

EDIFICIO ESCOLAR DISEÑADO BAJO PARÁMETROS DE CONFORT
TÉRMICO Y ESCUELA NUEVA EN CALI

Estudiante
MARIA ISABEL MUÑOZ VALDERRAMA
Arquitecta

TRABAJO DE PROFUNDIZACIÓN
MAESTRÍA EN ARQUITECTURA Y URBANISMO
LÍNEA DE BIOCLIMÁTICA

Directora
VERÓNICA IGLESIAS GARCÍA
Arquitecta

Universidad del Valle
Sede Meléndez
Santiago de Cali
2023

A las niñas y niños de Colombia

Tabla de contenido

Resumen	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
Planteamiento del Problema	11
Problemática Global	11
Problemática en América Latina	12
Problemática en Colombia.....	15
Problemática en Cali	17
Árbol del Problema	19
Justificación	20
Objetivo general	26
Objetivos específicos	26
Alcances.....	27
Metodología	27
Planteamiento del Proyecto de Investigación	28
Definición de área de intervención	29
Análisis de Aspectos Naturales y Antrópicos.....	29
Definición de Población Estudiantil	30
Diseño urbano y arquitectónico	30
Cálculos y simulaciones	31
Ajustes al diseño y reevaluación	31
Marco histórico.....	32
Educación en Colombia	32
Introducción.	32
La Escuela Nueva.....	35
El hábitat Escolar en Colombia.....	37
La Pedagogía Waldorf en Cali.....	40
El Estado de la Educación Tradicional en Cali.	42
Marco teórico.....	45
Pedagogía Waldorf	45
Antroposofía.....	45

Arquitectura Antroposófica.....	46
Referente Waldorf en Cali.....	49
Arquitectura, Confort Ambiental y Rendimiento Académico.	52
Psicología Ambiental.....	52
Causas de Estrés por discomfort Ambiental.....	54
Consecuencias del Estrés por Discomfort Ambiental en el Rendimiento Escolar.	60
Arquitectura Bioclimática.....	66
Marco normativo	68
“La Época de Oro” 1934- 1938.....	68
Plan Nacional de Desarrollo 2014- 2018.....	69
Plan Nacional de Infraestructura Educativa.	70
ISO 7730 Y Ashrae 55.....	72
Norma Técnica Colombiana 4595.	73
Marco Referencial	74
Introducción	74
Parque Biblioteca Manuel Mejía Vallejo en Guayabal. PVG Arquitectos.	74
Geschwister Scholl Schule.	79
Resultados	85
Caracterización climática de Cali	86
Clima.	86
Microclima.	89
Análisis Urbano	94
Implantación.....	100
Programa de Necesidades y Condicionantes por Normativa	106
Diseño Urbano y Arquitectónico	109
Orientación.	109
Distribución del Programa Arquitectónico.	110
Cuadro de Áreas.	124
Diseño de Aulas Tipo Según los Postulados de la Pedagogía Waldorf y Composición General.....	124
El Color de las Aulas Waldorf Según el Curso.	126
Aula tipo 1. Cursos 1, 2 y 3.....	129
Aula tipo 2. curso 4.	131
Aula tipo 3. Cursos 5, 6, 7 y 8.....	133

Aula Tipo 4. Cursos 9, 10, 11 y 12.....	135
Memoria.....	138
Cálculos y Simulaciones	144
Análisis de Incidencia Solar de Aulas Tipo	144
Aula tipo 1.....	145
Aula tipo 2.....	148
Aula tipo 3.....	151
Aula tipo 4.....	152
Análisis de Carga Térmica y Temperatura Interna de Aulas Tipo	155
Aula Tipo 1.....	159
Aula tipo 2.....	162
Aula tipo 4.....	166
Análisis de Iluminación Natural de Aulas Tipo	169
Aula tipo 1.....	169
Aula tipo 2.....	171
Aula tipo 4.....	172
Coeficiente de luz diurna (CLD).....	174
Aula tipo 1.....	177
Aula tipo 2.....	179
Aula tipo 4.....	181
Análisis de Ventilación Natural en Aulas Tipo	183
Aula tipo 1.....	183
Aula tipo 2.....	185
Aula tipo 4.....	185
Confort	186
Aspectos Técnicos.....	191
Discusión	193
Conclusiones.....	196
Anexos	199
Operaciones matemáticas	199
Aula tipo 1.....	200
Aula tipo 2.....	205
Aula tipo 4.....	211
Listado de planos	216

Bibliografía.....	217
Listado de figuras	222
Listado de tablas	225

Resumen

Durante las últimas décadas se ha hablado reiteradamente sobre la calidad de la educación en Colombia para mejorar el rendimiento de los estudiantes que se ha visto afectado por diversos factores políticos, culturales, sociales, la aparición del Covid-19 y el cambio climático.

La educación de calidad depende de la formación de los profesores, de los programas escolares o pedagogías y depende de la dignidad de los ambientes académicos.

El presente trabajo muestra el panorama histórico y actual del diseño y construcción de edificios escolares en Colombia, las normativas que existen para ello y proyectos arquitectónicos locales e internacionales como referentes.

Con esto se planteó la posibilidad de un edificio escolar que, partiendo de los postulados de la arquitectura bioclimática y la pedagogía de la Escuela Nueva pudiera lograr ambientes confortables, dinámicos y estimulantes con la finalidad de despertar en las niñas, niños y jóvenes un sentimiento de gozo por el aprendizaje y un sentimiento de pertenencia con el edificio escolar.

Se lograron temperaturas internas de 26°C al implementar muros dobles con una placa de poliestireno expandido de 3cm para las fachadas con mayor carga térmica, y marquesinas y muros calados para las fachadas que debían ser livianas; se logró una iluminación natural de hasta 500lx y coeficientes de luz diurna altos combinando vanos y lucernarios, los cuales se apoyaron en las chimeneas solares que permiten la evacuación de aire caliente y las renovaciones de aire requeridas para que también provean luz cenital.

Estas estrategias se diseñaron a partir de las características específicas de la implantación de las aulas tipo y su microclima.

Palabras clave: confort térmico, Psicología ambiental, Arquitectura Bioclimática, Escuela Nueva, Hábitat escolar, estrés, rendimiento académico.

Abstract

During the last decades, there has been repeated talk about the quality of education in Colombia to improve student performance, which has been affected by various political, cultural and social factors, the appearance of Covid-19 and climate change. Quality education depends on the training of teachers, school programs or pedagogies and depends on the dignity of the academic environments.

This work shows the historical and current panorama of the design and construction of school buildings in Colombia, the regulations that exist for it and local and international architectural projects as references.

Thus, a possibility of a school building that could achieve comfortable, dynamic and stimulating environments based on bioclimatic architecture and the pedagogy of the New School was established to intent and awake in girls, boys and young people a feeling of joy in learning and a feeling of belonging to the school building.

To achieve this objective, a school building was designed in the city of Cali applying passive strategies for the solar protection of openings, reduction of radiant temperature of the surfaces, natural lighting and ventilation, as well as a connection with the landscape.

Internal temperatures of 26°C were achieved by implementing double walls with a 3cm expanded polystyrene plate for the facades that had to be light; natural lighting of up to 500lx and high daylight factors were achieved by combining openings and skylights, which were supported by the solar chimneys that allow the evacuation of hot air and the air renewals required to also provide overhead light.

These strategies were designed based on the specific characteristics of the placement of the standard classrooms and their microclimate.

Keywords: thermal comfort, Environmental psychology, Bioclimatic architecture, New School, School habitat, stress, academic performance.

Introducción

La educación como apuesta a un futuro mejor es uno de los pilares fundamentales de cualquier democracia. Esta propuesta debe ser integral y coherente capaz de formar personas funcionales para impulsar el crecimiento de la sociedad.

Cuando se habla de calidad en la educación poco se habla de la calidad de los ambientes académicos. Sin embargo, es en estos recintos donde se lleva a cabo el proceso de enseñanza y aprendizaje no solo en clase cátedra sino también en la cotidianidad por medio de intercambios sociales entre compañeros y sus maestros. En los colegios y aulas los estudiantes pasan la mayor parte del día; es el escenario donde se aprenden los valores y las competencias sociales para enfrentar la vida.

En la interacción con el medio físico-espacial los estudiantes desarrollan procesos cognitivos para llevar a cabo dichas actividades, los cuales se ven favorecidos cuando se realizan en ambientes sanos, libres de estresores ambientales, dinámicos y estimulantes.

Estos aspectos son de gran importancia puesto que se ha demostrado que la calidad del hábitat escolar esta intimidante relacionada con el rendimiento académico de los estudiantes y un aula garante de confort ambiental y de rincones estimulantes es la clave para niñas, niños y jóvenes más atentos y saludables.

Por otro lado, estamos atravesando los últimos años de la historia de la humanidad en los que podemos frenar efectivamente el cambio climático; estamos a tiempo de generar un cambio global en nuestro modo de vida para asegurar un futuro tanto para nosotros como para los ecosistemas del planeta. Es imperativo que la arquitectura empiece a producir edificios que generen un bajo impacto en su construcción y que en su vida útil no sean una fuente de calor y CO₂; el mundo necesita construcciones eficientes y confortables que aporten de manera positiva a alcanzar la meta de frenar en 1.5°C el calentamiento global.

El presente trabajo de tesis propone el diseño arquitectónico de una escuela ubicada en el barrio Brisas del Limonar en el sur de la ciudad de Cali, para una población de 288 estudiantes en los niveles de primaria y bachillerato.

El conjunto se diseñó desde el uso de las estrategias pasivas de la arquitectura bioclimática y los postulados pedagógicos/espaciales de la Escuela Nueva.

Se buscó insertarse en la dinámica urbana del sector, tanto en el presente como en las intervenciones civiles futuras, respondiendo a la escala barrial pero también articulándose con los equipamientos e infraestructuras locales.

Planteamiento del Problema

Problemática Global

Cada día se vuelven mayores los retos de la sostenibilidad y de minimizar la huella ecológica en la construcción de hábitats para la población humana; proyectar propuestas arquitectónicas que, no solo cumplan con parámetros de confort para sus usuarios, sino que también aprovechen los recursos naturales a su alcance para ser energéticamente eficientes y de bajo impacto es cada día de mayor importancia para el ambiente y nuestra supervivencia en el planeta.

En términos generales la construcción es el sector que más aporta al cambio climático a nivel global por encima de transporte e industria (UN Report , 2017) y si junto a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero en todos los sectores de producción no se hace un cambio en la manera en la que se proyecta y construyen los edificios a nivel global antes de 20 años se agotarán las soluciones al cambio climático (Intergovernmental Panel on Climate Change , 2018) y es deber de todos los arquitectos de la era actual hacer conciencia de la responsabilidad que reposa sobre nuestra labor.

En este contexto aparece en China el virus del covid-19 que rápidamente va a afectar a todos los países del mundo obligándolos a tomar medidas sociales y sanitarias drásticas como las cuarentenas totales y posterior aislamiento social.

El mundo se dio cuenta entonces que llevamos años construyendo estructuras que no constituyen un hogar confortable para las familias o lugares idóneos para las actividades más cotidianas. Los espacios que se tuvieron que habitar de forma prolongada no producían gozo.

En países menos desarrollados no solo las viviendas, sino también los lugares de trabajo y las escuelas evidenciaron que no eran tan salubre como parecían y a los problemas de calor e iluminación se le sumaron los de ventilación y hacinamiento. Para dar solución a estos problemas se han tenido que asumir ajustes en las estructuras que han dilatado el regreso de niñas, niños y jóvenes a sus aulas de clase.

Problemática en América Latina

En América Latina y el caribe los impactos políticos, económicos y sociales de la pandemia trascienden los del sector salud. El educativo es uno de esos sectores que está enfrentando consecuencias mayores pues muchas de las instituciones que cerraron sus puertas temporalmente por las cuarentenas ahora lo han hecho de forma definitiva debido a las dificultades que encontraron al momento de ajustar los edificios a los requerimientos de bioseguridad. Dificultades que van desde la imposibilidad de mejorar las condiciones del edificio por medio de un método adaptativo debido a su estructura misma o su orientación urbana, hasta la falta de recursos económicos y la poca voluntad política de inversión social.

El cierre de escuelas no solo afecta a las niñas, niños y jóvenes directamente al restarles oportunidades de aprendizaje y de interacción social, sino que también modifica y dificulta las dinámicas familiares y sociales que a su vez involucran la economía de sectores asociados al educativo.

Según el Centro de Información para la Mejora de los Aprendizajes (CIMA) para marzo del 2020 una población de al menos 165 millones de estudiantes no tenían presencialidad en la escuela (Banco Interamericano de Desarrollo , 2020). Esto significa que de un momento a otro los hogares tuvieron que ser adecuados para que las niñas, niños y jóvenes tomaran sus clases de manera virtual.

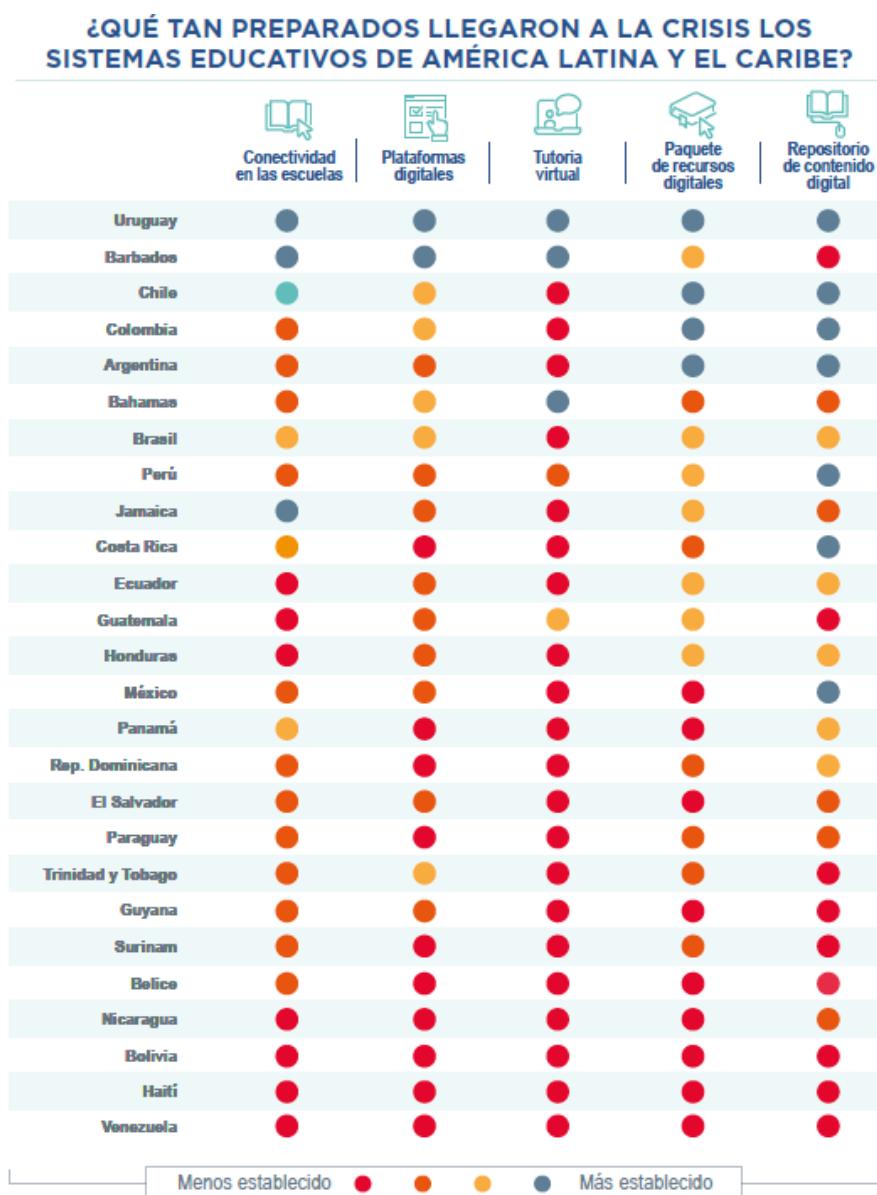
Ninguno de los países de la región estaba completamente preparado para trasladar las clases de millones de estudiantes de la escuela a los hogares (figura 1).

Esto implicaba no solo garantizar la conectividad de todos los hogares sino también tener preparado el sistema educativo para que funcionara de manera virtual, con paquetes de información y sistemas de evaluación efectivos, entre otros. Como consecuencia el porcentaje de deserción escolar en América Latina y el caribe aumentó un 9% respecto a las cifras reportadas antes de la pandemia (Banco Interamericano de Desarrollo , 2020) (figura 2).

Se estima que al menos 1.2 millones de niñas, niños y jóvenes en edad escolar podrían abandonar sus estudios, con lo que se aumentaría la desigualdad educativa, pues de esta población el 38% de los estudiantes provienen de hogares catalogados como pobres (Banco Interamericano de Desarrollo , 2020).

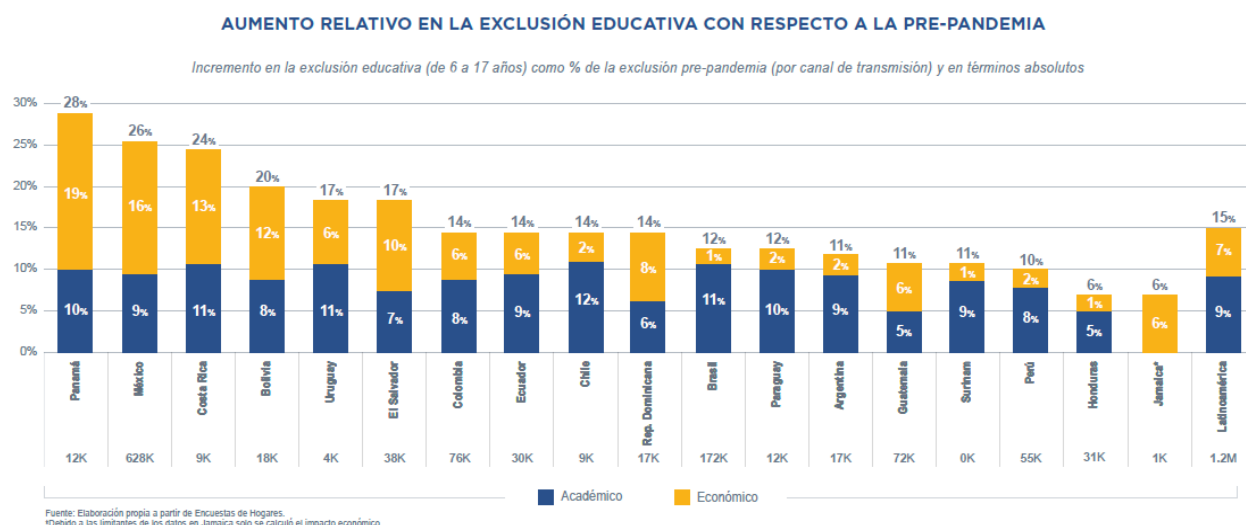
Cabe preguntarse, ¿sí los edificios escolares estuvieran diseñados bajo parámetros de arquitectura bioclimática en función de las necesidades integrales de las niñas, niños y jóvenes el regreso a clases podía haber ocurrido oportunamente sin poner en riesgo ni un solo puesto escolar?

Figura 1. Preparación de los sistemas educativos de América Latina y el Caribe frente a la pandemia.



Nota: Fuente: “Los costos educativos de la crisis sanitaria en América Latina y el Caribe”. Banco Interamericano de Desarrollo. 2020.

Figura 2. Aumento de la exclusión educativa en la pandemia.



Nota: Fuente: “Los costos educativos de la crisis sanitaria en América Latina y el Caribe”. Banco Interamericano de Desarrollo. 2020.

Problemática en Colombia

Desde hace varios años los diferentes gobiernos han precarizado los programas y entes estatales para la educación y su infraestructura unificando tareas al MEN (Ministerio de Educación Nacional) (Benavides, 2007). Las cartillas que antes exponían diversos ejemplos de manera gráfica para solucionar ciertos problemas en la planeación de edificios escolares se convirtieron en normativas escritas que quedaron a la interpretación de quienes las revisan.

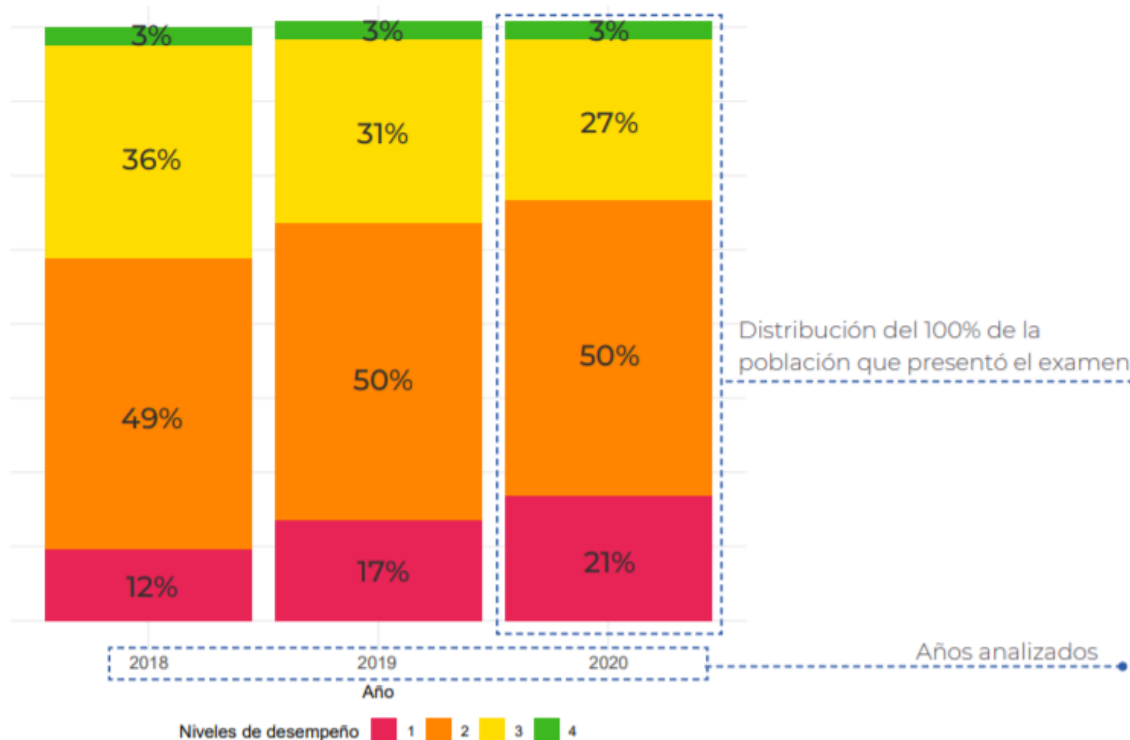
Esta falta de información lleva a desconocer los principios de la arquitectura bioclimática y no aplicarlos en proyectos de arquitectura escolar en las diferentes regiones climáticas de Colombia puede tener consecuencias perjudiciales para su sostenibilidad energética y ambiental, al mismo tiempo que interrumpe el confort, el cual es fundamental en espacios de aprendizaje (Iglesias, Herrera, & Rosillo, 2016) y entorpece la salud y las habilidades sociales de las niñas, niños y jóvenes.

Una de las consecuencias de que las escuelas tengan ambientes académicos que carecen de principios estimulantes con presencia constante de estresores ambientales es la disminución del rendimiento académico de los estudiantes.

Lo muestran los resultados de las pruebas estatales importantes que miden el nivel académico de las y los jóvenes como las pruebas PISA o las pruebas Saber 11, cuyas últimas versiones se desarrollaron en el país entre abril y mayo de 2018 y en agosto del 2020 respectivamente. Los resultados de las pruebas Saber 11 se generan en niveles de rendimiento del 1 al 4 siendo 1 el más bajo y 4 el más avanzado.

En la figura 3 se puede ver el aumento del nivel 1 y la disminución del nivel 3 de rendimiento entre el 2019 (pre-pandemia) y el 2020 (Ministerio de Educacion, 2019).

Figura 3. Rendimiento de los estudiantes en las pruebas Saber pro del año 2020.



Nota: Fuente: "Informe nacional del examen Saber 11 2020". lcfes.gov.co

Por su parte, el reporte de resultados de las pruebas PISA 2018 muestra una disminución del rendimiento frente a las pruebas presentadas en el 2015 (ICFES, 2020).

Se estima que cuestiones políticas y socio-económicas que generan contextos de violencia y abandono de las edificaciones escolares en la ciudad y las zonas rurales sean unas de las razones por las cuales el rendimiento de los estudiantes del país frente a los de la región este disminuyendo con los años (ICFES, 2020).

Problemática en Cali

En la ciudad de Cali había una tasa de deserción escolar del 4% para el año 2017. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2019). Algunos de los motivos que manifestaron los estudiantes en las encuestas variaban entre la necesidad de generar un ingreso de dinero adicional para el mantenimiento del hogar y la falta de interés que sentían por la escuela.

En el oriente de la ciudad, entre las comunas que componen el Distrito de Aguablanca, las problemáticas de las instituciones educativas son hacinamiento, contaminación, abandono, deserción y problemas de convivencia que se presentan entre estudiantes. Tan solo en la comuna 16 el porcentaje de deserción escolar era del 2% en promedio para el 2006 (Observatorio Social Cali, 2009).

Un estudio para evaluar el confort ambiental en escuelas públicas de Cali, realizado por la Universidad del Valle (Iglesias, Herrera, & Rosillo, 2016), tomó datos climáticos al interior de las aulas de 4 instituciones diferentes; 2 de ellas en el oriente, una hacia el sur de la ciudad y la última en el corregimiento El Hormiguero, que evidenciaron diversos tipos de problemas.

Unas aulas estaban muy iluminadas y producían deslumbramiento sobre los pupitres, otras no estaban lo suficientemente iluminadas y producían cansancio

visual a los estudiantes. Casi todas presentaron problemas de calor y ventilación, entre otros.

La variedad de problemas que se identificaron muestra un panorama en el que se podría intuir que los profesionales que están proyectando y construyendo edificios escolares, al menos en la ciudad de Cali, desconocen los conceptos bioclimáticos que hacen que un ambiente académico sea sano y estimulante y por ende eficiente.

Lo anterior también se ve reflejado en la situación que enfrentan cientos de colegios privados en esta etapa de regreso a las aulas después de las cuarentenas por Covid-19.

Para el año 2021 415 colegios cerraron definitivamente sus puertas y designaron a sus estudiantes a otras instituciones oficiales (Secretaría de Educación Municipal. Cali, 2021).

Al menos 90.000 estudiantes¹ tuvieron que enfrentar la incertidumbre de iniciar sus estudios en una comunidad completamente ajena.

Esto no solo afecta directamente el ánimo que sienten niñas, niños y jóvenes por la escuela, sino que también enfrenta al círculo familiar a replantear los esquemas cotidianos de transporte y alimentación, con lo que probablemente se vea afectada su economía. Nadie puede anticipar la deserción futura a causa de estas situaciones.

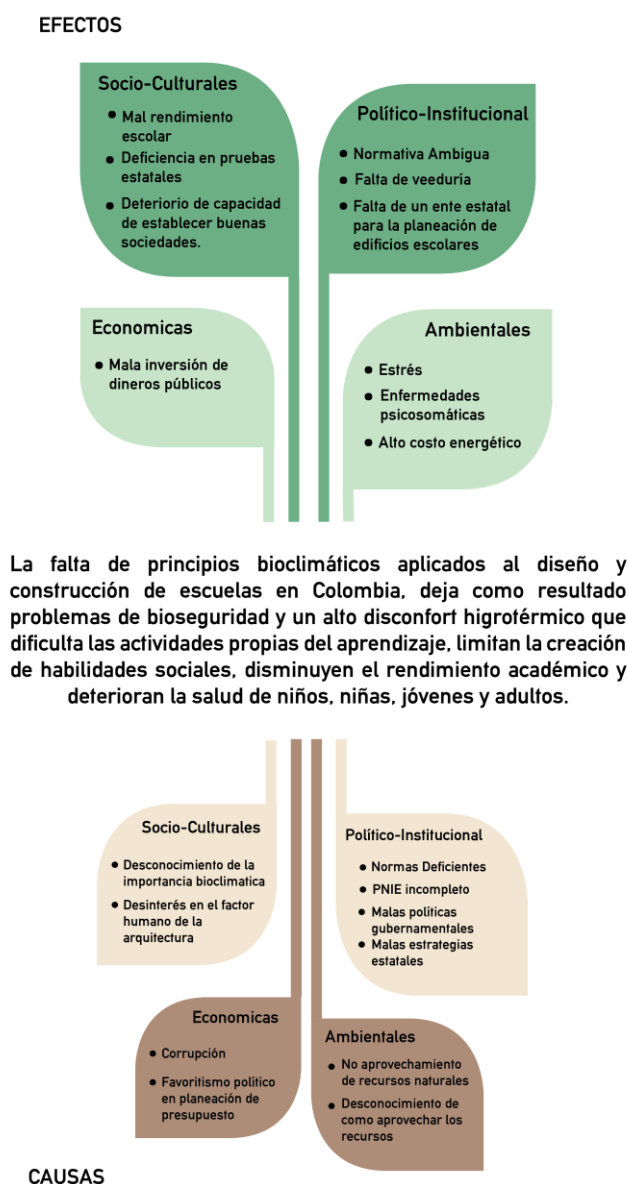
Es imperativo que lo arquitectos atiendan la problemática de la educación en tiempos de cambio climático, covid-19 y renovación social con responsabilidad, teniendo como protagonistas la arquitectura bioclimática y el componente humano, enfocado en las niñas, niños y jóvenes para el diseño de los ambientes académicos pues en los últimos años la respuesta a esta problemática se ha mostrado como parte vital para reestructurar el futuro de la humanidad.

¹ Sí se asume que cada institución tiene en promedio 220 estudiantes como se puede concluir al analizar la cantidad de niñas, niños y jóvenes matriculados en las escuelas medianas de Cali (Alcaldía de Santiago de Cali. Cali en cifras., 2020).

Árbol del Problema

Se desarrolló un árbol del problema para identificar las principales causas dentro de los diferentes entes de actuación. Partiendo de la problemática se analizaron las causas desde los ámbitos socio-cultural, político-institucional, económico y ambiental y se señalaron algunos de los efectos más destacables.

Figura 4. Árbol del problema



Nota: Elaboración propia.

Con lo anterior se llegó a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son las características espaciales y ambientales que deberían orientar el diseño de un edificio escolar para promover el bienestar de sus usuarios y mitigar su impacto ambiental?

Justificación

América Latina y el Caribe enfrentan una problemática de dimensiones que superan la pandemia del Covid-19 en el ámbito político y en el de la justicia social y económica. Diversos gobiernos de la región que llevan décadas aplicando un modelo neoliberal en sus políticas de generación de riqueza más allá de algunos pequeños triunfos efímeros solo han conseguido sumir a sus pueblos en las más marcadas crisis (Pettina & Rojas, 2020).

Los estallidos sociales que se han venido presentando en la región a raíz de las crisis político-económicas comparten en sus peticiones mejorar la calidad de vida de manera integral de la clase trabajadora. Esto incluye educación y salud gratuita y de calidad, trabajos dignos y rentas justas y equilibradas, infraestructura de calidad e inversión social entre otras.

La educación se convierte en una búsqueda colectiva con el objetivo de establecer mejores bases para una sociedad funcional.

Esto es, educar mejor a las niñas, niños y jóvenes, no solo en términos funcionales de sumar y restar sino también en términos de humanidad para formar personas que además de ser capaces de generar dinero en sus trabajos, oficios y quehaceres muestren también en su diario vivir una postura comprometida con el bienestar de todas y todos, y quieran apoyar políticas que generen un crecimiento conjunto y sostenido de la economía y políticas ambientales que consoliden la conservación del planeta y el fortalecimiento de la sociedad.

La pandemia fue especialmente cruel con los países de América Latina; las cifras que parecían solidas algunas se desplomaron y déficits de todo tipo se hicieron más profundos.

En cuanto las cuarentenas se mantenían las niñas, niños y jóvenes se vieron obligados a recibir clases desde sus casas y cuando parecía ser momento oportuno de regresar a las aulas fue evidente que dichos ambientes no garantizaban las medidas mínimas de salubridad. Ahora el clamor por una mejor educación incluye la dignidad de sus ambientes.

Desde hace varias décadas se habla en Colombia del “problema de la educación” (OCDE, 2015) lo que ha generado que se estudien sus causas para estructurar estrategias que eviten que el problema se prolongue y se repita.

Desde la infraestructura esto ha significado una alta inversión nacional con proyectos arquitectónicos como los “Colegios 10” o “Mega Colegios” (Consejo Nacional de Política Económica y Social. Departamento Nacional de Planeación, 2015).

Estas inversiones, debido a su alta complejidad, deberían estar resueltas en parámetros bioclimáticos y de confort ambiental específico para cada región para evitar un sobre costo operacional y el mal funcionamiento de los ambientes académicos. Pero se ha estructurado como un solo proyecto replicable para intentar garantizar la igualdad en la inversión regional.

El gobierno nacional por su parte, ha reconocido un déficit alto de puestos en la escuela y ha fortalecido el Plan de Infraestructura Educativa para reducirlo en un 60% hacia el 2030.

Dicho plan consiste en construir una serie de “mega colegios” a lo largo del territorio nacional (Consejo Nacional de Política Económica y Social. Departamento Nacional de Planeación, 2015) que como se dijo, tienen el mismo diseño independientemente del departamento y contexto climático donde se implantan.

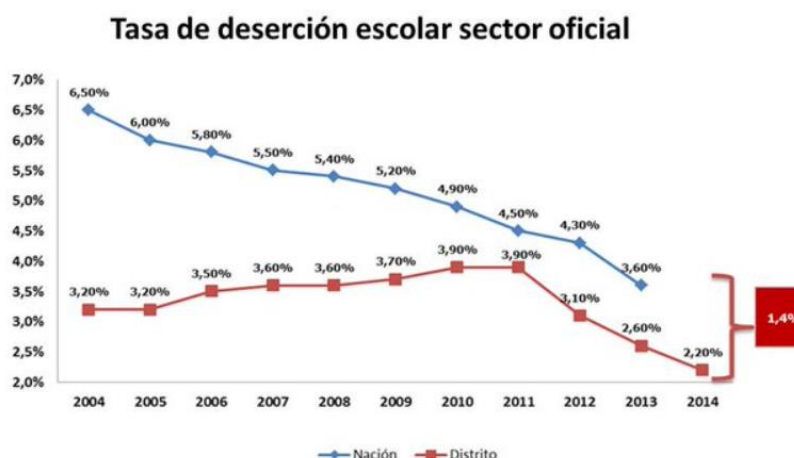
Esto significaría que en algunas regiones los resultados ambientales y de confort dentro de los edificios sean positivos y en otras no.

La necesidad de proponer espacios bioclimáticamente competentes va estrictamente de la mano con el objetivo mundial de reducir la contaminación en todos sus aspectos. En Colombia no puede ser diferente y es necesario que dentro de propuestas de desarrollo como la del PNIE (Plan Nacional de Infraestructura Educativa) haya esquemas básicos de mega colegios diferenciados por regiones y estén especificadas las estrategias pertinentes para cada una.

En su gobierno local, el político Gustavo Petro llevó a cabo la construcción de nuevos colegios públicos y el mejoramiento de viejas estructuras educativas. Como se puede ver en la figura 5, en las estadísticas de su gobierno se vio una disminución importante en la deserción escolar y uno de los motivos parece apuntar a la inversión que se hizo en la calidad de los espacios.

En sus palabras, “Los jóvenes empezaron a sentir cada vez más gozo por estudiar, por encontrar allí, en el colegio, un camino mucho más serio y profundo para sus vidas que antes” (Petro, 2016). Estudiar con gozo está directamente relacionado con la calidad del espacio en sí y con el rendimiento académico, y aunque el pensum, la metodología, el método de evaluación del aprendizaje y la educación de profesores son aspectos importantes en el tema educativo, garantizar espacios de calidad es fundamental.

Figura 5. Tasa de deserción escolar en el sector oficial de la ciudad de Bogotá.



Nota: Tasa de deserción escolar en el gobierno de Gustavo Peto, 2016. Fuente: bogota.gov.co.

El principio anterior es clave para abordar el problema de la calidad de la educación pues la escuela ha sido, en repetidas ocasiones, catalogada como nuestro segundo hogar y es donde se van a forjar la actitud frente al estudio y los deberes y las habilidades sociales; como lo manifiesta el columnista Arturo Guerrero,

Pasan en su escuela o colegio las siete horas más activas y lúcidas de su día, los recintos escolares y los elementos que los pueblan son, ni más ni menos, el cofre donde se forja la memoria de su alma, durante los casi tres lustros más maleables de su vida. Que ésta memoria sea dulce o aciaga, dependerá en apreciable medida de la clase de alojamiento que encuentre en los rincones y objetos, compuestos a la vez de ladrillos, de madera y de sus sueños. (2006, P.3)

También el político Sergio Fajardo se ha referido al respecto; “la calidad de la educación empieza por la dignidad de sus espacios” en alusión al proyecto de su gobierno “Medellín la más educada” (Fajardo, 2017).

Las experiencias pedagógicas que tengan las niñas, niños y jóvenes en ambientes sanos y estimulantes van a definir la manera en la que estos enfrentan las situaciones cotidianas con sus semejantes.

Algunos gobiernos locales han puesto en marcha programas sociales que apuntan a mejorar las condiciones integrales de las niñas y niños por medio del mejoramiento de programas educativos y acompañamiento social. El más exitoso a hoy es el programa de “Cero a siempre” de la alcaldía de Medellín en conjunto con el Instituto de Bienestar Familiar (ICBF).

Está escrito en los Fundamentos políticos, técnicos y de gestión del programa:

Experimentar y crecer en un ambiente social y familiar con relaciones de cuidado caracterizadas por la empatía, el afecto y la negociación satisfactoria de las metas ante los conflictos, tanto para adultos cuidadores como para niñas y niños contribuye a que construyan una representación de los otros y del mundo social que les genera seguridad y confianza. (Buen comienzo, 2018, P.9)

Según el psicólogo Urie Bronfenbrenner (1979) el desarrollo de los individuos debe entenderse por medio de sistemas socioecológicos que van de lo micro como la familia, la escuela y las creencias; pasando por los escenarios intermedios como el barrio, vecindario o la familia extensa; hasta a lo macro como la política y la cultura, entre otros, y que resaltan la reciprocidad de la relación del individuo y su entorno (Moser, 2011).

Así pues, la escuela como segundo hogar debe proporcionar un ambiente de bienestar para que con agrado el individuo sea capaz de cumplir sus objetivos de desarrollo y es de esta manera como el confort empieza a convertirse en un factor determinante para el hábitat escolar (Moser, 2011).

En este orden de ideas, escuelas que presenten falencias en el confort causaran alteraciones psicológicas y manifestaciones fisiológicas con repercusiones nocivas en el proceso de aprendizaje de sus estudiantes (Iglesias, Herrera, & Rosillo, 2016) (Municipio de Medellín, 2018).

Para definirlo, el confort térmico se entiende como “la condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico” (ISO 7730). Esto es posible cuando la temperatura del cuerpo y del ambiente están equilibradas y no están generando un trabajo fisiológico para compensarse, es decir, que el cuerpo no está intentando calentarse ni enfriarse pues dicho trabajo genera discomfort y posterior cansancio.

Lo anterior dependerá de factores internos como el metabolismo y de factores externos como el vestido, temperatura y velocidad del aire, humedad relativa e intercambio radiante de las superficies.

Toda vez que se presente un desequilibrio entre las temperaturas del cuerpo, la piel y el ambiente se produce una reacción fisiológica inconsciente para compensarlo, el cual está representado por movimientos musculares en forma de temblor para calentar o de transpiración para enfriar.

Dicho trabajo tiene un costo en los sistemas fisiológicos encargados de controlar las funciones del organismo y en caso de ser persistente se genera un desgaste que hace que se presente el estrés en los individuos y un profundo cansancio físico (Moser, 2011).

El estrés está definido como “el conjunto de los procesos implementados a través de la excitación neurovegetativa producida por una estimulación ambiental” (Moser, 2011) y puede percibirse de manera consciente con lo cual el individuo afectado puede expresarse cognitivamente o puede percibirse de manera inconsciente en cuyo caso el individuo actuará de forma desorganizada automáticamente.

Un ambiente saludable que no presuponga un gasto cognitivo por discomfort ayuda a formar mentes saludables más tolerantes al “ensayo y error” y por ende mejores en la resolución de problemas.

Los factores anteriormente mencionados han sido identificados previamente por pedagogos que crearon metodologías educativas alternativas enfocadas en una

escuela para el *ser humano* moderno que buscaba una mejor educación para sus hijos.

Estas metodologías formaron el movimiento de la Escuela Nueva la cual propone estrategias para acompañar el desarrollo de las niñas, niños y jóvenes por medio de procesos pedagógicos enfocados en las capacidades tanto físicas como emocionales e intelectuales de los estudiantes, y de ambientes académicos diseñados y contruidos bajo las necesidades integrales de estos.

Con todo lo anterior, el presente trabajo de tesis adopta los postulados de la Escuela Nueva en términos del espacio construido para diseñar un edificio capaz de proveer confort térmico y óptimas condiciones ambientales que impulsen la formación y brinden bienestar principalmente a niñas, niños y jóvenes, teniendo en cuenta que son mucho más vulnerables a los estímulos generadores de estrés que los adultos (Falk & Dotan), pero también a maestros y funcionarios.

Objetivo general

Diseñar una propuesta arquitectónica para un edificio escolar público en la ciudad de Cali, donde se garantice el confort ambiental de sus usuarios por medio de estrategias pasivas de la arquitectura bioclimática y los postulados de la Escuela Nueva con la finalidad de aportar a la salud física y mental y al desarrollo físico, emocional e intelectual de los estudiantes.

Objetivos específicos

- Elaborar un análisis de contexto para establecer la implantación y orientación de los edificios.
- Elaborar un programa de necesidades para una escuela Waldorf (Escuela Nueva) pública en la ciudad de Cali.
- Proponer estrategias de bajo impacto ambiental que generen confort y que aporten a la mitigación del cambio climático.

- Establecer una configuración espacial de las aulas de clase de una escuela Waldorf según las etapas de desarrollo de las niñas, niños y jóvenes.
- Realizar pruebas de eficiencia sobre modelos digitales del diseño arquitectónico y bioclimático.

Alcances

El presente trabajo de tesis se enfoca en proyectar un edificio a nivel de esquema básico para una escuela pública de pedagogía de “Nueva Escuela”, específicamente la pedagogía Waldorf, en el oriente de la ciudad de Cali para una población de niñas, niños y jóvenes de entre 7 y 18/19 años con énfasis en el diseño bioclimático de los diversos tipos de aulas, por ser los espacios de mayor utilización y permanencia.

Las condiciones climáticas son propias de la ciudad de Cali y las microclimáticas son las del barrio Brisas del Limonar para las cuales se utilizarán los reportes de la estación climática ubicada en la Universidad del Valle.

Metodología

Todos los proyectos arquitectónicos parten de una investigación mixta en la que datos cualitativos y cuantitativos son igual de importantes. En general la arquitectura se estructura teniendo en cuenta una serie de parámetros cuantitativos que garantizan funcionalidad y unos parámetros cualitativos que parten de las características únicas de cada población con la que se trabaja; son estos últimos los que brindan calidad espacial y belleza. Así pues, el presente trabajo de tesis emplea un método mixto para la formulación del proyecto.

Partiendo de una vasta investigación se desarrolló un colegio ubicado al oriente de la ciudad de Cali, sobre el tramo 4 del proyecto del corredor verde; el “Edificio escolar diseñado bajo parámetros de confort térmico y Escuela Nueva” se concibe en un contexto social, político y climático de gran importancia a nivel nacional e

internacional y pretende ser un punto de partida para diseños futuros más concienzudos de edificios escolares que sean capaces de enfrentar con éxito la renovación social y que sean de bajo impacto para el medio ambiente.

Las etapas del proceso metodológico se desarrollaron de la siguiente manera:

Planteamiento del Proyecto de Investigación

Definido el tema se realizó el planteamiento del problema, justificación, se elaboró el árbol del problema y de objetivos; objetivo general, objetivos específicos; estado del arte (marco teórico, marco normativo).

Para el estado del arte se acopio información sobre la Escuela Nueva y la pedagogía Waldorf; el manejo histórico de la educación y las regulaciones antiguas y presentes para la construcción de escuelas en el marco político institucional.

Se trabajó con citas y estadísticas de la población de Cali suministradas por la Alcaldía.

Se consultaron estudios de casos locales e internacionales.

A las investigaciones anteriores se sumaron otras sobre los parámetros humanos de la pedagogía Waldorf, arquitectura antroposófica (la arquitectura de la pedagogía Waldorf), ergonomía, antropometría, estresores ambientales, diferencias fisiológicas entre niñas, niños y adultos y rendimiento escolar.

El marco normativo fue parte fundamental de la creación del programa y diseño general del proyecto tanto en su parte urbana como arquitectónica.

Este estuvo integrado por las siguientes normativas:

- NTC 4595, 4349, 4143, 4145, 4140 y 1461.
- Estándar Ashrae 55.
- Guía práctica de accesibilidad.
- Cartilla de andenes de Bogotá.
- Capítulo K de la NSR-10.
- Reglamento Retilap.

Definición de área de intervención

La siguiente fase del proyecto fue definir la ubicación por medio de un análisis urbano haciendo uso de las cifras de la ciudad para definir zonas con déficit de escuelas.

Se observó que los grandes equipamientos educativos se concentran hacia el occidente y sur de la ciudad dejando hacia el oriente escuelas pequeñas y puntos satélite de escuelas oficiales que como ya se ha dicho reportan áreas insuficientes o edificios deteriorados.

Se realizó un análisis de sistemas estructurantes con los planos del POT del 2014 con énfasis en el oriente de la ciudad.

Análisis de Aspectos Naturales y Antrópicos

Se evaluaron los planos de riesgo por inundación, riesgo por licuación o corrimiento lateral por sismos, estructura ecológica principal y complementaria, red de espacio público y las vías tanto presentes como futuras para peatones, bicicletas, transportes públicos masivos y automóviles.

También se estudiaron los equipamientos públicos existentes, tanto educativos como deportivos, con lo que se empezaron a plantear las intenciones urbanas del proyecto.

Así mismos, se tuvo en cuenta cuáles de estos equipamientos se quieren consolidar con el POT y cuáles pueden modificarse y/o complementarse como también las zonas que se destinaron para equipamientos de carácter público.

Definición de Población Estudiantil

Con base en los postulados de la pedagogía Waldorf se realizaron los cálculos correspondientes de población estudiantil para cruzarlos con la información obtenida en el marco normativo y definir áreas de ambientes académicos, áreas administrativas, número de aparatos sanitarios, número de puestos de parqueos, etc.

El pensum de la institución se estructuró teniendo en cuenta el del colegio Waldorf Luis Horacio Gómez de la ciudad de Cali, el cual funciona hace varias décadas en concordancia con los requerimientos del MEN.

A partir de este pensum se desarrolló el programa de necesidades del conjunto arquitectónico.

Diseño urbano y arquitectónico

Habiendo definido el lugar de implantación del proyecto (ver capítulo de resultados) se empezó por los estructurantes urbanos para definir los flujos de aproximación y establecer un acceso idóneo tanto para peatones y bicicletas (o similares) como para buses y automóviles.

Se determinó que se diseñarían dos edificios con carácter público-privado para el uso conjunto con la comunidad.

Estos edificios se implantaron hacia la entrada principal del proyecto para facilitar su acceso.

El conjunto de aulas se diseñó de forma que todas estuvieran alejadas de los límites del lote para generar barreras naturales, pero no del todo juntas para poder disponer también de zonas verdes y lúdicas al interior.

Para la orientación de los edificios que componen el conjunto del colegio se tuvo en cuenta la incidencia del sol de forma general sobre el lote.

De esta manera se distribuyó el proyecto disponiendo de los edificios que se utilizan en la mañana hacia donde incide más el sol de la tarde y los edificios que se utilizan en la tarde hacia donde índice más el sol de la mañana.

Cálculos y simulaciones

En la fase de diseño arquitectónico se desarrollaron 4 aulas tipo de las cuales se evaluaron las que tuvieran más de una fachada y su cubierta expuesta a la radiación directa del sol por lo cual se evaluaron las aulas tipo 1, 2 y 4.

Primero se evaluó la carga térmica total teniendo en cuenta la orientación de cada aula y la temperatura máxima media registrada en un año promedio en Cali.

Para este proceso se contó con la ayuda del software de carga térmica desarrollado por el ingeniero Alejandro Macías y los datos registrados por la estación ambiental de la Universidad del Valle.

Con esta información se desarrollaron una serie de ecuaciones matemáticas para determinar la temperatura interna y la necesidad de estrategias de mitigación.

Se analizó la incidencia solar por medio de cálculos manuales con las plantillas solares del arquitecto bioclimático Iván Osuna para esbozar elementos de protección y se llevaron a cabo cálculos de iluminación natural y ventilación natural para diseñar las fachadas y garantizar condiciones de salud y confort.

Ajustes al diseño y reevaluación

Para llegar a una propuesta arquitectónica que arrojara resultados positivos de confort fue necesario diseñar y evaluar un primer esquema para identificar los éxitos y las falencias.

En el primer esquema las 3 aulas tipo evaluadas presentaron temperaturas internas por encima de los 30°C.

Esto hizo necesario la implementación de diferentes estrategias de mitigación.

Para la protección de radiación solar directa se diseñaron marquesinas y muros calados para las fachadas de presión positiva del aire.

Para disminuir la temperatura interna se implementaron muros dobles con barreras radiantes. Aquí fueron necesarias varias evaluaciones para definir la distancia entre muros.

Para mejorar la ventilación natural se aumentaron los vanos y se diseñaron chimeneas solares.

Luego de dicho ajuste se repitieron los cálculos y simulaciones con lo que se llegó finalmente a resultados de confort satisfactorios².

Marco histórico

Educación en Colombia

Introducción.

Conocer cómo se desarrolló la escuela a lo largo de la historia podría iluminar un poco el camino hacia la intención de resolver los estándares de la educación en Colombia.

Parecería excesivo rastrear los inicios de la escuela para dicho propósito, pero como se verá más adelante, la relación del espacio donde se imparten las clases y el rendimiento y aprendizaje de las niñas, niños y jóvenes no es despreciable, y así, entender la forma en la cual se instituyó la escuela en el país se vuelve importante.

La escuela se originó en el momento en que un hombre, que no sabía que era maestro, se reunió bajo un árbol a discutir sus conocimientos con otros

² Ver capítulo de resultados.

hombres que no sabían que eran alumnos. Los alumnos aprendieron y desearon parecerse a su maestro. También quisieron instruir a sus hijos. A tal efecto se creó un espacio adecuado y allí surgió la escuela. (Louis Kahn) (Benavides, 2007)

Fue en las primeras grandes civilizaciones donde empezaron a aparecer grupos de personas constituidos por un maestro y numerosos estudiantes, quienes hacían uso de las plazas y jardines públicos en su ansiosa búsqueda de conocimiento. Egipto y Mesopotamia fueron las primeras abriéndole paso a Roma y Grecia quienes evolucionaron dichos espacios y construyeron nuevos recintos donde se formalizó la enseñanza.

En principio se utilizaban las ágoras, los pórticos, los jardines, las palestras y el gimnasio para dichas reuniones donde “la cultura se volvía socialmente responsable y conectada a un sistema moral que era en sí autocrítico y racional” (Benavides, 2007). De esta manera se dio origen a una escuela.

Posteriormente, del ágora se pasó al foro y de los gimnasios a las termas y así los edificios donde se compartía el conocimiento fueron adquiriendo jerarquía y se convirtieron en un símbolo de prestigio ciudadano.

Años más tardes y con la caída del imperio Romano, la educación quedó en manos de la iglesia y se tiñó de inspiración religiosa. No fue sino hasta la edad media cuando los servicios de educación se instalaron en los claustros de las abadías, conventos y monasterios a falta de recintos específicos para educar, dando origen a la tipología de atrio que se replicó por muchos años en la arquitectura educativa.

El claustro fue modificándose posteriormente con la aparición de nuevas formas de educar hacia el siglo XVIII dando paso a las primeras escuelas del sistema lancasteriano.

Dicho sistema nace a raíz de la necesidad obrera de la revolución industrial, no era precisamente necesario que los estudiantes fueran altamente instruidos y la demanda de mano de obra era urgente, por lo cual se desarrolló un modelo escolar

compuesto por grandes aulas de “enseñanza mutua” donde cabían centenares de estudiantes buscando la eficiencia en la divulgación de saberes.

Para el siglo XIX, con la Revolución Francesa, se dieron las primeras escuelas públicas obedeciendo al espíritu de igualdad y libertad de la época. Se dijo por primera vez que “La educación debe ser gratuita, literaria, intelectual, física, moral e industrial” (Benavides, 2007) dando como resultado los primeros edificios que sin obedecer a ninguna corriente religiosa se levantaron exclusivamente con el propósito de enseñar.

Para finales del siglo XIX se dieron los “cuarteles escolares”; conocidos por su arquitectura compacta e imponente, compuesta por un corredor central ordenando aulas de clase a ambos lados en forma de doble crujía. En estos espacios se separaban a los estudiantes por niveles de conocimiento y se limitaba el número de niños por salón, haciendo que fuera un tanto más efectiva la impartición de conocimiento, pero deterioró las condiciones ambientales que fueron un inconveniente más adelante.

Luego de la primera guerra mundial diversos psicólogos y pedagogos se plantearon una pedagogía para el hombre moderno que veía el mundo de una forma renovada con la intención de mejorarlo. Surgieron propuestas novedosas bajo el movimiento de la Escuela Nueva que revolucionó, al menos en su círculo de influencia, la manera en que se le enseña a las niñas, niños y jóvenes. (Carlgren, Una educación hacia la libertad. La pedagogía de Rudolf Steiner, 1972)

Independientemente del momento histórico, los seres humanos siempre han manifestado la necesidad de adquirir conocimientos nuevos, ya sea en los espacios públicos, en medio de la naturaleza, en atrios o en escuelas; el aula siempre ha sido fundamental.

De este modo ha buscado en medio de la ciudad, un lugar propicio para ello y así se han ido desarrollando pedagogías y estrategias para la calidad de sus espacios.

La Escuela Nueva.

Fueron pedagogos como Ovide Decroly, Jean Piaget, Rudolf Steiner, María Montessori, John Dewey, entre otros, quienes a principios del siglo XX buscando romper con la educación tradicional que funcionaba de manera lineal donde el estudiante debía estar concentrado exclusivamente en su profesor y el tablero, empezaron a desarrollar una pedagogía diferente en la cual se hiciera un acompañamiento a las niñas y niños en su desarrollo no solamente intelectual sino también psicológico y anímico.

A este movimiento se le conoce como Escuela nueva o Escuela activa y considera que las niñas, niños y jóvenes debe respetárseles los momentos graduales de desarrollo.

Dicha pedagogía obligó a la arquitectura a desarrollar espacios innovadores que no seguían los estructurantes de la arquitectura educativa tradicional y la hizo explorar campos en los que la funcionalidad de la arquitectura y la subjetividad de las necesidades que surgen de sus habitantes no solo iban de la mano, sino que se componían la una a la otra.

Como lo dijo Rafael Maldonado en su libro “Historia de la arquitectura escolar en Colombia”: “La Escuela Nueva estableció grandes diferencias en el diseño arquitectónico de la escuela elemental y planteó la necesidad de buenas aulas, restaurantes escolares, bibliotecas, laboratorios de psicología y colonias de vacaciones” (1999, P.95).

De esta manera, la organización espacial y arquitectónica de las escuelas se fue volviendo más compleja y edificios como la biblioteca, los restaurantes, las baterías sanitarias y en especial el aula de clase empezaron a exigir mayor atención.

Se centró entonces la arquitectura en el niño y las “condiciones de higiene, iluminación (...) y ventilación” (Benavides, 2007) y demás parámetros que influyen directamente sobre el hábitat y desarrollo de las niñas y niños fueron acatadas con especial cuidado dando inicio a las primeras intenciones de confort en la escuela para mejorar y potencializar la educación.

Así también y gracias a que la Escuela Nueva consideraba que el niño debía aislarse en la naturaleza, los salones empezaron a diseñarse a su escala y ergonomía específica haciendo que por primera vez fuera posible que los niños miraran por la ventana al hacer menor la altura del antepecho, o que cada salón tuviera una gran puerta trasera que condujera a un jardín o a un bosque creando así lo que a algunos arquitectos de la época les gustaba llamar “viviendas escolares”, ya que el aula garante de sus condiciones ambientales y de su contexto natural era con mayor ahínco el segundo hogar de los estudiantes, quienes encontraban en su aula un espacio privado familiar donde podían jugar, explorar, sentirse a gusto y de esta manera aprender mejor.

Fueron muchos los edificios escolares que se edificaron experimentando con las nuevas exigencias de la Escuela Nueva en Europa para años más tarde aparecer en Estados Unidos y Latinoamérica al descubrirse las ventajas de una educación más humana y que parecía estar presentando mejores resultados en los estudiantes.

Arquitectos como Richard Neutra, Hannes Meyer, Jacob Wittwer, Herman Hertzberger, Hans Scharoun entre muchos otros, fueron los primeros en levantar novedosas propuestas arquitectónicas consecuentes con este nuevo modelo más activo y participativo de educación.

El movimiento llegó a Colombia oficialmente a finales de la década del 80 más que todo para las zonas rurales del país; “Escuela nueva ha tenido un impacto muy grande en comunidades y se ha demostrado que los niños aprenden mejor con este

modelo, que se centra en el niños, es flexible y trabaja en multigrado” (El Tiempo, 2007).

En un intento por proveer una educación por módulos que pudiera adaptarse a las temporadas de producción de la agricultura y trabajos del campo se fusionaron los principios más básicos de la Escuela Nueva con el modelo tradicional de educación como ha sido manejado por el ministerio de educación.

En la ciudad de Cali, un grupo de estudiantes empezó a gestar el sueño de una escuela privada que con independencia pudiera poner en marcha una educación diferente para la población caleña.

Contando con la ayuda de un privado, el señor Don Luis Horacio Gómez quien donó el terreno para la construcción de la institución, estos jóvenes maestros adoptaron la metodología Waldorf fundamentada por el pedagogo Rudolf Steiner años atrás en Alemania y así, en 1977 se abrieron las puertas de lo que probablemente fue el primer colegio oficial de Escuela Nueva en la ciudad.

En esta institución se exploraron las determinantes arquitectónicas en la medida de las posibilidades del terreno y su contexto para construir espacios académicos acordes con los requerimientos de la pedagogía y la manera en la que los estudiantes debían tener contacto con la naturaleza.

Para hacer posible este proceso se contó con la colaboración de maestros Waldorf oficiales que viajaron desde Europa para educar a los maestros que estarían a cargo de la institución. Actividad que siguieron haciendo a manera de monitoreo durante varios años hasta la actualidad (Colegio Waldorf Luis Horacio Gomez , 2018).

El hábitat Escolar en Colombia.

Las primeras escuelas en Colombia fueron sin dudas las de los indígenas nativos de diferentes regiones del país que ya educaban a sus jóvenes las artes sociales, políticas y espirituales ancestrales en toda suerte de ambientes naturales como sus bosques o selvas, sus ríos o en sus recintos sagrados de reunión.

Posteriormente en la conquista, los españoles llegaron al territorio acompañados de grupos de religiosos católicos que venían a evangelizar a quienes ellos llamaban “indios” adoctrinándolos “en la fe católica y en la enseñanza del idioma español” (Arbeláez & Tellez, 2000).

En principio, este evento se llevaba a cabo en espacios abiertos tales como los atrios de las iglesias ya edificadas o en las plazas públicas, pero luego se hizo necesario un recinto específico para dicho propósito y para 1580 se estableció el primer colegio en Santafé.

De esta manera en Colombia empezaron a funcionar los primeros colegios dirigidos por la religión trayendo de Europa los edificios con tipología de atrio que ya sabían hacer y replicándolos en ciudades como Tunja, Cartagena y Popayán, además de Santafé y poco después en Cali.

Estos edificios, al igual que los domésticos, fueron implantados en Colombia de la misma manera que lo hacían en España, con casi las mismas dimensiones, con materiales similares y con la misma organización pues ya conocían todo el proceso constructivo y los costos que acarreaban (Tellez & Moure, 1982).

Ya para la época de la independencia, con mayor población infantil, Simón Bolívar y Francisco de Paula Santander importaron el sistema lancasteriano al país para construir la primera normal de enseñanza mutua en Capacho (Norte de Santander) en 1822 (Benavides, 2007), año en el que en Europa ya se habían empezado a estructurar nuevos y mejores modelos pedagógicos.

Con el pasar de los años, estos edificios copiados de España empezaron a presentar problemas de deterioro y especialmente en su interior la habitabilidad era indeseada debido a que las condiciones climáticas de América eran muy distintas. Así fue como el historiador Ricardo Carrasquilla los describió:

El local de la escuela constaba con dos partes: un corredor empedrado y sostenido por una enorme columna de piedra y una sala estrecha, ahumada, oscura y tan húmeda que la pared estaba cubierta hasta la altura de un metro

por una lama verde que producía un olor sumamente desagradable.
(Benavides, 2007)

Estas condiciones precarias de salubridad y confort en las escuelas, combinadas con el lema de la época de “La letra con sangre entra y la labor con dolor” con el que se castigaba a los estudiantes humillándolos y causándoles daño físico, dejan mucho que decir de la calidad de la educación en los primeros años de nuestra sociedad.

Posteriormente, el presidente Eustorgio Salgar expidió la ley del 23 de enero de 1872 por la cual se termina el sistema de educación Lancasteriana en Colombia (Benavides, 2007) y además se “declaró la educación pública gratuita, obligatoria y religiosamente neutral” (Maldonado R. , 1999).

Fue entonces a finales del siglo XIX cuando se empezó a incursionar incipientemente en el modelo de la Escuela Nueva al pasar del sistema Lancasteriano a los postulados más humanos del pedagogo suizo Johann Pestalozzi; pero si bien existía dicho interés por modificar y mejorar el modelo de educación desde la pedagogía, los edificios que se seguían utilizando eran los ya establecidos de tipología de atrio, pues esta tipología parecía estar grabada en el imaginario como sinónimo de institución educativa.

El gimnasio moderno de Bogotá fue el primer colegio que exploró la posibilidad de tener sus aulas de clase en relación directa con los espacios verdes exteriores.

El edificio como tal no desafía en gran medida la arquitectura tradicional de las instituciones, pero si permite una relación más humana del estudiante con su contexto natural y lo aísla de la ciudad en un campus que reúne los edificios hacia el centro permitiendo que alrededor se lleven a cabo actividades de deportes, actividades lúdicas y las actividades libres de juego, exploración e interacción con el medio natural que todo niño debe tener.

En 1961, habiéndose emitido en Ginebra- Suiza, una declaración oficial para la organización de escuelas unitarias rurales (Modelo de la Escuela Nueva), se desarrolló el Instituto Superior de Educación Rural (ISER) en Pamplona- Norte de Santander dentro del proyecto piloto de la UNESCO. Esta sería la primera experiencia de “Escuela Nueva” para zonas rurales en Colombia la cual se expandió a todo el territorio en 1967 por el Ministerio de Educación Nacional (MEN) gracias a que ofrecía un mejor escenario de modelo pedagógico teniendo en cuenta las condiciones del campo (Ministerio de educación nacional , 2009).

Según la oficina de planeación del Ministerio de Educación en el país existen cerca de 25.313 escuelas que implementan metodologías de la Escuela Nueva, con lo que se estima una población de 812.580 estudiantes (Ministerio de Educación Nacional, 2010).

La Escuela Nueva rural representa el 67% de las escuelas públicas del país (Vila, 2017) pero la situación de negligencia política y violencia que ha afectado al campo colombiano desde hace décadas deja a las escuelas unitarias sumidas en el abandono.

También existen escuelas privadas en las diferentes ciudades del país que implementan pedagogías de la Escuela Nueva.

En Cali, por ejemplo, escuelas como el Colegio Real Jean Piaget, Colegio Montessori, Colegio ideas, Colegio Cañaveral, Colegio Waldorf Luis Horacio Gómez entre otros han adoptado la pedagogía de la Escuela Nueva y reportan de manera efectiva al MEN.

La Pedagogía Waldorf en Cali.

Siguiendo el ánimo de implementar nuevas y mejores pedagogías, en Colombia empezaron a desarrollarse todo tipo de edificaciones nuevas que siguiendo los postulados de una educación activa y combinándolos con los inicios de la

arquitectura moderna produjeron edificios que mejoraban las condiciones de higiene y confort en alguna medida.

En la ciudad de Santiago de Cali, hacía finales de los 60, un grupo de estudiantes universitarios, con la determinación de establecer en la ciudad una pedagogía que abarcara la integralidad del ser de niñas, niños y jóvenes y los guiara de manera activa en su desarrollo intelectual, psicológico y emocional, recibió la ayuda de la fundación Luis Horacio Gómez, encabezada por su director Andrés Sevilla y su dueño el señor Don Luis Horacio Gómez quienes anhelaban retribuir a la población caleña el apoyo que habían brindado a la fundación haciéndola crecer a lo largo de los años.

La fundación cubriría todos los gastos que acarrearía estructurar una escuela con una pedagogía novedosa, educar a los maestros y construir los edificios.

La fundación se puso en contacto con el Maestro Waldorf Johannes Berlín Neubart, conocido en América Latina como Juan Berlín, quien viajó a la ciudad y que con sus traducciones de los libros del pedagogo Rudolf Steiner empezó el proceso de formación del grupo de maestros caleños en la Antroposofía y su aplicación en la metodología.

Desde 1972, año en el que iniciaron los seminarios de formación de maestros, hasta 1977 un primer grupo de estudiantes cuyos padres creían firmemente en una “pedagogía centrada en el Ser: que educa al Ser individual hacia la libertad interior y el mejoramiento constante de la inteligencia social, emocional y cognitiva” (Colegio Waldorf Luis Horacio Gomez , 2018) iniciaron actividades oficialmente en el colegio en su primera sede en el barrio Libertadores.

Posteriormente, la fundación dona unos terrenos de su propiedad a las afueras de la ciudad para que se inicien los procesos de construcción de una sede más grande y coherente con los postulados espaciales de la pedagogía.

El diseño y construcción del conjunto escolar estuvo a cargo del Arquitecto y Maestro Waldorf Enrique Castro quien elaboró un plan maestro para definir el crecimiento del conjunto y construyó las aulas de primaria y bachillerato.

El colegio Waldorf Luis Horacio Gómez logró graduar su primer grupo de bachilleres en 1992. Hoy en día, con el legado de Maestros como Walter Liebenthal, especialista en Eurytmia y juguetería Waldorf, las Maestras Carmenza Baena, Susana Rubio y Tomasa Rivas, el colegio sigue mejorando sus instalaciones y fortaleciendo su pedagogía para seguir sirviendo a la formación de seres integrales.

El Estado de la Educación Tradicional en Cali.

En las comunas del oriente se vienen presentando varias problemáticas en el sector de educación desde el 2005. Se ha registrado un aumento en la deserción escolar que ha significado una reducción en la cobertura educativa con lo que se ha frenado el desarrollo de infraestructura.

Según “Cali cómo vamos” durante el periodo escolar 2007-2008 se quedaron por fuera del sistema educativo un total de 80 mil niñas, niños y jóvenes en los diferentes niveles académicos (Cali cómo vamos , 2009).

Históricamente se han exigido mejoras en la calidad de la educación que se ofrece en las comunas del oriente de la ciudad por parte de sus habitantes (Consejo Ambiental, 2009) debido a que si bien una de las mayores causas de deserción escolar es la falta de recursos económicos varias encuestas reflejan que los y las jóvenes manifiestan que la escuela no los motiva.

Adicional a lo anterior, el hacinamiento, las condiciones precarias del espacio y el discomfort térmico son los factores causantes de los problemas de convivencia, el bajo rendimiento y posterior deserción de los estudiantes. Por lo general la mayoría de individuos no hacen un proceso consciente de los estímulos ambientales y no se percatan que están sufriendo de estrés por discomfort que no es provocado exclusivamente por el calor.

Los individuos, sean dominantes o no, establecen una relación íntima con su territorio que en una escuela está representado por su lugar de trabajo el cual tiende a ser el mismo. Cuando el espacio es saturado con más población de la proyectada inicialmente, los individuos se ven obligados a ceder su lugar y a desplazarse en el espacio de manera inestable. Esta situación indeseable o inadecuada “presenta una limitación para el individuo y puede provocar en él un sentimiento de pérdida de control” (Moser, 2011).

Dicha pérdida de control hace ver al espacio como un obstáculo que le impide al estudiante alcanzar las metas propuestas, ya sea terminar la tarea o atender la clase, y se traduce inmediatamente en estrés. Todo individuo bajo esta condición intenta recuperar el control lo que genera en él una reacción emocional en contra de las leyes propias del contexto, en este caso la escuela, lo que se conoce en psicología como reactancia y que puede entenderse como “rebeldía” o problemas de convivencia.

En cuanto al calor, las niñas y niños tienen una relación superficie corporal a masa más alta que los adultos lo que los hace producir más calor y se ha observado que generan un gasto cardíaco mayor cuando deben soportar estrés por calor (Falk & Dotan) por lo tanto se desgastan más rápido y en consecuencia se desconcentran con mayor facilidad.

La investigación titulada “CONFORT AMBIENTAL en escuelas públicas de Cali” llevada a cabo por la Arquitecta Verónica Iglesias G., y los Ingenieros Carlos A. Herrera y Miguel E. Rosillo, analizó cuatro escuelas públicas en la ciudad para evaluar sus condiciones ambientales y confort consecuente.

Las escuelas analizadas fueron las de Antonio Villavicencio en el corregimiento El Hormiguero, Incolballet (Sede Valle del Lili), Ciudad Córdoba y la institución Celmira Bueno de Orejuela, últimas tres dentro de los límites urbanos de la ciudad.

Las escuelas fueron analizadas desde dos frentes: por un lado se tomaron datos ambientales in situ como los de temperatura ambiente y radiante, humedad relativa,

iluminancia, ventilación natural y niveles sonoro, teniendo en cuenta el entorno inmediato de los edificios; y por otro lado se hizo una muestra de percepción por medio de una encuesta desarrollada por estudiantes y profesores por medio de la cual se establecería el índice de confort de Fanger³ teniendo en cuenta las actividades llevadas a cabo por los estudiantes y el tipo de vestimenta que usan. Esto último fue trabajo de observación de los investigadores.

Con equipos de medición climática (termo higrómetro, luxómetro, sonómetro y anemómetro) y con la información planimétrica de las escuelas, se tomaron datos en cuatro momentos del día (mañana y tarde) para nivel sonoro, humedad relativa, velocidad del aire y temperatura ambiente y radiante; y para iluminación natural y artificial se tomaron datos cada hora desde las 7:00 am hasta las 5:00 pm.

La investigación encontró niveles altos de temperatura y humedad en las aulas de clase en diferentes momentos del día que en ocasiones superaban los datos tomados en exteriores, en ocasiones debido a la falta de ventilación.

En cuanto a las superficies radiantes, en algunas escuelas se registraron temperaturas que alcanzaban los 48°C sobre las cubiertas y los 33°C sobre algunas paredes. Por otro lado, en casi todas las escuelas se registraron velocidades del aire nulas al interior de las aulas haciendo imposible la renovación del oxígeno y los niveles sonoros fueron mucho más altos que los permitidos por la norma (Ministerio de educación nacional , 2006).

Finalmente, los niveles lumínicos de las escuelas fueron apropiados solo en una, las otras dos reportaron niveles deficientes de iluminación o deslumbramiento.

³ El índice de confort de Fanger es un método de valoración del confort térmico que tiene entre sus factores no solo las condiciones típicas del ambiente como la temperatura ambiente y radiante, ventilación y humedad relativa, sino también el nivel de actividad (MET; calor metabólico) y las características del vestido (CLO) para establecer una zona de confort más compleja y exacta en la que al menos el 80% de las personas se manifiesten satisfechas (V, 1983)

Lo anterior muestra la importancia de conocer las condiciones ambientales y formular estrategias bioclimáticas efectivas en la planeación de edificios escolares en la etapa de diseño.

Marco teórico

Pedagogía Waldorf

Antroposofía.

La antroposofía es un método estructurado por el pedagogo y filósofo austriaco Rudolf Steiner quien la definió como “un camino de conocimiento que quisiera conducir lo espiritual en el ser humano a lo espiritual en el universo”. Steiner en 1902 expresó su interés por la investigación del alma del ser humano sobre una base científica y así se estructuró la antroposofía: “Antropos”, hombres, y “Sofía”, sabiduría.

De este modo, se pretende estudiar el *ser humano* y su mundo desde un punto de vista filosófico. Tanto espiritual como filosóficamente, la antroposofía busca una comprensión de los seres convirtiendo en conocimientos las diferentes etapas de desarrollo, las emociones, los temperamentos y toda suerte de comportamientos para así elaborar una manera efectiva de aproximarse a las necesidades humanas.

La antroposofía estudia al *ser humano* desde lo físico, lo emocional, lo vital, lo astral y lo espiritual y trata de resaltar el potencial de conocimiento que tiene desde el momento de su nacimiento.

Es así como la antroposofía comprende el proceso de autoeducación de las niñas y niños reconociendo los talentos que este descubre por sí mismo al tiempo crece.

Las niñas, niños y jóvenes educados bajo los principios de la antroposofía van entonces a tomar el sentido de su vida y a edificarlo de forma activa pues fueron educados de manera rítmica atendiendo con minuciosidad cada necesidad durante

las etapas de su desarrollo, aprovechando cada impulso interno para satisfacer curiosidades y dándoles las herramientas necesarias para que cada uno edifique estrategias para construir conocimientos propios.

Arquitectura Antroposófica.

La arquitectura antroposófica se deriva de los estudios y postulados de la antroposofía la cual brinda unos parámetros que pueden aplicarse de manera libre para implantar en todo el mundo edificios escolares que permiten la eficiencia de la pedagogía y la potencializan (Jimenez, 2009). Se van a aplicar tres principios en sus formas:

1. La arquitectura orgánica,
2. La bioconstrucción
3. La arquitectura bioclimática

Las escuelas de la pedagogía Waldorf construidas en Europa tratan en lo posible de utilizar materiales derivados de la naturaleza ya que estos resultan saludables y agradables a las personas; si bien el concreto no es directamente natural se utiliza con gran frecuencia con diferentes acabados ya que se comporta básicamente como la piedra, y los pisos y cielos se revisten en laminados de madera natural.

Lo anterior se debe a que para la pedagogía es muy importante que las niñas y niños estén en contacto directo con la calidez y suavidad que aportan estos materiales⁴.

Finalmente, de la bioclimática se toman las estrategias pasivas que buscan resolver problemáticas del clima desde la arquitectura misma sin hacer uso de soluciones mecánicas que generen un consumo eléctrico adicional. El aprovechamiento de la iluminación y ventilación natural y la protección de los rayos directos del sol son los principios básicos que usa la arquitectura bioclimática en la búsqueda del bienestar de sus habitantes.

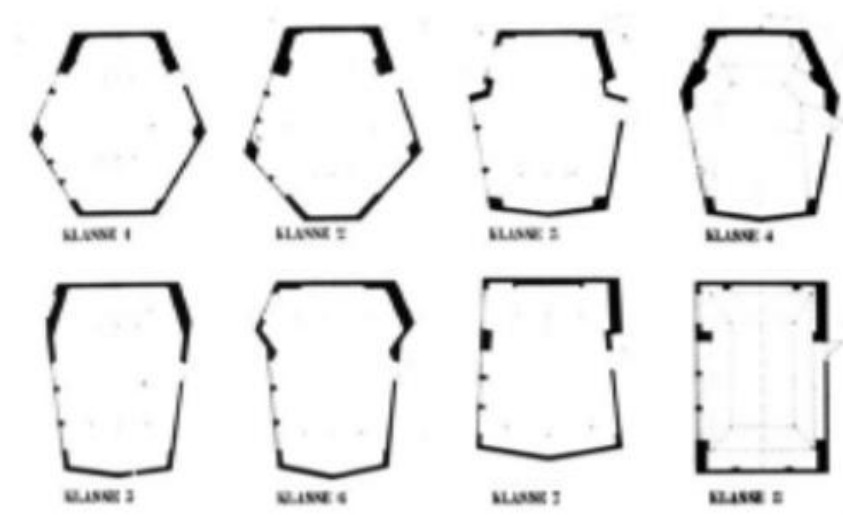
⁴ Otro ejemplo de esto son los juguetes que son hechos en variadas combinaciones entre madera, cueros, lanas y lienzos y que son elaborados por especialistas en juguetería Waldorf.

La pedagogía Waldorf dividió el desarrollo de las niñas y niños en periodos de 7 años llamado “septenios”. Cada periodo trae consigo características y necesidades diferentes y para ellos deben diseñarse diferentes tipos de aulas.

En términos generales, las aulas se ajustan de acuerdo a las necesidades propias de las niñas, niños y jóvenes que las habitan, pero comparten características similares. Independientemente del septenio al que obedezcan las aulas, todas deben tener contacto directo con la naturaleza, tanto físico como visual de manera ininterrumpida, por ejemplo.

En la figura 6, se pueden observar algunas formas adecuadas para las aulas y su transición del aula para el primer septenio orgánica y dinámica hasta el aula para el tercer septenio racional y práctica.

Figura 6. Tipos de aulas de la escuela Waldorf.



Nota: Fuente: Jiménez, Ángela M. (2009), “La Escuela Nueva y los espacios para educar”, Universidad del Valle, 2007.

La antroposofía establece ciertas necesidades que deben suplirse según el septenio que estén atravesando las niñas y niños y de acuerdo a esto han de establecerse los parámetros para las aulas, los edificios en general y sus alrededores.

Dichas necesidades van a ir evolucionando a medida que las niñas y niños crecen y su ambiente escolar debe evolucionar con ellos y ser capaz de solucionar cada

momento y necesidad nueva para crear en él o ella un proceso de apropiación armónica y libre de estrés.

La relación que existe entre individuo y su entorno debe tener en cuenta el factor del tiempo, de lo contrario su entendimiento no podrá ser completo. La psicología ambiental manifiesta que “la relación (del individuo) con el entorno no depende únicamente del ciclo de vida del individuo, sino también de la evolución de las necesidades” (Moser, 2011).

La siguiente tabla desarrollada por investigadores de la Universidad del Valle ofrece mayor claridad en dichos parámetros y como se traducen en espacio construido según los postulados de la pedagogía Waldorf y la arquitectura antroposófica: (Jimenez, 2009)

Tabla 1. Lineamientos para el diseño arquitectónico de colegios Waldorf.

Concepción pedagógica	Explicación	Arquitectura
Educación según septenios	Aulas y zonificación que se adapten a las necesidades particulares de cada septenio	
1.º septenio (0-7 años) Educar a través de la acción y la imitación	El niño aprende a través de la imitación y del hacer. El método de enseñanza se apoya en el juego libre y en seguir el ejemplo que le dan los adultos durante la realización de múltiples actividades	— Contacto directo con la naturaleza (libertad) — Espacios protectores — Empleo de formas orgánicas no exageradas — Espacios que generen lugares misteriosos, aptos para el juego — Construcciones que se conviertan en puntos de referencia para los alumnos — Espacios iluminados — Escalas adecuadas al tamaño del niño — Evitar el uso de formas monótonas
2.º septenio (7-14 años) Educar a través de la belleza, los ritmos y los sentimientos	A través del ritmo y el sentimiento, el joven asimila plenamente el conocimiento. Los métodos de enseñanza se basan en la repetición de versos y poemas, y en la comprensión de sucesos desde el sentimiento	— Arquitectura que produzca sentimientos — Edificio que invite a la acción, a explorar — Colores vivos, formas bellas — Movimiento, respiración, ritmo
3.º septenio (14-21 años) Educar a través del pensamiento	El ser está listo para el juicio crítico; por tanto, su forma de aprender es mediante el razonamiento	— Aulas que se adapten a clases magistrales — Generar espacios fuera de las aulas, que permitan la agrupación y el debate
Aspectos comunes a todos los septenios	Explicación	Arquitectura
Práctica del arte, del deporte y de la agricultura	Camino para alcanzar la conciencia, la disciplina y el conocimiento personal	Generar espacios para realizar prácticas propias del currículo Waldorf: agricultura, prácticas artísticas y deportivas
Euritmia y reunión semanal	Prácticas fundamentales de la pedagogía Waldorf	Salón de euritmia o de reunión, localizado en lugares de posición jerárquica

Nota: Fuente: Jiménez, Ángela M. (2009), "La Escuela Nueva y los espacios para educar", Universidad del Valle.

Referente Waldorf en Cali.

Como se había expuesto anteriormente el Colegio Waldorf Luis Horacio Gómez es el primer colegio que aplica oficialmente los postulados de la pedagogía Waldorf en la ciudad de Cali.

Este, se ubica a las afueras de la ciudad en un lote que cuenta con zonas verdes libres y se compone de 8 edificios y dos canchas múltiples para la actividad física y deportiva.

El colegio cuenta con talleres para actividades manuales, salas de música, sala de eurytmia, laboratorios, espacios adecuados para la agricultura, biblioteca, aula múltiple, cafetería y los espacios requeridos para administración y descanso de maestros.

Haciendo analogías entre la evolución de la fuerza de las pasiones de las niñas y niños y los colores, los salones de primaria se pintan de colores rojizos, el salón de quinto año que hace la transición entre la primaria y la secundaria se presenta de color verde y los salones de secundaria van desde los azules hasta los violetas.

Los talleres de manualidades como costura y tejido son espacios cálidos y controlados mientras que los talleres de torno, talla, modelado, escultura y forja son abiertos y muy ventilados para mitigar el calor metabólico que dichas actividades generan, así como también el polvo, ruido y gases u olores nocivos. La sala de eurytmia y aula múltiple cubren sus paredes y cielo con laminados de madera natural con formas orgánicas creando espacios estimulantes para que las niñas y niños de diferentes septenios se sientan inspirados a explorarlos.

Parte fundamental de las zonas verdes del colegio son las áreas destinadas a la clase de agricultura.

Existen 3 áreas distribuidas de manera estratégica para que tres grupos de diferentes edades contemporáneas entre ellas cultiven.

Se destina una porción de tierra a cada estudiante para que estos lo preparen para sembrar, cuiden de él y al final del año lectivo, si han tenido éxito, se pueda celebrar la cosecha en cada salón.

Sin embargo, el diseño y la construcción del colegio estuvieron influenciados por las interpretaciones del arquitecto encargado, quien además tenía conceptos propios que terminaron limitando algunos aspectos espaciales.

Las ventanas de las aulas, por ejemplo, son más altas de lo que deberían y no permiten el contacto visual con la naturaleza, mucho menos una ventilación efectiva.

Otros espacios fueron más afortunados que otros. La cafetería, la cual es una estructura construida mucho después de la apertura de la institución, es un espacio abierto en el cual se pierde la barrera entre *el afuera* y *el adentro*. Construida en guadua con una gran altura libre por donde entra de manera indirecta la luz natural, haciendo innecesario el uso de luminarias artificiales durante la totalidad de la jornada académica demostrando su compromiso con los principios de la arquitectura bioclimática.

El edificio cuenta con luminarias artificiales que se utilizan muy ocasionalmente en días atípicamente oscuros o en actividades extracurriculares.

El pre-escolar es un lugar especial en donde las niñas y niños no ven clases magistrales. Las maestras, casi como segundas madres, les enseñan asuntos más fundamentales: la voluntad, el orden y el respeto son algunas de las lecciones diarias y se imparten desde el juego y los quehaceres típicos de cada salón que recrea el ambiente típico de un hogar abogando al concepto de “Viviendas Escolares” del Arquitecto Hans Scharoun.

Los salones del pre-escolar están hechos a la medida de los niños del primer septenio, aquí la ergonomía y antropometría son protagonistas de espacios que solo pueden ser habitados por niñas y niños.

En contraste con el resto del colegio, este edificio se desarrolla en forma de caracol dejando en el centro un patio verde donde juegan juntos las niñas y niños durante los recreos y en los bordes exteriores se dan los patios internos de cada salón donde, contenidos por muros de bahareque, se aprovechan las horas del día para jugar con la tierra y admirar las plantas y ver como las maestras cultivan todo tipo de vegetales.

El colegio con sus limitaciones consigue constituir un hábitat garante de los postulados de la pedagogía Waldorf como primer ejercicio de implementación de la Escuela Nueva en una institución privada.

Arquitectura, Confort Ambiental y Rendimiento Académico.

Todos los edificios nacen de una necesidad o función primordial.

La función más allá de ser una limitante es una guía para componer la espacialidad.

Un hospital debe ayudar a la pronta recuperación de los pacientes y a un correcto funcionamiento y desplazamiento eficiente del cuerpo médico, y con esas intenciones se desarrollan estructurantes espaciales. Lo mismo pasa con aeropuertos, centros comerciales, edificios de culto, etc.

En la escuela la necesidad primordial es el aprendizaje de las niñas, niños y jóvenes y su bienestar y aunque eso dependa de varios factores, cómo la calidad de la formación de los maestros, la metodología que se aplica, la forma en cómo se evalúa el aprendizaje y demás, la calidad ambiental es fundamental.

Cuando se cuenta con un ambiente académico confortable, sin estresores ambientales, toda la capacidad cognitiva puede ser utilizada en atender las lecciones en vez de ocuparse de mantener el cuerpo alerta.

El esfuerzo cognitivo de prestar atención en clase por encima de estresores ambientales genera cansancio físico, enfermedades psicosomáticas y entorpece el aprendizaje.

La psicología ambiental ha estudiado la relación individuo-ambiente en conjunto con arquitectos, urbanistas y pedagogos para entender las respuestas de los individuos ante las características del ambiente en términos tanto positivos como negativos.

Psicología Ambiental.

En sus inicios, la psicología ambiental estaba ligada a la psicología social en la medida en que ambas disciplinas estudian el comportamiento humano en su medio físico y social. Sin embargo, la psicología ambiental reemplazó a la social y se impuso oficialmente a principios de los años 70 principalmente en los países anglosajones.

Los estudios psicológicos del comportamiento humano se acercaron a la arquitectura a principios de 1950, cuando durante la post guerra, los arquitectos buscaban la manera más eficiente de brindar vivienda a la mayor cantidad de personas como fuera posible, al mismo tiempo que los psicólogos intentaban recuperar el estado mental de las mismas.

En psicología ambiental (y más allá) asistimos a un debate sobre el lugar de **lo ambiental** (medio natural y construido) en la experiencias humana: su rol en la evolución humana, su influencia en la organización cognitiva, su determinación biológica, su injerencia en las relaciones sociales, las formas de poder, la producción y de intercambio. (Moser, 2011)

La manera de evaluar como el medio influencia a las personas y generar estrategias activas, tiene varios métodos y varias escalas de aplicación. Se puede medir el comportamiento a nivel local (casa y ciudad), regional (departamento y país) y global. Los métodos son:

- **Cuestionarios** que apunten a describir los comportamientos y acumular datos sobre la percepción de las personas, sus opiniones, actitudes y creencias.
- **Experimentos de laboratorio**, los cuales se hacen en ambientes artificiales controlados por quienes dirigen el experimento.
- **Simulación por computador**. Estos métodos se utilizan cuando se requiere estudiar a miles de personas en ambientes extremos artificiales, como vivir debajo del agua o en otros planetas.
- **Estudios de campo** desarrollados sobre el ambiente real de las personas evaluadas.
- **Estudios de caso** que se aplican cuando es necesario reducir una investigación amplia a un solo caso singular. Como por ejemplo, cuando se van a tomar decisiones sobre un barrio en particular, solo se analiza a las personas que lo habitan en sus propias casas (Steg, Berg, & Groot, 2012).

Es pertinente mencionar, que todos estos métodos de investigación de la psicología ambiental contienen aspectos claves: percepción del peligro, estrés medio ambiental, experiencia natural, efectos saludables de la naturaleza, arquitectura, calidad urbano-ambiental, condiciones ambientales para la calidad de vida y efectos del contexto en el comportamiento.

Por medio de la psicología ambiental se ha logrado demostrar que las actividades humanas que se llevan a cabo en entornos específicos, ya sean naturales o contruidos, hacen que los individuos se comporten de maneras distintas dependiendo de cómo los perciban (Goffmann 1973). Por tanto, la relación que existe entre individuo y entorno es compleja y compete tanto al individuo como al entorno en sí; dicha reciprocidad hace que el individuo se comporte con actitud positiva frente al entorno si éste se lo permite o con hostilidad si el entorno es percibido como nocivo.

“Un entorno indeseable o inadecuado presenta una limitación para el individuo y puede provocar en él un sentimiento de pérdida de control” (Moser, 2011).

Existen ciertos estímulos que hacen que un entorno sea percibido como indeseable o inadecuado; estímulos negativos como la densidad y el ruido (Glass y Singer, 1972; Cohen y Weinstein, 1982), la contaminación del aire (Evans, Jacobs y Frager, 1982) y el calor (Bell y Geene, 1982) (Moser, 2011).

La manifestación de cualquiera de los estímulos mencionados es lo que hace que un individuo se sienta indefenso ante su entorno y cuando se genera en él el sentimiento de pérdida de control, inevitablemente se manifiesta el estrés.

Causas de Estrés por discomfort Ambiental.

Moser ha definido el estrés como el conjunto de los procesos implementados a través de la excitación neurovegetativa producida por un estímulo ambiental;

Todo estímulo desata un proceso de regulación en el individuo el cual va a intentar

retomar el control de la situación (2011, P.29). Este proceso es una actividad cognitiva del individuo y se puede dar de manera consciente o inconsciente y hará que éste se comporte de manera desordenada.

los estímulos ambientales producen una actividad neurovegetativa (...) En el caso de una excitación débil o insignificante, se evidencian reacciones automáticas adaptativas. Estas son reacciones psicomotrices de las cuales el individuo, la mayor parte del tiempo, no es consciente. Por tanto, se puede observar una disminución de la atención, una reducción del contacto visual y de la distancia interpersonal (Moser, 2011)

Ahora, las personas por lo general tienen la capacidad de adaptarse a las condiciones del ambiente siempre y cuando puedan reconocer el estímulo que genera discomfort y saber que dicha situación eventualmente desaparece; tener o creer que se tiene el control de la situación es fundamental para mitigar el estímulo estresante. Pero este proceso adaptativo tiene un costo para el cuerpo humano ya que le exige seguir con sus tareas mientras sopesa la presencia del estímulo y es así como se presenta la fatiga cognitiva (Glass y Singer, 1972; Cohen, 1978; Cohen, Evans, Krantz y Stokols, 1980).

Los estímulos que generan estrés por discomfort presentes en la escuela son el calor que involucra la humedad y la falta de ventilación, contaminación por las malas condiciones del aire por falta de ventilación, el ruido, la iluminación (sea insuficiente o excesiva) y el hacinamiento.

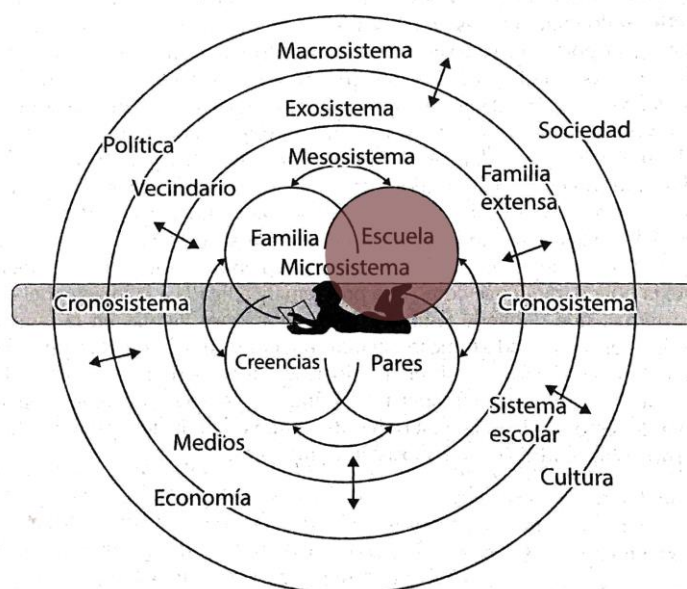
Dichos estímulos hacen parecer al espacio habitado como un obstáculo que impide cumplir la meta marcada, en el caso de la escuela es aprender.

Lo anterior es de vital importancia, pues es ampliamente reconocido por varias investigaciones (Moser, 2011) (Iglesias, Herrera, & Rosillo, 2016) (Carlgren, Una educación hacia la libertad. La pedagogía de Rudolf Steiner., 1989) (Benavides, 2007) (Jimenez, 2009) (Rittelmeyer, 2005)) que la escuela es el espacio que va a

definir las actitudes del niño frente a la vida ya que es ahí, en la escuela, donde pasa la mayor parte de sus días.

Para Bronfenbrenner (1979) (figura 7) la escuela está posicionada dentro del *Microsistema*, el cual tiene una influencia directa sobre el individuo no despreciable pues se compone de espacios y personas cercanas que irán a determinar el desarrollo de las niñas, niños y jóvenes.

Figura 7. Modelo ecológico de Bronfenbrenner.



Nota: Fuente: "Psicología ambiental. Aspectos de las relaciones individuo-medioambiente". Moser 2011, p. 43

Estos dos espacios fundamentales en el *Microsistema*, el hogar y la escuela, son lugares en los cuales las niñas y niños van a tener sus primeras interacciones con el medio físico y social.

La escuela, tanto como el hogar, tiene características estimulantes que llevarán a niñas y niños a la curiosidad, al descubrimiento por experiencia y van a empezar a despertar en ellos un sentimiento de interés por los saberes del universo.

Pero estas experiencias, de no ser guiadas cuidadosamente pueden tener un efecto contrario de frustración y abandono frente a la formación académica (Carlgren, Una educación hacia la libertad. La pedagogía de Rudolf Steiner, 1972)

En términos generales, los estímulos generadores de discomfort derivan todos en una serie de dificultades para niñas y niños en la escuela que les hacen más difícil el proceso de aprendizaje.

Para que se genere estrés el individuo ha de evaluar las condiciones ambientales del espacio que habita e identificar que éstas no pueden ser modificadas por él, lo cual activa el sentimiento de “pérdida de control” y le hacen sentir que él no tiene la capacidad para enfrentarlos. Si dichos estímulos son persistentes día a día la niña o niño va a empezar a sentirse indefenso de manera constante y va a señalar al espacio, en este caso el aula de clases, como el obstáculo principal que le impide prestar atención y aprender (Moser, 2011).

Normalmente las personas en condiciones regulares, manejan estados de excitación cerebral moderados que los hace funcionales en sus tareas cotidianas. En un aula de clase, cuando los niveles de excitación son muy bajos, las niñas y niños se dispersan y se disponen a jugar o a llevar a cabo actividades menores que se identifican como desatención; pero cuando se presentan estímulos que aumenten en demasía dicha excitación las niñas y niños pierden el control sobre las actividades propuestas y se desconcentran con mayor rapidez, ya que el proceso de adaptación automático que se genera desechará las actividades de menor prioridad en el momento en el que se presenta el estímulo para hacerle frente (Moser, 2011).

En palabras del psicólogo Sheldon Cohen: “los individuos que estén expuestos a estímulos incontrolables persisten menos en las tareas cognitivas que requieran cierta tolerancia a la frustración” (Moser, 2011, P.24)

Tareas complejas que requieran de un proceso de *ensayo y error* como las operaciones matemáticas, se convertirán en actividades frustrantes y desagradables para las niñas y niños que se vean obligados a habitar aulas de clases con condiciones precarias de confort ambiental. La actitud con la cual reaccione cada estudiante dependerá de su personalidad y de la manera en la que perciba los estímulos dañinos del ambiente.

La adaptación a un medio que no satisface las aspiraciones de una persona será **pasiva** si esta analiza sus posibilidades, se adapta a la situación y ajusta sus esquema de aspiración, o **activa** si la persona transforma su entorno para aproximarle a su ideal (Moser, 2011)

Lo anterior representa un inconveniente ya que en la escuela las niñas, niños y jóvenes no tienen la capacidad de modificar significativamente su entorno, y no resulta ideal que el “esquema de aspiración” de una escuela como *el aprender* sea abandonado en la búsqueda del confort.

Las niñas y niños son más susceptibles anímicamente a los estímulos ambientales (Carlgren, Una educación hacia la libertad. La pedagogía de Rudolf Steiner, 1972) pero también hay diferencias fisiológicas que van a determinar cómo se adaptan las niñas y niños a un espacio cualquiera.

La medicina ha investigado estas diferencias fisiológicas y ha observado que las niñas y niños son mucho más sensibles a las condiciones climáticas y ambientales debido a su relación superficie corporal a masa es más alta que la de los adultos⁵. Las condiciones morfológicas, metabólicas y cardiovasculares son mucho más complejas en niñas y niños no solo para la producción de calor (calor metabólico) sino también para su disipación.

El cuerpo humano pierde calor por convección/ventilación o por evaporación/sudoración.

En el caso de la evaporación, cuando la piel percibe que no se está disipando tanto calor como el que se está absorbiendo activa una reacción cognitiva gracias al sistema nervioso que da la orden a los poros de la piel de distenderse y a las glándulas sudoríparas de secretar; si la humedad relativa del ambiente no es muy alta, éste puede evaporar y absorber la humedad de la piel, es decir el sudor, eliminando la carga térmica que está generando discomfort.

⁵ “un adulto de 175 cm de altura y 70 kg tendría una superficie corporal de $\sim 1.85 \text{ m}^2$, mientras que un niño de 130 cm de altura y 35 kg tendría una superficie de solo $\sim 1.11 \text{ m}^2$ ” (Falk & Dotan)

Sin embargo, en niñas y niños el proceso de transpiración es notoriamente diferente al de los adultos debido a varios factores de los cuales participan todas las diferencias morfológicas, metabólicas y cardiovasculares. Por un lado, la locomoción en niñas y niños es más “costosa” energéticamente y su relación *área superficie de piel/masa* hace que absorban mucho más calor; y por el otro, la disipación de calor en niñas y niños no parece depender de la transpiración.

Se han comprobado tasas de sudoración más bajas en niñas y niños en comparación con adultos que sugieren que el flujo de calor en los niños en condiciones ambientales suaves o medianamente cálidas depende más de la convección (Falk & Dotan).

En términos generales, el confort está relacionado con los sentimientos, la percepción y el estado de ánimo (Moser, 2011), lo cual lo hace completamente subjetivo y difícil de estudiar.

Todos los individuos percibirán de manera diferente los estímulos ambientales y determinarán si se encuentran en confort o no.

Para efectos prácticos de aplicación, normas como la ISO 7730, la ASHRAE o métodos como el de Fanger, han determinado rangos de temperatura de confort dependiendo de la región geográfica y cierto porcentaje de satisfacción a la hora de determinar confort por medio de la percepción.

Para nuestra región, tropical, se ha dicho que las personas se reportan confortables entre los 24°C y los 27°C y que un aproximado del 20% de personas insatisfechas es aceptable para la implementación de estrategias pasivas en la búsqueda del confort.

Sin embargo, diversas investigaciones (Kwok & Chun, Science Direct, 2003), (Wong & Khoo, 2002), (Kwok, Reardon, & Brown, 1998) en escuelas construidas en climas tropicales han concluido que ninguno de los salones se encuentra dentro de los parámetros de la ASHRAE 55 y que pese a esto las personas se reportaban en

confort en ambientes ventilados naturalmente durante el verano en rangos de temperatura de 28° y 29° , muy superiores a los considerados por la norma.

Lo anterior será de importancia al momento de determinar la temperatura de confort para el proyecto arquitectónico del presente trabajo de tesis.

Se ha manifestado la susceptibilidad de las niñas, niños y jóvenes a las condiciones del ambiente tanto natural como construido, lo cual hace conveniente aproximar una explicación a los problemas comportamentales que derivan en desatención y mal rendimiento escolar los cuales podrían estar siendo ocasionados por estrés por discomfort.

Consecuencias del Estrés por Discomfort Ambiental en el Rendimiento Escolar.

Algunas de las comunas más representativas del oriente de la ciudad de Cali, como lo son la comuna 13, 15 y 16, contaban con una población de 57.551 de estudiantes matriculados en preescolar, primaria y bachillerato en el 2019 (Cali en cifras, 2019).

En la comuna 13, por ejemplo, de una población total de 74.464 niñas, niños y jóvenes en edad escolar (de 5 a 24 años) tan solo 23.958 están matriculados en algún nivel educativo. Es decir, que más de 50.000 estudiantes no tenían cupo en el sistema en ese momento (Secretaría de Bienestar Social, 2019).

Las problemáticas más comunes de las instituciones educativas, como ya se ha dicho, son el hacinamiento, problemas ambientales internos como la contaminación del aire, deterioro de la infraestructura, problemas de convivencia que resultan en un bajo rendimiento académico general de los estudiantes y posterior deserción (Alcaldía de Santiago de Cali, 2008).

Cómo lo manifiestan los habitantes del sector, el problema podría surgir del “bajo interés de los estudiantes, bajo nivel de acceso educativo y aumento en la privatización de la educación” (Alcaldía de Santiago de Cali, 2008).

A una escala menor la situación en la misma. En el barrio Brisas del Limonar de la comuna 16 de una población de 757 niñas, niños y jóvenes en edad escolar (de 5 a 24) tan solo asisten a la escuela 438 estudiantes.

Tan solo en este barrio el nivel de deserción escolar es del 2% (Secretaría de Bienestar Social, 2019).

Este es el panorama que comparten muchas de las escuelas oficiales de la ciudad y es de vital importancia entender que todos los problemas comportamentales de los estudiantes pueden explicarse como resultado del sometimiento constante a condiciones del ambiente no confortables.

Los estresores ambientales tales como la humedad, el calor, el ruido, la contaminación del aire, el hacinamiento y la deficiente ventilación e iluminación y la ausencia de paisaje pueden desatar situaciones comportamentales inadecuadas en el individuo.

Para entender esto, es necesario recordar que los estímulos o estresores ambientales en primer lugar van a producir en un individuo un sentimiento de pérdida de control sobre la situación lo que le va a producir estrés posteriormente. Ante el estrés es posible que el individuo reaccione de manera activa e intente modificar su entorno para acabar con el estímulo, o por el contrario reaccione de manera pasiva en cuyo caso los posibles comportamientos de respuesta sean sueño, distanciamiento, distracción, huida (Moser, 2011), agotamiento, pérdida de resistencia inmune (Grum, 2017) entre otros.

Moser (1978) identificó y catalogó lo anterior como “*comportamiento instrumental*” ya que representa la respuesta automática cognitiva del individuo para escapar del estímulo estresante.

Esto constituye una dificultad para los estudiantes en un aula de clase en condición de discomfort ambiental puesto que, en la escuela, los comportamientos instrumentales como la huida, la distracción o la modificación del entorno no se les permite y son vistos por sus maestros cómo rebeldía y agresividad.

Ante este panorama, los estudiantes no cuentan con las herramientas necesarias para evitar el estrés y empiezan a manifestarse comportamientos de agresión física y verbal entre compañeros, hacia los maestros e incluso hacia el edificio (Moser, 2011), (Grum, 2017). Lo anterior dependerá de la personalidad de cada niña, niño o joven pues también pueden verse actitudes de recogimiento como la no participación en clase o sueño.

Goranson y King (1970) lograron mostrar una correlación entre el calor y la conducta agresiva de los individuos (Evans, 1982) al generar un estado de activación en el que cualquier emoción manifestada en una situación de discomfort, se amplifica y se replica con mayor rapidez entre los individuos que habitan un espacio determinado. En este sentido, que en un salón de clases caluroso los estudiantes empiecen a manifestar estrés por medio de comportamientos instrumentales y conducta agresiva es completamente normal.

En los últimos años escuelas oficiales han venido recibiendo estudiantes de otras escuelas que han tenido que cancelar operaciones por distintos motivos. Debido a esto el espacio útil por individuo en las aulas de clase disminuye.

Esta densidad alta afecta al individuo de manera psicológica en la medida que le hace sentir que necesita más espacio activando en él una percepción de insalubridad, le afecta la memoria (Saegert, McIntosh y West, 1975) y afecta su respuesta territorial, entre otros.

En un aula de clases con sobrepoblación, los estudiantes son más propensos a conductas agresivas puesto que la alta densidad afecta principalmente el territorio primario, que es privado (Altman 1976), y el territorio secundario que es un espacio que comparte el individuo con cierto número de personas conocidas (aula de clases, oficina, clubes deportivos etc.).

Sí estos dos estados se ven amenazados en ocasión de hacinamiento, se produce una sobrecarga de estimulación (Baum y Valins, 1977) que hace que el estudiante intente defender su espacio personal, sea de personalidad dominante o no, y se

vean afectadas las interacciones sociales, la memoria y la toma de decisiones; las conductas de ayuda disminuyen y las actitudes de descortesía aumentan, lo cual sugiere un abandono de las responsabilidades (Moser, 2011) y las respuestas hostiles son mucho más probables.

Entonces, lo que para el estudiante es una respuesta neurovegetativa automática por el control de su espacio personal, su privacidad y su bienestar, para los maestros son conductas indeseadas y los señalan como los responsables de su bajo rendimiento académico.

Así mismo, la contaminación del aire por una deficiente ventilación y el ruido pueden también provocar conductas agresivas en los individuos (Moser, 2011), (Grum, 2017), (Turekova, Osvaldova, Brecka, & Balgalova, 2016).

Las respuestas comportamentales frente a la contaminación del aire y el ruido pueden ser tanto psicológicas como fisiológicas.

Por un lado, “si la concentración de CO_2 aumenta al 2% se produce una pérdida de concentración y toma de decisiones. La concentración de 4- 6% da como resultado respiración rápida, dolor de cabeza, apatía” (Turekova, Osvaldova, Brecka, & Balgalova, 2016) lo cual representa una situación real en la que biológicamente se ve afectado el individuo; por otro lado, la percepción puede llegar a ser igual de intensa, ya que si un individuo cataloga el espacio que habita como indeseado y ha identificado la pesadez del aire como el estímulo estresor, no es necesario que los niveles reales de CO_2 sean altos para que se generen trastornos psicosomáticos que desencadenan los mismos síntomas de arritmia cardiaca, desmayos, dolores de cabeza y músculos y conductas destructivas (Grum, 2017).

Por su parte, el ruido como una emanación sonora indeseada (Moser, 1978), será un estímulo estresor en la medida que el individuo no sea capaz de identificar su periodicidad, su duración y que el ruido sea predecible o no. Lo anterior indica que de conocerse con anticipación los factores mencionados, el estrés disminuye considerablemente o desaparece.

Esto parece sugerir que el ruido que se produce en el momento del recreo en una escuela puede no representar una molestia significativa para los maestros y estudiantes. Sin embargo, “por encima de 90 dB, el ruido no es solamente psicológicamente molesto, sino que puede producir daños fisiológicos al oído” (Moser, 2011) y se estima que los gritos de niñas y niños pueden alcanzar niveles sonoros de hasta 95 dB (Organización Panamericana de la Salud, 2010).

Además, si existe ruido en el momento de las clases, se ha demostrado que el rendimiento de los estudiantes y la comprensión de lectura disminuye significativamente (Cohen, Glass y Singer, 1973).

Todos los trastornos comportamentales del estrés que afectan la relación entre estudiantes y maestros y que afectan el rendimiento académico también afectan la infraestructura escolar. ciertos jóvenes bajo estímulos estresantes diarios que también deben sopesar situaciones socioculturales y económicas difíciles en el núcleo familiar manifiestan su estrés con actitudes violentas y destructivas pues no se ha generado en ellos un sentido de pertenencia; al contrario, se sienten abandonados, el ambiente académico es hostil e indeseado y esto lleva al deterioro de la edificación y a un sentimiento de inseguridad.

Como se puede ver en la figura 8 las condiciones inconfortables del ambiente que generan estrés también generan una situación circular de problemáticas que se impulsan la una a la otra sin tener un fin aparente.

Figura 8. Repetición de los estímulos estresantes del ambiente presentes en la escuela.



Nota: Elaboración propia con base a Moser 2014.

Las consecuencias del estrés por discomfort ambiental son importantes como se ha expuesto, y pueden evitarse haciendo uso de las estrategias pasivas de la arquitectura bioclimática, por un lado, y por el otro, brindando espacios escolares de calidad que estimulen de manera adecuada las diferentes etapas de los niños y jóvenes.

Las estrategias pasivas de la arquitectura bioclimática no presuponen un aumento significativo en los costos de diseño y construcción a lo largo de la vida útil del proyecto ya que evita gastos de mantenimiento de aparatos de enfriamiento y disminuye el uso de energía eléctrica utilizada en la iluminación y ventilación artificial de las aulas (Saleem, Abel-Rahman, & H, 2016).

Arquitectura Bioclimática.

La arquitectura bioclimática representa una base conceptual, cuantitativo, cualitativo e indiferente a la estética para evitar el estrés por discomfort y ofrecer un diseño de calidad a las edificaciones por medio de sus estrategias propias de la tectónica que pocas veces requieren de electricidad adicional.

A diferencia de la sustentable, la arquitectura bioclimática hace uso de sus formas construidas para potencializar recursos como la ventilación e iluminación natural, evitando la humedad y la contaminación del aire; elementos como quiebrasoles, persianas, alerones, marquesinas y demás se implementan para proteger los espacios de la radiación directa y difusa del sol evitando la necesidad del enfriamiento artificial del espacio, lo cual se conoce como estrategias pasivas.

Este proceso empieza desde la implantación del edificio con un análisis previo del clima y micro-clima del sector específico.

El objetivo fundamental es diseñar y construir edificios que garanticen la habitabilidad en confort haciendo uso de los recursos naturales disminuyendo al mínimo el impacto sobre el ambiente al disminuir el consumo energético.

Empezando por el urbanismo del edificio y teniendo en cuenta el recorrido solar sobre los ambientes académicos, los espacios han de diseñarse con elementos de protección que impidan el paso de la radiación solar pero que permitan la iluminación natural al mismo tiempo.

Las ventanas deben permitir el paso del aire con una velocidad moderada de hasta 1,5 m/s (Arens & Watanabe, 1986) sobre un metro del suelo terminado, ya que la mayoría de actividades en la escuela se llevan a cabo con los estudiantes sentados en sus pupitres (Ibrahim, Baharun, Mannan, & Adenan, 2013).

Adicionalmente, se debe establecer una temperatura interna de diseño que guíe los cálculos que van a definir qué materiales de construcción se deben usar. Esto para

lograr la reducción de la temperatura radiante de las superficies a un mínimo aceptable que pueda ser evacuado completamente por la ventilación natural disponible y que permita que la temperatura varíe entre los 25°C y los 28.7°C, la cual ha sido señalada como temperatura de confort para regiones tropicales cálidas-húmedas (Humphrey, 1993).

Existen dos métodos de hacer arquitectura bioclimática; el primero empieza por el diseño y proyecta desde el principio las estrategias que se ajustan al edificio y su entorno. El segundo es adaptativo y trata edificios enfermos en los cuales se debe hacer primero un diagnóstico para conocer que estrategias pueden solucionar los problemas encontrados. Es difícil encontrar manuales de arquitectura bioclimática que especifiquen acciones sobre un edificio determinado pues es una labor muy puntual y específica.

Lo principal es el clima, que es diferente en todas las regiones del país; luego ha de evaluarse el micro-clima que depende completamente del contexto inmediato al lote de construcción o del edificio enfermo.

Debe evaluarse la presencia de bosques urbanos, grandes parques o zonas de cesión, edificios altos, cuerpos de agua, grandes zonas pavimentadas como plazoletas, chanchas deportivas o parqueaderos y demás cuestiones que puedan alterar el clima inmediato al proyecto.

Después de reunir todas las condiciones climáticas deben tenerse en cuenta todas las actividades que se llevaran a cabo al interior del edificio pues los seres humanos producimos calor, calor metabólico que depende de la actividad física.

Una persona en reposo puede producir alrededor de 60v, si está en movimiento moderado puede producir un poco más de 100v y si se encuentra en una actividad física mayor como bailar o correr puede producir hasta 1.000v (Cengel, 1997). Es por eso que las estrategias para un aula de cátedra, un taller o un gimnasio son tan diferentes.

Por lo anterior también será importante el tipo de ropa que comúnmente llevan puesta las personas a las que va dirigido el proyecto.

La ropa funciona como una resistencia térmica y las estrategias que se apliquen en un espacio serán efectivas en la medida que la vestimenta sea adecuada.

Por último y muy importante está la percepción. Para determinar confort en edificios ya construidos deben combinarse todos los factores anteriores y hacer un análisis posterior de percepción entre la población ya que por características hormonales algunas personas pueden manifestar más calor o frío que otras bajo las mismas condiciones climáticas internas.

Algunos métodos manifiestan que se puede detener la búsqueda de confort cuando se alcance un 80% de satisfacción entre los usuarios de un espacio.

Marco normativo

“La Época de Oro” 1934- 1938.

En el gobierno de Alfonso López Pumarejo, la sección de arquitectura escolar pasó a ser parte del Ministerio de Obras Públicas con la asesoría del MEN (Ministerio de Educación Nacional) al cual solía pertenecer. En ese momento los proyectos de escuelas eran desarrollados por importantes arquitectos como Julio Bonilla, Leopoldo Rother y Bruno Violi, entre otros, y fue así como se inició la llamada “Época de Oro” en la arquitectura escolar en Colombia.

El impulso por proyectar escuelas de calidad fue notable y empezaron a surgir, haciendo uso de la arquitectura moderna, edificios que representaban algunos postulados de la “Escuela Nueva” como la relación del edificio con la naturaleza, “entonación del conjunto con el paisaje rural urbano” y la exploración de las estrategias de la arquitectura criolla (Benavides, 2007).

Posteriormente, hacia 1968 se creó El Instituto Colombiano de Construcciones Escolares (ICCE), con el que se llevaron a cabo numerosos proyectos de infraestructura educativa, su dotación y mantenimiento.

Con el ICCE fueron varios los edificios escolares que se construyeron a través del concurso público, el cual garantizó la diversidad y calidad de los proyectos.

Parte de la labor del ICCE fue la investigación en la normativa que debía aplicarse en las escuelas y la posterior creación del documento “Espacios Docentes”, en el que se mostraba con plantas, cortes y dibujos las características espaciales que debía tener cada espacio académico.

Años después se desarrolló el documento “Estudio de los Espacios Docentes 1” en el que se reemplazaron los dibujos por textos y especificaciones claras según cuatro diferentes climas existentes en el país.

Fueron muchos los avances en términos de infraestructura educativa que tuvieron lugar durante los años de funcionamiento del ICCE, sin embargo, sus funciones acabaron en 1988 luego de que con la implementación de la Ley 12 de 1986 se produjera la descentralización administrativa que daría fin al Instituto (Benavides, 2007).

En la actualidad existen diferentes normativas con las que se deben diseñar y construir las escuelas en Colombia; tales son la Ley General de Educación o Ley 115 de 1994, la Norma Técnica Colombiana 4595 y 5316. También proyectos de gobierno como el Plan Nacional de Infraestructura Educativa que hace parte del Plan Nacional de Desarrollo plantean algunas directrices de los que se hará en el futuro inmediato y a nivel internacional se trabaja comúnmente con la Norma ISO 7730 y los postulados de la ASHRAE.

Plan Nacional de Desarrollo 2014- 2018.

El Plan Nacional de Desarrollo es un instrumento estructurado por el poder ejecutivo que plantea políticas públicas a término de su periodo administrativo. En este caso, el presente PND 2014-2018, dentro de sus políticas hacia la educación en Colombia

se ha propuesto, entre otros, reducir el déficit de niños en la escuela, mejorar las condiciones de infraestructura, educar a los profesores e implementar la jornada única y completa en todo el territorio colombiano.

Por su parte el Plan Nacional de Infraestructura Educativa, que hace parte del PND es un documento por el cual se estructura y se priorizan los manejos e inversiones a 2030 para el diseño y la construcción de nuevos colegios que cumplan con los objetivos del PND.

Plan Nacional de Infraestructura Educativa.

El presente trabajo de tesis se desarrolla en el marco del Plan Nacional de Infraestructura Educativa (PNIE) que hace parte del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2014-2018 con el cual básicamente, el gobierno pretende terminar la jornada nocturna, implementando una jornada única (8 horas de clases) y disminuir el déficit de cupos en los colegios públicos aumentando el número de instituciones educativas.

Para lo anterior se ha diseñado un esquema básico de un “mega colegio” que se ha llamado “Colegio 10” y que será implantado en diferentes regiones del país.

El edificio se compone de los espacios esenciales para un colegio como:

- Aulas de clase equipadas.
- Laboratorios de física, química, ciencias naturales y bilingüismo.
- Laboratorios de tecnología, innovación y multimedia.
- Biblioteca escolar.
- Comedor y cocina.
- Zona administrativa.
- Sala de maestros.
- Áreas recreativas y canchas deportivas.
- Baterías sanitarias y servicios generales.

El esquema básico de los “colegios 10” es el siguiente:

Figura 9. Isometría del esquema de “Colegio 10”.



Nota: Fuente: Ministerio de Educación Nacional

Según el documento del PNIE, se hará entrega de los planos del esquema básico del edificio, para que el presupuesto de construcción no rebase el monto de dinero que ha destinado el gobierno para cada colegio y se entregaran lotes de un área aproximada determinada por el esquema básico.

Estos parámetros están consignados en el documento CONPES 3527 donde se establecen los déficits a nivel nacional y se priorizan regiones para la construcción de 49 “mega colegios” con los que se pretende reducir el déficit en un 60% para 2025, dando cupo a un total de 1.440 estudiantes.

La problemática más evidente es la falta de diferenciación climática, ambiental, urbana y arquitectónica del esquema básico en las diferentes regiones del país.

El proyecto dispone de la esquina para el acceso principal a la institución por medio de una plaza pública dura la cual conduce a una segunda plaza también dura esta vez de uso exclusivo de los usuarios de la escuela, por la que se puede acceder a una tercera plaza nuevamente dura que organiza las aulas y los laboratorios en sus bordes largos.

Las periferias están destinadas a zonas blandas y las canchas deportivas.

Viendo el proyecto de esta manera rápida, podría insinuarse el éxito que pueda alcanzar en regiones frías y templadas, pero para las regiones cálidas y húmedas el pronóstico es completamente contrario y con seguridad, se estarían construyendo edificios escolares que cuenten con todos los estresores ambientales anteriormente mencionados perjudicando el objetivo del PNIE de mejorar la calidad de la educación en la totalidad del territorio colombiano.

ISO 7730 Y Ashrae 55.

ISO 7730 ha definido el confort para diferentes regiones geográficas del mundo y constituye un método por el cual se calcula el confort térmico por medio del Voto Medio Pronosticado PMV (del inglés *Predicted Mean Vote*) el cual evalúa la sensación térmica dada en 7 niveles y arroja un promedio, y el Porcentaje Predicho de Insatisfacción PPD (del inglés *predicted percentage of dissatisfied*) que va a determinar si ese promedio es confortable para la mayoría de los usuarios o no. Este método se utiliza sobre todo cuando las condiciones del edificio no pueden ser modificadas por los usuarios y por lo general edificios ventilados mecánicamente.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers) por su parte, es una sociedad mundial que trabaja constantemente para investigar y redactar normas que tengan que ver con el confort de los edificios. Sus normas tienen cobertura internacional al ser aprobadas por sus asociados globales.

El estándar 55 contempla seis factores; temperatura ambiente y radiante, humedad relativa, velocidad del aire, temperatura metabólica y vestimenta.

También define un rango de presión atmosférica de hasta 3.000 msnm; sus factores de análisis la hacen la más completa.

El estándar Ashrae 55 cuenta con un método para evaluar edificios en climas tropicales cuyas temperaturas de confort son superiores a las típicas de 21 y 24°C. Diversas investigaciones como (Kwok & Chun, Science Direct, 2003), (Wong & Khoo, 2002), (Kwok, Reardon, & Brown, 1998), (Ibrahim, Baharun, Mannan, &

Adenan, 2013) han mostrado que los usuarios de ambientes en regiones tropicales se manifiestan en confort en temperaturas por encima de 26°C.

Este método utiliza las temperaturas radiante, ambiente y promedio exterior predominante, y la velocidad del aire para determinar un porcentaje de confort sobre una carta psicrométrica. Es imperativo que los edificios evaluados por este método estén ventilados de forma natural y los usuarios puedan modificar los espacios, sus vestimentas y estén produciendo una tasa metabólica de no más de 1,3 Met.

Norma Técnica Colombiana 4595.

La Norma Técnica Colombiana 4595 es un documento que dicta los parámetros básicos para el diseño y la construcción de escuelas en Colombia.

Esta norma pretende mejorar la calidad del servicio educativo mejorando las condiciones espaciales de los nuevos edificios escolares. Plantea la necesidad de un radio de 500 Mts alrededor de un edificio educativo para abarcar una cantidad justa de habitantes que puedan aproximarse a pie a las instituciones, diferencia los tipos de ambientes educativos.

Los diferentes ambientes escolares tales como las aulas, los laboratorios, los talleres, las zonas de comida y deporte, entre otros, cuentan con especificaciones ergonómicas para destinar espacio suficiente en la realización de diferentes actividades, tanto de desplazamiento como de superficie de trabajo, lo cual va a determinar el área de los ambientes académicos.

Así, cada ambiente escolar, teniendo en cuenta el número de estudiantes presentes, tendrá cierta cantidad de área obligatoria que conllevan estrategias paralelas de seguridad como número de puertas, ancho de puertas o ancho de corredores, así como también el nivel de iluminación, las renovaciones de aire por hora y herramientas de seguridad como aspersores, alarmas lumínicas y sonoras y puertas antipánico en caso de una evacuación repentina por incendio o movimientos telúricos.

Se tiene a la NTC 4595 y sus normas afines como un insumo base de conocimientos que serán cruzados con otras determinantes fundamentales para el presente proyecto de tesis y así lograr un prototipo con nuevas características y un cuerpo investigativo ejemplo para futuros proyectos de infraestructura educativa del país.

Marco Referencial

Introducción

Para el presente trabajo de tesis se analizaron dos proyectos arquitectónicos de diferentes corrientes, separadas por muchos años de historia y en dos lugares distantes del mundo. Dichos proyectos han utilizado estrategias eficientes para edificios escolares desde su proceso de diseño, implantación y desarrollo espacial, hasta su culminación como obra.

Ambos proyectos han sido capaces de generar confort por medio de estrategias pasivas, sencillas casi intuitivas para mejorar la calidad de los ambientes escolares y hacer felices y saludables a niñas, niños, jóvenes y maestros por igual y al mismo tiempo dar vida a edificios de bajo consumo energético y muy bajo impacto ambiental.

El primero es el Parque Biblioteca en Guayabal, Medellín de la firma PVG Arquitectos y el segundo es el colegio Geschwister en Lünen, Alemania del arquitecto Hans Scharoun.

Parque Biblioteca Manuel Mejía Vallejo en Guayabal. PVG Arquitectos.

Para el arquitecto Jorge Hernán Salazar, quien fuera por muchos años parte fundamental del equipo de PVG, y para su equipo de trabajo dos cosas son claras: el estudiante y el maestro y la eficiencia energética son pilares fundamentales para el diseño de escuelas (Toro, A, & Salazar, 2012).

Sin embargo, el proceso de diseño empieza por hacer consciencia del lote y sus condiciones microclimáticas para definir la orientación e implantación sin dejar de lado el efectivo análisis que debe haber en el emplazamiento urbano y su aproximación.

Luego se da paso al estudio de la población estudiantil. ¿Cuántos años tienen?, ¿cuántos estudiantes hay en cada ambiente académico?, ¿qué actividades están realizando?, ¿qué vestimenta llevan?; Esto es importante para esclarecer las necesidades específicas que el proyecto debe resolver efectivamente.

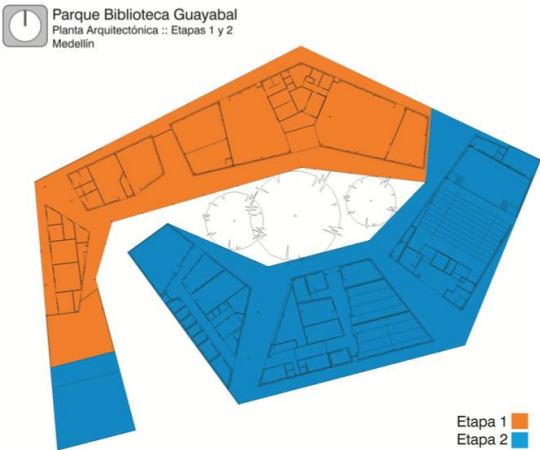
El éxito del proyecto dependerá de saber incorporar los aspectos cuantitativos de datos climáticos y formalidades de obra con los aspectos cualitativos del confort y la riqueza de recursos naturales dignos del trópico.

Recursos como la luz, calor y poder energético del sol, el viento, la lluvia, la humedad relativa y el paisaje son abundantes en Colombia y bajo una buena estrategia representan un abanico de posibilidades para cualquier proyecto arquitectónico. Pero los arquitectos de PVG saben que estos recursos deben ser analizados a profundidad y posteriormente utilizados con prudencia para hacerlos funcionar acorde con las necesidades específicas y no sobredimensionar el proyecto, tanto en espacialidad como en elementos arquitectónicos que afectan los costos directos de obra.

En este orden de ideas, los factores determinantes fueron: Población/ usuario, contexto urbano, microclima y el uso específico del edificio, es decir, sus necesidades arquitectónicas.

Este último es fundamental para el cálculo de las cargas térmicas totales y organiza el programa del edificio.

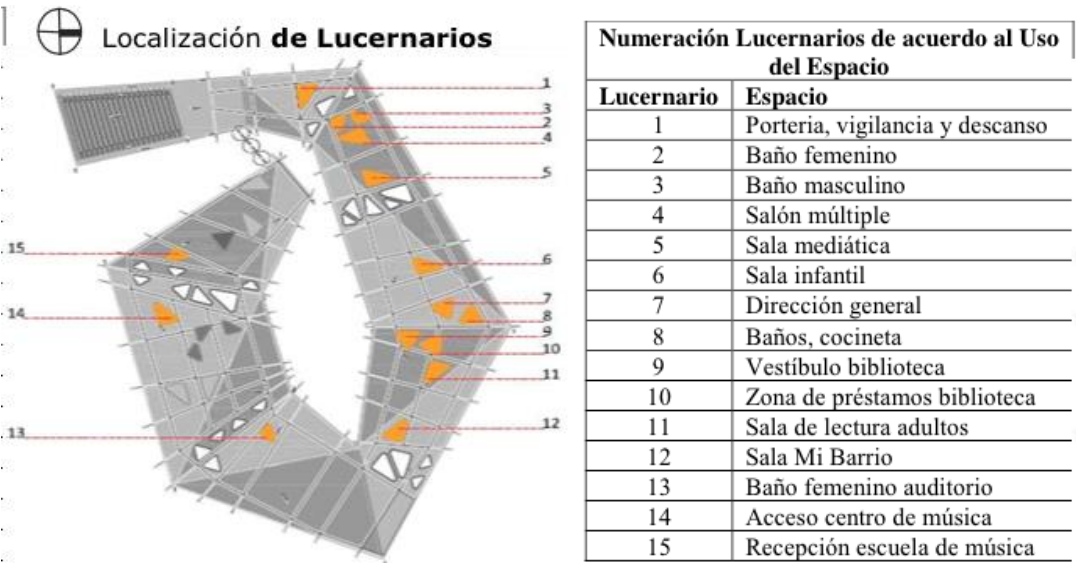
Figura 10. Planta del parque Biblioteca en Guayabal.



Nota: Fuente: “Calidad ambiental en el diseño arquitectónico- Parque biblioteca Guayabal-Medellín”, PVG Arquitectos.

Luego de diseñar una serie de lucernarios que fueron puestos en la cubierta se analizó la incidencia solar en cada uno y se les asignó un ambiente académico o un espacio funcional del edificio de acuerdo con la cantidad de luz o radiación que recibían como se puede ver la figura 11 y tabla 2.

Figura 11. Planta de cubierta del parque Biblioteca en Guayabal. Tabla 2. Ubicación de lucernarios



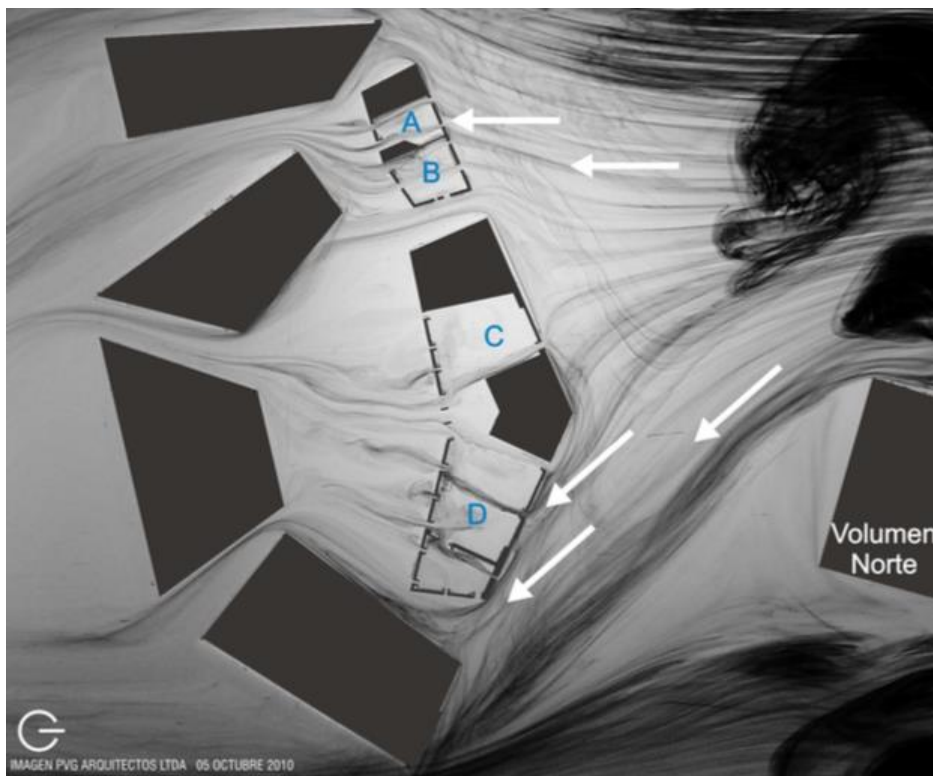
Nota: Fuente: “Calidad ambiental en el diseño arquitectónico- Parque biblioteca Guayabal-Medellín”, PVG Arquitectos.

El análisis de la incidencia solar en cada lucernario le permitió a PVG Arquitectos ser eficiente en las estrategias bioclimáticas. Bajo los lucernarios con mayor incidencia se organizaron los espacios húmedos como baños públicos los cuales requieren mayor luz solar para evitar malos olores y bacterias.

Los demás espacios se organizaron dependiendo de la hora en que eran utilizados. Los lucernarios que recibían mayor carga solar en la mañana cubrirían los ambientes académicos que se usaban en la tarde y viceversa.

Para el diseño de ventilación se realizó una simulación de flujo laminar de manera artesanal para identificar las tendencias del viento del sector.

Figura 12. *Análisis en planta sobre mesa de flujo laminar*



Nota: Fuente: "Calidad ambiental en el diseño arquitectónico- Parque biblioteca Guayabal-Medellín", PVG Arquitectos.

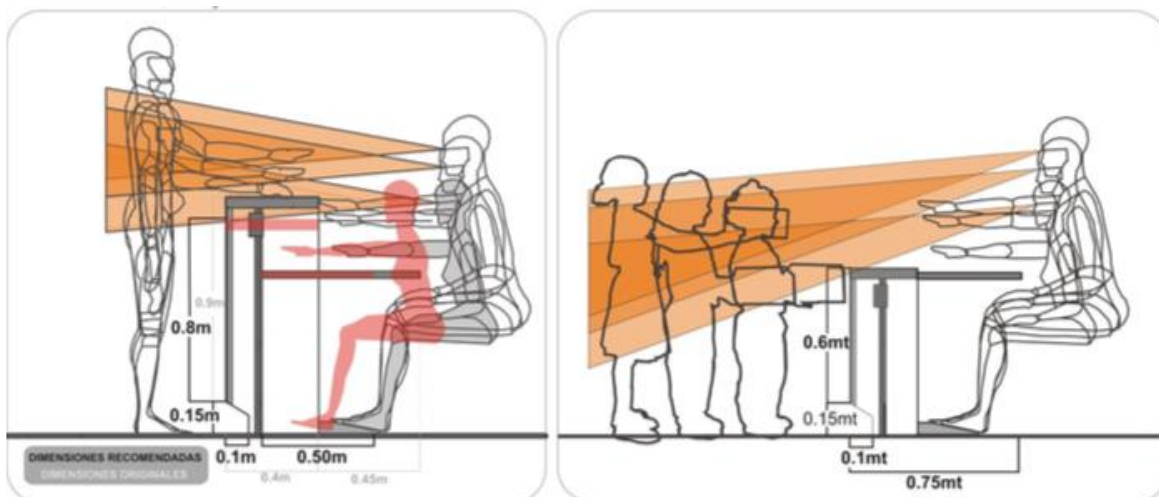
Una vez identificadas las corrientes y las necesidades de la población se diseñaron ventanas angostas de piso a techo y salidas de aire caliente en la parte alta de los espacios para conservar una buena ventilación, controlando los excesos, y con las renovaciones de aire necesarias para un edificio educativo.

Además del control térmico y de ventilación, parte fundamental del proyecto es la espacialidad bajo parámetros estrictos de ergonomía y antropometría ya que los usuarios del Parque Biblioteca varían entre niños menores de 12 años, jóvenes y adultos profesores o funcionarios.

Entonces se llevó a cabo el plan “Muebles para todos”.

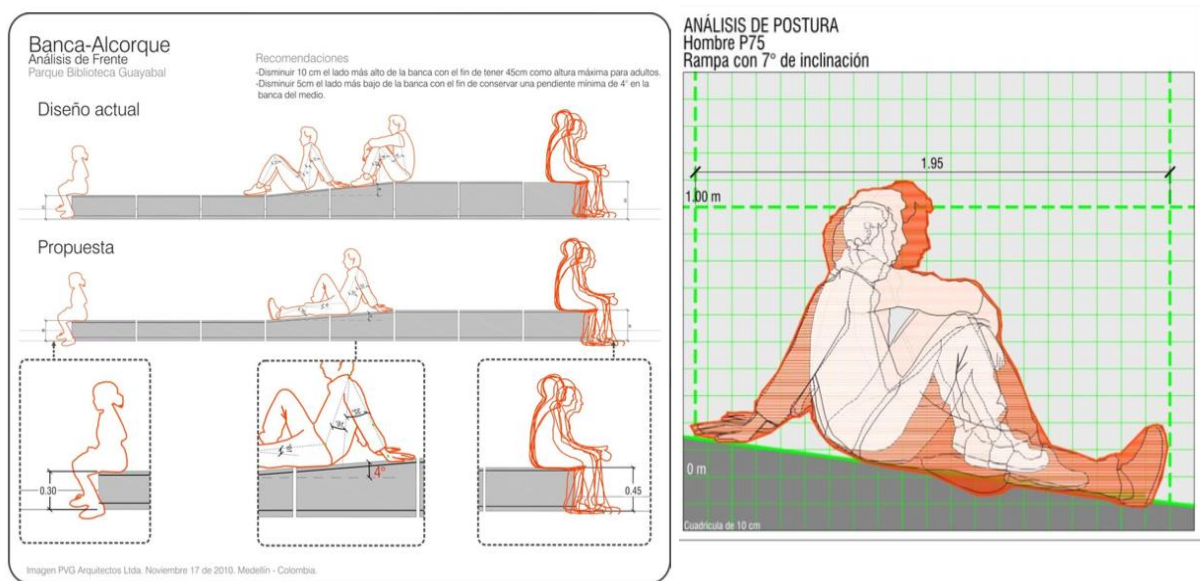
Teniendo como base las cartas antropométricas latinoamericanas para los niños y la carta antropométrica de población laboral colombiana para los adultos los muebles de atención y préstamo se diseñaron en dos alturas, 60cm y 80cm, como también las bancas públicas y los andenes del teatrino que van desde los 30cm de alto para el alcance de los niños hasta los 45cm para adultos con inclinaciones de 4% para el adecuado descanso del cuerpo.

Figura 13. Mueble de atención y préstamo en parque Biblioteca en Guayabal.



Nota: Fuente: “Calidad ambiental en el diseño arquitectónico- Parque biblioteca Guayabal-Medellín”, PVG Arquitectos.

Figura 14. Banca Alcorque en parque Biblioteca en Guayabal.



Nota: Fuente: “Calidad ambiental en el diseño arquitectónico- Parque biblioteca Guayabal-Medellín”, PVG Arquitectos.

Conclusión

El proyecto del Parque Biblioteca de PVG Arquitectos brinda una perspectiva eficiente y muestra cómo teniendo como pilar el componente humano se puede llegar a proyectos de bajo impacto ambiental, bajo consumo energético y mayor vida útil cumpliendo siempre con confort higrotérmico para facilitar a sus usuarios alcanzar las metas trazadas.

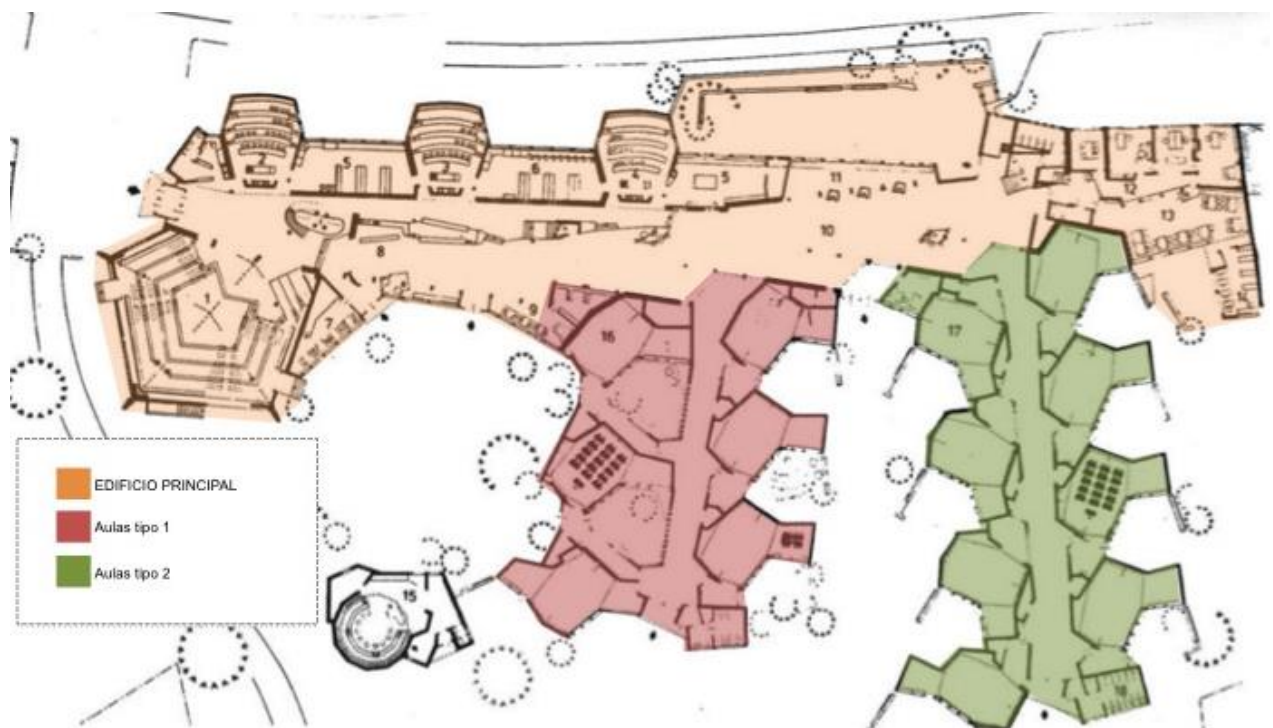
Geschwister Scholl Schule.

La escuela Geschwister Scholl fue construida en la ciudad de Lünen en Alemania en varias etapas entre 1956 y 1962 por el arquitecto alemán Hans Scharoun quien diseño los ambientes académicos como “viviendas escolares” entendiendo la escuela como “una ciudad dentro de una ciudad”.

Impulsado por el espíritu de la posguerra Scharoun estaba convencido que la escuela como “segundo hogar” hace de organismo mediador entre el individuo y la sociedad y tiene el importante deber de brindar seguridad y un sentido de pertenencia en los niños. (Proyecto progreso arquitectura, 2017)

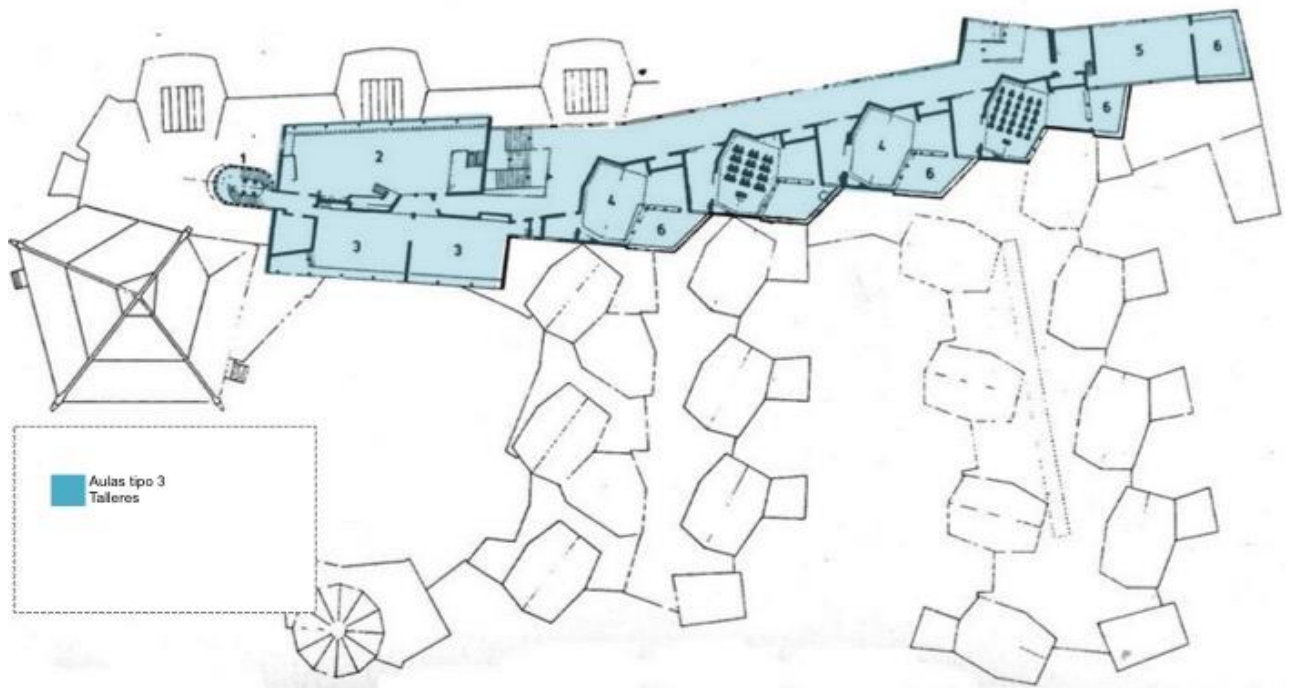
La escuela se implanta paramentada con la calle y se desarrolla en forma de Pi donde el cuerpo superior es el edificio principal que alberga ambientes académicos comunes como laboratorios y aula múltiple, cafetería y espacios administrativos, y las ramificaciones que se desprenden de él albergan los ambientes académicos para niños pequeños. Las aulas de jóvenes de 14 años en adelante y los talleres se encuentran en el segundo piso del edificio principal.

Figura 15. Planta primer piso del Geschwister Scholl Schule



Nota: Fuente: "Las escuelas de Hans Scharoun vs. La escuela finlandesa en Saunalahti".

Figura 16. Planta segundo piso del Geschwister Scholl Schule



Nota: Fuente: “Las escuelas de Hans Scharoun vs. La escuela finlandesa en Saunalahti”.

Se diseñaron tres tipos de aulas bajo el concepto de “viviendas escolares” para niños de 7 a 9 años y niños de 10 a 13 años en el primer piso y para jóvenes de 14 a 17 años en el segundo piso.

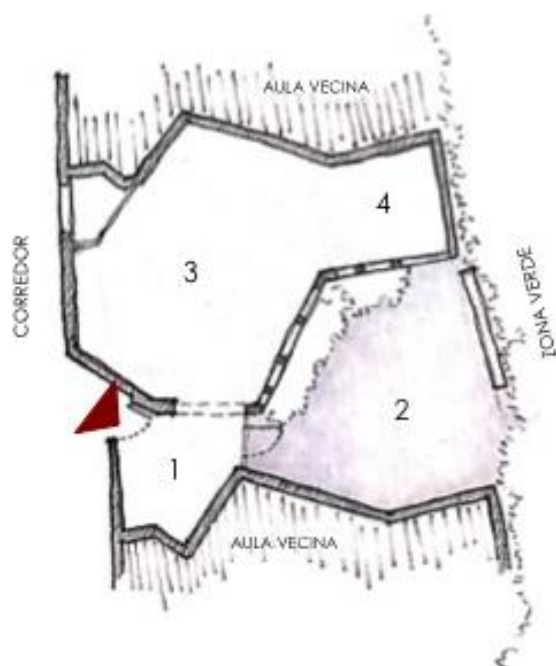
Todas las aulas cuentan con abundante ventilación e iluminación natural y un patio interno que brinda un paisaje controlado que da gusto al estudiante sin robar su atención a la clase.

El aula debía ser lo más completa y amigable como fuera posible para poder ser ese “segundo hogar”. De este modo el programa que comparten los tres tipos de aula es así:

1. Guardarropa amplio
2. Patio interno/ Balcón
3. Aula de cátedra
4. Estudio para grupos

Aula tipo 1

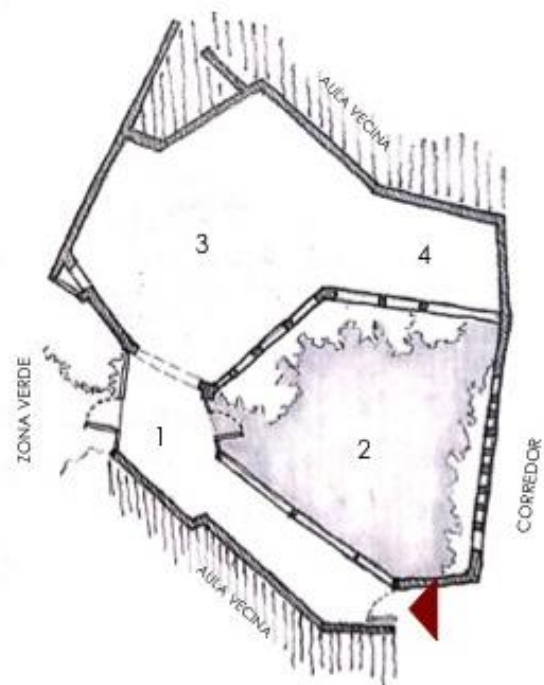
Figura 17. Planta aula tipo 1 Geschwister Scholl Schule.



Nota: Fuente: Esquema a mano, elaboración propia.

Aula tipo 2

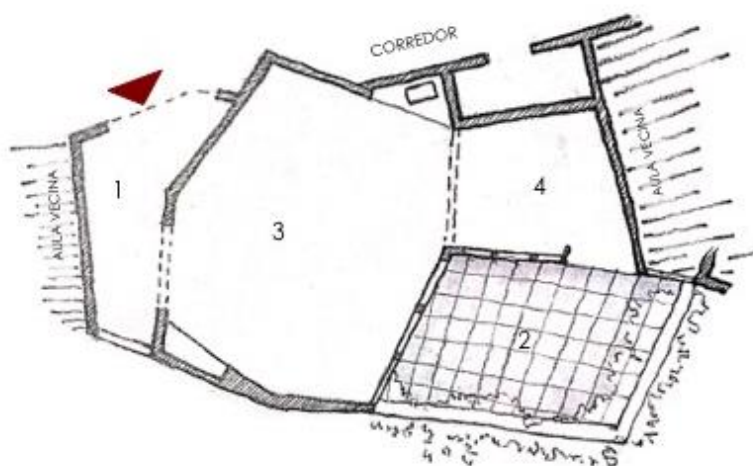
Figura 18. Planta aula tipo 2 Geschwister Scholl Schule.



Nota: Fuente: Esquema a mano, elaboración propia.

Aula tipo 3

Figura 19. Planta aula tipo 3 Geschwister Scholl Schule.



Nota: Fuente: Esquema a mano, elaboración propia.

Conclusión

Si bien todas las aulas tienen la misma forma octagonal y cumplen con el mismo programa hay pequeñas variaciones en espacio y disposición del mismo que le dan un carácter diferente que se ajusta a las edades de las niñas, niños y jóvenes y a sus necesidades. El aula tipo 1 cuentan con un patio y un guardarropa más amplio y un solo patio semi-controlado. El aula tipo 2 tiene además de su patio una salida a las zonas verdes del colegio y espacio para clases y trabajo en grupo más generosos. El aula tipo 3 por su parte, es el aula para jóvenes que están preparándose para la vida universitaria y laboral, lo cual requiere de todo lo que han aprendido en los grados inferiores acerca de la interacción social. Estos jóvenes requieren y necesitan mayor independencia y por eso sus aulas son más grandes y apartadas de las demás aulas, pero más inmersas en esa pequeña ciudad dentro de una ciudad que es el edificio principal de su colegio; el balcón es un símbolo de confianza e independencia.

La manera en la que el edificio es capaz de transformarse lentamente para atender la evolución de las necesidades de los estudiantes al mismo tiempo que emplea estrategias sencillas de bioclimática para mantener el confort es un recurso de gran valor para el presente trabajo de tesis.

Los dos proyectos anteriormente mencionados sirven de referente para el proyecto en la medida que aportan diferentes estrategias desde lo urbano hasta lo arquitectónico y bioclimático.

Por un lado, el proyecto de PVG Arquitectos plantea un primer paso eficiente para la implantación de los edificios en el espacio de forma que solucionen desde su localización varias de las problemáticas del clima.

La escuela Geschwister de Hans Scharoun, por otro lado, ofrece una fórmula para diseñar las aulas tipo y un programa arquitectónico propio de la Escuela Nueva que complementa la elaboración del esquema básico.

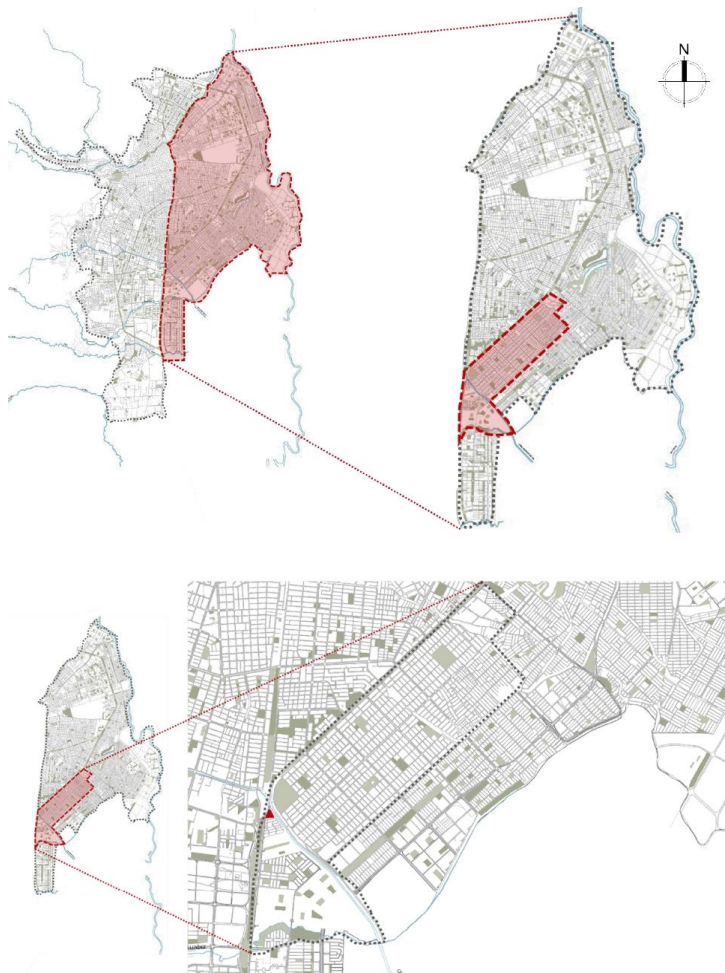
Ambos proyectos son capaces de apropiarse del espacio y de brindar ambientes académicos acordes con la edad y el desarrollo de las niñas, niños y jóvenes a la vez que proponen espacios tanto internos como externos ricos en confort, eutimia y belleza.

Resultados

Se procedió a realizar el análisis de factores naturales y urbanísticos para determinar el lote de implantación del proyecto arquitectónico en el área de trabajo ya seleccionada.

Dicho análisis se realizó por etapas empezando por la escala de ciudad al estudiar el clima en general. Luego se estudió el microclima en el sector escogido para finalmente analizar el contexto inmediato del lote y establecer flujos y accesos.

Figura 20. Ubicación del proyecto arquitectónico.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Caracterización climática de Cali

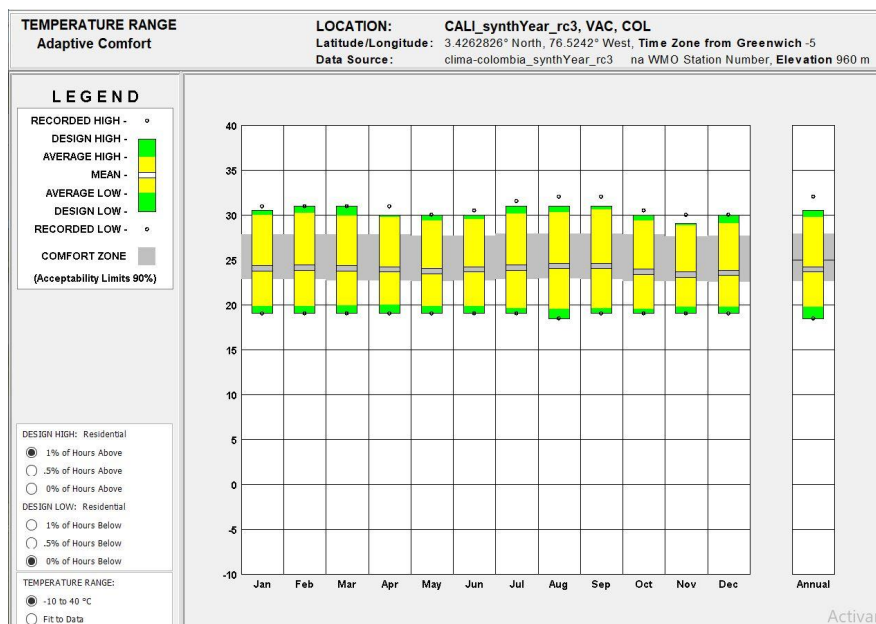
Clima.

La ciudad de Santiago de Cali se ubica en el valle del cauca en la latitud 3° 27' norte y longitud 76° 30' oeste, entre las cordilleras central y occidental, a aproximadamente unos 960 msnm.

Su clima es de sabana tropical, con temporadas de lluvias y temporadas secas que se alternan durante el año. La cercanía a las cordilleras genera microclimas. La zona nor-oeste de la sección de cordillera occidental que bordea la ciudad tiene una altura máxima de aproximadamente 2.000 msnm y es más seca que la zona sur-oeste, la cual tiene una altura máxima aproximada de 4.000 msnm, con precipitaciones anuales promedio de 1.483 mm.

El IDEAM ha caracterizado el clima de Cali como cálido- seco con una temperatura máxima media de hasta 30°C y 32°C al medio día en los meses más calurosos de verano y con una temperatura mínima en las primeras horas del día (de madrugada) de 19°C y 20°C.

Figura 21. Rangos de temperatura mensual



Nota: Fuente: Archivo climático de Santiago de Cali.

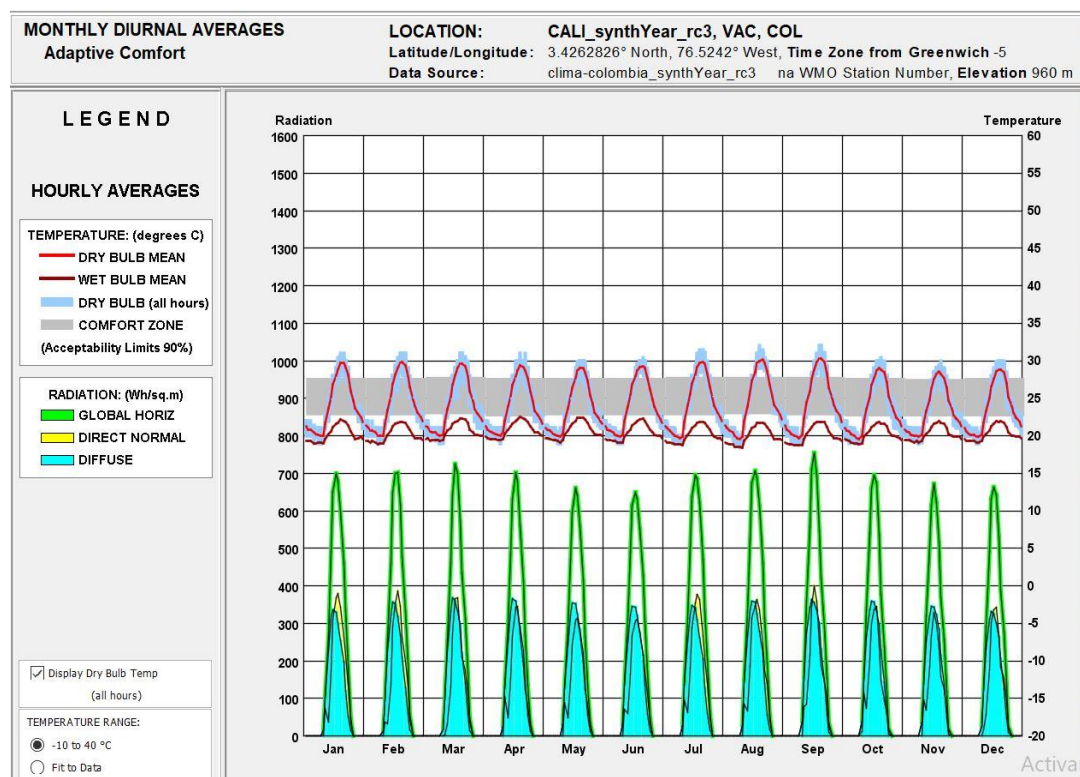
La humedad relativa en la ciudad se mantiene alrededor del 70% en los meses secos con un aumento de 5 o 6% en los meses de lluvias (IDEAM).

Por otro lado, datos recopilados de las estaciones Marco Fidel Suarez (norte) y Meléndez (sur) del IDEAM y la estación de la Escuela de Arquitectura de la Universidad del Valle (sur), muestran que la temperatura puede pasar de 19°C muy temprano en la mañana a 30°C y hasta 32°C entre las 2:00 PM y 3:00 PM en los meses julio y agosto mientras que la humedad relativa, la cual se comporta inversamente proporcional, puede ir de 40% a 95% en un día típico (Iglesias, Herrera, & Rosillo, 2016).

Por lo general el cielo se cubre con una capa delgada de nubes que alivia un poco la radiación directa del sol sobre el suelo y hace las veces de difusor de luz.

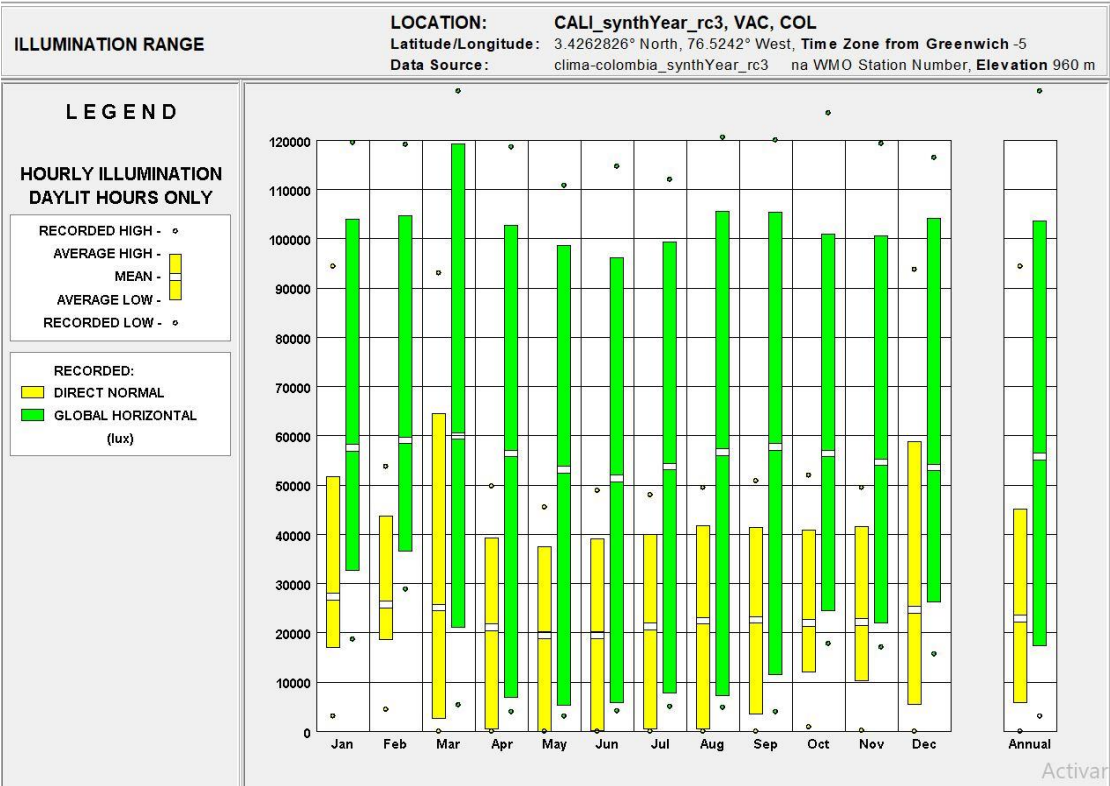
En el mes de marzo, por ejemplo, la radiación y la temperatura no son las más altas pero los índices de luz difusa sí, como se puede ver en las figuras 22 y 23.

Figura 22. Radiación promedio mensual



Nota: Fuente: Archivo climático de Santiago de Cali.

Figura 23. Rangos de iluminación.

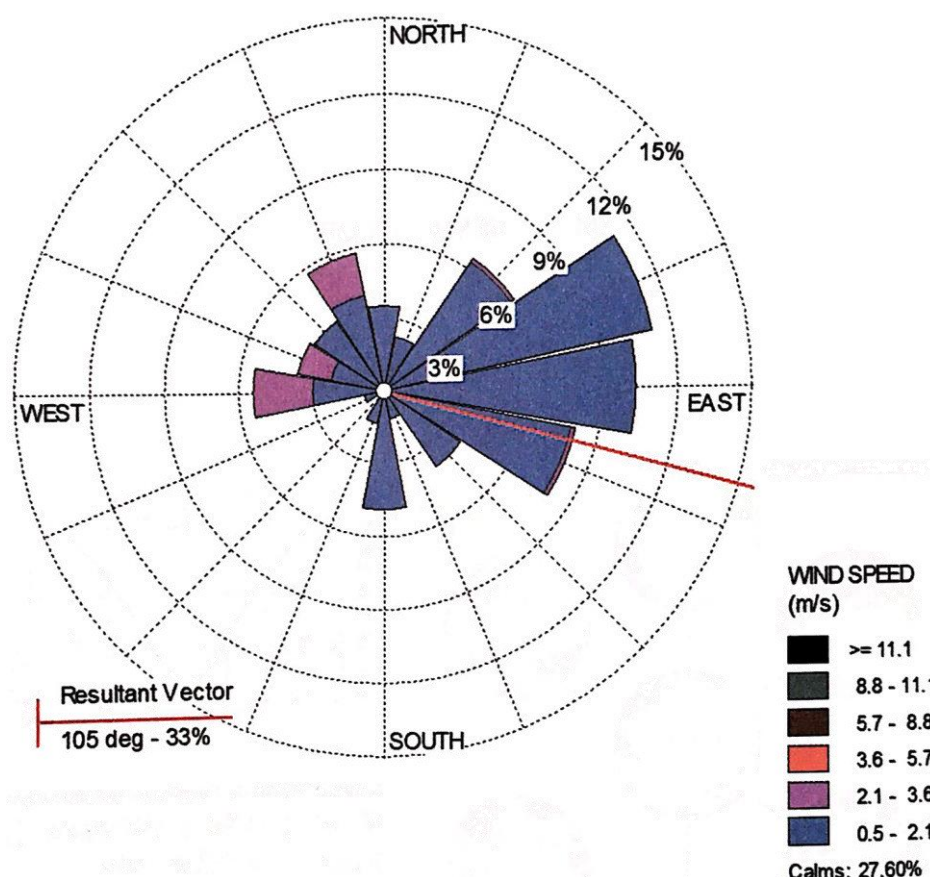


Nota: Fuente: Archivo climático de Santiago de Cali.

Los vientos en Cali no pueden clasificarse de igual manera para todos los sectores de la ciudad ya que estos se ven afectados por poblaciones arbóreas, cuerpos de agua, edificaciones y zonas blandas o duras.

Una de las características constantes de la ciudad respecto a los vientos, es la condición de calma la cual se da el 27.60% del tiempo; las calmas son más comunes en el sur que en el norte.

Figura 24. Rosa de los vientos, Estación IDEAM Marco Fidel Suarez, 2006- 2009.



Nota: Fuente: "Confort ambiental en escuelas públicas de Cali" Universidad del Valle.

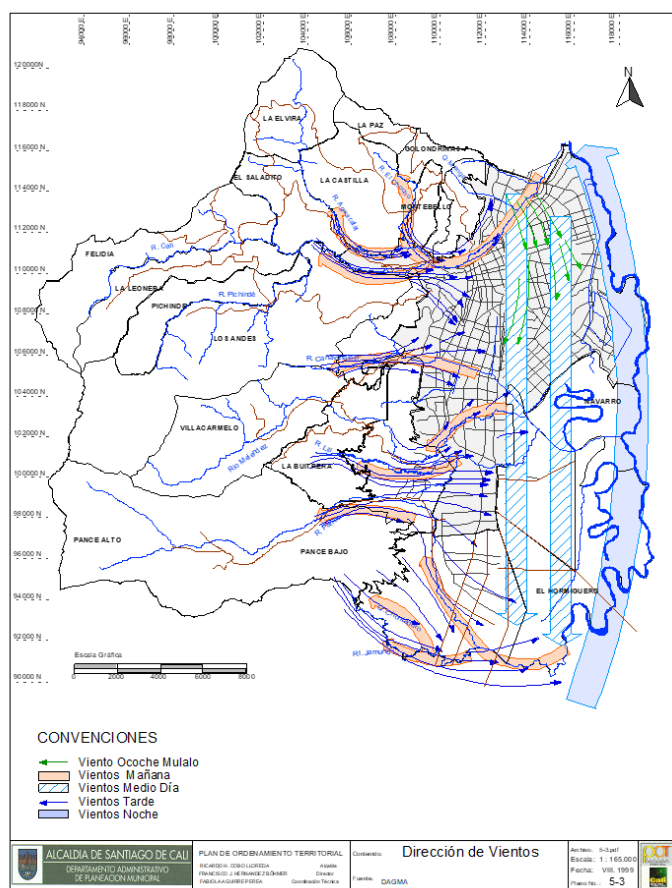
La figura anterior representa la descripción general de los vientos de la ciudad. Se observa que los vientos de mayor velocidad provienen del noroeste y oeste mientras que los vientos con mayor frecuencia provienen del noreste, este y este-sureste.

Microclima.

La clasificación general de los suelos del municipio de Santiago de Cali es de "Valles cálidos semihúmedos y vertientes húmedas de alta montaña" (Narváez y León, 2001) los cuales se caracterizan por brisas y lluvias leves y debido a que la ciudad se ubica en el pie de monte de la cordillera va a tener ciertas variaciones de altura que irán a condicionar su clima.

En términos generales, por ser un valle, el comportamiento de los vientos va a ser en sentido ciudad-montaña durante el día y sentido montaña-ciudad en la tarde (Cali, 2015) con algunas variaciones a horas específicas; los vientos del medio día varían yéndose de norte a sur momentáneamente, los vientos de las horas altas de la noche se jalonan sentido sur-norte sobre el río Cauca y en la madrugada hay pequeñas corrientes desde Yumbo llamadas ocoche mulalo.

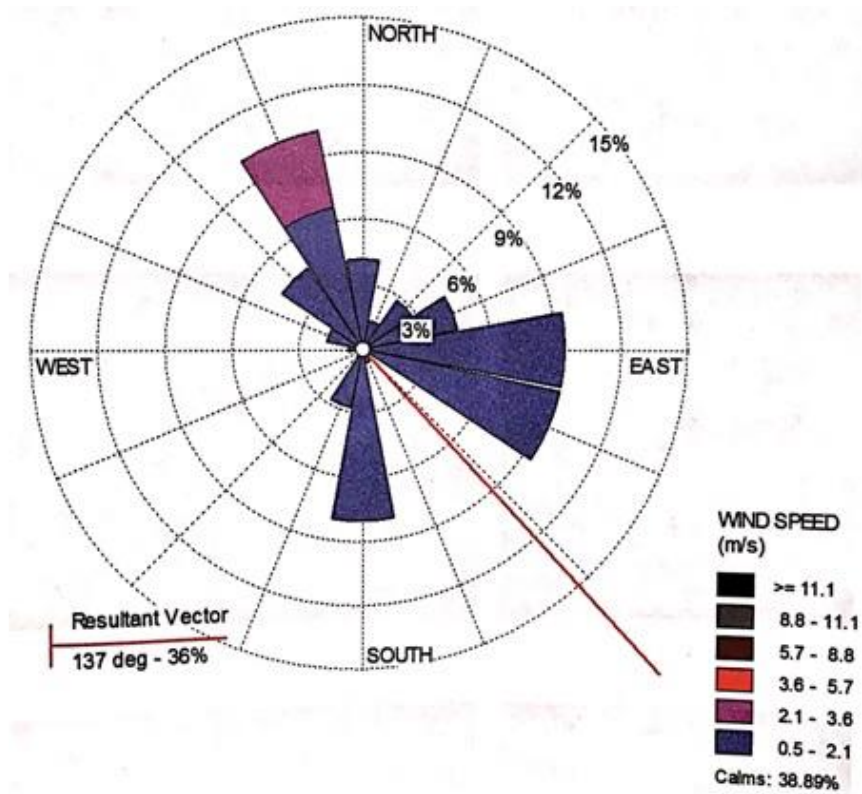
Figura 25. Dirección de vientos, POT.



Nota: Departamento de Planeación, Alcaldía de Santiago de Cali.

Teniendo en cuenta lo anterior, para el presente trabajo de tesis se debe tomar la rosa de los vientos de la estación climática ubicada en la escuela de arquitectura de la Universidad del Valle, la cual presenta con mayor claridad la incidencia puntual de las corrientes del sector que si bien no es inmediato es la más cercana y representativa.

Figura 26. Rosa de los vientos, Estación IDEAM Universidad del Valle, 2006- 2009.



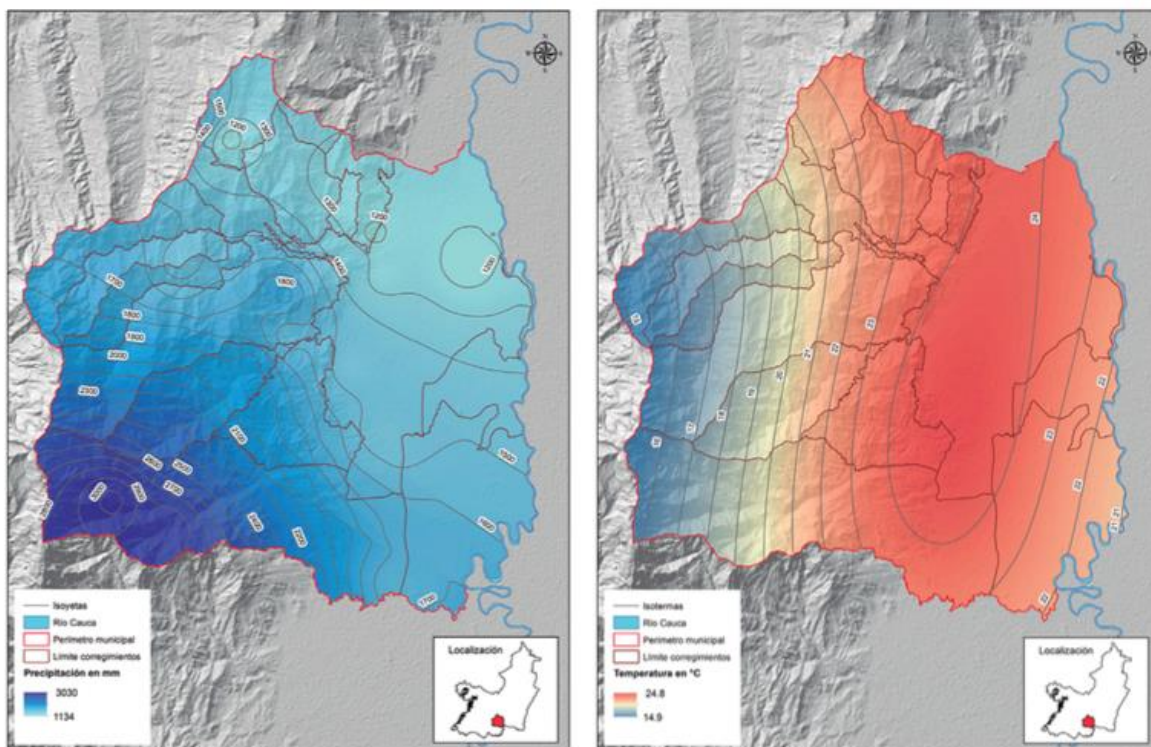
Nota: Fuente: "Confort ambiental en escuelas públicas de Cali" Universidad del Valle.

Se puede observar que los vientos de mayor velocidad provienen del nor-noroeste mientras que los vientos con mayor frecuencia provienen del este, este-sureste y sur.

Lo anterior resulta conveniente para el presente trabajo de tesis pues los vientos más constantes influyen sin mayores interrupciones sobre el edificio, el cual se implanta en el oriente, más cercano al valle y lejos de las edificaciones más altas del centro global de la ciudad como se verá más adelante.

De igual manera la temperatura y humedad también se despliegan de manera diferenciada a lo largo de los límites urbanos haciendo que se presenten microclimas.

Figura 27. Precipitaciones en mm y Temperatura en °C.

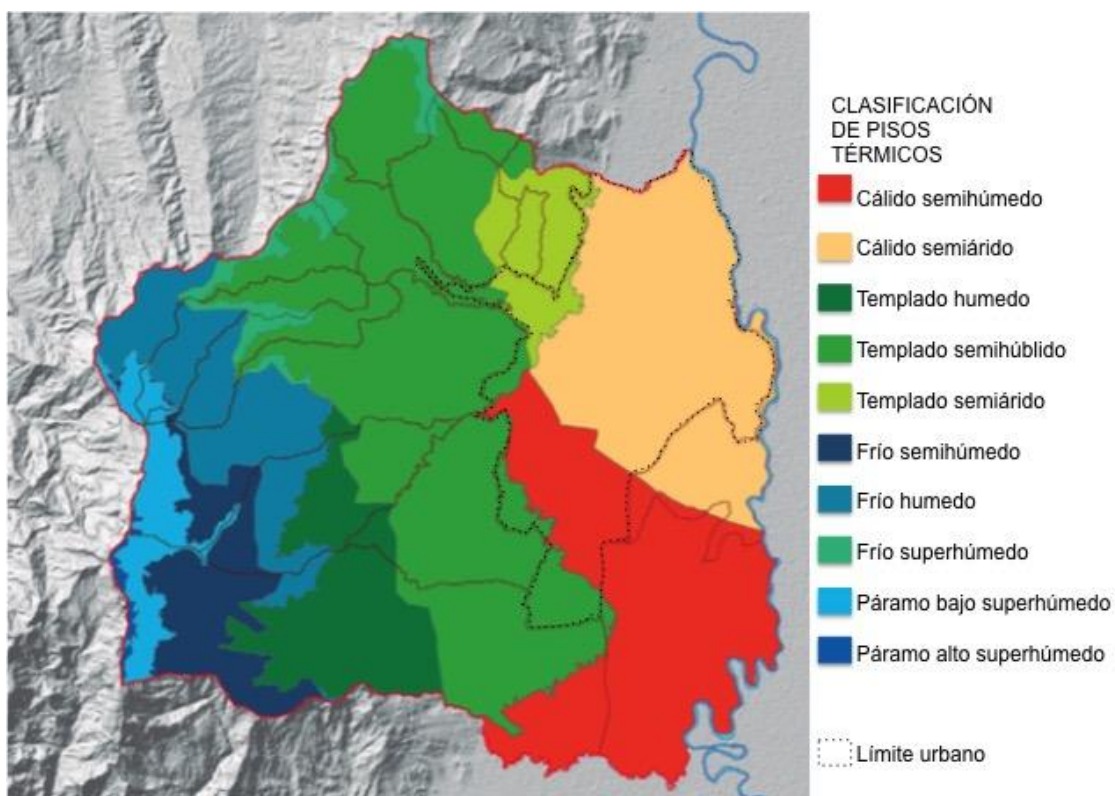


Nota: Fuente: “Estudio para la Microzonificación Climática para el Municipio de Santiago de Cali” Alcaldía de Santiago de Cali.

En la figura anterior se evidencia como varían de sur a norte las condiciones climáticas de la ciudad. En la izquierda se ven las precipitaciones y como son mayores en el sur; en la derecha se ve la gran ola de calor del casco urbano en relación con la zona inmediata de los farallones.

Estas diferencias obedecen a los diferentes pisos térmicos del municipio que van desde el cálido semihúmedo, templado semiárido hasta páramo alto supe húmedo, los cuales fueron catalogados por la alcaldía en el año 2015.

Figura 28. Pisos térmicos del municipio.



Nota: Fuente: “Estudio para la Microzonificación Climática para el Municipio de Santiago de Cali” Alcaldía de Santiago de Cali.

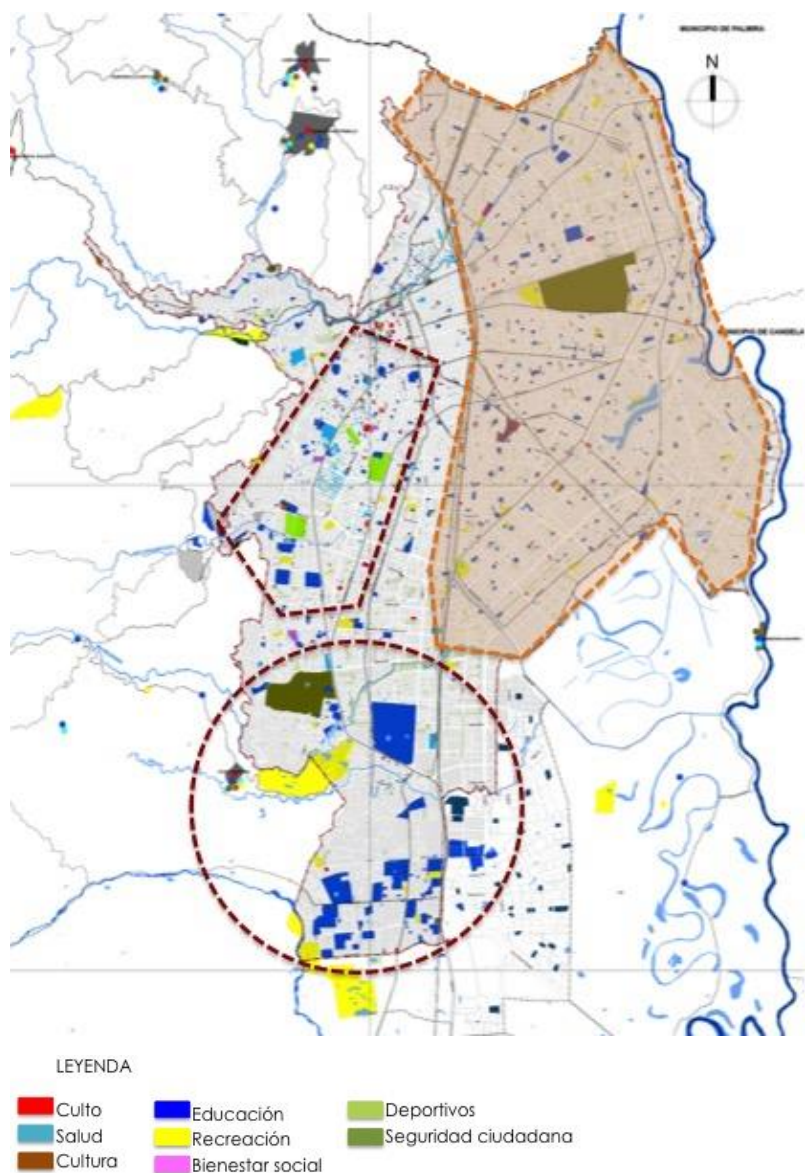
Dentro de los límites urbanos los pisos térmicos son cálido semiárido en gran parte de la ciudad en norte, nor-noreste, oeste y oeste suroeste; cálido semihúmedo y templado húmedo sobre el sur y la salida al mar que se complementa con una parte, más alta, de templado semiárido.

El proyecto arquitectónico del presente trabajo de tesis está implantado sobre suelos en cálido semihúmedo.

Análisis Urbano

Se revisaron entonces los planos oficiales del Plan de Ordenamiento Territorial del 2014 (Departamento Administrativo de Planeación Nacional , 2014) empezando por el plano de Sistema de Equipamientos para identificar las concentraciones de colegios y reconocer los lugares donde se evidenciaran déficits.

Figura 29. Plano de equipamientos, POT.

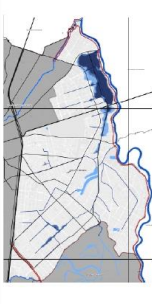
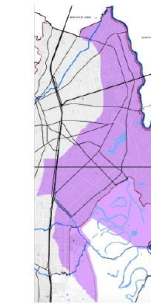
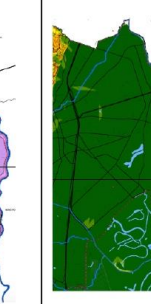
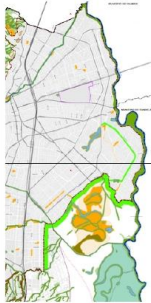


Nota: Fuente: cali.gov.co/ Análisis propio.

Como se puede observar, hay una concentración de instituciones educativas entre colegios y universidades de gran envergadura hacia el sur de la ciudad y unas cuantas instituciones a lo largo del corredor de actividad de la calle 5ta; el costado oriental de la ciudad evidencia déficits de todo tipo convirtiéndose en el escenario adecuado para el presente trabajo.

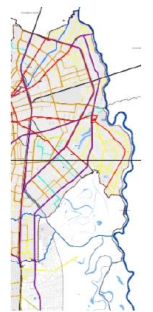
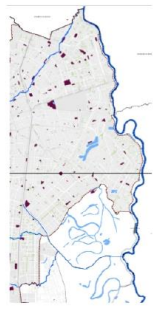
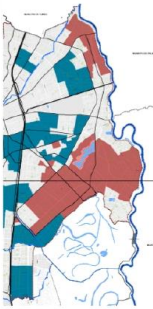
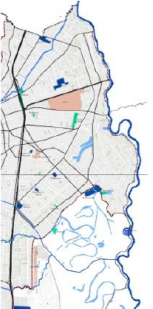
Paso seguido se concentró el análisis en el oriente de la ciudad y se desarrollaron las siguientes tablas para visualizar mejor el área de estudio:

Tabla 3. Análisis de sistemas estructurantes para implantación.

IMPLANTACIÓN			
MODELO DE ORDENAMIENTO	RIESGO POR INUNDACIÓN	RIESGO POR LIQUACIÓN Y CORRIMIENTO LATERAL POR SISMOS	MAPA DE PENDIENTES
			
ESTRUCTURA ECOLÓGICA PPAL	ESTRUCTURA ECOLÓGICA COMPLEMENTARIA	CORREDORES ECOLÓGICOS	ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE
			

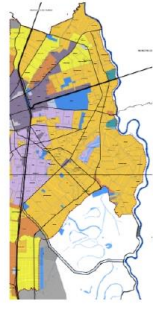
Nota: Fuente: cali.gov.co/ Análisis elaboración propia.

Tabla 4. Análisis de sistemas estructurantes para implantación.

IMPLANTACIÓN			
ENERGÍA ELÉCTRICA	JERQUIZACIÓN VIAL	RED DE CICLORUTAS	SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE MASIVO
			
EQUIPAMIENTOS	PERMANENCIA DE EQUIPAMIENTOS	PRIORIZACIÓN PARA DESARROLLO DE EQUIPAMIENTOS	NODOS DE EQUIPAMIENTOS
			

Nota: Fuente: cali.gov.co/ Análisis elaboración propia.

Tabla 5. Análisis de sistemas estructurantes para implantación.

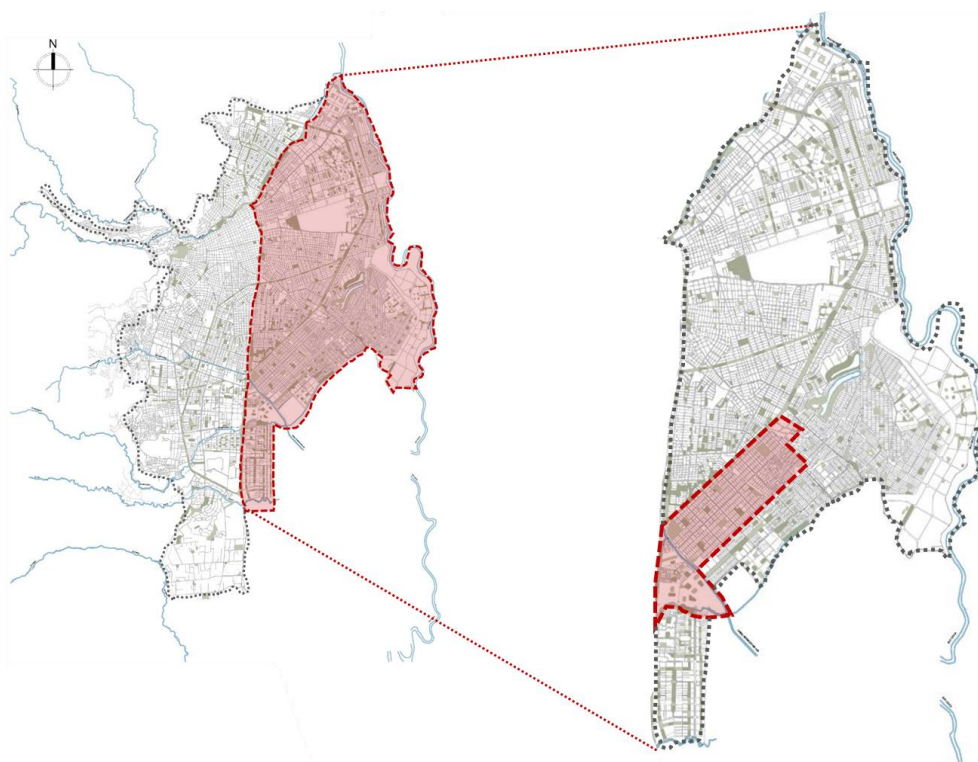
IMPLANTACIÓN			
SISTEMA DE ESPACIO PÚBLICO	ÁREAS DE ACTIVIDAD	TRATAMIENTOS URBANÍSTICOS	INDICE DE CONSTRUCCIÓN
			
PROCESO DE MEJORAMIENTO			
			

Nota: Fuente: cali.gov.co/ Análisis elaboración propia.

Como se puede observar en las figuras anteriores, se analizaron los sistemas estructurantes principales tales como el modelo de ordenamiento, redes de servicios públicos, estructura vial y de transporte público, riesgos por remoción, corrimiento o inundación, red ecológica principal y complementaria, equipamientos y sus características y clasificación, red de espacio público, áreas de actividad y cuestiones como tratamientos urbanísticos presentes y futuros; todo para tener en cuenta factores de riesgo, limitantes y aprovechamientos del oriente de la ciudad.

A medida que se realizaba el análisis la comuna 16 presentó mayores oportunidades para implantar un equipamiento educativo:

Figura 30. Acercamiento, del sector a la comuna.



Nota: Elaboración propia.

Se repitió entonces el análisis anterior esta vez con mayor énfasis sobre los suelos del costado sur de la comuna 16 como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6. Análisis de sistemas estructurantes a escala barrial para implantación.

APROVECHAMIENTO URBANO			
MODELO DE ORDENAMIENTO	RIESGO POR INUNDACIÓN	LICUACIÓN/REMOCIÓN LATERAL	JERARQUIZACIÓN VIAL
*Sobre corredor estratégico	*Protegido por el dique	*Libre de riesgo	*Sobre vía arteria principal
			
ESTRUCTURA ECOLÓGICA COMPLEMEN.	EQUIPAMIENTOS	RED DE CICLORUTAS	SISTEMA VIAL DEL MIO
*Vecino del corredor verde	*Equipamientos de deporte y recreación a menos de 500mts	*Ciclorutas y cicloparqueos inmediatos al lote	*Vía troncal y pretroncal inmediatas al lote
			
SISTEMA DE ESPACIO PÚBLICO	ÁREAS DE ACTIVIDAD	PRIORIZACIÓN PARA DESARROLLO DE EQUIPAMIENTOS	TRATAMIENTOS URBANÍSTICOS
*Vecino del corredor verde	*Residencial predominante y mixto con residencial predominante cerca	*Área priorizada para equipamientos públicos	*Consolidación básica C2 con excepción para equipamientos de educación
			

Nota: Fuente: cali.gov.co/ Análisis elaboración propia.

se identificó que el lote señalado tiene varios atributos urbanos y ambientales que evidencian su potencial, y se concluyeron los siguientes aspectos:

Figura 31. Acercamiento, de la comuna al lote.



Nota: Elaboración propia.

El lote se ubica sobre un corredor estratégico para la planeación de la ciudad pues convergen en el sector varios proyectos urbanos que buscan ser detonantes de mejoras integrales.

Los suelos del contexto del lote están libres de riesgo por corrimiento lateral por sismos y gracias al dique también está libre de riesgo por grandes inundaciones. Inmediatamente junto al lote pasa la vía arteria principal avenida Simón Bolívar con lo cual se buscan consolidar troncales y pretroncales del sistema de transporte masivo MIO, una red de ciclorutas permanente y segura y un gran cicloparqueo en la berma frente al coliseo María Isabel Urrutia adicionales a las vías del tren tram, el tranvía y la red de ciclorutas y caminos peatonales al interior de la berma que tiene proyectado el diseño del Corredor Verde.

Adicionalmente, el lote se ubica sobre el sector del tramo 4 del Corredor Verde, adjudicado por medio de licitación pública a las firmas de arquitectos Espacio Colectivo y Opus, el cual va a replantear la disposición de la avenida Simón Bolívar, sin alterar su jerarquía haciendo pasar todo el tráfico pesado por un hundimiento para liberar la planta publica y poderla destinar a la movilidad alternativa y el espacio público efectivo.

Proyectos futuros como el corredor ecológico de Aguablanca y Navarro, la protección del río Cañaveralejo más allá de la escombrera y el corredor Verde van a ampliar el área de espacio público efectivo por habitante y van a consolidar equipamientos para el gozo de la comunidad.

Sobre lo que sería el lote del proyecto existía hasta hace poco una escuela pequeña⁶ que no está obligada a permanecer según el POT. De igual forma se ha declarado todo el barrio Brisas del limonar como suelos priorizados para la construcción de equipamientos públicos mientras que sus vecinos siguen catalogados como consolidación de vivienda y uso mixto con lo cual se tiene una población estudiantil para fortalecer.

Implantación

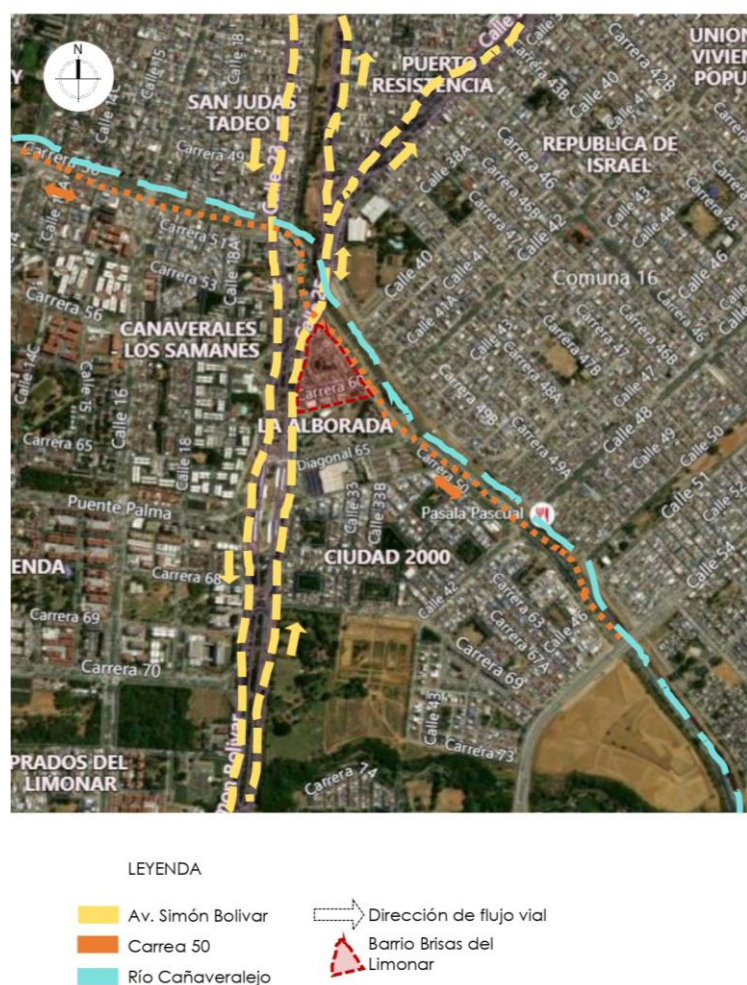
Para implantar el proyecto se tuvo en cuenta la nueva disposición vial que plantean los colectivos diseñadores del Corredor Verde la cual aprovecha la berma existente para separar un tramo amplio en sentido sur-norte que a la altura del coliseo María Isabel Urrutia va a ser subterráneo y otro en sentido norte-sur que hace lo propio.

Esto libera la vía inmediatamente vecina al lote y le permite plantear andenes amplios y ciclorutas protegidas con cruces priorizados tanto para bicicletas como peatones.

El flujo vial actual es el que se observa en la siguiente figura:

⁶ No se ha podido confirmar si la escuela se encuentra en funcionamiento debido a los trámites de la secretaría para el regreso a la presencialidad.

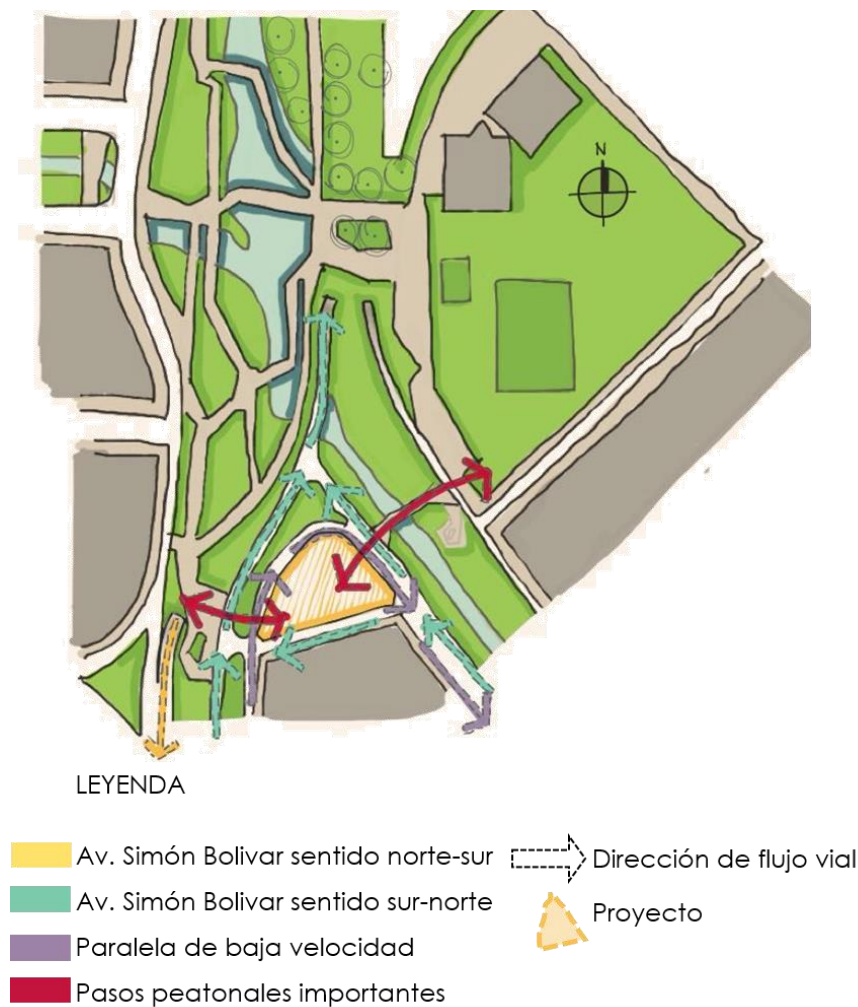
Figura 32. Flujo vehicular actual en el área de trabajo



Nota: Elaboración propia con imágenes satelitales.

Teniendo como punto de partida la distribución vial del Corredor Verde y las necesidades urbanas del proyecto se reestructuró la vía inmediata al lote y se organizaron los flujos de la siguiente manera:

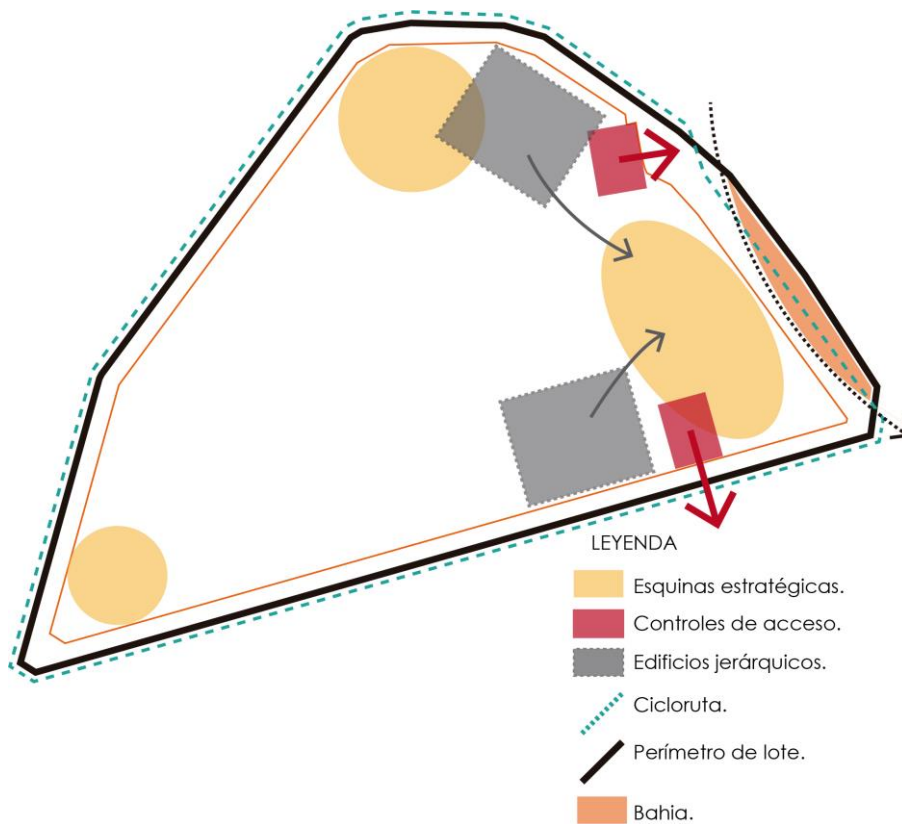
Figura 33. *Flujos viales predominantes y conexiones urbanas*



Del lado del río Cañaveralejo pasa la carrera 50 bajando hacia la avenida Ciudad de Cali, la cual también cuenta con espacio suficiente y un tráfico aún más liviano que permitió diseñar todo un carril adicional como bahía de desaceleración para el acceso principal del proyecto.

Es sobre dicho costado del conjunto escolar donde se implantaron los equipamientos que están propuestos con uso público-privado para trabajo comunal.

Figura 34. Composición de manzana.



Nota: Elaboración propia.

En la figura anterior se pueden ver las estrategias principales que se utilizaron para la composición de la manzana.

Lo primero fue definir los bordes de la manzana para garantizar la cicloruta, el andén y los puntos de cruce de peatones. Luego se identificaron las esquinas para definir, según el acceso principal, el lote de parqueaderos y las posibles formas de aislamiento y protección tanto visual como sonora de afuera hacia dentro.

El lote de parqueaderos se dispuso en la esquina de la carrera 50 con calle 40 (esquina inferior derecha) debido al bajo flujo vehicular que se espera en ese punto. El parqueadero cuenta con una entrada principal de doble carril y una puerta auxiliar para buses y camiones de un solo carril hacia la calle 40.

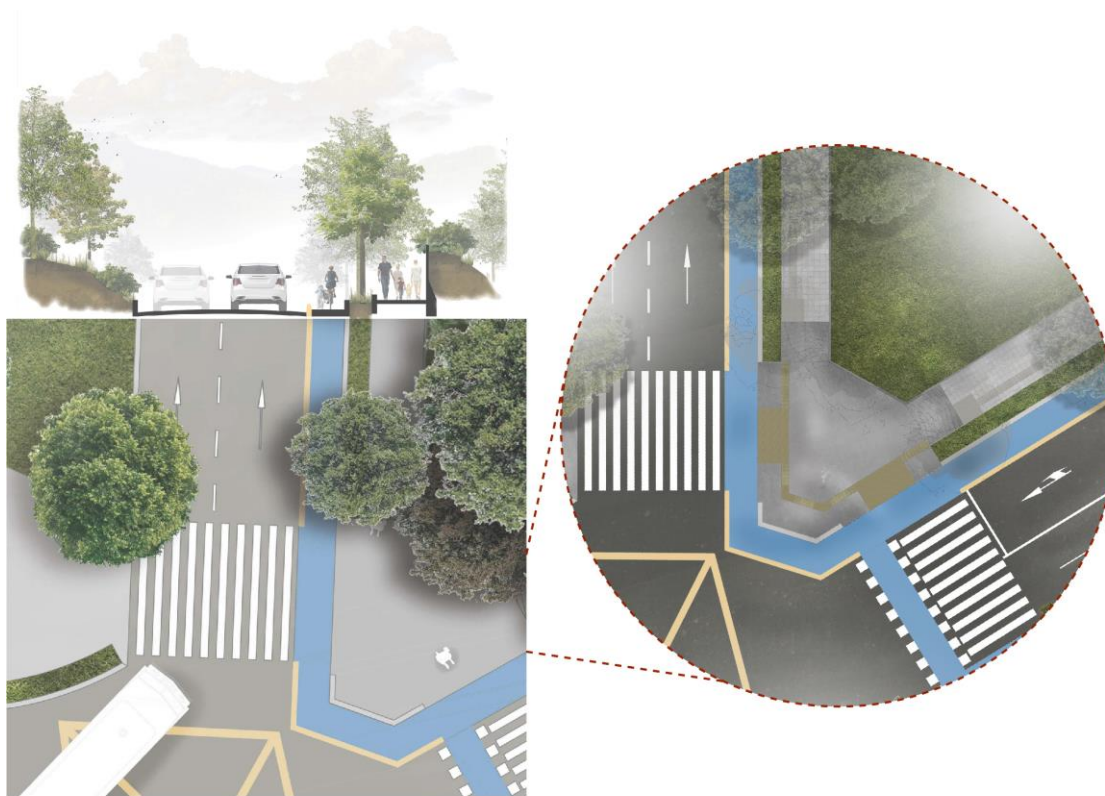
Finalmente, para garantizar el desembarco seguro de estudiantes, se diseñó una bahía sobre la totalidad del frente de la carrera 50 con un separador en cemento.

Figura 35. Planta urbana. Esc. 1:1000



Nota: Elaboración propia.

Figura 36. *Detalle urbano de esquina sur-sur oeste del proyecto.*



Nota: Elaboración propia.

En la figura 36 se puede observar la disposición típica de las esquinas del proyecto. Se diseñaron vados al 12% que descienden del andén hasta el nivel de la calle de la esquina donde se encuentran los semáforos con botón de peatón. Todo el andén perimetral tiene instalados adoquines podotáctiles.

La cicloruta es de un sentido y tiene 1.20 mt de ancho; está separada de la vía por bordillos de plástico y una diferencia de nivel de 0.20 mt, y del andén por un bordillo de cemento y una pequeña berma de 0.80 mt de ancho.

En esta berma se diseñaron árboles separados cada 8 mts para proteger el andén, el cual tiene 2.0 mts de ancho.

Programa de Necesidades y Condicionantes por Normativa

Según información aportada por el colegio Waldorf Luid Horacio Gómez de la ciudad de Cali el pensum de materias es el que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7. Pensum de una escuela Waldorf.

MATERIAS			
PRIMARIA		SECUNDARIA	
1	Historia	16	Sociales
2	Matemáticas	17	Ingles
3	Mitología	18	Español
4	Astronomía	19	Química
5	Dibujo	20	Física
6	Manualidades	21	Trigonometría
7	Euritmia	22	Política
8	Educación física	23	Talla
9	Cestería	24	Cocina
10	Música	25	Modelado
11	Carpintería	26	Torno
12	Español	27	Fotografía
13	Algebra	28	Teatro
14	Geometría	29	Matemáticas
15	Agricultura	30	Euritmia
		31	Música
		32	Papel
		33	Educación física
		34	Agricultura
		35	Arquitectura
		36	Dibujo
		37	Forja
		38	Escultura

Nota: Elaboración propia.

Como se puede observar, las materias que se imparten en una escuela de pedagogía Waldorf son variadas, algunas se dan en aulas de clase otras se dan en aulas especiales como talleres y otras al aire libre y van a ser determinantes para la distribución del proyecto.

Con lo anterior se estructuró el programa de necesidades como aparece a continuación teniendo en cuenta que cada curso no debe superar los 30 estudiantes según la pedagogía (Carlgren, Una educacion hacia la libertad. La pedagogia de

Rudolf Steiner, 1972), siendo 12 cursos únicos la población estudiantil del proyecto es de 360.

El programa es el siguiente:

- Edificio administrativo con sala para asesorías privadas, sala de profesores y enfermería.
- 12 Aulas de clase.
- Aula de eurytmia y teatro.
- Aula de música.
- Biblioteca.
- 3 Laboratorios.
- 3 Aulas de manualidades.
- 4 Talleres especializados con mayor ventilación para carpintería, torno, modelado y forja.
- 2 Bohíos para clase de agricultura, cestería y papel.
- Aula múltiple público-privada.
- Cafetería y plazoleta para comer.
- Zona de juegos y deportiva.
- Huertas para primaria y secundaria por separado.
- Unidad de basuras, bodega y cuarto de reciclaje.

Por otro lado, las normas técnicas colombiana 4595 y todas las que dictan parámetros para la accesibilidad y movilidad en el medio construido y el capítulo K de la Norma Sismo Resistente del 2010 estructuraron desde las áreas de los ambientes académicos y cantidades de unidades sanitarias y parqueos hasta las áreas de corredores, características de escaleras e índices de rampas.

En las siguientes tablas se muestran las estructurantes más importantes:

Tabla 8. Área de baños por aparatos sanitarios.

ÁREA DE BAÑOS SEGÚN NTC 4595		
TIPO	CAPACIDAD	ÁREA
	ESTU/APARATO	M ² /APARATO
Escolares	25 niños	3,6
Administrativos	25 adultos	3,6
Personas en situación de incapacidad	1 x cada 15 aparatos	6

Nota: Fuente: NTC 4595. Elaboración propia.

Tabla 9. Área de ambientes académicos.

CUADRO DE ÁREAS SEGÚN NTC 4595						
POBLACIÓN ESTUDIANTE	POBLACIÓN DOCENTE	AMBIENTE ACADÉMICO	TIPO	M ² /ESTU	TOTAL M2 C/U	TOTAL M ²
288	30	Aula	A	1,9	45,6	547,2
		Biblioteca	B	2,4	120	120
		Lab/Talleres	C	3,5	84	672
		Aula múltiple	F	1,4	140	280
		Salón de maestros	A	1,9	57	57
		Euritmia	A	2,7	64,8	64,8
		Administrativo		0,26	93,6	93,6
		Servicios generales		20%	18,72	18,72
		Bienestar		20%	18,72	18,72
		Cafetería		1 tercio	1,07	102,72

Nota: Fuente: NTC 4595. Elaboración propia.

Finalmente, el capítulo K de la NSR-10 exige lo siguiente:

- Las puertas y pasajes deben tener 1.3 Mts de ancho.
- Las esclareas deben tener al menos 1.5 Mts de ancho.
- Los descansos de las escaleras deben tener un recorrido equivalente al ancho determinado por la carga.
- La distancia de recorridos a zonas seguras en caso de emergencia sin rociadores no puede superar los 45 Mts mientras que con rociadores pueden ser de hasta 60 Mts.
- Las rampas de salida deben tener una pendiente no mayor al 8% mientras que otras rampas pueden tener una pendiente de 12% como los vados de los andenes.
- El ancho de las rampas y corredores con carga una carga de 100 o más deben tener un ancho de 1.8 Mts.

A continuación, se dio paso a distribuir el programa en el lote orientando los edificios según la lógica progresiva de los cursos, las condicionantes del microclima y la disposición general de la manzana.

Diseño Urbano y Arquitectónico

Orientación.

Tomando como referente la estrategia que PVG Arquitectos aplicó en el Parque Biblioteca en Guayabal se implantaron los edificios que más se usan en la mañana hacia donde incide el sol de la tarde y viceversa consolidando el área que se comparte con la comunidad hacia la carrera 50 como el frente de acceso con los edificios público-privados. En las esquinas libres que quedan sobre el tramo vecino de la av. Simón Bolívar se diseñaron dos taludes artificiales para elevar un poco el cerramiento y desviar la visual hacia la vegetación, las copas de los árboles y el cielo al mismo tiempo que se controla el ruido.

Figura 37. Orientación general.



Nota: Elaboración propia.

Distribución del Programa Arquitectónico.

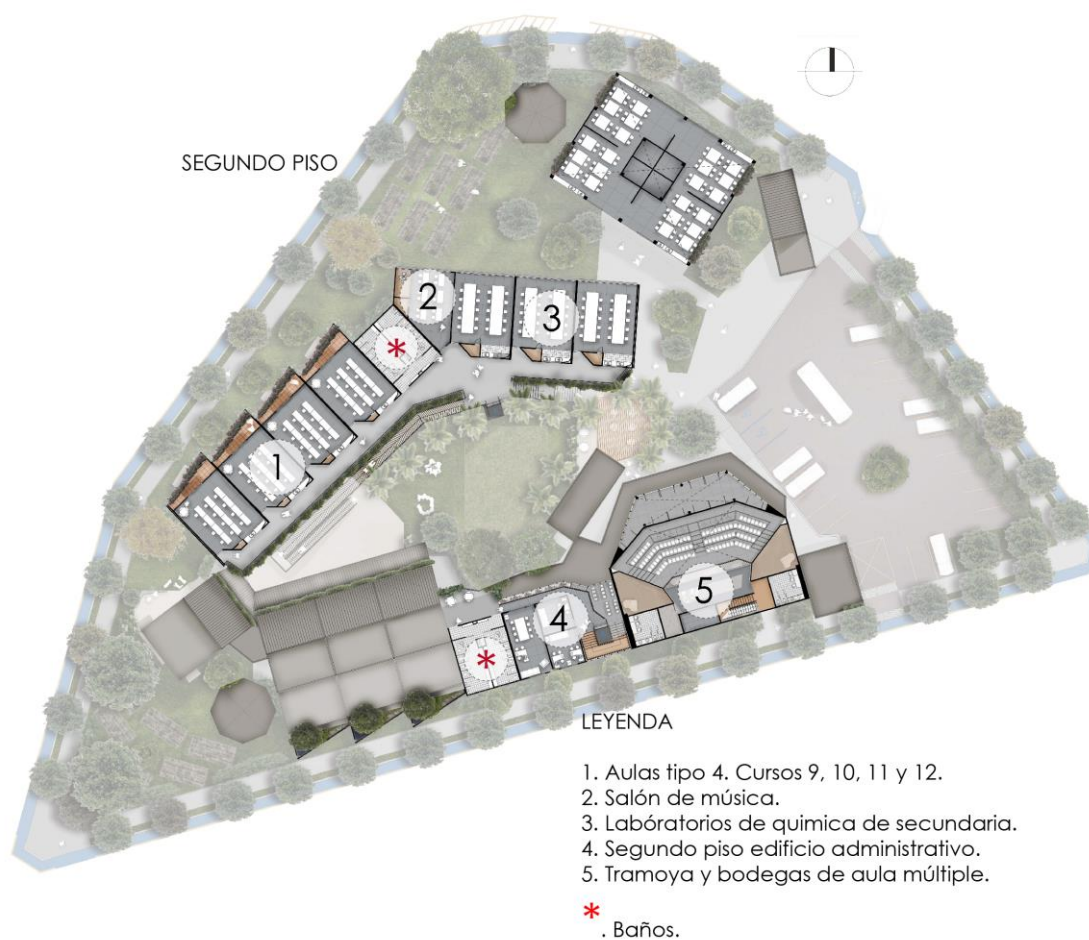
El programa arquitectónico se distribuyó en el lote según la lógica consecutiva de los cursos y la orientación climática en 10 zonas las cuales se explican a continuación para una mejor comprensión de los diferentes ambientes tanto académicos como complementarios.

Figura 38. Distribución general Primer piso.



Nota: Elaboración propia.

Figura 39. Distribución general Segundo piso.



Nota: Elaboración propia.

Zona 1. Acceso principal.

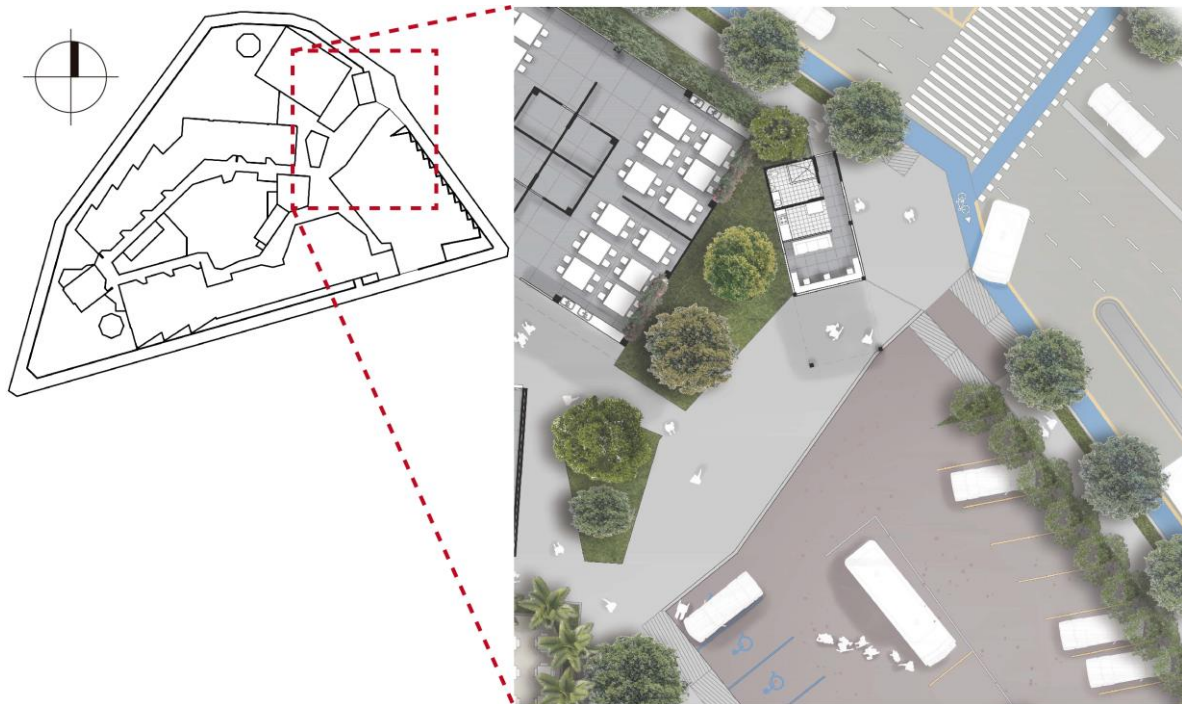
Ubicado sobre la carrera 50 el acceso principal cuenta con una puerta amplia para peatones que se mantiene abierta durante la jornada escolar completa y puede cerrarse en las noches junto con la puerta vehicular.

El control de portería es amplio pues en ocasiones deberá cubrir el acceso tanto de estudiantes como de personas de la comunidad que asistan a los talleres o la aula múltiple.

Cuenta con un vestier con ducha para el aseo de los funcionarios, una cocineta y una pequeña area de descanso.

El anden principal de acceso reparte en caminos independientes el flujo peatonal hacia los talleres por un lado, por otro hacia el primer piso de secundaria y de manera más jerarquica hacia el aula múltiple y zona de cafetería, camino que conduce al área de administración y primaria.

Figura 40. Zona 1: Acceso principal.



Nota: Elaboración propia.

Zona 2. Talleres y Bohío de Agricultura para Secundaria.

El edificio de talleres está compuesto por cuatro espacios iguales los cuales son abiertos para mitigar el ruido, el polvo y los olores fuertes que resultan los trabajos que ahí se realizan.

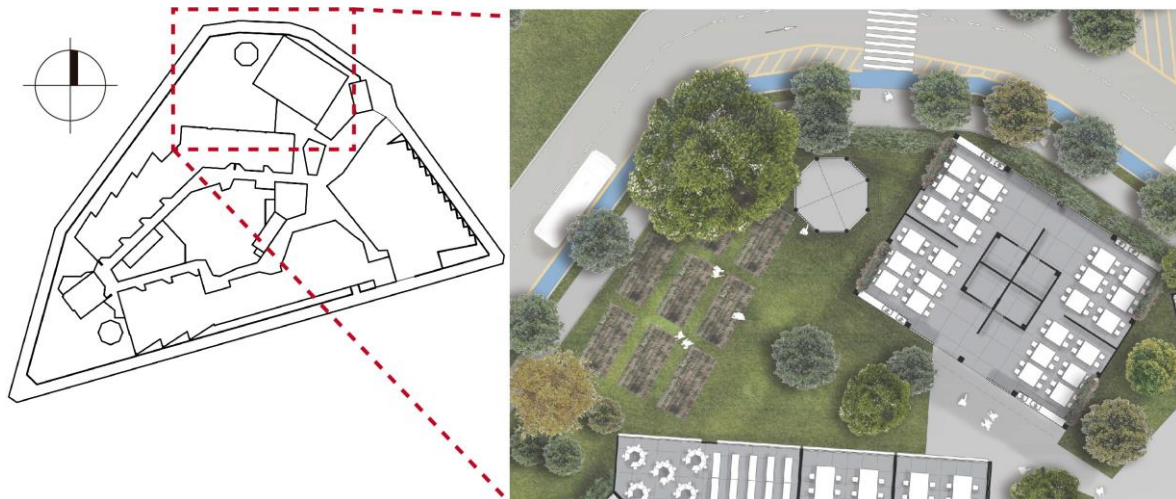
Conectados entre ellos, los talleres cuentan con una bodega y un mesón de lavamanos para el aseo de personas e instrumentos.

Junto a este edificio se encuentra otro más pequeño que alberga las clases de agricultura y actividades de secundaria como cestería y fabricación de papel.

Para la clase de agricultura a los estudiantes se les destina una sección de tierra de 0.60 x 1.0 mts en la que durante todo el año lectivo van a cultivar distintos vegetales. Así mismo se hace necesaria la existencia de un espacio donde se puedan reunir los estudiantes con el maestro antes y después de las clases.

Es un bohío sencillo con dos accesos que dan a las huertas de secundaria y la zona verde trasera del conjunto escolar.

Figura 41. Zona 2: Talleres y bohío de agricultura para secundaria.



Nota: Elaboración propia.

Zona 3. Parqueaderos y UTB.

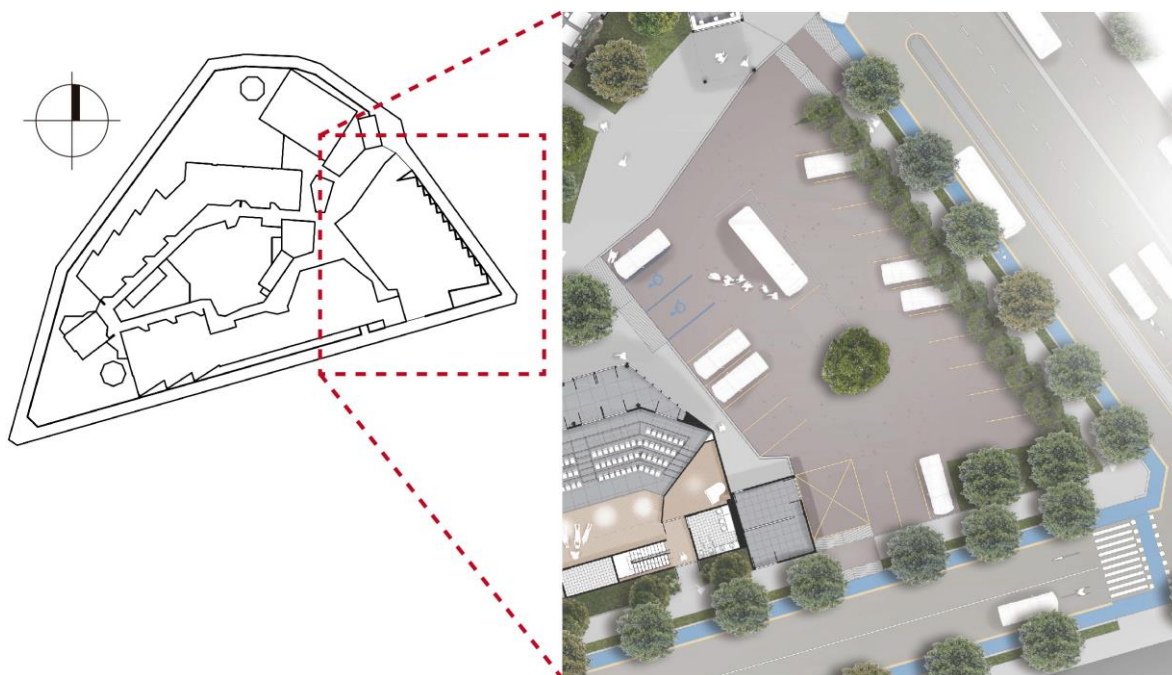
El parqueadero tiene capacidad para 20 vehículos, 3 adicionales más amplios para personas en condición de discapacidad o PMR y 1 espacio para un bus.

Hacia la calle 40 se diseñó un módulo pequeño para el control de las basuras y el reciclaje. Junto a este hay una puerta auxiliar para los camiones recolectores y demás vehículos pesados que puedan necesitarla.

Tanto la entrada principal como la auxiliar tienen rampas del 15% que suben a nivel del andén principal para con lo cual se especifica que la prioridad sobre el paso es del peatón.

Frente a los parqueaderos para PMR una rampa lleva a estas personas a la altura del andén principal con una suave pendiente del 8%.

Figura 42. Zona 3: Parqueaderos y UTB.



Nota: Elaboración propia.

Zona 4. Aula múltiple y Área de Cafetería.

El aula múltiple es un edificio que alberga las clases de teatro, eurytmia y gimnasia del conjunto escolar y las actividades colectivas desarrolladas por las juntas de acción comunal cercanas.

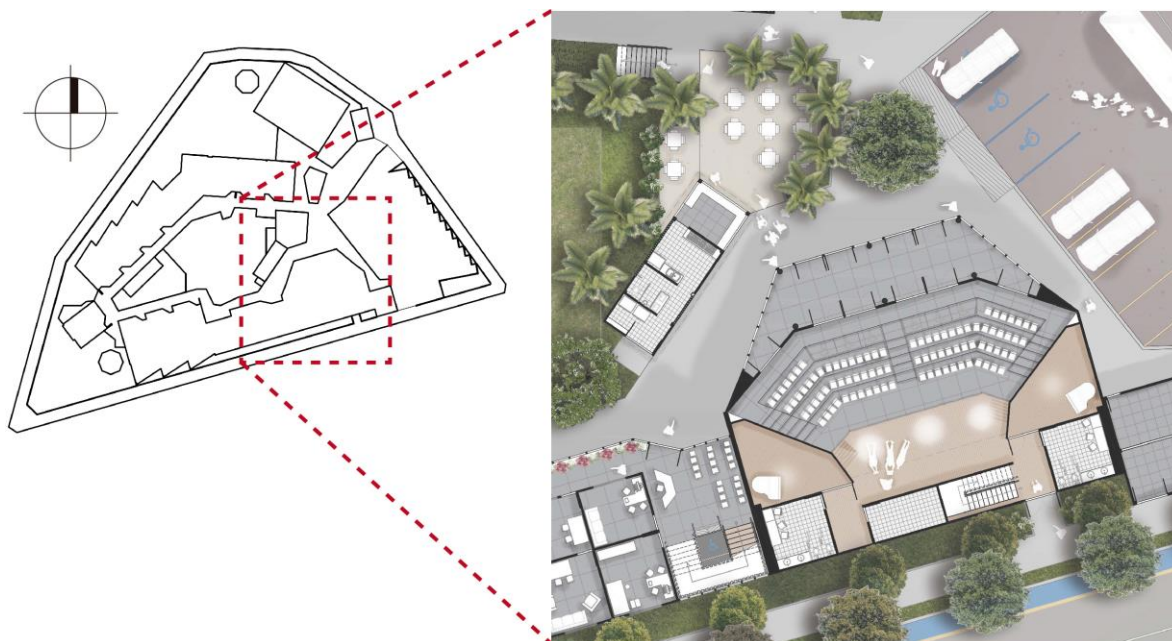
Se accede por un foyer amplio de fachada liviana con 6 puertas dobles (2 mts) que conducen al patio de butacas, el cual tiene 92 asientos fijos y 6 puestos especiales para personas en situación de discapacidad.

Dos escaleras a los extremos dan acceso al escenario elevado tras el cual se encuentran 2 bodegas de instrumentos que también son cuartos de ensayo, 2 camerinos con baterías sanitarias, una bodega general, una escalera que accede al segundo piso y una puerta trasera de emergencia.

En el segundo piso se encuentran las oficinas para las juntas comunales y el acceso a la tramoya.

La cafetería, por su parte, es un pequeño edificio con bodega, cocina y zona de atención dispuesta sobre una plazoleta protegida por una pérgola liviana.

Figura 43. Zona 4: Aula múltiple y cafetería.



Nota: Elaboración propia.

Zona 5. Área Administrativa.

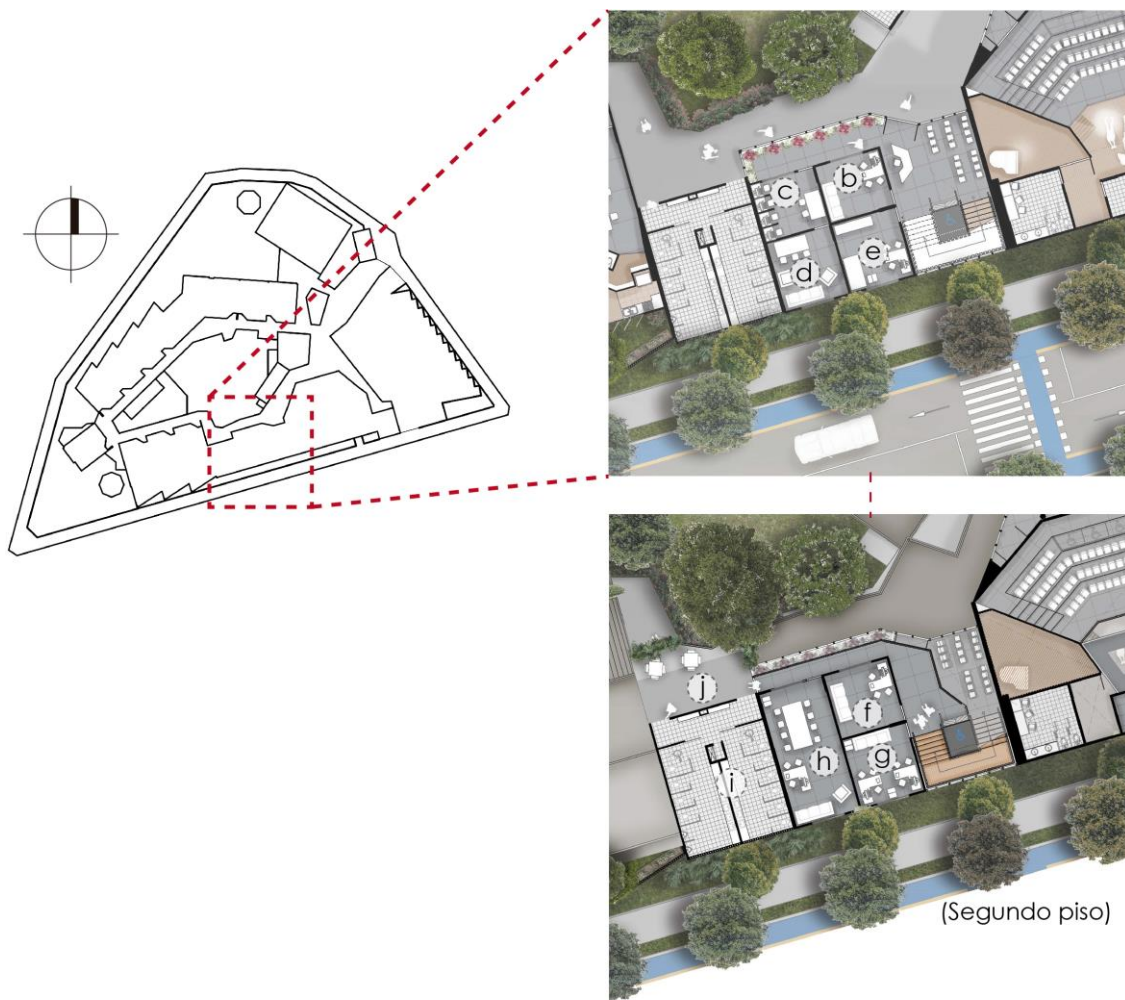
El módulo de administración fue diseñado según las exigencias de la NTC 4595 y se organizó en dos pisos.

En el primero se encuentra la sala de espera (a), una generosa escalera hacia el segundo piso, oficina de rectoría (b), área para asesorías personalizadas (c), el aula de descanso de maestros (d) y la enfermería (e).

En el segundo piso un pasillo permite una doble altura sobre la sala de espera y sobre el cual se encuentran tesorería (f), secretarías (g) y una sala de conferencias o reuniones (h).

Finalmente, una puerta al final del pasillo conduce a una terraza totalmente aislada visualmente para el descanso de los funcionarios del área administrativa (j) donde también se encuentra un baño de uso exclusivo de los mismos (i).

Figura 44. Zona 5: Área administrativa.



Nota: Elaboración propia.

Zona 6. Primaria, Primera Sección.

El primer tramo de primaria está compuesto por las aulas tipo 1 que corresponden a los cursos 1, 2 y 3.

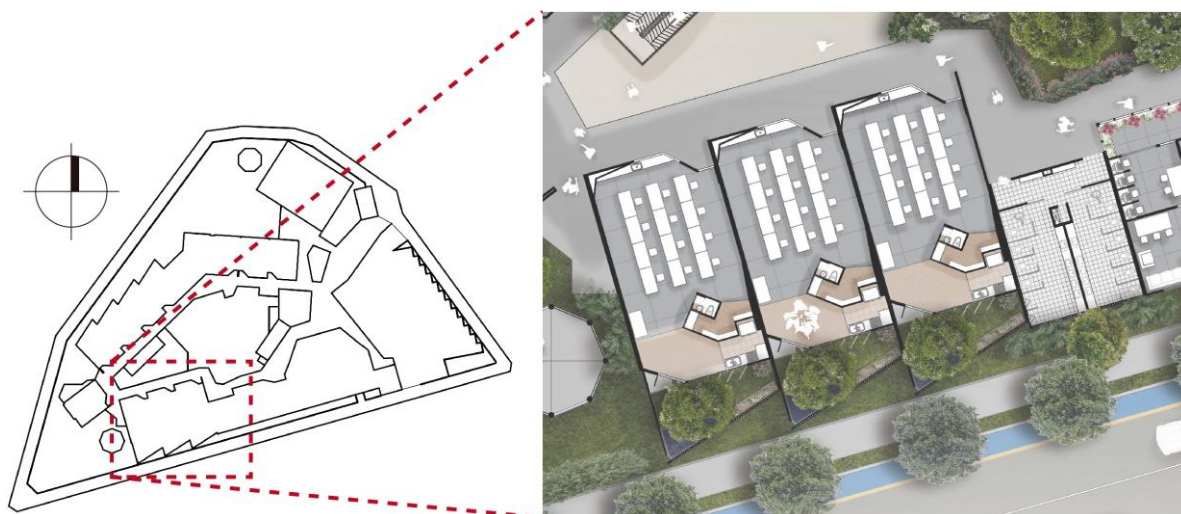
Son módulos diseñados bajo el concepto de “viviendas escolares” que además de tener un amplio espacio para pupitres y clases de atención frontal cuentan con un espacio flexible para realizar diferentes actividades lúdicas, cocineta para ayudar a la maestra a preparar las meriendas y un patio controlado donde se pueden cultivar vegetales y tener un contacto constante y seguro con la naturaleza.

Entre aulas los muros que separan los patios son sólidos, pero las demás caras de estos se proponen en calados de concreto que permitan el paso del viento proveniente del sur.

Al interior de las aulas se diseñó un pequeño espacio que da lugar a un baño a la medida de los niños. Detrás de este se encuentra un closet para materiales que se convierte en un lugar de reposo y escondite para los niños que deseen explorarlo.

Junto a estas aulas están los baños para las y los maestros de esta primera sección de primaria y para el aula múltiple.

Figura 45. Zona 6: Primera sección de primaria.



Nota: Elaboración propia.

Zona 7. Primaria, Segunda Sección

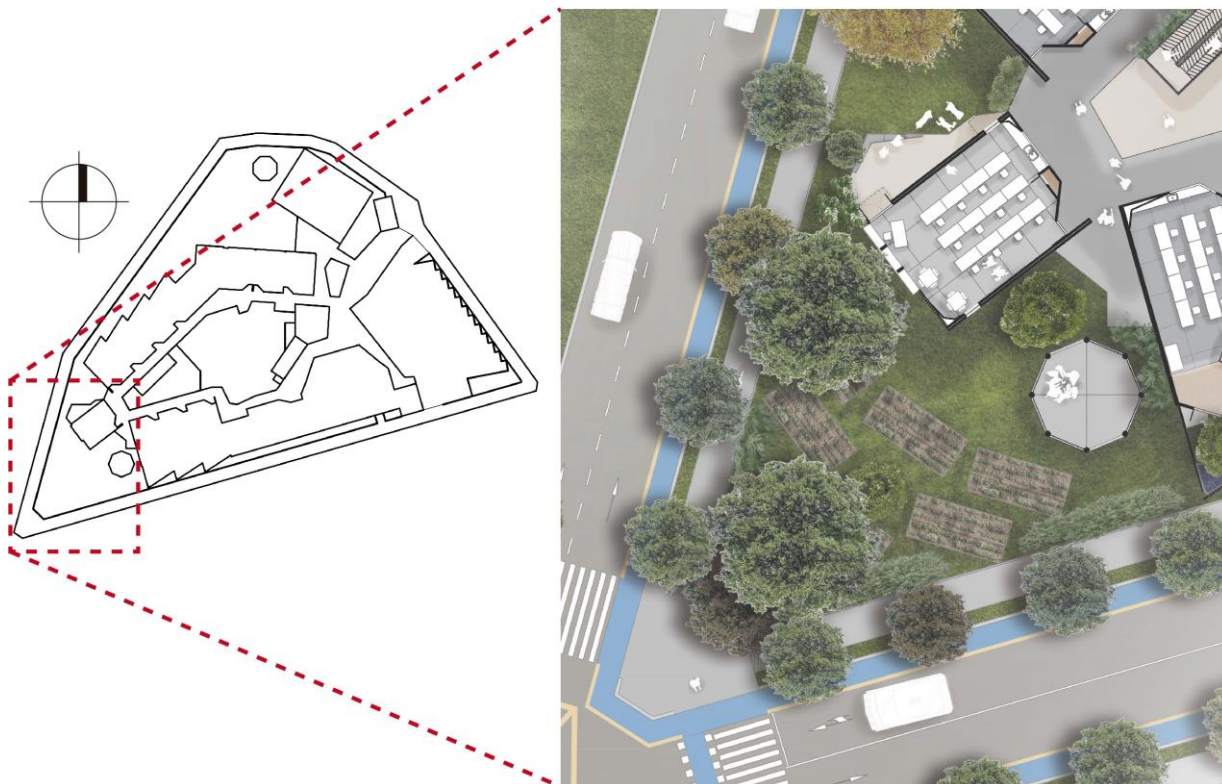
Curso 4to y Bohío de Agricultura para Secundaria.

Debido a las características tan específicas de las estrategias académicas utilizadas en el curso 4to éste se ubica en un lugar central de primaria dando frente a la plazoleta principal del colegio.

Esta aula a su vez cuenta con una pequeña plazoleta privada para las actividades de botánica en las que las niñas y niños de entre 9 y 10 años empiezan a ejercitar el interés por las ciencias al observar los procesos de crecimiento de diferentes plantas y toda suerte de experimentos que realizan con sus maestros.

En la parte trasera se encuentra el bohío y las huertas para las clases de agricultura de las niñas y niños de primaria que termina con un talud artificial y un pequeño bosque para proteger visualmente la esquina del tráfico vehicular externo.

Figura 46. Zona 7: Segunda sección de primaria.



Nota: Elaboración propia.

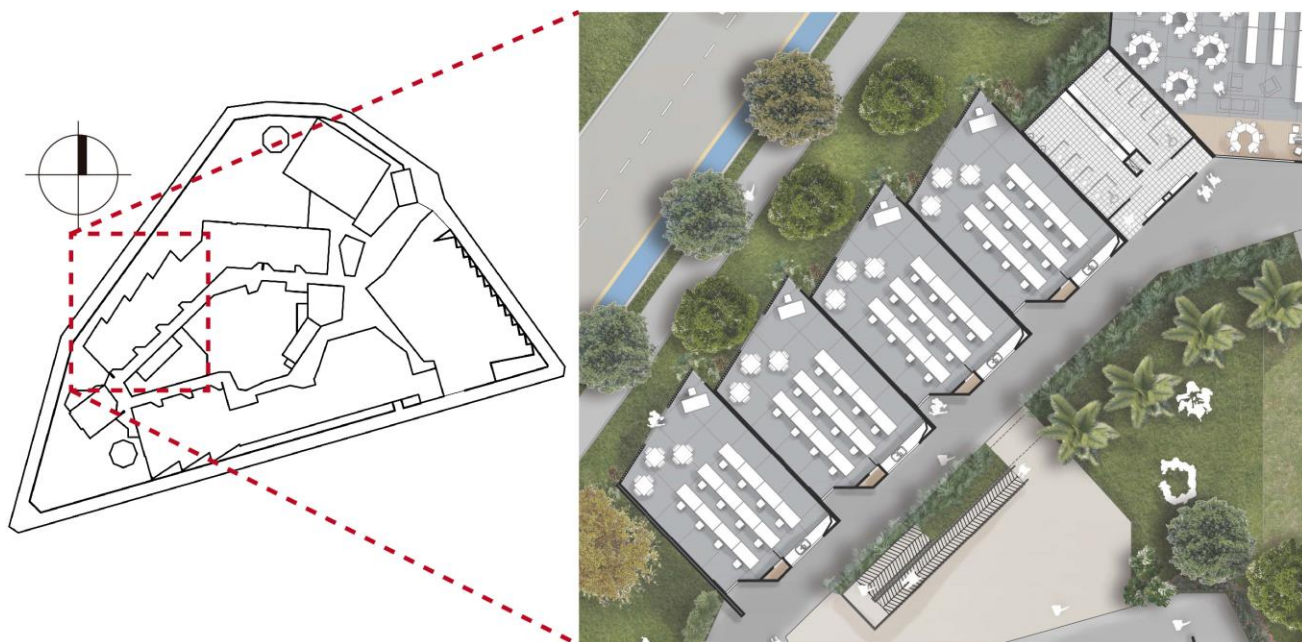
Zona 8. Secundaria, Primer Piso.

El primer piso de la zona de secundaria está compuesto por aulas tipo 3 que corresponden a los cursos 5,6 y 7 que técnicamente aún son primaria y el curso 8 como primer curso de secundaria.

Estas aulas cuentan con una puerta trasera que permite salir desde el área de trabajo individual a los jardines externos. Aprovechando el traslape que se da entre aulas, estas cuentan con una ventana lateral que ayuda a direccionar los vientos del este nor-este y aprovecharlos al interior de forma controlada.

Junto a estas aulas están los baños para las y los maestros de secundaria. Estos baños separan las aulas del área de biblioteca y aulas de manualidades, espacios que utiliza toda la población del colegio.

Figura 47. Zona 8: Primer piso de secundaria.



Nota: Elaboración propia.

Zona 9. Secundaria, Segundo Piso.

El segundo piso de secundaria está compuesto por las aulas tipo 4 que corresponden a los cursos 9, 10, 11 y 12. El curso 9 se ubica junto a los baños y el curso 12 remata el pasillo con lo cual se provee mayor independencia a las y los jóvenes que están por culminar sus estudios.

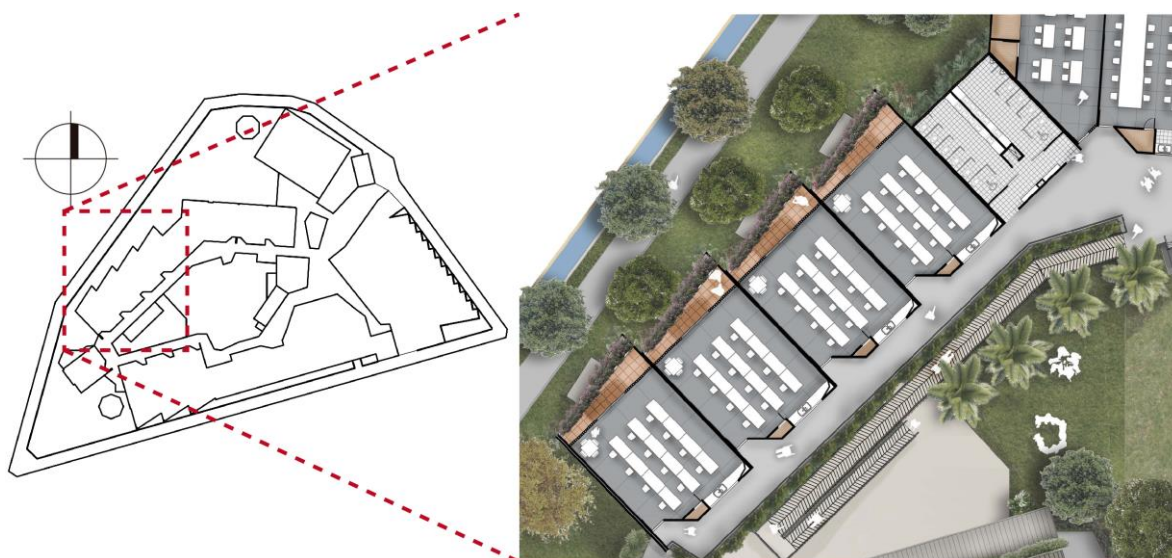
Los muros divisorios de los balcones son sólidos mientras comparten espacio con el aula vecina y en calados en lo que resta para así ayudar a direccionar una porción de los vientos del norte nor-oeste hacia el interior de un aula mientras se deja pasar otra porción al aula vecina.

Junto a estas aulas están los baños para las y los maestros de secundaria.

Estos baños separan las aulas del área de sala de música y laboratorios, espacios que por lo general solo utilizan los estudiantes del segundo piso.

Una materia de piso enmarca el límite del pasillo y genera una sensación de bienestar para las y los jóvenes de secundaria que se encuentran un poco más lejos de las zonas verdes del colegio.

Figura 48. Zona 9: Segundo piso de secundaria.



Nota: Elaboración propia.

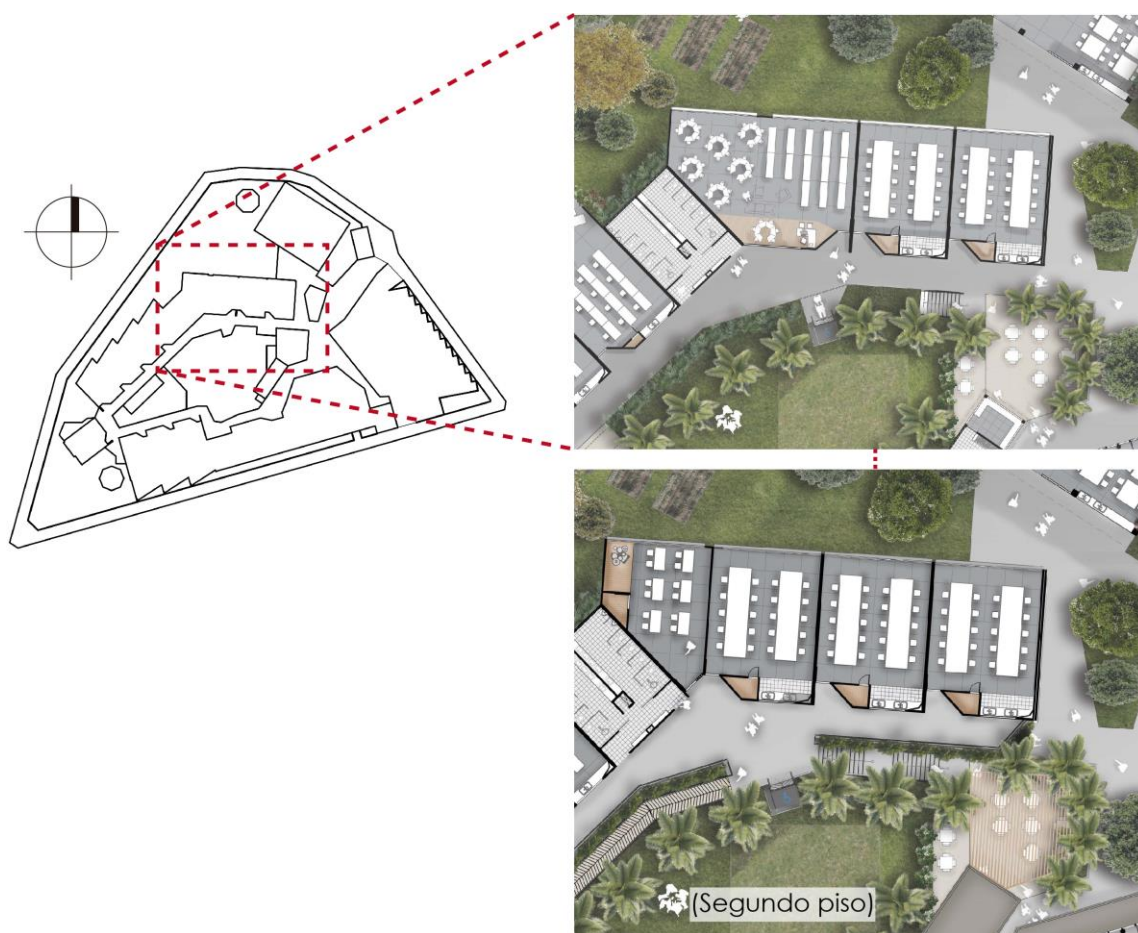
Zona 10. Biblioteca, Sala de Música, Aulas de Manualidades y Laboratorios.

En el primer piso de la última sección del conjunto escolar se encuentran, la biblioteca y las aulas de manualidades para primaria.

La biblioteca se distribuyó de forma estratégica; las mesas de lectura están sobre el costado del baño lejos del muro que se comparte con las aulas de manualidades debido a que es muy posible que las niñas y niños hagan ruido en estas clases que por lo general son más lúdicas que estrictas.

En el segundo piso el módulo de la biblioteca se divide para dar lugar a un aula de música utilizada por pequeños grupos de estudiantes a la vez, dos aulas de manualidades y un laboratorio para química.

Figura 49. Zona 10: Primer y segundo piso de ambientes académicos complementarios.



Nota: Elaboración propia.

Composición del Punto Fijo.

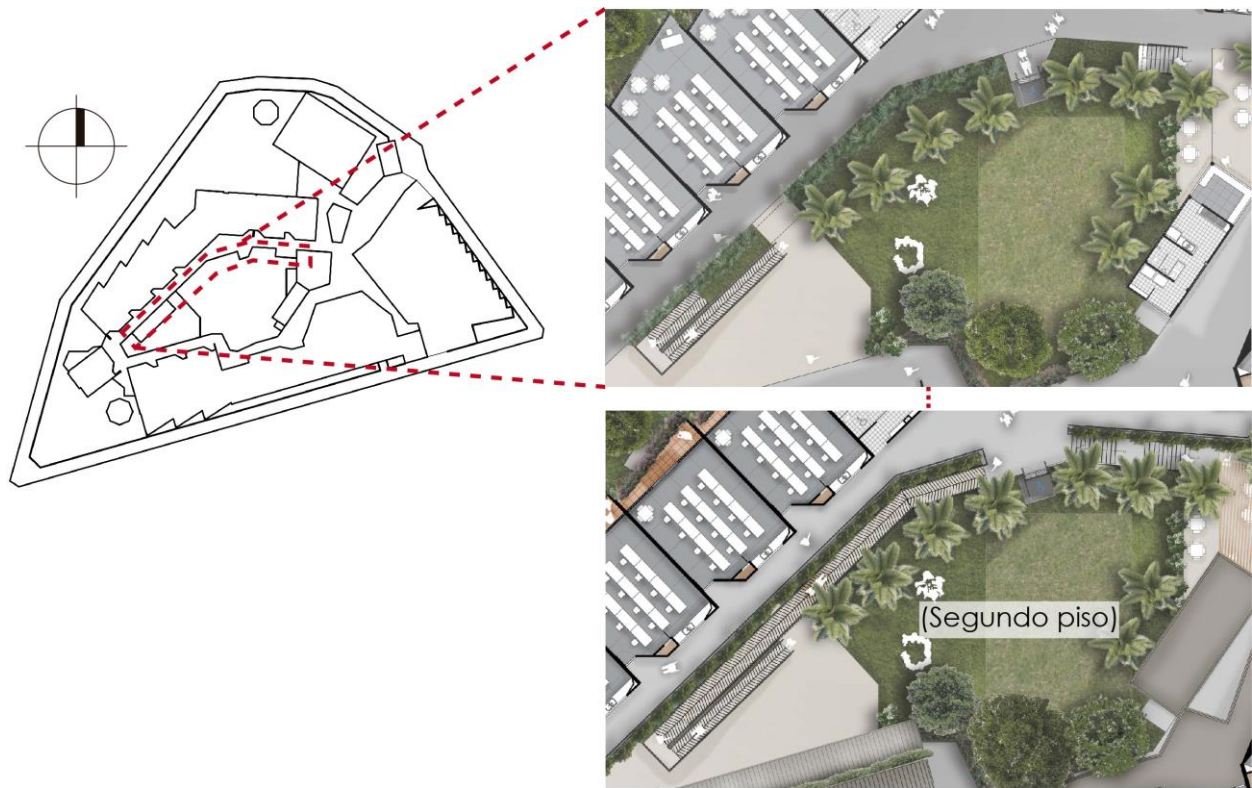
El punto fijo para el acceso de peatones al segundo piso de la zona de secundaria dispone de una rampa, unas escaleras y un ascensor para personas en condición de discapacidad que componen la fachada interna de estos edificios.

La rampa tiene una pendiente suave del 8% que para subir a una altura de 3.20 mt necesita un recorrido de 37 ML.

Se toma en la plazoleta principal para llegar a un primer descanso que hace un cambio de dirección y entrega en el espacio central entre las aulas que hacen rotación de estudiantes constantemente, los baños y las aulas que corresponden y mantienen los curso durante todo el año lectivo.

En ese punto también entregan el ascensor, que solo utilizan personas en condición de discapacidad, y las escaleras que vienen subiendo enfrentada a la rampa.

Figura 50. *Composición de punto fijo.*



Nota: Elaboración propia.

Figura 51. Maqueta general del proyecto. Esc_1:500.



LEYENDA

	Parada de transporte público		Puerta de abasto		Huertas		Baños
	Trayectos podotáctiles		Aula múltiple		Escaleras		Zona de juegos
	Ciclorutas		Administración		Ascensor para personas en situación de discapacidad		
	Portería/Taquilla		Cafetería		Rampa al 8%		
	Parqueos para personas en situación de discapacidad		Talleres		Espacios académicos		

Nota: Elaboración propia.

Cuadro de Áreas.

Las áreas del proyecto son las que se ven en la siguiente tabla:

Tabla 10. Áreas del proyecto.

ÁREAS DEL PROYECTO		ÁREAS DEL PROYECTO	
PISO 1		PISO 2	
Espacio/ ambiente académico	Área. M ²	Espacio/ ambiente académico	Área. M ²
Portería	31,56	Laboratorios (c/u)	68,35
Talleres	276,88	Aula de música	50,92
Bohío de agricultura, secundaria	26,87	Baños	53,67
Aulas de manualidades	68,35	AULA TIPO 4	
Biblioteca	121,89	Aula	61,53
AULA MÚLTIPLE		Balcón	9
Foyer	59,6	Administración	90,8
Patio de butacas	118,86	baños administración	53,67
Escenario y trasescena	153,84	AULA MÚLTIPLE	
Cafetería	102,93	Tramoya	42,82
Administración	129,54	Bodega	10,33
Baños	53,67		
AULA TIPO 1			
Aula	68,51		
Patio	21,82		
Bohío de agricultura, primaria	26,87		
AULA TIPO 2			
Aula	68,51		
Plazoleta	20,23		
AULA TIPO 3	74,94		
Baños	53,67		
UTB	34		

Nota: Elaboración propia.

Diseño de Aulas Tipo Según los Postulados de la Pedagogía Waldorf y Composición General

Como ya se ha dicho, la pedagogía Waldorf sirviéndose de la antroposofía ha realizado un mapeo que permite navegar el desarrollo de las niñas, niños y jóvenes anticipando sus necesidades y características más íntimas.

Para que el proyecto arquitectónico fuera adecuado para dicho trabajo pedagógico se diseñaron 4 aulas tipo que enmarcan las necesidades de dos de los primeros septenios.

La piel del conjunto escolar se diseñó en concreto blanco a la vista y se acompaña con revestimientos y cielos en madera, tanto externos como internos, carpintería en madera y tubulares metálicos de color negro para los barandales en general.

Al interior de las aulas se deja el concreto a la vista por tramos, en los restantes las paredes van estucadas y pintadas de blanco para luego pintar del color correspondiente al aula con la técnica Lazure. (ver título de aulas tipo). La parte alta de las paredes lleva un revestimiento en tablillas de pino de color claro y el cielo falso es de PVC brillante con apariencia de madera de color claro.

La cubierta por su parte, se compone de una teja sencilla de UPVC de color blanco y una manta de polietileno de baja densidad de color blanco con una cara en foil de aluminio a cada lado de un colchón de aire como se explicará más adelante.

En cuanto a la vegetación, en el lote del proyecto existen 6 árboles cuya permanencia no interrumpe ni la disposición urbana ni el diseño arquitectónico.

Además de estos árboles se han diseñado distintos tipos de jardines con vegetación baja, mediana y alta (ver título de memoria) que complementan la tectónica del proyecto y ayudan a mitigar la radiación difusa de las superficies pavimentadas.

Figura 52. Árboles preexistentes del lote de proyecto.



Nota: Imagen de Bing Maps, edición propia.

El Color de las Aulas Waldorf Según el Curso.

Una de las características más notorias de una escuela Waldorf en cualquier parte del mundo es su inusual colorido en contraste con las escuelas tradicionales.

Adentro y afuera las escuelas se adornan con telares, tejidos, jarrones decorados con esmaltes, esculturas en cera de abejas y todo tipo de trabajos realizados por los estudiantes.

Adicionalmente, las aulas también van pintadas de diferentes colores, y estos colores son escogidos según los propósitos de la pedagogía para cada momento del desarrollo de niñas, niños y jóvenes.

La manera en la que se dispone de un color para cada aula de clase fue estructurada por Rudolf Steiner basándose en los estudios del famoso dramaturgo y naturalista Johann Wolfgang Von Goethe.

Goethe no solo estaba interesado en las manifestaciones físicas del color sino también en la naturaleza cualitativa de este, un aspecto más intangible.

A partir de estos postulados Steiner estructuró el recorrido de color en unas pocas escuelas en Europa las cuales seguían un mismo patrón. Dicho patrón fue adoptado posteriormente por los movimientos mundiales de escuelas Waldorf y aplicado en todos los edificios que se levantaron desde entonces (Asociación Norteamericana de Escuelas Waldorf , 2000).

El pensum típico Waldorf está enfocado en gestar en las niñas y niños un correcto desarrollo del pensamiento por medio del estudio intelectual pero también por medio de la actividad artística y práctica.

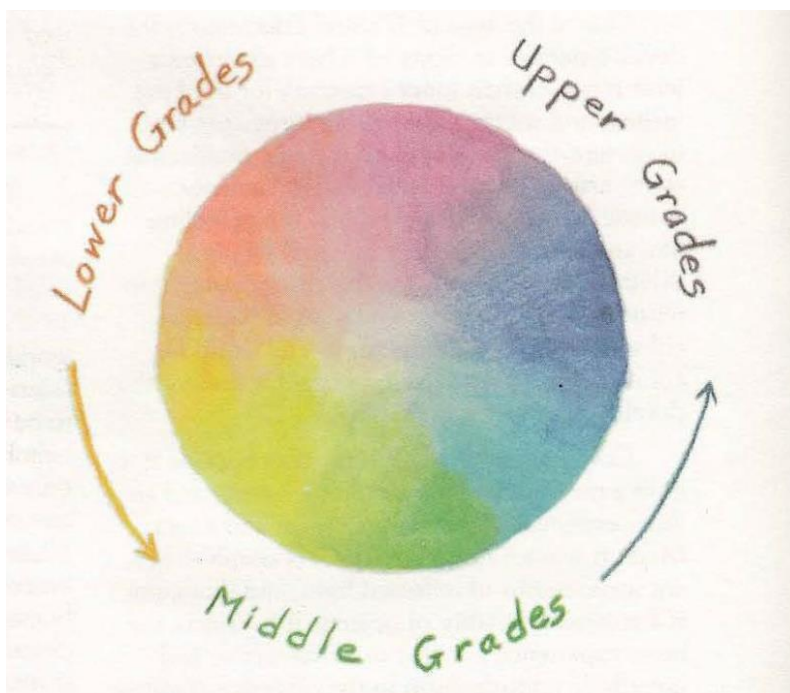
La actividad artística y la percepción del color están íntimamente relacionadas con los sentimientos y tienen influencia en el ánimo con el que los estudiantes enfrentan las clases. Las aulas de clases se pintan para que las niñas y niños compartan la vitalidad interna del color que les corresponde y lo enfoquen en el ejercicio de aprendizaje (Asociación Norteamericana de Escuelas Waldorf , 2000).

Así como un día soleado produce en los individuos un estado anímico notablemente diferente al que produce un día nublado y gris, no es lo mismo entrar a un aula de clases de color rojo que a una de color azul.

Para evitar la opacidad que dejan las pinturas convencionales las escuelas Waldorf utilizan pinturas a base de agua que se aplican en las paredes con una técnica llamada Lazure que consiste en aplicar capas de pintura sobrepuestas utilizando brochas de gran tamaño o esponjas, para crear un efecto de velo con profundidades y movimientos dinámicos (figura 54). De esta manera las paredes siguen reflejando la luz.

Basados en el círculo de color de Goethe los cursos van pintados en una progresión desde los rojos, pasando por los amarillos y verdes, hasta los azules y violetas.

Figura 53. "Círculo de color de Goethe para escuelas".



Nota: Fuente: Light-filled color: Translucent colors and their use in Waldorf schools, P.26.

Figura 54. Pared pintada con técnica Lazure para escuela Waldorf.



Nota: Foto tomada de internet.

El color rojo para los primeros cursos de primaria evoca acción, propósito, voluntad y calidez lo cual va de la mano con las actividades de la pedagogía que les enseña a las niñas y niños de 7 a 9 años a aprender por medio de la imitación y juegos.

El color verde se aplica en los cursos de 4to y 5to debido a que es un color de equilibrio (se ubica entre los colores cálidos y los fríos) y representa muy adecuadamente el momento de balance que están viviendo las niñas y niños en su paso a la adolescencia.

Las aulas de los cursos de secundaria a partir del 6to se pintan de diferentes tonos de azul pues es un color que evoca la calma. Para tener procesos mentales adecuados se necesita tener la mente en calma de manera que se beneficie el despertar del pensamiento científico que están experimentando estos jóvenes.

Finalmente, el curso 12 no se pinta de un azul más oscuro sino de violeta.

Con esto Steiner le devuelve algo de rojo, de vitalidad y fuerza, al azul calmado del intelecto para que los jóvenes, una vez graduados, sientan el impulso de aplicar con ahínco lo aprendido en la escuela en el mundo exterior.

Esto es un reflejo del objetivo de la pedagogía Waldorf de forjar en cada individuo un pensamiento abrigado por el corazón e impulsado por la voluntad (Asociación Norteamericana de Escuelas Waldorf , 2000).

Así lo manifiesta el Maestro Waldorf Kevin Hughes:

El viaje desde el jardín de infantes hasta el duodécimo año es un viaje épico hacia la plenitud que es fomentado por el plan de estudios y respaldado por las experiencias de color de las lecciones de pintura y los colores de las aulas (2000, P.29)

Con esta tendencia, la pedagogía Waldorf reafirma la importancia de la calidad de los ambientes académicos en los procesos de aprendizaje.

Se procedió entonces a realizar el diseño de aulas tipo.

Aula tipo 1. Cursos 1, 2 y 3.

Esta aula se diseña para niñas y niños que inician el segundo septenio. Están cumpliendo los 7 años de y han culminado la primera etapa fuerte de desarrollo físico al cambiar de dientes.

Aun se aprende imitando y la o el maestro hace las veces de una madre o un padre que acompaña y guía casi la totalidad de las actividades exceptuando algunas como la eurytmia.

Un individuo saludable en esta etapa es incansable pero sus labores deben ser repetitivas y específicas como cantos, rondas, aritmética simple y pintura, entre otros. Es importante que la o el maestro continúe el ritmo del día al que están acostumbrados las niñas y los niños desde preescolar el cual debe ser en intervalos entre el aprender y las actividades lúdicas.

Mantener un equilibrio entre la cantidad de conocimiento que se imparte y el tiempo de descanso que se les da a las niñas y niños es vital.

Esto debe entenderse como la nutrición, la comida no nutre hasta que se metaboliza y ese proceso sucede después del acto mismo de comer. El conocimiento se absorbe mejor si primero “se olvida” por medio de actividades relacionadas con el hacer, y haciendo de periodo de incubación, es “olvidando” la información previamente adquirida que somos capaces de convertirla en sabiduría (Carlgren, Una educación hacia la libertad. La pedagogía de Rudolf Steiner, 1972).

Por eso después de las clases debe haber actividades lúdicas para luego retomar lo impartido por medio de realización de tareas sencillas como dibujos.

Por lo anterior el aula tipo 1 es como “casita escolar” con cocineta, área de juegos, baño para niños y patio verde cerrado con huerta.

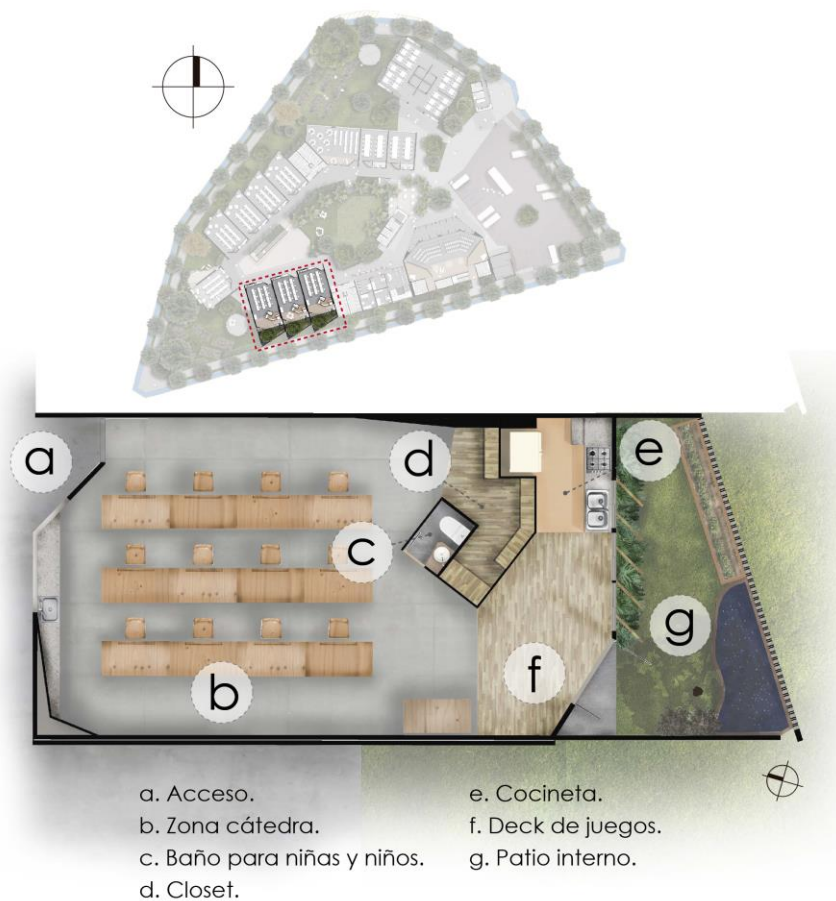
Estas aulas deben ser flexibles y dinámicas para que estimulen los trabajos de voluntad y método que imparten los maestros diariamente. Ver figuras 55 y 56.

Figura 55. *Corte longitudinal aula tipo 1.*



Nota: Elaboración propia.

Figura 56. Planta de aula tipo 1.



Nota: Elaboración propia.

Aula tipo 2. curso 4.

Esta es un aula especial pues las niñas y niños 9 y 10 años están en una etapa fundamental en la que fortalecen la observación y el análisis.

Por primera vez son capaces de ver, analizar y concluir, es decir, observar.

Se vuelven tan observadores que pueden imitarse entre sí y copiarse en sus ilustraciones. No es extraño que ciertos individuos se vean atraídos por el dibujo y la caricatura en este periodo.

Es por eso por lo que se necesitan espacios estimulantes que los ayuden a descubrir el mundo y los inspiren a plasmarlo.

Es la única aula individual con acceso a una plazoleta solo para ella, ya que en este curso se imparten clases que parten de fenómenos observables y que requieren de

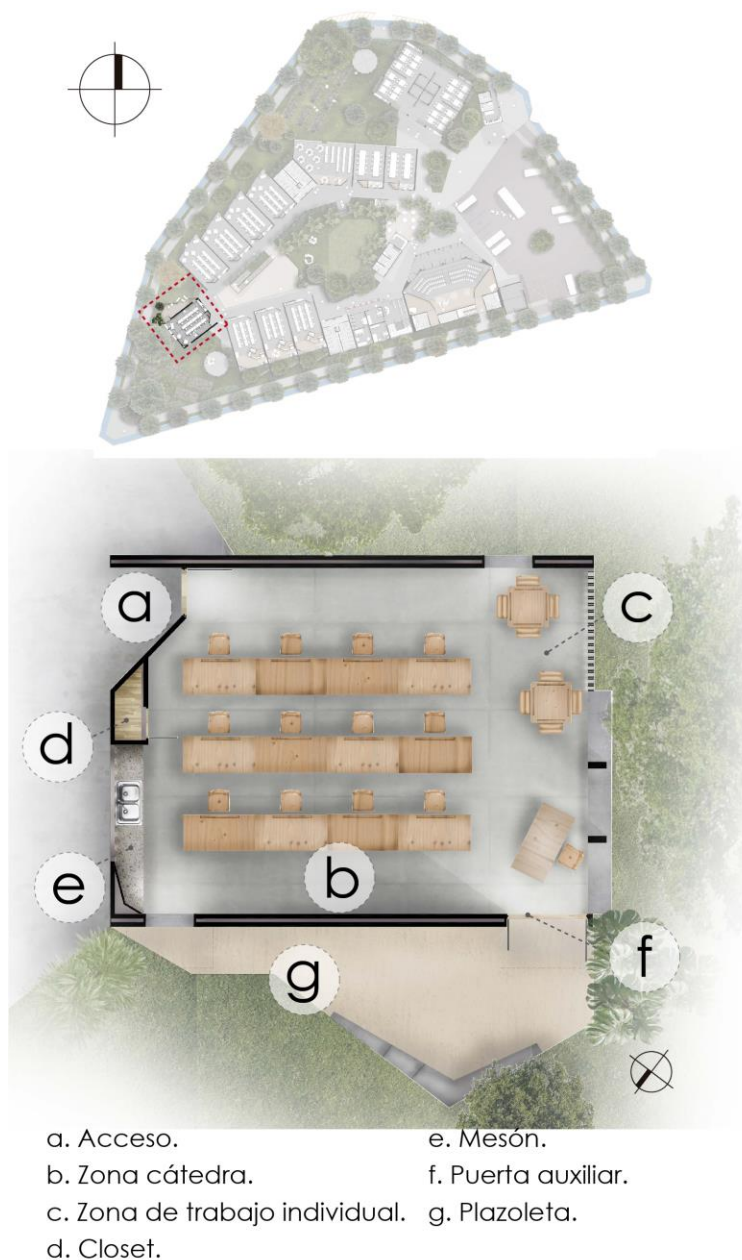
práctica y necesitan espacios para ellos, como las ciencias de la botánica y la astronomía. Ver figuras 57 y 58.

Figura 57. *Corte longitudinal aula tipo 2.*



Nota: Elaboración propia.

Figura 58. Planta de aula tipo 2.



Nota: Elaboración propia.

Aula tipo 3. Cursos 5, 6, 7 y 8.

Estos jóvenes ya han empezado a construir un pensamiento y un interés científico junto con el trabajo sobre la abstracción y el principio de la causalidad.

Es momento de dejar para la casa tareas más complejas que fomenten la investigación y que van creando paulatinamente un criterio propio.

Los maestros se ven obligados a compartir sus estudiantes con otros maestros más especializados en otras ciencias naturales y materias de mayor complejidad como la talla y el modelado en arcilla.

Las aulas para estos jóvenes son más simples en su programa, pero cuentan con un espacio al fondo para trabajo individual.

Los maestros empiezan a introducir ciencias un tanto más complejas, aunque orgánicas, que requieren de más espacios para las cátedras y ambientes académicos complejos como laboratorios y talleres de manualidades.

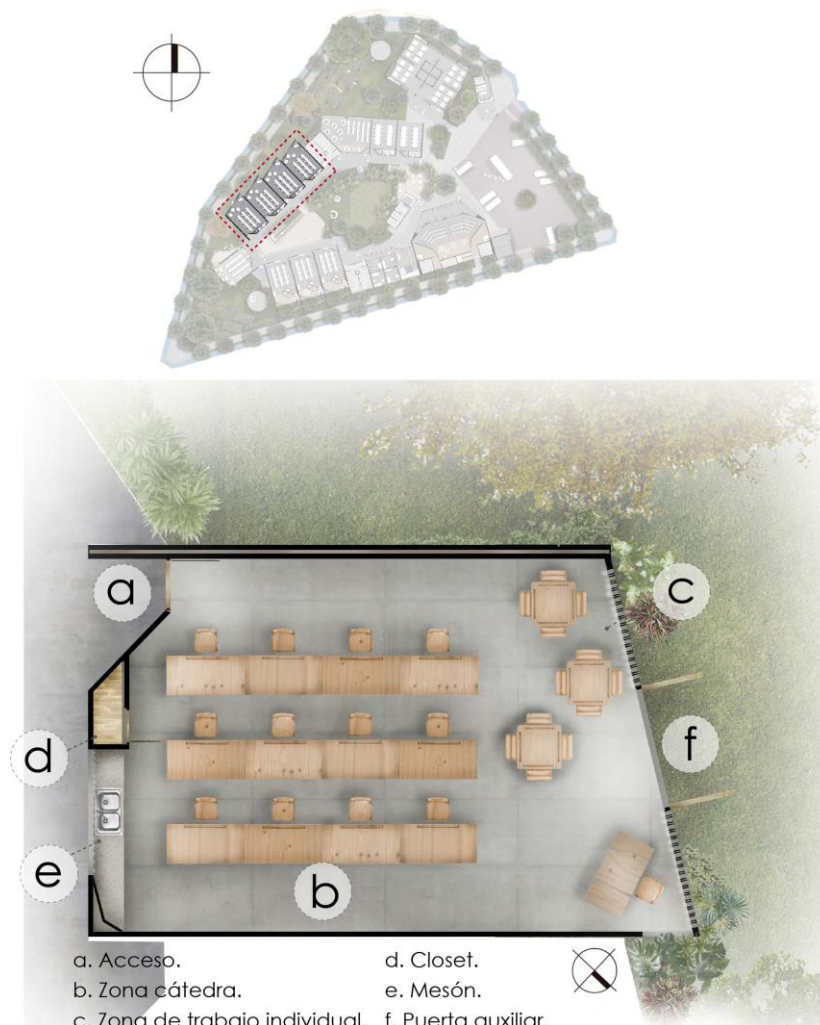
Las aulas cuentan con una puerta trasera que conduce a los jardines. Esta libertad complementa el periodo en el que los estudiantes empiezan a cambiar de ambientes académicos constantemente y forja en ellos un principio de responsabilidad. Ver figuras 59 y 60.

Figura 59. *Corte longitudinal de aula tipo 3.*



Nota: Elaboración propia.

Figura 60. Planta de aula tipo 3.



Nota: Elaboración propia.

Aula Tipo 4. Cursos 9, 10, 11 y 12.

Estos jóvenes están preparándose para la vida universitaria, para iniciar un trabajo individual de la construcción personal en el mundo, momento que viene con el tercer septenio.

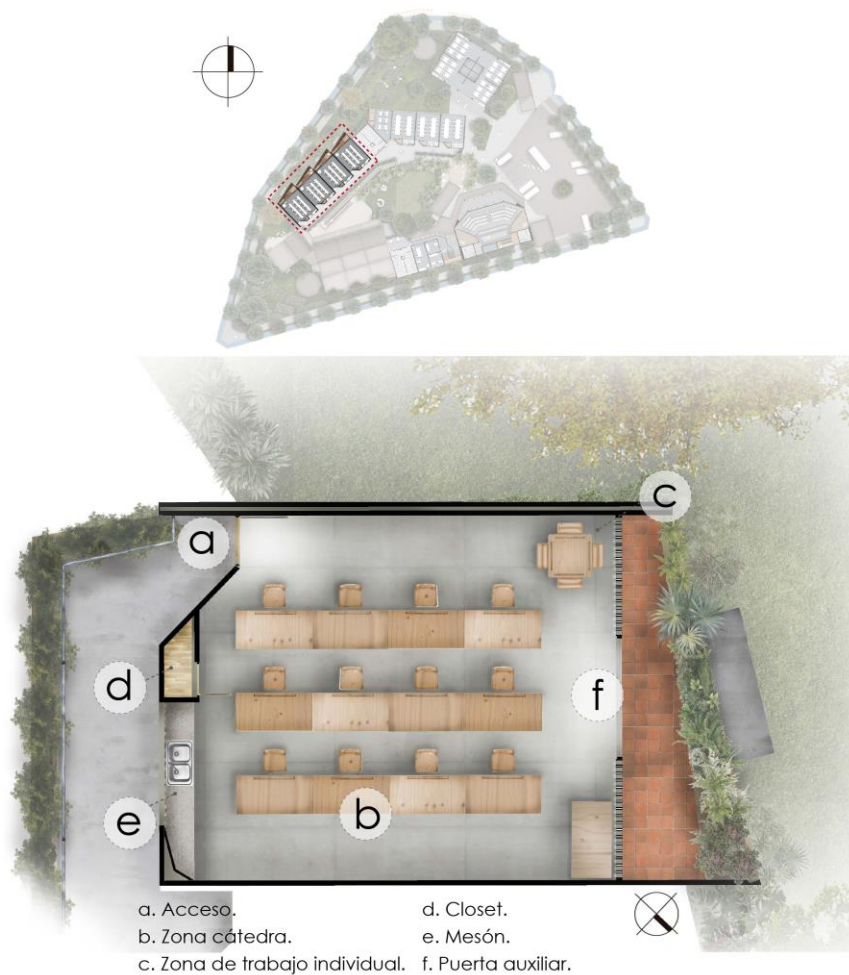
Ya no se les dispone de un solo maestro, solo van a tener un maestro tutor que hace las veces de un amigo mayor que no juzga y escucha. Ahora los jóvenes deben ver clases con especialistas en ciencias ya más complejas; pasaron de la álgebra a la trigonometría, de la química orgánica a la inorgánica, del modelado al torno y de la talla a la carpintería, por ejemplo.

Son jóvenes capaces de establecer sociedades dependiendo de las afinidades que descubren en su medio y se encaminan en el descubrimiento del YO, una postura individual y potente pero comprometida con la sociedad que le ha formado.

Las tertulias que puedan establecer estos jóvenes entre ellos y con sus maestros son vitales para su crecimiento, pues se enfrentan a posiciones y opiniones contrarias y se van introduciendo en el debate y la argumentación.

Estas son aulas sencillas, también racionales y cuentan con un balcón trasero para dichas interacciones que al igual que las clases son edificantes para el intelecto. Ver figuras 61 y 62.

Figura 61. Planta de aula tipo 4.



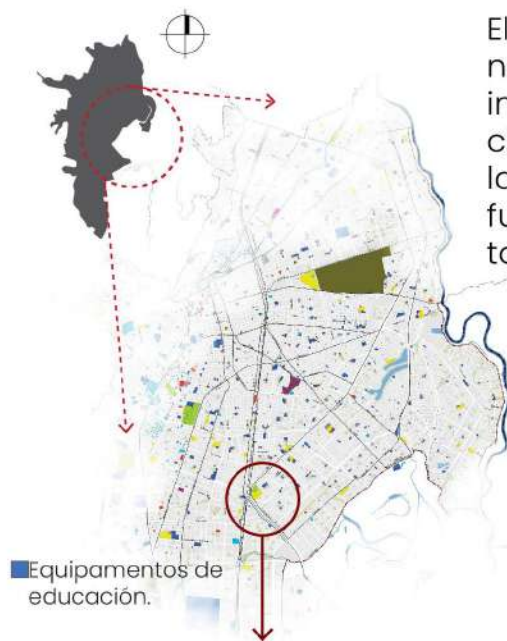
Nota: Elaboración propia.

Figura 62. *Corte longitudinal de aula tipo 4.*



Nota: Elaboración propia.

EDIFICIO ESCOLAR DISEÑADO BAJO PARÁMETROS DE CONFORT TÉRMICO Y ESCUELA NUEVA EN CALI



El proyecto nace de dos pilares fundamentales; La necesidad de reducir emisiones de gases de efecto invernadero para mitigar en 1.5°C el cambio climático antes del 2030 y La necesidad de mejorar la educación en Colombia para garantizar un futuro mejor y un bienestar estable y duradero para todas y todos.

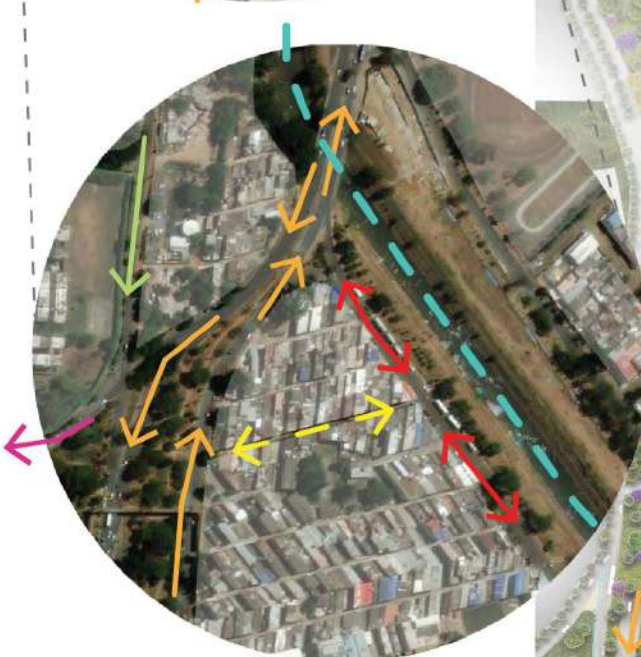
Desde el año 2015 se ha visto un aumento en la deserción escolar y en el bajo rendimiento académico, entre otros problemas de infraestructura y convivencia, panorama que empeoró con el Covid en el 2019.

Para el año 2021 415 colegios cerraron definitivamente sus puertas y designaron a sus estudiantes a otras instituciones oficiales ante la imposibilidad de adaptar sus instalaciones a los estándares de bioseguridad (Secretaría de Educación Municipal. Cali, 2021).

UBICACIÓN



LEYENDA	
—	Rio Cañaveralito.
—	Calle 25/Av. Simón B.
—	Carrera 50.
—	Calle 23.
—	Carrera 56.
—	Carrera 57.
 	PROYECTO.
 	Paralela de calle 25 de baja velocidad.



El barrio donde se implanta el proyecto, Brisas del Limonar, tiene una densidad que pone en peligro a sus habitantes. En solo tres manzanas se alcanzan a observar al menos 59 edificios que por su condición socio-económica podrían representar 124 hogares y, si asumimos que según Cali en Cifras los hogares del sector se componen comunmente por 6 integrantes, esos hogares podrían albergar algo más de 500 personas; no cuentan con espacio público efectivo, solo se pueden contar 6 árboles en todo el barrio y por sus callecitas no alcanza a transitar un carro y una persona a la vez.

Por lo anterior, la calle 57 es parte del diseño urbano del proyecto puesto que al día de hoy solo es un corredor angosto.



SISTEMA NATURAL PAISAJISTICO Y CERRAMIENTO



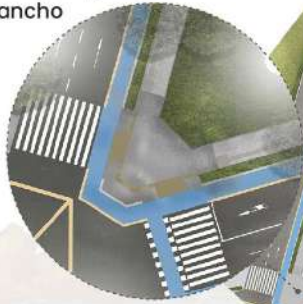
APROXIMACIÓN



El carril vehicular de la derecha tiene 3.20mts de ancho para el tránsito cómodo del BRT el cual solo cuenta con una parada sobre el colegio en la bahía de descarga de pasajeros en la entrada principal, mientras que el carril de la izquierda tiene 3mts de ancho



El andén que se diseñó para el perímetro del proyecto está compuesto por una **cicloruta unidireccional de 1,20 Mts**, una **berma vegetal de 0,80 Mts** y un **espacio peatonal de 2 Mts** con **vados del 12%** en los cruces peatonales y **recorridos podó táctiles**.



*Todos los semáforos cuentan con cebra de uso peatonal y un cruce especificado para bicicletas.



ARBORIZACIÓN DEL PROYECTO EXISTENTES

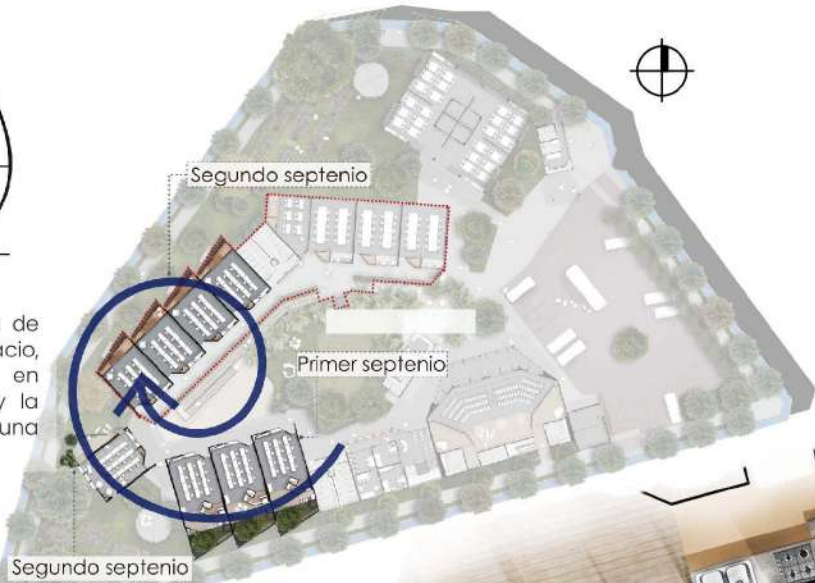
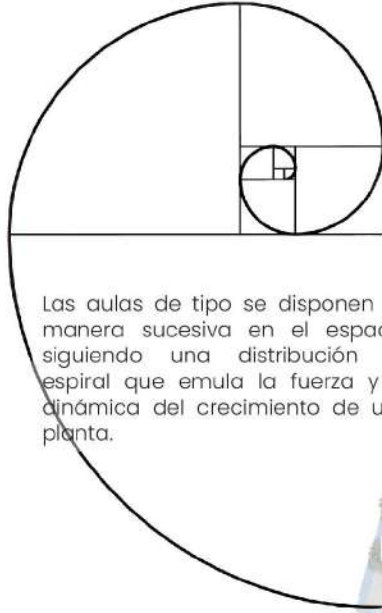
LEYENDA

- Árboles existentes.
- Árboles de plazoleta y cafetería.
- Tensión de recorridos por arborización.



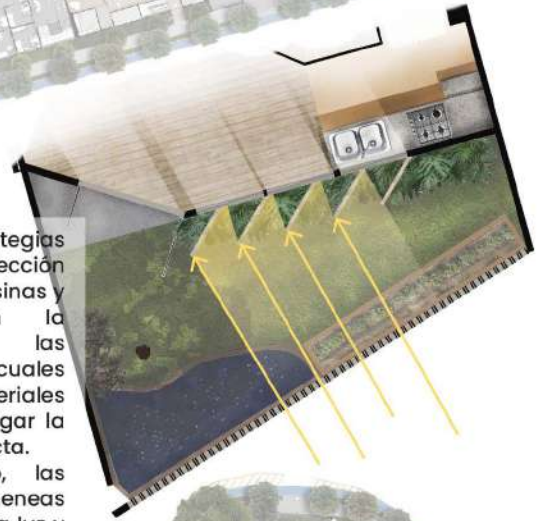
El lote de implantación solo cuenta con 6 árboles existentes, por lo que se proponen unas tensiones de acceso, recorrido y permanencia por medio de distintos tipos de vegetación endémica entre árboles, palmas y arbustos.

DISTRIBUCIÓN Y ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS



Se combinaron estrategias pasivas de protección solar, como marquesinas y quebrasoles, con la tectónica de las superficies, las cuales hacen uso de materiales diseñados para mitigar la incidencia solar directa.

Al mismo tiempo, las marquesinas y chimeneas ayudan a capturar la luz y reflejándola en el espacio se logra el aprovechamiento de la luz natural y se disminuye el consumo de luz artificial y por ende electricidad.



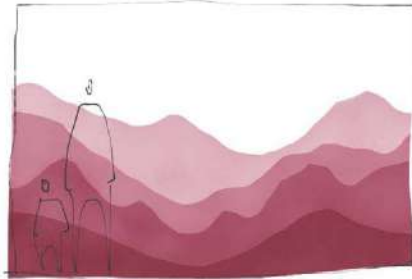
Sandwich de doble muro de concreto con placa de poliestireno expandido de 3cm



Se logró un flujo constante de aire y sus adecuadas renovaciones por medio de las estrategias pasivas que permitieron un muro de fachada ligero con diversas entradas y salidas.



AULAS TIPO CONCEPTOS



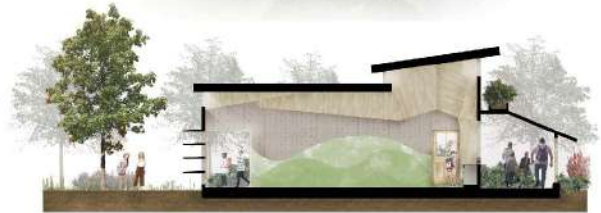
Las paredes internas de los ambientes académicos se componen por una combinación de tablas de madera, concreto a la vista y secciones pintadas con la técnica antroposófica Lezure y los colores correspondientes según el círculo cromático de Goethe; si bien estos elementos representan resistencias que suman a la protección térmica, en los cálculos solo se tuvo en cuenta el bloque de concreto como resistencia debido a la aleatoriedad de los demás elementos de las fachas internamente.

Al exterior el proyecto es todo en concreto a la vista de color claro y solo se da color por medio de la carpintería negra y la vegetación abundante.

AULA TIPO 1



AULA TIPO 2



AULA TIPO 3



AULA TIPO 4



RECORRIDOS Y PERMANENCIAS

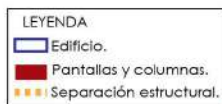


SALIDAS DE EMERGENCIA

Los ambientes académicos con mayor carga se encuentran a nivel de la calle y los de más área cuentan con más de una puerta. Las aulas del segundo piso no albergan más de 30 personas cada una y evacúan sobre un corredor de 2,50 mts de ancho.



ESTRUCTURAL



La estructura se basa en una serie de pantallas y muros portantes que permiten un espacio amplio y flexible entre apoyos.

Debido a su forma intrincada el proyecto se compone de 12 edificios independientes; 5 de ellos son exentos y los demás componen el conjunto académico principal y administrativo haciendo uso de juntas estructurales con placas metálicas de color negro mate.

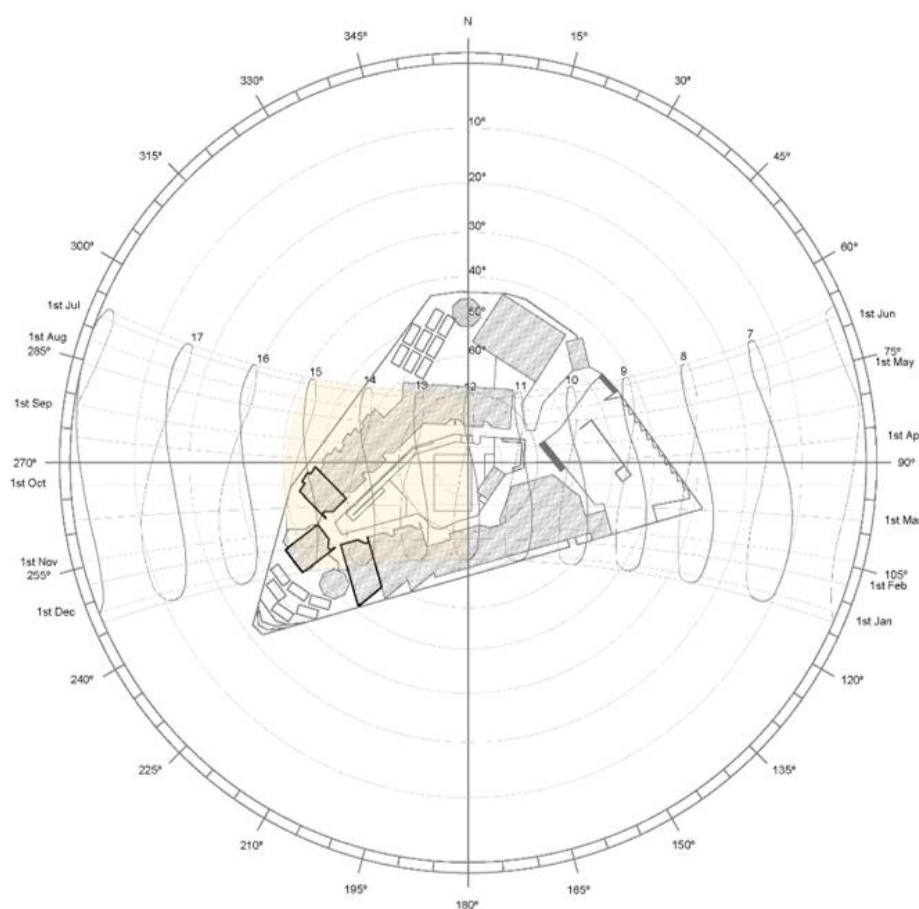
Cálculos y Simulaciones

Análisis de Incidencia Solar de Aulas Tipo

El análisis bioclimático se llevó a cabo en el aula más crítica de cada tipo, sin embargo, el aula tipo 3 y el aula tipo 4 son muy similares pues una está encima de la otra. Debido a esto, el aula que suma la mayor carga térmica es la tipo 4 ya que suma la radiación directa sobre la cubierta. Las estrategias que se desarrollen para garantizar confort en el aula tipo 4 serían capaces de garantizarlo en el aula tipo 3.

Las aulas a evaluar según su orientación y exposición a los días de sol más críticos se ubican de la siguiente manera:

Figura 63. Ubicación de aulas tipo 1, 2 y 4 (segundo piso) a evaluar.

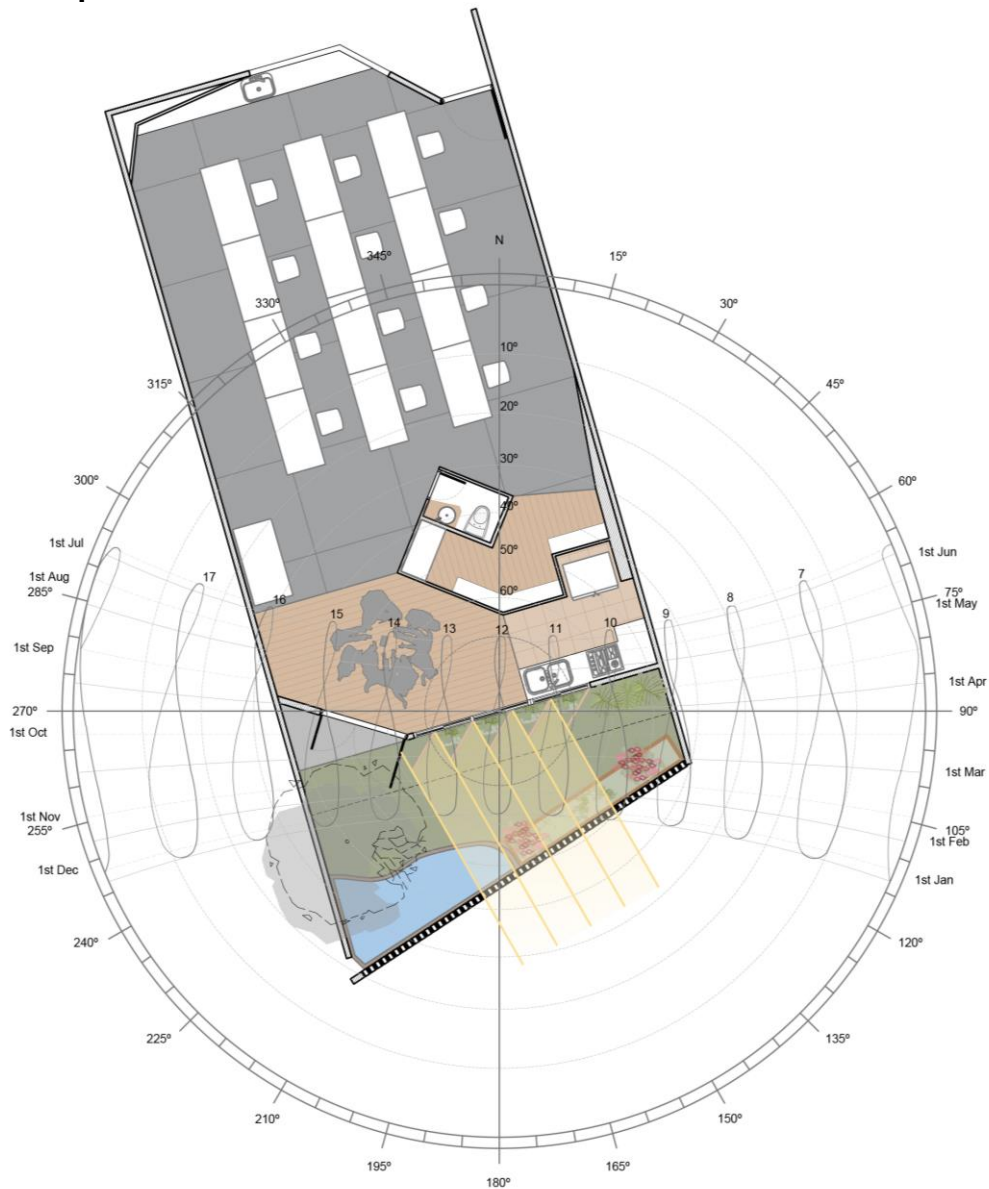


Nota: Elaboración propia.

Para revisar la incidencia solar se utilizaron las cartillas solares para el trópico de incidencia en planta y alzada del arquitecto Iván Osuna (ver anexos) teniendo en cuenta los horarios y periodos de vacaciones en los que funcionaría el colegio. Los resultados fueron los siguientes:

Figura 64. Incidencia de diciembre 21, 10:00am. aula tipo 1.

Aula tipo 1.

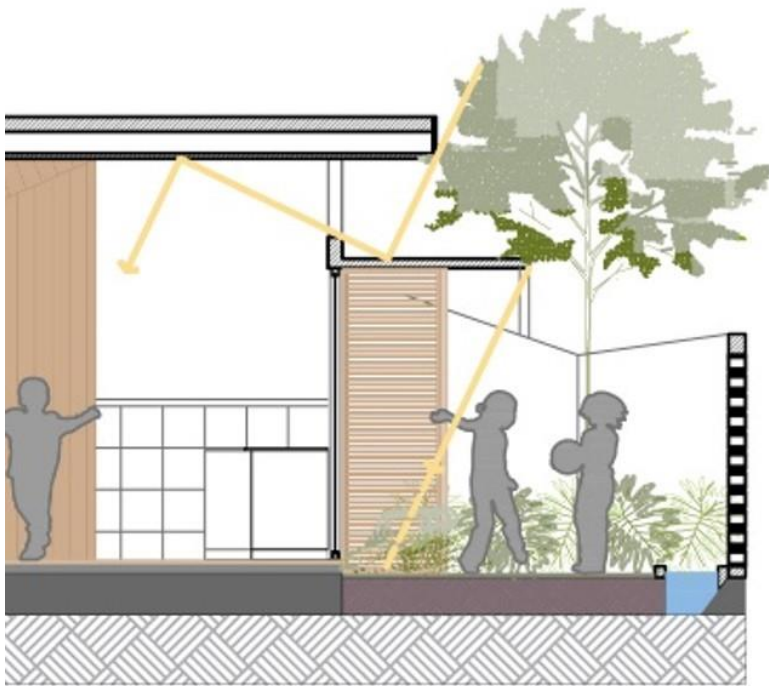


Nota: Elaboración propia.

Al observar la fachada trasera, que es la más expuesta, se puede observar que la incidencia más directa es la del día 21 de diciembre a las 10:00 am. Es importante resaltar que las aulas tipo 1 no se usan después de las 12 del día.

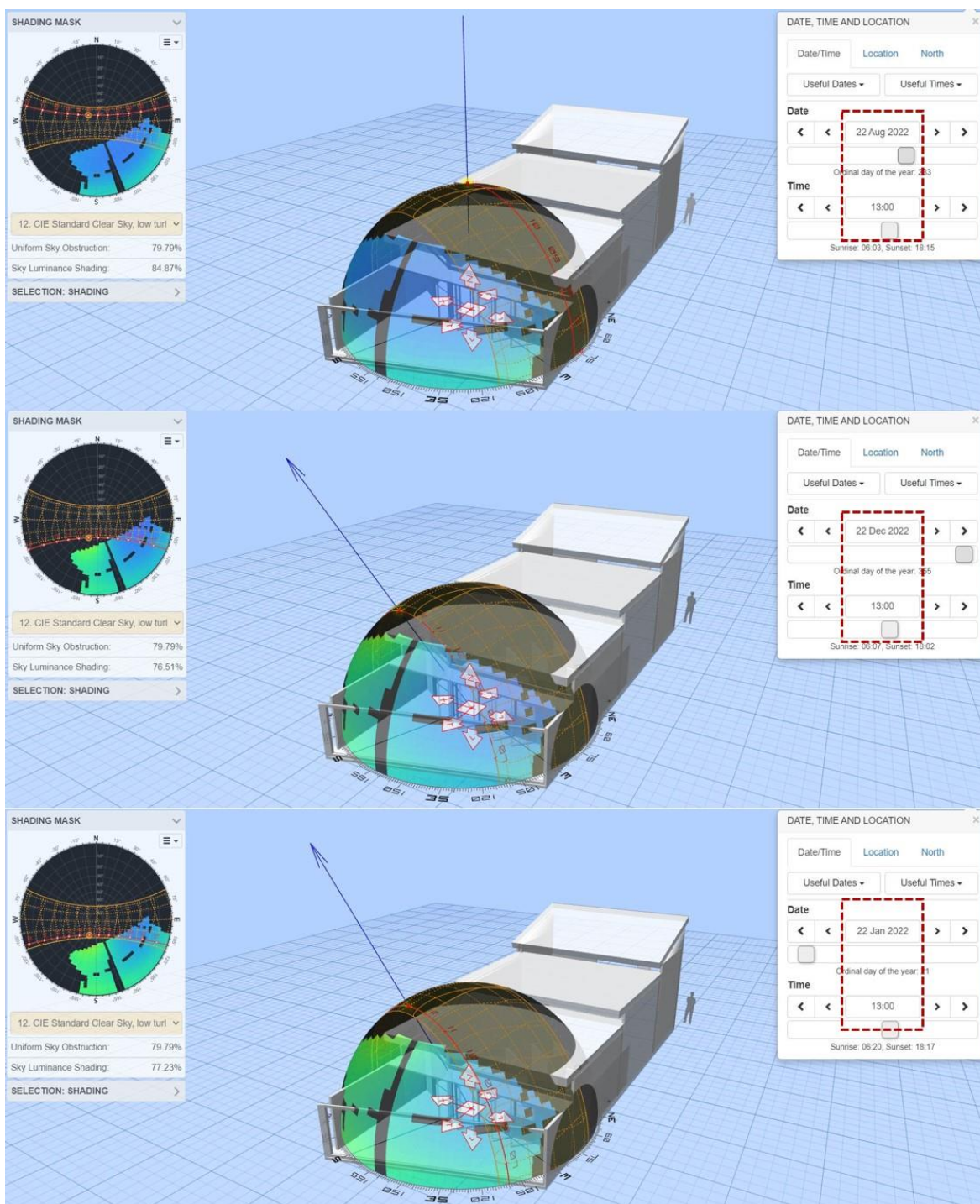
El siguiente paso fue resolver el ángulo de incidencia en alzada del día de mayor incidencia y diseñar los elementos de protección que fueran necesarios para bloquear el rayo directo de sol sin entorpecer la iluminación natural, en este caso se diseñó una marquesina separada de la cubierta con un vano superior:

Figura 65. Corte por fachada, fachada trasera aula tipo 1. Incidencia de diciembre 21, 10:00am.



Nota: Elaboración propia.

Figura 66. Asoleamiento de fachada trasera de aula tipo 1.



Nota: Gráficos creados con el software de incidencia solar de Andrew Marsh introduciendo datos del proyecto.

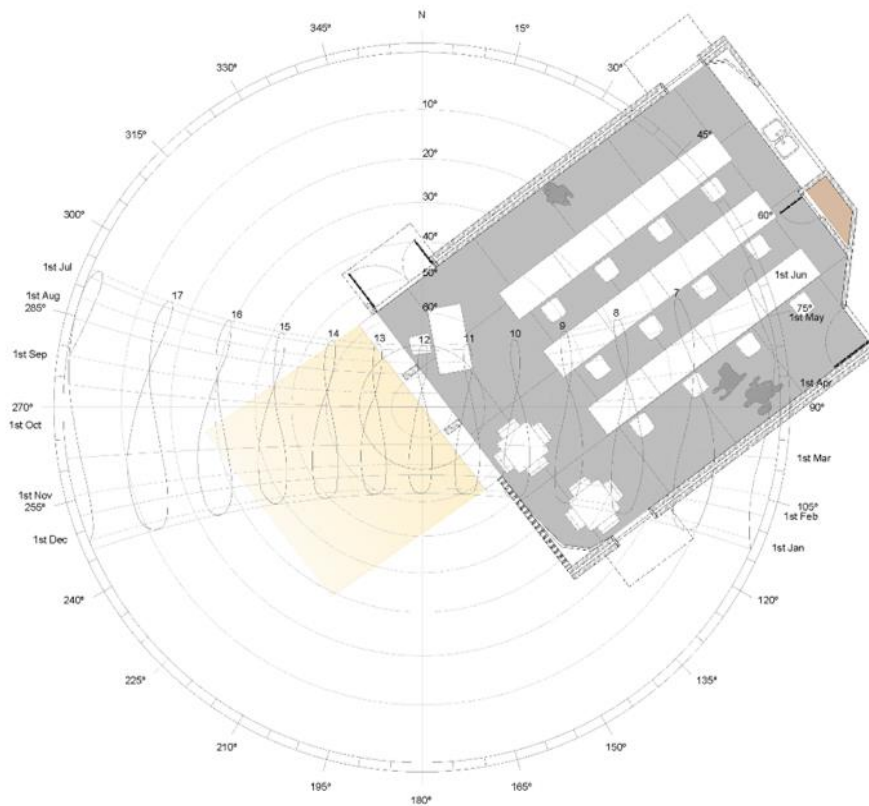
Aula tipo 2.

El aula tipo 2 solo corresponde a un aula dentro del proyecto y se encuentra sola en medio del recorrido entre primaria y secundaria por lo que todas sus paredes están expuestas a lo largo del año. Sin embargo, la incidencia más directa sobre la fachada trasera es la del 21 de noviembre a las 2:00 pm.

La incidencia más crítica para la fachada lateral junto a la plazoleta privada del aula es durante el mes de agosto, durante las vacaciones.

Por su parte, la ventana de la fachada lateral opuesta a la anterior tiene la misma incidencia crítica que las aulas tipo 1 por lo cual se utiliza la misma marquesina.

Figura 67. Incidencia de noviembre 21, 2:00pm. aula tipo 2.



Nota: Elaboración propia.

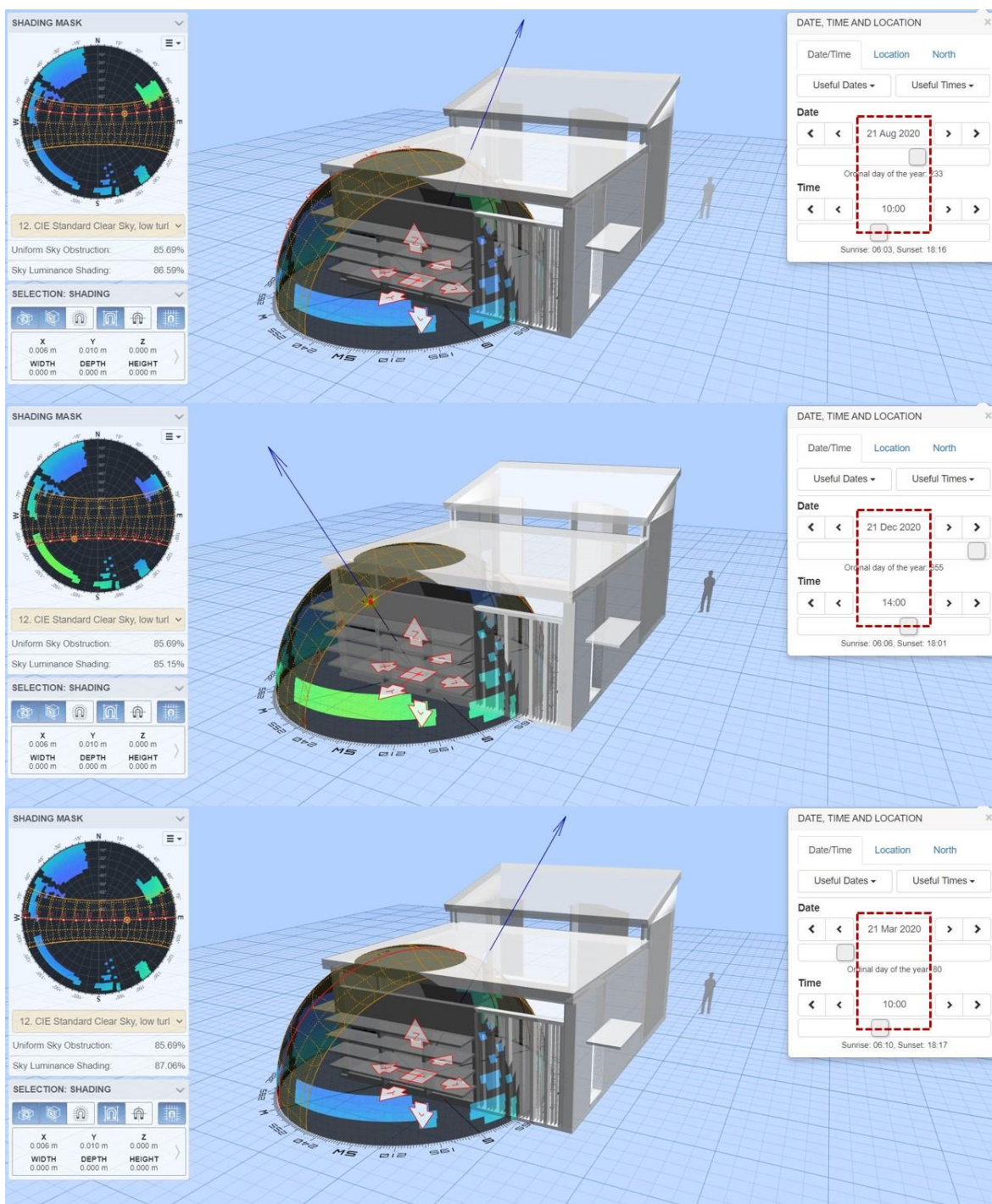
Para resolver la fachada trasera se diseñaron unos quiebrasoles que protegen del rayo directo del sol sin entorpecer la iluminación natural:

Figura 68. Corte por fachada, fachada trasera aula tipo 2. Incidencia de noviembre 21, 2:00pm.



Nota: Elaboración propia.

Figura 69. Asoleamiento de fachada trasera de aula tipo 2.



Nota: Gráficos creados con el software de incidencia solar de Andrew Marsh introduciendo datos del proyecto.

Aula tipo 3.

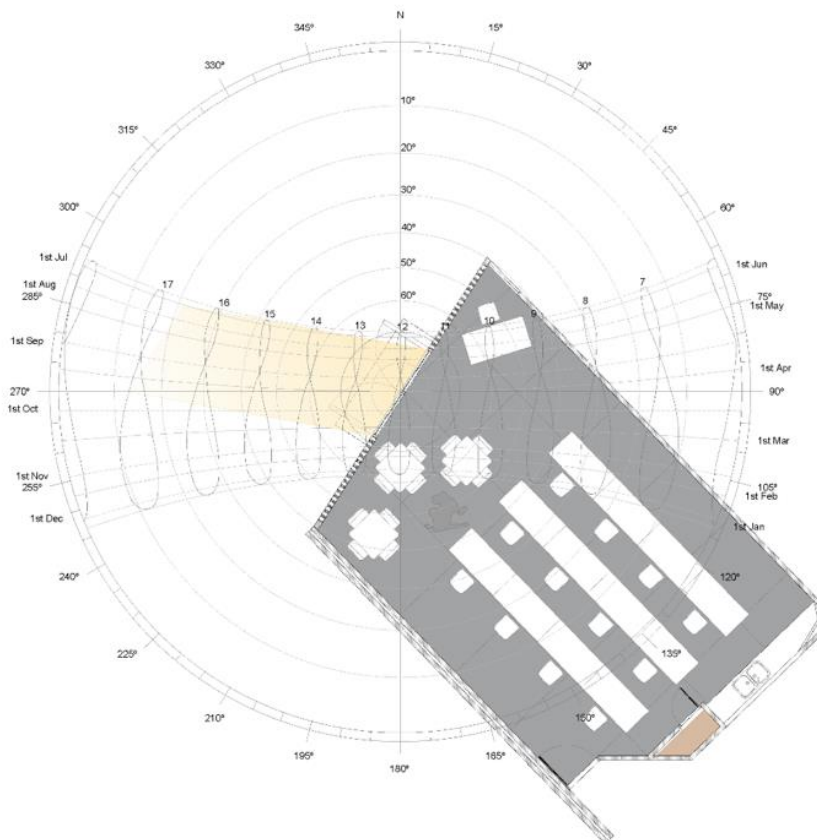
Las aulas tipo 3 no tienen cubierta al tener las aulas tipo 4 como segunda planta.

La unidad de aula tipo 3 que se evaluó tiene dos de sus fachas expuestas, las demás solo tienen una.

El ángulo de incidencia más crítico para la fachada trasera, que es la más abierta, es el del 21 de septiembre a las 2:00 pm.

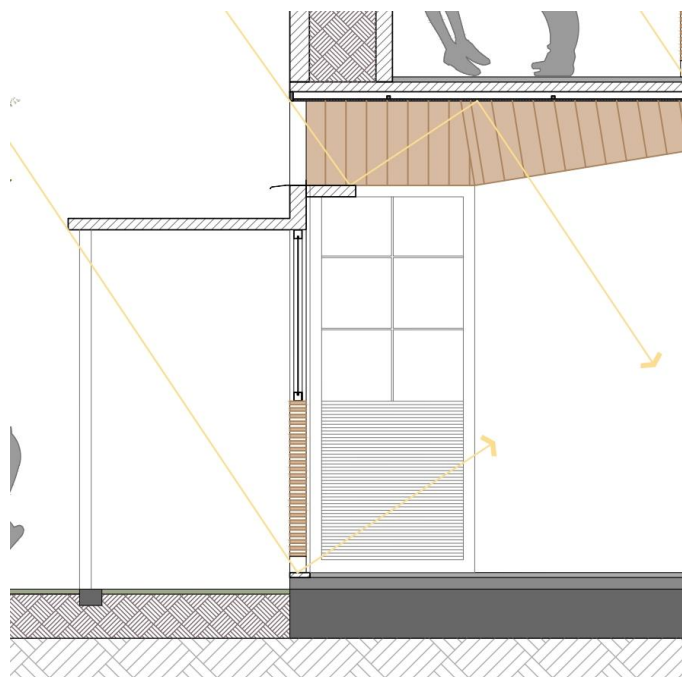
Esta fachada se resolvió con unos tramos en bloque calado de concreto y una puerta trasera con ventana protegidas por una marquesina única separada de la losa de entrepiso para permitir la iluminación natural reflejando el rayo de sol sobre una repisa interna de color blanco:

Figura 70. Incidencia de septiembre 21, 2:00pm. aula tipo 3.



Nota: Elaboración propia.

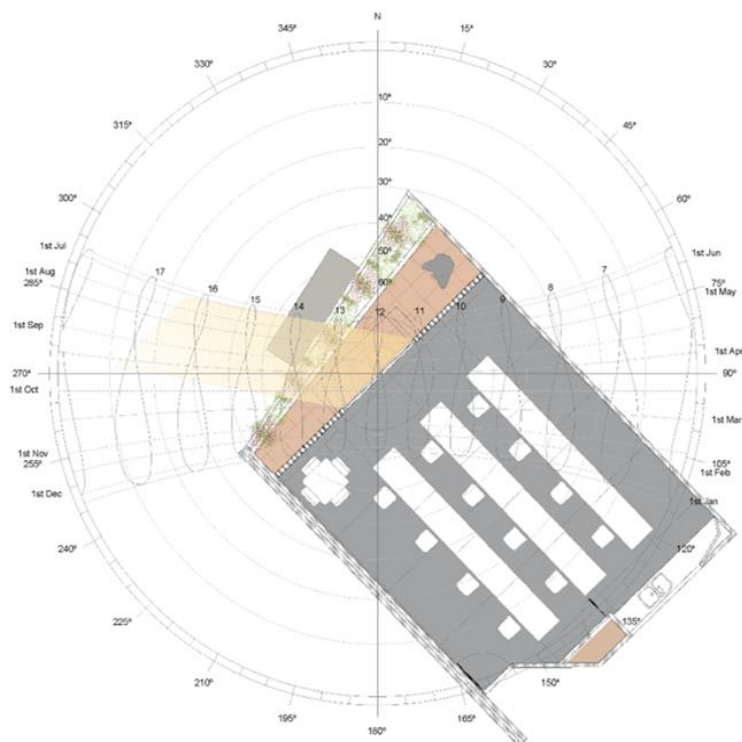
Figura 71. Corte por fachada, fachada trasera aula tipo 3. Incidencia de septiembre 21, 2:00pm.



Nota: Elaboración propia.

Aula tipo 4.

Figura 72. Incidencia de septiembre 21, 2:00pm. aula tipo 4.

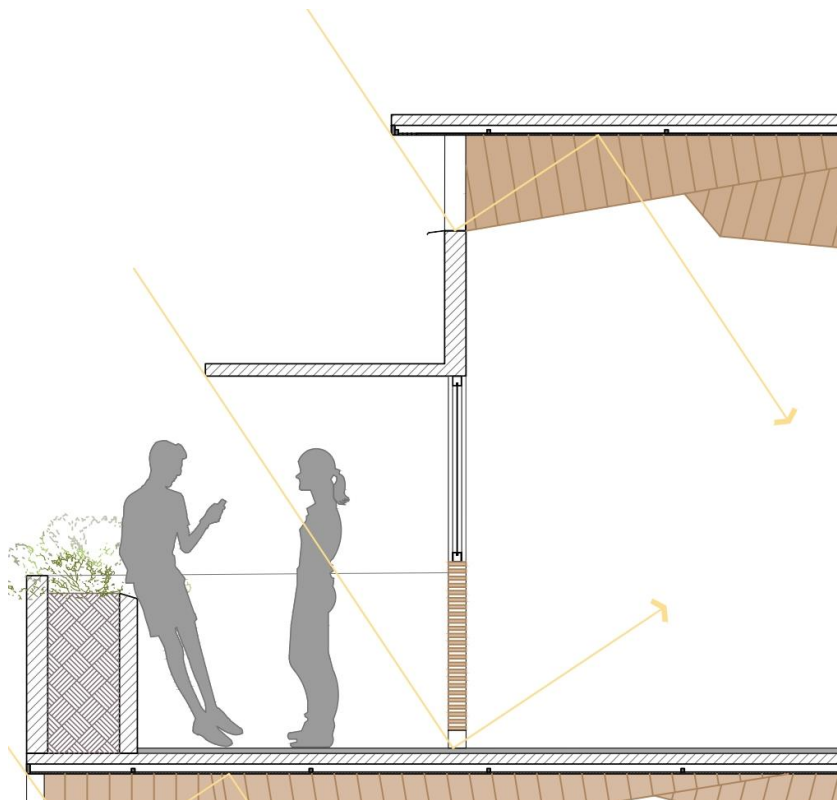


Nota: Elaboración propia.

El escenario del aula tipo 4 que se evaluó es el mismo del aula tipo 3 y debido a esto en lo sucesivo se va a evaluar solo el aula tipo 4 ya que esta cuenta con una cubierta que aporta a la carga térmica total y obliga a estrategias que darían respuesta también a las condiciones del aula 3.

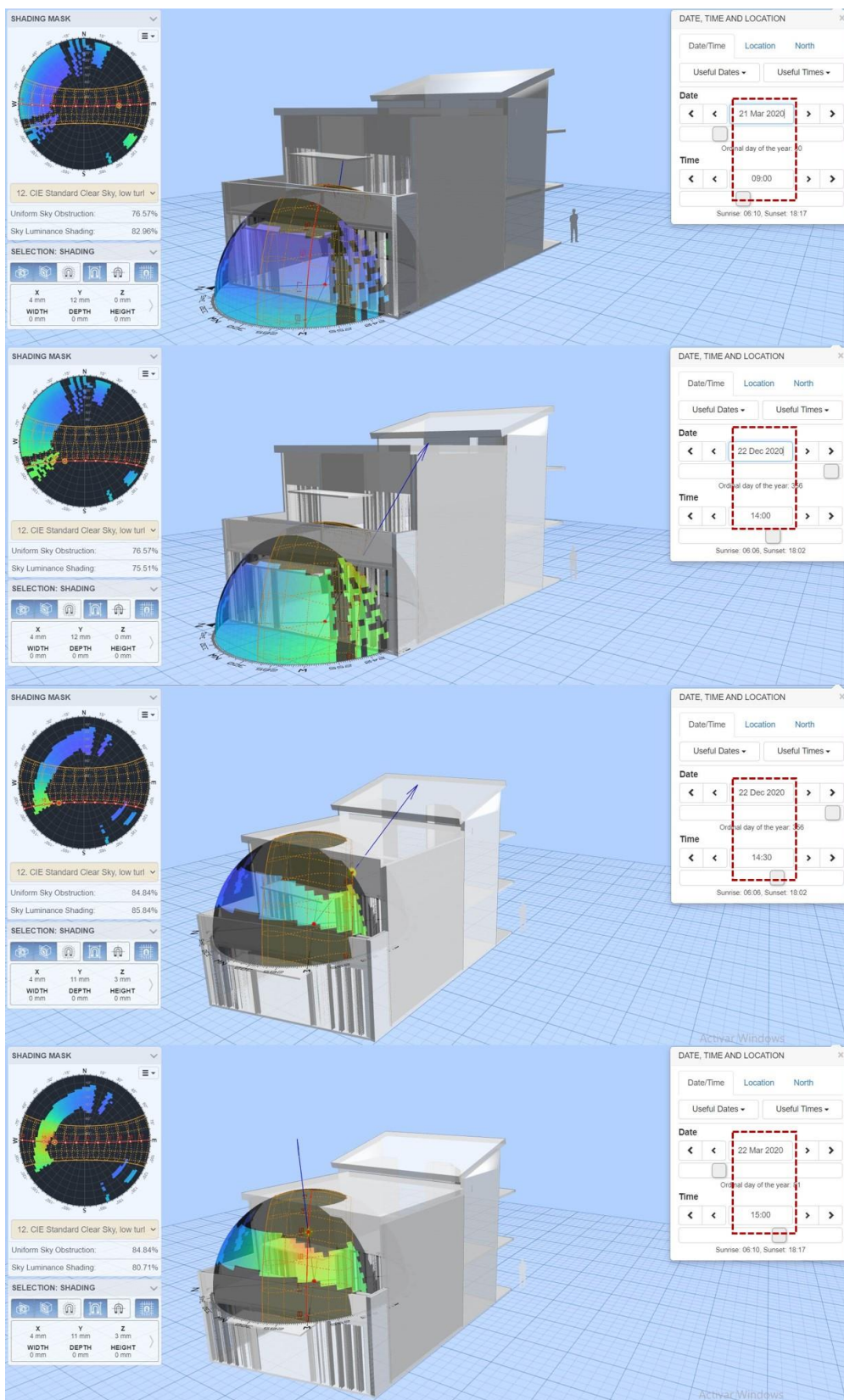
La fachada trasera es igual al del aula tipo 3:

Figura 73. Corte por fachada, fachada trasera aula tipo 4. Incidencia de septiembre 21, 2:00pm.



Nota: Elaboración propia.

Figura 74. Asoleamiento de fachada trasera de aulas tipo 3 y 4.



Nota: Gráficos creados con el software de incidencia solar de Andrew Marsh introduciendo datos del proyecto.

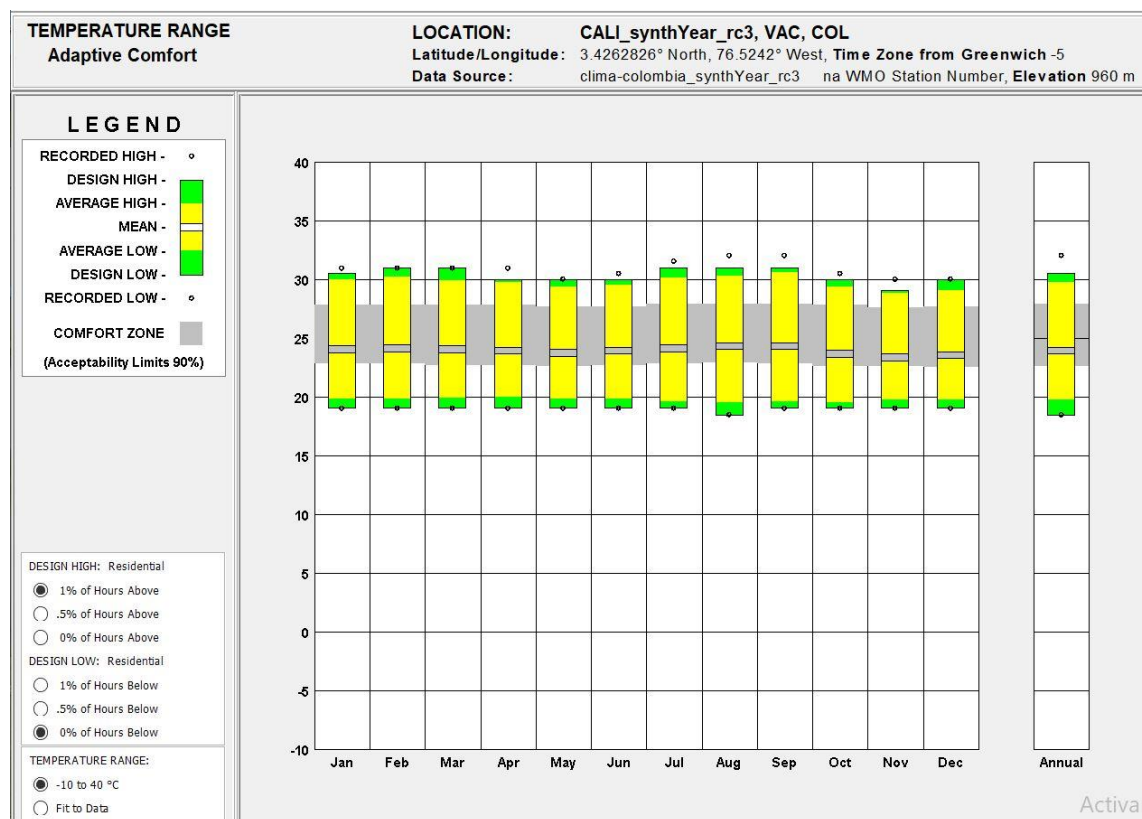
Análisis de Carga Térmica y Temperatura Interna de Aulas Tipo

Para el cálculo de carga térmica (Q) se utilizaron dos métodos complementarios. Primero se obtuvo la carga en W por M^2 de las superficies expuestas a la radiación del sol de cada aula tipo utilizando el software del ingeniero mecánico de la Universidad del Valle, Alejandro Macías.

Posteriormente, con W/M^2 definido se desarrolló un proceso matemático a mano por medio del cual se halló la temperatura interna real de cada aula despejando una serie de ecuaciones.

La temperatura externa con la que se trabajó provino de los datos del archivo climático de la ciudad de Cali en julio y agosto, meses de mayor temperatura entre las 2:00 y 3:00 de la tarde, registrada en 32°C.

Figura 75. Comportamiento mensual de la temperatura para la ciudad de Cali.



Nota: Fuente: Archivo climático de la ciudad de Cali. Climate consultant.

Luego deben definirse las características de las superficies a evaluar para conocer el valor R total el cual resulta de la sumatoria de las resistencias que las componen. Para cada capa de material que compone un muro o una cubierta existe un valor R; estos valores se pueden encontrar en diversos libros de termodinámica o en los libretos de la norma Ashrae.

Figura 76. Valores R de materiales típicos de construcción.

Unit thermal resistance (the R-value) of common components used in buildings					
Component	R-value		Component	R-value	
	m ² · °C/W	ft ² · h · °F/Btu		m ² · °C/W	ft ² · h · °F/Btu
Outside surface (winter)	0.030	0.17	Wood stud, nominal 2 in. × 6 in. (5.5 in. or 140 mm wide)	0.98	5.56
Outside surface (summer)	0.044	0.25	Clay tile, 100 mm (4 in.)	0.18	1.01
Inside surface, still air	0.12	0.68	Acoustic tile	0.32	1.79
Plane air space, vertical, ordinary surfaces (ε _{eff} = 0.82):			Asphalt shingle roofing	0.077	0.44
13 mm ($\frac{1}{2}$ in.)	0.16	0.90	Building paper	0.011	0.06
20 mm ($\frac{3}{4}$ in.)	0.17	0.94	Concrete block, 100 mm (4 in.):		
40 mm (1.5 in.)	0.16	0.90	Lightweight	0.27	1.51
90 mm (3.5 in.)	0.16	0.91	Heavyweight	0.13	0.71
Insulation, 25 mm (1 in.):			Plaster or gypsum board, 13 mm ($\frac{1}{2}$ in.)	0.079	0.45
Glass fiber	0.70	4.00	Wood fiberboard, 13 mm ($\frac{1}{2}$ in.)	0.23	1.31
Mineral fiber batt	0.66	3.73	Plywood, 13 mm ($\frac{1}{2}$ in.)	0.11	0.62
Urethane rigid foam	0.98	5.56	Concrete, 200 mm (8 in.):		
Stucco, 25 mm (1 in.)	0.037	0.21	Lightweight	1.17	6.67
Face brick, 100 mm (4 in.)	0.075	0.43	Heavyweight	0.12	0.67
Common brick, 100 mm (4 in.)	0.12	0.79	Cement mortar, 13 mm (1/2 in.)	0.018	0.10
Steel siding	0.00	0.00	Wood bevel lapped siding, 13 mm × 200 mm (1/2 in. × 8 in.)	0.14	0.81
Slag, 13 mm ($\frac{1}{2}$ in.)	0.067	0.38			
Wood, 25 mm (1 in.)	0.22	1.25			
Wood stud, nominal 2 in. × 4 in. (3.5 in. or 90 mm wide)	0.63	3.58			

Nota: Fuente: Software de cálculo de ganancia térmica de Alejandro Macías.

Los valores R del proyecto se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 11. Valores R de las superficies a evaluar.

CUBIERTA			
MATERIAL	VALOR R		
Teja	1.96		
Manto foil	6.0		
Aire (18cm)	3.03		
Manto foil	6.0		
Cielo pvc	0.11		
TOTAL	17.1		
MURO SENCILLO		MURO DOBLE	
MATERIAL	VALOR R	MATERIAL	VALOR R
Estuco	0.0037	Bloque concreto	1.93
Repello	0.018	Placa poliestireno expandido (3cm)	2.70
Bloque concreto	1.93	Bloque concreto	1.93
TOTAL	1.95	TOTAL	6.56

Nota: Elaboración propia.

Para conocer la temperatura interna real de las aulas tipo se resolvieron una serie de ecuaciones matemáticas que utilizan variables simples como las diferentes temperaturas, características del material de superficie, orientación etc. (Cengel, 1997).

La primera ecuación a desarrollar es para conocer la temperatura de la atmósfera:

$$T_{sky} = T_o + 273 [0,711 + 0,0056TDP + (7,3 \times 10^{-5} \times TDP^2) + 0,013 \times \cos \frac{(2\pi \times t)}{24}]$$

Donde:

T_o : Temperatura ambiente.

TDP: Temperatura de bulbo húmedo asociado a la temperatura ambiente.

T: Hora de diseño en formato militar (13, 14, 15 etc).

Esta ecuación solo se desarrolla una vez y su resultado se utiliza en las ecuaciones de todas las superficies de las aulas tipo.

Después, se desarrolla la ecuación para conocer la temperatura del aire sobre una superficie determinada:

$$T_{solaire} = T_o \left(\frac{\alpha_s \times Q_{solar}}{H_o} \right) - \left(\frac{\varepsilon \zeta (T_o^4 \times T_{sky}^4)}{H_o} \right)$$

Donde:

T_o : Temperatura ambiente.

α_s : Absortividad de superficie.

Q_s : Carga térmica, Q_{solar} en W/M^2 (A. Macías).

H_o : Coeficiente externo convectivo de transferencia de calor (por defecto).

ε : Emisividad del material.

ζ : $5,67 \times 10^{-8}$ o 0,0000000567 .

T_o^4 : Temperatura ambiente elevada a la 4 y transformada a $^{\circ}K$ ($K = ^{\circ}C + 273$).

Luego, es necesario resolver la diferencia entre la temperatura de la atmósfera y la temperatura del aire sobre una superficie determinada:

$$\Delta T = T_{solare} - T_{int}$$

La siguiente ecuación se da para conocer la carga térmica total de una superficie determinada:

$$Q = U + \text{Área de supercie} + \Delta T$$

Donde U es el coeficiente de transferencia de calor, y se halla con la siguiente ecuación:

$$U = \frac{1}{R}$$

Donde R es el producto de sumar todas las resistencias de una superficie.⁷

Por último, usando el valor Q de la carga total de una superficie determinada y la temperatura de diseño establecida por el proyecto se halla la temperatura real al interior de dicha superficie. Para lo anterior se da la siguiente ecuación:

$$\frac{Q \times 0,12}{\text{Área de superficie}} + T_{int} = ^\circ C$$

Donde:

Q: Carga térmica total.

T_{int} : Temperatura de diseño.

Esta temperatura debe ser promediada con las temperaturas radiantes de todas las superficies de cada aula.

Los resultados de las aulas tipo fueron los siguientes:

⁷ Las paredes se componen de varias “capas” que son el ladrillo o el concreto del muro, el repello, el estuco, la pintura etc. Esto en termodinámica se conoce como Resistencias y cada una tiene un valor R determinado. Los valores R más comunes pueden encontrarse en el capítulo 21 del libro de Çengel. Ver Tabla 11.

Aula Tipo 1.

- Fachada lateral expuesta, muro doble:

Figura 77. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 1, fachada 2.

CALCULO DE POTENCIA SOLAR

Coordenadas Longitud

Grados: 76
Minutos: 01
Segundos: 00

Coordenadas Latitud

Grados: 3
Minutos: 01
Segundos: 00

Azimuth de la Superficie (Grados): 60 **AYUDA**

Inclinación de la Superficie (Grados): 90 **AYUDA**

Reflectancia Solar de la Superficie del Suelo (de la Tabla 10): 0.21

Tabla 10 Solar Reflectances of Foreground Surfaces

Foreground Surface	Incident Angle					
	20°	30°	40°	50°	60°	70°
New concrete	0.31	0.31	0.32	0.32	0.33	0.34
Old concrete	0.22	0.22	0.23	0.23	0.25	0.25
Bright green grass	0.21	0.22	0.23	0.23	0.28	0.31
Crushed rock	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Bitumen and gravel roof	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Bituminous parking lot	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12

Adapted from Threlkeld (1967).

Coordenada Universal de Tiempo (GMT): -5 **AYUDA**

Fecha (dd/mm): 21/08

Hora para cálculo Formato 24h (hh/mm): 14/00

1. Presione aquí para calcular la potencia solar a la hora especificada y pase al botón 2 después de revisar sus resultados.

2. Presione aquí para calcular la potencia solar a lo largo del día especificado y pase al botón 3 después de revisar sus resultados.

3. Regresar a la pantalla de configuración de las superficies.

RESULTADOS DE POTENCIA SOLAR A LA HORA ESPECIFICADA

POTENCIA SOLAR NORMAL CORRECTA (W/m²): 898,399266133676

POTENCIA SOLAR EFECTIVA CORRECTA (W/m²): 289,934668619318

POTENCIA SOLAR DIFUSA VERTICAL (W/m²): 87,114481486124

POTENCIA SOLAR DIFUSA HORIZONTAL (W/m²): 0

POTENCIA SOLAR REFLEJADA (W/m²): 9486,68588952444

POTENCIA SOLAR TOTAL SOBRE LA SUPERFICIE (W/m²): 9863,73503962988

ALTITUD SOLAR (RAD): 1,05860184825766

AZIMUTH SOLAR SUPERFICIE (RAD): 0,851977256454514

24 HORAS POTENCIA SOLAR TOTAL (W/m²)

HORA	POTENCIA SOLAR TOTAL	HORA	POTENCIA SOLAR TOTAL
1	0	13	10764,317300
2	0	14	9959,4766390
3	0	15	8415,3197574
4	0	16	6207,3784214
5	0	17	3407,5855997
6	0	18	157,31743584
7	2162,9265992	19	0
8	5193,4865974	20	0
9	7635,763571	21	0
10	9446,672503	22	0
11	10544,380312	23	0
12	10903,551513	24	0

Nota: Desarrollado con datos del proyecto.

Los datos generales de la fachada son los siguientes:

Q_s (Macías): 9.958,25 W/M²

R : 6.56

U : 0.51

Luego de desarrollar las primeras ecuaciones se llegó a un Q : 2,77 KW que arrojó una temperatura interna real sobre esta superficie de 26°C.

- Fachada trasera con ventana en sombra, muro sencillo:

Figura 78. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 1, fachada 1.

ALCULO DE POTENCIA SOLAR

Coordenadas Longitud

Grados: 76
Minutos: 01
Segundos: 00

Coordenadas Latitud

Grados: 3
Minutos: 01
Segundos: 00

Coordenada Universal de Tiempo (GMT): -5

Fecha (dd/mm): 21/08

Hora para cálculo Formato 24h (hh/mm): 14/00

Azimuth de la Superficie (Grados): 60

Inclinación de la Superficie (Grados): 90

Reflectancia Solar de la Superficie del Suelo (de la Tabla 10): 0.21

Table 10 Solar Reflectance of Foreground Surfaces

Foreground Surface	20°	30°	40°	50°	60°	70°
New concrete	0.31	0.31	0.32	0.32	0.33	0.34
Old concrete	0.22	0.22	0.22	0.23	0.23	0.25
Bright green grass	0.21	0.22	0.23	0.25	0.28	0.31
Crushed rock	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Bitumen and gravel roof	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Bituminous parking lot	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12

RESULTADOS DE POTENCIA SOLAR A LA HORA ESPECIFICADA

POTENCIA SOLAR NORMAL DIRECTA (W/m²): 898,399256133676

POTENCIA SOLAR EFECTIVA DIRECTA (W/m²): 289,934668619318

POTENCIA SOLAR DIFUSA VERTICAL (W/m²): 87,114481486124

POTENCIA SOLAR DIFUSA HORIZONTAL (W/m²): 0

POTENCIA SOLAR REFLEJADA (W/m²): 9486,68588952444

POTENCIA SOLAR TOTAL SOBRE LA SUPERFICIE (W/m²): 9863,73503962988

24 HORAS POTENCIA SOLAR TOTAL (W/m²)

HORA	POTENCIA SOLAR TOTAL	POTENCIA SOLAR TOTAL
1	0	13
2	0	14
3	0	15
4	0	16
5	0	17
6	0	18
7	2162,9265092	19
8	5193,4865974	20
9	7635,763571	21
10	9446,672503	22
11	10544,380312	23
12	10903,551513	24

ALTITUD SOLAR (RAD): 1,05860184823766

AZIMUTH SOLAR SUPERFICIE (RAD): 0,851977256454514

1. Presione aquí para calcular la potencia solar a la hora especificada y pase al botón 2 después de revisar sus resultados.

2. Presione aquí para calcular la potencia solar a lo largo del día especificado y pase al botón 3 después de revisar sus resultados.

3. Regresar a la pantalla de configuración de las superficies.

Nota: Desarrollado con datos del proyecto.

Los datos generales de la fachada son los siguientes:

Q_s (Macías): 9.863,73 W/M²

R : 1.95

U : 0.15

Luego de desarrollar las primeras ecuaciones se llegó a un Q : 2.78 KW que arrojó una temperatura interna real sobre esta superficie de 26°C.

- Cubierta

Figura 79. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 1, cubierta.

LCULO DE POTENCIA SOLAR

Coordenadas Longitud

Grados: 76
Minutos: 01
Segundos: 00

Coordenadas Latitud

Grados: 3
Minutos: 01
Segundos: 00

Azimuth de la Superficie (Grados): 60 **AYUDA**

Inclinación de la Superficie (Grados): 0 **AYUDA**

Reflectancia Solar de la Superficie del Suelo (de la Tabla 10): 0.21

Table 10 Solar Reflectances of Foreground Surfaces

Foreground Surface	Incident Angle					
	20°	30°	40°	50°	60°	70°
New concrete	0.31	0.31	0.32	0.32	0.33	0.34
Old concrete	0.22	0.22	0.22	0.23	0.23	0.25
Bright green grass	0.21	0.22	0.23	0.25	0.28	0.31
Crushed rock	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Bitumen and gravel roof	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Bituminous parking lot	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12

Coordenada Universal de Tiempo (GMT): -5 **AYUDA**

Fecha (dd/mm): 21 / 08

Hora para cálculo Formato 24h (hh/mm): 14 / 00

1. Presione aquí para calcular la potencia solar a la hora especificada y pase al botón 2 después de revisar sus resultados.

2. Presione aquí para calcular la potencia solar a lo largo del día especificado y pase al botón 3 después de revisar sus resultados.

3. Regresar a la pantalla de configuración de las superficies.

RESULTADOS DE POTENCIA SOLAR A LA HORA ESPECIFICADA

POTENCIA SOLAR NORMAL DIRECTA (W/m²): 898,399266133676

POTENCIA SOLAR ESECTIVA DIRECTA (W/m²): 783,108687835801

POTENCIA SOLAR DISPUSA VERTICAL (W/m²): 0

POTENCIA SOLAR DISPUSA HORIZONTAL (W/m²): 120,385501661913

POTENCIA SOLAR REFLEJADA (W/m²): 0

POTENCIA SOLAR TOTAL SOBRE LA SUPERFICIE (W/m²): 903,494189497713

ALTITUD SOLAR (RAD): 1,05860184825766

AZIMUTH SOLAR SUPERFICIE (RAD): 0,851977256454514

24 HORAS POTENCIA SOLAR TOTAL (W/m²)

HORA	POTENCIA SOLAR TOTAL	HORA	POTENCIA SOLAR TOTAL
1	0	13	1009,3419720
2	0	14	913,95173049
3	0	15	752,2322782
4	0	16	534,61244682
5	0	17	274,61016119
6	0	18	10,439898819
7	166,46501732	19	0
8	438,31192476	20	0
9	674,0522249	21	0
10	858,8136816	22	0
11	980,8338054	23	0
12	1032,1379225	24	0

Nota: Desarrollado con datos del proyecto.

Los datos generales de la fachada son los siguientes:

Q_s (Macías): 9.863.73 W/M²

R : 17.1

U : 0.058

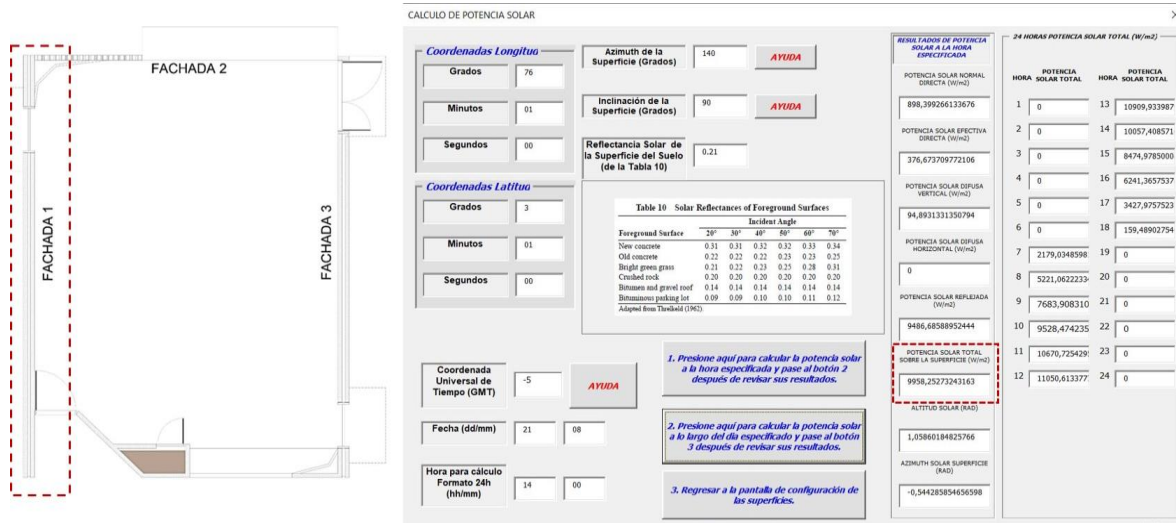
Luego de desarrollar las primeras ecuaciones se llegó a un Q : 1.97 KW que arrojó una temperatura interna real sobre esta superficie de 26°C.

La temperatura real interna promedio del aula tipo 1 es de 26°C lo cual es confortable para Cali.

Aula tipo 2.

- Fachada lateral expuesta, muro doble:

Figura 80. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 2, fachada 1.



Nota: Desarrollado con datos del proyecto.

Los datos generales de la fachada son los siguientes:

Q_s (Macías): 9.863,73 W/M²

R : 6.56

U : 0.15

Luego de desarrollar las primeras ecuaciones se llegó a un Q : 2.30 KW que arrojó una temperatura interna real sobre esta superficie de 26°C.

- Fachada trasera con protección solar, muro sencillo:

Figura 81. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 2, fachada 2.

CALCULO DE POTENCIA SOLAR

Coordenadas Longitud

Grados: 76
Minutos: 01
Segundos: 00

Coordenadas Latitud

Grados: 3
Minutos: 01
Segundos: 00

Azimuth de la Superficie (Grados): 140 **AYUDA**

Inclinación de la Superficie (Grados): 90 **AYUDA**

Reflectancia Solar de la Superficie del Suelo (de la Tabla 10): 0.21

Tabla 10 Solar Reflectances of Foreground Surfaces

Foreground Surface	20°	30°	40°	50°	60°	90°
New concrete	0.31	0.31	0.32	0.33	0.34	0.34
Old concrete	0.22	0.22	0.22	0.23	0.23	0.25
Bright green grass	0.21	0.22	0.23	0.25	0.28	0.31
Cracked rock	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Bitumen and gravel roof	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Bitumen roof (flat)	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12

Coordenada Universal de Tiempo (GMT): -5 **AYUDA**

Fecha (dd/mm): 21/08

Hora para cálculo Formato 24h (hh/mm): 14/00

1. Presione aquí para calcular la potencia solar a la hora especificada y pase al botón 2 después de revisar sus resultados.

2. Presione aquí para calcular la potencia solar a lo largo del día especificado y pase al botón 3 después de revisar sus resultados.

3. Regresar a la pantalla de configuración de las superficies.

RESULTADOS DE POTENCIA SOLAR A LA HORA ESPECIFICADA

POTENCIA SOLAR NORMAL DIRECTA (W/m²): 898,399266132676

POTENCIA SOLAR EFECTIVA DIRECTA (W/m²): 376,673709772106

POTENCIA SOLAR DISPERSA VERTICAL (W/m²): 94,8931331350794

POTENCIA SOLAR DISPERSA HORIZONTAL (W/m²): 0

POTENCIA SOLAR REFLEJADA (W/m²): 9486,68588952444

POTENCIA SOLAR TOTAL SOBRE LA SUPERFICIE (W/m²): 9958,25273243163

24 HORAS POTENCIA SOLAR TOTAL (W/m²)

HORA	POTENCIA SOLAR TOTAL	HORA	POTENCIA SOLAR TOTAL
1	0	13	10909,933987
2	0	14	10057,408571
3	0	15	8474,9785000
4	0	16	6241,3657527
5	0	17	3427,0757523
6	0	18	159,4892754
7	2179,0348598	19	0
8	5221,0622233	20	0
9	7683,908310	21	0
10	9528,474235	22	0
11	10670,725429	23	0
12	11050,613377	24	0

Nota: Desarrollado con datos del proyecto.

Los datos generales de la fachada son los siguientes:

Q_s (Macías): 9.958,25 W/M²

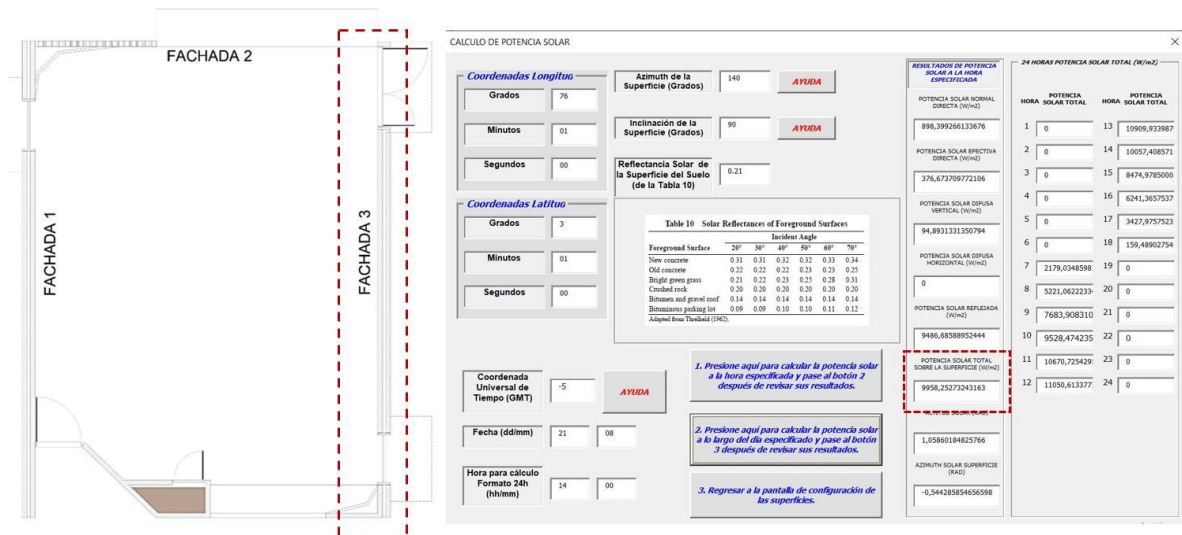
R : 1.95

U : 0.51

Luego de desarrollar las primeras ecuaciones se llegó a un Q : 4.83 KW que arrojó una temperatura interna real sobre esta superficie de 26°C.

- Fachada trasera con ventana en sombra, muro doble:

Figura 82. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 2, fachada 3.



Nota: Desarrollado con datos del proyecto.

Los datos generales de la fachada son los siguientes:

Q_s (Macías): 9.675,60 W/M²

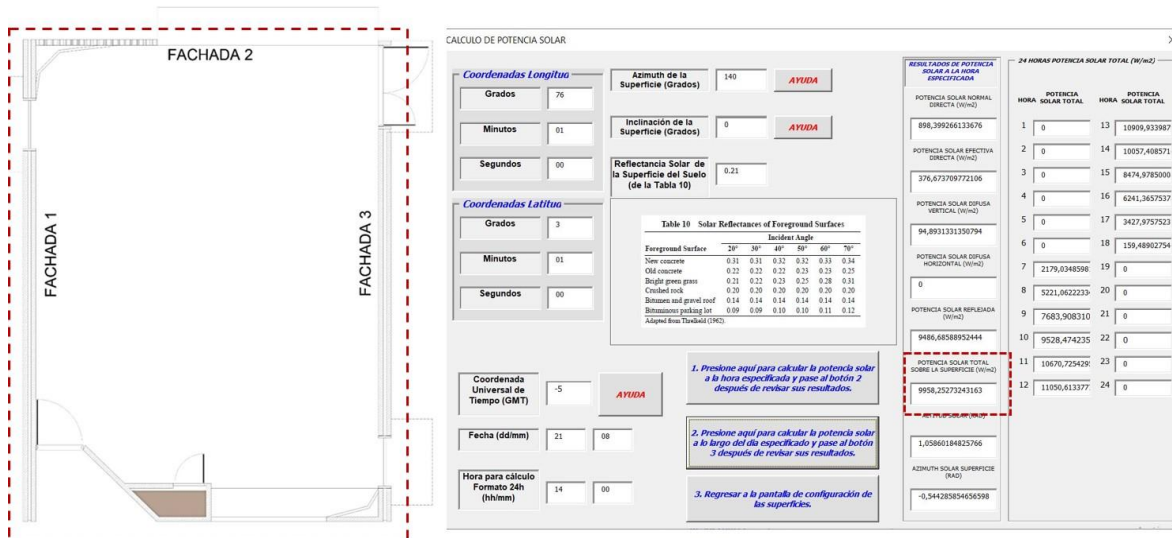
R : 6.56

U : 0.15

Luego de desarrollar las primeras ecuaciones se llegó a un Q : 2.23 KW que arrojó una temperatura interna real sobre esta superficie de 26°C.

- Cubierta

Figura 83. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 2, cubierta.



Nota: Desarrollado con datos del proyecto.

Los datos generales de la fachada son los siguientes:

Q_s (Macías): 9.958,26 W/M²

R : 17.1

U : 0.058

Luego de desarrollar las primeras ecuaciones se llegó a un Q : 1.74 KW que arrojó una temperatura interna real sobre esta superficie de 26°C.

La temperatura real interna promedio del aula tipo 2 es de 26°C lo cual es confortable para Cali.

Aula tipo 4.

- Fachada lateral expuesta, muro doble:

Figura 84. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 4, fachada 1.

CALCULO DE POTENCIA SOLAR

Coordenadas Longitud

Grados: 76
Minutos: 01
Segundos: 00

Coordenadas Latitud

Grados: 3
Minutos: 01
Segundos: 00

Azimuth de la Superficie (Grados): 34 **AYUDA**

Inclinación de la Superficie (Grados): 90 **AYUDA**

Reflectancia Solar de la Superficie del Suelo (de la Tabla 10): 0.21

Table 10 Solar Reflectances of Foreground Surfaces

Foreground Surface	30°	38°	48°	50°	60°	70°
New concrete	0.31	0.31	0.32	0.32	0.33	0.34
Old concrete	0.22	0.22	0.22	0.23	0.23	0.25
Bright green grass	0.21	0.22	0.23	0.25	0.28	0.31
Crocheted rock	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Bitumen and gravel roof	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Bituminous parking lot	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12

Coordenada Universal de Tiempo (GMT): -5 **AYUDA**

Fecha (dd/mm): 21 / 08

Hora para cálculo Formato 24h (hh:mm): 14 / 00

1. Presione aquí para calcular la potencia solar a la hora especificada y pase al botón 2 después de revisar sus resultados.

2. Presione aquí para calcular la potencia solar a lo largo del día especificado y pase al botón 3 después de revisar sus resultados.

3. Regresar a la pantalla de configuración de las superficies.

RESUMEN DE POTENCIA SOLAR A LA HORA ESPECIFICADA

POTENCIA SOLAR NORMAL DIRECTA (W/m²): 898,399266133676

POTENCIA SOLAR EFECTIVA DIRECTA (W/m²): 115,33255254571

POTENCIA SOLAR DIFUSA VERTICAL (W/m²): 73,5866580213069

POTENCIA SOLAR DIFUSA HORIZONTAL (W/m²): 0

POTENCIA SOLAR REFLEJADA (W/m²): 9486,6588952444

POTENCIA SOLAR TOTAL SOBRE LA SUPERFICIE (W/m²): 9675,60510007032

ALTITUD SOLAR (RAD): 1,05860184825766

AZIMUTH SOLAR SUPERFICIE (RAD): 1,30576276796562

24 HORAS POTENCIA SOLAR TOTAL (W/m²)

HORA	POTENCIA SOLAR TOTAL	POTENCIA SOLAR TOTAL
1	0	10665,026813
2	0	9776,590981
3	0	8174,6286358
4	0	5938,1564102
5	0	3170,9353618
6	0	135,55109497
7	1975,0656168	0
8	4926,4650212	0
9	7379,489856	0
10	9239,047349	0
11	10404,926420	0
12	10900,367511	0

Nota: Desarrollado con datos del proyecto.

Los datos generales de la fachada son los siguientes:

Q_s (Macías): 9.958,25 W/M²

R : 6.56

U : 0.15

Luego de desarrollar las primeras ecuaciones se llegó a un Q : 2.12 KW que arrojó una temperatura interna real sobre esta superficie de 26°C.

- Fachada trasera con ventana en sombra, muro sencillo:

Figura 85. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 4, fachada 2.

CALCULO DE POTENCIA SOLAR

Coordenadas Longitud

Grados: 76
Minutos: 01
Segundos: 00

Coordenadas Latitud

Grados: 3
Minutos: 01
Segundos: 00

Azimuth de la Superficie (Grados): 34 **AYUDA**

Inclinación de la Superficie (Grados): 90 **AYUDA**

Reflectancia Solar de la Superficie del Suelo (de la Tabla 10): 0.21

Table 10 Solar Reflectances of Foreground Surfaces

Surface	20°	30°	40°	50°	60°	70°
New concrete	0.31	0.31	0.32	0.32	0.33	0.34
Old concrete	0.22	0.22	0.22	0.23	0.23	0.25
Single green grass	0.25	0.22	0.20	0.15	0.10	0.05
Curbled rock	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Bitumen and gravel roof	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Bituminous parking lot	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12

Coordenada Universal de Tiempo (GMT): -5 **AYUDA**

Fecha (dd/mm): 21 / 08

Hora para cálculo Formato 24h (hh/mm): 14 / 00

1. Presione aquí para calcular la potencia solar a la hora especificada y pase al botón 2 después de revisar sus resultados.

2. Presione aquí para calcular la potencia solar a lo largo del día especificado y pase al botón 3 después de revisar sus resultados.

3. Regresar a la pantalla de configuración de las superficies.

SERIE TABLA DE POTENCIA SOLAR A LA HORA ESPECIFICADA

POTENCIA SOLAR NORMAL DIRECTA (W/m²): 898,399266133676

POTENCIA SOLAR EFECTIVA DIRECTA (W/m²): 115,33255254571

POTENCIA SOLAR DIFUSA VERTICAL (W/m²): 73,5866580213069

POTENCIA SOLAR DIFUSA HORIZONTAL (W/m²): 0

POTENCIA SOLAR REFLEJADA (W/m²): 9486,68588952444

24 HORAS POTENCIA SOLAR TOTAL (W/m²)

HORA	POTENCIA SOLAR TOTAL	HORA	POTENCIA SOLAR TOTAL
1	0	13	10665,026813
2	0	14	9776,5909881
3	0	15	8174,6286358
4	0	16	5938,1564102
5	0	17	3170,9353618
6	0	18	135,55109497
7	1975,0656168	19	0
8	4926,4650212	20	0
9	7379,489856	21	0
10	9239,047349	22	0
11	10404,926420	23	0
12	10900,367311	24	0

POTENCIA SOLAR TOTAL A LO LARGO DEL DIA ESPECIFICADO (W/m²): 9675,60510007032

POTENCIA SOLAR TOTAL A LO LARGO DEL DIA ESPECIFICADO (KW): 4.70

POTENCIA SOLAR TOTAL A LO LARGO DEL DIA ESPECIFICADO (BTU/h): 1,05860184825766

AZIMUTH SOLAR SUPERFICIE (RAD): 1,30576276756562

Nota: Desarrollado con datos del proyecto.

Los datos generales de la fachada son los siguientes:

Q_s (Macías): 9.675,60 W

R : 1.95

U : 0.51

Luego de desarrollar las primeras ecuaciones se llegó a un Q : 4.70 KW que arrojó una temperatura interna real sobre esta superficie de 26°C.

- Cubierta

Figura 86. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 4, cubierta.

COORDENADAS LONGITUD

Grados: 76
Minutos: 01
Segundos: 00

COORDENADAS LATITUD

Grados: 3
Minutos: 01
Segundos: 00

COORDENADA UNIVERSAL DE TIEMPO (GMT)

-5

FECHA (dd/mm)

21 / 08

HORA PARA CÁLCULO Formato 24h (hh/mm)

14 / 00

Ángulo de la Superficie (Grados)

140

Inclinación de la Superficie (Grados)

0

Reflectancia Solar de la Superficie del Suelo (de la Tabla 10)

0.21

Table 10 Solar Reflectances of Foreground Surfaces

Foreground Surface	Incident Angle				
	20°	30°	40°	60°	90°
New concrete	0.31	0.31	0.32	0.33	0.34
Old concrete	0.22	0.22	0.23	0.23	0.25
Bright green grass	0.31	0.22	0.33	0.25	0.31
Crushed rock	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Bitumen and gravel roof	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Bituminous parking lot	0.09	0.09	0.10	0.10	0.12

RESULTADOS DE POTENCIA SOLAR A LA HORA ESPECIFICADA

POTENCIA SOLAR NORMAL DIRECTA (W/m²): 898,399266133676

POTENCIA SOLAR EFECTIVA DIRECTA (W/m²): 376,673799772106

POTENCIA SOLAR DIFUSA VERTICAL (W/m²): 94,893131350794

POTENCIA SOLAR DIFUSA HORIZONTAL (W/m²): 0

POTENCIA SOLAR REFLEJADA (W/m²): 9486,6858952444

POTENCIA SOLAR TOTAL SOBRE LA SUPERFICIE (W/m²): 9958,25273243163

ALTITUD SOLAR (RAD): 1,05860184825766

AZIMUTH SOLAR SUPERFICIE (RAD): -0,544283854656598

24 HORAS POTENCIA SOLAR TOTAL (W/m²)

HORA	POTENCIA SOLAR TOTAL	HORA	POTENCIA SOLAR TOTAL
1	0	13	10909,933987
2	0	14	10057,408571
3	0	15	8474,9785000
4	0	16	6241,3657537
5	0	17	3427,9757523
6	0	18	159,48902754
7	2179,0348598	19	0
8	5221,0622233	20	0
9	7683,908310	21	0
10	9528,474235	22	0
11	10670,725429	23	0
12	11050,613377	24	0

Nota: Desarrollado con datos del proyecto.

Los datos generales de la fachada son los siguientes:

Q_s (Macías): 9.675,60 W/M²

R : 17.1

U : 0.058

Luego de desarrollar las primeras ecuaciones se llegó a un Q : 1.44 KW que arrojó una temperatura interna real sobre esta superficie de 26°C.

La temperatura real interna promedio del aula tipo 4 es de 26°C lo cual es confortable para Cali.

Análisis de Iluminación Natural de Aulas Tipo

La iluminación natural se calculó utilizando el software libre del arquitecto y desarrollador Andrew Marsh⁸ el cual visualiza la iluminación interior de los espacios teniendo en cuenta los vanos de las fachadas y sus protecciones desde una altura de trabajo determinada, en este caso de 70cm desde el suelo terminado.

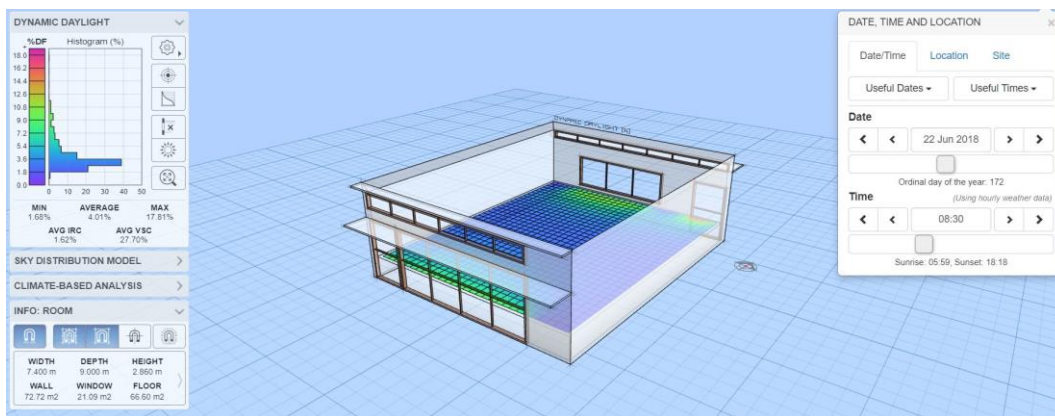
Este software utiliza la información del archivo climático de Cali para generar unas características de cielo típicas de la región con las condiciones de día y hora deseadas, las cuales se ingresan de forma manual.

En este caso se utilizaron los rangos de iluminación de junio, por ser los más bajos.

Para complementar la evaluación de la iluminación natural al interior de las aulas se fabricaron maquetas en escala 1:50 y utilizando un luxómetro se hicieron varios registros en diferentes momentos del año, es especial los meses de menos recurso celeste, para luego calcular el coeficiente de luz diurna (CLD).

Aula tipo 1.

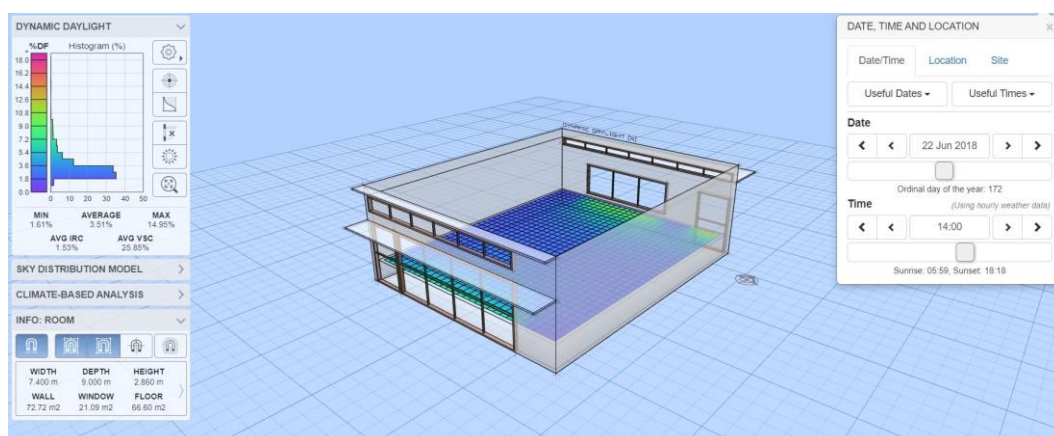
Figura 87. Luz natural en junio 22 8:30 am de aula tipo 1.



Nota: Gráficos creados con el software de luz natural de Andrew Marsh introduciendo datos del proyecto.

⁸ <http://andrewmarsh.com/software/>

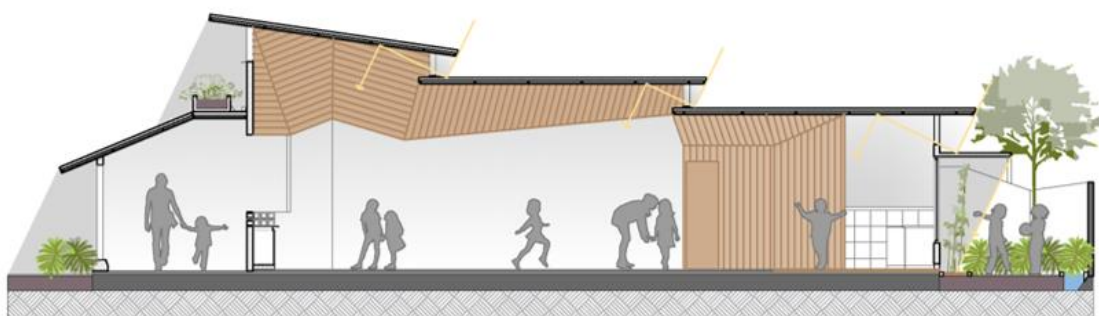
Figura 88. Luz natural en junio 22 2:00 pm de aula tipo 1.



Nota: Gráficos creados con el software de luz natural de Andrew Marsh introduciendo datos del proyecto.

Según las figuras 87 y 88 en la mayor porción del aula hay un CLD del 3% que de acuerdo con el reglamento Retilap (Ministerio de Minas y Energía, 2010) no es suficiente para un aula de clases, pero es necesario resaltar que el software utilizado asume una losa plana como cubierta cuando en realidad estas cuentan con al menos dos chimeneas solares que permiten la iluminación cenital.

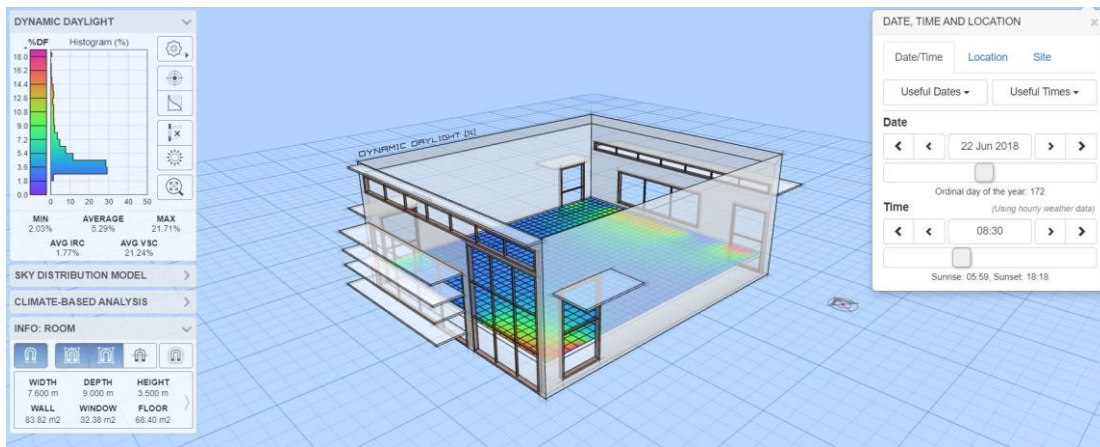
Figura 89. Iluminación natural en aula tipo 1 con incidencia de febrero 21, 11:00 am de aula tipo 1.



Nota: Elaboración propia.

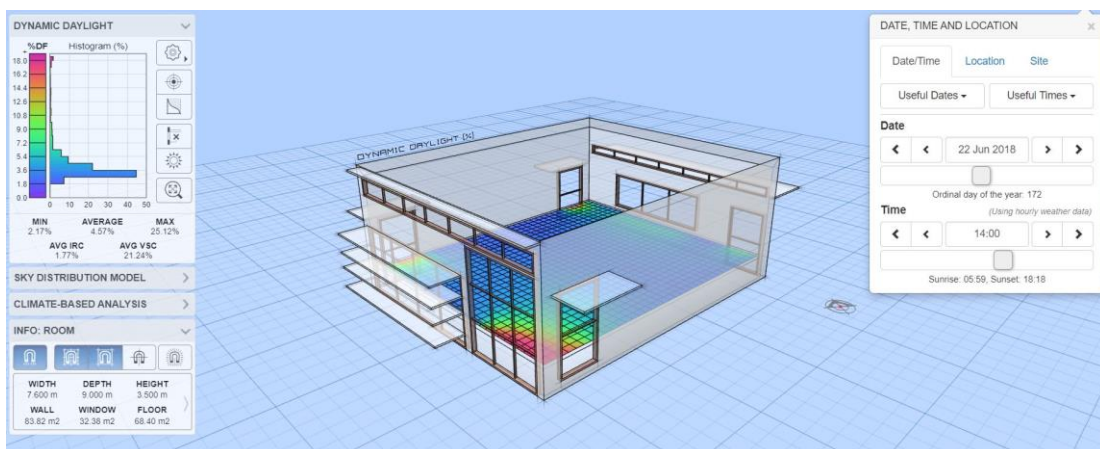
Aula tipo 2.

Figura 90. Luz natural en junio 22 8:30 am de aula tipo 2.



Nota: Gráficos creados con el software de luz natural de Andrew Marsh introduciendo datos del proyecto.

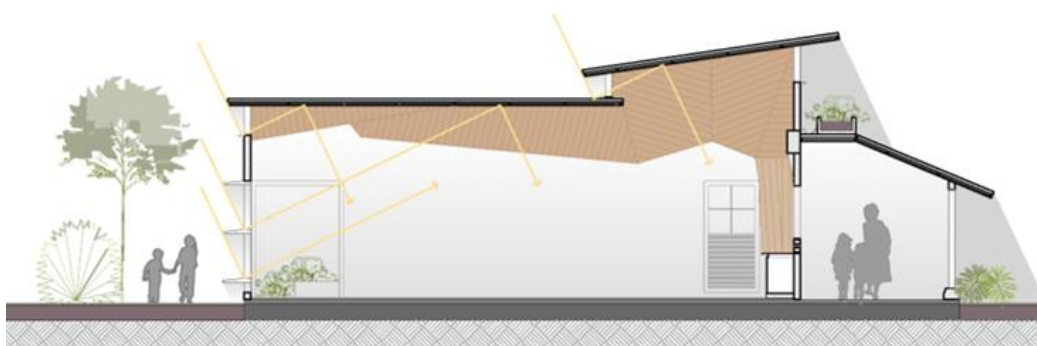
Figura 91. Luz natural en junio 22 2:00 pm de aula tipo 2.



Nota: Gráficos creados con el software de luz natural de Andrew Marsh introduciendo datos del proyecto.

En la simulación del aula tipo 2 también se puede ver una gran porción del aula con un CLD del 3%, pero como se verá en el siguiente capítulo las chimeneas solares hacen que las aulas cumplan con los requerimientos del reglamento Retilap.

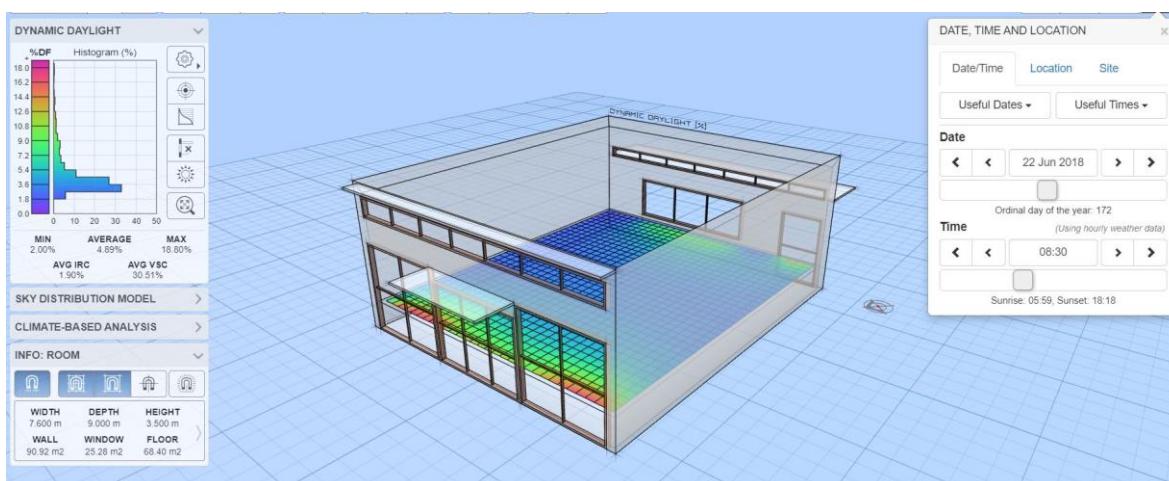
Figura 92. Iluminación natural en aula tipo 2 con incidencia del 21 de noviembre a las 2:00 pm de aula tipo 2.



Nota: Elaboración propia.

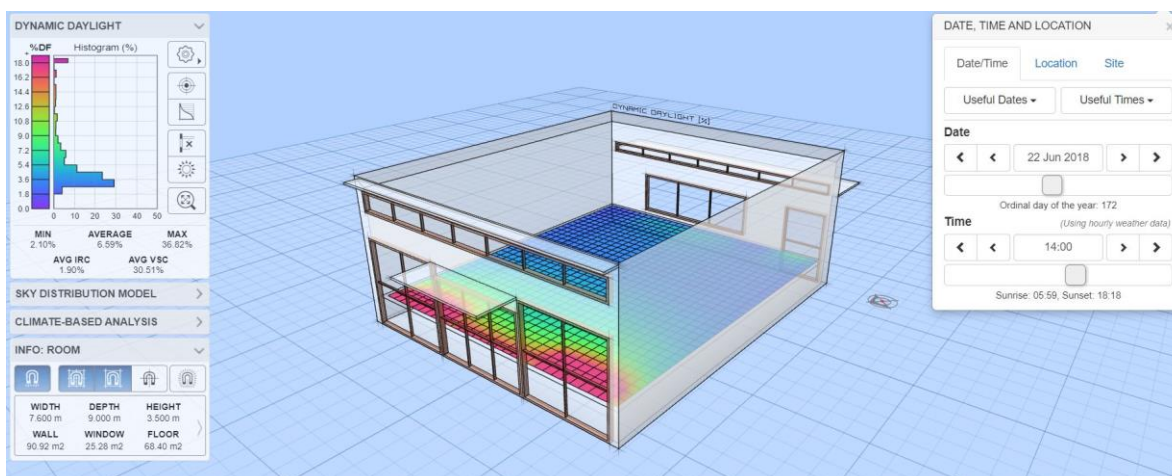
Aula tipo 4.

Figura 93. Luz natural en junio 22 8:30 am de aula tipo 4.



Nota: Gráficos creados con el software de luz natural de Andrew Marsh introduciendo datos del proyecto.

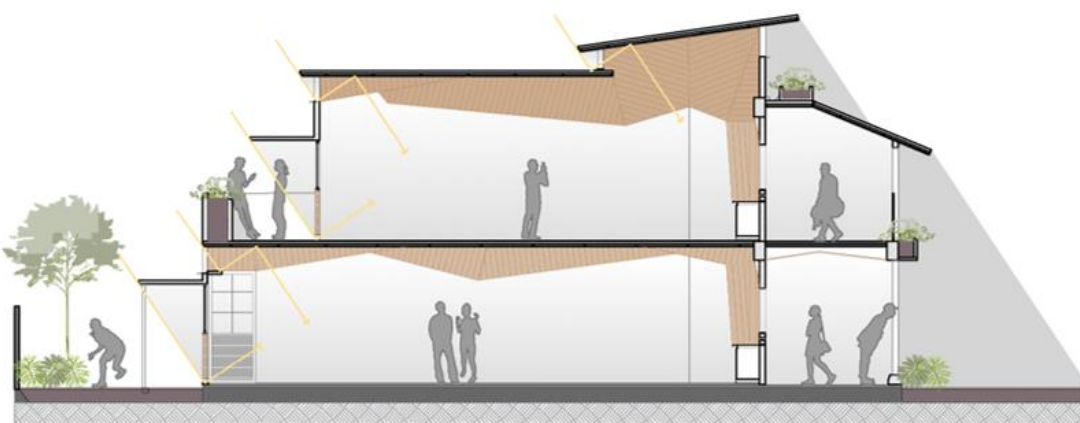
Figura 94. Luz natural en junio 22 2:00 pm de aula tipo 4.



Nota: Gráficos creados con el software de luz natural de Andrew Marsh introduciendo datos del proyecto.

Nota: El programa de iluminación utilizado tiene la limitante de no ser capaz de modelar muros calados, por lo que los laterales de la fachada trasera del aula tipo 3 y 4 deben asumirse como cubiertos en estos cálculos.

Figura 95. Iluminación natural en aulas tipo 3 y 4 con incidencia del 21 de septiembre a las 2:00 pm de aulas tipo 3 y 4.



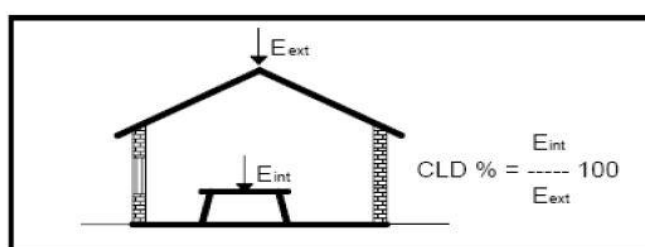
Nota: Elaboración propia.

Coeficiente de luz diurna (CLD)

El coeficiente de luz diurna expresa la relación entre la iluminancia exterior y la interior a la altura del plano de trabajo en un valor porcentual para catalogar la iluminancia interior teniendo en cuenta el trabajo o actividad que se realiza en dicho espacio.

De acuerdo con el reglamento Retilap (Ministerio de Minas y Energía, 2010) el CLD se calcula con la siguiente ecuación:

Figura 96. Ecuación para el cálculo de CLD.



Nota: Fuente: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público. Pág. 102.

Los resultados deben entenderse según los siguientes requerimientos:

Tabla 12. Valores del CLD promedio según la dificultad de la tarea.

Clasificación de la tarea según su dificultad	CLD promedio %	Ejemplos típicos de aplicación
Reducida	1	Circulación, depósitos de materiales toscos, etc.
Mediana	2	Inspección general, trabajo común de oficina.
Alta	5	Trabajos de costura, dibujo, etc.
Muy alta	10	Montaje e inspección de mecanismos delicados.

Nota: Fuente: Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público. Pág. 103.

Las mediciones a las maquetas se llevaron a cabo el día 20 de septiembre del 2022 entre las 10:00am y las 12:00m con un cielo bastante nublado.

Figura 97. *Cielo de la mañana del 20 de septiembre.*



Nota: Fuente: Imagen tomada por la autora en la Universidad del Valle.

El primer registro del recurso solar arrojó 8.800 lx, sin embargo, a medida que avanzaba la mañana se pudo notar una disminución del recurso celeste, el cual bajó a 6.310 lx, luego a 5.520 lx y finalmente a 4.474 lx como se puede ver en las siguientes figuras 98, 99 y 100.

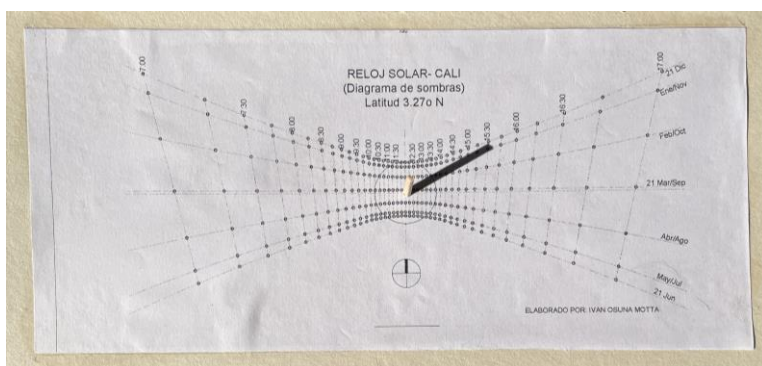
Figura 98, Figura 99, Figura 100. *Registros de la variación del recurso lumínico del 20 de septiembre/2022.*



Nota: Fuente: Imagen tomada por la autora en la Universidad del Valle.

Utilizando un reloj solar elaborado por el arquitecto bioclimático Iván Osuna para la ciudad de Cali se modificó repetidas veces el norte haciéndolo coincidir con el norte de cada aula tipo en búsqueda de los ángulos de incidencia solar que corresponden a los meses y las horas que se querían evaluar.

Figura 101. *Reloj solar para Cali.*



Nota: Reloj solar para Cali desarrollado por el arq. Bioclimático Ivan Osuna.

Figura 102. Maquetas a 1:50 de aulas tipo.



Nota: Elaboración propia.

De este modo, los cálculos de CLD de las aulas tipo 1 y tipo 2 se hicieron sobre el recurso de 8.800 lx puesto fueron las primeras maquetas que se analizaron en el día y el recurso celeste variaba muy poco.

El aula tipo 4, por ser la última, reportó momentos de muy poca luminosidad interna con 330 y 250 lx para los meses de abril y agosto a las 9:00am y 3:00pm respectivamente, ya que hacia el mediodía el recurso celeste empezó a variar. Por esta razón los cálculos de CLD del aula tipo 4 se hicieron sobre 6.310 lx para los meses de febrero-octubre y septiembre marzo y sobre 4.740 lx para los meses abril-agosto.

Los resultados fueron los siguientes:

Aula tipo 1

Febrero- Octubre:

Figura 103, Figura 104. Iluminancia interna a las 10:00am y 3:00pm respectivamente para febrero y octubre.



Nota: Fuente: Imagen tomada por la autora en la Universidad del Valle.

- 10:00 am

$$CLD = \frac{710 \text{ lx}}{8.800 \text{ lx}} \times 100 = 8\%$$

- 3:00 pm

$$CLD = \frac{630 \text{ lx}}{8.800 \text{ lx}} \times 100 = 7\%$$

Abril- Agosto:

Figura 105, Figura 106. Iluminancia interna a las 10:00am y 3:00pm respectivamente para abril y agosto.



Nota: Fuente: Imagen tomada por la autora en la Universidad del Valle.

- 10:00 am

$$CLD = \frac{840 \text{ lx}}{8.800 \text{ lx}} \times 100 = 9\%$$

- 3:00 pm

$$CLD = \frac{1.060 \text{ lx}}{8.800 \text{ lx}} \times 100 = 12\%$$

Septiembre- Marzo:

Figura 107, Figura 108. Iluminancia interna a las 10:00am y 3:00pm respectivamente para septiembre y marzo.



Nota: Fuente: Imagen tomada por la autora en la Universidad del Valle.

- 10:00 am

$$CLD = \frac{610 \text{ lx}}{8.800 \text{ lx}} \times 100 = 6\%$$

- 3:00 pm

$$CLD = \frac{690 \text{ lx}}{8.800 \text{ lx}} \times 100 = 8\%$$

De acuerdo con los resultados anteriores el aula tipo 1 cuenta con la iluminancia interior necesaria para actividades de lectura y de precisión durante todo el año haciendo innecesario el uso de iluminación artificial durante las horas del día.

Aula tipo 2

Febrero- Octubre:

Figura 109, Figura 110. Iluminancia interna a las 10:00am y 3:00pm respectivamente para febrero y octubre.



Nota: Fuente: Imagen tomada por la autora en la Universidad del Valle.

- 10:00 am

$$CLD = \frac{680 \text{ lx}}{8.800 \text{ lx}} \times 100 = 7\%$$

- 3:00 pm

$$CLD = \frac{610 \text{ lx}}{8.800 \text{ lx}} \times 100 = 6\%$$

Abril- Agosto:

Figura 111, Figura 112. Iluminancia interna a las 10:00am y 3:00pm respectivamente para abril y agosto.



Nota: Fuente: Imagen tomada por la autora en la Universidad del Valle.

- 10:00 am

$$CLD = \frac{690 \text{ lx}}{8.800 \text{ lx}} \times 100 = 8\%$$

- 3:00 pm

$$CLD = \frac{540 \text{ lx}}{8.800 \text{ lx}} \times 100 = 6\%$$

Septiembre- Marzo:

Figura 113, Figura 114. Iluminancia interna a las 10:00am y 3:00pm respectivamente para septiembre y marzo.



Nota: Fuente: Imagen tomada por la autora en la Universidad del Valle.

- 10:00 am

$$CLD = \frac{610 \text{ lx}}{8.800 \text{ lx}} \times 100 = 6\%$$

- 3:00 pm

$$CLD = \frac{670 \text{ lx}}{8.800 \text{ lx}} \times 100 = 7\%$$

De acuerdo con los resultados anteriores el aula tipo 2 cuenta con la iluminancia interior necesaria para actividades de lectura y de precisión durante todo el año haciendo innecesario el uso de iluminación artificial durante las horas del día.

Aula tipo 4

Febrero- Octubre:

Figura 115, Figura 116. Iluminancia interna a las 10:00am y 3:00pm respectivamente para febrero y octubre.



Nota: Fuente: Imagen tomada por la autora en la Universidad del Valle.

- 10:00 am

$$CLD = \frac{430 \text{ lx}}{6.310 \text{ lx}} \times 100 = 6\%$$

- 3:00 pm

$$CLD = \frac{540 \text{ lx}}{6.310 \text{ lx}} \times 100 = 6\%$$

Abril- Agosto:

Figura 117, Figura 118. Iluminancia interna a las 10:00am y 3:00pm respectivamente para abril y agosto.



Nota: Fuente: Imagen tomada por la autora en la Universidad del Valle.

Se desarrolla el cálculo de CLD sobre un recurso de 4.740 lx:

- 10:00 am

$$CLD = \frac{330 \text{ lx}}{4.740 \text{ lx}} \times 100 = 6\%$$

- 3:00 pm

$$CLD = \frac{250 \text{ lx}}{4.740 \text{ lx}} \times 100 = 5\%$$

Septiembre- Marzo:

Figura 119, Figura 120. Iluminancia interna a las 10:00am y 3:00pm respectivamente para septiembre y marzo.



Nota: Fuente: Imagen tomada por la autora en la Universidad del Valle.

- 10:00 am

$$CLD = \frac{500 \text{ lx}}{6.310 \text{ lx}} \times 100 = 7\%$$

- 3:00 pm

$$CLD = \frac{520 \text{ lx}}{6.310 \text{ lx}} \times 100 = 6\%$$

De acuerdo con los resultados anteriores el aula tipo 4 cuenta con la iluminancia interior necesaria para actividades de lectura y de precisión durante todo el año haciendo innecesario el uso de iluminación artificial durante las horas del día.

En general las aulas reportaron porcentajes de CLD entre 12% y 5%, lo cual las posiciona en los rangos de “Alto” y “Muy alto” aún con un recurso celeste limitado por la temporada de lluvias.

Análisis de Ventilación Natural en Aulas Tipo

Para calcular la ventilación natural se elaboró una tabla con los datos de carga térmica y características del aula necesarias para hacer funcionar el software de ventilación natural del ingeniero mecánico Alejandro Macías adicionando información de dirección y velocidad del aire. Para la velocidad del aire se utilizó un promedio de 0.5 m/s (ver Micro-clima) llegando a los siguientes resultados:

Aula tipo 1.

En la siguiente tabla se resumen los datos del aula tipo 1 para el cálculo de ventilación:

Tabla 13. Resumen de aula tipo 1 para cálculo de ventilación natural.

AULA TIPO 1		AULA TIPO 1					
ÁREA M ²	85.76	DATOS/ESPACIO	FACHADA 1	FACHADA 2	FACHADA 3	FACHADA 4	CUBIERTA
ALTURA Mt	4	ÁREA M ²	14.21	48	20.74	48	88.56
VOLUMEN M ³	343.04	Q (KW)	6.67	5.59	0	0	1.86

Nota: Elaboración propia.

Figura 121. Aplicación de Software de ventilación natural en ventanas de Alejandro Macías con datos del aula tipo 1.

Método NORMA Entrada/Salida en un Solo Lado por Diferencias de Temperatura | Método NORMA Ventilación Cruzada

Debido solo al viento con área de salida > área de entrada | Debido solo al viento con área de entrada > área de salida | Solo efecto chimenea | Efectos de viento y chimenea combinados

¡CUIDADO! Verifique cual es el separador decimal en su máquina, este puede ser la coma o el punto.

Configuración del viento

Velocidad del viento predominante reportada por la estación meteorológica local (m/s): 0.5

Seleccione el tipo de terreno de ubicación de la edificación:

- ☐ Centro de ciudades grandes con el 50% de edificios mas altos de 21 m
- ☐ Areas urbanas y suburbanas, áreas boscosas u otros terrenos con numerosas obstrucciones cerradas
- ☒ Terreno abierto con obstrucciones aisladas que generalmente tienen menos de 10 m de altura. Incluye terreno plano de camino abierto.
- ☐ Areas planas sin obstrucciones, expuestas al viento.

Carga térmica en el volumen de control (kW): 2.82

Altura sobre el nivel del mar (m): 960

Volumen del espacio (m³): 343.04

Alto de la entrada (m): 2

Alto de la salida (m): 1.54

Ancho de la entrada (m): 3.46

Ancho de la salida (m): 2.82

Cantidad de entradas al espacio: 1

Cantidad de salidas del espacio: 2

Temperatura exterior (°C): 32

Altura de la entrada referente al piso L (m): 0.9

Coefficiente de presión Cp1 Sotavento: -0,3

Coefficiente de presión Cp2 Barlovento: -0,3

Mostrar valores Cp1

Mostrar valores Cp2

Flujo de aire requerido para retirar la carga térmica del volumen de control (m³/h): 314567,6

Flujo de aire disponible a la Temperatura exterior (m³/h): 0

Cambios de aire por hora disponibles a la Temperatura exterior (ACHa): 0

Flujo de aire adicional requerido en forma mecánica: 314567,6

CALCULAR **BORRAR** **SALIR**

Figura 122. Aplicación de Software de ventilación natural en chimeneas de Alejandro Macías con datos del aula tipo 1.

Método NORMA Entrada/Salida en un Solo Lado por Diferencias de Temperatura | Método NORMA Ventilación Cruzada

Debido solo al viento con área de salida > área de entrada | Debido solo al viento con área de entrada > área de salida | Solo efecto chimenea | Efectos de viento y chimenea combinados

1. Calcule la tasa de flujo de aire debido solo al viento, dependiendo de si la entrada es mayor a la salida o viceversa

2. Calcule la tasa de flujo de aire debido solo al efecto chimenea

3. Luego regrese a esta pantalla y presione "CALCULAR"

Flujo de aire requerido para retirar la carga térmica del volumen de control (m³/h): 314567,6

Flujo de aire disponible a la Temperatura exterior (m³/h): 219999400

Cambios de aire por hora disponibles a la Temperatura exterior (ACHa): 6413

Flujo de aire adicional requerido en forma mecánica (m³/h): Not Required

CALCULAR **BORRAR** **SALIR**

Como indican las figuras 120 y 121, las ventanas del aula tipo 1 junto con la chimenea solar de la cubierta son capaces de expulsar la carga térmica total de las superficies y no requiere de flujo de aire adicional.

Aula tipo 2.

En la siguiente tabla se resumen los datos del aula tipo 2 para el cálculo de ventilación:

Tabla 14. Resumen de aula tipo 2 para cálculo de ventilación natural.

AULA TIPO 2		AULA TIPO 2					
ÁREA M ²	68.66	DATOS/ESPACIO	FACHADA 1	FACHADA 2	FACHADA 3	FACHADA 4	CUBIERTA
ALTURA Mt	4.18	ÁREA M ²	40	24.48	40	20.74	77.7
VOLUMEN M ³	286.9988	Q (KW)	4.66	11.5	4.66	0	16.37

Nota: Elaboración propia.

Figura 123. Aplicación de Software de ventilación natural en ventanas de Alejandro Macías con datos del aula tipo 2.

Método NORMA Entrada/Salida en un Solo Lado por Diferencias de Temperatura | Método NORMA Ventilación Cruzada

Debido solo al viento con área de salida > área de entrada | Debido solo al viento con área de entrada > área de salida | Solo efecto chimenea | Efectos de viento y chimenea combinados

¡CUIDADO! Verifique cual es el separador decimal en su máquina, este puede ser la coma o el punto.

Configuración del viento

Velocidad del viento predominante reportada por la estación meteorológica local (m/s): **0.5**

Seleccione el tipo de terreno de ubicación de la edificación:

- ☐ Centro de ciudades grandes con el 50% de edificios mas altos de 21 m
- ☒ Terreno abierto con obstrucciones aisladas que generalmente tienen menos de 10 m de altura. Incluye terreno plano de camino abierto
- ☐ Areas urbanas y suburbanas, áreas boscosas u otros terrenos con numerosas obstrucciones cerradas
- ☐ Areas planas sin obstrucciones, expuestas al viento.

Carga térmica en el volumen de control (kW): **4.44**

Altura sobre el nivel del mar (m): **960**

Volumen del espacio (m³): **286.99**

Alto de la entrada (m): **2**

Ancho de la entrada (m): **4.66**

Cantidad de entradas al espacio: **2**

Alto de la salida (m): **1.54**

Ancho de la salida (m): **2.44**

Cantidad de salidas del espacio: **2**

Temperatura exterior (°C): **32**

Altura de la entrada referente al piso L (m): **0.9**

Coefficiente de presión Cp1 Sotavento: **-0,26** | Mostrar valores Cp1

Coefficiente de presión Cp2 Barlovento: **-0,29** | Mostrar valores Cp2

Flujo de aire requerido para retirar la carga térmica del volumen de control (m³/h): **495276,7**

Flujo de aire disponible a la Temperatura exterior (m³/h): **1,300874E+08**

Cambios de aire por hora disponibles a la Temperatura exterior (ACHa): **4533**

Flujo de aire adicional requerido en forma mecánica: **Not Required**

CALCULAR **BORRAR** **SALIR**

Como indica la figura 122, las ventanas del aula tipo 2 por si solas son capaces de expulsar la carga térmica total de las superficies y no requiere de flujo de aire adicional.

Aula tipo 4.

En la siguiente tabla se resumen los datos del aula tipo 4 para el cálculo de ventilación:

Tabla 15. Resumen de aula tipo 4 para cálculo de ventilación natural.

AULA TIPO 3		AULA TIPO 3				
ÁREA M ²	61.69	DATOS/ESPACIO	FACHADA 1	FACHADA 2	FACHADA 3	FACHADA 4
ALTURA Mt	4.2	ÁREA M ²	36.52	24.48	36.52	20.74
VOLUMEN M ³	259.098	Q (KW)	4.25	11.5	0	0
						65.74
						1.38

Nota: Elaboración propia

Figura 124. Aplicación de Software de ventilación natural en ventanas de Alejandro Macías con datos del aula tipo 4.

Método NORMA Entrada/Salida en un Solo Lado por Diferencias de Temperatura Método NORMA Ventilación Cruzada

Debido solo al viento con área de salida > área de entrada Debido solo al viento con área de entrada > área de salida Solo efecto chimenea Efectos de viento y chimenea combinados

¡CUIDADO! Verifique cual es el separador decimal en su máquina, este puede ser la coma o el punto.

Configuración del viento

Velocidad del viento predominante reportada por la estación meteorológica local (m/s): **0.5**

Seleccione el tipo de terreno de ubicación de la edificación.

☐ Centro de ciudades grandes con el 50% de edificios mas altos de 21 m

☐ Áreas urbanas y suburbanas, áreas boscosas u otros terrenos con numerosas obstrucciones cerradas

☒ Terreno abierto con obstrucciones aisladas que generalmente tienen menos de 10 m de altura. Incluye terrenos planos de caminos abiertos

☐ Áreas planas sin obstrucciones, expuestas al viento.

Carga térmica en el volumen de control (kW): **3.45**

Altura sobre el nivel del mar (m): **960**

Volumen del espacio (m³): **259.10**

Alto de la entrada (m): **2**

Ancho de la entrada (m): **2.39**

Cantidad de entradas al espacio: **3**

Alto de la salida (m): **1.54**

Ancho de la salida (m): **2.44**

Cantidad de salidas del espacio: **2**

Temperatura exterior (°C): **32**

Altura de la entrada referente al piso L (m): **0.9**

Coefficiente de presión Cp1 Sotavento: **-0,075** Mostrar valores Cp1

Coefficiente de presión Cp2 Barlovento: **-0,34** Mostrar valores Cp2

Flujo de aire requerido para retirar la carga térmica del volumen de control (m³/h): **384843,3**

Flujo de aire disponible a la Temperatura exterior (m³/h): **3,865822E+06**

Cambios de aire por hora disponibles a la Temperatura exterior (ACHa): **14920**

Flujo de aire adicional requerido en forma mecánica: **Not Required**

CALCULAR **BORRAR** **SALIR**

Como indica la figura 123, las ventanas de las aulas tipo 3 y 4 por sí solas son capaces de expulsar la carga térmica total de las superficies y no requiere de flujo de aire adicional. Es importante resaltar la existencia de las aperturas en la cubierta que además de brindar iluminación natural adicional proveen una salida efectiva para el aire caliente que se desplaza por el caudal que entra por las ventanas. Por lo anterior, el flujo de aire natural será mejor para las aulas que cuentan con dichas chimeneas.

Confort

Según el apartado 5.4 del estándar Ashrae 55 (ASHRAE) las aulas tipo deben ser evaluadas bajo el método adaptativo pues cumplen con las siguientes características:

- El espacio está ventilado de forma natural.
- El espacio no cuenta con sistema de ventilación artificial o sistema de calefacción.
- Los usuarios del espacio tienen la posibilidad de adaptarlo a las condiciones del ambiente.
- Los usuarios del espacio tienen la posibilidad de adaptar su vestimenta entre 0.5 y 1.0 clo.
- La temperatura media predominante exterior es mayor a 10°C y menor a 33,5°C.

Como se ha demostrado anteriormente, las aulas tipo cuentan con una eficiente ventilación natural lograda a través de los vanos y las chimeneas solares diseñadas específicamente para la implantación de las aulas y sus condiciones microclimáticas.

Es fundamental que el espacio permita que el usuario lo adapte si este lo considera necesario, esto es, por ejemplo, abrir o cerrar una ventana.

Lo anterior es posible gracias a la pedagogía Waldorf que se adoptó para darle un programa y unas características espaciales específicas al proyecto.

En esta pedagogía las y los maestros permiten que las y los estudiantes escojan su lugar en el aula y también se permite cierto movimiento en medio de las clases. Si una o un estudiante quisiera cerrar una cortina, por ejemplo, está en total libertad de hacerlo.

Tampoco se usan los uniformes para las y los estudiantes, y estos pueden usar diariamente las ropas que mejor se ajusten a sus actividades escolares.

La ropa (Clo) es un factor que se debe analizar puesto representa un aislamiento para el cuerpo y puede empeorar o mejorar la sensación térmica en la medida en que sea coherente con la actividad física que genera una tasa metabólica determinada.

En el estándar Ashrae 55 están consignados los valores Clo que corresponden a cada pieza de vestimenta como se muestran en la tabla 14 a continuación:

Tabla 16. Valores Clo de conjuntos típicos.

Aislamiento de ropa. Valores para conjuntos típicos		
Descripción de la prenda	Incluye ^a	Clo
Pantalones	1 Pantalón con camisa manga corta	0,57
	2 Pantalón con camisa manga larga	0,61
	3 #2 con blazer	0,96
	4 #2 con chaqueta, chaleco y camiseta	1,14
	5 #2 con camiseta y buso manga larga	1,01
	6 #5 con blazer y ropa interior larga	1,3
Faldas y vestidos	7 Falda a la rodilla con camiseta y sandalias	0,54
	8 Falda a la rodilla con camisa manga larga y zapatos	0,67
	9 #8 con buso de manga larga	1,10
	10 #8 con blazer	1,04
	11 Falda al tobillo con camisa manga larga y blazer	1,10
Pantalones cortos	12 Pantalones cortos con camiseta	0,36
Overoles y sobretodos	13 Sobretodo con camiseta	0,72
	14 overol con camisa manga larga	0,89
	15 Sobretodo industrial con ropa interior de protección	1,37
Ropa atlética	16 Sudadera completa	0,74
Ropa de dormir	17 Pijama manga larga completa con pantuflas	0,96

a. Todos los conjuntos de pantalón, excepto los que indican algo diferente entre parentesis, incluyen zapatos, medias, calzoncillos y panties. Todos los conjuntos de falda y vestido incluyen medias veladas.

Nota: Información tomada del documento del estándar Ashrae 55-2017 pg. 7, traducción propia.

También es un factor importante el tipo de actividad física que se lleva a cabo en las aulas tipo puesto que dicha actividad genera un calor metabólico (Met) que afecta la sensación térmica de cada individuo. Los valores Met están dados en la tabla 15 tomada del estándar Ashrae 55:

Tabla 17. Tasas metabólicas (Met) para actividades típicas.

Tasas metabólicas para actividades típicas			
Actividad	Tasa metabólica		
	Und. Met	W/m ²	Btu/h.ft ²
Descanso			
Dormir	0,7	40	13
Recostarse	0,8	45	15
Sentado/a, quieto/a	1,0	60	18
De pie, relajado/a	1,2	70	22
Caminar, en suelo nivelado			
0.9 m/s, 3.2 km/h, 2.0 mph	2,0	115	37
1.2 m/s, 4.3 km/h, 2.7 mph	2,6	150	48
1.8 m/s, 6.8 km/h, 4.2 mph	3,8	220	70
Actividades de oficina y estudio			
Leer sentado/a	1,0	55	18
Escribir a mano	1,0	60	18
Escribir en maquina o pc	1,1	65	20
Resolver formas, sentado/a	1,2	70	22
Resolver formas, de pie	1,4	80	26
Deambular	1,7	100	31
Cargar, empacar	2,1	120	39

Nota: Información tomada del documento del estándar Ashrae 55-2017 pg. 6, traducción propia.

Sí bien es importante tener en cuenta los valores Met y Clo para determinar el método bajo el cual se evalúan las condiciones de confort, estos valores no se computan en la ecuación del método adaptativo.

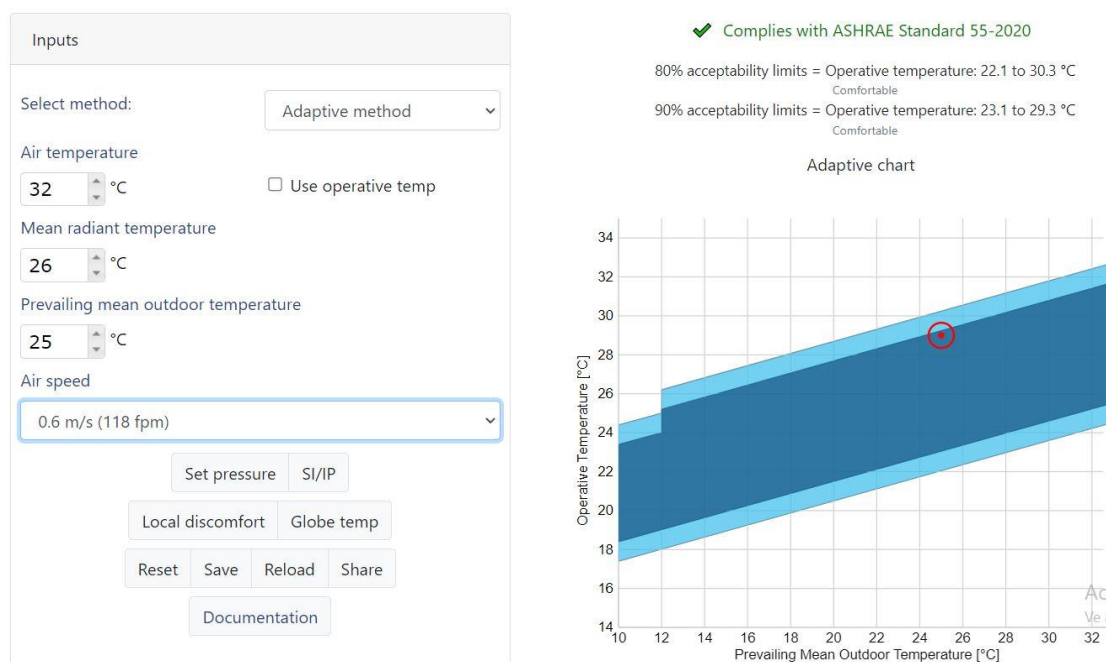
Para dicho cálculo se utilizan la temperatura del aire, la temperatura media predominante exterior, la temperatura media radiante (temperatura de diseño) y la velocidad del aire.

De esta forma y utilizando la herramienta desarrollada por el Centro para el Ambiente Construido (CBE por su nombre en inglés)⁹ para el estándar Ashrae 55 se elaboró la carta psicrométrica de las aulas tipo; se suministraron los datos de la siguiente manera:

- Temperatura radiante total del aula: 26°C.
- Temperatura ambiente: 32°C.
- Temperatura media predominante exterior del mes de agosto: 25°C
- Velocidad del aire: 0,6 m/s.

⁹ <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>

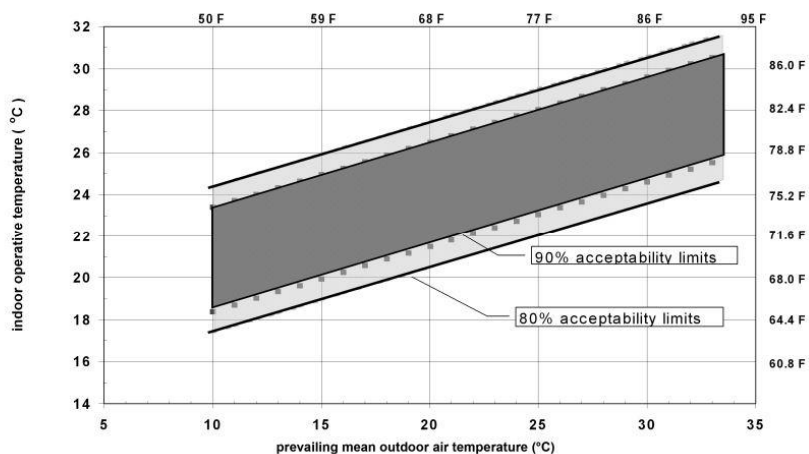
Figura 125. Carta psicrométrica de las aulas tipo.



Nota: Carta desarrollada utilizando la CBE Thermal confort tool con información ambiental del proyecto.

Para la interpretación de la figura 125 es importante tener en cuenta que en la carta psicrométrica se pueden observar dos regiones, una de color claro en el límite de la zona de confort que representa un 80% de satisfacción, y la zona de confort que se muestra como una franja más amplia de color oscuro que representa el 90% de satisfacción como lo muestra la figura 126 a continuación.

Figura 126. Lectura de rangos aceptables de temperatura operativa para espacios ventilados naturalmente.



Nota: Información tomada del documento del estándar Ashrae 55-2017 pg. 15.

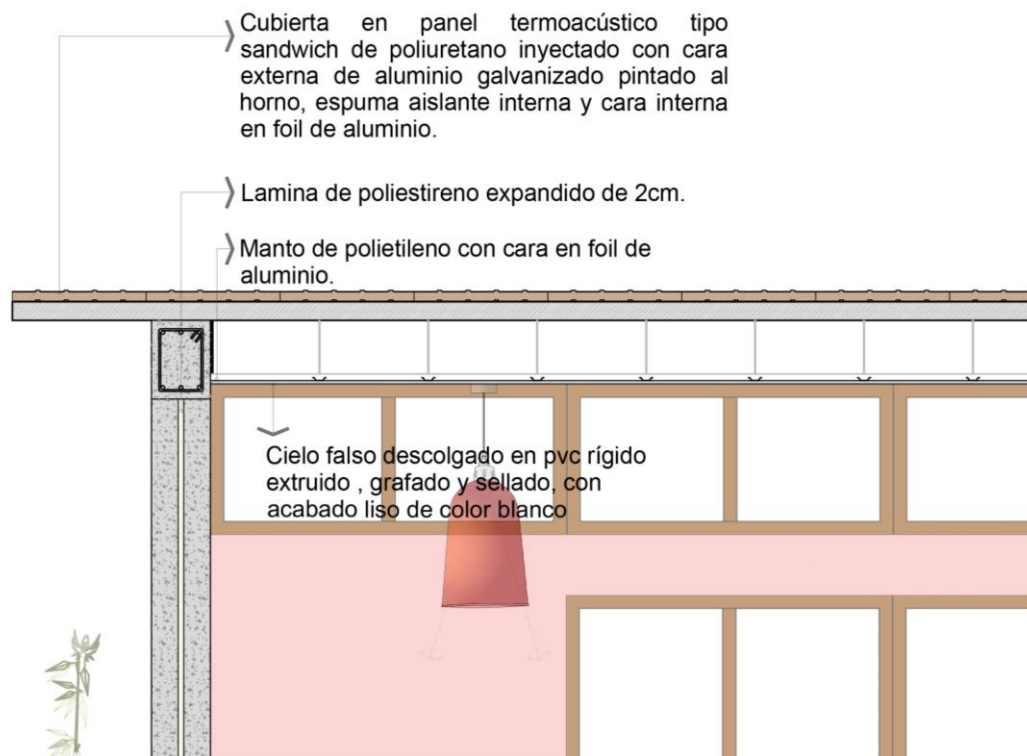
Como se evidencia en la figura 125 las aulas tipo, y por ende todos los ambientes académicos, son confortables bajo el estándar Ashrae 55 y el método adaptativo de evaluación de confort.

Aspectos Técnicos

Para proteger las aulas del rayo directo del sol se diseñaron estrategias pasivas sobre fachadas como marquesinas, quiebrasoles y calados que al mismo tiempo permitieran la iluminación natural de los espacios.

En cuanto a las altas temperaturas de las superficies se diseñó un muro ancho con doble capa de concreto de 10cm separadas por una capa de poliestireno expandido, el cual ofrece una resistencia alta a la radiación directa, para el muro largo lateral más expuesto y más propenso a irradiar calor por su gran área.

Figura 127. Componentes de muro lateral, Esc_1:20.



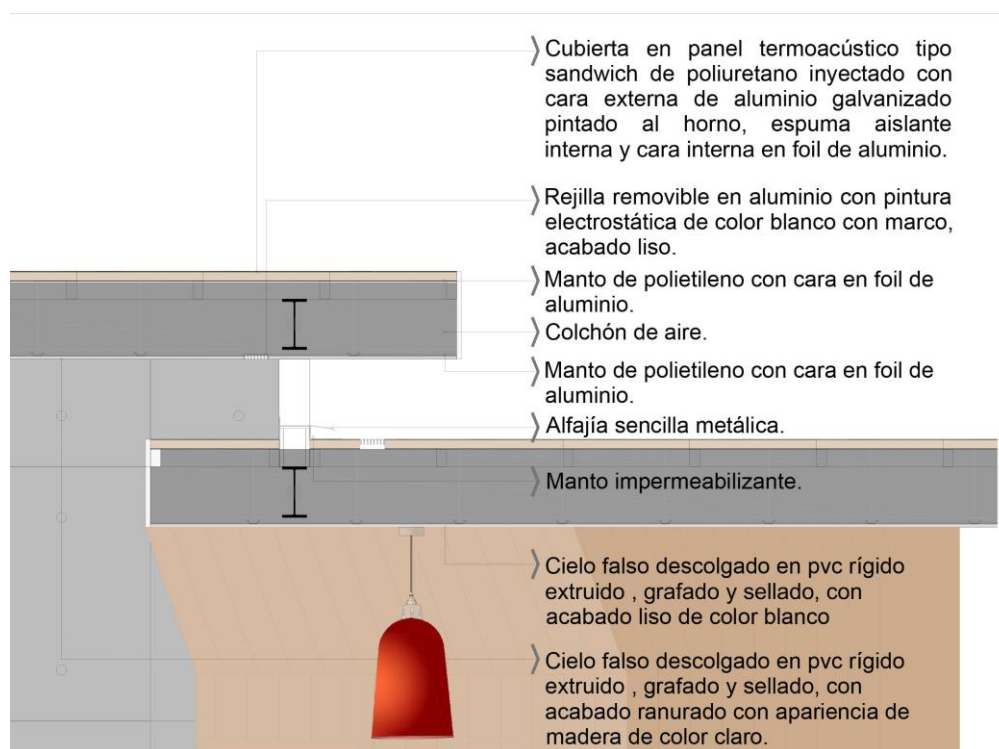
Nota: Elaboración propia.

Las cubiertas por su parte, se diseñaron de forma que el aire pudiera pasar entre la teja y el cielo falso de forma constante con un colchón de aire de 20cm y rejillas en los extremos de cada tramo de cubierta como se puede ver en la figura 127.

La composición de las cubiertas consta de una teja termoacústica sencilla tipo sándwich de color blanco instalada de forma convencional bajo la cual se instala un manto de polietileno de baja densidad de color blanco con una de sus caras con foil de aluminio, seguido por el espacio de aire y rematado por un cielo falso en pvc rígido de apariencia de madera clara sobre el cual se instala otra capa de manto de polietileno con cara en foil para mantener fresco el aire del colchón.

Solo en el tramo trasero de cubierta en las aulas tipo 1 el cielo falso es en pvc rígido liso de color blanco.

Figura 128. Componentes de cubiertas, Esc_1:20.



Nota: Elaboración propia.

Es necesario instalar rejillas donde comienza la cubierta para permitir una entrada de aire fresco y una rejilla sobre las chimeneas (donde termina cada tramo de

cubierta) para permitir la salida de aire caliente de manera controlada. Esto para evitar que agua o animales puedan entrar al colchón de aire.

La estrategia para muros y cubierta amplía el valor R de las superficies y disminuye la temperatura interna hasta 6 grados. Esto hace que un aula tenga una temperatura de 26°C con una temperatura ambiente de 32°C.

Se deben diseñar salidas de aire caliente en las cubiertas toda vez que sea posible. Las chimeneas solares son capaces de expulsar grandes cantidades de aire caliente aun cuando la velocidad del aire no es muy alta y son un complemento vital para que cada aula goce de las renovaciones de aire requeridas y un flujo de aire que genere confort.

También demostraron ser provechosas para reforzar la iluminancia interna incluso en los meses de menos luz.

Gracias a las chimeneas y los diferentes vanos diseñados en las aulas tipos, estas presentan un CLD alto que permite realizar todo tipo de actividades académicas, desde leer y dibujar hasta hacer observaciones complejas y jugar.

Discusión

Las estrategias que se diseñaron para el presente trabajo de tesis estuvieron enfocadas en responder a los requerimientos espaciales de las pedagogías de la Escuela Nueva (puntualmente la pedagogía Waldorf) cuyos pilares fundamentales son la antropometría de las niñas y los niños y sus necesidades, y en responder a los requerimientos de las diferentes normas de planeamiento y diseño de ambientes escolares; para luego diseñar las estrategias pasivas de arquitectura bioclimática que las hiciera funcionar en términos de confort ambiental.

Se diseñaron para edificios en concreto blanco a la vista en el exterior y con revestimiento convencional de repello, estuco y pintura en el interior, además de algunos tramos de pared que van revestidos con tablillas de madera de tono claro y un cielo falso en pvc como se puede ver en las figuras 55, 56, 59 y 61.

Las simulaciones se limitaron a las 4 aulas tipo de las cuales se evaluaron las 3 más críticas en los meses más calurosos del año.

Para el análisis de incidencia solar se identificaron los meses en los que la radiación fuera directa en los vanos, como los meses de diciembre para el aula tipo 1, noviembre para el aula tipo 2 y septiembre para las aulas tipo 3 y 4; para el análisis de temperatura se utilizó la máxima media del mes de julio entre las 2:00 y las 3:00 de la tarde registrada en 32°C.

El método planteado por el proyecto consistió en una serie de evaluaciones que por medio del “ensayo y error” condujeron a varios ajustes de las estrategias de mitigación de carga térmica sobre los muros hasta lograr una composición de resistencias que transfieran la menor cantidad de carga como sea posible al mismo tiempo que se mantienen las características estéticas del proyecto. El mismo proceso se llevó a cabo para el diseño de los vanos en las fachadas livianas, y para el diseño de las cubiertas y sus chimeneas.

La temperatura de diseño se estableció en 26°C luego de revisar investigaciones realizadas en escuelas en países tropicales como Singapur y Japón (Wong & Khoo, 2002), (Kwok & Chun, Science Direct, 2003).

El proceso de diseñar las estrategias pasivas como volados de cubierta, marquesinas, quiebrasoles o chimeneas solares estuvo siempre enfocado en dar respuesta simultáneamente a tantas características ambientales como fuera posible. Es decir, las marquesinas buscaban bloquear el rayo directo del sol y al mismo tiempo permitir que la radiación difusa consecuente logre iluminar el interior de las aulas. Las chimeneas solares se diseñaron para que extrajeran tanto caudal de aire caliente como fuera posible al mismo tiempo que permiten el paso de la iluminación difusa y sus volados protegen las rejillas del colchón de aire de las cubiertas con un tratamiento para controlar el agua de las lluvias.

Luego de obtener resultados cuantificables de temperatura radiante, y teniendo en cuenta la temperatura predominante exterior y la velocidad del aire disponible en el exterior, en este caso 0.5 m/s, se llevó a cabo la evaluación de confort por medio del método adaptativo del estándar Ashrae 55 y se comprobó que diseñar los ambientes académicos en función de la antropometría de las niñas y los niños y sus necesidades, y diseñar estrategias pasivas para mantener estas características espaciales puede dar como resultado ambientes con un nivel de satisfacción del 90%.

Este método se desarrolló para mostrar que se pueden aplicar estrategias pasivas de bioclimática en búsqueda del confort higrotérmico independientemente de cuál sea el estilo de arquitectura que se quiere proyectar y las condiciones ambientales y climáticas del sector.

Por otro lado, y entendiendo que el microsistema de niñas, niños y jóvenes no solo está influenciado directamente por la escuela sino también por el hogar (núcleo familiar inmediato), el proyecto muestra que con estrategias sencillas aplicadas al diseño de aulas tipo se pueden proyectar espacios con una calidad espacial y ambiental superior que generan confort higrotérmico y una alta satisfacción incluso cuando la temperatura exterior es de hasta 32°C y el recurso de ventilación es limitado.

Una buena aula de clase debe contar con adecuada ventilación natural que renueve el aire que se respira y evacue la carga térmica total, adecuada iluminación natural, espacio suficiente para el desarrollo de actividades de todos los estudiantes, mobiliario a la escala de los estudiantes, contacto visual y directo con la naturaleza y colores estimulantes.

El presente trabajo de tesis muestra un proyecto arquitectónico que se desarrolla hasta esquema básico con énfasis en las aulas tipo. Teniendo rigor sobre las estrategias planteadas pueden llevarse a cabo todas las operaciones matemáticas

para ajustar la tectónica de los demás edificios del proyecto y comprobar confort en ellos también, puesto que todas las personas son susceptibles a las condiciones del espacio y su rendimiento puede ser entorpecido sin importar su edad o metabolismo, y parte de la población de un colegio son los y las maestras y los y las funcionarias tanto de administración como de servicio y mantenimiento.

Conclusiones

El presente trabajo ha propuesto una aproximación al tema de la educación que va desde lo social y político hasta lo urbano y arquitectónico.

Se mostró como los individuos establecemos relaciones con los ambientes que habitamos y de qué manera estos pueden ser beneficiosos o perjudiciales para la salud y por ende representar un obstáculo para el desarrollo de las actividades para las que han sido diseñados dichos ambientes, o por el contrario potencializarlas y enriquecerlas.

El proyecto arquitectónico del presente trabajo está diseñado específicamente para su sitio de implantación, orientación e inserción en las dinámicas urbanas del sector, además de las condiciones microclimáticas; sin embargo, su metodología puede aplicarse para estructurar otros edificios escolares con mayor rigor en pro del bienestar de las niñas, niños y jóvenes.

El proyecto se implanta y se desarrolla obedeciendo a las necesidades planteadas por los objetivos, pero con la imagen propia de su diseñadora y demuestra que las estrategias pasivas de la arquitectura bioclimática son efectivas.

Del presente trabajo de tesis podemos concluir:

- Las pedagogías que resultaron del movimiento de la Escuela Nueva plantearon un sistema en el que se imparte conocimiento en paralelo con el desarrollo físico, anímico, emocional e intelectual de las niñas, niños y jóvenes haciéndolo más eficiente y duradero.

- Dichas pedagogías estructuran guías para el diseño y construcción de sus ambientes académicos pues estos deben ser un reflejo y un catalizador de las actividades que en ellos se realizan.
- A partir de su interés por el bienestar y la evolución de las niñas, niños y jóvenes, la antropometría progresiva y la conexión constante del aula con la naturaleza, entre otros, la Escuela Nueva estructura una arquitectura que de manera intuitiva apuntaba desde hace muchos años a la búsqueda del confort por medio del aula misma y por ende fortalece la relación entre pedagogía, arquitectura y bioclimática.
- El caso de la escuela Waldorf Luis Horacio Gómez de la ciudad de Cali demuestra que es posible vincular un pensum de una pedagogía de la Escuela Nueva con los requerimientos más tradicionales del Ministerio de Educación Nacional.
- Es de vital importancia realizar un análisis urbano meticuloso para establecer el mejor lugar de implantación de un equipamiento educativo para que se vincule de manera eficiente con la trama urbana y la ciudadanía y pueda aprovechar al máximo las condiciones de microclima.
- Luego de establecer la disposición urbana del proyecto es importante estudiar cómo inciden las condiciones microclimáticas sobre el lote para orientar de la mejor manera posible los edificios manteniendo la lógica progresiva de los cursos.
- El diseño arquitectónico debe atender las necesidades de la pedagogía y características ergonómicas y antropométricas de niñas, niños y jóvenes y proyectar tantos tipos de aulas de clase como sea necesario.
- La ciudad de Cali cuenta con un buen recurso solar que en los meses de junio a agosto representa altas temperaturas y una fuerte radiación sobre las superficies.
- Es importante conocer los ángulos de incidencia solar críticos para el proyecto para que se puedan diseñar los elementos de protección justos sin sobredimensionar el edificio.

- Elementos como marquesinas, quiebrasoles, brise-soleils, aleros y demás pueden ser aprovechados para que además de bloquear el rayo directo del sol reflejen la luz y den apoyo a la iluminación natural interna.
- Elementos como muros dobles con separación de poliestireno expandido y colchones de aire con doble capa de foil de aluminio ayudan a bajar las temperaturas internas hasta alcanzar el confort.
- Hacer uso de la cubierta es fundamental. La apertura de chimeneas solares beneficia la renovación del aire y aumenta el coeficiente de luz diurna.
- Un aula que cumpla con una iluminación natural eficiente, una ventilación natural que mantenga el aire renovado para el bienestar de los estudiantes, una temperatura interna controlada por estrategias constructivas y que además este diseñada acorde a las condiciones y necesidades físicas (antropometría), anímicas, emocionales e intelectuales (pedagogía) es un aula que no genera agotamiento cognitivo dejándole vía libre a la capacidad de aprendizaje de las niñas, niños y jóvenes formando así generaciones de individuos con mejor capacidad de resolución de problemas y una actitud social en pro del bienestar colectivo tanto local como global.

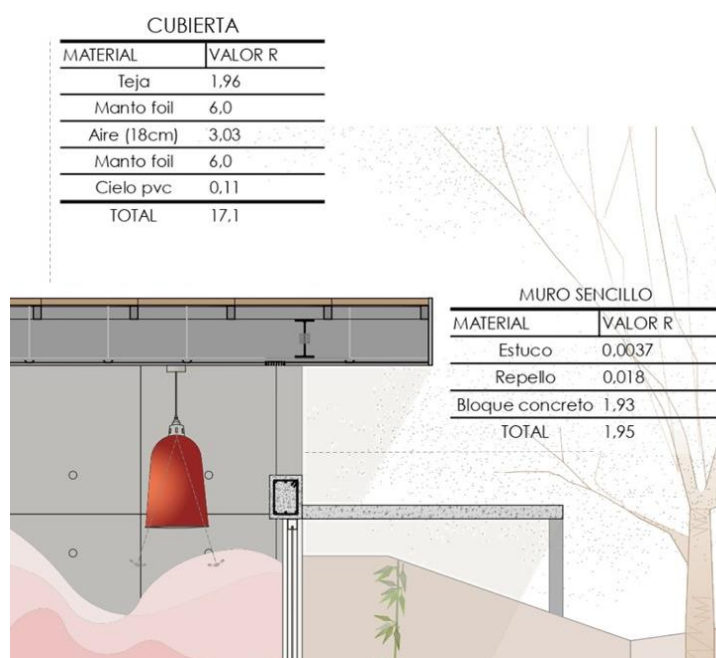
Anexos

Operaciones matemáticas

A continuación, se muestran todas las operaciones matemáticas que se desarrollaron para concluir las temperaturas internas reales de las aulas tipo.

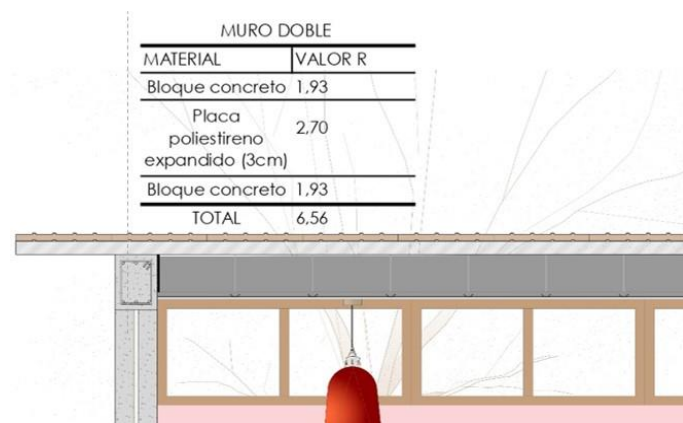
En la tabla 11 están consignadas las resistencias que componen cada superficie que se evaluó y en las siguientes figuras se pueden ver dichas resistencias en detalle.

Figura 129. Detalle de resistencias en muro sencillo y cubierta.



Nota: Elaboración propia.

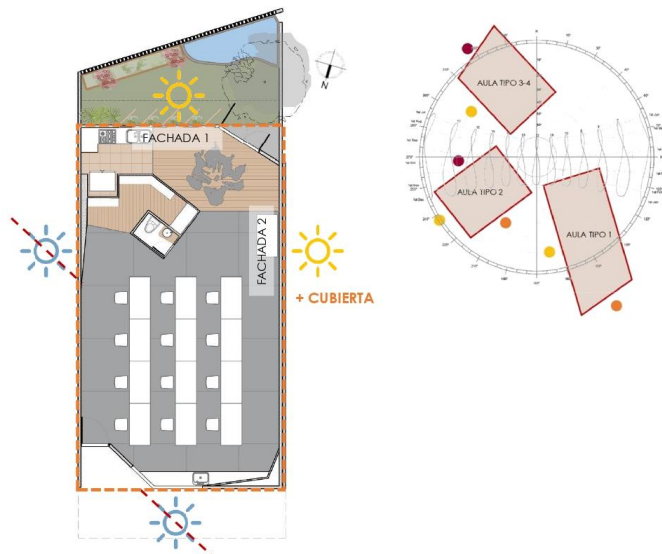
Figura 130. Detalle de resistencias en muro doble lateral.



Nota: Elaboración propia.

Aula tipo 1

Fachada 1



- Fecha: Agosto 21
- Hora: 14:00
- Azimut: 60°+
- Área: 14.21 M²
- 2 ventanas, 1 puerta
- R: 1.95
- Q_s: 9.863 W/M²

1. T_{sky}:¹⁰

$$T_{sky} = T_o + 273 \left[0,711 + 0,0056TDP + (7,3 \times 10^{-5} \times TDP^2) + 0,013 \times \cos \frac{(2\pi \times t)}{24} \right]$$

$$T_{sky} = 32 + 273 \left[0,711 + 0,13 + (0,000073 \times 529) + 0,013 \times 0,99 \right]$$

$$T_{sky} = 305 \left[0,84 + (0,039) + 0,013 \right]$$

$$T_{sky} = 305 \left[0,892 \right]$$

$$T_{sky} = 272,05 = 545,2^\circ K$$

2. T_{solair}:

$$T_{Solair} = T_o + \frac{(\alpha_s \times Q_s)}{H_o} - \left(\frac{\varepsilon \times \zeta(T_o^4 \times T_{sky}^4)}{H_o} \right)$$

¹⁰ Esta ecuación se desarrolla una sola vez y el resultado se usa en las ecuaciones para casa superficie.

$$T_{Solair}$$

$$= 32 + \frac{(0.65 \times 9.863)}{17} - \left(\frac{0.90 \times 0.0000000567 (305^4 \times 545.2^4)}{17} \right)$$

$$T_{Solair} = 32 + (377.14) - (0.000000000239)$$

$$T_{Solair} = 409.17$$

3. ΔT (Diferencia de temperatura):

$$\Delta T = T_{Solair} - T_{intReal}$$

$$\Delta T = 409.17 - 26$$

$$\Delta T = 383.17$$

4. U (Coeficiente de transferencia de calor):

$$U = \frac{1}{R}$$

$$U = \frac{1}{1.95}$$

$$U = 0.51$$

5. Q:

$$Q = U \times \text{Área} \times \Delta T$$

$$Q = 0.51 \times 14.21 \times 383.17$$

$$Q = 2,776.9W = 2.77 kw$$

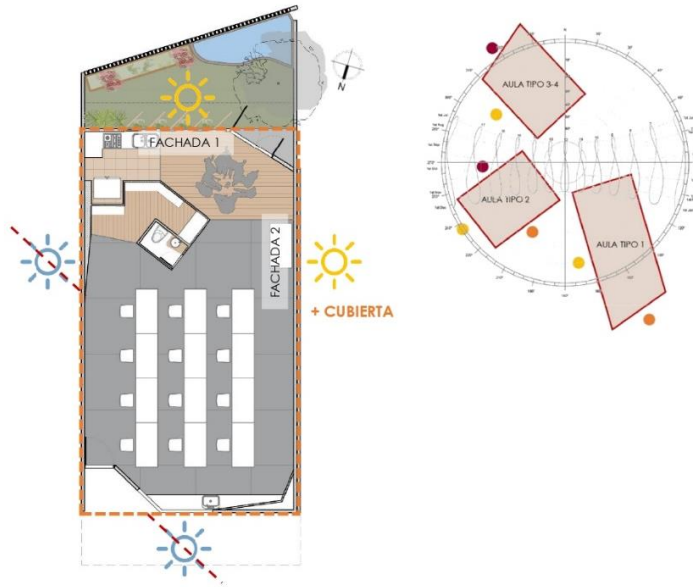
6. Temperatura interna real:

$$T_{intReal} = \frac{Q \times 0.12}{\text{Área sup.}} + T_{intReal}$$

$$T_{intReal} = \frac{2.77 \times 0.12}{14.21} + 26$$

$$T_{intReal} = 26^\circ C$$

Fachada 2



- Fecha: Agosto 21
- Hora: 14:00
- Azimut: 140°+
- Área: 48 M²
- Sin ventanas, sin puertas.
- R: 6.56
- Q_s: 9.958 W/M²

1. T_{solair}:

$$T_{Solair} = T_o + \frac{(\alpha_s \times Q_s)}{H_o} - \left(\frac{\varepsilon \times \zeta(T_{o4} \times T_{sky4})}{H_o} \right)$$

$$T_{Solair} = 32 + \frac{(0.65 \times 9.958)}{17} - \left(\frac{0.90 \times 0.0000000567 (305^4 \times 545.2^4)}{17} \right)$$

$$T_{Solair} = 32 + (380.76) - (0.000000000239)$$

$$T_{Solair} = 412.76$$

2. ΔT (Diferencia de temperatura):

$$\Delta T = T_{Solair} - T_{intReal}$$

$$\Delta T = 412.76 - 26$$

$$\Delta T = 386.76$$

3. U (Coeficiente de transferencia de calor):

$$U = \frac{1}{R}$$
$$U = \frac{1}{6.56}$$
$$U = 0.15$$

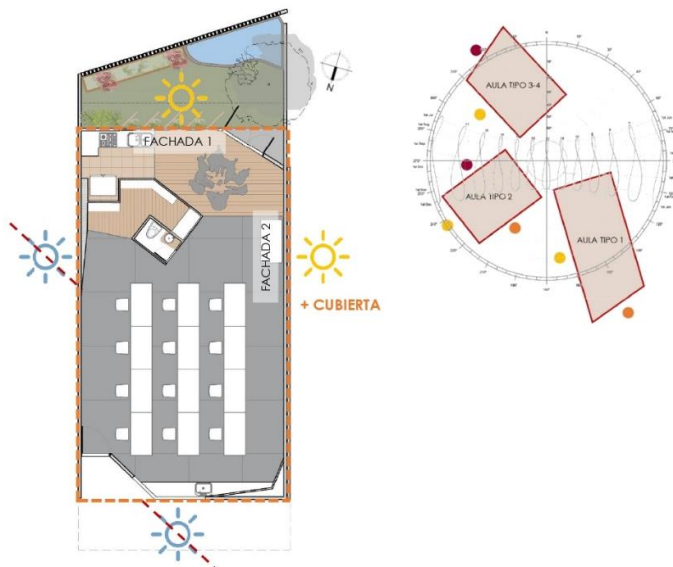
4. Q:

$$Q = U \times \text{Área} \times \Delta T$$
$$Q = 0.15 \times 48 \times 386.76$$
$$Q = 2,784W = 2.78 \text{ kw}$$

5. Temperatura interna real:

$$T_{\text{intReal}} = \frac{Q \times 0.12}{\text{Área sup.}} + T_{\text{intReal}}$$
$$T_{\text{intReal}} = \frac{2.78 \times 0.12}{48} + 26$$
$$T_{\text{intReal}} = 26^{\circ}\text{C}$$

Cubierta



- Fecha: Agosto 21
- Hora: 14:00
- Azimut: 60°+
- Área: 88.56 M²
- Colchón de aire de 20cm + 2 capas de foil aluminio.

- R: 17.1
- Qs: 9.863 W/M²

1. T_{solair}:

$$T_{Solair} = T_o + \frac{(\alpha_s \times Q_s)}{H_o} - \left(\frac{\varepsilon \times \zeta(T_{o4} \times T_{sky4})}{H_o} \right)$$

$$T_{Solair} = 32 + \frac{(0.65 \times 9.863)}{17} - \left(\frac{0.90 \times 0.0000000567 (305^4 \times 545.2^4)}{17} \right)$$

$$T_{Solair} = 32 + (377.14) - (0.000000000239)$$

$$T_{Solair} = 409.17$$

2. ΔT (Diferencia de temperatura):

$$\Delta T = T_{Solair} - T_{intReal}$$

$$\Delta T = 409.17 - 26$$

$$\Delta T = 383.17$$

3. U (Coeficiente de transferencia de calor):

$$U = \frac{1}{R}$$

$$U = \frac{1}{17.1}$$

$$U = 0.058$$

4. Q:

$$Q = U \times \text{Área} \times \Delta T$$

$$Q = 0.058 \times 88.56 \times 383.17$$

$$Q = 1,968.1W = 1.97 kw$$

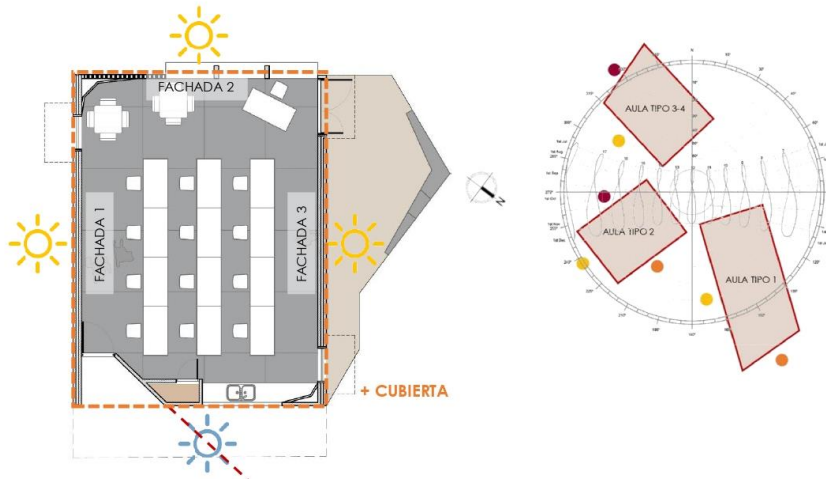
5. Temperatura interna real:

$$T_{intReal} = \frac{Q \times 0.12}{\text{Área sup.}} + T_{intReal}$$

$$T_{intReal} = \frac{1.97 \times 0.12}{88.56} + 26$$

$$T_{intReal} = 26^\circ C$$

Aula tipo 2 Fachada 1



- Fecha: Agosto 21
- Hora: 14:00
- Azimut: 60°+
- Área: 40 M²
- 1 ventana, sin puertas.
- R: 6.56
- Q_s: 9.863 W/M²

1. T_{solair}:

$$T_{Solair} = T_o + \frac{(\alpha_s \times Q_s)}{H_o} - \left(\frac{\varepsilon \times \zeta (T_{o4} \times T_{sky4})}{H_o} \right)$$

$$T_{Solair} = 32 + \frac{(0.65 \times 9.863)}{17} - \left(\frac{0.90 \times 0.0000000567 (305^4 \times 545.2^4)}{17} \right)$$

$$T_{Solair} = 32 + (377.15) - (0.000000000239)$$

$$T_{Solair} = 409.15$$

2. ΔT (Diferencia de temperatura):

$$\Delta T = T_{Solair} - T_{intReal}$$

$$\Delta T = 409.17 - 26$$

$$\Delta T = 383.15$$

3. U (Coeficiente de transferencia de calor):

$$U = \frac{1}{R}$$
$$U = \frac{1}{6.56}$$
$$U = 0.15$$

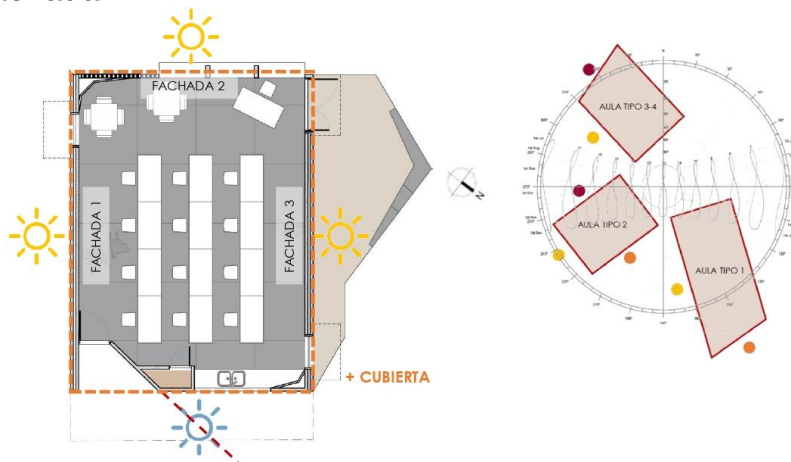
4. Q:

$$Q = U \times \text{Área} \times \Delta T$$
$$Q = 0.15 \times 40 \times 383.15$$
$$Q = 2,298.9W = 2.30 kw$$

5. Temperatura interna real:

$$T_{intReal} = \frac{Q \times 0.12}{\text{Área sup.}} + T_{intReal}$$
$$T_{intReal} = \frac{2.30 \times 0.12}{40} + 26$$
$$T_{intReal} = 26^{\circ}\text{C}$$

Fachada 2



- Fecha: Agosto 21
- Hora: 14:00
- Azimut: 140°+
- Área: 28.48 M²
- 2 ventanas, sin puertas.
- R: 1.95
- Q_s: 9.958 W/M²

1. T_{solair} :

$$T_{Solair} = T_o + \frac{(\alpha_s \times Q_s)}{H_o} - \left(\frac{\varepsilon \times \zeta (T_{o4} \times T_{sky4})}{H_o} \right)$$

$$T_{Solair} = 32 + \frac{(0.65 \times 9.958)}{17} - \left(\frac{0.90 \times 0.0000000567 (305^4 \times 545.2^4)}{17} \right)$$

$$T_{Solair} = 32 + (380.76) - (0.000000000239)$$

$$T_{Solair} = 412.76$$

2. ΔT (Diferencia de temperatura):

$$\Delta T = T_{Solair} - T_{intReal}$$

$$\Delta T = 412.76 - 26$$

$$\Delta T = 386.76$$

3. U (Coeficiente de transferencia de calor):

$$U = \frac{1}{R}$$

$$U = \frac{1}{1.95}$$

$$U = 0.51$$

4. Q :

$$Q = U \times \text{Área} \times \Delta T$$

$$Q = 0.51 \times 24.48 \times 386.76$$

$$Q = 4,828.6W = 4.83 kw$$

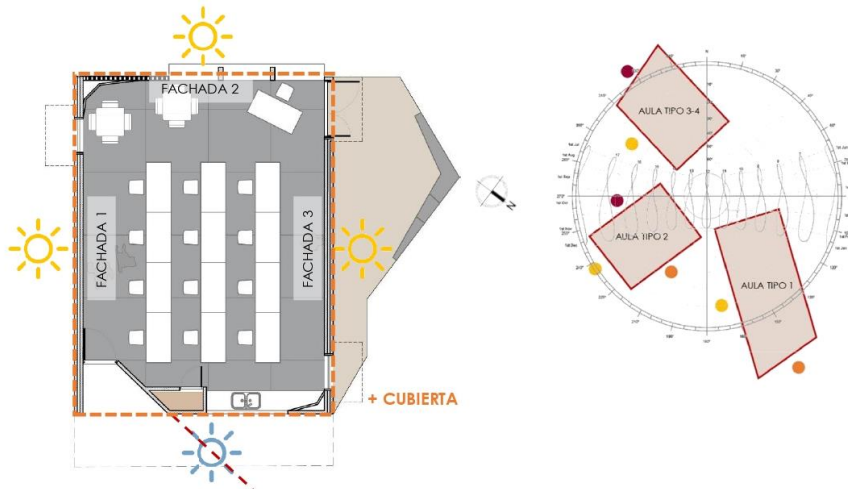
5. Temperatura interna real:

$$T_{intReal} = \frac{Q \times 0.12}{\text{Área sup.}} + T_{intReal}$$

$$T_{intReal} = \frac{4.83 \times 0.12}{24.48} + 26$$

$$T_{intReal} = 26.1^\circ C$$

Fachada 3



- Fecha: Agosto 21
- Hora: 14:00
- Azimut: 34°+
- Área: 40 M²
- 1 ventana, 1 puerta.
- R: 6.56
- Q_s: 9675 W/M²

1. T_{solair}:

$$T_{Solair} = T_o + \frac{(\alpha_s \times Q_s)}{H_o} - \left(\frac{\varepsilon \times \zeta (T_{o4} \times T_{sky4})}{H_o} \right)$$

$$T_{Solair} = 32 + \frac{(0.65 \times 9.675)}{17} - \left(\frac{0.90 \times 0.0000000567 (305^4 \times 545.2^4)}{17} \right)$$

$$T_{Solair} = 32 + (370.4) - (0.000000000239)$$

$$T_{Solair} = 402.4$$

2. ΔT (Diferencia de temperatura):

$$\Delta T = T_{Solair} - T_{intReal}$$

$$\Delta T = 402.4 - 26$$

$$\Delta T = 376.4$$

3. U (Coeficiente de transferencia de calor):

$$U = \frac{1}{R}$$

$$U = \frac{1}{6.56}$$

$$U = 0.15$$

4. Q:

$$Q = U \times \text{Área} \times \Delta T$$

$$Q = 0.15 \times 40 \times 376.4$$

$$Q = 2,258.4W = 2.23 kw$$

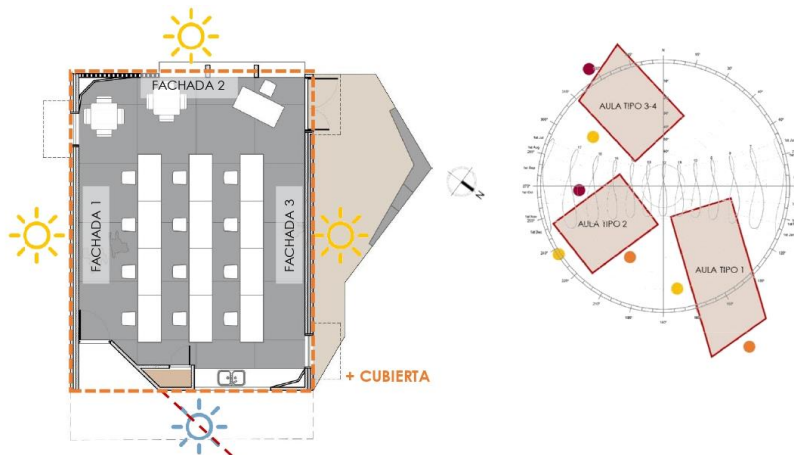
5. Temperatura interna real:

$$T_{intReal} = \frac{Q \times 0.12}{\text{Área sup.}} + T_{intReal}$$

$$T_{intReal} = \frac{2.23 \times 0.12}{40} + 26$$

$$T_{intReal} = 26^{\circ}\text{C}$$

Cubierta



- Fecha: Agosto 21
- Hora: 14:00
- Azimut: 140°+
- Área: 77.7 M²
- Colchón de aire de 20cm + 2 capas de foil aluminio.
- R: 17.1
- Qs: 9.958 W/M²

1. T_{solair} :

$$T_{Solair} = T_o + \frac{(\alpha_s \times Q_s)}{H_o} - \left(\frac{\varepsilon \times \zeta (T_{o4} \times T_{sky4})}{H_o} \right)$$

$$T_{Solair} = 32 + \frac{(0.65 \times 9.958)}{17} - \left(\frac{0.90 \times 0.0000000567 (305^4 \times 545.2^4)}{17} \right)$$

$$T_{Solair} = 32 + (380.76) - (0.000000000239)$$

$$T_{Solair} = 412.76$$

2. ΔT (Diferencia de temperatura):

$$\Delta T = T_{Solair} - T_{intReal}$$

$$\Delta T = 412.76 - 26$$

$$\Delta T = 386.76$$

3. U (Coeficiente de transferencia de calor):

$$U = \frac{1}{R}$$

$$U = \frac{1}{17.1}$$

$$U = 0.058$$

4. Q :

$$Q = U \times \text{Área} \times \Delta T$$

$$Q = 0.058 \times 77.7 \times 386.76$$

$$Q = 1,742.9W = 1.74 kw$$

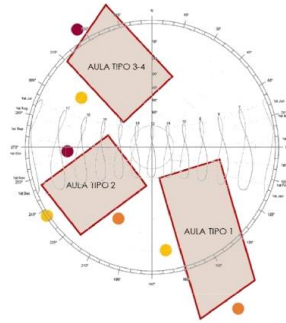
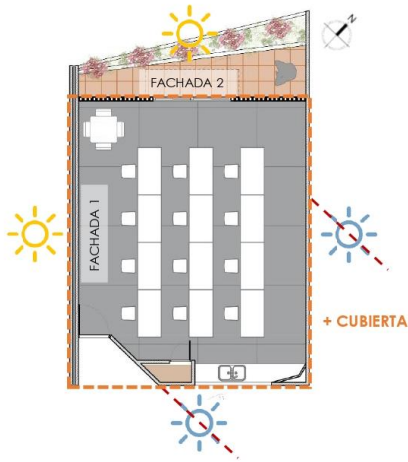
5. Temperatura interna real:

$$T_{intReal} = \frac{Q \times 0.12}{\text{Área sup.}} + T_{intReal}$$

$$T_{intReal} = \frac{1.74 \times 0.12}{77.7} + 26$$

$$T_{intReal} = 26^\circ C$$

Aula tipo 4 Fachada 1



- Fecha: Agosto 21
- Hora: 14:00
- Azimut: 140°+
- Área: 36.52 M²
- Sin ventanas, sin puertas.
- R: 6.56
- Q_s: 9.958 W/M²

1. T_{solair}:

$$T_{Solair} = T_o + \frac{(\alpha_s \times Q_s)}{H_o} - \left(\frac{\varepsilon \times \zeta(T_{o4} \times T_{sky4})}{H_o} \right)$$

$$T_{Solair} = 32 + \frac{(0.65 \times 9.958)}{17} - \left(\frac{0.90 \times 0.0000000567 (305^4 \times 545.2^4)}{17} \right)$$

$$T_{Solair} = 32 + (380.76) - (0.000000000239)$$

$$T_{Solair} = 412.76$$

2. ΔT (Diferencia de temperatura):

$$\Delta T = T_{Solair} - T_{intReal}$$

$$\Delta T = 412.76 - 26$$

$$\Delta T = 386.76$$

3. U (Coeficiente de transferencia de calor):

$$U = \frac{1}{R}$$
$$U = \frac{1}{6.56}$$
$$U = 0.15$$

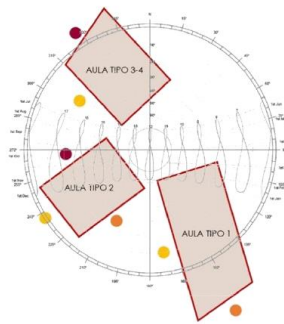
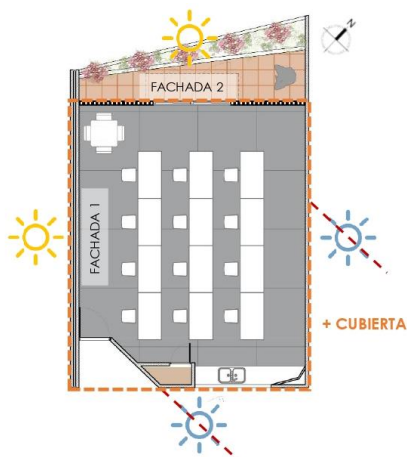
4. Q:

$$Q = U \times \text{Área} \times \Delta T$$
$$Q = 0.15 \times 36.52 \times 386.76$$
$$Q = 2,118.7W = 2.12 kw$$

5. Temperatura interna real:

$$T_{intReal} = \frac{Q \times 0.12}{\text{Área sup.}} + T_{intReal}$$
$$T_{intReal} = \frac{2.12 \times 0.12}{36.52} + 26$$
$$T_{intReal} = 26^{\circ}\text{C}$$

Fachada 2



- Fecha: Agosto 21
- Hora: 14:00
- Azimut: 34°+
- Área: 24.48 M²
- 3 ventanas, 1 puerta.
- R: 1.95
- Qs: 9.675 W/M²

1. T_{solair} :

$$T_{Solair} = T_o + \frac{(\alpha_s \times Q_s)}{H_o} - \left(\frac{\varepsilon \times \zeta(T_{o4} \times T_{sky4})}{H_o} \right)$$

$$T_{Solair} = 32 + \frac{(0.65 \times 9.675)}{17} - \left(\frac{0.90 \times 0.0000000567 (305^4 \times 545.2^4)}{17} \right)$$

$$T_{Solair} = 32 + (370.4) - (0.000000000239)$$

$$T_{Solair} = 402.4$$

2. ΔT (Diferencia de temperatura):

$$\Delta T = T_{Solair} - T_{intReal}$$

$$\Delta T = 402.4 - 26$$

$$\Delta T = 376.4$$

3. U (Coeficiente de transferencia de calor):

$$U = \frac{1}{R}$$

$$U = \frac{1}{6.56}$$

$$U = 0.15$$

4. Q :

$$Q = U \times \text{Área} \times \Delta T$$

$$Q = 0.51 \times 24.48 \times 376.4$$

$$Q = 4,699.3W = 4.70 \text{ kw}$$

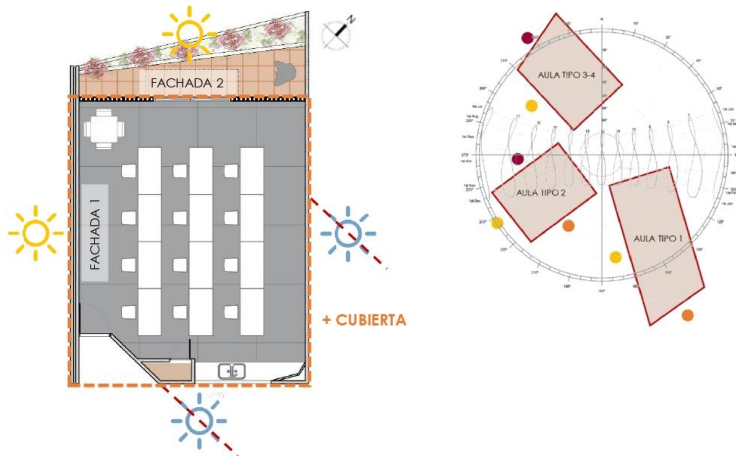
5. Temperatura interna real:

$$T_{intReal} = \frac{Q \times 0.12}{\text{Área sup.}} + T_{intReal}$$

$$T_{intReal} = \frac{4.70 \times 0.12}{24.48} + 26$$

$$T_{intReal} = 26^\circ\text{C}$$

Cubierta



- Fecha: Agosto 21
- Hora: 14:00
- Azimut: 34°+
- Área: 65.74 M²
- Colchón de aire de 20cm + 2 capas de foil aluminio
- R: 17.1
- Q_s: 9.675 W/M²

1. T_{solair}:

$$T_{Solair} = T_o + \frac{(\alpha_s \times Q_s)}{H_o} - \left(\frac{\varepsilon \times \zeta (T_{o4} \times T_{sky4})}{H_o} \right)$$

$$T_{Solair} = 32 + \frac{(0.65 \times 9.675)}{17} - \left(\frac{0.90 \times 0.0000000567 (305^4 \times 545.2^4)}{17} \right)$$

$$T_{Solair} = 32 + (370.4) - (0.000000000239)$$

$$T_{Solair} = 402.4$$

2. ΔT (Diferencia de temperatura):

$$\Delta T = T_{Solair} - T_{intReal}$$

$$\Delta T = 402.4 - 26$$

$$\Delta T = 376.4$$

3. U (Coeficiente de transferencia de calor):

$$U = \frac{1}{R}$$

$$U = \frac{1}{17.1}$$

$$U = 0.058$$

4. Q:

$$Q = U \times \text{Área} \times \Delta T$$

$$Q = 0.058 \times 65.74 \times 376.4$$

$$Q = 1,435.2W = 1.44 \text{ kw}$$

5. Temperatura interna real:

$$T_{intReal} = \frac{Q \times 0.12}{\text{Área sup.}} + T_{intReal}$$

$$T_{intReal} = \frac{1.44 \times 0.12}{65.74} + 26$$

$$T_{intReal} = 26^{\circ}\text{C}$$

Listado de planos

El listado de planos en formato PDF se entrega en archivo adjunto al presente trabajo y contiene:

- Plano 1: Planta urbana de cubiertas 1:2.000.
- Plano 2: Planta urbana de primer piso 1:1.500.
- Plano 3: Planta pública.
- Plano 4: Planta de segundo piso.
- Plano 5: Planta de cubierta.
- Plano 6: Planta de aula tipo 1.
- Plano 7: Planta de aula tipo 2.
- Plano 8: Planta de aulas tipo 3 y 4.
- Plano 9: Asoleamiento aula tipo 1.
- Plano 10: Asoleamiento aula tipo 2.
- Plano 11: Asoleamiento aula tipo 3.
- Plano 12: Asoleamiento aula tipo 4.
- Plano 13: Asoleamiento general.
- Plano 14: Cortes transversales aulas tipo.
- Plano 15: Cartillas.
- Plano 16: Cortes.
- Plano 17: Luz y sombra aula tipo 1.
- Plano 18: Luz y sombra aula tipo 2.
- Plano 19: Luz y sombra aula tipo 3 y 4.
- Plano 20: Corte transversal general.
- Plano 21: Fachadas aula tipo 1.
- Plano 22: Fachadas aula tipo 1.
- Plano 23: Fachadas aula tipo 2.
- Plano 24: Fachadas aula tipo 2.
- Plano 25: Fachadas aula tipo 3 y 4.
- Plano 26: Fachadas aula tipo 3 y 4.

- Plano 27: Fachadas aula tipo 3 y 4.
- Plano 28: Fachadas generales.
- Plano 29: Fachadas generales.
- Plano 30: Fachadas generales.
- Plano 31: Fachadas generales.
- Plano 32: Corte por fachada longitudinal.
- Plano 33: Corte por fachada transversal.
- Plano 34: Detalle 1.
- Plano 35: Detalle 2.
- Plano 36: Detalle 3.

Bibliografía

- Alcaldía de Santiago de Cali. (2008). *Plan de desarrollo 2008-2011 comuna 13*. Municipio de Santiago de Cali . Alcaldía de Santiago de Cali .
- Alcaldía de Santiago de Cali. (2008). *Plan de desarrollo 2008-2011 comuna 14*. Municipio de Santiago de Cali . Alcaldía de Santiago de Cali .
- Alcaldía de Santiago de Cali. (2019). *cali en cifras 2018-2019*. Departamento administrativo de planeacion . Cali: Alcaldía de Santiago de Cali .
- Alcaldía de Santiago de Cali. Cali en cifras. (23 de diciembre de 2020). *Alcaldía de Santiago de Cali*. Obtenido de cali.gov.co:
<https://www.cali.gov.co/documentos/1705/documentos-de-cali-en-cifras/>
- Arbeláez, C., & Tellez, G. (2000). Hacia la unidad conceptual de la arquitectura hispanoamericana. Historia de la arquitectura en Colombia. Centro editorial Javeriano.
- Arens, E. A., & Watanabe, N. S. (1986). *Scholarship* . Obtenido de
<https://www.scholarships.com/>:
<https://escholarship.org/content/qt8x28q3qs/qt8x28q3qs.pdf>
- ASHRAE. (s.f.). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2017*. Obtenido de
<https://hogiaphat.vn/upload/docs/ASHRAE55-version2017.pdf>
- Asociación Norteamericana de Escuelas Waldorf . (2000). Renewal, a journal for Waldorf education . En K. Hughes, *Light-filled color: Translucent colors and their use in Waldorf schools* (pág. 29). Obtenido de
https://www.waldorflibrary.org/images/stories/articles/hughes_color.pdf
- Banco Interamericano de Desarrollo . (noviembre de 2020). *Research Gate* . Obtenido de researchgate.net: https://www.researchgate.net/profile/Miguel-Szekely/publication/346009769_Los_Costos_Educativos_de_la_Crisis_Sani

- taria_en_America_Latina_y_el_Cari_be_NOTA_CNICA_NI/links/5fb582ce92851c933f3c464d/Los-Costos-Educativos-de-la-Crisis-Sanitaria-en-America-Lati
- Benavides, C. (2007). *Habitat escolar. Mas alla de la infraestructura educativa* . Bogota, Cundinamarca, Colombia: Bogota sin indiferencia .
- Cali cómo vamos . (2009). *Informe de calidad de vida en Cali* . Cali. Obtenido de http://redcomovamos.org/wp-content/uploads/2014/03/INFORME_CALIDAD_DE_VIDA_CALI_2008_2009.pdf
- Cali en cifras. (2019). *Alcaldía de Santiago de Cali*. Obtenido de cali.gov.co: <https://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/137802/libro-cali-en-cifras-capitulos/>
- Cali, E. p. (2015). *Alcaldia de Santiago de Cali* . Recuperado el 19 de 04 de 2019
- Carlgren, F. (1972). *Una educacion hacia la libertad. La pedagogia de Rudolf Steiner*. Madrid, Espana: Editorial Rudolf Steiner.
- Carlgren, F. (1989). *Una educacion hacia la libertad. La pedagogia de Rudolf Steiner*. Madrid, Espana: Rudolf Steiner.
- Cengel, Y. A. (1997). *Heat transfer. A practical approach* (Vol. 2). McGraw-Hill Education, Europe .
- Colegio Waldorf Luis Horacio Gomez . (2018). *Colegio Waldorf Luis Horacio Gomez* . Obtenido de <http://colegiowaldorfcali.edu.co/>: <http://colegiowaldorfcali.edu.co/luis-horacio-gomez/>
- Consejo Ambiental. (2009). *Agenda ambiental. Comuna 16* . Cali. Obtenido de <https://consejoambiental.files.wordpress.com/2009/10/comuna-161.pdf>
- Consejo Nacional de Politica Economica y Social. Departamento Nacional de Planeacion. (2015). Declaracion de importancia estrategica del Plan Nacional de Infraestructura Educativa para la implementacion de la jornada unica escolar . Bogota, Colombia.
- Departamento Administrativo de Planeacion Nacional . (2014). *Alcaldia de Santiago de Cali* . Recuperado el 2019, de cali.gov.co: https://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/106528/cartografia_oficial_del_acuerdo_del_pot/
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2019). *Sistema de Indicadores Sociales*. (A. d. Cali, Productor) Obtenido de indicadores.cali.gov.co: https://indicadores.cali.gov.co/consulta-indicadores/dimensiones-sis/SIS_8/SIS_8_T2/SIS_8_T2_I9/dane/Total%20desertores/2004,2005,2006,2007,2008,2009,2010,2011,2012,2013,2014,2015,2016,2017/Cali,Medell%C3%ADn,Bogot%C3%A1,Barranquilla,Bucaramanga
- El Tiempo. (2007). *El Tiempo*. Obtenido de eltiempo.com.co.
- Energía., M. d. (2010). *Minenergia.gov.co*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/20729-7853.pdf>
- Evans, C. W. (1982). *Environmental stress* . Irvine , California , Estados Unidos : Cambridge University Press .
- Fajardo, S. (2017). *Arch Daily* . Obtenido de www.archdaily.co: <https://www.archdaily.co/co/869938/sergio-fajardo-la-calidad-de-la-educacion-empieza-por-la-dignidad-de-los-espacios>

- Falk, B., & Dotan, R. (s.f.). *Children's thermoregulation during exercise in the heat- a revisit* . Ontario , Canada.
- Grum, D. K. (2017). *Emerald insight. Discover journals, books and case studies* .
Obtenido de <https://www.emerald.com>:
<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/F-03-2017-0040/full/html>
- Humphrey, M. A. (1993). Field studies and climate chamber experiments in thermal comfort research. Building research establishment .
- Ibrahim, S. H., Baharun, A., Mannan, D. A., & Adenan, A. (2013). *Academic journals database* . Obtenido de <http://journaldatabase.info>:
http://journaldatabase.info/articles/importance_thermal_comfort_for_library.html
- ICFES. (enero de 2020). *Instituto Colombiano para la Evaluación de la educación*. Obtenido de [icfes.gov.co](https://www.icfes.gov.co):
<https://www.icfes.gov.co/documents/20143/1529295/Informe%20nacional%20de%20resultados%20PISA%202018.pdf>
- IDEAM. (s.f.). *IDEAM* . Obtenido de <http://www.ideam.gov.co>:
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%20de%20Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%20sticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc>
- Iglesias, V., Herrera, C., & Rosillo, M. (2016). *Confort ambiental en escuelas publicas de Cali*. Cali, Valle, Colombia: Programa editorial.
- Intergovernmental Panel on Climate Change . (2018). *An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* .
- Jimenez, A. M. (2009). *La escuela nueva y los espacios para educar* . Cali, Colombia.
- Kwok, A. G., & Chun, C. (2003). *Science Direct*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com>:
<https://www.sciencedirect.com/search/advanced?qs=thermal%20comfort%20in%20japanese%20schools>
- Kwok, A. G., Reardon, J., & Brown, K. (1998). Recuperado el 2018, de https://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_11094.pdf
- Maldonado, R. (1999). *Historia de la arquitectura en Colombia*. Bogota, Cundinamarca, Colombia: Unibiblos .
- Maldonado, R. (1999). Historia de la arquitectura escolar en Colombia. En R. Maldonado, *Historia de la arquitectura escolar en Colombia* (pág. 95).
- Ministerio de Educacion. (2019). Informe nacional de resultados del examen Saber 11. Bogota.
- Ministerio de educacion nacional . (2006). *Norma tecnica colombiana 4595 para el planeamiento y diseno de instalaciones y ambientes escolares*. Bogota, Colombia: Ministerio de educacion nacional .
- Ministerio de Educación Nacional. (2010). *Ministerio de educacion nacional*. Obtenido de <https://www.mineducacion.gov.co/>:

- https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-340089_archivopdf_orientaciones_pedagogicas_tomol.pdf
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *minenergia.gov.co*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-iluminaci%C3%B3n-y-alumbrado-p%C3%ABlico-retilap/>
- Ministerio de educación nacional . (2009). *Manual de implementación escuela nueva. Generalidades y orientaciones pedagógicas para transición y primer grado* . Ministerio de educación nacional .
- Moser, G. (2011). *Psicología ambiental. Aspectos de las relaciones individuo-medioambiente* . Bogotá, Cundinamarca, Colombia : Ecoediciones .
- Municipio de Medellín. (2018). *Secretaría de Educación Medellín*. Recuperado el 2021, de medellin.edu.co/buen-comienzo: <https://www.medellin.edu.co/buen-comienzo/>
- Observatorio Social Cali. (2009). *Observatorio Social Cali*. (A. d. Cali, Productor) Obtenido de cali.gov.co/observatorios.php: <https://www.cali.gov.co/publico2/documentos/observatorio/documentos/Comuna16.pdf>
- OCDE. (2015). *Resultados pruebas PISA 2015*.
- Organización Panamericana de la Salud. (2010). Contaminación sonora. Efectos del ruido ambiental en la salud infantil. En *Salud ambiental infantil* (pág. 59). Argentina: Ministerio de Salud. Argentina . Obtenido de http://s2.medicina.uady.mx/observatorio/docs/sa/li/SA2010_Li_OPS_manual-universitario.pdf#page=53
- Petro, G. (2016). *Gustavo Petro Blog* . Obtenido de <https://gustavopetroblog.wordpress.com/>: <https://gustavopetroblog.wordpress.com/2016/07/04/estos-son-los-colegios-de-la-bogota-humana-una-politica-educativa-que-es-hito-mundial/>
- Pettina, V., & Rojas, R. (2020). *América Latina. Del estallido social a la implosión económica y sanitaria post Covid-19* . (V. Pettina, & R. Rafael, Edits.) Lima, Perú: Planeta Perú .
- Proyecto progreso arquitectura. (2017). N17 Arquitectura escolar y educación. *Proyecto progreso arquitectura*.
- Ramírez, A. (2006). Introducción . En M. d. Nacional, *Norma técnica colombiana 4595* . Bogotá, Colombia.
- Rittelmeyer, C. (2005). *Pedocs*. Obtenido de <https://www.pedocs.de>: https://www.pedocs.de/volltexte/2010/2655/pdf/Rittelmeyer_Christian_Schularchitektur._Wie_Schulbauten_auf_Schueler_wirken_2005_D_A.pdf
- Saleem, A. A., Abel-Rahman, A. K., & H, O. A. (2016). *Research Gate* . Obtenido de <https://www.researchgate.net>: https://www.researchgate.net/publication/312027931_An_Analysis_of_Thermal_Comfort_and_Energy_Consumption_within_Public_Primary_Schools_in_Egypt
- Secretaría de Bienestar Social. (2019). *Alcaldía de Santiago de Cali*. Obtenido de cali.gov.co: https://www.cali.gov.co/aplicaciones/estadistica_comunas/ESTADISTICAS/

- estadisticasporcomunas/comuna13/comuna13poblaciontotalyencuestadossi
sbeniii2013.xlsx
- Secretaría de Bienestar Social. (2019). *Alcaldía de Santiago de Cali*. Obtenido de cali.gov.co:
<https://www.cali.gov.co/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=descargar&idFile=24129>
- Secretaría de Educación Municipal. Cali. (2021). *Secretaría de Educación Municipal* . Obtenido de cali.gov.co:
<https://www.cali.gov.co/educacion/publicaciones/descargar.php?id=42753>
- Steg, L., Berg, A. E., & Groot, J. I. (2012). *Environmental psychology: History, scope and methods*. Groningen, Países Bajos: University of Groningen .
- Tellez, G., & Moure, E. (1982). *Repertorio formal de arquitectura domestica, Cartagena de Indias, Epoca colonial*. Cartagena , Bolívar , Colombia : Corporacion nacional de turismo .
- Toro, W., A, J., & Salazar, J. H. (2012). *Calidad ambiental en el diseño arquitectonico. Parque bibliotecta Guayabal*. PVG Arquitectos. Medellín: 18a semana de salud ocupacional.
- Turekova, I., Osvaldova, L. M., Brecka, P., & Balgalova, T. (2016). *International multidisciplinary scientific conferences on social science and arts* . Obtenido de <https://sgemsocial.org>:
<https://sgemsocial.org/ssgemlib/spip.php?article2211>
- UN Report . (2017). *Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector* .
- V, E. C. (1983). *NTP 74: Confort termico- metodo de Fanger para su evaluacion* . Espana: Ministerio de trabajo y asuntos sociales .
- Vila, L. P. (2017). *Las dos orillas*. Obtenido de <https://www.las2orillas.co/>:
<https://www.las2orillas.co/escuela-nueva-paz-colombia/>
- Wong, N. H., & Khoo, S. S. (2002). *Science Direct*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com>:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778802001093>

Listado de figuras

Figura 1. Preparación de los sistemas educativos de América Latina y el Caribe frente a la pandemia.	14
Figura 2. Aumento de la exclusión educativa en la pandemia.	15
Figura 3. Rendimiento de los estudiantes en las pruebas Saber pro del año 2020.	16
Figura 4. Árbol del problema	19
Figura 5. Tasa de deserción escolar en el sector oficial de la ciudad de Bogotá. .	23
Figura 6. Tipos de aulas de la escuela Waldorf.....	47
Figura 7. Modelo ecológico de Bronfenbrenner.....	56
Figura 8. Repetición de los estímulos estresantes del ambiente presentes en la escuela.....	65
Figura 9. Isometría del esquema de “Colegio 10”.	71
Figura 10. Planta del parque Biblioteca en Guayabal.	76
Figura 11. Planta de cubierta del parque Biblioteca en Guayabal. Tabla 2. Ubicación de lucernarios	76
Figura 12. Análisis en planta sobre mesa de flujo laminar	77
Figura 13. Mueble de atención y préstamo en parque Biblioteca en Guayabal. ...	78
Figura 14. Banca Alcorque en parque Biblioteca en Guayabal.	79
Figura 15. Planta primer piso del Geschwister Scholl Schule	80
Figura 16. Planta segundo piso del Geschwister Scholl Schule.....	81
Figura 17. Planta aula tipo 1 Geschwister Scholl Schule.	82
Figura 18. Planta aula tipo 2 Geschwister Scholl Schule.	82
Figura 19. Planta aula tipo 3 Geschwister Scholl Schule.	83
Figura 20. Ubicación del proyecto arquitectónico.	85
Figura 21. Rangos de temperatura mensual	86
Figura 22. Radiación promedio mensual	87
Figura 23. Rangos de iluminación.	88
Figura 24. Rosa de los vientos, Estación IDEAM Marco Fidel Suarez, 2006- 2009.	89
Figura 25. Dirección de vientos, POT.....	90
Figura 26. Rosa de los vientos, Estación IDEAM Universidad del Valle, 2006- 2009.	91
Figura 27. Precipitaciones en mm y Temperatura en °C.	92
Figura 28. Pisos térmicos del municipio.	93
Figura 29. Plano de equipamientos, POT.	94
Figura 30. Acercamiento, del sector a la comuna.	97
Figura 31. Acercamiento, de la comuna al lote.	99
Figura 32. Flujo vehicular actual en el área de trabajo.....	101
Figura 33. Flujos viales predominantes y conexiones urbanas	102
Figura 34. Composición de manzana.	103
Figura 35. Planta urbana. Esc_1:1000	104
Figura 36. Detalle urbano de esquina sur-sur oeste del proyecto.	105
Figura 37. Orientación general.	109
Figura 38. Distribución general Primer piso.	110
Figura 39. Distribución general Segundo piso.	111

Figura 40. Zona 1: Acceso principal.	112
Figura 41. Zona 2: Talleres y bohío de agricultura para secundaria.	113
Figura 42. Zona 3: Parqueaderos y UTB.	114
Figura 43. Zona 4: Aula múltiple y cafetería.	115
Figura 44. Zona 5: Área administrativa.	116
Figura 45. Zona 6: Primera sección de primaria.	117
Figura 46. Zona 7: Segunda sección de primaria.	118
Figura 47. Zona 8: Primer piso de secundaria.	119
Figura 48. Zona 9: Segundo piso de secundaria.	120
Figura 49. Zona 10: Primer y segundo piso de ambientes académicos complementarios.	121
Figura 50. Composición de punto fijo.	122
Figura 51. Maqueta general del proyecto. Esc_1:500.	123
Figura 52. Árboles preexistentes del lote de proyecto.	125
Figura 53. “Círculo de color de Goethe para escuelas”.	127
Figura 54. Pared pintada con técnica Lazure para escuela Waldorf.	128
Figura 55. Corte longitudinal aula tipo 1.	130
Figura 56. Planta de aula tipo 1.	131
Figura 57. Corte longitudinal aula tipo 2.	132
Figura 58. Planta de aula tipo 2.	133
Figura 59. Corte longitudinal de aula tipo 3.	134
Figura 60. Planta de aula tipo 3.	135
Figura 61. Planta de aula tipo 4.	136
Figura 62. Corte longitudinal de aula tipo 4.	137
Figura 63. Ubicación de aulas tipo 1, 2 y 4 (segundo piso) a evaluar.	144
Figura 64. Incidencia de diciembre 21, 10:00am. aula tipo 1.	145
Figura 65. Corte por fachada, fachada trasera aula tipo 1. Incidencia de diciembre 21, 10:00am.	146
Figura 66. Asoleamiento de fachada trasera de aula tipo 1.	147
Figura 67. Incidencia de noviembre 21, 2:00pm. aula tipo 2.	148
Figura 68. Corte por fachada, fachada trasera aula tipo 2. Incidencia de noviembre 21, 2:00pm.	149
Figura 69. Asoleamiento de fachada trasera de aula tipo 2.	150
Figura 70. Incidencia de septiembre 21, 2:00pm. aula tipo 3.	151
Figura 71. Corte por fachada, fachada trasera aula tipo 3. Incidencia de septiembre 21, 2:00pm.	152
Figura 72. Incidencia de septiembre 21, 2:00pm. aula tipo 4.	152
Figura 73. Corte por fachada, fachada trasera aula tipo 4. Incidencia de septiembre 21, 2:00pm.	153
Figura 74. Asoleamiento de fachada trasera de aulas tipo 3 y 4.	154
Figura 75. Comportamiento mensual de la temperatura para la ciudad de Cali.	155
Figura 76. Valores R de materiales típicos de construcción.	156
Figura 77. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 1, fachada 2.	159
Figura 78. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 1, fachada 1.	160

Figura 79. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 1, cubierta.....	161
Figura 80. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 2, fachada 1.....	162
Figura 81. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 2, fachada 2.....	163
Figura 82. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 2, fachada 3.....	164
Figura 83. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 2, cubierta.....	165
Figura 84. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 4, fachada 1.....	166
Figura 85. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 4, fachada 2.....	167
Figura 86. Software de ganancia térmica de Alejandro Macías con datos de aula tipo 4, cubierta.....	168
Figura 87. Luz natural en junio 22 8:30 am de aula tipo 1.....	169
Figura 88. Luz natural en junio 22 2:00 pm de aula tipo 1.....	170
Figura 89. Iluminación natural en aula tipo 1 con incidencia de febrero 21, 11:00 am de aula tipo 1.....	170
Figura 90. Luz natural en junio 22 8:30 am de aula tipo 2.....	171
Figura 91. Luz natural en junio 22 2:00 pm de aula tipo 2.....	171
Figura 92. Iluminación natural en aula tipo 2 con incidencia del 21 de noviembre a las 2:00 pm de aula tipo 2.....	172
Figura 93. Luz natural en junio 22 8:30 am de aula tipo 4.....	172
Figura 94. Luz natural en junio 22 2:00 pm de aula tipo 4.....	173
Figura 95. Iluminación natural en aulas tipo 3 y 4 con incidencia del 21 de septiembre a las 2:00 pm de aulas tipo 3 y 4.....	173
Figura 96. Ecuación para el cálculo de CLD.....	174
Figura 97. Cielo de la mañana del 20 de septiembre.....	175
Figura 98, Figura 99, Figura 100. Registros de la variación del recurso lumínico del 20 de septiembre/2022.....	175
Figura 101. Reloj solar para Cali.....	176
Figura 102. Maquetas a 1:50 de aulas tipo.....	176
Figura 103, Figura 104. Iluminancia interna a las 10:00am y 3:00pm respectivamente para febrero y octubre.....	177
Figura 105, Figura 106. Iluminancia interna a las 10:00am y 3:00pm respectivamente para abril y agosto.....	177
Figura 107, Figura 108. Iluminancia interna a las 10:00am y 3:00pm respectivamente para septiembre y marzo.....	178
Figura 109, Figura 110. Iluminancia interna a las 10:00am y 3:00pm respectivamente para febrero y octubre.....	179
Figura 111, Figura 112. Iluminancia interna a las 10:00am y 3:00pm respectivamente para abril y agosto.....	179
Figura 113, Figura 114. Iluminancia interna a las 10:00am y 3:00pm respectivamente para septiembre y marzo.....	180

Figura 115, Figura 116. <i>Iluminancia interna a las 10:00am y 3:00pm respectivamente para febrero y octubre.</i>	181
Figura 117, Figura 118. <i>Iluminancia interna a las 10:00am y 3:00pm respectivamente para abril y agosto.</i>	181
Figura 119, Figura 120. <i>Iluminancia interna a las 10:00am y 3:00pm respectivamente para septiembre y marzo.</i>	182
Figura 121. <i>Aplicación de Software de ventilación natural en ventanas de Alejandro Macías con datos del aula tipo 1.</i>	184
Figura 122. <i>Aplicación de Software de ventilación natural en chimeneas de Alejandro Macías con datos del aula tipo 1.</i>	184
Figura 123. <i>Aplicación de Software de ventilación natural en ventanas de Alejandro Macías con datos del aula tipo 2.</i>	185
Figura 124. <i>Aplicación de Software de ventilación natural en ventanas de Alejandro Macías con datos del aula tipo 4.</i>	186
Figura 125. <i>Carta psicrométrica de las aulas tipo.</i>	190
Figura 126. <i>Lectura de rangos aceptables de temperatura operativa para espacios ventilados naturalmente.</i>	190
Figura 127. <i>Componentes de muro lateral, Esc_1:20.</i>	191
Figura 128. <i>Componentes de cubiertas, Esc_1:20.</i>	192
Figura 129. <i>Detalle de resistencias en muro sencillo y cubierta.</i>	199
Figura 130. <i>Detalle de resistencias en muro doble lateral.</i>	199

Listado de tablas

Tabla 1. <i>Lineamientos para el diseño arquitectónico de colegios Waldorf.</i>	49
Tabla 3. <i>Análisis de sistemas estructurantes para implantación.</i>	95
Tabla 4. <i>Análisis de sistemas estructurantes para implantación.</i>	96
Tabla 5. <i>Análisis de sistemas estructurantes para implantación.</i>	96
Tabla 6. <i>Análisis de sistemas estructurantes a escala barrial para implantación.</i> ..	98
Tabla 7. <i>Pensum de una escuela Waldorf.</i>	106
Tabla 8. <i>Área de baños por aparatos sanitarios.</i>	108
Tabla 9. <i>Área de ambientes académicos.</i>	108
Tabla 10. <i>Áreas del proyecto.</i>	124
Tabla 11. <i>Valores R de las superficies a evaluar.</i>	156
Tabla 12. <i>Valores del CLD promedio según la dificultad de la tarea.</i>	174
Tabla 13. <i>Resumen de aula tipo 1 para cálculo de ventilación natural.</i>	183
Tabla 14. <i>Resumen de aula tipo 2 para cálculo de ventilación natural.</i>	185
Tabla 15. <i>Resumen de aula tipo 4 para cálculo de ventilación natural.</i>	186
Tabla 16. <i>Valores Clo de conjuntos típicos.</i>	188
Tabla 17. <i>Tasas metabólicas (Met) para actividades típicas.</i>	189