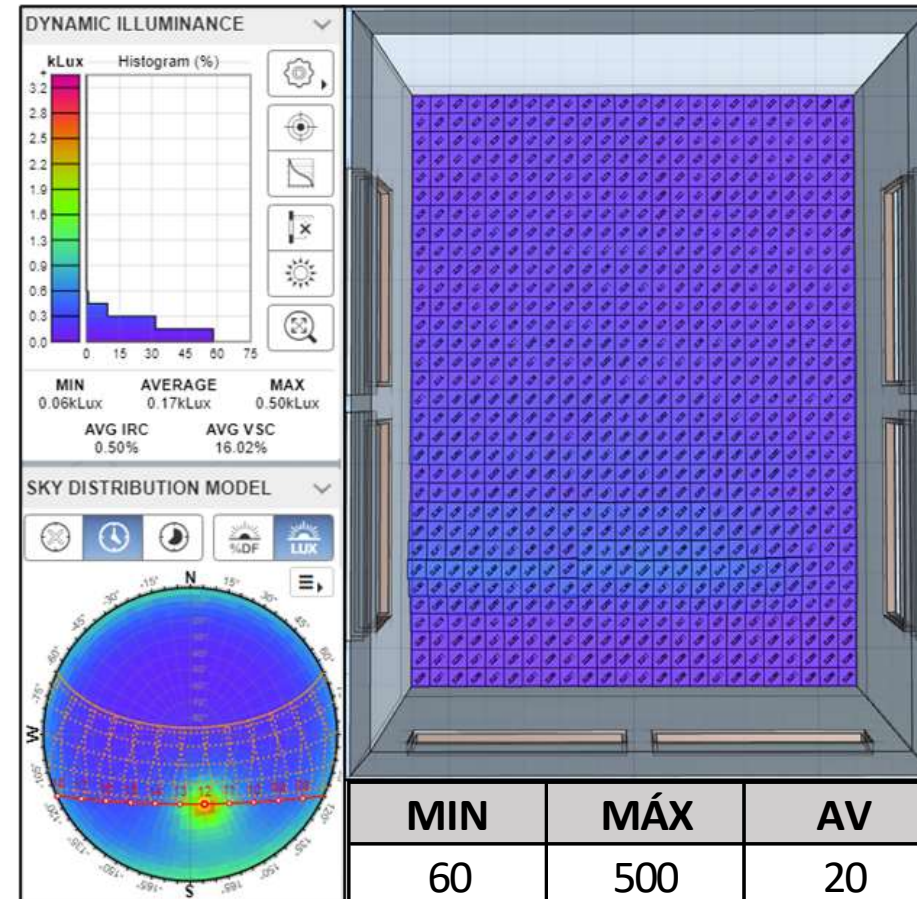
Descripción y análisis de resultados de la evaluación en solsticio de invierno en los horarios críticos

SOLSTICIO INVIERNO - 09:00



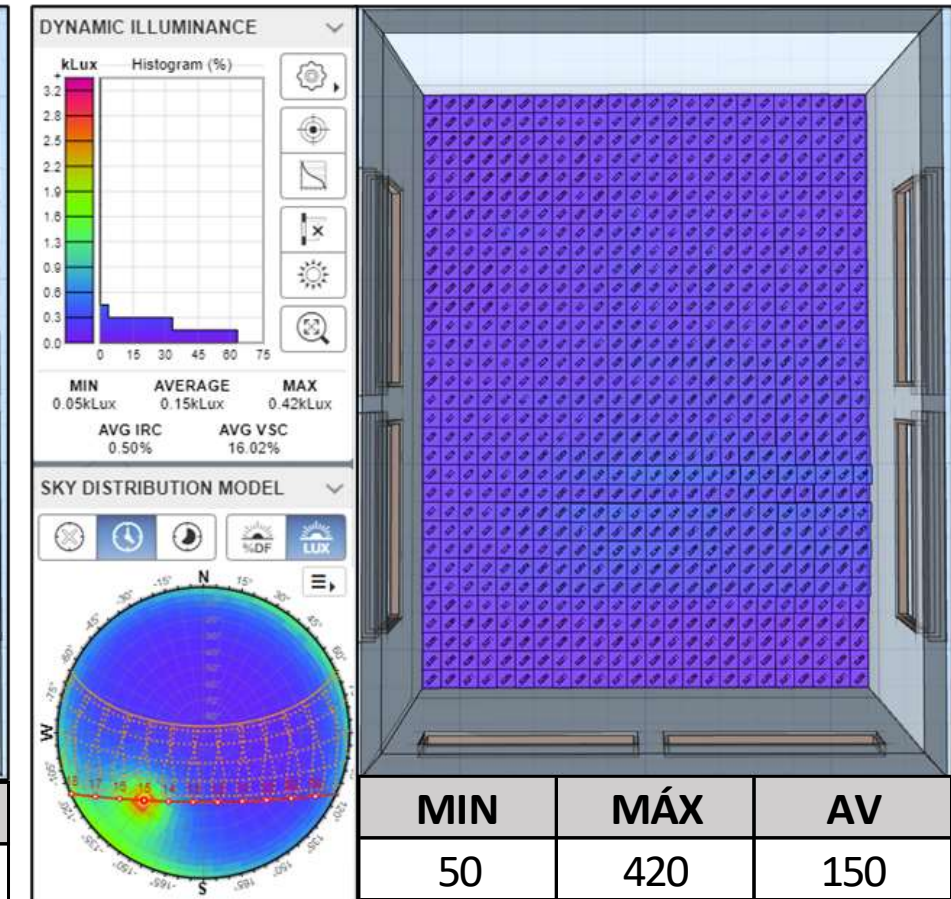
La zona útil cuenta con deficiente iluminación. El perímetro en las fachadas N-S-E con rango de iluminación entre 050-220 Lux Las ventanas de fachada Sur no ofrecen incremento considerable de iluminación. **Iluminación en el límite de baja iluminación para la actividad escolar. Requerirá apoyo de iluminación artificial o incremento área de aberturas.**

SOLSTICIO INVIERNO - 12:00



La zona útil cuenta con deficiente iluminación. El perímetro de todas las fachadas oscila entre 060-180 Lux. Sólo una sección del espacio hacia la fachada sur ofrece un incremento de iluminación en rango de 260-500 Lux. **Iluminación en el límite de baja iluminación para la actividad escolar. Requerirá apoyo de iluminación artificial o incremento área de aberturas.**

SOLSTICIO INVIERNO - 15:00



La zona útil cuenta con deficiente iluminación. El perímetro de todas las fachadas oscila entre 050-160 Lux. Sólo una sección del espacio hacia la fachada Sur-Este ofrece un incremento de iluminación en rango de 210-420 Lux. **Iluminación en el límite de baja iluminación para la actividad escolar. Requerirá apoyo de iluminación artificial o incremento área de aberturas.**

Figura 120. Resultados de evaluación lumínica Solsticio de invierno. Fuente: Elaboración propia con imágenes de Dynamic Daylight. (Marsh, 2019)

9.5.2. Estudio en cielo artificial

El cálculo a través del cielo artificial basa su configuración en la norma CIE S 011/E:2003 Spatial distribution of daylight – CIE standard general sky, la cual busca predecir el comportamiento de la luz natural a través de la simulación de un espacio que considera una distribución de luminancias para cualquier orientación en cielos parcialmente nublados, constituyendo un cielo medio.



Figura 121. Evaluación de modelo físico en cielo artificial UAM Azcapotzalco. Fuente: Elaboración propia

El modelo físico de estudio a escala 1:25 fue acondicionado con las texturas, colores, reflectancias y texturas lo más cercanas a la propuesta arquitectónica para poder visualizar niveles de iluminación más reales: Muros de tabique cerámico blanco mate, Piso de loseta de terrazo pulido y losas de techo blanco mate. El objetivo será determinar los niveles de iluminación y el factor de luz de día⁶ al interior del espacio de estudio.

Las mediciones fueron realizadas mediante un Luxómetro modelo Liebe WH LX1330B digital con rango de medición de 0-200,000 Lux, a través de aberturas de acceso y tomando como referencia una retícula de 20 puntos de lectura sobre la superficie total del aula de estudio.

Resultados de las lecturas para aula tipo planta baja.

⁶ Factor de luz de día (Daylight Factor): Relación entre la iluminación interior proporcionada por la luz diurna y la iluminación exterior disponible en condiciones de cielo cubierto.

PLANTA BAJA					
SUR					
	1	2	3	4	5
E	475	491	471	472	3030
D	523	511	498	498	2910
C	518	513	500	507	2900
B	524	515	499	518	2920
A	536	480	467	524	3110
W	628	470	450	584	3710
NORTE					

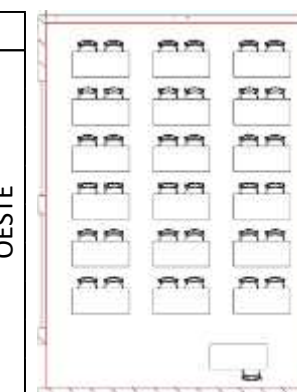


Figura 122. Matriz de lecturas de iluminación para aula tipo en PB. Fuente: Elaboración propia

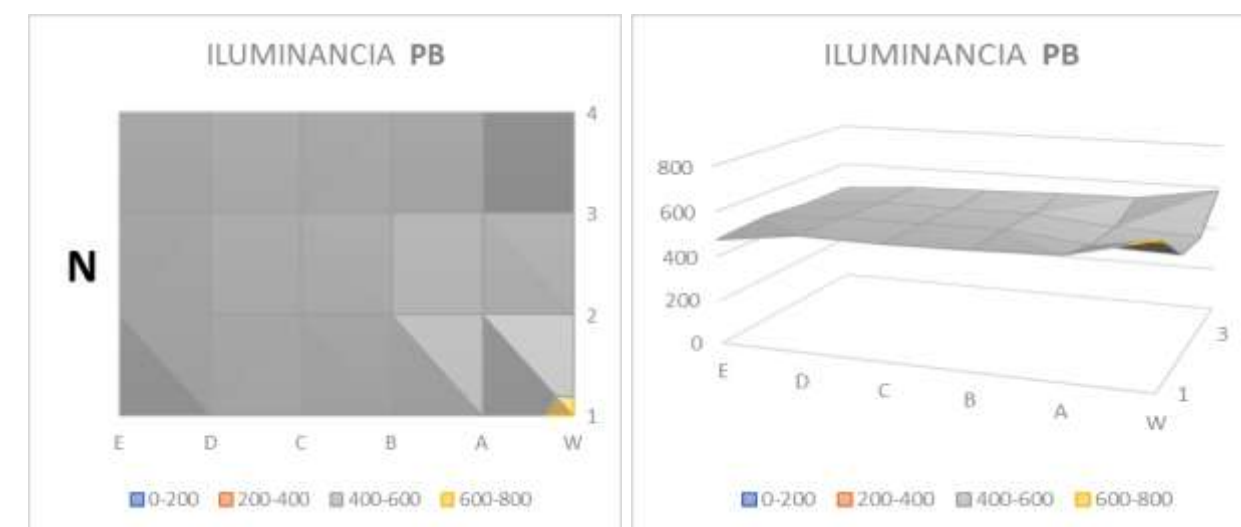


Figura 123. Gráficas de niveles de iluminación en aula tipo PB. Fuente: Elaboración propia.

FACTOR DE LUZ DE DÍA				
	1	2	3	4
E	7.35	7.59	7.29	7.3
D	8.09	7.9	7.7	7.7
C	8.01	7.94	7.73	7.84
B	8.11	7.97	7.72	8.01
A	8.29	7.42	7.22	8.11

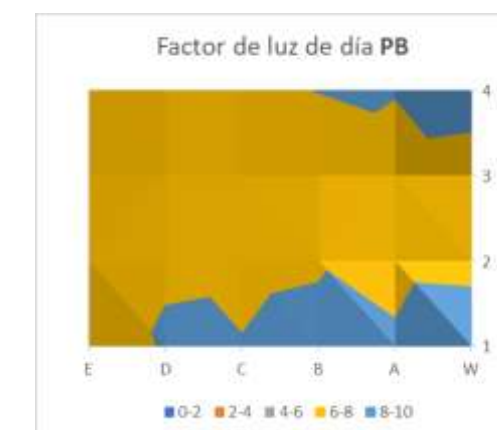


Figura 124. Cálculos y gráfica de factor de luz de día en aula tipo PB. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados anteriores muestran un promedio general de iluminación en el rango de los de 400-600 lux distribuidos uniformemente en el espacio, niveles superiores a los 300 lx determinados por la norma; y un factor de luz de día preponderante entre el 6-8%.



Figura 125. Fotografía iluminación interior aula tipo PB. Fuente: Elaboración propia.



Figura 126. Fotografía iluminación interior aula tipo PB. Fuente: Elaboración propia.

Resultados de las lecturas para aula tipo en primer nivel.

NIVEL 1						
SUR						
	1	2	3	4	5	
ESTE	E	397	430	430	405	
	D	419	442	442	428	
	C	391	413	421	410	
	B	403	405	423	427	
	A	417	372	402	509	
	W	495	374	395	620	
NORTE						

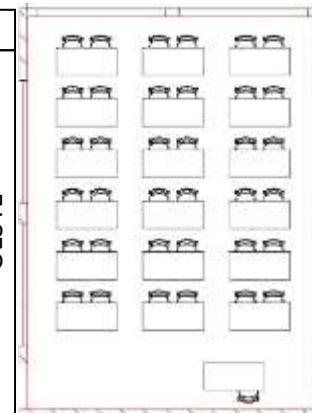


Figura 127. Matriz de lecturas de iluminación para aula tipo en N1. Fuente: Elaboración propia

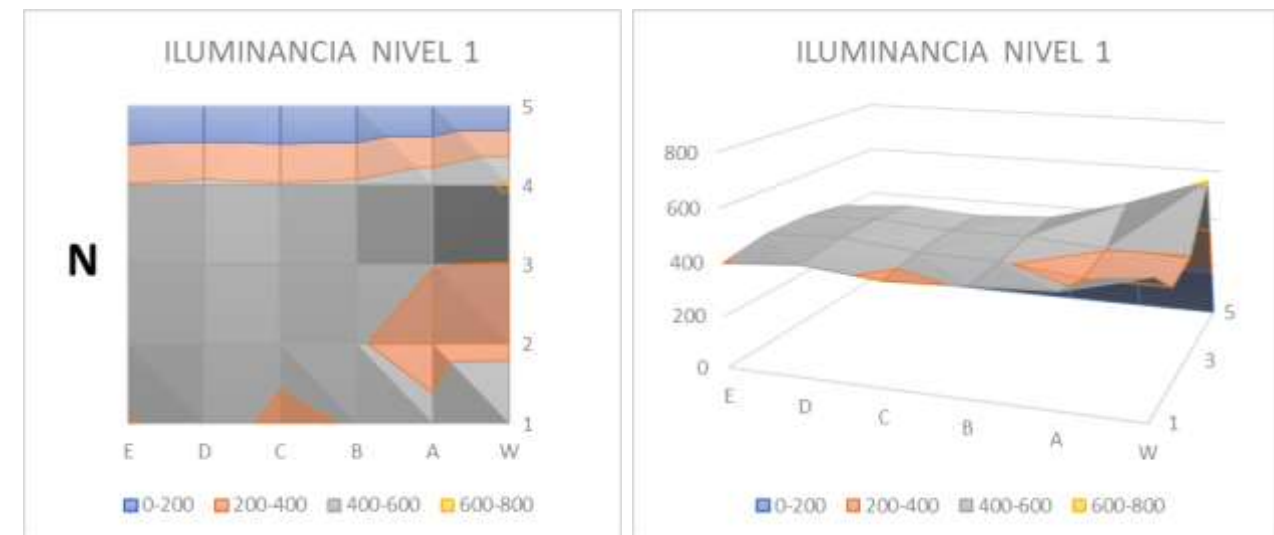


Figura 128. Gráficas de niveles de iluminación en aula tipo N1. Fuente: Elaboración propia.

FACTOR DE LUZ DE DÍA					
	1	2	3	4	5
E	6.23	6.75	6.75	6.35	
D	6.57	6.93	6.93	6.71	
C	6.13	6.48	6.6	6.43	
B	6.32	6.35	6.64	6.7	
A	6.54	5.84	6.31	7.98	
W	7.76	5.87	6.2	9.73	

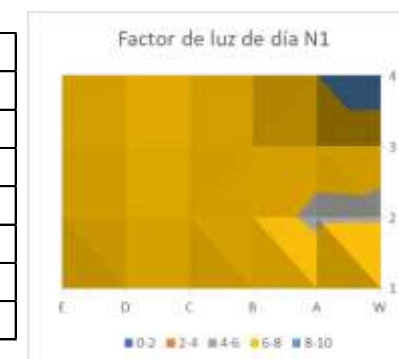


Figura 129. Cálculos y gráfica de factor de luz de día en aula tipo N1. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados anteriores muestran un promedio general de iluminación similar al aula en planta baja, en el rango de los de 400-600 lux distribuidos uniformemente en el espacio, niveles superiores a los 300 lux determinados por la norma; y un factor de luz de día preponderante entre el 6-8%.



Figura 130. Fotografía iluminación interior aula tipo N1. Fuente: Elaboración propia.



Figura 131. Fotografía iluminación interior aula tipo N1. Fuente: Elaboración propia.

9.5.3. Estudio con DIALux Evo ®

DIALux Evo es un software de uso libre que permite diseñar, configurar, calcular y visualizar la iluminación interior, exterior, urbana y de emergencia. Cuenta con una extensa base de datos de fabricantes de luminarias, además de ofrecer todas las herramientas necesarias para realizar proyectos y soluciones de iluminación.

Este software permite planear y visualizar la iluminación tanto para las zonas exteriores como las interiores, como habitaciones, galerías de arte, edificios residenciales, instalaciones deportivas y oficinas, hasta parques, carreteras, iluminaciones de emergencia, entre otros.

Con este software es posible configurar diferentes opciones de iluminación, combinando la luz natural y la artificial para crear la atmósfera deseada en el espacio de estudio; cuenta con una serie de gráficos y tablas de información que te permiten medir la distribución de la luz y los valores fotométricos.

Dado que el software es de origen alemán, viene por defecto con los parámetros lumínicos exigidos por la normativa de ese país. Sin embargo, es posible modificar y adaptar los niveles de iluminación de acuerdo a los parámetros requeridos.

Parámetros de evaluación

1. Verificación de localización geográfica y orientación de edificio respecto al norte.
2. Selección de "Cielo cubierto" como parámetro de luz diurna basado en CIE 110-1994, mediante el cual se crea automáticamente un cielo nublado que permite calcular el cociente de luz diurna requerido por algunas normas.
3. Generación de escenas para evaluación de Equinoccios primavera y otoño (21 Marzo / 21 Septiembre), Solsticio verano (21 Junio) y Solsticio invierno (21 Diciembre) en horas críticas 09:00, 12:00 y 15:00 hrs. correspondientes al horario operativo del espacio educativo y a las condiciones de mayor incidencia solar dada la orientación de las aberturas y del edificio.

Los resultados de las evaluaciones se muestran en primera instancia en una tabla de registros de iluminancia según la fecha de estudio, a fin de identificar las condiciones generales y el escenario más crítico. Posteriormente se muestran imágenes de la simulación para ese punto crítico particular mediante la representación de una planta del espacio iluminado mediante líneas isolux, que denotan los niveles de iluminación, información complementada con una imagen fotorealista y una

imagen de colores falsos que permiten identificar visualmente las áreas con mayor y menor iluminación en el espacio de estudio.

EVALUACIÓN DE ILUMINACIÓN NATURAL AULA TIPO PLANTA BAJA

La siguiente Tabla 27 contiene el registro de los cálculos de iluminación natural procedentes de las simulaciones realizadas en el espacio de estudio “AULA TIPO PLANTA BAJA” durante los periodos y horarios de estudio previamente determinados. La celda sombreada refiere al registro con menor iluminación natural media durante la evaluación, correspondiente a solsticio de invierno (21 de Diciembre) a las 09:00 hrs, resultando en una iluminancia 245.5 lx por debajo del requerimiento estipulado. Las tablas y figuras siguientes describen con mayor detalle las condiciones.

AULA PLANTA BAJA		ILUMINANCIA "E" (LUX)								
FECHA EVALUACIÓN		09:00 hrs.			12:00 hrs.			15:00 hrs.		
		E min	E max	E med	E min	E max	E med	E min	E max	E med
EQUINOCCIOS	21 MAR	42.7	115.0	75.1	73.8	198.0	130.0	62.4	168.0	110.0
SOLSTICIO VERNANO	21 JUN	50.6	136.0	89.0	78.1	210.0	137.0	66.6	179.0	117.0
SOLSTICIO INVIERNO	21 DIC	31.0	83.2	54.5	57.8	155.0	102.0	45.5	122.0	79.9

Tabla 27. Niveles de iluminación PB. Fuente: Elaboración propia

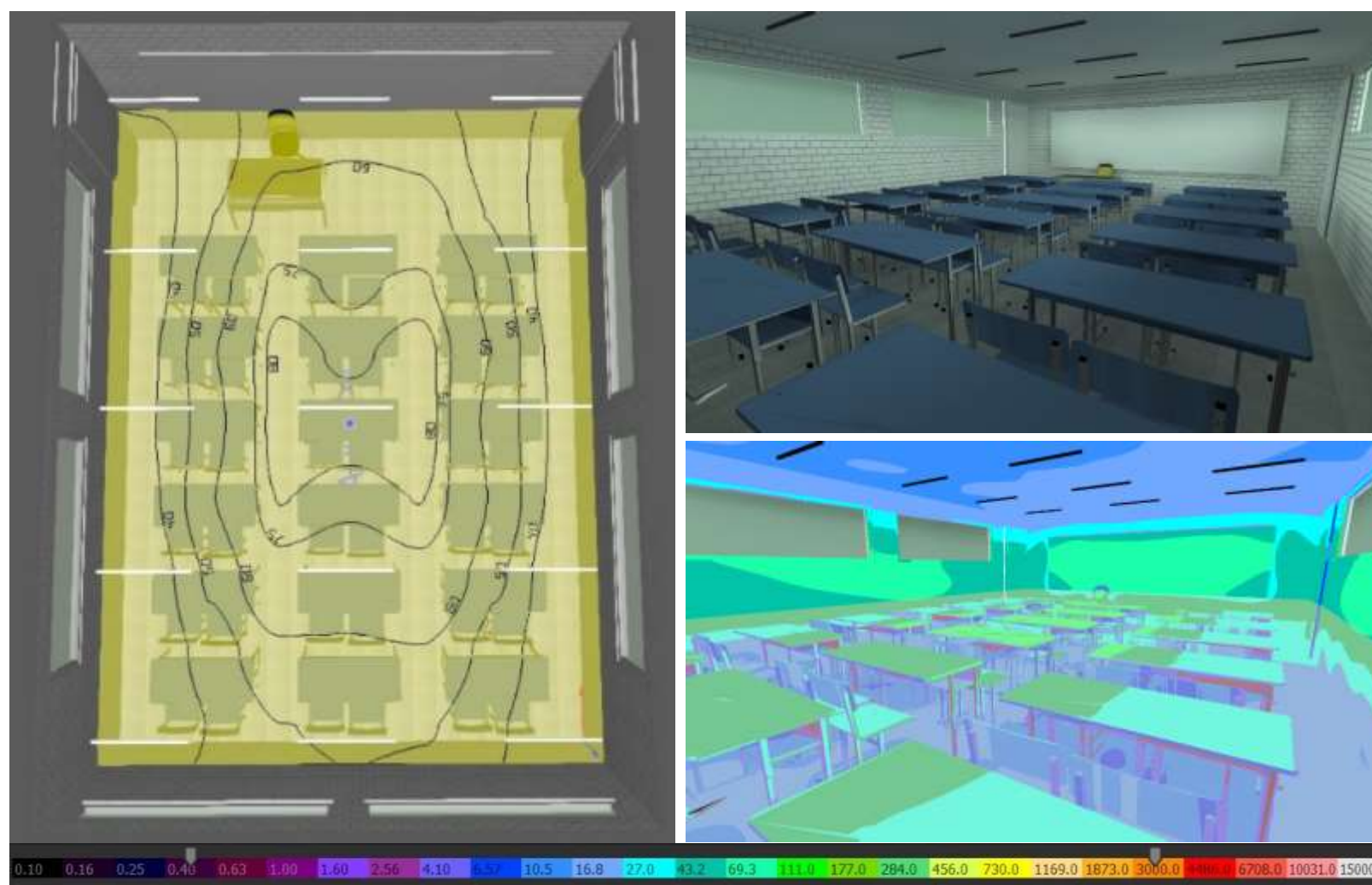


Figura 132. Aula tipo PB. Izq. Diagrama isolux, Derecha arriba: Representación fotorealista, Derecha abajo: Imagen colores falsos. Fuente: Elaboración propia mediante DIALux evo. (DIAL GmbH, 2024)

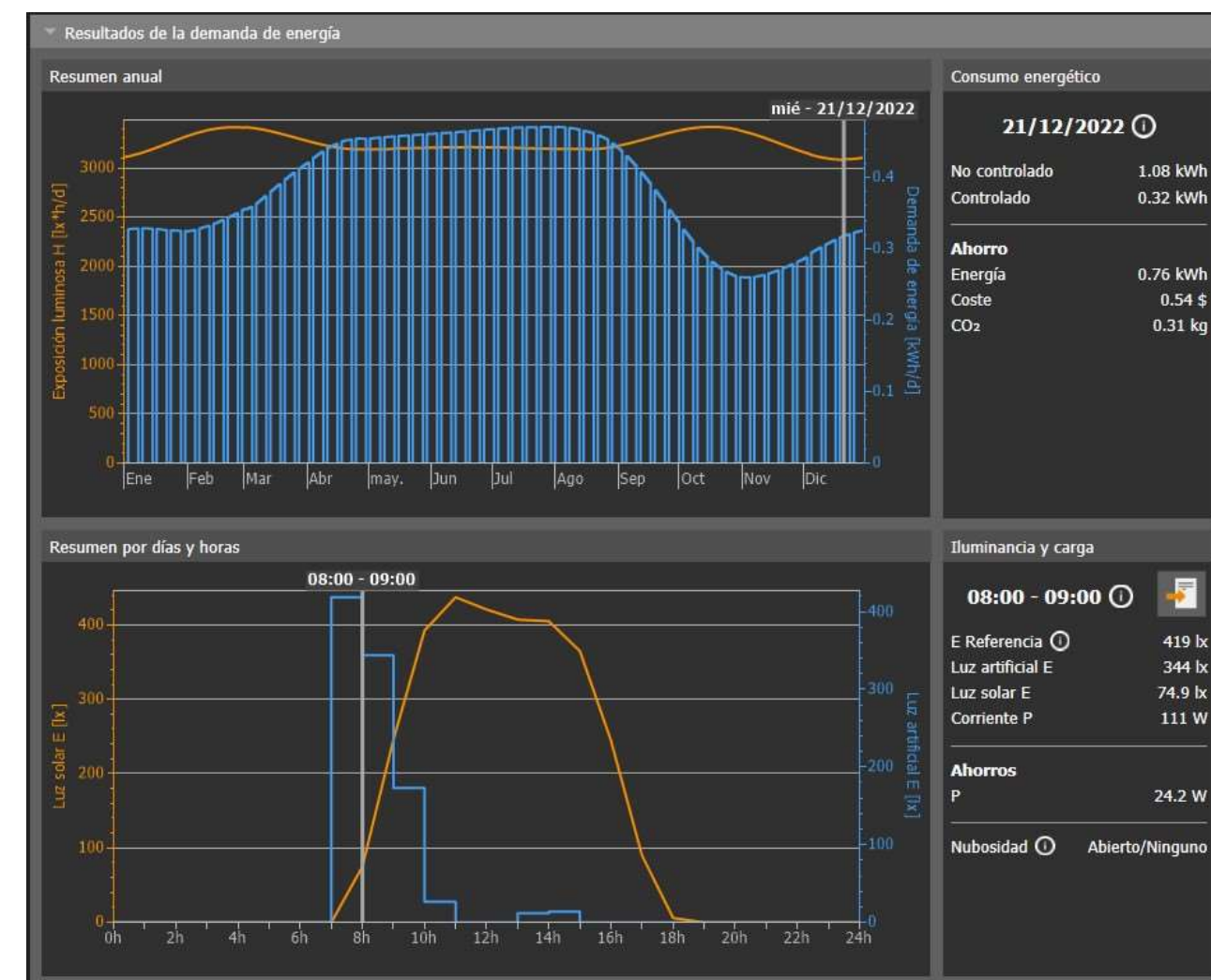


Figura 133. Aula tipo PB. Demanda de energía. Fuente: Elaboración propia mediante DIALux evo. (DIAL GmbH, 2024)

EVALUACIÓN DE ILUMINACIÓN NATURAL AULA TIPO PRIMER NIVEL

La Tabla 28 contiene el registro de los cálculos de iluminación natural procedentes de las simulaciones realizadas en el espacio de estudio “AULA TIPO NIVEL 1” durante los periodos y horarios de estudio previamente determinados.

La celda sombreada refiere al registro con menor iluminación natural media durante la evaluación, correspondiente a solsticio de invierno (21 de Diciembre) a las 09:00 hrs, resultando en una iluminancia 270 lx por debajo del requerimiento estipulado. Las tablas y figuras siguientes describen con mayor detalle las condiciones.

AULA NIVEL 1		ILUMINANCIA "E" (LUX)								
FECHA EVALUACIÓN		09:00 hrs.			12:00 hrs.			15:00 hrs.		
		Emin	E max	E med	Emin	E max	E med	Emin	E max	E med
EQUINOCCIOS	21 MAR	23.9	60.3	40.3	41.4	104.0	69.7	35.0	88.1	58.9
SOLSTICIO VERNANO	21 JUN	28.4	71.4	47.8	43.8	110.0	73.8	37.3	94.0	62.8
SOLSTICIO INVIERNO	21 DIC	17.4	43.7	29.2	32.4	81.6	54.6	25.5	64.2	42.9

Tabla 28. Niveles de iluminación N1. Fuente: Elaboración propia

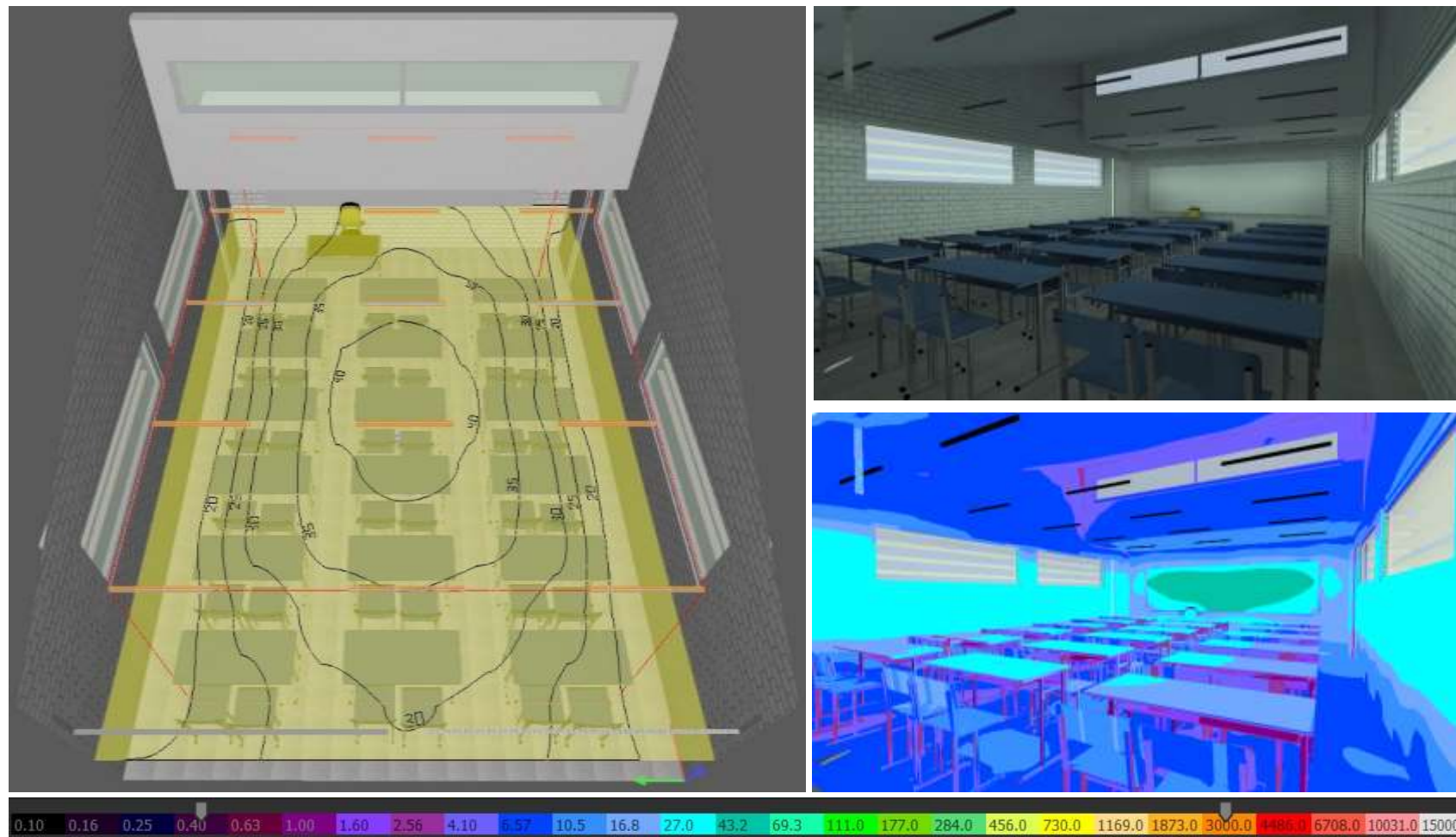


Figura 134. Aula tipo N1. Izq. Diagrama isolux, Derecha arriba: Representación fotorealista, Derecha abajo: Imagen colores falsos. Fuente: Elaboración propia mediante DIALux evo. (DIAL GmbH, 2024)



Figura 135. Aula tipo N1. Demanda de energía. Fuente: Elaboración propia mediante DIALux evo. (DIAL GmbH, 2024)

9.6. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL - DIALux Evo®
ESTUDIO DE AULA TIPO EN PLANTA BAJA

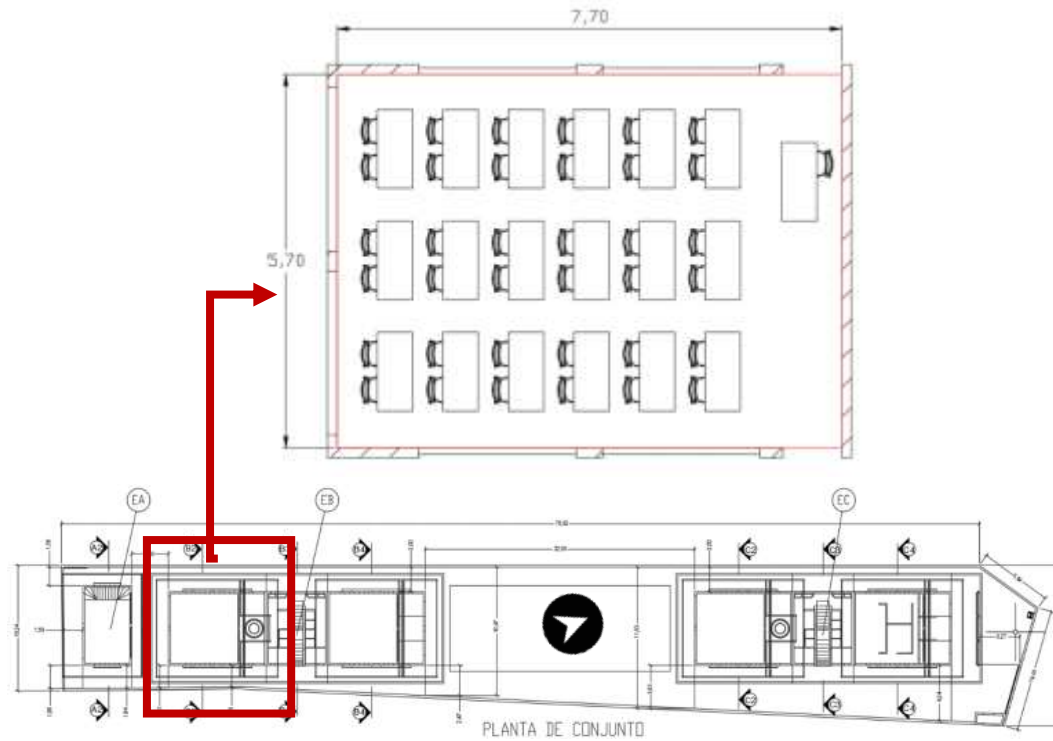


Figura 136. Plano de conjunto, edificio y aula de caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las características del espacio y los requerimientos, se realiza el siguiente cálculo de Lumen requeridos para una idónea iluminación, que servirá de base para la selección, ubicación y determinación de cantidad de luminarias y su aportación lumínica.

Enter Illuminance in lux:	<input type="text" value="300"/>	lx
Select area unit type:	<input type="text" value="Area in square mete"/>	
Enter spherical radius:	<input type="text" value="1.9544100476"/>	m
Or enter surface area:	<input type="text" value="48"/>	m ²
	<input type="button" value="Calculate"/> <input type="button" value="Reset"/>	
Luminous flux result in lumens:	<input type="text" value="14400"/>	lm

Figura 137. Cálculo de flujo luminoso requerido. Fuente: <https://www.rapidtables.org/calc/light/lumen-to-lux-calculator.html>

La aplicación arroja un requerimiento de Flujo luminoso de aproximadamente 14,400 lm. Conociendo el requerimiento, se realiza la selección de 10 luminarias Phillips TLED de 1575 lm, que nos aportan cerca de 15,750 lm.

Fabricante	Philips
Lámpara	1x TLED 12W 4000K 160D 9290012984
P	12.0 W
Φ _{Lámpara}	1575 lm
Φ _{Luminaria}	1575 lm
η	100.01 %
Rendimiento lumínico	131.3 lm/W
CCT	4000 K
CRI	100

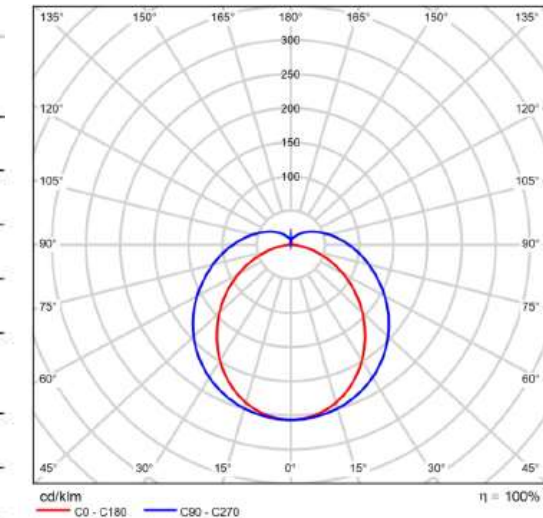


Figura 138. Especificaciones de Luminaria TLED. Fuente: <https://www.lighting.philips.com/support/tools/productfinder>

En las siguientes imágenes se visualiza el plano de cálculo sobre el cual será realizado el estudio, definido a 0.80 m de altura sobre el nivel de piso terminado y abarcando toda el área del aula tipo.

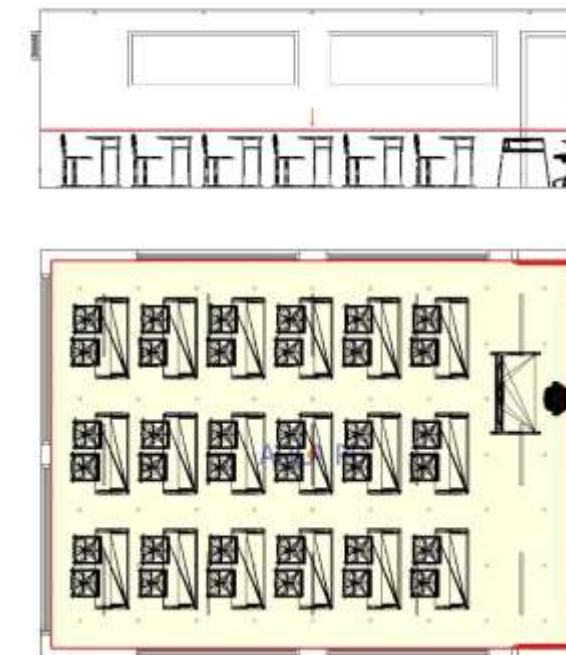


Figura 139. Definición de plano de trabajo para estudio de iluminación planta baja. Fuente DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)

En la siguiente imagen se visualiza la cantidad y ubicación definitiva de las luminarias en el espacio, resultado de diversas pruebas y cálculos.

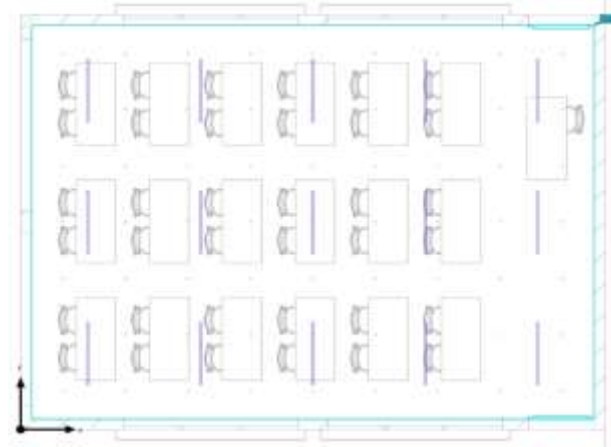


Figura 140. Cantidad y disposición de luminarias en planta baja. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)

La configuración final requirió de 15 unidades de la luminaria TLED distribuidas en una matriz de 5 x 3, consiguiendo un flujo luminoso total de 23,625 lm, un promedio en plano de trabajo de 362 lux, un mínimo de 284 lux y un máximo de 423 lux. Tal como se presenta en la siguiente Figura 141.

P_{total} 180.0 W	A_{local} 43.89 m ²	Potencia específica de conexión 4.10 W/m ² (Local)				
Uni.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	P	$\Phi_{Luminaria}$	
15	Philips			12.0 W	1575 lm	
Φ_{total} 23625 lm	P_{total} 180.0 W	Rendimiento lumínico 131.3 lm/W				
Uni.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	P	Φ	Rendimiento lumínico
15	Philips			12.0 W	1575 lm	131.3 lm/W
Propiedades	\bar{E}	E_{min}	E_{max}	\bar{E}/E_{min}	E_{max}/E_{min}	Índice
CALCULO ILUMINANCIA PB Iluminancia perpendicular Altura: 0.800 m	362 lx	284 lx	423 lx	1.27	1.49	CG1

Perfil de uso: 24 - LIGHTING FOR EDUCATION (Classrooms, General Classrooms, Learning/teaching, Hardcopy and writing)

Figura 141. Promedio de flujo luminoso sobre el plano de trabajo planta baja. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)

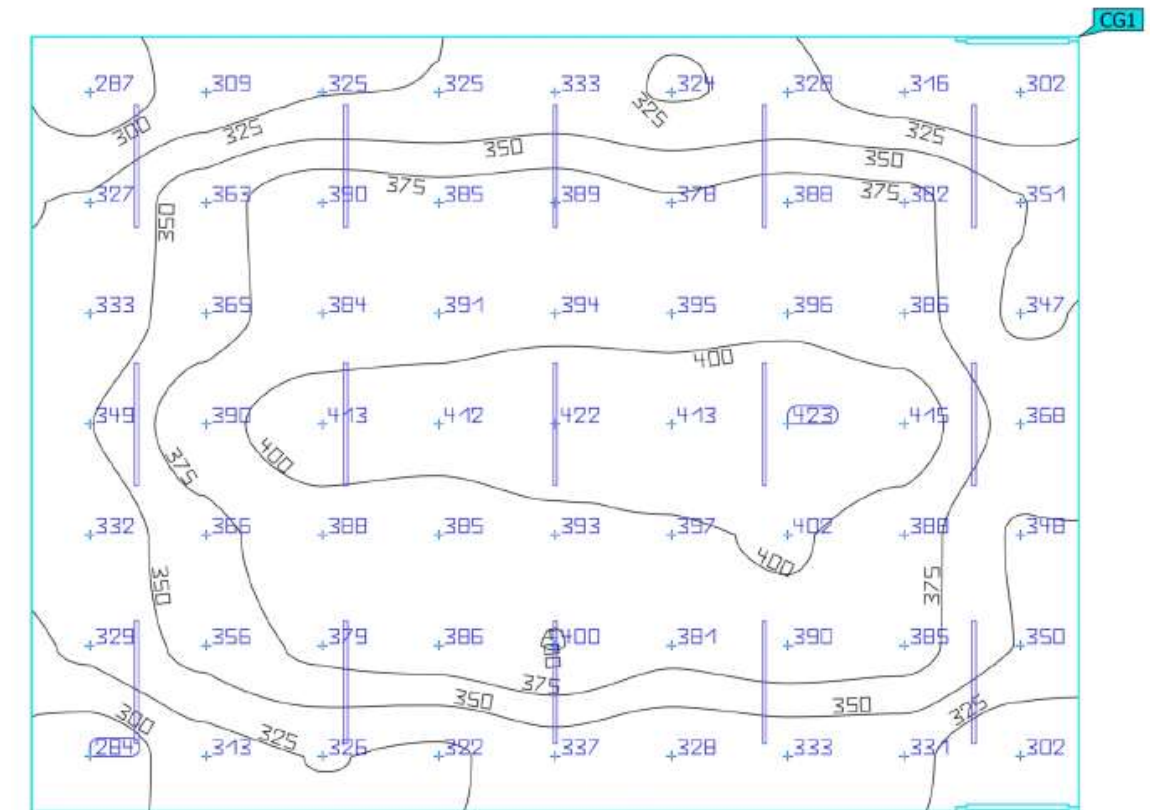


Figura 142. Cálculo de líneas Isolux planta baja. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)

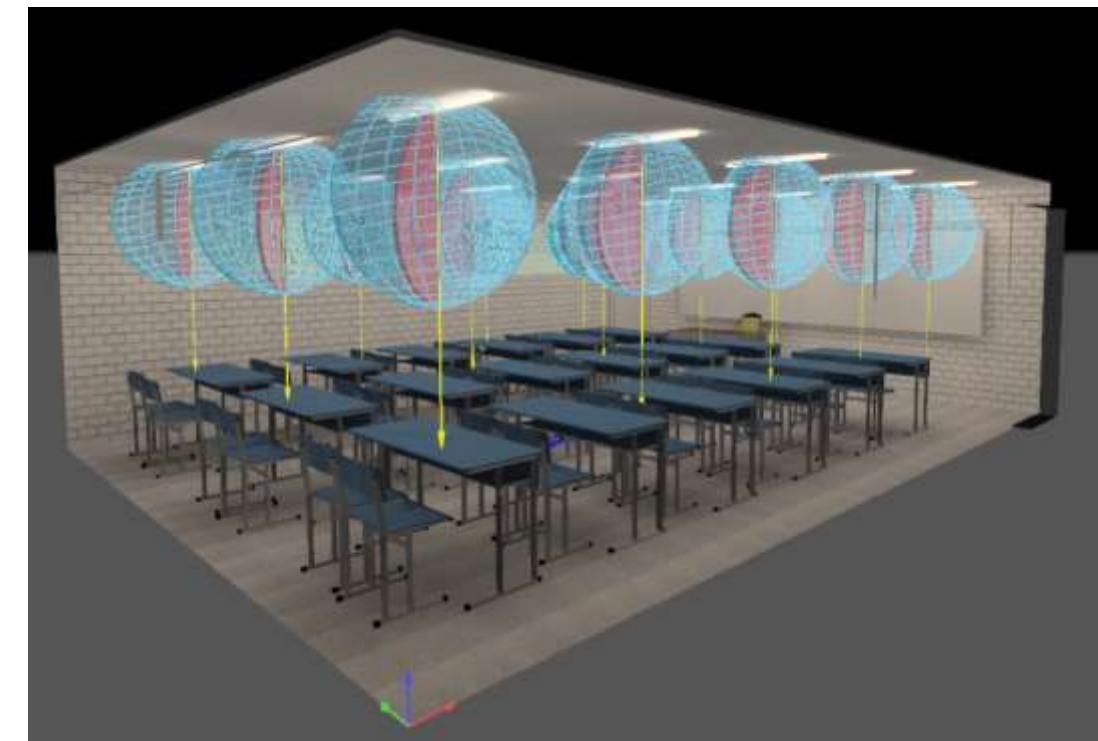


Figura 143. Visualización de curvas fotométricas planta baja. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)

Como lo describe la Figura 144 de los cálculos de líneas isolux y el diagrama de colores falsos, se consigue una determinada uniformidad lumínica en las zonas de trabajo de entre 325 lux – 400 lx y una intensidad menor hacia los bordes de los muros de entre 300 lux -325 lux.

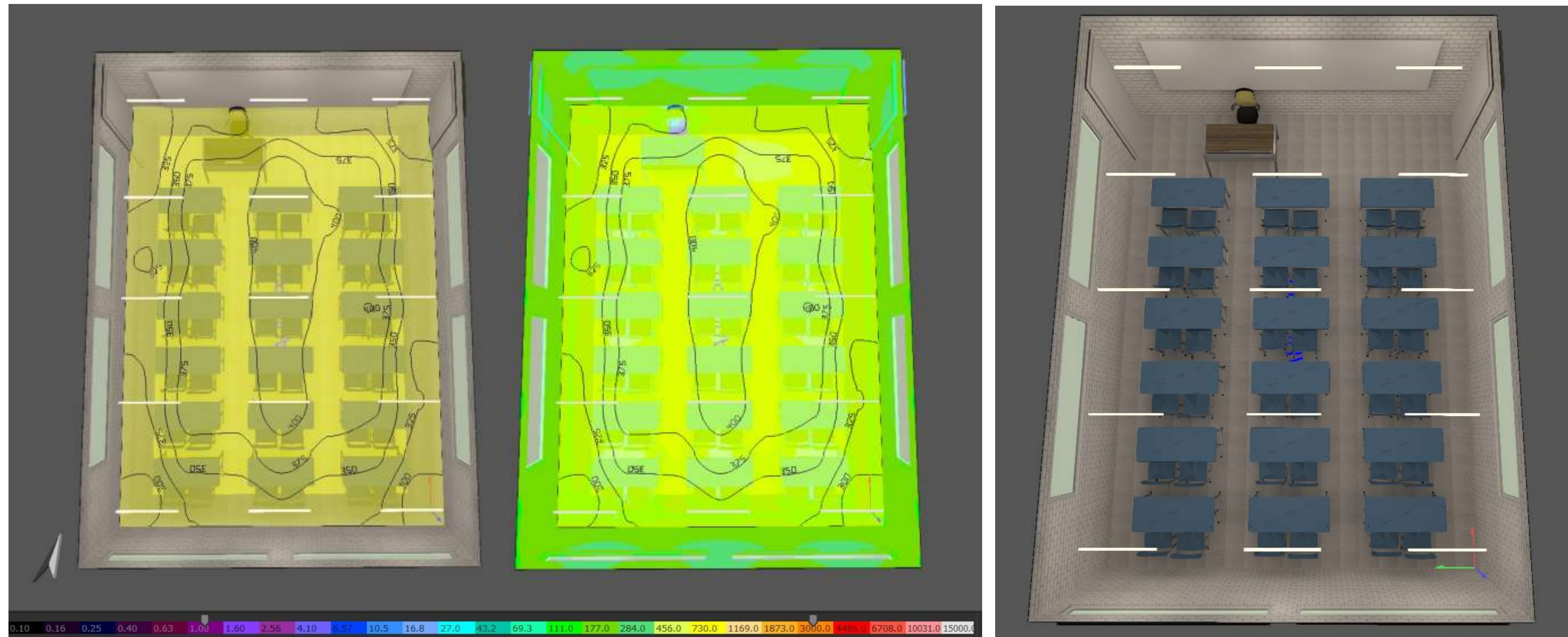


Figura 144. Izquierda - Líneas Isolux, Centro - Visualización Colores falsos, Derecha - Render planta baja. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)

En las siguientes representaciones digitales se visualiza una aproximación de los niveles de iluminación calculados por el software, que permiten presumir una adecuada selección y configuración de luminarias y una óptima iluminación para el caso de estudio.



Figura 146. Render exterior iluminación planta baja. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)

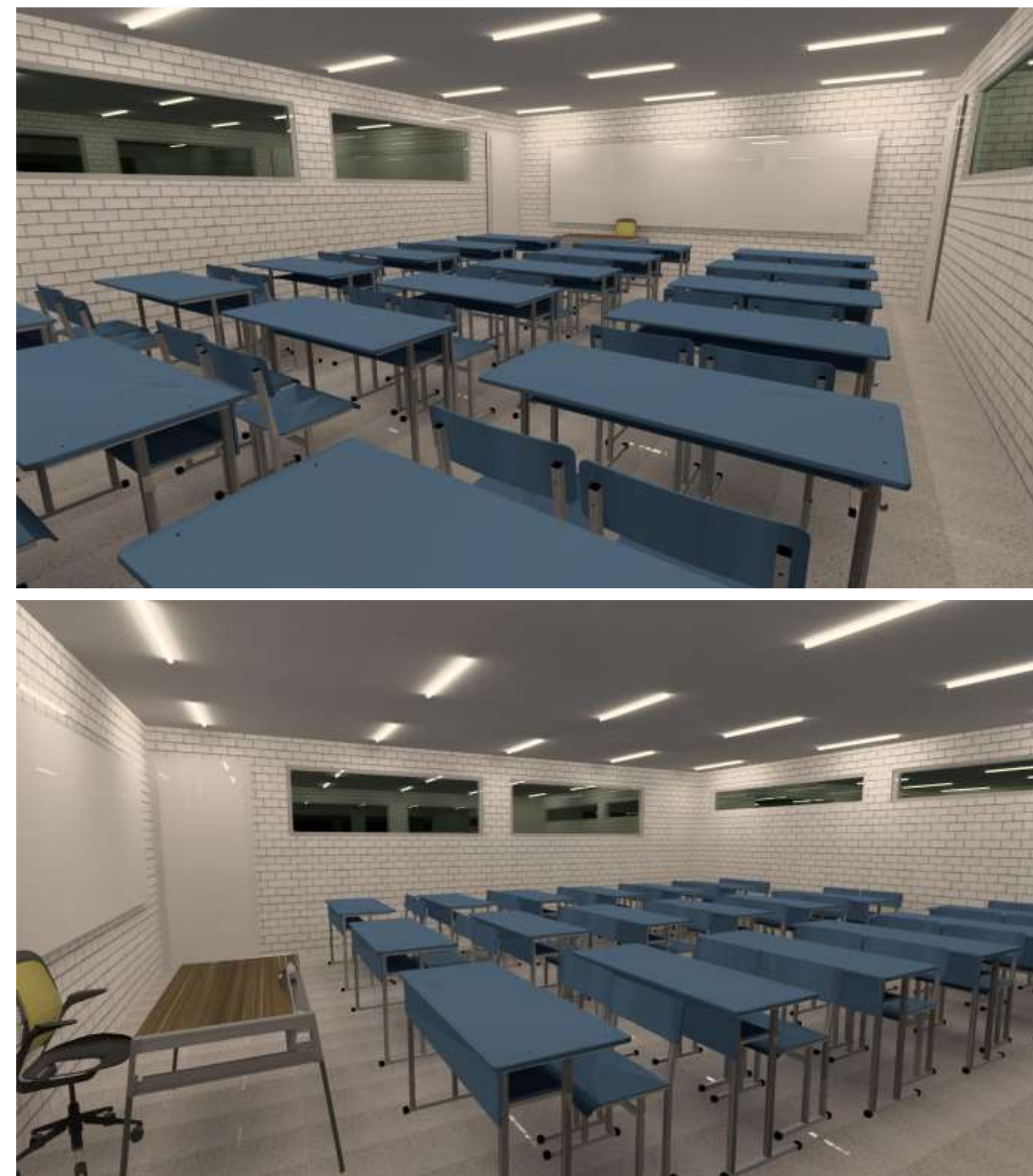


Figura 145. Render interior iluminación planta baja. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)

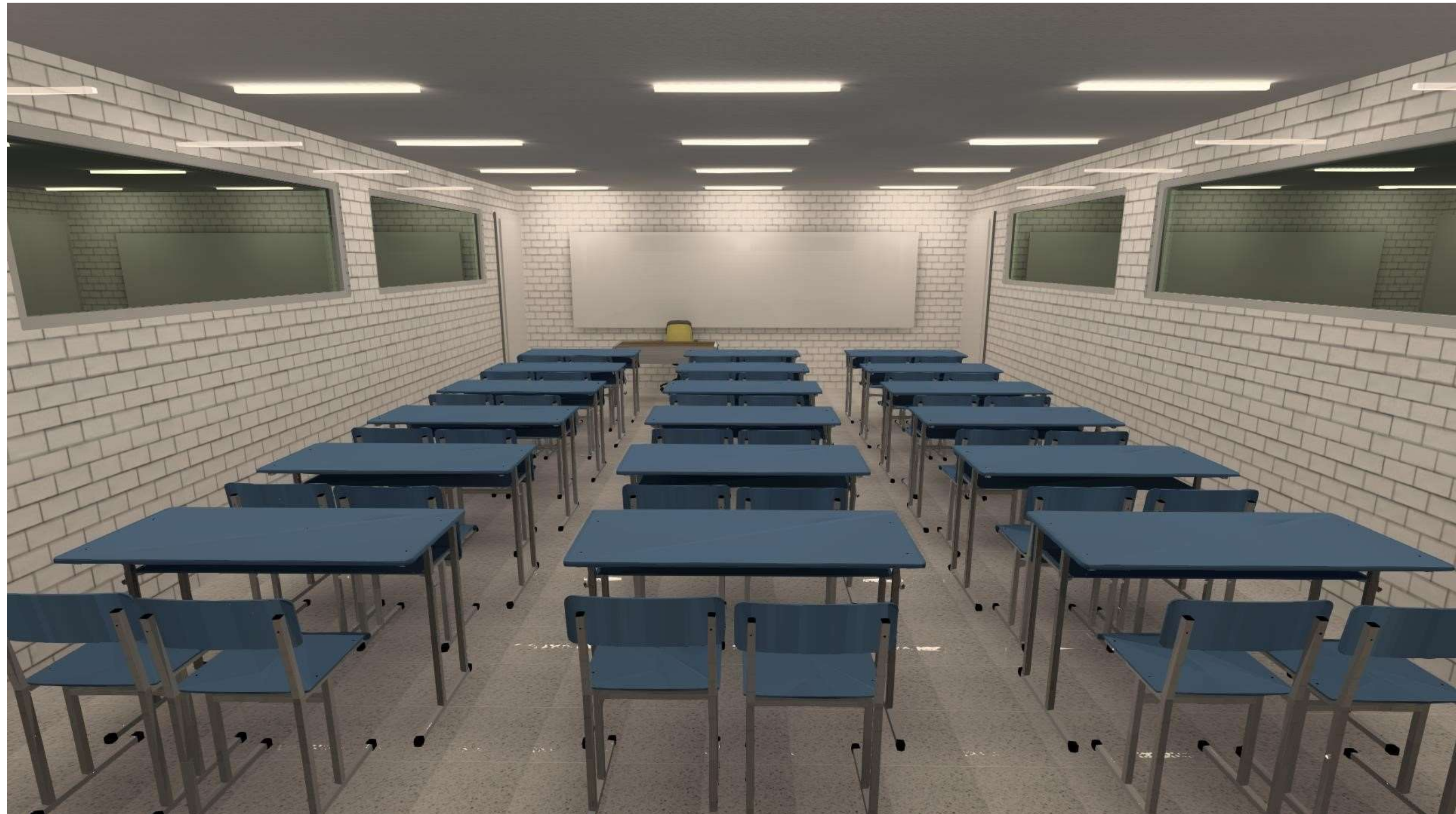


Figura 147. Render principal de interior iluminación planta baja. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)

ESTUDIO DE AULA TIPO EN NIVEL 1

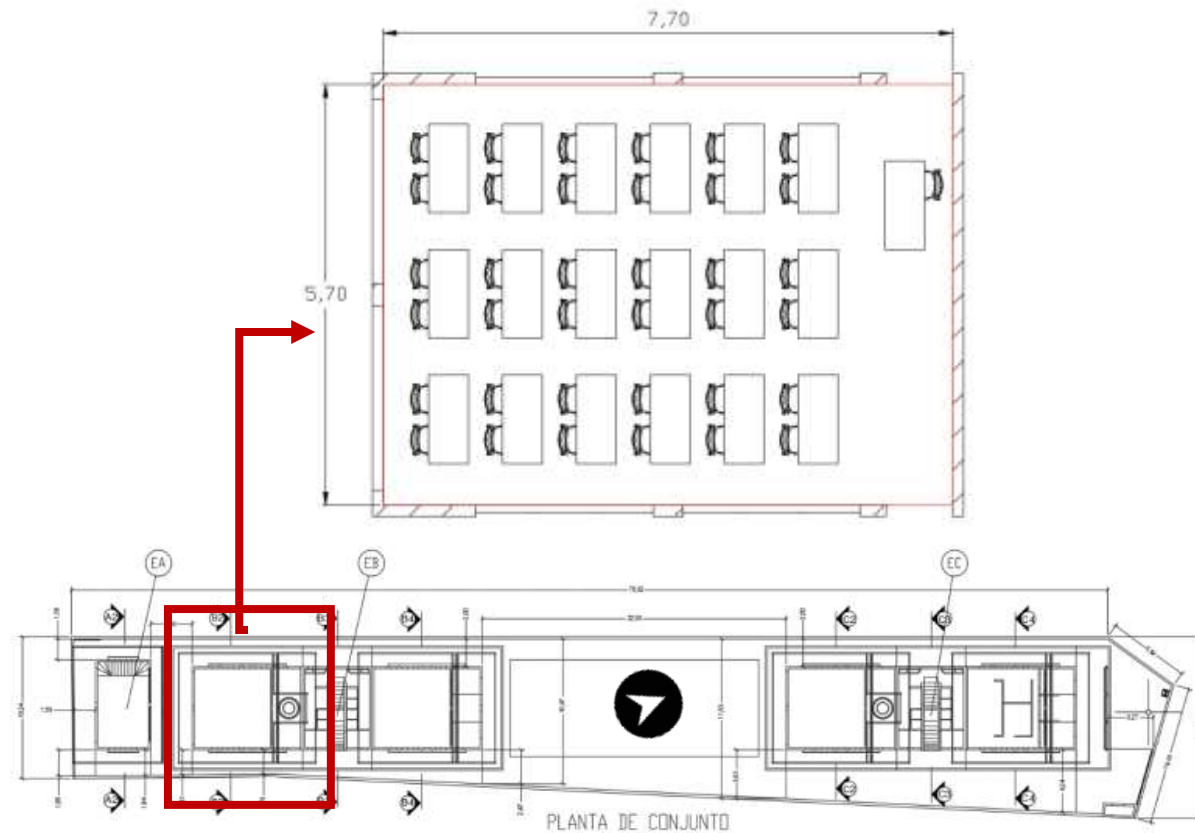


Figura 148. Plano de conjunto, edificio y aula de caso de estudio Nivel 1. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las características del espacio y los requerimientos, se realiza el siguiente cálculo de Lumen requeridos para una idónea iluminación (Figura 149), que servirá de base para la selección, ubicación y determinación de cantidad de luminarias y su aportación lumínica.

Enter Illuminance in lux: lx

Select area unit type:

Enter spherical radius: m

Or enter surface area: m²

Luminous flux result in lumens: lm

Figura 149. Cálculo de flujo luminoso requerido para nivel 1. Fuente: <https://www.rapidtables.org/calc/light/lux-to-lumen-calculator.html>

La aplicación arroja un requerimiento de Flujo luminoso de aproximadamente 14,400 lm. Conociendo el requerimiento, se realiza la selección de 10 luminarias Phillips TLED de 1575 lm, que nos aportan cerca de 15,750 lm.

Fabricante	Philips
Lámpara	1x TLED 12W 4000K 160D 9290012984
P	12.0 W
Φ _{Lámpara}	1575 lm
Φ _{Luminaria}	1575 lm
η	100.01 %
Rendimiento lumínico	131.3 lm/W
CCT	4000 K
CRI	100

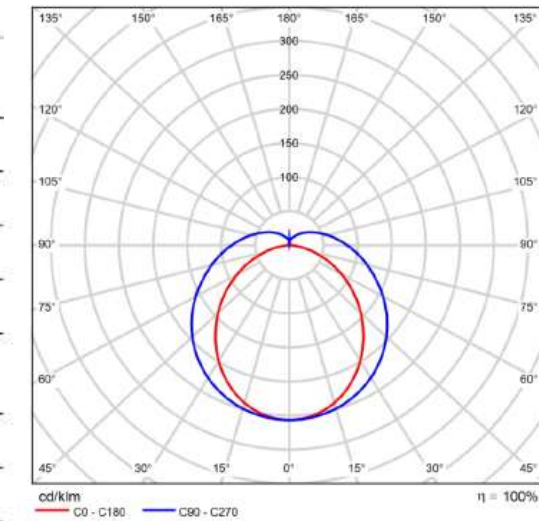


Figura 150. Especificaciones de Luminaria TLED. Fuente: <https://www.lighting.philips.com/support/tools/productfinder>

En la siguiente Figura 151 se visualiza el plano de cálculo sobre el cual será realizado el estudio, definido a 0.80 m de altura sobre el nivel de piso terminado y abarcando toda el área del aula tipo.

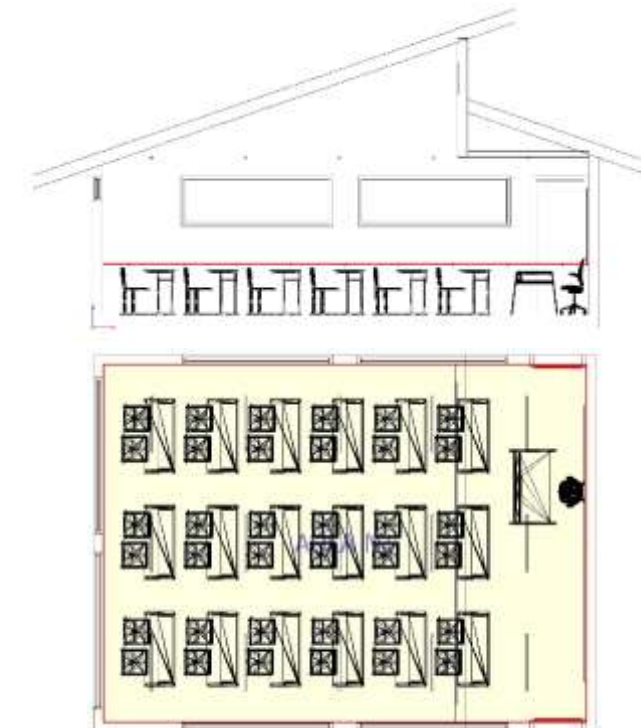


Figura 151. Definición de plano de trabajo para estudio de iluminación nivel 1. Fuente DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)

En la siguiente imagen se visualiza la cantidad y ubicación definitiva de las luminarias en el espacio, resultado de diversas pruebas y cálculos

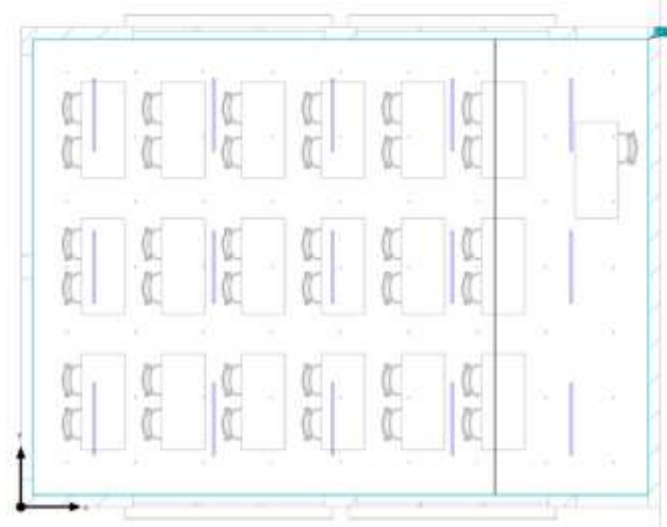


Figura 152. Cantidad y disposición de luminarias en Nivel 1. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)

La configuración final requirió de 15 unidades de la luminaria TLED distribuidas en una matriz de 5 x 3, consiguiendo un flujo luminoso total de 23,625 lm, un promedio en plano de trabajo de 356 lx, un mínimo de 269 lux y un máximo de 415 lux. Tal como se presenta en la siguiente Figura 153).

P_{total} 180.0 W	A_{local} 43.89 m ²	Potencia específica de conexión 4.10 W/m ² (Local)				
Uni.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	P	$\Phi_{Luminaria}$	
15	Philips			12.0 W	1575 lm	
Φ_{total} 23625 lm	P_{total} 180.0 W	Rendimiento lumínico 131.3 lm/W				
Uni.	Fabricante	Nº de artículo	Nombre del artículo	P	Φ	Rendimiento lumínico
15	Philips			12.0 W	1575 lm	131.3 lm/W
Propiedades	\bar{E}	E_{min}	E_{max}	\bar{E}/E_{min}	E_{max}/E_{min}	Índice
CALCULO ILUMINANCIA N1 Iluminancia perpendicular Altura: 0.800 m	356 lx	269 lx	415 lx	1.32	1.54	CG2

Perfil de uso: 24 - LIGHTING FOR EDUCATION (Classrooms; General Classrooms, Learning/teaching, Hardcopy and writing)

Figura 153. Promedio de flujo luminoso sobre el plano de trabajo Nivel 1. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)

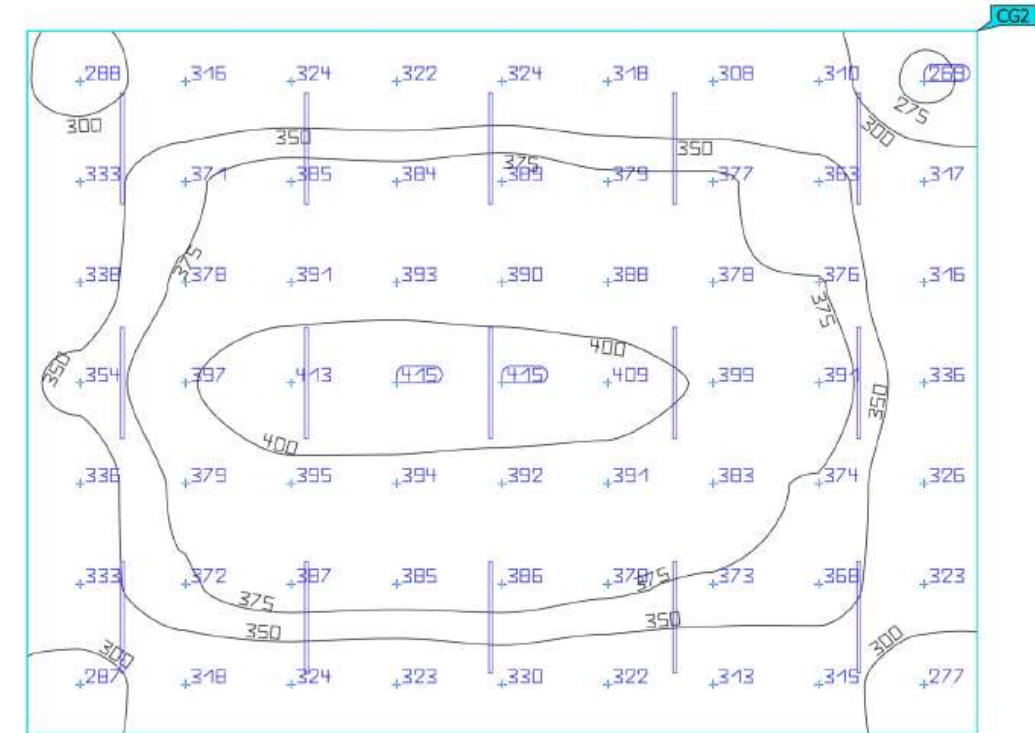


Figura 154. Cálculo de líneas Isolux Nivel 1. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)

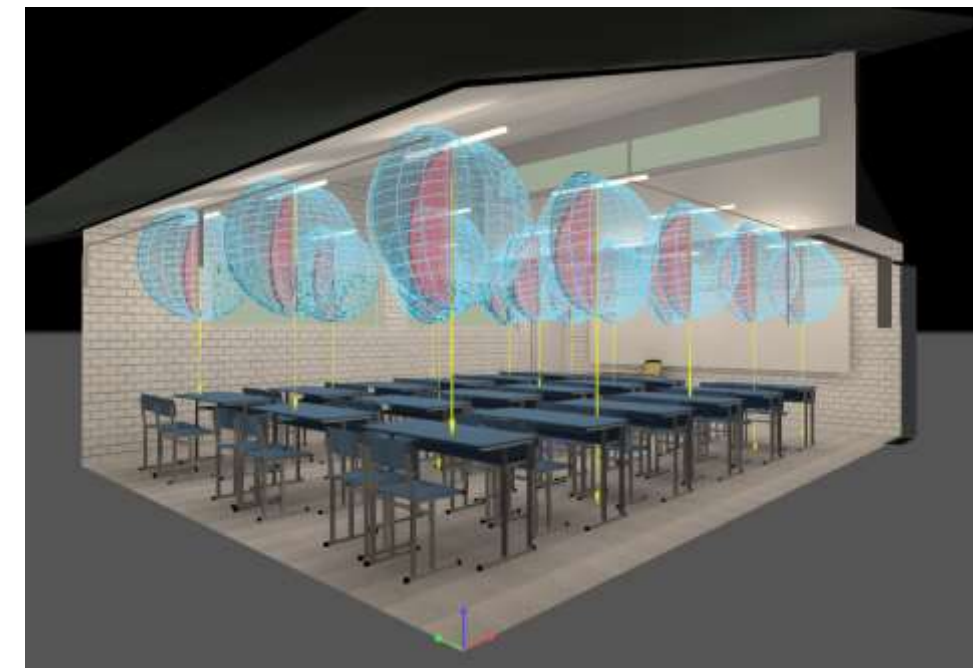


Figura 155. Visualización de curvas fotométricas Nivel 1. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)

Como lo describe la Figura 156 de los cálculos de líneas isolux y el diagrama de colores falsos, se consigue una determinada uniformidad lumínica en las zonas de trabajo de entre 350 lux – 400 lx y una intensidad menor hacia los bordes de los muros de entre 275 lux -300 lux.

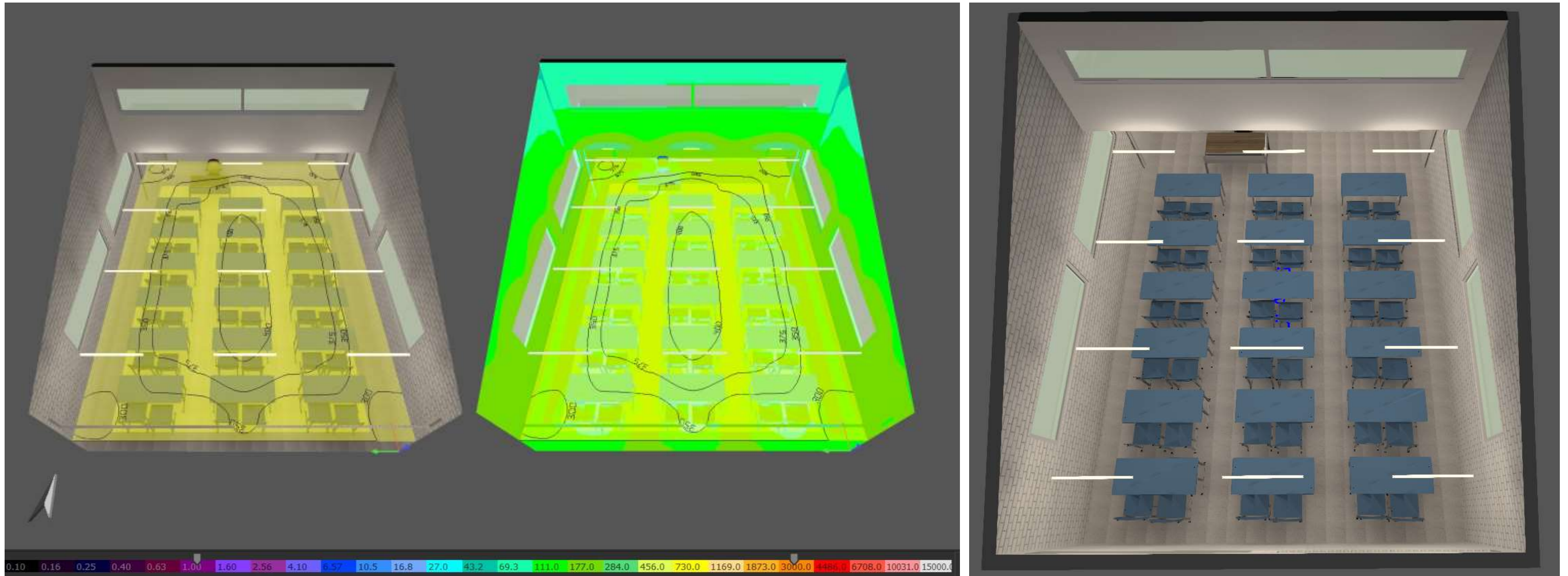


Figura 156. Izquierda - Líneas Isolux, Centro - Visualización Colores falsos, Derecha - Render Nivel 1. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)

En las siguientes representaciones digitales se visualiza una aproximación de los niveles de iluminación calculados por el software, que permiten presumir una adecuada selección y configuración de luminarias y una óptima iluminación para el caso de estudio.

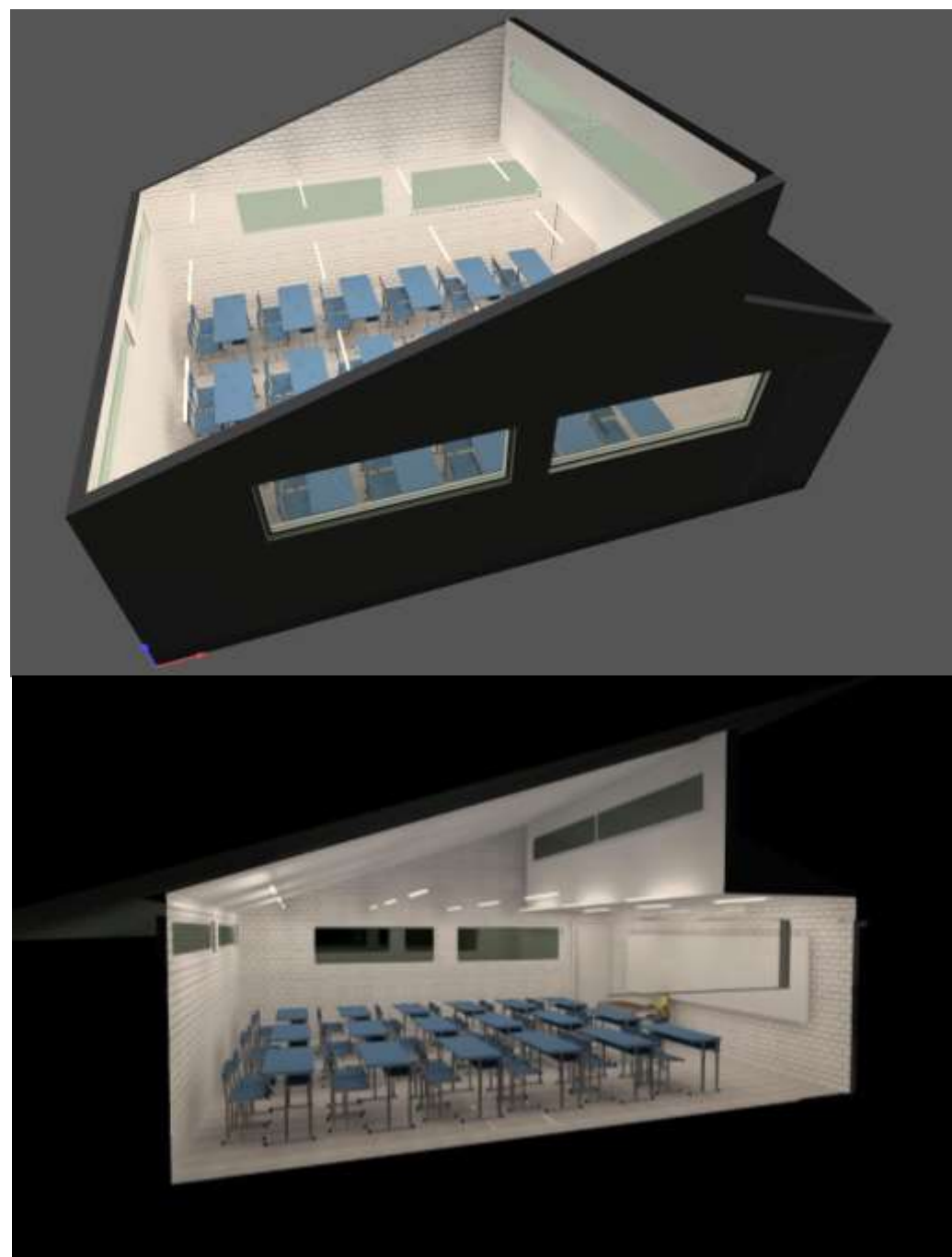


Figura 158. Render exterior iluminación Nivel 1. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)



Figura 157. Render interior iluminación Nivel 1. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)



Figura 159. Render principal de interior iluminación Nivel 1. Fuente: DIALux Evo. (DIAL GmbH, 2024)

9.7. CONCLUSIONES

El análisis de confort lumínico permitió visualizar una aproximación real de las condiciones del espacio proyectado sobre los requerimientos de iluminación solicitados. La simulación desde distintas herramientas fue de gran utilidad para realizar comparativas, cruzar información y confirmar distintos supuestos. La utilización de herramientas digitales a través de modelos de estudio 3D son sumamente prácticos y ágiles para realizar múltiples escenarios y evaluaciones tanto visuales como cuantitativas; sin embargo, la utilización de un modelo físico a escala ha sido bastante didáctico en términos de permitir un acercamiento más tangible y más inmediato, pues provee de un acceso a un “renderizado en tiempo real” desde cualquier perspectiva con lujo de detalles.

ILUMINACIÓN NATURAL

La evaluación del aula tipo en Planta Baja con el software Andrew Marsh permite un primer acercamiento práctico e inmediato al estudio lumínico; sin embargo, se observó que tiene algunas limitantes para la definición a detalle de los espacios de estudio. Por ello, se concluye que puede utilizarse como un primer vistazo a las condiciones de iluminación, incluso sin contar con mucho nivel de detalle en nuestros modelos 3D. Los resultados obtenidos por esta herramienta arrojan que de manera general, se cuenta con un nivel de iluminación natural suficiente y dentro de lo estipulado por la norma para solsticios de verano y equinoccios, con promedios de entre 190-380 lux y entre 370-430 lux respectivamente; sin embargo, los solsticios de invierno presentan un promedio de bajos niveles que no llegan al mínimo requerido, entre 20-150 lux.

Los resultados de la evaluación en el cielo artificial mostraron un nivel iluminación uniforme y suficiente, dentro de los parámetros de la norma, entre 450-628 lux para planta baja y entre 372-620 lux para nivel 1. Para este estudio se concluye que se presentan niveles superiores a los 300 lux marcados por la norma y que las condiciones de iluminación son suficientes.

La evaluación con DIALux Evo fue mucho más precisa en términos visuales y cuantitativos. En términos generales, el espacio de estudio presentó bajos niveles de iluminación natural tanto en planta baja como en nivel 1. Para equinoccios con iluminación promedio de entre 75-110 lux; para solsticio de verano entre 89-117 lux; y entre 54.5-79.9 lux para solsticio de invierno. Lo interesante del estudio con esta herramienta es que permite hacer una evaluación integral de la iluminación

natural en complemento con la iluminación artificial, mostrando así, un requerimiento complementario de energía y una gráfica horaria del uso de luminarias eléctricas principalmente para solsticio de invierno, temporada de menor incidencia lumínica solar.

El análisis de iluminación natural concluye que, con afán de conseguir óptimas condiciones lumínicas para las actividades de los usuarios y, reducir el consumo energético por iluminación artificial complementaria, sería conveniente incrementar la superficie de ventanas con el fin de obtener mayores ganancias de luz difusa.

ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

Como se ha descrito anteriormente, el software permite evaluar las condiciones de iluminación artificial de una manera bastante precisa. La definición de los niveles de iluminación requeridos respecto a las condiciones del espacio y las luminarias comerciales disponibles, permitieron determinar la mejor configuración y verificar visualmente y cuantitativamente el resultado.

Se concluye que el análisis de iluminación artificial mediante DIALux permitió realizar el diseño óptimo de las condiciones del espacio educativo, en términos de uniformidad e iluminancia consiguiendo niveles entre 325-400 lux en la zona útil de trabajo para planta baja, y de entre 350-400 lux para Nivel 1.

10. ANÁLISIS DE CONFORT ACÚSTICO

10.1. INTRODUCCIÓN

Para garantizar la habitabilidad de un espacio desde una concepción integral, es clave considerar que las condiciones acústicas sean adecuadas a fin de que los usuarios realicen sus actividades de manera confortable y saludable. Conseguir el confort acústico es la consecuencia de generar condiciones adecuadas a través de la envolvente arquitectónica, así como la relación de éste con los diversos factores ambientales exteriores. La adecuación acústica busca optimizar las características constructivas del espacio ajustando sus capacidades de absorción, reflexión y transmisión del sonido; a fin de conseguir un tiempo de reverberación⁷ óptimo, así como el control de ruido exterior según la actividad y la necesidad de los usuarios.

La adecuación acústica en los espacios educativos juega un papel importante pues determina la calidad del ambiente enseñanza-aprendizaje y permite o restringe las condiciones propicias para el estudio, la concentración y la comunicación entre alumnos y profesores. En este sentido, la calidad en la transmisión-recepción de los mensajes a través del habla puede verse limitada si no existen adecuadas condiciones acústicas, desencadenando falta de comprensión y atención, así como baja productividad y rendimiento académico. Sumado a ello, un ambiente acústico deficiente puede aumentar los niveles de estrés y fatiga, tanto en estudiantes como en docentes (Ballesteros & Daponte, 2011, pág. 34).

Recapitulando, la calidad acústica de las aulas se evalúa a partir de tres parámetros: Tiempo de Reverberación, que se describirá a detalle más adelante; la Inteligibilidad de la palabra, que puede definirse como el nivel de claridad del mensaje; y el Ruido de fondo que puede definirse como la intensidad del sonido del medio ambiente que afecta al interior del espacio educativo (Duran et al., 2021).

10.2. CASO DE ESTUDIO

Se analizaron 2 aulas tipo, localizadas en Planta baja y Primer nivel del Edificio B del conjunto arquitectónico propuesto en anteproyecto (Figura 160), emplazado en un entorno urbano de alta densidad principalmente residencial, de tránsito ligero y con actividad comercial local.

Ambas aulas tipo han sido proyectadas con sistemas constructivos similares en muros, pisos, techos, puertas y ventanas; con un área similar de 43.89 m² pero con variantes en la altura de sus techos, así como la ubicación y cantidad de ventanas (Figura 161).

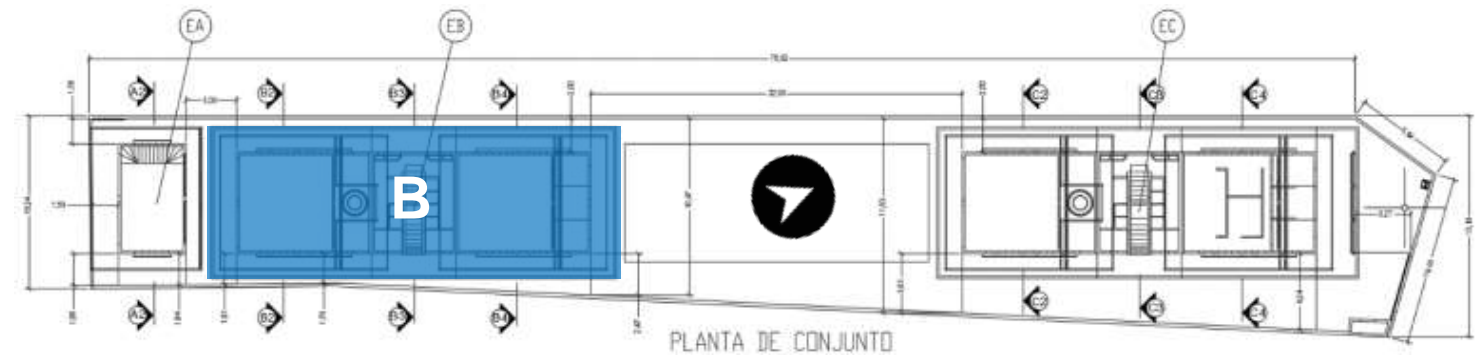


Figura 160. Conjunto arquitectónico de anteproyecto. Fuente: Elaboración propia.



Figura 161. Visualización 3D de sección de Edificio B para estudio acústico. Fuente: Elaboración propia.

(Orozco & Aguirre, 2019)(Orozco & Aguirre, 2019)(Orozco & Aguirre, 2019)(Orozco & Aguirre, 2019)(Orozco & Aguirre, 2019)(Orozco & Aguirre, 2019)⁷ Reverberación. Efecto resultante del reflejo de una onda acústica en las superficies que limitan la habitación y de los objetos en ella (Orozco & Aguirre, 2019).

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Realizar una evaluación que genere un diagnóstico de las condiciones de la propuesta arquitectónica para las aulas “Tipo” a fin de determinar que cumplan con los parámetros de referencia descritos en la normativa en relación a las condiciones de tiempo reverberación y el nivel de ruido de fondo⁸ al interior del espacio educativo. A través del diagnóstico será posible determinar y proponer las estrategias de acondicionamiento acústico más adecuadas para mejorar las condiciones requeridas.



Figura 162. Entorno del emplazamiento arquitectónico. Fuente: Google Earth

12.3. DATOS NORMATIVOS

Cómo se ha comentado, el presente estudio evaluará la capacidad de la envolvente arquitectónica para transmitir o limitar los ruidos exteriores al interior del espacio, así como definir los tiempos de reverberación. A continuación, se definirán los factores a evaluar y los parámetros de referencia según la normativa.

⁸ El nivel de Ruido de Fondo o Criterio de Ruido (Noise Criteria) es el valor con el que se describe la intensidad del ruido dentro de un espacio (INIFED, 2014).

TIEMPO DE REVERBERACIÓN (TR).

El tiempo de reverberación se define como el lapso de tiempo (en segundos), que tarda un espacio dado en amortiguar la energía de un sonido en 60 dB después de interrumpir abruptamente la vibración de la fuente; y es el resultado de las múltiples reflexiones del sonido en las superficies de un espacio cerrado. La fórmula de Sabine permite calcular el tiempo de reverberación denominado “RT60” a partir del volumen del espacio (V) y la absorción total de las superficies (A), y se define como: $RT60=0.161 \times V/A$. (Ermann, 2015, Pág. 62).

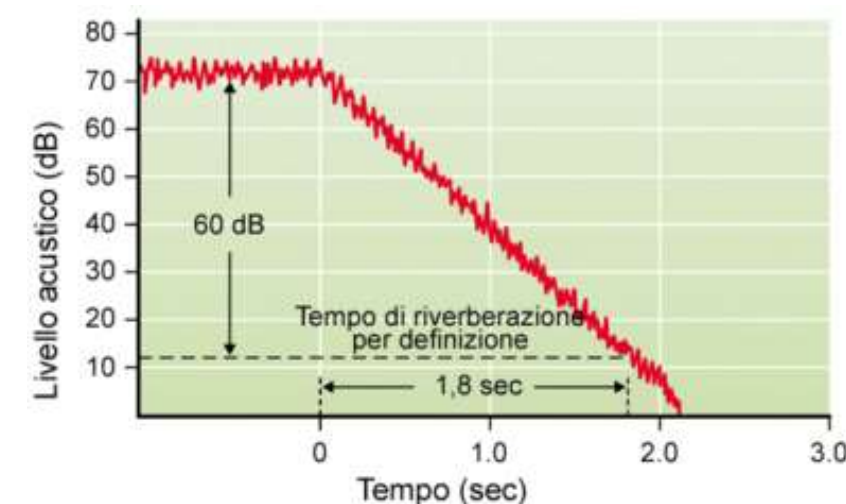


Figura 163. Gráfica ilustrativa de tiempo de reverberación TR. Fuente: <https://www.acousticlab.com/tiempo-de-reverberacion-y-formula-de-sabine/>

La Tabla 29 muestra los factores que influyen en la determinación del tiempo de reverberación; para el caso de espacios destinados a la educación, se deberán conseguir tiempos de reverberación adecuados para la inteligibilidad de la palabra, dado que los trabajos encontrados demuestran que los valores de la inteligibilidad disminuyen al aumentar el tiempo de reverberación. (Duran et al., 2021).

Importancia	Descripción
1	El volumen del local
2	La absorción de local (la cantidad de sonido que absorben los materiales)
3	El manejo de las reflexiones

Tabla 29. Factores que influyen en el tiempo de reverberación. Fuente: (INIFED, 2014)

El tiempo de reverberación recomendado para un espacio educativo de nivel elemental se describe en la Figura 164; definiendo un rango de TR entre 0.6s – 0.8s; que se encuentra dentro del rango recomendado para espacios educativos de hasta 283 m3 según INIFED.

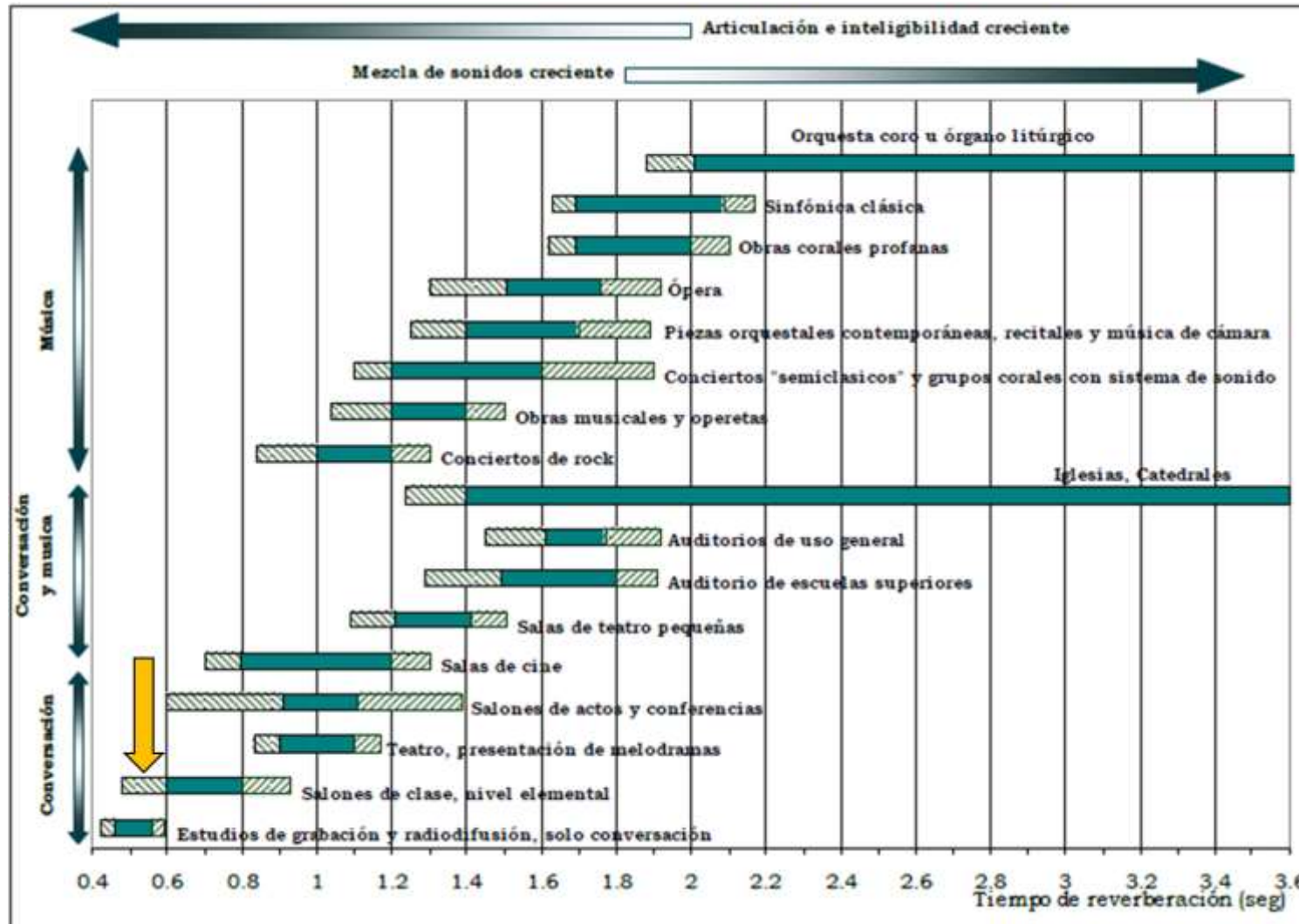


Figura 164. Tiempos óptimos de reverberación en diversos espacios. Fuente: (INIFED, 2014)

NIVEL DE RUIDO DE FONDO

Como ya se ha comentado, la intensidad del sonido no deseado dentro del espacio educativo puede degradar la comunicación y las condiciones de aprendizaje; cuyas fuentes principales son: espacios adyacentes, vibraciones del edificio, tránsito vehicular o fuentes puntuales exteriores (Figura 165).

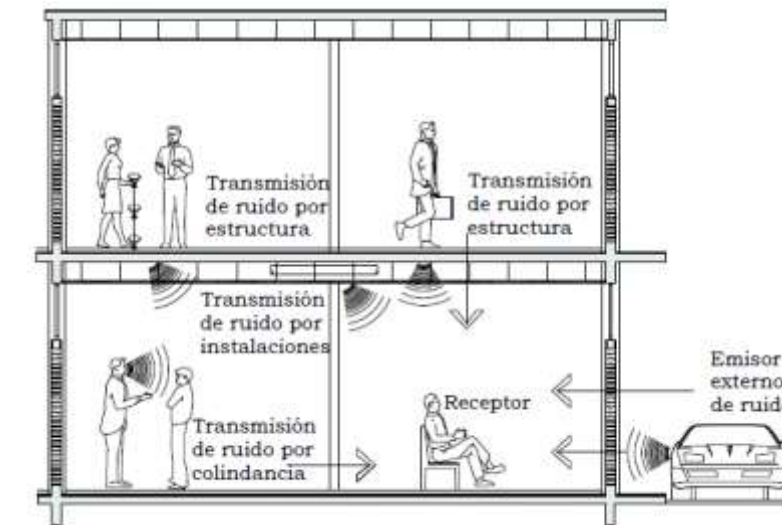


Figura 165. Emisores de ruido externos. Fuente: (INIFED, 2014)

Por este motivo, la normativa ha establecido niveles de ruido recomendados dependiendo del uso de los espacios. Para el caso de estudio en cuestión, según la Tabla 30; un salón de clases tiene un criterio de ruido de fondo recomendado por INIFED que oscile entre 30-35 dB.

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 566m ³ el Nivel de Ruido de Fondo no deberá exceder de:	35 dB A***
Espacios educativos con volumen mayor a 566m ³ el Nivel de Ruido de Fondo no deberá exceder de:	40 dB A***

Tabla 30. Criterio de ruido de fondo en espacios educativos. Fuente: (INIFED, 2014)

12.4. METODOLOGÍA

12.4.1. Acondicionamiento acústico

Mediante el cálculo del Tiempo de Reverberación (TR) será posible identificar si las características de la envolvente arquitectónica son ideales para conseguir: Claridad en la transmisión de los mensajes y Refuerzo del sonido de la voz. Para ello, se realizó la siguiente metodología aplicable a cada aula tipo en planta baja y primer nivel:

1. Determinación de la superficie en m² de los componentes arquitectónicos y definición de sus materiales constructivos: Muros, puertas, ventanas, losas, plafones y pisos. (Figura 166).
2. Selección de los coeficientes de absorción de los materiales constructivos y del mobiliario, que determinan la capacidad que tiene un material de absorber ondas de sonido mientras que reducen su reflexión, mientras más alto el número, más absorbente es. Estos datos provienen de pruebas de laboratorio realizadas por distintas fuentes especializadas en acondicionamiento acústico y también pueden ser identificados como "NRC" (Noise reduction coefficient).
3. Determinación del volumen total del espacio de estudio.
4. Cálculo del área de absorción por componente.
5. Aplicación de fórmula de Sabine para cálculo de TR: $RT60=0.161 \times V \text{ (m}^3\text{)} / \text{Área ABS (m}^2\text{)}$.

OBJETIVOS		CLARIDAD EN MENSAJE DE VOZ REFUERZO DE SONIDO DE VOZ		TR 0.66		FACTOR	VOLUMEN (m3)	AREA (m2)	
AULA	PB	EVALUACIÓN TIEMPO DE REVERBERACIÓN 02			VOLUMEN ESPACIO	LARGO	ANCHO	ALTURA	
SECCIÓN ARQUITECTONICA	ELEMENTO	MATERIAL	FUENTE NRC	CANT.	ANCHO	ALTO	AREA	COEFICIENTE ABS	AREA ABS (A*CABS)
PB-ESTE	Puerta	Double sheet steel skin	akustik.ua	1	0.9	2.2	1.98	0.51	1.01
	Ventana	6mm glass	akustik.ua	2	2.4	0.8	3.84	0.03	0.11
	Muro	Ceramic tiles with smooth surface	akustik.ua	1	7.7	2.5	13.43	0.02	0.24
PB-SUR	Ventana	6mm glass	akustik.ua	2	2.5	0.4	2	0.03	0.06
	Muro	Ceramic tiles with smooth surface	akustik.ua	1	5.7	2.5	12.25	0.02	0.21
PB-OESTE	Puerta	Double sheet steel skin	akustik.ua	1	0.9	2.2	1.98	0.51	1.01
	Ventana	6mm glass	akustik.ua	2	2.4	0.8	3.84	0.03	0.11
	Muro	Ceramic tiles with smooth surface	akustik.ua	1	7.7	2.5	13.43	0.02	0.24
PB-NORTE	Muro	Ceramic tiles with smooth surface	akustik.ua	1	5.7	2.5	14.25	0.02	0.25
PLAFÓN / LOSA	Losa	Revoque de mortero a base de vermiculita	Bunker-Audio	1	7.7	5.7	43.89	0.26	11.41
PISO	Piso	Smooth marble or terrazzo slabs	akustik.ua	1	7.7	5.7	43.89	0.01	0.55
MOBILIARIO	Pupitres	Children, seated in plastic or metal chairs (per child) in	akustik.ua	36	1.2	0.5	21.6	0.39	8.42
								26.86	

Tabla 31. Cálculo de Tiempo de Reverberación para espacio de estudio Planta Baja. Fuente: Elaboración propia.

CÁLCULO DE TR EN PLANTA BAJA.

La Tabla 31 muestra el desglose de las variables calculadas y el resultado de Tiempo de Reverberación de 0.66 segundos, lo que indica que el espacio de estudio cuenta con condiciones acústicas óptimas, dentro del rango recomendado por INIFED; de tal manera que se puede garantizar una buena inteligibilidad del habla y un adecuado refuerzo de la voz.

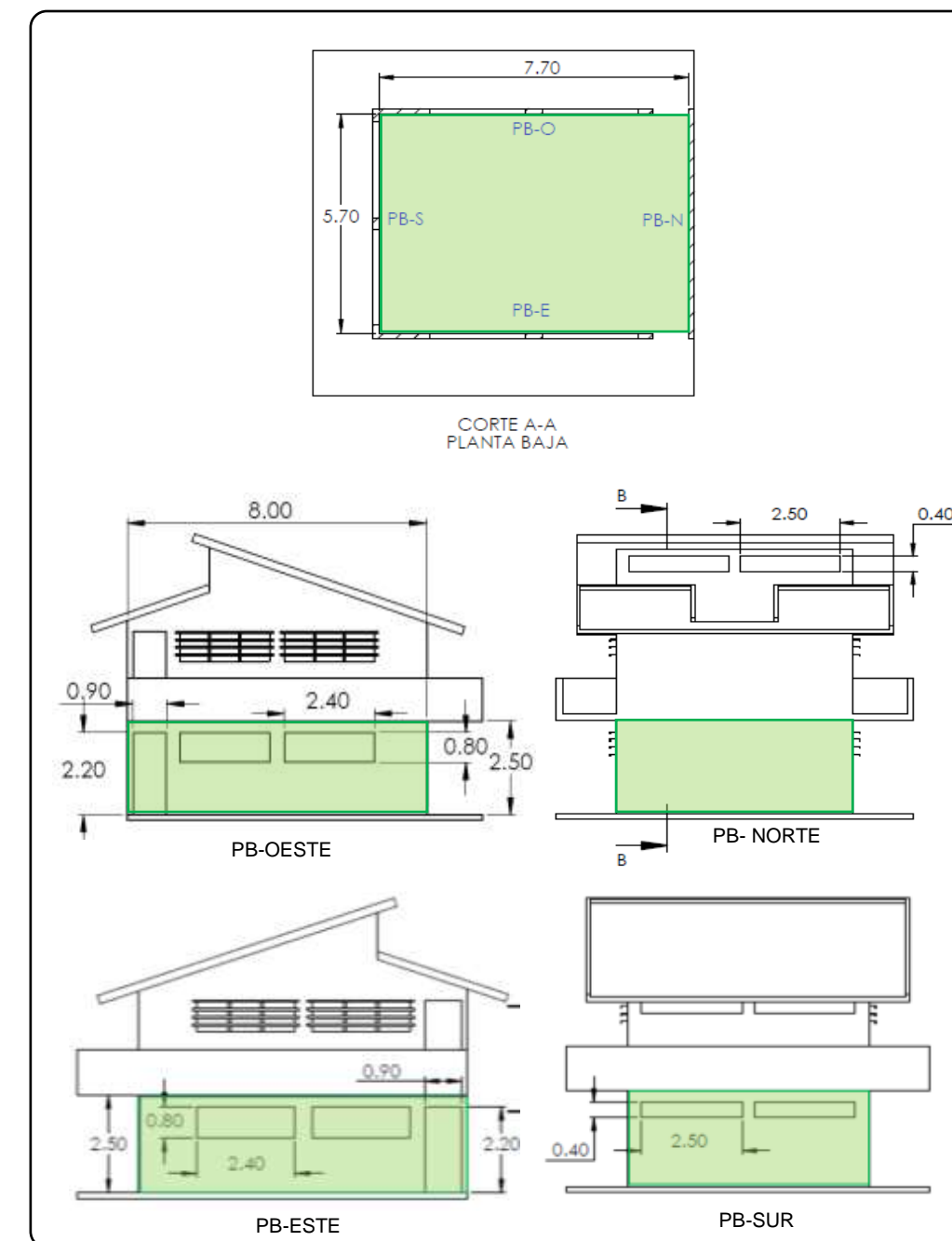


Figura 166. Planos ilustrativos del espacio de estudio en Planta Baja. Fuente: Elaboración propia.

CÁLCULO DE TR EN NIVEL 1

La Tabla 32 muestra los resultados del cálculo del tiempo de reverberación obtenidos para Nivel 1, a través de los cuales se identifica un TR total de 0.93 segundos que, comparado con la normativa, requerirá la implementación de estrategias de acondicionamiento que incremente la superficie absorbente y propicie mejores condiciones.

OBJETIVOS		CLARIDAD EN MENSAJE DE VOZ REFUERZO DE SONIDO DE VOZ					TR 0.93		FACTOR	VOLUMEN (m3)	AREA (m2)
AULA	N1	EVALUACIÓN TIEMPO DE REVERBERACIÓN 02						VOLUMEN ESPACIO	7.7	5.7	2.5
								VOLUMEN LOSA INC.	5.5	2	5.7
SECCIÓN ARQUITECTONICA	ELEMENTO	MATERIAL	FUENTE NRC	CANT.	ANCHO	ALTO	AREA	COEFICIENTE ABS	AREA ABS (A*CABS)		
N1-ESTE	Puerta	Double sheet steel skin	akustik.ua	1	0.9	2.2	1.98	0.51	1.01		
	Ventana	6mm glass	akustik.ua	2	2.4	0.8	3.84	0.03	0.11		
	Muro	Ceramic tiles with smooth surface	akustik.ua	1			18.37	0.02	0.32		
N1-SUR	Ventana	6mm glass	akustik.ua	2	2.5	0.4	2	0.03	0.06		
	Muro	Ceramic tiles with smooth surface	akustik.ua	1	5.7	2.5	12.25	0.02	0.21		
N1-OESTE	Puerta	Double sheet steel skin	akustik.ua	1	0.9	2.2	1.98	0.51	1.01		
	Ventana	6mm glass	akustik.ua	2	2.4	0.8	3.84	0.03	0.11		
	Muro	Ceramic tiles with smooth surface	akustik.ua	1			18.37	0.02	0.32		
N1-NA	Muro	Ceramic tiles with smooth surface	akustik.ua	1	5.7	2	11.4	0.02	0.20		
N1-NB	Muro	Ceramic tiles with smooth surface	akustik.ua	1	5.7	2.39	13.623	0.02	0.24		
PLAFÓN / LOSA A	Losa	Revoque de mortero a base de vermiculita	Bunker-Audio	1	5.82	5.7	33.174	0.26	8.63		
PLAFÓN / LOSA B	Losa	Revoque de mortero a base de vermiculita	Bunker-Audio	1	2.2	5.7	12.54	0.26	3.26		
PISO	Piso	Smooth marble or terrazzo slabs	akustik.ua	1	7.7	5.7	43.89	0.01	0.55		
MOBILIARIO	Pupítrés	Children, seated in plastic or metal chairs (per child) in	akustik.ua	36	1.2	0.5	21.6	0.39	8.42		
								24.44			

Tabla 32. Cálculo de Tiempo de Reverberación para espacio de estudio en Nivel 1. Fuente: Elaboración propia.

A fin de reducir el TR en un rango de 0.13 a 0.33 segundos y mejorar las condiciones acústicas, se sugiere la implementación de placas de poliéster decorativas en la zona superior del vano en los muros N1-Este y N1-Oeste con la intención de incrementar la superficie absorbente. (Figura 167).

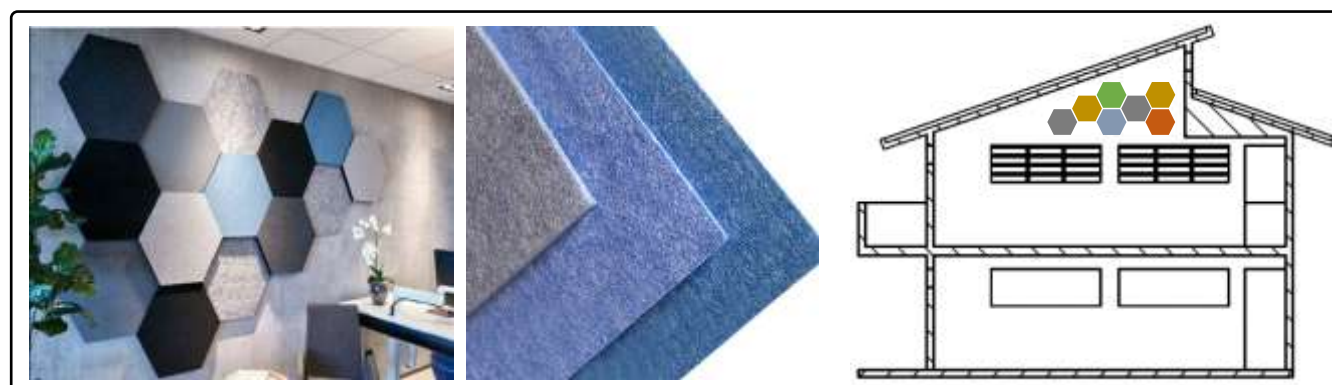


Figura 167. Placas de poliéster decorativas en Nivel 1. Fuente: Elaboración propia con imágenes de <https://sineco-acustica.com/>

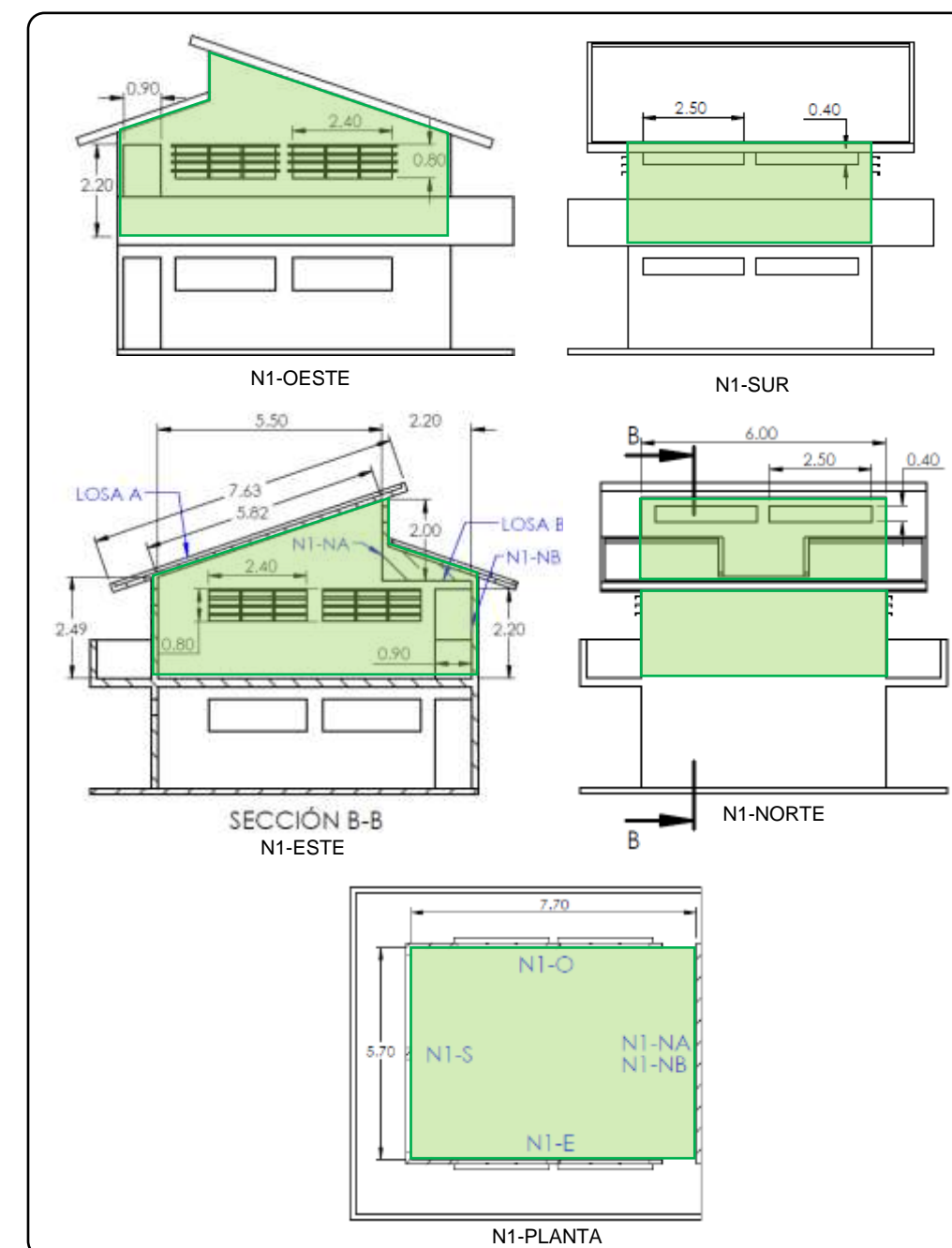


Figura 168. Planos ilustrativos del espacio de estudio en Nivel 1. Fuente: Elaboración propia

12.4.2. Aislamiento acústico

Mediante el balance acústico, realizado a través del cálculo de ruido de fondo, es posible determinar si el envolvente cumple con las características aislantes necesarias para percibir un nivel de ruido interior conforme a los parámetros de la norma. Para determinar la pérdida de transmisión del sonido se siguió la siguiente metodología:

1. Identificar fuentes sonoras (Arquitectónicas y/o urbanas) adyacentes a la envolvente en estudio y realizar el cálculo de atenuación correspondiente, dependiendo de la distancia a la que se encuentre; considerando entre ellas, las fuentes externas del emplazamiento, así como las fuentes internas del recinto educativo.
2. Identificar la orientación de las barreras de la envolvente y definir el nivel de ruido incidente sobre cada una de las fachadas a través de la suma energética de todas las fuentes sonoras.



Figura 169. Emplazamiento de proyecto arquitectónico y las fuentes de ruido del entorno. Fuente: Elaboración propia con imagen de Google Earth, (EPA, 2020) y (Orozco & Aguirre, 2019)

3. Determinar las características constructivas de las barreras a evaluar, definiendo cada uno de sus componentes: Muros, Ventanas y Puertas; así como sus factores de transmisión de sonido o valores STC (sound transmission class).

4. Realizar el cálculo de ruido de fondo que determinará el nivel de aislamiento de la envolvente, lo que permite evaluar si cumple con la recomendación según los datos de INIFED.

Dependiendo del resultado obtenido, considerar la aplicación de estrategias necesarias para conseguir los niveles de ruido interior deseables.

En la Figura 169 se describe el emplazamiento del proyecto arquitectónico y las fuentes sonoras procedentes de las vialidades y edificios adyacentes, con valores teóricos procedentes de distintas fuentes.



Figura 170. Niveles de ruido de las fuentes exteriores más comunes. Fuente: (EPA, 2020)

ATENUACIÓN SONORA

El término atenuación se refiere a la reducción de la intensidad del sonido al pasar a través de una barrera, un material o incrementando la distancia de exposición a la fuente emisora. Teóricamente se puede estimar el nivel de reducción sonora en espacios abiertos según la distancia, que en términos prácticos sugiere la reducción de “-3” dB al duplicar la distancia desde la fuente emisora.

La Tabla 33 muestra la atenuación de ruido en función de la distancia desde distintas fuentes de ruido ubicadas en cuatro vialidades.

ATENUACIÓN DE RUIDO x DISTANCIA									
UBICACIÓN DE FUENTE	VIALIDAD	Inicial dB	Distancia (-3dB al duplicar distancia)						
			2m	4m	8m	16m	32m	64m	128m
E	Ignacio Aldama	55	52	49	46	43	40	37	34
SO	Acueducto Lerma	60	57	54	51	48	45	42	39
O	Cam. Penetración	50	47	44	41	38	35	32	29
NO	Vicente Suárez	50	47	44	41	38	35	32	29

Tabla 33. Atenuación de ruido x distancia. Fuente: Elaboración propia

Acueducto Lerma tiene los valores iniciales de ruido más altos, lo que implica mayor contaminación acústica en comparación con las demás vialidades, pero muestra una buena reducción debido a su mayor distancia.

La Tabla 34 muestra una referencia de las distintas fuentes de ruido que pueden tener incidencia en los recintos escolares, a través de esta información se definen las fuentes sonoras internas del espacio educativo que afectan al caso de estudio y que, sumadas a los niveles de ruido externos ya atenuados, permitirán definir la calidad de aislamiento de la envolvente.

FUENTE	REFERENCIA	NIVEL
Ruido recreo	Cowan, J. 1994. p 233	68-77
Escuelas areas exteriores de juego (durante el juego)	Áviles, R. 2017. p 66	55
Ruido rural	Cowan, J. 1994. p p. 40	48
Zona residencial lugares tranquilos	Morales, J. 2015. p 13	40
Low density urban residential, open space	Cowan, J. 1994. p 182	40-50
Average urban residential, open space, suburban, outdoor	Cowan, J. 1994. p 182	45-55
Conversación voz alta	Sancho, F. 2008. p 268	65-75

Tabla 34. Niveles de ruido de referencia. Fuente: Elaboración propia con distintas referencias.

Una vez definidas todas las incidencias de ruido sobre el caso de estudio, se procedió a realizar la suma energética para determinar finalmente cual es el nivel de ruido al que se encuentra expuesta cada una de las barreras. La Tabla 35 especifica un valor de referencia para realizar dicha suma energética.

When two decibel values differ by	Add the following to the higher value
0 or 1	3
2 or 3	2
4 to 8	1
9 or more	0

Tabla 35. Suma energética de decibeles. Fuente: (Ermann, 2015)

La Figura 171 describe el resultado final de la suma de presión sonora en Planta Baja y el cálculo que lo determinó. Con esta información se procedió a realizar al cálculo de ruido de fondo interior.

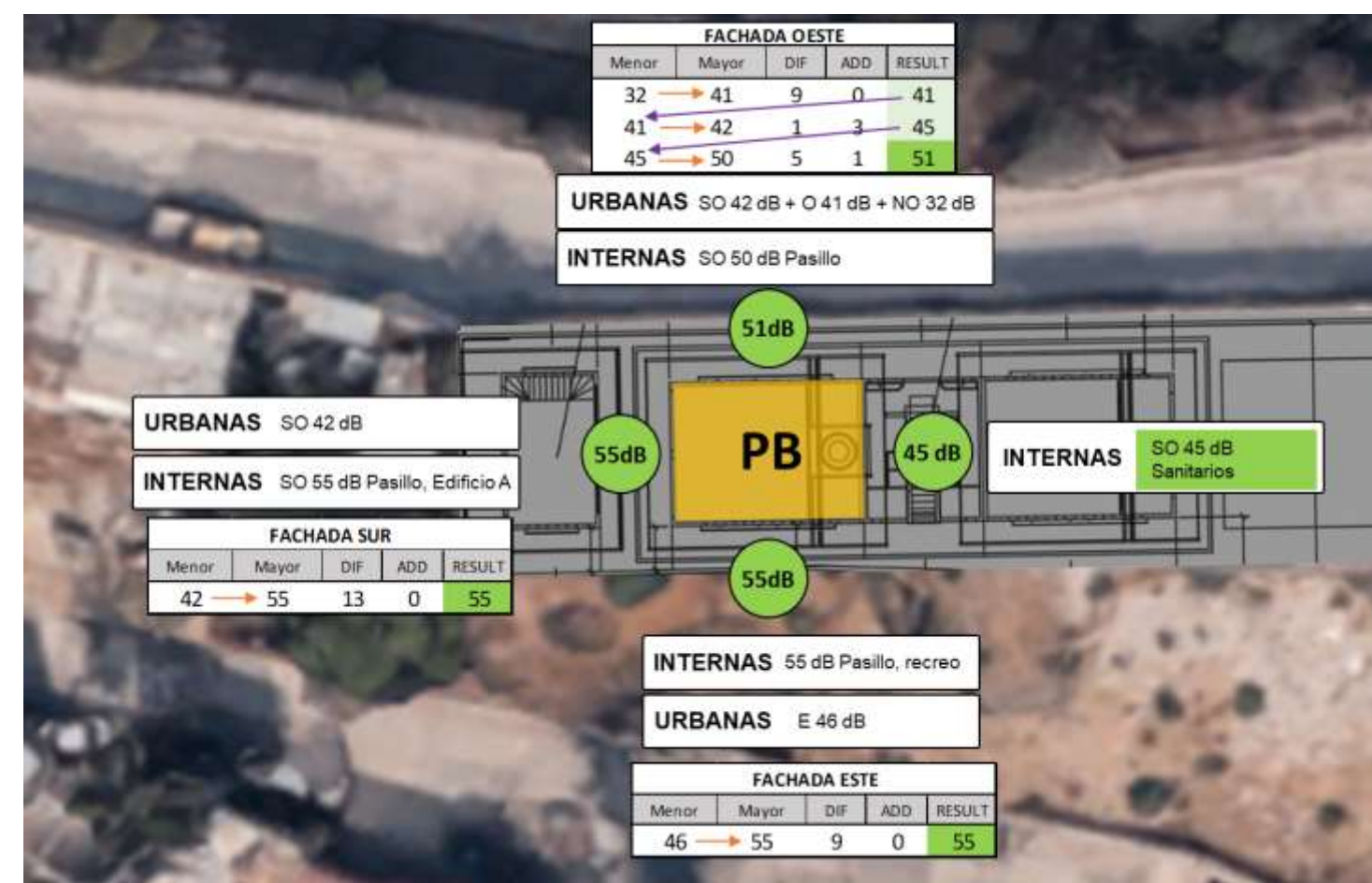


Figura 171. Nivel de ruido resultante de la suma energética en cada Barrera del caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

CÁLCULO DE RUIDO DE FONDO EN PLANTA BAJA

Una vez determinados los niveles de ruido que inciden directamente sobre cada una de las barreras, se realizó el cálculo de ruido de fondo mediante la Tabla 37, que identifica: La orientación de las barreras, sus componentes (Figura 172), sus materiales constructivos, sus superficies, sus valores STC (Tabla 36) y el correspondiente TL (Transmission loss), valor que cuantifica la habilidad de atenuación del paso del sonido a través de un material. Con esas variables es posible determinar el "TLav" que corresponde a la suma logarítmica (Figura 173) del aislamiento de cada componente constructivo y cuyo resultado corresponde al nivel de aislamiento total de cada barrera.

MATERIAL	FRECUENCIAS						REFERENCIA
	RATE	STC	500	1000	2000	4000	
Muro de tabique hueco cerámico 12 cm		40.65					NOVACERAMIC FICHA TECNICA VINTEX
HORMIGON PINTADO	40.00	40.00	0.01	0.02	0.02	0.02	INIFED IV - P18
Vidrio 6 mm monolítico	20.00	31.00	0.04	0.03	0.02	0.02	ARCHITECTURAL ACOUSTICS P 162
De acero, alma hueca, caras Cal. 18, sellada con cinta-espuma en el perímetro 40 mm	0.51	28.00	0.44	0.49	0.54	0.57	TABLAS MATERIALES UNAM
Ceramic tiles with smooth surface	0.02		0.01	0.02	0.02	0.02	ACOUSTICA.UA.ST.WEB_ABSORPTION
Smooth marble or terrazzo slabs	0.01		0.01	0.01	0.01	0.02	ACOUSTICA.UA.ST.WEB_ABSORPTION
Children, seated in plastic or metal chairs (per child) in m2 units	0.39		0.37	0.4	0.42	0.37	ACOUSTICA.UA.ST.WEB_ABSORPTION
Revoque de mortero a base de vermiculita	0.26		0.1	0.18	0.5		BUNKER-AUDIO

Tabla 36. Valores STC de materiales constructivos. Fuente: Elaboración propia con información de distintas referencias

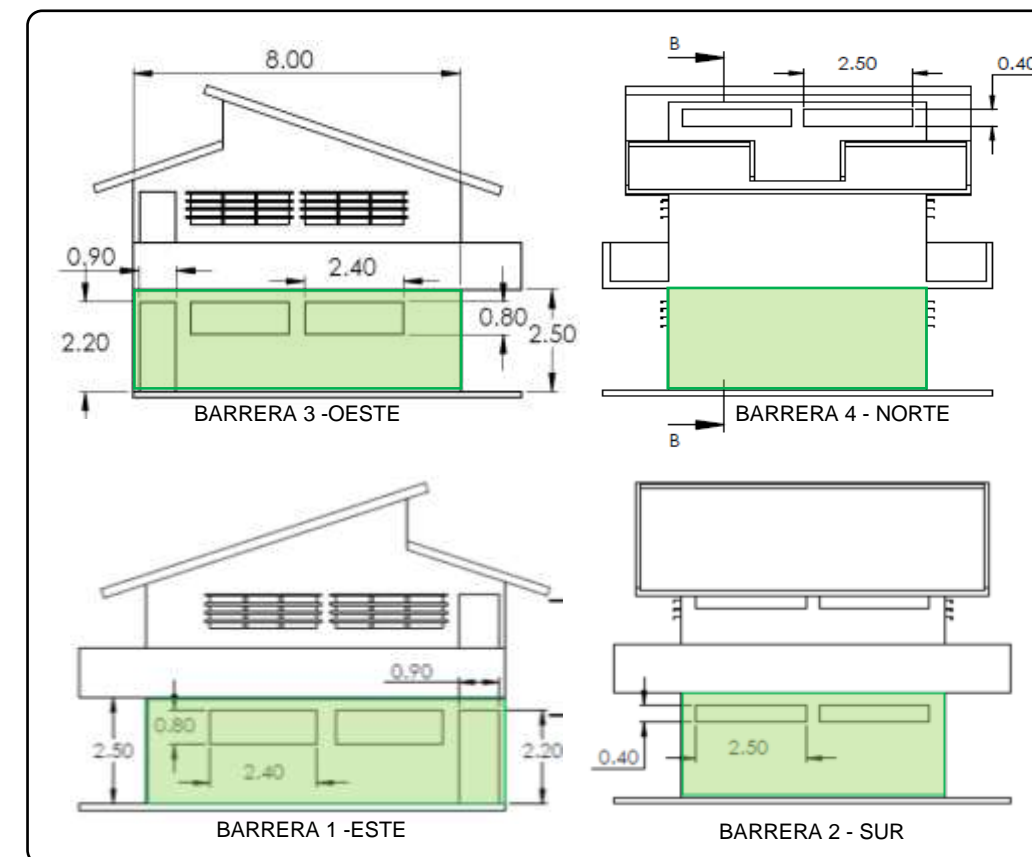


Figura 172. Planos ilustrativos del espacio de estudio Ruido de Fondo en Planta Baja. Fuente: Elaboración propia

AULA	PLANTA BAJA	EVALUACIÓN INICIAL	RUIDO DE FONDO OBJETIVO INIFED (dB)						30	35	CUMPLE	
			RUIDO DE FONDO CALCULADO (dB)						27.0			
SECCIÓN ARQUITECTONICA	ELEMENTO	MATERIAL	CANT.	ANCHO	ALTO	AREA m ²	STC Rw (dB)	TL (STC -3) dB	ÁREA TOTAL Barrera m ²	TLav	RUIDO EXT dB	RUIDO INT dB
BARRERA 1 Barrera compuesta ESTE	Puerta	De acero, alma hueca, caras Cal. 18, sellada con cinta-es	1	0.9	2.2	1.98	28	25	19.25	31	55	24
	Ventana	Vidrio 6 mm monolítico	2	2.4	0.8	3.84	31	28				
	Muro	Muro de tabique hueco cerámico 12 cm	1	7.7	2.5	13.43	41	38				
BARRERA 2 Barrera compuesta SUR	Ventana	Vidrio 6 mm monolítico	2	2.5	0.4	2	31	28	14.25	34.32	55	21
	Muro	Muro de tabique hueco cerámico 12 cm	1	5.7	2.5	12.25	41	38				
		NA					#N/A					
BARRERA 3 Barrera compuesta OESTE	Puerta	De acero, alma hueca, caras Cal. 18, sellada con cinta-es	1	0.9	2.2	1.98	28	25	19.25	31.18	51	20
	Ventana	Vidrio 6 mm monolítico	2	2.4	0.8	3.84	31	28				
	Muro	Muro de tabique hueco cerámico 12 cm	1	7.7	2.5	13.43	41	38				
BARRERA 4 Barrera simple NORTE		NA	0			0	#N/A		14.25		45	7
		NA	0			0	#N/A					
	Muro	Muro de tabique hueco cerámico 12 cm	1	5.7	2.5	14.25	41	38				

Tabla 37. Cálculo de ruido de fondo en Planta Baja. Fuente: Elaboración propia.

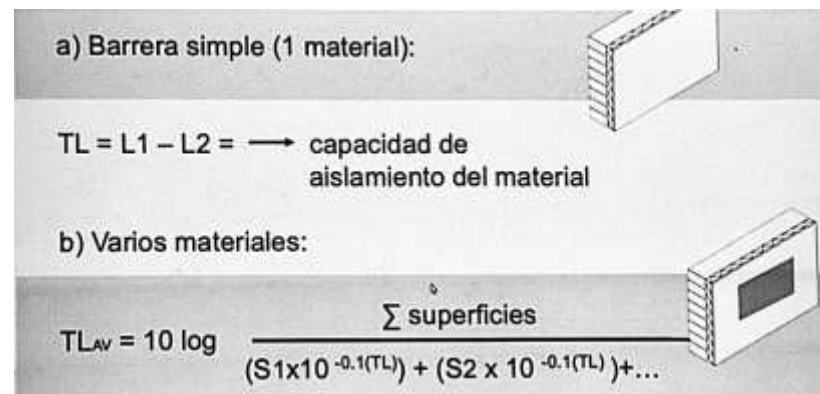


Figura 173. Fórmulas utilizadas para realizar el cálculo de TL según el tipo de barrera. Fuente: (Cowan, 1994)

Una vez determinada la pérdida de transmisión de cada una de las barreras, es necesario realizar la suma energética general para obtener un nivel de ruido de fondo total en el interior del espacio (Tabla 38).

SUMA GENERAL				
Menor	Mayor	DIF	ADD	RESULT
7	20	13	0	20
20	21	1	3	24
24	24	0	3	27

Tabla 38. Suma energética del nivel de ruido de fondo interior en Aula Planta Baja. Fuente: Elaboración propia.

El resultado final del cálculo arroja un nivel de ruido de fondo de 27 dB, lo que corresponde a un nivel dentro de las recomendaciones de INIFED para un aula de clases por lo que no será necesario realizar adecuaciones constructivas en el espacio de estudio.

La evaluación de ruido de fondo para Nivel 1 supone un resultado similar al de Planta Baja debido a que comparte características en cuanto a los niveles de ruido que le inciden tanto del exterior como del espacio educativo. Aunque es evidente que, por tener mayor altura, tiene mayor exposición al ruido de las calles aledañas, también es evidente que, la misma altura reduce su exposición a pasillos y zonas de mayor bullicio al interior del recinto, por lo que el estudio supone una similitud de resultados con los ya definidos en Planta Baja.

12.5. CONCLUSIONES

Los resultados provenientes de la evaluación, indican que la envolvente ofrece condiciones óptimas para los objetivos sugeridos: Inteligibilidad del habla y el Refuerzo de la voz; el ruido de fondo percibido al interior es de un nivel aceptable para permitir la correcta comunicación y proveer de un espacio adecuado para realizar las actividades escolares sin perjuicio del confort y la salud de los usuarios.

Se sugiere el acondicionamiento del Nivel 1 con paneles de poliéster adosados a los muros Este y Oeste para incrementar la superficie absorbente y así reducir el tiempo de reverberación que ofrezca condiciones acústicas ideales; no se encuentra muy por encima de los parámetros recomendados por la normativa, sin embargo, puede ofrecer beneficios debido a la configuración de sus techos.

Se observa que los materiales constructivos seleccionados, así como la configuración de los elementos constructivos son adecuados y generan condiciones acústicas dentro de las recomendaciones de la normativa.

11. ECOTECNOLOGÍAS

11.1. INTRODUCCIÓN

Los retos climáticos de la actualidad demandan soluciones de fondo para reducir el impacto que tiene nuestra actividad humana y utilizar los recursos naturales y energéticos de la manera más inteligentemente posible. La Figura 174 muestra los objetivos a cumplir y las soluciones a implementar en el proyecto, orientadas a resolver los grandes temas y cubrir problemáticas a través de estrategias y dispositivos como complemento al diseño bioclimático previamente propuesto.





SOLUCIÓN IMPLEMENTADA		OBJETIVOS
Energía eléctrica 	Iluminación natural Control pasivo de la temperatura Captación de energía solar	Reducción de costos y de huella energética Reducción de huella de carbono Reducción de gases de efecto invernadero
Escases de agua 	Captación de agua pluvial Implementación de biodigestor	Reducción de consumo Fuentes alternativas Reducción de contaminación
Residuos sólidos 	Separación Reciclaje Compostaje	Reducir generación Optimizar recursos
Altas temperaturas 	Orientación adecuada Estrategias pasivas Sistemas constructivos térmicos	Confort higrotérmico

Figura 174. Objetivos y soluciones a implementar con proyecto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia

En el contexto de los espacios educativos, la implementación de ecotecnologías adquiere un valor agregado debido a su capacidad para fomentar una conciencia ambiental en la comunidad escolar. Al integrar estos dispositivos y tecnologías en la infraestructura educativa, no solo se disminuye el consumo de energía y recursos, sino que se crea un ambiente de aprendizaje interactivo y práctico en torno a la sostenibilidad. Los estudiantes no solo observan, sino que participan en la gestión y el mantenimiento de estas tecnologías, lo que les proporciona una educación práctica sobre el cuidado del medio ambiente y el desarrollo sostenible. La Figura 175 muestra algunas alternativas posibles de aplicar en el proyecto.

En los siguientes capítulos se describirán con mayor detalle las siguientes ecotecnologías a implementar:

- ENERGÍA: Celdas fotovoltaicas, Colector solar, sistemas ahorradores
- AGUA: Captación de agua pluvial, Sistema de tratamiento de aguas residuales, concreto permeable y sistemas ahorradores.
- VEGETACIÓN: Azoteas verdes.

El objetivo es promover la eficiencia energética, la reducción de residuos y la preservación de los recursos naturales como parte de una necesidad para cumplir con las regulaciones ambientales y mejorar la calidad de vida de los habitantes. Algunas de las soluciones propuestas se traducen en la implementación de dispositivos y desarrollos tecnológicos que suman a la solución de la problemática; estos dispositivos y estrategias son denominados ecotecnologías, y son conceptualizadas como: “Dispositivos, métodos y procesos que propician una relación armónica con el ambiente y buscan brindar beneficios sociales y económicos tangibles a sus usuarios, con referencia a un contexto socio-ecológico específico”.(Ortiz et al., 2014)

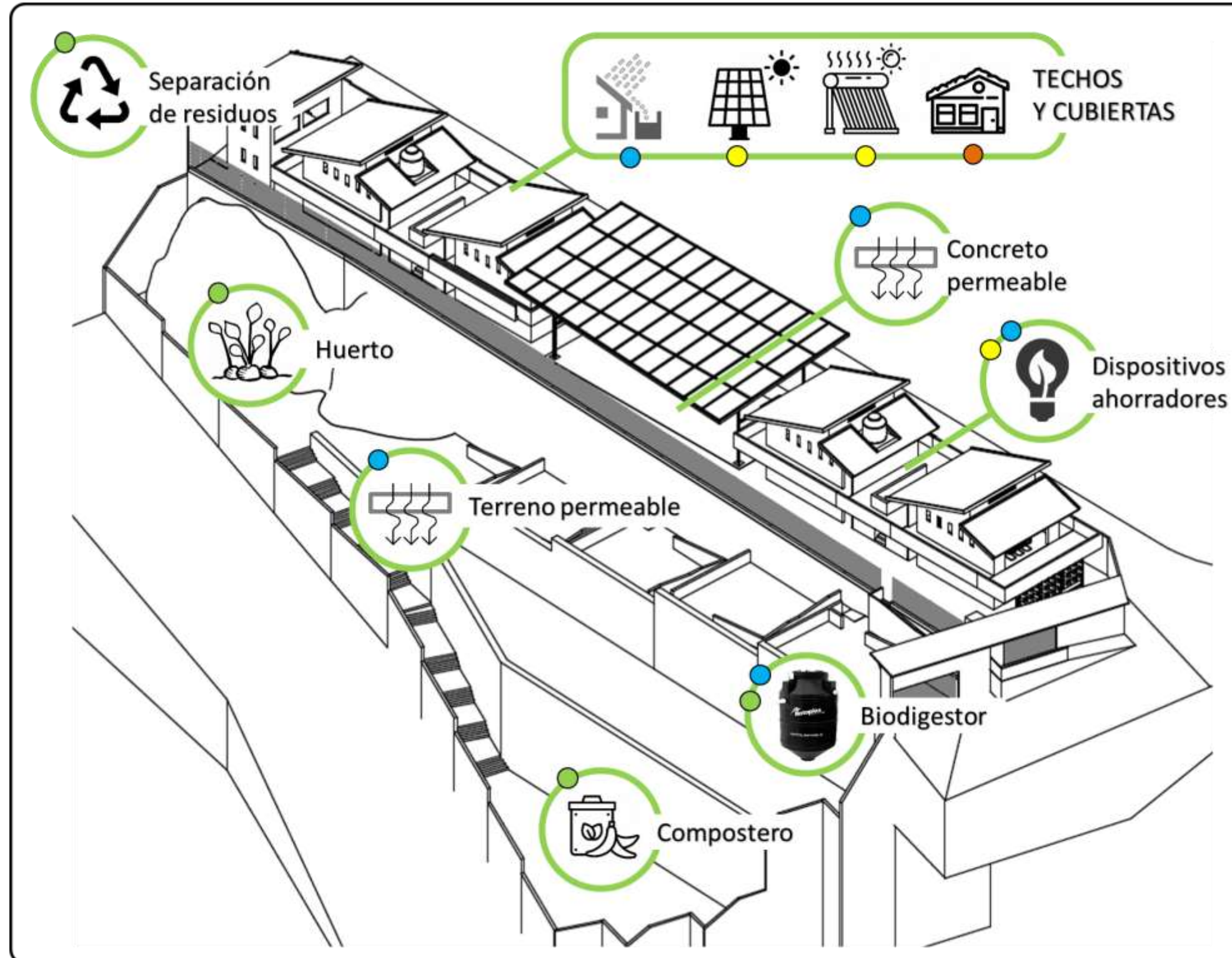


Figura 175. Ecotecnologías viables a implementar en proyecto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia.

11.2. ENERGÍA

11.2.1. Paneles fotovoltaicos

Ecotecnología que proporciona una fuente de energía renovable, limpia y sustentable. Son sistemas integrados por módulos de celdas que transforman la radiación solar en corriente eléctrica.(Ortiz et al., 2014) .

BENEFICIOS

- Reducción del gasto en energía.
- No emiten gases de efecto invernadero ni contaminantes durante su funcionamiento.
- Incentivos y subsidios gubernamentales.
- Autonomía energética: En combinación con baterías, los sistemas fotovoltaicos permiten a los usuarios generar y almacenar su propia electricidad.
- Durabilidad y bajo mantenimiento: Los paneles fotovoltaicos tienen una larga vida útil, generalmente entre 25 y 30 años, y requieren un mantenimiento mínimo.
- Contribución a la sostenibilidad: Al utilizar energía solar, se reduce la dependencia de combustibles fósiles y se contribuye a la mitigación del cambio climático.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- Su eficiencia es variable dependiendo de los materiales de construcción.
- La capacidad de generación de electricidad se mide en Watts (W) o Kilo Watts (kW) dependiendo de la cantidad de módulos instalados.
- Para maximizar su eficiencia, los paneles deben colocarse en un lugar soleado evitando cualquier tipo de sombreado durante el día, deben orientarse hacia el sur (en el hemisferio norte) y colocarse en un ángulo adecuado según la latitud.
- Los sistemas fotovoltaicos residenciales pueden ser autónomos o conectados a la red. Los sistemas conectados permiten vender el excedente de electricidad a la red de CFE. (SEDATU-CONAVI, 2019).

COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA DE PANELES FOTOVOLTAICOS

- Paneles Fotovoltaicos: Células solares que convierten la luz solar en electricidad en forma de corriente directa.
- Inversor: Dispositivo que convierte la corriente directa generada por los paneles en corriente alterna, que es la utilizada en los hogares.
- Baterías (opcionales): Almacenan la electricidad generada para su uso posterior.
- Estructura de Montaje: Soportes que sostienen los paneles en el techo o en el suelo, orientándolos hacia el sol para maximizar la captación de energía.
- |Controlador de Carga (opcional): Regula el flujo de energía hacia las baterías, protegiéndolas de sobrecargas.
- Medidor Bidireccional: En instalaciones conectadas a la red, mide la electricidad que se envía a la red eléctrica y la que se consume.

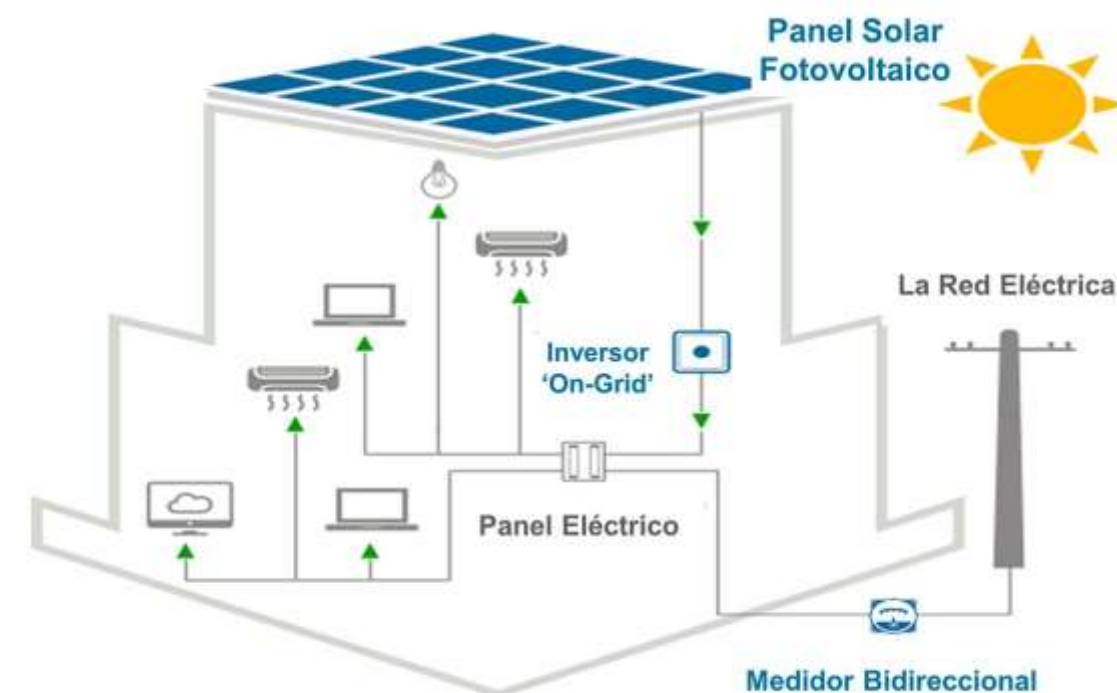


Figura 176. Componentes de un sistema fotovoltaico. Fuente: <https://solinc.com.mx>

PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

El análisis integral de los componentes y características de los paneles fotovoltaicos permitirá seleccionar la mejor opción según las necesidades energéticas y las condiciones climáticas del espacio educativo. Para ello será importante definir la siguiente información:

- Consumo energético diario del conjunto arquitectónico en kWh, que sirve para determinar el tamaño del sistema necesario. Se pueden obtener los datos de consumo a partir de las facturas de electricidad o a partir de datos estadísticos provenientes de estudios o reportes gubernamentales.
- Cantidad de radiación solar total diaria, en promedio anual de la zona de estudio.
- Capacidad de generación eléctrica de los paneles comerciales.
- Superficie disponible para la instalación, que provea condiciones de seguridad estructural y espacio suficiente para colocar el número requerido de paneles con orientación y exposición al sol correcta.
- La instalación del sistema debe considerar los datos de radiación potenciales de la zona, las necesidades de electricidad de la vivienda), la seguridad estructural y la disponibilidad de superficie en techo con la orientación requerida o estructura alterna.

	Cálido seco	Cálido húmedo	Templado
Hoteles	325.4	281.0	155.3
Oficinas	167.8	199.7	109.6
Escuelas	169.8	98.2	40.5
Hospitales	460.3	393.4	218.5
Restaurantes	326.7	336.3	210.3
Comercios	191.9	229.3	115.9
Supermercados	403.2	443.1	334.8
Cines	242.8	242.8	242.8

Tabla 39. Índices de Consumo de Energía Eléctrica por región climática (kWh/m²-año). Fuente: (Chatellier & McNeil, 2019)

CONSUMO		FUENTE
CONSUMO ANUAL PROMEDIO ESCUELA CLIMA TEMPLADO (kWh/m ²)	40.5	CONUEE
ÁREA CONSTRUIDA CONJUNTO ARQ. (m ²)	468	PROYECTO
CONSUMO DIARIO PROMEDIO CONJUNTO ARQ. (kWh/m ²)	0.11	
CONSUMO DIARIO CONJUNTO ARQ. (kWh/m ²)	51.9	
FACTOR DE SEGURIDAD	30%	
CONSUMO DIARIO CONJUNTO ARQ. (kWh/m ²) + FACTOR DE SEGURIDAD	67.5	
CONSUMO BIMESTRAL CONJUNTO ARQ. (kWh/m ²)	3116	
TARIFA APLICABLE	DAC	

Tabla 40. Datos de consumo energético en el conjunto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia.

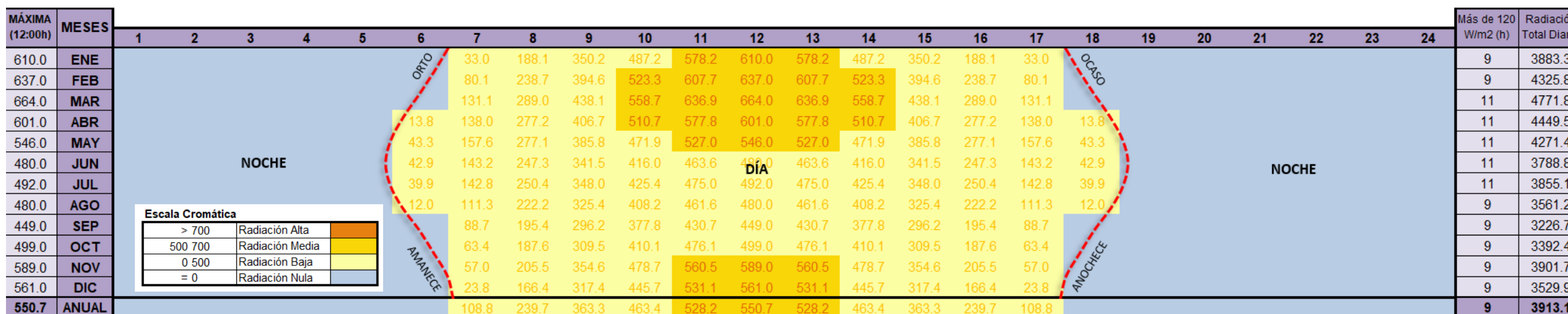


Figura 177. Gráfica de radiación solar total diaria. Fuente: BAT (Fuentes, 2024)

RADIACIÓN EN SITIO		FUENTE
RADIACIÓN TOTAL DIARIA - PROMEDIO ANUAL (W/m ²)	3913	BAT
HORAS PICO DE RADIACIÓN SOLAR (HSP) (hr) = Radiación total diaria Wh/m ² / 1000 W/m ²	3.9	
1000 W/m ² = cantidad de radiación solar que se considera equivalente a una hora pico de sol. Este valor representa la potencia estándar que llega a la superficie terrestre en un momento de máxima insolación bajo condiciones óptimas.		

Tabla 41. Resumen de radiación solar en sitio. Fuente: Elaboración propia con datos de BAT y normales meteorológicas.

La Tabla 42 muestra el cálculo principal para determinar la cantidad de paneles fotovoltaicos basado en los parámetros de consumo, la radiación promedio anual del sitio y las características del panel fotovoltaico comercial.

CARACTERÍSTICAS DE PANEL FOTOVOLTAICO		FUENTE
MODELO ERA - HELIOS 2		ERA
POTENCIA DE PANEL (W/h)	270	ERA
ENERGÍA DIARIA GENERADA POR PANEL = HSP X POTENCIA PANEL (kWh/día)	1.1	
ENERGÍA BIMESTRAL GENERADA = ENERGÍA DIARIA X 60 (kWh/bimestre)	63	
AREA X PANEL = DIMENSIONES PANEL SOLAR (m ²) 1.64*.992	1.63	ERA
PANELES REQUERIDOS		FUENTE
CANTIDAD = CONSUMO DIARIO CONJUNTO ARQ. / ENERGÍA DIARIA GENERADA POR PANEL (pz)	64	
SUPERFICIE TOTAL PANELES (m ²)	104	
SUPERFICIE DISPONIBLE PARA INSTALACIÓN DEL SISTEMA		FUENTE
SUPERFICIE DISPONIBLE EN LOSA INCLINADA EDIFICIO AULAS (7x9) (m ²)	61	PROYECTO
CANTIDAD DE LOSAS	4	PROYECTO
SUPERFICIE DISPONIBLE EN LOSAS INCLINADAS (m ²)	244	
CANTIDAD DE PANEL X LOSA	16	

Tabla 42. Determinación de paneles fotovoltaicos para proyecto. Fuente: Elaboración propia.

CÁLCULO DE INVERSIÓN		FUENTE
COSTO SISTEMA FOTOVOLTAICO 2 PANELES SOLARES 270 W MARCA ERA	\$ 17,399	HOME DEPOT
UNIDADES DE VENTA REQUERIDOS	32	
INVERSIÓN TOTAL PANELES	\$ 555,868	
CONSUMO BIMESTRAL kWh	3116	
COSTO SEGÚN TARIFA \$/kWh	\$ 6.27	LUMEK
PAGO BIMESTRAL	\$ 19,536	
PAGO ANUAL	\$ 234,427	
RETORNO DE INVERSIÓN = COSTO PANELES FOTOVOLTAICOS / PAGO ANUAL CFE (años)	2.4	

Tabla 43. Cálculo del retorno de inversión por la implementación de paneles fotovoltaicos. Fuente: Elaboración propia.

SISTEMA FOTOVOLTAICO
2 PANELES SOLARES 270 W

era
energía renovable de américa

CARACTERÍSTICAS
Dimensiones de cada módulo: 1,640 x 992 x 35mm
Micro inversor: BDM600-LV

Capas del panel:
- Aleación de aluminio anodizado 1.5 mm
- Vidrio templado 3.2 mm
- Etileno, vinil, acetato (EVA)
- Silicio policristalino
- Etileno, vinil, acetato (EVA)
- Tedlar, poliéster, tedlar (TPT)
- Celdas solares conectadas en serie

Beneficios:
- Energía 100% renovable
- 5 años de garantía
- Uso comercial y doméstico
- Ahorro inmediato
- 25 años de vida útil
- Sé parte del cambio

Dimensiones físicas:
- Ancho: 198.4 cm
- Alto: 58 cm
- Profundidad: 153.4 cm

Figura 178. Ficha de panel fotovoltaico ERA. Fuente: <https://www.energiadeamerica.mx/>

Región	Cargo Por Energía Consumida (\$/Kwh)
Central	\$6.27
Noroeste	\$5.88
Norte y Noreste	\$5.73
Sur y Peninsular	\$5.82
Baja California	\$6.10
Baja California Sur	\$6.65

Figura 179. Tarifa DAC de CFE México. Fuente: <https://lumek.com.mx/blog/que-es-y-como-salir-de-la-tarifa-dac-de-cfe>

11.2.2. Colector solar

Según el Censo de Población y Vivienda 2020 realizado por el INEGI, aproximadamente el 68% de los hogares en México contaban con algún tipo de sistema de calentamiento de agua, principalmente con calentadores de gas (LP o natural), mientras que un porcentaje menor utilizaba electricidad y otras fuentes. El uso de calentadores solares ha crecido en los últimos años debido a incentivos gubernamentales y la disminución en costos de instalación. Según datos del Programa de Eco-tecnologías del Infonavit, se estima que entre el 5% y el 7% de los hogares en México ya utilizan calentadores solares.

El incremento de su uso es debido a los múltiples beneficios que aportan ya que tienen impactos ambientales prácticamente nulos en su uso final y en algunos casos resultan más económicos que las alternativas convencionales. Son además una de las tecnologías más simples, probadas y con mayor potencial de aplicación en México debido a la alta incidencia de radiación solar en la mayor parte del territorio nacional. (Ortiz et al., 2014).

Para el caso práctico del caso de estudio, se propone su implementación a fin de proveer de agua caliente al edificio “A” propuesto como un edificio de servicios, en donde se ha asignado un espacio de vivienda para el personal auxiliar y vigilancia del espacio educativo.

Esta implementación además de buscar obtener beneficios energéticos y ahorros económicos, pretende ser una herramienta que promueva la educación ambiental en el recinto educativo e involucrar a los niños con los mayores dispositivos, técnicas y tecnologías posibles.

Al incorporar estas ecotecnologías, las escuelas brindan a los estudiantes una experiencia directa con la energía renovable, lo que les permite aprender sobre el ahorro energético y la sostenibilidad en un entorno práctico. De esta manera, los estudiantes adquieren conocimientos sobre el funcionamiento de los sistemas solares, el impacto ambiental positivo y los beneficios del uso de fuentes de energía limpia.

La siguiente Figura 180 muestra una ficha técnica de la ecotecnología, la cual resume de manera concisa su modo de funcionamiento, su aplicación y consideraciones adicionales para implementarla.

Calentador solar de agua								
Descripción Sistema de calentamiento de agua mediante la radiación solar, que reduce el uso de sistemas de calentamiento mediante combustibles fósiles y fomenta el mercado de tecnologías renovables.								
Aplicabilidad por zona climática	1	2	3	4	5	6	7	Parámetro: Uno por vivienda.
	x	x	x	x	x	x	x	
<p>1: Cálido húmedo, 2: Cálido subhúmedo, 3: Muy seco, 4: Seco y semi seco, 5: Templado húmedo, 6: Templado subhúmedo, 7: Frío de alta montaña.</p> <p>Consideraciones: Se recomienda instalar equipo con personal certificado bajo el estándar de competencia laboral de calentadores solares de agua del Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (Conocer), con número ECO 325.</p>								
Requisitos				Imagen de referencia				
Documentos		Físicos		 <p>*Figura ilustrativa, no normativa</p>				
Validación de proyecto: Señalar en plano de instalación hidráulica. Ficha técnica.		Verificación de obra: Verificar instalación del sistema.						
Normatividad de referencia NOM-027-ENER/SCFI-2018; NMX-ES-001-NORMEX-2005; NMX-ES-003-NORMEX-200								

Figura 180. Fuente: (SEDATU-CONAVI, 2019)

COMPONENTES PRINCIPALES

La siguiente Figura 181 muestra una instalación típica de un calentador solar de agua.

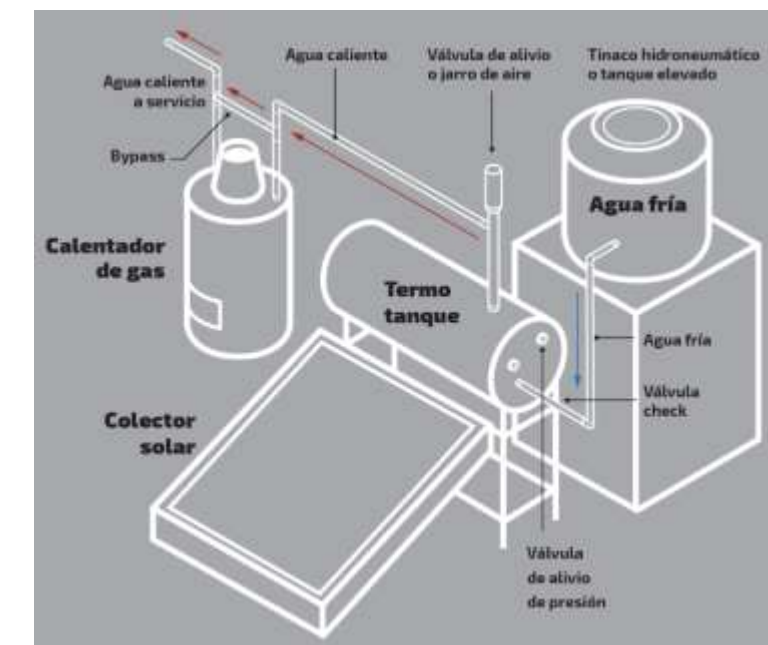


Figura 181. Diagrama de instalación típica del sistema de calentador solar. Fuente: <https://www.tienda.grupoapolosolar.com/MLM-1471124411-calentador-solar-uso-domestico-150-lt-axol-eco-grupo-apollo-JM>

CÁLCULO DEL REQUERIMIENTO

A fin de agilizar el acceso a la tecnología e identificar el producto adecuado para las condiciones específicas e individuales de cada caso, la Secretaría de Energía, a través de la CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía) han puesto a disposición una herramienta de cálculo mediante la cual se emite una recomendación de producto de acuerdo a las variables: Localización, Cantidad de usuarios, usos adicionales del agua caliente, Tipo de calentador tradicional y combustible.

La herramienta arroja la información que se visualiza en la Figura 182 respecto a datos de la implementación de la ecotecnología.

En ella se muestran: la cantidad de radiación mensual en la ubicación definida, el rango de temperatura promedio y el incremento de temperatura necesario para el uso de agua caliente, así como el ahorro económico y de emisiones de CO₂.

En cuanto a la definición del dispositivo adecuado, indica el tipo de calentador termosifón y el volumen requerido de 150 litros para el termotanque.

Finalmente muestra una gráfica que permite visualizar la contribución solar en el consumo de agua caliente, así como un resumen de los beneficios: Reducción de emisiones de Co₂ por 553 kg anuales; Ahorro en combustible por el 92%, traducido en un gasto de \$3,604 pesos anuales, lo que supone un retorno estimado de la inversión del equipo de 2 años.

Mes	Irradiación media mensual [kWh / m ² día]	Temperatura [°C]	Incremento de temperatura	Q Calor necesario para calentar agua [kWh]
Enero	4.78	12.80	44.20	5.14
Febrero	5.73	14.40	42.60	4.95
Marzo	6.55	16.70	40.30	4.69
Abril	6.50	18.90	38.10	4.43
Mayo	6.24	19.50	37.50	4.36
Junio	5.60	18.60	38.40	4.47
Julio	5.51	18.00	39.00	4.53
Agosto	5.42	18.10	38.90	4.52
Septiembre	4.95	17.30	39.70	4.62
Octubre	4.92	15.90	41.10	4.78
Noviembre	4.81	14.40	42.60	4.95
Diciembre	4.49	13.00	44.00	5.12
Resultados	5.46	16.47	40.53	4.71

Sistema propuesto	CSA - T
Ahorro [pesos al año]	3,604
Retorno de Inversión [años]	2
Ahorro [kg. o m ² al año]	177
Emisiones evitadas [kg. anuales de CO ₂ eq]	553
Área de absorción [m ²]	2
Volumen de termotanque [litros]	150
Fracción solar [%]	92

CSA - C: calentador solar de agua de tipo central.
CSA - T: calentador solar de agua termosifónico.
El precio de referencia de la fuente energética actual es del mes de Octubre 2022.

Sistema de calentamiento solar de agua

Se propone instalar un sistema de calentamiento solar de agua de tipo termosifónico con un volumen de **150 litros** y un área de **2 m²**.

Este sistema te ayudará a disminuir gas en aproximadamente **92%**.

El ahorro estimado equivalente a **177 kg.**, por lo que dejarías de gastar **\$ 3,604 pesos anuales**. Y el sistema se pagaría aproximadamente en **2 años**.

Con la instalación de este sistema se dejan de emitir **553 kg.** anuales de CO₂ equivalente.

En la siguiente gráfica se muestra la aportación de energía solar:

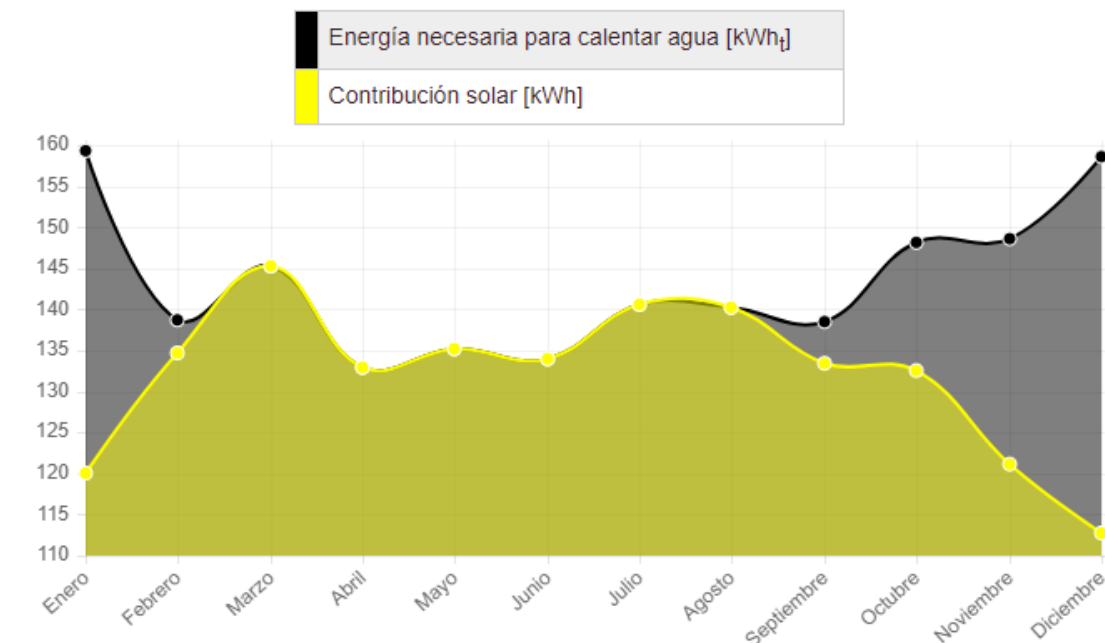


Figura 182. Resultados de cálculo de colectores solares. Fuente: Calculadora Solar. (SENER-CONUEE & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, s/f)

Con la información proveniente de la herramienta de CONUEE, se identifica el producto comercial que cumpla con los requerimientos definidos.

SOLAR

**La calidez de la naturaleza,
se disfruta más con Calorex**

**Aprovecha la energía natural
libre de emisiones.**



Calorex **Eco-Blue**. Máxima captación solar, del **80 - 100%** en ahorro de gas.*



Más confort y rendimiento. Alcanza temperaturas superiores a **70 °C**.



Green Foam, aislante térmico que conserva la temperatura del agua caliente por mucho más tiempo.**



La más alta resistencia a golpes y granizo. Conductos de cobre en su interior para una alta eficiencia y durabilidad.



Dura Glas. Porcelanizado exclusivo de alta durabilidad que protege el tanque, evitando sarro y óxido.



Fácil instalación. Incluye el kit más completo.

10 años
de garantía***
¡Actívala!

Disponible para abastecer
hasta 5 servicios.

Figura 183. Calentador solar Termosifón 150L. Fuente: Calorex <https://www.calorex.com.mx/calentadores/solar>



Calentador Solar Calorex Termosifón SL 150 50301090204 Blanco.

🛒 Agregar para comparar

Calentador Solar Termosifón SL, Calorex.
Calentador para 3 servicios.
Capacidad: 150 (L).
Solar.
Presión máxima de trabajo: 0 (kg/cm²)

05121372010

~~\$20,318.41~~ **¡AHORRE 25%! \$15,238.81**

IVA incluido



Envío Gratis / Express
Entrega de 2 a 5 días hábiles en la
CDMX y Área Metropolitana

Figura 184. Calentador solar termosifón 150L comercial. Fuente: <https://www.surtidor.com/calentador-agua-calorex-termosifon-05121372010.html>

MODELO	CALOREX SOLAR SL 150	CALOREX SOLAR SL 240
TERMOTANQUE		
Recomendación por No. de servicios**	3	5
Capacidad del tanque de almacenamiento (L)	150	240
Altura total (cm)	128	147,6
Diámetro (cm)	46,5	53,2
Peso de producto completo (kg)	42	67,8
Presión máxima de trabajo MPa (kg/cm ²)	0,59 (6,0)	
Aislante térmico	Poliuretano de alta densidad 28 mm	
Válvula de drenado	Llave de nariz de nylon	
Válvula de alivio (kg/cm ²)	8	
Recubrimiento interior del tanque	Porcelanizado Dura Glas	
Prueba de presión hidrostática	9 kg/cm ²	
Ánodos de protección catódica	Ánodo de aluminio	
Recubrimiento exterior	Pintura electrostática	
Niple para conexión de entrada y salida de agua	3/4"	
Accesorios incluidos	Base metálica para soporte de termotanque (incluye el juego de mangueras) y kit de conexiones	
Garantía**	10 años	
COLECTOR SOLAR		
Área total (m ²)	2	2,6
Área de absorción (m ²)	1,84	2,4
Altura total (cm)	194,5	211,7
Ancho x Profundo (cm)	104,6 x 81	122,7 x 81
Peso de producto completo (kg)	27	33
Material del absorbedor	Aluminio - Cobre	
Acabado exterior	Aluminio anodizado color negro	
Aislamiento	Poliuretano 3/4"	
Vidrio solar	Vidrio templado texturizado anti-reflejante de bajo contenido en hierro	
Superficie de absorción	Eco-Blue	
Marco del colector	Aluminio anodizado color negro	
Presión máxima de prueba	9 kg/cm ² (883 kPa)	
Conexiones de entrada y salida de agua	Hembra de 3/4" 14 NPT	

Figura 185. Especificaciones Calentador solar Calorex 153L. Fuente: <https://www.calorex.com.mx/calentadores/solar>

11.3. AGUA

11.3.1 Captación de agua pluvial

“La captación o cosecha de agua de lluvia es la acción de coleccionar, conducir, almacenar y tratar el agua que se precipita a la superficie terrestre para su uso o consumo” Figura 186. (SEDEMA & ISLA URBANA, 2020)

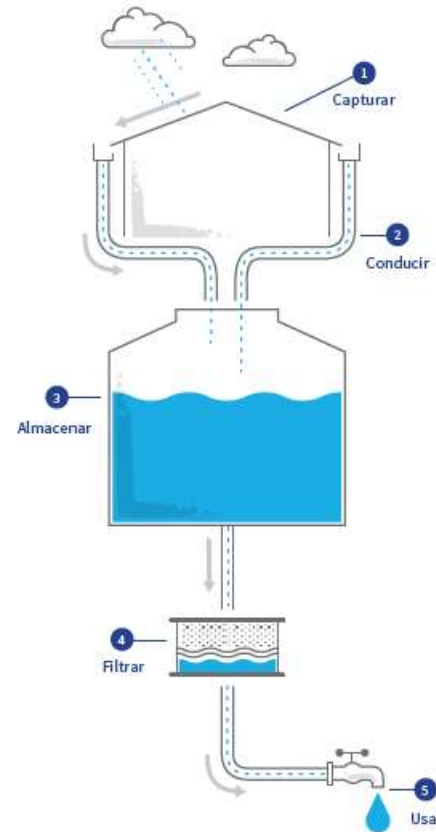


Figura 186. Diagrama de funcionamiento de un SCALL. Fuente: (SEDEMA & ISLA URBANA, 2020)

La implementación de esta ecotecnología trae consigo diversos beneficios ambientales, económicos, sociales y de salud; así como ciertas limitantes para su aplicación y uso.

Los principales beneficios ambientales atienden a una mayor disponibilidad del recurso, la disminución de la explotación de acuíferos y la reducción de escurrimientos a drenajes, reduciendo riesgos por encharcamientos e inundaciones. Esta disposición a su vez tiene implicaciones favorables en cuestiones sociales y de salud, debido a que promueve una mejora importante en la calidad de vida de las personas al impactar de manera favorable en sus condiciones de higiene;

por otro lado, la captación de lluvia puede fomentar una extensa cultura de uso y cuidado del agua, que nos permita participar en el uso responsable de este recurso.

En términos económicos, la inversión de su implementación se limita casi exclusivamente en la instalación inicial del sistema y el retorno de la misma estará dado en función del costo que se pague por el servicio, si se cuenta con suficiente superficie de captación o si se cuenta con depósitos que puedan utilizarse para el almacenamiento.

Las principales limitantes dependen de las condiciones climáticas de precipitación, así como de las características de captación del edificio o emplazamiento. La teoría sugiere contar con un nivel de precipitación promedio anual de al menos 400 mm para que el sistema brinde beneficios significativos. (SEDEMA & ISLA URBANA, 2020)

La Figura 187 muestra un diagrama de instalación típica de un SCALL con los componentes básicos.

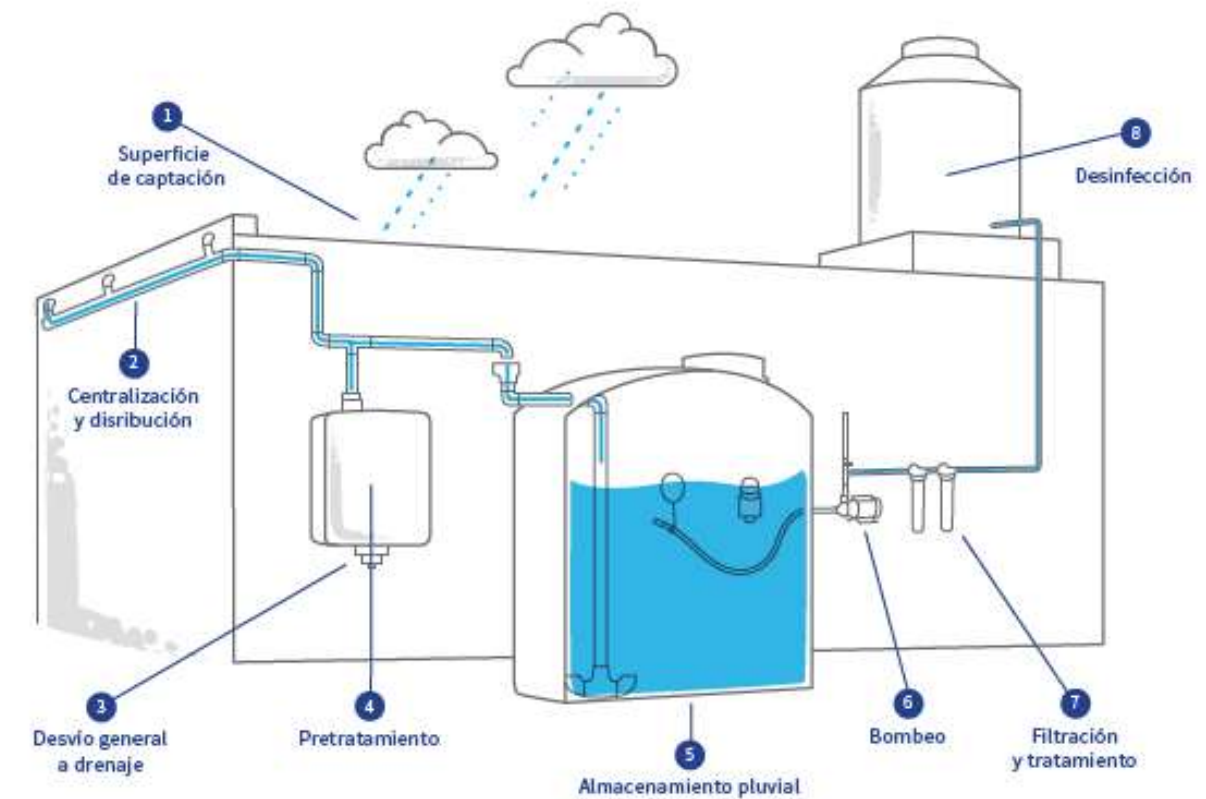


Figura 187. Componentes básicos de un SCALL. Fuente: (SEDEMA & ISLA URBANA, 2020)

Uno de los elementos más importantes del sistema, es la superficie de captación, muy comúnmente asignada a los techos. La Figura 188 indica una referencia de la manera en que se consideran estas superficies para realizar los cálculos del área disponible a través de la denominada “huella de techo”, que significa el área potencial real de captación.

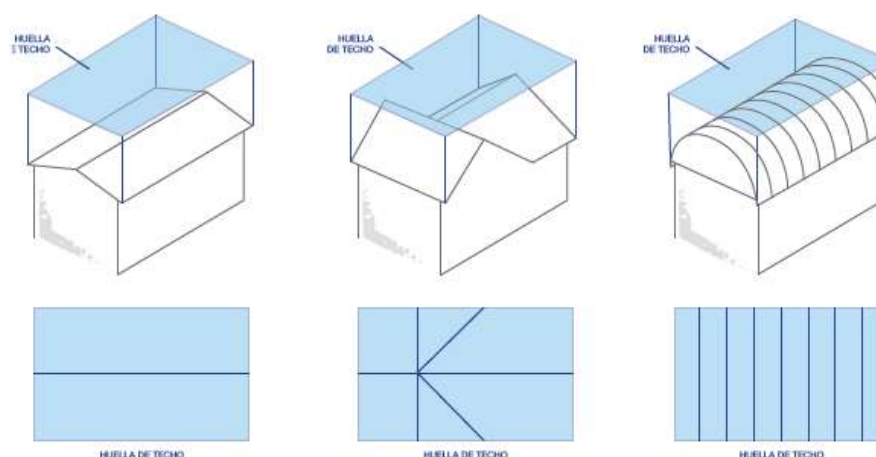


Figura 188. Huella de techo para captación pluvial. Fuente: (SEDEMA & ISLA URBANA, 2020)

El acabado de la superficie de captación también juega un papel relevante en la calidad del agua obtenida. La Figura 189, identifica los requisitos y características que las superficies deben tener, en relación con la calidad y uso del agua obtenida.

Descripción	Sistema para usos no potables	Sistema para usos potables
Requisitos de la superficie de captación	Se sugiere un techo limpio, pero no es limitante. No debe tener mascotas, ni se debe usar como espacio de almacenamiento	Es necesario tener un techo lo más limpio y liso posible. No debe tener mascotas, ni almacenamiento. El agua debe correr sin obstáculos ni estancamientos. Lo ideal son los materiales que no agregarán contaminación al agua
Superficies aceptables	<ul style="list-style-type: none"> Lámina de asbesto Teja de barro sin sellar Impermeabilizante en rollo con terminado en gravilla 	<ul style="list-style-type: none"> Losa de concreto con terminado liso o pulido Losa de concreto con enladrillado y/o lechareado Losa de concreto con impermeabilizante acrílico
Superficies ideales	<ul style="list-style-type: none"> Lámina plástica (policarbonato, polipropileno, etc.) Fibro cemento o similar Membranas plásticas de HDPE Tejas cerámicas o similares Loseta cerámica, porcelanato o similar Losa de concreto con terminado liso o pulido Losa de concreto con enladrillado y/o lechareado Losa de concreto con impermeabilizante acrílico 	<ul style="list-style-type: none"> Cristal/vidrio Lámina metálica Lámina plástica (policarbonato, polipropileno, etc.) Fibro cemento o similar Membranas plásticas de HDPE Tejas cerámicas o similares Loseta cerámica, porcelanato o similar

Figura 189. Características de las superficies de captación. Fuente: (SEDEMA & ISLA URBANA, 2020)

Otro Factor en consideración es el “porcentaje de escurrimiento” que tienen los distintos acabados exteriores de las losas de techo; y se refiere a la cantidad de agua que, al caer sobre la superficie, es capaz de “escurrir” y ser recolectada; este porcentaje depende principalmente del grado de absorción, la porosidad y nivel de rugosidad del material que se trate. La TABLA muestra los coeficientes para distintos materiales, en nuestro caso, el acabado de la losa de techo de las Aulas tipo son cubiertas inclinadas con terminado de loseta cerámica; y el techo del patio central, de láminas de policarbonato traslúcido.

Tabla 1. Coeficientes de escurrimiento por tipo de material

Material o tipo de construcción	KC
Cubiertas metálicas o plásticas	0.95
Techos impermeabilizados o cubiertos con materiales duros (p. ej. Tejas)	0.9
Concreto hidráulico	0.9
Calles asfaltadas	0.85
Lámina corrugada	0.8
Adoquinado o empedrado con cemento	0.75
Terrazas	0.6
Adoquín sin juntear	0.6
Terracerías	0.4

Tabla 44. Coeficientes de escurrimiento por material. Fuente: (CONAGUA, 2024)

DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE CAPTACIÓN

La Figura 190 muestra la planta del conjunto arquitectónico con la identificación de las superficies de captación a considerar en el cálculo. La Tabla 45 enlista los valores de tales superficies y determina el área total de captación.

ÁREA DE CAPTACIÓN						
SUPERFICIE	DIMA (m)	DIM B (m)	ÁREA (m ²)	CANT.	A TOTAL (m ²)	Σ (m ²)
TECHO SUR AULAS	8	7.3	58.4	4	233.6	360
TECHO PATIO	7	18	126	1	126	

Tabla 45. Cálculo de área total de captación del conjunto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia.

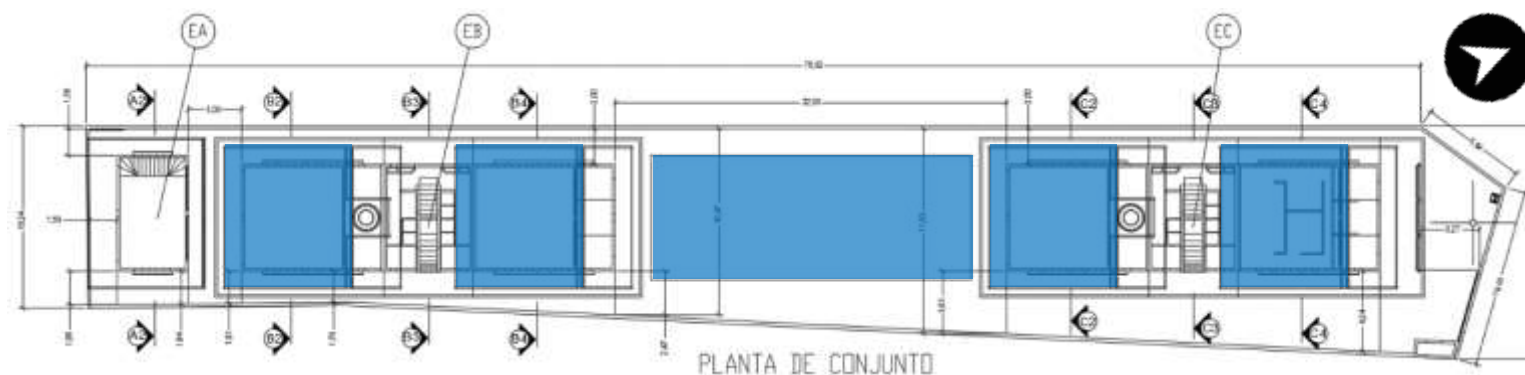


Figura 190. Superficies de captación pluvial en conjunto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia

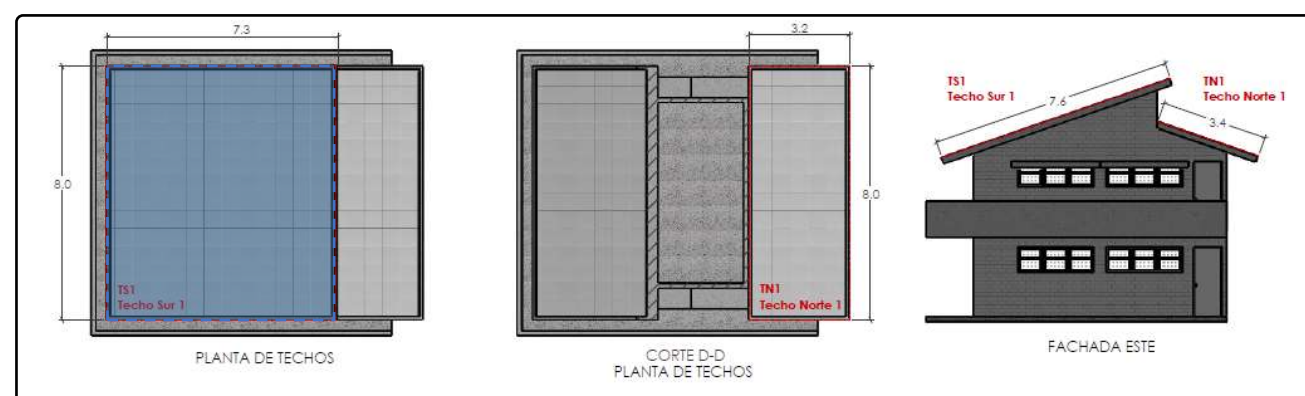


Figura 191. Dimensiones de huella de techo de losa inclinada. Fuente: Elaboración propia

DETERMINACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN SITIO

Los datos de precipitación mensual y anual promedio son obtenidos de las normales climatológicas y la Figura 193 muestra el comportamiento gráfico de la precipitación promedio en 1 año, según la estadística de las estaciones de medición; en la gráfica se observa una escasa precipitación durante los meses de Enero a Abril y de Octubre a Diciembre. La mayor precipitación se da en los meses de verano de Mayo a Septiembre con máximos mensuales de hasta 180mm y un promedio anual cercano a los 900 mm. Para entender mejor la unidad de medida de precipitación, la Figura 192 muestra una visualización práctica de su definición.



Figura 193. Gráfica de precipitación mensual en emplazamiento del espacio educativo. Fuente: BAT (Fuentes, 2024)



Figura 192. Fuente: (Téllez et al., 2022)

DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DIARIO

Utilizando los datos de INIFED respecto a la dotación mínima recomendable de agua por usuario al día en espacios educativos (Tabla 46) se realiza el cálculo preliminar de la demanda de consumo de agua por toda la población escolar en 1 día (Tabla 47).

TIPOS DE EDIFICIOS		DOTACIÓN MÍNIMA RECOMENDABLE
Habitacional		150 l / habitante / día
Oficinas		70 l / empleado / día o 20 l / m² de área rentable
Auditorios		5 l / espectador / función
Escuelas	Nivel Elemental	40 l / alumno / día
	Nivel Básico	50 l / alumno / día
	Nivel Medio y Superior	60 l / alumno / día
Cafeterías		15 a 30 l / comensal
Lavanderías		40 l / kg ropa seca
Riego de jardines		3 l / m² / día

Tabla 46. Dotación mínima de agua por usuario por día. Fuente: (INIFED, 2022)

Consumo de usuario/día (l)	INIFED VOL. 5 TOMO II	50
Población de usuarios		220
Consumo diario total (m3)	Consumo x población	11.0

Tabla 47. Cálculo de consumo total diario de agua en escuela. Fuente: Elaboración propia

DETERMINACIÓN DE LA CAPTACIÓN POTENCIAL Y DE LA CAPACIDAD DEL DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO REQUERIDO

La Tabla 48 describe el cálculo realizado para determinar el volumen del depósito de almacenamiento requerido para la demanda de consumo de la población escolar, relacionada con la superficie disponible de captación y el nivel de precipitación total en el espacio educativo.

Este cálculo considera además la variable de días reales de consumo, relacionada directamente con los días hábiles mensuales del calendario escolar definido por la Secretaría de Educación Pública (204 e total).

MES	PRECIPITACIÓN PROMEDIO (mm)	CAPTACIÓN (m3)	DÍAS DE CONSUMO SEP	CONSUMO m3
ENERO	7.2	2.33	19	209
FEBRERO	8.0	2.59	18	198
MARZO	10.0	3.24	19	209
ABRIL	21.1	6.83	15	165
MAYO	64.8	20.97	20	220
JUNIO	146.1	47.28	21	231
JULIO	193.4	62.59	19	209
AGOSTO	192.9	62.43	2	22
SEPTIEMBRE	167.1	54.08	21	231
OCTUBRE	71.2	23.04	20	220
NOVIEMBRE	12.1	3.92	17	187
DICIEMBRE	4.6	1.49	13	143
Σ ANUAL	898.5	290.79	204	2244
PROMEDIO	Consumo anual - captación anual / 2 (m3)			1267.40
COEFICIENTE DE LLUVIA MENSUAL	7 días / 365			0.0192
CAPACIDAD DEL DEPÓSITO	Promedio x Coeficiente (m3)			24

Tabla 48. Cálculo de capacidad del depósito para SCALL. Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DEL CÁLCULO Y CONCLUSIONES

Con este cálculo se concluye que un depósito de 24 m3 será suficiente para retener la captación pluvial y esa cantidad de agua abastecerá parcialmente la demanda de consumo de los usuarios debido a que el sistema de captación sólo puede recoger un total de 290.79 m3 de agua, mientras que el consumo anual es significativamente mayor (2244 m3). Esto indica que el agua captada cubre solo una pequeña parte de la demanda de agua anual, por lo que será necesario complementarla

con otras fuentes. Se aprecia que solamente los meses de intensa lluvia, de Junio a Septiembre, será posible almacenar una cantidad similar a la de consumo.

Finalmente, la Tabla 49 describe las ventajas y desventajas de los depósitos de almacenamiento según sus materiales. Para el requerimiento de volumen de captación del caso de estudio, se determina la implementación de 2 cisternas de rotomoldeo de 10,000 litros.

Material	Ventajas	Desventajas
Mampostería (Block o concreto armado)	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicados en subsuelo, no ocupan espacio en superficie • El cemento alcaliniza el agua y la mantiene fresca y de buena calidad • Fácil mantenimiento y larga vida útil 	<ul style="list-style-type: none"> • Los costos pueden ser elevados según la capacidad deseada • Requiere una gran disponibilidad de espacio en subsuelo • Se tienen que construir en sitio • Requiere excavación
Rotomoldeado	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo comparado con las otras opciones (debajo de 10 000 litros) • Se adquiere ya hecho y listo para usar • Existen muchas marcas, opciones y capacidades, adaptables a cada contexto • Alta disponibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Poco práctico en términos de transporte (transportan su capacidad en volumen de aire) • Ocupan espacio en superficie por lo que requieren un piso plano que sea capaz de aguantar su peso una vez lleno • Solo se encuentran en tamaños específicos (generalmente 450; 1 100; 2 500; 5 000; 10 000 litros)
Ferrocemento	<ul style="list-style-type: none"> • Muy bajo costo de materiales • Alta disponibilidad de materiales • Materiales disponibles en todos lados • Se pueden hacer en cualquier tamaño 	<ul style="list-style-type: none"> • Ocupan espacio en superficie por lo que requieren un piso plano que sea capaz de aguantar su peso una vez lleno • Un muy alto porcentaje terminan presentando agrietamientos/ fugas que son difíciles o imposibles de reparar • Requiere experiencia y capacidad técnica específica
Geomembrana	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidades (volumen) adaptables a las necesidades del contexto • Posibilidad de implementación en contextos diversos • Se puede embalar y transportar de forma eficiente • Permite llevar grandes volúmenes de almacenamiento en muy poco espacio, y llegar a lugares de difícil acceso • Es barato en costo por litro a partir de aproximadamente 20 000 litros (se abarata conforme aumenta el volumen) 	<ul style="list-style-type: none"> • Se construye en superficie, por lo que requiere espacio al aire libre • Alto costo para capacidades menores a 20 000 litros • Material frágil que se puede perforar y es difícil de parchar • Requiere materiales y mano de obra especializada



Tabla 49. Características de los depósitos de almacenamiento de agua. Fuente: (SEDEMA & ISLA URBANA, 2020)

11.3.2. Tratamiento de aguas residuales

El proyecto considera la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales conceptualizado como “Bio-Reactor”, que opera mediante procesos aeróbicos y facultativos cuyo flujo se muestra en la siguiente Figura 194.

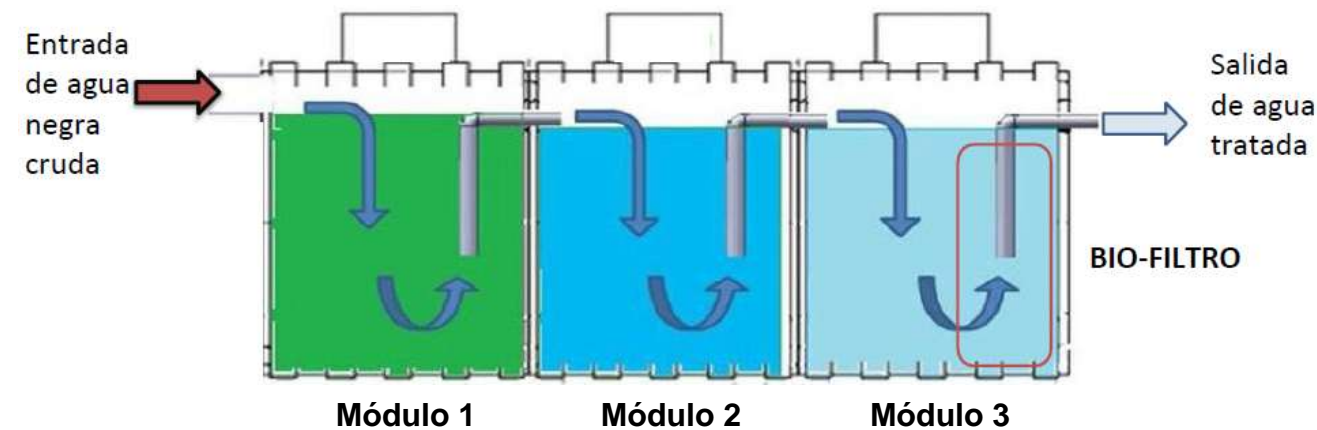


Figura 194. Esquema de funcionamiento Bio-Reactor. Fuente: <https://biotar.mx/>

Módulo 1. Reactor biológico donde se deposita la descarga de materia orgánica y se descompone a través de bacterias aeróbicas y facultativas⁹.

Módulo 2. Se reduce cantidad de materia orgánica y bacterias, disminuyen malos olores.

Módulo 3. Materia orgánica transformada en nutrientes disueltos en agua, ya no existe mal olor, no hay materia orgánica flotante y el agua está lista para reutilizarse de acuerdo a NOM-001-SEMARNAT-2021.

USO DEL AGUA TRATADA

1. Uso en riego subterráneo de jardines, descargado por debajo de la tierra o a un pozo de absorción.
2. Para emplearse como riego por aspersión requiere implementarse sistema de filtración posterior a base de zeolita y carbón activado a fin de cumplir con NOM-003-SEMARNAT-1996.

⁹ Crecen en presencia o en ausencia de oxígeno en respuesta a su entorno. Fuente: <https://bosstech.pe/bacterias-tratamiento-aguas-residuales/>

BENEFICIOS

1. ECOLÓGICO: Se deja de acumular aguas negras en fosa séptica, a punto de rebozarse. Se evita la percolación de aguas negras al subsuelo.
2. SOCIAL: Se cumple con las condiciones sanitarias para cubrir la demanda de una escuela primaria de cerca de 200 niños.
3. SANITARIO: Se previenen enfermedades promovidas por la putrefacción de aguas negras (Escherichiacoli, Salmonella, Shigella, y cualquier bacteria gran negativa).
4. ECONÓMICO: Se evita el costo de evacuar la fosa séptica.



Figura 195. Imagen descriptiva Bio-Reactor. Fuente: <https://biotar.mx/>

Característica	Chico	Mediano	Grande
Módulos	1	2	3
Capacidad máxima de tratamiento diario /lts/día)	350	700	1050
Medidas (Largo x ancho x largo)	1 x 1.17 x 1.25	2 x 1.17 x 1.25	3 x 1.17 x 1.25 m
Peso vacío (kgs)	50	100	150
Cantidad de Polydex por semana	7	14	21

Tabla 50. Tabla de capacidades de Bio-Reactor. Fuente: <https://biotar.mx/>

El número de módulos a instalar dependerá de la cantidad de agua a tratar por lo que fue necesario determinar mediante el cálculo de la Tabla 51 y la definición de consumo en el recinto educativo.

Concepto	En Zona Rural	En Fraccionamiento residencial o cabaña	En fábricas u oficinas	En escuelas o salones de fiestas
A Consumo APROXIMADO de agua prom por persona (lts)	100	180	30	30
B Número de personas	4	4	4	10
C Consumo de agua diario (A x B)	400	720	120	300
D Número de módulos sugerido	1 a 2	2 a 3	depende	depende

Tabla 51. Capacidad de tanques según la demanda. Fuente: <https://biotar.mx/>

$$\text{Número de módulos} = \frac{\text{Consumo de agua por persona (lts)} \times \text{Número de personas}}{300 \text{ lts}}$$

Cálculo del requerimiento:

Aplicando la fórmula de cálculo propuesta por el fabricante, la cantidad de módulos requeridos para el espacio educativo sería de 37 módulos para cubrir una demanda de tratamiento de 11,000 litros diarios.

Consumo de usuario/día (l)	INIFED VOL. 5 TOMO II	50
Población de usuarios		220
Consumo diario total (m3)	Consumo x población	11000
Cantidad de módulos	Consumo diario /300	37

Tabla 52. Cálculo preliminar de módulos Bio-Reactor. Fuente: Elaboración propia

Para este tipo de casos de mayor requerimiento de descarga, el fabricante recomienda una instalación a la medida con módulos cisternas de mayor capacidad, pero bajo el mismo principio de funcionamiento. El resultado de la estimación de una instalación a la medida utilizando cisternas comerciales se describe en la TABLA, que determina que la utilización de 3 cisternas de 5,000 pueden cubrir la demanda requerida para tratamiento del agua residual.

Consumo de usuario/día (l)	INIFED VOL. 5 TOMO II	50
Población de usuarios		220
Consumo diario total (m3)	Consumo x población	11000
Tamaño del depósito o cister	Rotoplas	5000
Cantidad de módulos	Consumo diario / Depósito	2.20

Tabla 53. Cálculo definitivo de módulos Bio-Reactor. Fuente: Elaboración propia

Capacidades de Cisterna Garantía de por vida

Capacidad (L)	Diámetro (m)	Altura con tapa (m)	Diámetro Tapa (m)	Abastecimiento (personas)
1 200*	1.40	0.93	0.45	5
2 800	1.86	1.18	0.60	10
5 000	2.38	1.33	0.60	15
10 000	2.38	2.43	0.60	35

*1 200 L incluye: Válvula de Llenado de 19.05 mm (3/4") con Reducción a 12.7 mm (1/2"), Flotador No. 7 y Bomba Centrífuga 1/2 HP.
Nota: Considere en la altura de la Cisterna una tolerancia de +5 cm.

Figura 196. Dimensiones comerciales de cisternas. Fuente: Elaboración propia con información de <https://rotoplas.com/>

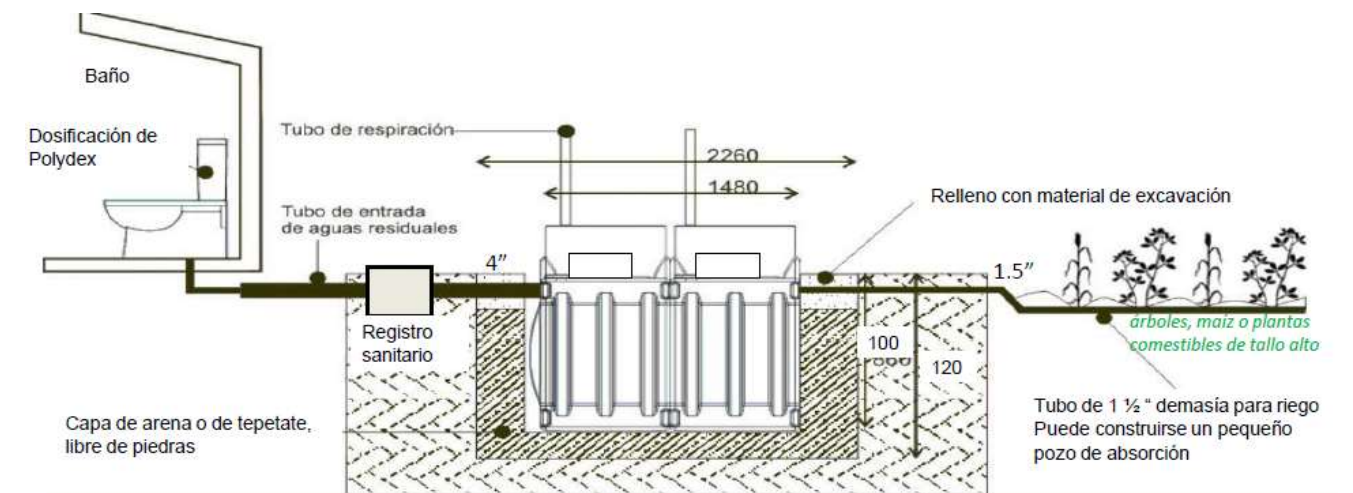


Figura 197. Diagrama de instalación Bio-reactor. Fuente: <https://biotar.mx/>

Cabe señalar, que para el óptimo funcionamiento del sistema, se requiere la aplicación periódica del producto "Polydex", que es un compuesto de minerales que poseen características bacteriostáticas y alguicidas a base de Sulfato de cobre quelatado, especialmente diseñado para el tratamiento de aguas residuales.

11.3.3. Concreto permeable

El concreto permeable es un concreto drenante, a diferencia del concreto tradicional, tiene una estructura porosa que facilita la filtración de agua proveniente de lluvia y riego, ayudando a reducir el escurrimiento superficial y promoviendo la recarga de acuíferos o la posibilidad de recolectarla para su reutilización.

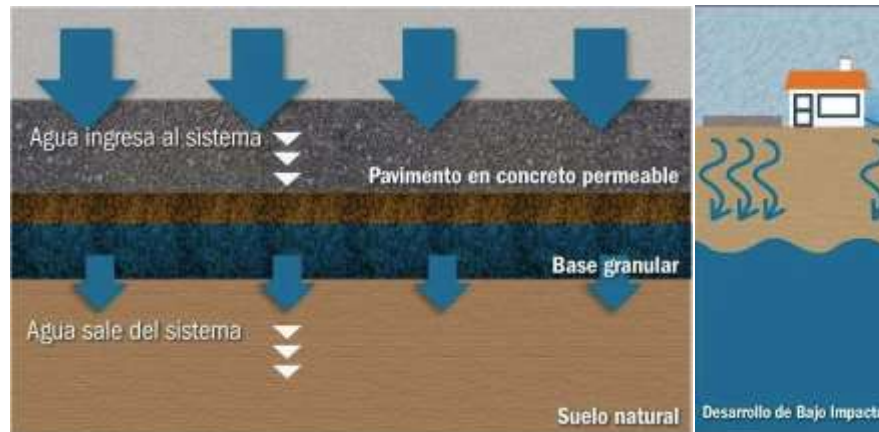


Figura 199. Concreto permeable. Fuente: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-permeable-desarrollo-urbano-de-bajo-impacto/>

Es aplicado principalmente en vialidades de tránsito vehicular ligero y tránsito peatonal, cajones de estacionamiento, banquetas, ciclo-pistas, parques, explanadas y desarrollos sustentables.

Los principales beneficios que aporta la implementación de este tipo de concreto se centran en:

1. La gestión de aguas pluviales, reducción de escorrentías, encharcamientos e inundaciones urbanas.
2. Recarga de acuíferos o recolección de agua pluvial.
3. Disminución de la concentración de calor sobre la superficie, en comparación a pavimentos asfálticos.
4. Promoción de prácticas de construcción ecológicas.

La composición general de un concreto permeable considera: Agregado grueso como grava o piedra triturada, con poca o nula presencia de finos para crear vacíos por donde el agua puede fluir; Aglutinante como el cemento portland; Agua, controlada cuidadosamente para asegurar que el concreto tenga la cantidad suficiente para hidratar el cemento sin rellenar los poros creados por los agregados; Y otros aditivos para mejorar la trabajabilidad y la durabilidad del concreto.

El tipo de concreto permeable propuesto para este proyecto es desarrollado por la empresa CEMEX y considera la implementación de 3 tecnologías:

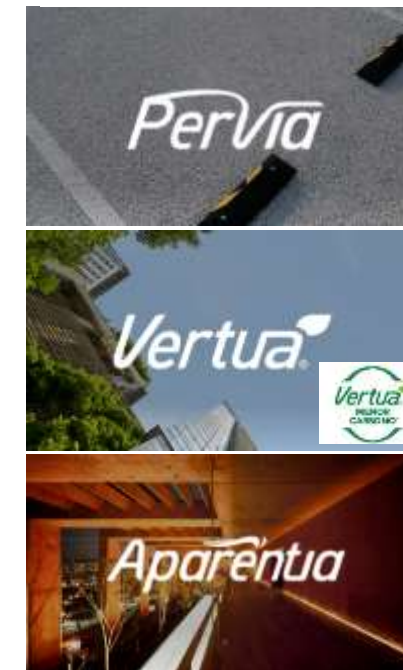


Figura 200. Soluciones de concreto CEMEX aplicados a concreto permeable de proyecto. Fuente: <https://www.cemexmexico.com/productos/concreto>

Agregado grueso de polímeros reciclados, el cual puede utilizar más de 1/2 tonelada de plástico por cada metro cúbico de concreto + Agua industrial de segundo uso no potable.

Cemento que contribuye con una reducción de emisiones de CO² de un 30 a 100%, en comparación con un concreto tradicional.

Sustituye el uso de pinturas y recubrimientos adicionales, evita la generación de residuos por el uso de pinturas y mejora la productividad disminuyendo los tiempos de ejecución de obra.

Consideraciones en la instalación y mantenimiento:

1. Compactación cuidadosa para mantener la permeabilidad y evitar la obstrucción de los poros.
2. El terreno subyacente debe prepararse adecuadamente para asegurar que el agua infiltrada se distribuya uniformemente y no genere problemas estructurales.
3. Requiere limpieza periódica para evitar la acumulación de sedimentos que puedan bloquear los poros y reducir su capacidad de drenaje.

11.4. VEGETACIÓN

11.4.1. Introducción

La vegetación es el contacto más inmediato con la naturaleza con el que contamos como habitantes urbanos y este contacto deriva en beneficios medio-ambientales y saludables.

La integración de la vegetación en los espacios urbanos se alinea con el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 promovidos por la Organización de Naciones Unidas, que indican que la adecuada selección del tipo de vegetación a integrar en áreas verdes urbanas puede lograr ciudades más resilientes y sostenibles, como una medida de mitigación de problemáticas y de adaptación al cambio climático. La correcta selección de los tipos de vegetación influirá en la supervivencia del proyecto y sus costos, tanto de inversión como de mantenimiento. La intención será integrar dicha paleta vegetal al espacio arquitectónico tanto como un medio ecosistémico como funcional al integrarlos como estrategias bioclimáticas. (SEDATU-Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), 2022).

BENEFICIOS DE SU IMPLEMENTACIÓN

Bioclimáticamente proveen de sombra, generan hábitat para biodiversidad, evitan la erosión de los suelos, permiten la infiltración y, por tanto, la recarga de los mantos acuíferos, funcionan como filtros de partículas suspendidas, disminuyen la velocidad y fuerza de los vientos, filtran la luz, proporcionan humedad y actúan como reguladores de temperatura.

Social y culturalmente, su característica paisajística aporta una experiencia sensorial de vida para los usuarios y suma a la creación de un ambiente de convivencia con el medio ambiente, a través de la convivencia del paisaje con el entorno urbano.

“Los niños se relajan, se dispersan y están más tranquilos y cooperativos al momento de pasar al área pedagógica, aumentando su capacidad de aprendizaje, declaró la pediatra de un Cendi, Araceli Becerra, para el sitio Tierra americana medio ambiente y desarrollo”. (Balcázar, 2018)

Los estratos sugeridos para el emplazamiento del espacio educativo son los pertenecientes a la región climática “Sierras templadas”, con clima Templado Subhúmedo, según la localización geográfica. Las estrategias recomendadas por (CONAVI, s/f) son:

1. Sombreado de fachadas sur y oeste mediante árboles perennes de follaje medio o denso para evitar mayores ganancias de calor todo el año.
2. Árboles caducifolios de altura media en las direcciones Oeste a Norte y de Norte a Este para permitir la radiación solar y ganancias de calor en temporada invernal.

En relación a las recomendaciones anteriores, la propuesta vegetativa para el proyecto arquitectónico estará conformada por los siguientes: (Figura 201)

- 1) Azoteas naturadas en las losas de techo de los edificios de aulas y edificios administrativos.
- 2) Jardineras en reja Este.
- 3) Zona arbolada en terrazas y Árboles aislados.



Figura 201. Propuesta vegetativa para espacio educativo. Fuente: Elaboración propia.

11.4.2. Azoteas verdes

Consiste en un sistema de capas que incorpora vegetación sobre cubiertas o techos. El principal beneficio bioclimáticos que aporta es la regulación de la temperatura interior al fungir como barrera aislante, manteniendo espacios frescos en verano y bloqueando el frío en invierno. Los techos verdes compensan una de las causas más importantes de la isla de calor¹⁰ urbano que es el sobrecalentamiento de las superficies construidas.

COMPONENTES DEL SISTEMA



Figura 202. Esquema de componentes de un sistema de azotea verde. Fuente: <https://generacionverde.com/azoteas-verdes/>

TIPOS SEGÚN SU PORTE Y DENSIDAD

Intensivas: Altura de 5-50 cm. Diseñados para albergar plantas, arbustos, flores y árboles de tamaño mediano. Los costos y requerimientos de mantenimiento son altos, sin embargo, el impacto ambiental es mayor y los beneficios estéticos y energéticos son mayores.

Extensivas: Altura de 5-100 cm. Diseñados para contener arbustos, plantas, cactus y flores pequeñas, con raíces de bajo crecimiento y con una necesidad de mantenimiento mínimo

Semi-Extensivas Altura de 5-400 cm. Conformado por una capa vegetal media, que combina algunas árboles y arbustos medianos, así como plantas suculentas, cactus y crasuláceas; por lo general, incorporan en el diseño del espacio andadores y algunas zonas de estar y recreativas. (Balcázar, 2018)

TIPOS SEGÚN SUS CONDICIONES DE HUMEDAD.

- **Hidrófitos:** Crecen en condiciones de alta humedad, principalmente cerca de una fuente constante de agua.
- **Xerófitas:** Adaptadas para sobrevivir en condiciones de baja humedad.
- **Mesófitos:** Crecen en un ambiente que no es ni muy seco ni muy húmedo.

DETERMINACIÓN DEL TIPO DE AZOTEA VERDE A IMPLEMENTAR Y SU PALETA VEGETAL

Se propone una instalación Extensiva con especies principalmente rasantes y cubre-suelos, que provean colores verdes vistosos y colores de contraste con la intención de una percepción de “vida”, que requieran de poca hidratación (Mésófitos o Xerófitos), que soporten una constante exposición solar, que requieran de un mínimo o nulo mantenimiento, de poca poda, de poca raíz y que permitan la convivencia con otras especies.

PRESELECCIÓN DE PALETA VEGETAL

MESÓFITAS: *Dichondra repens*, *Ophiopogon japonicus*, *Soleirolia soleirolii*.

XERÓFITAS: *Sedum álbum*, *Sedum mexicanum*, *Sedum acre*, *Delosperma cooperi*, *Dalea greggii*

¹⁰ Zona dentro de un área urbana caracterizada por una temperatura ambiente más alta que las zonas colindantes debido a una absorción de la energía solar por materiales como el asfalto. (Balcázar, 2018).

IMPLEMENTACIÓN EN PROYECTO

El proyecto propone una intervención de los techos inclinados orientación norte de cada edificio tipo. (Figura 203)

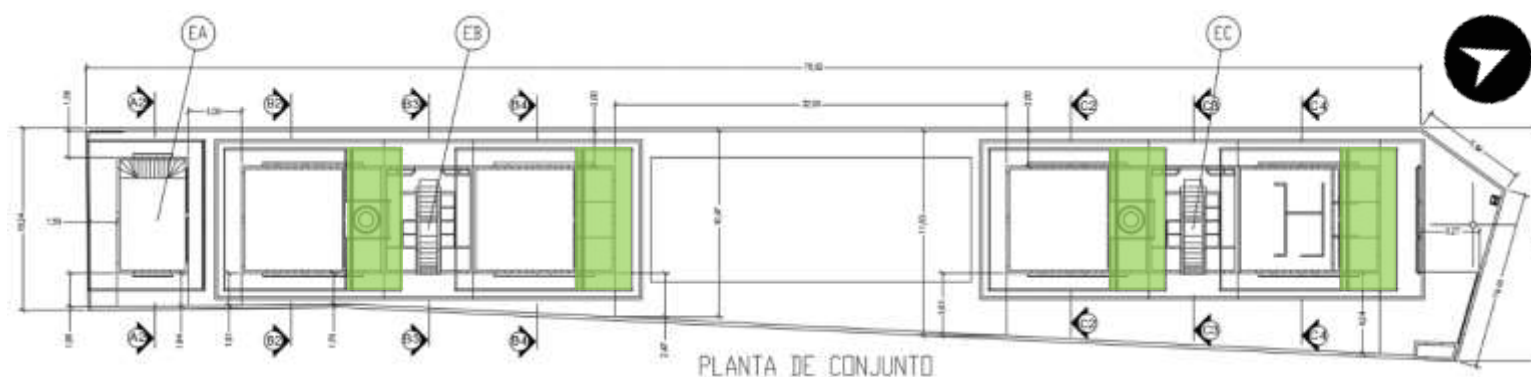


Figura 203. Plano planta de azoteas verdes. Fuente: Elaboración propia

PALETA VEGETAL PARA AZOTEAS VERDES

Estrato rasante y cubre-suelos para para cubrir la totalidad de la losa.

Dichondra repens (Dichondra)

Planta de hojas redondeadas y verde brillante. Cubre rápidamente el suelo y se adapta bien a zonas de media sombra o pleno sol en climas templados



Figura 204. Rasante *Dichondra*. Fuente: <https://www.warners.com.au/>

Sedum mexicanum (Sedum mexicano)

Pequeña planta suculenta que mantiene un verde vibrante. Es muy resistente a la sequía y se adapta bien a condiciones de sol intenso.



Figura 205. *Sedum mexicanum* rasante. Fuente: https://www.gardensonline.com.au/gardenshed/plantfinder/show_2513.aspx

Delosperma cooperi (Hierba del hielo)

Suculenta rastrera con hojas verdes y flores vistosas. Resistente a la sequía, pero mantiene un verde intenso incluso en climas templados.



Figura 206. *Delosperma cooperi* (Hierba del hielo). Fuente: <https://www.badapedia.com/plantas/planta-de-externior/7102/>.

Ophiopogon japonicus (Césped japonés)

De hojas finas y verde oscuro, esta planta forma una cubierta densa y tolera bien la sombra parcial, manteniendo un aspecto verde durante todo el año.



Figura 207. *Ophiopogon japonicus*. Fuente: <https://www.nparks.gov.sg/florafaunaweb/flora/8/5/8542>

11.4.3. Vegetación complementaria

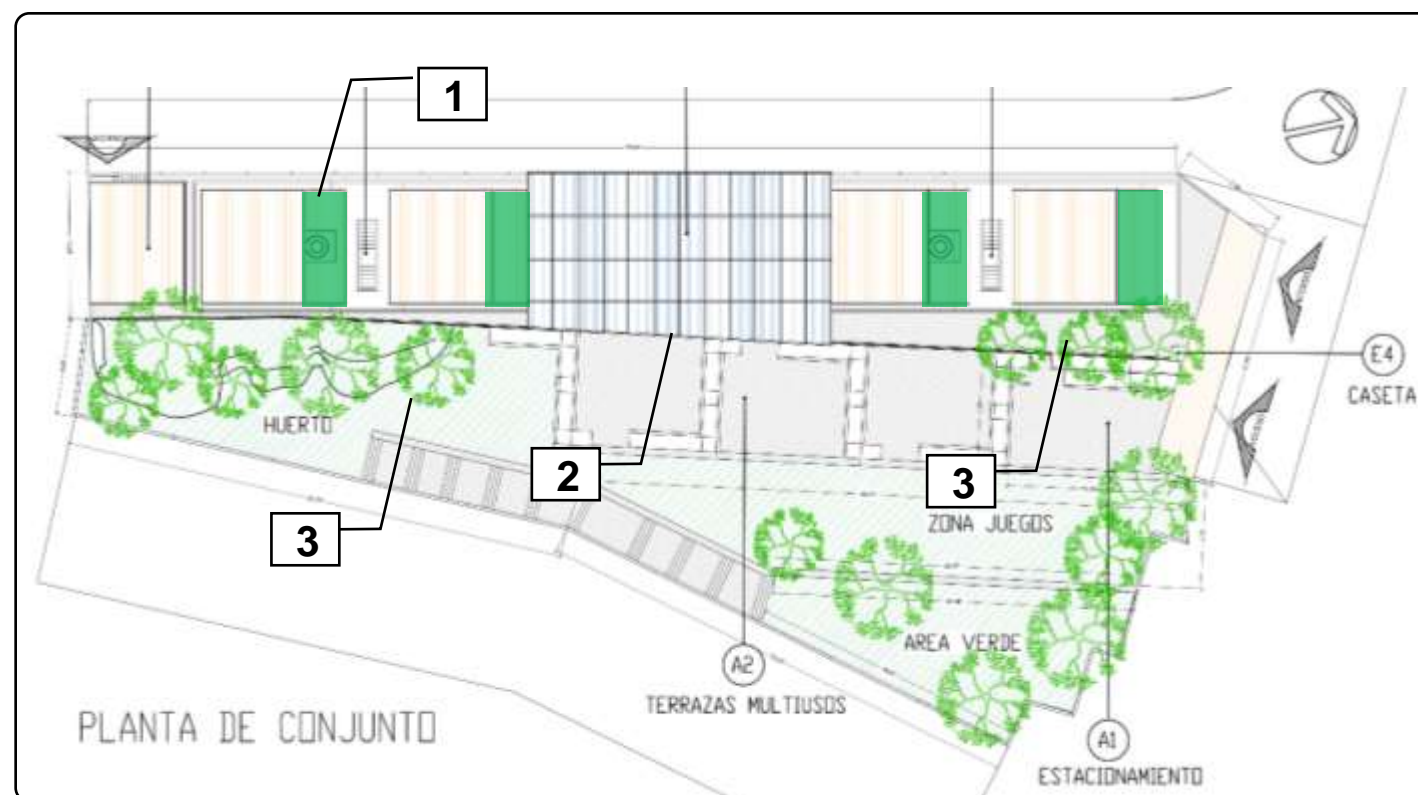


Figura 208. Propuesta vegetativa para espacio educativo. Fuente: Elaboración propia.

2- JARDINERA DE REJA ESTE

Delosperma cooperi (Hierba del hielo)

Suculenta rastrera con hojas verdes y flores vistosas. Resistente a la sequía, pero mantiene un verde intenso incluso en climas templados.



Figura 209. *Delosperma cooperi* (Hierba del hielo). Fuente: <https://www.badapedia.com/plantas/planta-de-exterior/7102/>.

3- ZONA TERRAZAS Y ÁREAS COMÚNES GENERALES

Liquidambar styraciflua (Liquidámbar) - Altura: 20-30 m.

Caducifolio. Nativo México, cultivado o silvestre.

Árbol ornamental con hojas en forma de estrella que cambian a tonos rojos y anaranjados en otoño. Se adapta bien a climas templados subhúmedos.



Figura 210. Árbol Liquidámbar. Fuente: <https://ecuador.inaturalist.org/taxa/49658-Liquidambar-styraciflua>

Fraxinus uhdei (Fresno) - Altura: 15-25 metros

Perenifolio o Caducifolio. Nativo México.

Tolera bien el clima templado subhúmedo. Es común en áreas urbanas debido a su resistencia y rápido crecimiento.



Figura 211. Arbol *Fraxinus uhdei*. Fuente: <https://mexico.inaturalist.org/taxa/134212-Fraxinus-uhdei>

Cercis canadensis (Árbol del amor, Redbud o duraznillo) Altura: 4-9 m

Caducifolio mediano. Nativo México.

Características: Árbol pequeño o mediano, caducifolio con flores rosadas en primavera. Prefiere suelos bien drenados y es ideal para jardines o espacios reducidos.



Figura 212. Arbol *Cercis canadensis*. Fuente: https://rng.net/publications/semillas-de-especies-forestales/monografias/cercis-canadensis-l-fabaceae/at_download/file

11.5. DISPOSITIVOS AHORRADORES DE AGUA

Mingitorio Infantil Minkid



Mingitorio seco infantil de cerámica antibacterial de alto brillo con trampa anti-olores de cerámica.

- **Altura:** 36 cm
- **Ancho:** 23 cm
- **Profundidad:** 21 cm

Enviamos a toda la República desde un mingitorio hasta por camiones completos. ¡Solicita tu cotización!

Figura 213. Mingitorio seco infantil. Fuente: <https://naturalplanet.com.mx/>

Sanitario Infantil



Sanitario ecológico infantil Royalty, 3.5 lts. por descarga.

- **Altura de taza:** 27 cm
- **Ancho de taza:** 29 cm
- **Largo de taza más tanque:** 50 cm


Enviamos a toda la República desde un sanitario hasta por camiones completos. ¡Solicita tu cotización!

Figura 215. Sanitario ecológico infantil. Fuente: <https://naturalplanet.com.mx/>



Llave economizadora a pared Helvex TV100 Cromo

SKU : HELVEX-TV100

Añadir a favoritos 

~~\$3,874~~ Ahorra \$968.5
\$2,905.5

Tipo de entrega: Envío a domicilio ó Recoge en sucursal

Llave de lavabo economizadora a pared. Seguro antirrobo. Presión mínima requerida 0.25 kg/cm². Consumo de agua: 5 L/min. Acabado Cromo. Con recubrimiento Antibac, mínimo contacto con máxima higiene.

Figura 214. Llave economizadora. Fuente: <https://www.gersamex.com/llave-economizadora-a-pared-helvex-tv100-cromo/p>



La regadera ecológica está certificada por la **CONAGUA**, como tecnología alternativa con un gasto inferior a 4 litros por minuto y fácil de instalar.

Ahorra más de 20 litros de agua que normalmente suele gastar una regadera convencional.

Contamos con color:

- Cromada
- Transparente humo

Consulta su **ficha técnica** para mayor información sobre su funcionamiento y mantenimiento.

Figura 216. Regadera ahorradora. Fuente: <https://naturalplanet.com.mx/>

12. VISUALIZACIÓN FINAL DE PROYECTO

12.1. RENDERS



Figura 217. Render 01. Fuente: Elaboración propia



Figura 218. Render 02. Fuente: Elaboración propia



Figura 219. Render 03. Fuente: Elaboración propia



Figura 220. Render 04. Fuente: Elaboración propia



Figura 222. Render 06. Fuente: Elaboración propia



Figura 221. Render 05. Fuente: Elaboración propia



Figura 223. Render 07. Fuente: Elaboración propia

13. CONCLUSIONES

SÍNTESIS DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

El desarrollo de la presente investigación puede sintetizarse en los siguientes puntos clave:

1. Aproximación a la problemática. Identificación de las necesidades particulares relacionadas con la edificación o intervención de un espacio arquitectónico, ya sea en sector privado, público, o de índole social.
2. Evaluación de las condiciones, posibilidades, limitantes y requerimientos específicos.
3. Propuesta preliminar de solución de la problemática o caso de estudio, considerando la aplicación de conceptos, estrategias y conocimientos de diseño bioclimático enfocados a la habitabilidad, el confort y el uso eficiente de recursos.
4. Evaluación de la propuesta o hipótesis de solución desde cada una de las perspectivas bioclimáticas: control solar, confort térmico, ventilación, confort lumínico, confort acústico y ecotecnologías; así como su respectiva verificación con las normativas aplicables.
5. Análisis de los resultados y reconfiguración de la propuesta.
6. Comunicación de resultados e implementación según sea el caso.

RESULTADOS TÉCNICOS

La propuesta arquitectónica plantea la creación de espacios funcionales, agradables y confortables, tanto para los estudiantes como para docentes y personal administrativo. En términos de desempeño térmico, las evaluaciones de la envolvente revelan condiciones por debajo del límite de temperatura operativa, lo cual podría resultar horas hábiles de bajas temperaturas principalmente durante la temporada invernal. Las condiciones de ventilación son óptimas, asegurando una adecuada renovación del aire y el mantenimiento de niveles adecuados de temperatura y humedad en los espacios interiores.

En cuanto a la iluminación natural, se observaron niveles por debajo de lo estipulado en las normativas vigentes, lo que requerirá el apoyo de iluminación artificial durante ciertas horas del día. Desde el punto de vista acústico, el proyecto presenta un comportamiento adecuado para garantizar la comunicación y concentración de los usuarios. La evaluación sugiere la instalación de paneles absorbentes en los muros del Nivel 1 con el fin de mejorar los tiempos de reverberación y asegurar un mayor confort acústico.

Posterior a un análisis general, se sugiere una reconfiguración del tamaño y disposición de las ventanas para mejorar el aprovechamiento de la luz natural y la ganancia energética, optimizando así el desempeño global del proyecto.

La implementación de celdas solares permitirá cubrir la demanda energética mensual del edificio, mientras que el sistema de captación de agua pluvial cubrirá parcialmente las necesidades de consumo de agua, complementándose con el abastecimiento de agua potable municipal. Además, se sugiere un calentador solar que será capaz de suministrar agua caliente suficiente para el edificio de servicios.

La inclusión de techos verdes no solo contribuye al confort térmico, sino que también fomenta la educación ambiental mediante la implementación de estrategias sostenibles.

El análisis integral de factores de confort térmico, de iluminación natural, de ventilación y el uso de ecotecnologías demuestra que, independientemente de las áreas de oportunidad que presentan los resultados, el proyecto ofrece soluciones viables para mejorar la habitabilidad y el uso eficiente de los recursos en el entorno educativo.

PERTINENCIA, IMPORTANCIA E IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN

La pertinencia del enfoque bioclimático es indiscutible ante los crecientes retos climáticos y la urgente necesidad de adoptar estrategias sostenibles tanto en la edificación como en la vida diaria. La investigación ha permitido identificar que la arquitectura bioclimática no solo es una respuesta eficiente a las demandas ambientales, sino también una herramienta clave para mejorar la calidad de vida de los usuarios. En un contexto donde el cambio climático ha venido intensificando las condiciones extremas, la optimización del uso de recursos naturales y las soluciones pasivas se vuelven esenciales para reducir los impactos humanos y mejorar el confort de los espacios habitables. En este sentido, se hace evidente la importancia de la participación activa de la academia en la resolución de problemáticas sociales que generen soluciones innovadoras y que impacten positivamente en el bienestar de las comunidades y en la preservación del medio ambiente.

TEORÍA Y PRÁCTICA APLICADA

La investigación integró tanto fundamentos teóricos como prácticos, recurriendo a diversas fuentes especializadas, investigaciones académicas, normativas de instituciones gubernamentales, directrices de organismos internacionales y documentos técnicos del sector privado. Esta diversidad de actores permitió validar la aplicabilidad de los principios bioclimáticos en un contexto real y resaltar la colaboración desde distintas perspectivas.

USO DE TECNOLOGÍA

Durante el proceso de investigación fue posible conocer, capacitarse y aplicar distintas herramientas digitales que favorecen el que hacer de la disciplina, facilitan las actividades y proporcionan resultados con mayor precisión. Estas herramientas optimizan significativamente los flujos de trabajo, y ofrecen aproximaciones de mucha utilidad, principalmente para el análisis de eficiencia energética, la evaluación del comportamiento térmico y lumínico de los espacios.

LA EXPERIENCIA DEL DISEÑO BIOCLIMÁTICO

El desarrollo del presente trabajo representó una oportunidad para implementar en la práctica, los conceptos y conocimientos que se han ido adquiriendo en el transcurso de las actividades académicas. La experiencia permitió un acercamiento a la resolución de problemas reales y proporcionó una perspectiva más amplia sobre los desafíos y expectativas que plantea la implementación de un diseño bioclimático en la práctica profesional.

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balcázar, J. (2018). *Sistema de naturación base para azoteas verdes de tipo semi-extensivo*. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/92c3feb9-59d3-40f7-9045-da37783d2a55>
- Ballesteros, V., & Daponte, A. (2011). Ruido y Salud - Observatorio de Salud y Medioambiente de Andalucía. *OSMAN*. <https://www.osman.es/project/ruido-y-salud-2/>
- Chatellier, D., & McNeil, M. (2019). *CONSUMO DE ELECTRICIDAD DE EDIFICIOS NO RESIDENCIALES EN MÉXICO*. 3. https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/Cuadernos/cuaderno3nvociclo_2.pdf
- CIBSE. (1999). *Guide A: Environmental Design*. <https://ierga.com/hr/wp-content/uploads/sites/2/2017/10/CIBSE-Guide-A-Environmental-design.pdf>
- CONAGUA. (s/f). *Servicio Meteorológico Nacional - Estación Totolica*. Recuperado el 22 de octubre de 2024, de https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales_Climatologicas/Normales7100/mex/nor7100_15127.txt
- CONAGUA. (2024). *GUÍA TÉCNICA PARA EL DISEÑO: SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA A NIVEL VIVIENDA*.
- CONAVI. (s/f). *Criterios de diseño por regiones ecológicas y climas*. Recuperado el 22 de octubre de 2024, de <https://siesco.conavi.gob.mx/doc/tecnicos/paleta/Paleta%20Vegetal%20Recomendaciones%20por%20Climas.pdf>
- Cowan, J. P, (1994). *Handbook of environmental acoustics*. 283.
- DesignBuilder Software Ltd. (2019). *Design Builder* (6.1.0.006).
- DIAL GmbH. (2024). *DIALux Evo* (5.12.0.5683).
- Duran, A., Rodriguez, D., Jimeno-Martínez, M., Meléndez-Serrano, A., Mendoza Cáceres Palacios-Alvarado, D. W., Palacios Alvarado, W., Sofía Rodríguez Barraza, D., Engels Duran Uron, A., & Gabriela Jimeno Martínez Angie Isabel Meléndez Serrano Daniel Alfonso Mendoza Cáceres, M. (2021). Condiciones acústicas en las aulas de clase: Una revisión de la literatura. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, ISSN-e 2344-8652, 9(2), 79–90. <https://doi.org/10.17081/invinno.9.2.4908>
- EPA. (2020). *Noise and Health Factsheet*. https://www.epa.ie/publications/monitoring--assessment/noise/Noise_factsheet.pdf
- Ermann, Michael. (2015). *Architectural acoustics illustrated*. 249.
- Fuentes, V. (2022). *Apuntes de arquitectura bioclimática*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Fuentes, V. (2024). *Bioclimatic Analysis Tool (BAT)* (v06; Vol. v06). https://www.academia.edu/33294697/Bioclimatic_Analysis_Tool_BAT_Aplicaci%C3%B3n_inform%C3%A1tica_para_el_an%C3%A1lisis_bioclim%C3%A1tico_en_Arquitectura
- Gonzalo, G. (2003). *Manual de Arquitectura Bioclimática*. Nobuko.
- Hernández, J. M. (2010). Habitabilidad educativa de las escuelas: Marco de referencia para el diseño de indicadores. *Sinéctica*, 35. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s1665-109x2010000200006&script=sci_arttext
- INIFED. (2014). *Tomo IV. Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones*.
- INIFED. (2022). *VOLUMEN 5. INSTALACIONES DE SERVICIO. TOMO II. INSTALACIONES HIDROSANITARIAS*.
- ISO 10456:2007 - Building materials and products, Hygrothermal properties, Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values (2007). <https://www.iso.org/standard/40966.html>
- Kuuskorpi, M. (2011). *The Future of the Physical Learning Environment: School Facilities that Support the User*. <https://doi.org/10.1787/5kg0lkz2d9f2-en>
- Lynch, K. (1971). *Site Planning*. Mit Press. https://www.academia.edu/19752890/Kevin_Lynch_Planificacion_de_sitio
- Marsh, A. (2019). *Dynamic Daylighting* (2.0.0). <https://drajmarsh.bitbucket.io/daylight-box.html>
- Naucalpan de Juárez. (2022a). *Cuaderno de Información Estadística y Geográfica No. 1*. <https://naucalpan.gob.mx/wp-content/uploads/2020/07/Cuaderno-de-Inf.-Est.-y-Geog.-No.-1-Naucalpan-de-Jua%CC%81rez-OK.pdf>

- Naucalpan de Juárez. (2022b). *Plan de Desarrollo Municipal 2022-2024*. <https://naucalpan.gob.mx/wp-content/uploads/2020/07/GACETA-15-PDM-VERSION-FINAL.pdf>
- Naucalpan de Juárez. (2023a). Atlas de riesgos del municipio de Naucalpan de Juárez. *Gaceta Municipal*, 2(69). <https://naucalpan.gob.mx/wp-content/uploads/2020/07/Gaceta-Municipal-No.-69-Vol.-II.-Atlas-de-Riesgos.pdf>
- Naucalpan de Juárez. (2023b). *Gaceta No. 69 Vol. II Atlas de Riesgos del Municipio de Naucalpan*.
- Naucalpan de Juárez, & Tecnológico de Monterrey. (2022). *Actualización del Plan Municipal de Desarrollo Urbano*. <https://naucalpan.gob.mx/plan-municipal-de-desarrollo-urbano/>
- NOM-008-ENER-2001, Diario Oficial de la Federación (2001).
- Norma Chilena Oficial NCh. 853. (s/f). *Conductividad Térmica de Materiales*. Recuperado el 21 de octubre de 2024, de https://timomarquez.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/03/2013-04-01_conductividadtermica.pdf
- NOVACERAMIC. (2022). *Vintex esmaltado Tabique hueco industrializado de alta resistencia*. https://www.novaceramic.com.mx/recursos_tecnicos/pdf/fichtec/03_esmaltadas/VIN1212E.pdf
- Olgay, V. (2015). Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. *Design with Climate*. <https://doi.org/10.1515/9781400873685/HTML>
- Orozco, M., & Aguirre, K. (2019). *Manual de calles, Diseño vial para ciudades mexicanas*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/509173/Manual_de_calles_2019.pdf
- Ortiz, J., Masera, O., & Fuentes, A. (2014). *LA ECOTECNOLOGÍA EN MÉXICO*. <https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/La-Ecotecnolog--a-en-M--xico-ENE-2015-BR.pdf>
- Parallels Software International, Inc. (s/f). *Climate consultant* (6.0.17). Recuperado el 22 de octubre de 2024, de <https://climate-consultant.informer.com/#:~:text=Developer%3A,Parallels%20Software%20International%2C%20Inc.>
- SEDATU-CONAVI. (2019). *Criterios técnicos para una vivienda adecuada*. https://www.conavi.gob.mx/gobmx/pnr/10.-Criterios_Vivienda_Adecuada.pdf
- SEDATU-Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). (2022). *HOJA DE RUTA: Selección de la Paleta Vegetal en Proyectos del Espacio Público*. <https://www.gob.mx/sedatu/documentos/hoja-de-ruta-seleccion-de-la-paleta-vegetal-en-proyectos-del-espacio-publico?state=published>
- SEDEMA, & ISLA URBANA. (2020). *COSECHAR LA LLUVIA MANUAL PARA INSTALARLO EN TU VIVIENDA*. www.sedema.cdmx.gob.mx
- SENER- CONUEE, & Agencia Danesa de Energía. (2017). *Herramienta de cálculo de la NOM-008-ENER-200 (V1)*.
- SENER-CONUEE. (2016). *Guía de Cálculo NOM-008-ENER-2001*. <http://www.gob.mx/sener>
- SENER-CONUEE, & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. (s/f). *Calculadora Solar*. Recuperado el 22 de octubre de 2024, de <https://www.conuee.gob.mx/calculadora-solar/frmAppSolar2.jsp>
- Sistema Municipal de información estadística y Geográfica. (2022a). *Actualización del plan municipal de desarrollo urbano*.
- Sistema Municipal de información estadística y Geográfica. (2022b). *Cuaderno de información estadística y geográfica No. 1*. <https://naucalpan.gob.mx/wp-content/uploads/2020/07/Cuaderno-de-Inf.-Est.-y-Geog.-No.-1-Naucalpan-de-Jua%CC%81rez-OK.pdf>
- Szokolay, S. V. (2008). *Introduction to architectural science: the basis of sustainable design* (2nd ed.). Elsevier Ltd.
- Téllez, C., Mocva, R., González, C., & Centeno, J. C. (2022). *¿Cómo hacer un Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) en mi escuela?* <https://doi.org/https://doi.org/10.24850/b-imta-2022-06>
- UNESCO. (2015). Replantear la educación: ¿Hacia un bien común mundial? *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.*, 43, 93. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000232697>