



Universidad Autónoma de Occidente — Universidad de San Buenaventura

PROPUESTA PARA UN PROTOTIPO SOSTENIBLE DE EQUIPAMIENTO BÁSICO PARA CLIMA CÁLIDO

Olga Lucia Montoya Flórez • Constanza Cobo Fray • Verónica Manzi Tarapués • Javier Ernesto Holguín González
Diego Fernando Gómez Etayo • Bryan Steven Bolaños • Natalia Saavedra • Jean Carlo Aristizábal
Sebastián Zapata • Juan Esteban Rojas • Sara María Chantré

Autores invitados:
Manuel Ballesteros • Stephanie Basante

2026



Colección
SEÑALES



PROPUESTA PARA UN PROTOTIPO SOSTENIBLE DE EQUIPAMIENTO BÁSICO PARA CLIMA CÁLIDO

Olga Lucia Montoya Flórez • Constanza Cobo Fray • Verónica Manzi Tarapués • Javier Ernesto Holguín González
Diego Fernando Gómez Etayo • Bryan Steven Bolaños • Natalia Saavedra • Jean Carlo Aristizábal
Sebastián Zapata • Juan Esteban Rojas • Sara María Chantre

Autores invitados:
Manuel Ballesteros • Stephanie Basante

Propuesta para un prototipo sostenible de equipamiento básico para clima cálido

Propuesta para un prototipo sostenible de equipamiento básico para clima cálido / Olga Lucia Montoya Flórez, Constanza Cobo Fray, Verónica Manzi Tarapués, [y otros 7 autores]; Autores invitados: Manuel Ballesteros, Stephanie Basante. -- Cali: Editorial Bonaventuriana, Universidad Autónoma de Occidente, 2026.

152 páginas.

Incluye referencias bibliográficas

e-ISBN: 978-958-619-214-9

Colección : Señales

1. Arquitectura bioclimática -- Cali- Valle del Cauca (Colombia). 2. Construcción sostenible -- Normatividad 3. Arquitectura y clima -- Prototipos 4. Edificios -- Instalaciones sanitarias 5. Urbanismo -- Aspectos ambientales. 6. Aprovechamiento de aguas lluvias -- Innovaciones tecnológicas 7. Instalaciones hidrosanitarias -- Diseño I. Montoya Flórez, Olga Lucía II. Cobo Fray, Constanza III. Manzi Tarapués, Verónica IV. Holguín González, Javier Ernesto V. Gómez Etayo, Diego Fernando. VI. Bolaños. Bryan Steven Bolaño. VII. Saavedra, Natalia VIII. Aristizábal, Jean Carlo IX. Zapata, Sebastián X. Rojas, Juan Esteban XI. Chantré, Sara María 1. Ballesteros, Manuel, autor invitado 2. Basante, Stephanie, autor invitado I. Tit.

720.47 (DDC 23)

P965

CEP- Biblioteca USB Cali.

© Universidad de San Buenaventura Cali

 Editorial Bonaventuriana

Propuesta para un prototipo sostenible de equipamiento básico para clima cálido

Autores: Olga Lucía Montoya Flórez, Constanza Cobo Fray, Verónica Manzi Tarapués, Javier Ernesto Holguín González, Diego Fernando Gómez Etayo, Bryan Steven Bolaños, Natalia Saavedra, Jean Carlo Aristizábal, Sebastián Zapata, Juan Esteban Rojas, Sara María Chantré.

Autores invitados: Manuel Ballesteros, Stephanie Basante.

© Universidad Autónoma de Occidente

© Universidad de San Buenaventura

Universidad Autónoma de Occidente

Dirección editorial: José Julián Serrano

Coordinación editorial: Angélica María Bohórquez Borda

Corrección de estilo: Pablo Navarrete

Km. 2 vía Cali-Jamundí, A.A. 2790

Cali, Valle del Cauca, Colombia.

PBX: (602) 3188000

e-mail: ambohorquez@uao.edu.co

<https://editorial.uao.edu.co/>

Cali, Colombia

Universidad San Buenaventura

Dirección editorial: Ricardo Flórez Puentes

Diseño y diagramación: Manuel Reyes

Dirección Editorial Bonaventuriana Cali

Carrera 122 # 6-65

PBX: 57 (2) 318 22 00 - 488 22 22

e-mail: editorial.bonaventuriana@usb.edu.co

www.editorialbonaventuriana.usb.edu.co

Cali, Colombia, Suramérica

Los autores son responsables del contenido de la presente obra. Prohibida la reproducción total o parcial de este libro por cualquier medio, sin permiso escrito de la Editorial Bonaventuriana.

© Derechos reservados de la Universidad de San Buenaventura.

e-ISBN: 978-958-619-214-9

Versión digital.

2026

Contenido

Introducción	7
Componente arquitectónico.....	11
Antecedentes internacionales.....	15
Componente del diseño bioclimático	29
Componente de gestión de aguas en las edificaciones	37
Norma técnica y legal en Colombia en construcción de infraestructura.....	51
Política pública de construcción sostenible	52
Normativa técnica y legal.....	53
Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones	54
Norma para los sistemas hidrosanitarios y de aprovechamiento de agua lluvia	55
Metodología.....	57

Selección del sistema constructivo.....	59
Metodología para el diseño arquitectónico y bioclimático del prototipo...	65
Consideraciones técnicas para el diseño de los sistemas de manejo de aguas	72
Resultados y análisis.....	85
El lugar.....	87
Selección del sistema constructivo.....	88
Desempeño térmico y energético del prototipo educativo.....	96
Desempeño visual del prototipo educativo	101
Diseño del sistema de gestión sostenible del agua en el prototipo	120
Conclusiones	143
Glosario	147
Bibliografía.....	149

Introducción

El objetivo de este libro es aportar al conocimiento del diseño y construcción de prototipos de infraestructura que incorporen estrategias de diseño bioclimático y sostenible desde el ámbito de la construcción. Este diseño se desarrolla mediante la aplicación de campos profesionales que afectan la sostenibilidad de este tipo de proyectos, integrando el manejo y tratamiento de aguas, así como el campo del diseño arquitectónico y bioclimático para obtener un diseño multipropósito, flexible, sismorresistente y eficiente energéticamente, implementando estrategias pasivas para reducir el consumo energético, generar condiciones de confort lumínico y térmico.

Una gran parte de los problemas ambientales del planeta tiene su origen en entornos urbanos e industriales. Estos espacios humanos son altamente demandantes de recursos naturales y energéticos. Para sostener el modelo de vida actual se genera una alta presión sobre los recursos naturales, no solo por la satisfacción de la demanda, sino por las afectaciones ocasionadas por la generación de aguas residuales, emisiones gaseosas y residuos sólidos, que además exigen la implementación de tecnologías para su tratamiento y disposición final, para la reducción de los impactos ambientales asociados con estas.

El sector de la construcción a nivel global tiene un alto potencial para reducir y mitigar los impactos ambientales generados en las ciudades, mediante la implementación de políticas y acciones sostenibles. En este sector se utiliza aproximadamente la mitad de los recursos que los seres humanos consumen en la naturaleza. Se considera que el 25 % de los residuos generados son residuos de construcción y demolición, además, el 70 % de la energía mundial se mueve alrededor de este sector (Rodríguez y Fernández, 2010). Específicamente, con el uso eficiente de recursos en las viviendas se puede generar una reducción del

35 % en las emisiones de CO₂, y un ahorro en el consumo de agua y energía del 30 al 50 % (Acevedo *et al.*, 2013).

Es así como desde hace varios años en diversas disciplinas de la ingeniería y la arquitectura se hace referencia al término “construcción sostenible”. De acuerdo con el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, este se refiere a la planificación, diseño, edificación, operación y uso de proyectos constructivos de manera que sean económicamente eficientes, reduzcan al mínimo los efectos adversos sobre el ambiente y potencien los beneficios para los usuarios y las comunidades durante toda su vida útil (CCCS, 2025). Por esto, iniciativas o proyectos que aporten con alternativas de construcciones sostenibles avanzan cada día tanto internacionalmente como en Colombia (CONPES, 2018).

La gestión sostenible de los proyectos con enfoque integral desde la arquitectura y la ingeniería busca crear soluciones y desarrollar proyectos con el objetivo de minimizar el impacto ambiental. Por otra parte, pretende maximizar la eficiencia y rentabilidad económica. Para lograrlo, utiliza tecnologías limpias y eficientes, reduciendo el consumo de energía y materiales, y buscando desarrollar soluciones que sean rentables y asequibles. La ingeniería sostenible se preocupa tanto por los aspectos sociales como por los aspectos culturales de los proyectos, promoviendo una mejora de la calidad de vida de las comunidades involucradas, y de la equidad en el acceso a los recursos y beneficios generados por los proyectos.

Los proyectos de ingeniería con enfoque en la construcción sostenible tienen un triple objetivo estratégico: el ambiente (respeto a los recursos naturales y capacidad de los ecosistemas), la sociedad (igualdad social e integración de todos los actores) y la economía social (Rodríguez y Fernández, 2010). Estos objetivos renuevan el enfoque tradicional en el sector de la construcción, basado en el costo, la calidad y el plazo, insuficientes ante los nuevos retos que plantea la sociedad (Rodríguez y Fernández, 2010).

Los antecedentes de esta investigación en cuanto a la propuesta arquitectónica sostenible y bioclimática están en las propuestas de viviendas realizadas en el marco del concurso Solar Decathlon versión Latinoamérica y el Caribe, realizado en Cali. En 2015, con el prototipo MIHOUSE y 2019 con el prototipo TUHOUSE, experiencias realizadas en equipos entre la Universidad de San Buenaventura y la Universidad Autónoma de Occidente. En estas experiencias se pudo diseñar, construir y medir el comportamiento sostenible y bioclimático de los prototipos, lo cual ha permitido avanzar en el desarrollo y conocimiento de la arquitectura sostenible en todos sus procesos, especialmente el técnico, espacial y funcional, para luego replicarlos en nuevas situaciones.

En la investigación que soporta este libro, parte de lo aprendido con prefabricados, en concreto en los dos prototipos MIHOUSE y TUHOUSE, retoma la metodología

de diseño bioclimático y los procesos para aplicar estrategias sostenibles asequibles a la comunidad. Como objetivo se planteó el diseño de un prototipo, con el mínimo impacto ambiental, el cual pueda ser replicado para diferentes usos y llevado a diferentes lugares del país.

En esta oportunidad se logró avanzar y robustecer la metodología para el desarrollo interdisciplinario de un modelo experimental, en la cual se integraron cada uno de los componentes que participaron en este proyecto: componente arquitectónico (que integra aspectos de la forma y composición) y técnico; componente bioclimático; componente de gestión del agua. Para esto la principal estrategia de indagación fueron los estudios de caso para posteriormente aplicar el análisis teórico sobre el modelo experimental. Los principales resultados evidenciaron la importancia de verificar, desde el inicio del proceso de diseño, el desempeño lumínico y térmico del proyecto, con el fin de tomar decisiones adecuadas para la habitabilidad. Así mismo, verificar el manejo y gestión de las aguas para su aprovechamiento máximo, y, finalmente, la selección de materiales a partir de un análisis multicriterio para garantizar la mejor alternativa.

Los primeros capítulos del libro explican los fundamentos que soportan cada componente, hasta la presentación de la normativa en cada uno de los temas implicados. El capítulo 5, expone la metodología de trabajo interdisciplinar. El capítulo 6 constituye una síntesis de resultados, análisis y consideraciones finales desde cada componente para una mayor claridad.

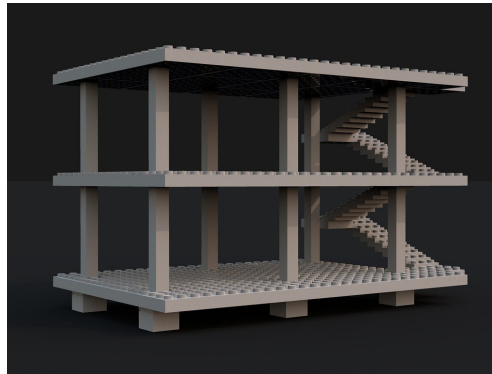
A manera de cierre, el capítulo 8 presenta las conclusiones generales.

Componente arquitectónico



El origen de los prototipos se encuentra enmarcado en la revolución industrial, periodo en el que se concebían como versiones preliminares de un producto hacia su estandarización. Se ponían a prueba y se hacía seguimiento en una línea de producción, en la cual se corregían errores y se ajustaba el proceso, resultando en una versión final.

Los prototipos en arquitectura encuentran su origen de igual forma en este periodo, donde la prefabricación y estandarización comienzan a incorporarse como parte de la producción arquitectónica, siendo los primeros ensayos conocidos los que produjeron la escuela europea Bauhaus (Fig. 1) y el arquitecto de origen suizo Le Corbusier (Fig. 2). Estas primeras experiencias concibieron la arquitectura como una máquina, a partir de piezas preensambladas las cuales se unían cuando llegaban al lugar de construcción, y se enfocaron a la vivienda en serie para responder en el periodo de entreguerras mundiales a las necesidades de vivienda a gran escala como consecuencia de la destrucción parcial de grandes ciudades.



Izquierda.

Fig. 1. Edificio diseñado por el arquitecto Walter Gropius para estudiantes en la Bauhaus Dessau. Fuente: *Creative Commons Attribution*.

Derecha.

Fig. 2. Casa Dom-ino. Le Corbusier. Fuente: *Creative Commons Attribution*.

El prototipo arquitectónico, entonces, es una manera de abordar el proyecto arquitectónico, para que desde su concepción pueda ser replicable en diferentes lugares con condicionantes similares, gracias a su transporte por partes prefabricadas, dando una solución rápida relacionada con la estandarización, más eficiente y económica en comparación con proyectos arquitectónicos concebidos bajo el proceso tradicional.

En la escuela Bauhaus, en 1925, la concepción del campus involucró el componente habitacional. Y al ser esta una escuela de pensamiento, se concibieron prototipos habitacionales tanto para estudiantes como para maestros. Para los estudiantes, encontramos la torre de apartamentos con un basamento, desarrollada en una planta replicable (Fig. 3). Cada apartamento era un único espacio con mobiliario prefabricado como se presenta en las Fig. 3, además tenía su zona de encuentro

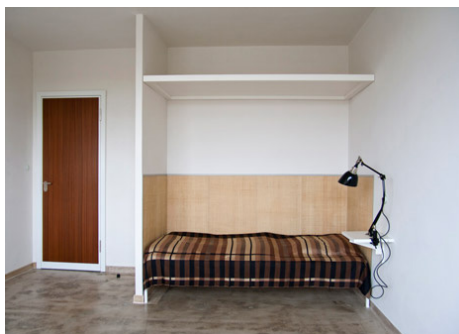
en los balcones para la relación entre los estudiantes. Por otro lado, las viviendas de los maestros se desarrollaron exentas al campus, construidas bajo la concepción industrial y de prototipo de vivienda replicado para suplir la cantidad de viviendas necesarias (Fig. 4).

Izquierda

Fig. 3. Interior apartamento estudiante, Bauhaus Dessau. Fuente: <https://www.dezeen.com/2013/10/30/bauhaus>

Derecha

Fig. 4. Casas para maestros, Bauhaus Dessau. Fuente: <https://www.dezeen.com/2013B10/30/bauhaus>



Dentro de este desarrollo de prototipo en la escuela de la Bauhaus es de resaltar que fueron de los primeros prototipos habitacionales en altura, bajo la lógica de cadena de producción, para ser ensamblados en el lugar de construcción, requiriendo una mínima mano de obra, tal como ocurre en la actualidad.

Por otra parte, la Casa Dom-Ino (Fig. 5), la Casa Monol y la Casa Citröhan (Fig. 6), son ejemplos de prototipos del icónico arquitecto Le Corbusier, cuya premisa era la producción en serie, la cual posibilita el acceso a una vivienda de calidad y económica al ser pensada desde los principios de un prototipo. Estas viviendas se proponían como solución para un gran sector de la población, pues se concebían como una solución generalizada a ciertos condicionantes comunes: un proyecto con menores costos y tiempos de ejecución, al mismo tiempo que con acceso a espacios de calidad y de diseño arquitectónico.

Izquierda

Fig. 5. Casa Domino Fuente: *Creative Commons Attribution*.

Derecha

Fig. 6. Casa Citrohan. Fuente: *Creative Commons Attribution*.



Por otra parte, un acercamiento al concepto de prototipo desde su etimología, a partir del sufijo “proto-” y la raíz “tipo”, da como resultado la definición de “el primero de su tipo”, siendo la raíz “tipo” la que toma importancia, al constituir un término transversal en la historia de la arquitectura, así como un sujeto de estudio.

Se puede entender al tipo, según el arquitecto español Martí Arís como: “la forma general o conjunto de propiedades que son comunes a un cierto número de individuos u objetos” (Cervera *et al.*, 2001, p. 14). Lo cual, desde el enfoque analítico que maneja, se entiende como una clasificación a partir de la abstracción de características comunes, de manera que puede darse un tipo a partir de su uso o de su forma. Es válido que se piense al tipo como una categoría que recoge, bien sea desde su forma o función características esenciales de varios proyectos, y la idea de prototipo, como el proyecto esencial (a partir de una base formal o constructiva), que soluciona condicionantes comunes, con menores costos y mayor rapidez constructiva.

De acuerdo con lo anteriormente explicado, para la investigación que soporta el presente libro, el prototipo arquitectónico parte de un proyecto previamente desarrollado con una base constructiva y formal similar, la cual posibilita la eficiencia en los procesos constructivos y su replicabilidad en condiciones similares. Así mismo, un proyecto que se desarrolle a partir de un prototipo, será aquel que permita progresividad y flexibilidad de uso y confirmación en sus espacios, mientras que el proceso constructivo es repetitivo tanto en técnica como en materialidad (Fig. 7 y Fig. 8).



Izquierda

Fig. 7. Prototipo de vivienda. Fuente: *Creative Commons Attribution*.

Derecha

Fig. 8. Prototipo vivienda social. Fuente: *Creative Commons Attribution*.

Antecedentes internacionales

El desarrollo de los prototipos a nivel internacional comenzó desde las formas vernáculas, propias de cada comunidad. La creación de estos prototipos, su forma, técnica y espacialidad, dependía de los espacios acordes con su uso, de los

materiales presentes en el entorno cercano y con ello la técnica que se necesitaba para que sus propios habitantes lo construyeran.

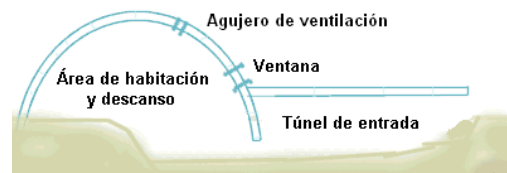
Ejemplo de esto son los iglús y los tipis, viviendas típicas de sus zonas geográficas, siendo ambos ejemplos contextuales al depender de unas condiciones específicas y de los materiales para que se genere un espacio habitable con características formales y espaciales particulares. La construcción de un iglú se desarrolla en lugares con bajas temperaturas con bloques de hielo que se extraen y, con una técnica propia se tallan y apilan, generando el espacio para la vivienda. A partir de estas características se constituye un modelo de vivienda replicable a lo largo del territorio con similares características (Fig. 9). Este es un modelo referente aún hoy a lo largo del territorio, pues genera condiciones adecuadas en dicho contexto, al conservar el calor al interior y ofrecer refugio frente a las temperaturas y corrientes de vientos extremas. Este prototipo podría tener variaciones en cuanto a su altura, diámetro y formas de acceso, sin embargo, la estructura espacial forma y técnica son las mismas (Fig. 10).

Izquierda

Fig. 9. Iglú. Fuente: *Creative Commons Attribution*.

Derecha

Fig. 10. Sección típica de Iglú. Fuente: *Creative Commons Attribution*.



En la misma línea de análisis, los tipis (Fig. 11) eran espacios que tenían una fuerte relación contextual y que, si bien en su desarrollo formal se encontraban en forma piramidal, transversal a varias comunidades, los elementos con los que se construían determinaban una forma y espacialidad específica de cada comunidad. Estos espacios de vivienda se constituían a partir de una estructura en madera, la cual se hincaba en la tierra y se recubría con una membrana animal. Esto permitía que la estructura se pudiese desmontar y montar con facilidad en distintos lugares. Además, desarrollaron un sistema a partir de postes que constituían la estructura principal (Fig. 12), y desde los cuales se regulaba la temperatura interior modificando la posición de la membrana, mejorando la habitabilidad, adaptándose a las condiciones climáticas según el lugar, lo cual indica un entendimiento del clima a partir de los principios bioclimáticos transmitidos de generación en generación.



Izquierda

Fig. 11. Tipi. Fuente: *Creative Commons Attribution*.

Derecha

Fig. 12. Tipi. Fuente: *Creative Commons Attribution*

A partir de estos ejemplos, vemos que, si bien el concepto de prototipo no estaba desarrollado teóricamente, existieron ejemplos habitacionales de comunidades antiguas, que por su ejecución constructiva y forma se entienden hoy como prototipos.

De manera posterior, fue hasta el periodo industrial que se comenzó a retomar el concepto del prototipo, a partir de la prefabricación de elementos, y la creación y estandarización de nuevos materiales como el acero y el vidrio. Gracias a dichas herramientas y procesos proporcionados industrialmente, fue posible la reducción de tiempos de fabricación, montaje y costos, especialmente los asociados al momento de la construcción.

En este panorama de innovación técnica y tecnológica, dentro del marco del déficit de vivienda, el hábitat de emergencia y la vivienda para las personas menos favorecidas encontraron una robusta base formal y técnica sobre la cual continuar su desarrollo.

Dentro de estas respuestas encontramos dos proyectos paradigmáticos a partir de los prototipos, los cuales vale la pena resaltar por la diferencia en la concepción a nivel formal y técnico. Se trata de “Habitad 67” de Moshe Safdie y los Refugios de emergencia “Paper log House” de Shigeru Ban. En estos proyectos encontramos varios de los conceptos que dan la base teórica del prototipo, como la replicabilidad formal y técnica, la progresividad, prefabricación y flexibilidad.

El prototipo de emergencia, caso de las Paper Log House, desarrollado por Shigeru Ban surge como respuesta al terremoto de 1995 en la ciudad de Kobe, Japón. Bajo estas circunstancias fue necesario alojar a gran parte de la población bajo un modelo de rápida construcción, replicable y de fácil construcción. Como respuesta, el arquitecto desarrolló un prototipo para ser construido en un periodo no mayor a dos días, por ocho personas, sin la necesidad de maquinaria alguna (Fig. 13). El prototipo está conformado por una envolvente innovadora con tubos de cartón con el tratamiento para soportar la intemperie, los cuales se disponen sobre una base de cajas plásticas, para aislar de la humedad y generar las condiciones

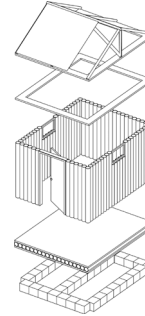
aceptables al interior. Sobre los tubos de cartón se dispone de una membrana plástica como cubierta (Fig. 14).

Izquierda

Fig. 13. Shigeru Ban's Paper Log Hous. Fuente: <https://www.straight.com/arts/1076071/shigeru-bans-paper-log-house-built-humanitarian-principles>

Derecha

Fig. 14. Shigeru Ban's Paper Log Hous 3DI. Fuente: <https://www.straight.com/arts/1076071/shigeru-bans-paper-log-house-built-humanitarian-principles>



Por otro lado, en el caso de la vivienda a partir de los prototipos prefabricados de concreto, un ejemplo paradigmático es el desarrollo del proyecto de Hábitat 67 del arquitecto Moshe Safdie. Si bien este al inicio se concibió como un proyecto de grado, terminó siendo realizado para la exposición universal de Montreal 1967, "El hombre y su mundo", del cual terminó siendo icono. Este proyecto usa la prefabricación parcial como punto de partida, al tener un módulo constructivo base.

El proyecto presenta bloques de hormigón de gran formato, los cuales se desarrollaban in situ, y que, al culminar el desarrollo de sus sistemas internos, se iban superponiendo entre sí y generando el complejo construido. Por medio de la unión de varios módulos, se generaban distintos tipos de viviendas, los cuales hasta la actualidad varían, al adecuarse al desarrollo de los modos de vida de cada década. Este proyecto es clave a la hora de evidenciar el desarrollo de un conjunto habitacional a partir de un prototipo prefabricado, que se hace replicable, que permite ser adecuado a las diferentes necesidades espaciales, y que puede ser construido de manera la progresiva (Fig. 15).

Fig. 15. Hábitat 67. Fuente: <https://neoblockmodular.com/wp-content/uploads/2016/09/Captura-de-pantalla-2016-09-05-a-las-21.15.17.jpg>



Con la aparición de nuevas técnicas constructivas y la introducción de nuevos materiales, además de políticas de calidad y eficiencia en la construcción derivadas de la producción en serie de diferente tipo de artículos de uso masivo, como por ejemplo la industria automotriz, las empresas de construcción dedicadas a este tipo de edificaciones han ido buscando optimizar racionalmente el uso de los recursos requeridos para su ejecución, logrando prototipos de diversos materiales, como los descritos a continuación.

Construcción modular en concreto

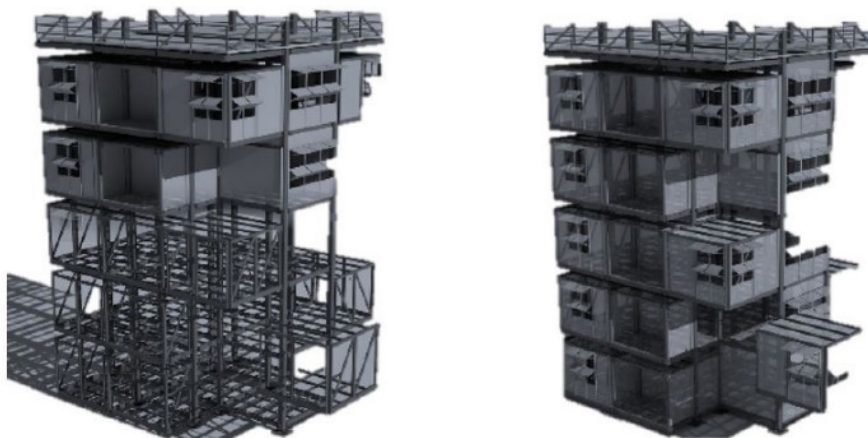
El caso paradigmático de hábitat 67, ya mencionado anteriormente, ejemplifica la prefabricación en concreto reforzado y sus bondades. un sistema modular que se ejecuta con anticipación mientras se adecúa el terreno en el sitio de la obra, en las actividades de cimentación e instalaciones técnicas, para hacer del montaje un proceso mucho más rápido y eficiente. la producción en taller de las piezas prefabricadas requiere de un control dimensional más preciso y al mismo tiempo una mejor gestión de los insumos necesarios, en este caso cemento, agregados y agua para la producción del concreto y acero para el refuerzo, junto con formaletas de mayor durabilidad que pueden ser reutilizadas un número significativamente alto de veces y permiten acabados más detallados. como desventaja se tiene el alto peso de los módulos y la necesidad de contar con equipo pesado para su traslado y montaje en obra, tales como tracto camiones y grúas (Fig. 16).



Fig. 16. Hábitat 67. Fuente: <https://neoblockmodular.com/wp-content/uploads/2016/09/Captura-de-pantalla-2016-09-05-a-las-21.15.17.jpg>

Construcción modular en acero. En este caso, la construcción modular tiene como elemento principal una estructura en perfilera metálica que sirve de soporte y genera una malla estructural que permite la inserción de diversos módulos, según las necesidades espaciales y funcionales de la edificación. Dichos módulos, no estructurales, pueden ser resueltos en diversos materiales como tableros de concreto liviano, fibrocemento, aglomerados de madera, plástico, material de reciclaje, entre otros, los cuales se encargan de la distribución espacial y por supuesto de los diferentes cerramientos de la edificación. Se permite así su construcción previa a la de la edificación definitiva y eventualmente la intercambiabilidad durante la vida útil de la edificación (Fig. 17).

Fig. 17. Fuente: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6772860>



Construcción modular con contenedores reciclados. Los contenedores metálicos para transporte de mercancía terrestre y marítima se han convertido en los últimos años en una opción utilizada para la construcción de diverso tipo de espacios habitables, tales como campamentos de obra, locales comerciales, puesto de comidas rápidas, entre otros. La vivienda, por supuesto, no ha sido ajena a este tipo de iniciativas y los contenedores se han utilizado en propuestas para hospedajes, viviendas unifamiliares y edificaciones multifamiliares. Modificaciones estratégicas en sus paredes laterales permiten la apertura de puertas y ventanas que mejoran su habitabilidad, y la posibilidad inherente de ser apilados han hecho que utilicen en edificaciones en alturas de hasta cinco niveles. Usualmente conservan rasgos formales de su uso inicial, lo que ha permitido lograr una estética característica de estas edificaciones (Fig. 18 y Fig. 19).



Izquierda

Fig. 18. Imagen de una construcción modular con contenedores reciclados. Fuente: <https://illustrarch.com/container-house/27720-redefining-urban-living-with-container-homes.html>

Derecha

Fig. 19. Container city. Arquitecto: Nicholas and partners Lacey. 2001. Londres. Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e2/Cmglee_Container_City_2.jpg

Construcción modular en madera

En aquellos países en los cuales la madera se ofrece en la calidad y cantidades adecuadas, bajo estrategias de sostenibilidad controlada, la construcción en este material genera diversas oportunidades, entre ellas la construcción de módulos prefabricados de diversas características (Fig. 20). la versatilidad de la madera para ser usada como estructura o cerramiento, en formas estructurales tipo vigas, columnas o tableros, ya sea con madera natural o aglomerada, permite que se diseñen estructuras auto portantes que pueden ser construidas en taller, en condiciones ideales, y luego transportadas y ensambladas en el sitio de obra. La aceptación cultural del material, su aspecto estético, su relativo bajo peso, así como sus reconocidas características bioclimáticas, hace además no se requieran mayores accesorios adicionales para dar acabado, más que un tratamiento superficial de protección y enlucido. por supuesto que su mantenimiento y protección contra el fuego deberán ser aspectos de especial cuidado durante su vida útil.



Fig. 20. Fuente: http://www.hildebrandt.cl/wp-content/uploads/2015/12/construccion_modular-hildebrandt.jpg

Construcción en PVC

El desarrollo industrial del pvc, así como de otros materiales sintéticos relacionados con los plásticos, se ha llevado hasta la posibilidad de realizar materiales de construcción tipo paneles, que ensamblados de manera conveniente permiten el diseño y ejecución de módulos habitables prefabricados (Fig. 21). su muy bajo peso, la apariencia estética, resistencia a la intemperie y facilidad y rapidez en el transporte y ensamblaje son las ventajas ofrecidas por quienes promueven su uso y comercialización. tienen en contra la baja aceptación cultural del material, por parte de usuarios acostumbrados a otros más tradicionales, la huella de carbono en el proceso de producción del material base, así como sus costos relativamente altos.

Fig. 21. Fuente: <https://www.casasprefabricadas24.com/wp-content/uploads/2014/10/casas-pvc-prefabricadas-600x400.jpg>



En resumen, la necesidad de adaptación a diverso tipo de condiciones físicas, ambientales, socio culturales, entre otras variables, unido a la cada vez mayor exigencia de alta velocidad en la construcción, hacen que los proyectos modulares diseñados como prototipos repetitivos, ganen espacio en muchas partes del mundo, pues permiten dar respuesta apropiada a estas demandas. Con esto se logra la ejecución de proyectos que pueden ser instalados en diversos contextos con intervenciones mínimas del sitio del emplazamiento. Estos usualmente se desarrollan mientras en los talleres se fabrican los módulos prefabricados, para pasar posteriormente a un proceso de instalación ágil y previamente planificado, con menor mano de obra y mayor precisión que los métodos tradicionales. Este proceso reduce también los desperdicios, pues por lo general los prototipos se diseñan teniendo en cuenta las dimensiones comerciales de los productos involucrados, acción que en cada ejercicio puede irse optimizando, aportando a la sostenibilidad de los proyectos de construcción.

Estas razones hacen que la construcción modular prefabricada a partir de prototipos, sea una iniciativa no sólo plausible sino prácticamente necesaria ante las exigencias de la modernidad y los propósitos sostenibles de las agendas internacionales, de manera que los aportes en este campo tienen gran aceptación actual.

Antecedentes nacionales. En el contexto nacional es posible encontrar prototipos según los momentos históricos, algunos van desde la época pre-colonial hasta el momento actual. De las propuestas arquitectónicas replicadas en condiciones similares se puede identificar las Malocas indígenas (Fig. 22 y Fig. 23). Estas propuestas dotacionales se basan en un espacio central de reunión para las comunidades, y se han replicado conservando la estructura espacial y técnica a partir de un espacio central de planta circular o rectangular y una cubierta inclinada como refuerzo de la espacialidad. Es un prototipo repetido gracias a la tradición, la cual ha permitido afianzar parámetros formales y espaciales y directrices técnicas transversales, a pesar de las diferencias y la distancia entre comunidades.



Izquierda

Fig. 22. Maloca. Fuente: *Creativa Commons Attribution*.

Derecha

Fig. 23. Maloca. Fuente: *Creativa Commons Attribution*.

Los materiales locales han sido el soporte técnico de la propuesta, la madera y las hojas de palma son la base para estos espacios, los cuales se trabajan de manera similar en distintas regiones. La espacialidad producida permite que el espacio sea ocupado de diferentes maneras y para diferentes usos, dentro de los que se encuentran momentos ceremoniales, aprendizaje o simplemente de reunión para la comunidad.

En términos de confort se identifican diferencias entre estos espacios a lo largo del territorio, al modificar aleros y cerramientos en aras de contribuir a la habitabilidad del espacio. En algunos casos, debido a regímenes de lluvia altos, la cubierta se dispondrá con un mayor alero y con una menor altura entre ella y el suelo, mientras que, en zonas áridas, dependiendo de sus condiciones los cerramientos serán más permeables, en una clara evidencia del entendimiento del clima, y por tanto de una tradición vernácula que tiene una fuerte relación con este.

La ejecución aún hoy de las Malocas como prototipo, permite que sean pensadas como una unidad, las cuales podrían, en caso de ser necesario, replicarse dentro de un conjunto mayor dentro de una lógica de barrio o ciudad.

Por otro lado, la idea de prototipo en el país ha permitido plantear soluciones habitacionales, por sus cortos tiempos de ejecución, los beneficios económicos en su resolución y su posibilidad de ser replicable. Un ejemplo local de esto, son las viviendas de emergencia como solución a la explosión del 7 de agosto de 1956 en la ciudad de Cali. Para esto se diseñó un prototipo sencillo, prefabricado y replicable sobre el planteamiento urbano realizado en el barrio Aguablanca en la ciudad (Fig. 24).

Fig. 24. Barrio Aguablanca. Fuente: ebarrio-caliviejo.blogspot.com/2015/01/historia-barrio-aguablanca.html



La elección de un prototipo para el desarrollo del proyecto se da debido a sus bajos costos de construcción y la posibilidad de prefabricar elementos y utilizar elementos industriales en su ejecución, reduciendo los tiempos de construcción. Además, la ubicación del prototipo en el lugar (Fig. 24) permitía que quien ocupase la vivienda, con el tiempo pudiese realizar cambios en su distribución como también, ampliarla de acuerdo a las necesidades, gracias a la flexibilidad de su planteamiento.

El método constructivo, si bien empleaba elementos prefabricados e industriales, tenía una parte in situ, que, a pesar de ello, seguía siendo un elemento repetitivo en todas las viviendas. Dentro de los parámetros de la idea de prototipo se identifica una falencia en el componente bioclimático tanto por la ausencia de estrategias que favorezcan la ventilación o extracción del calor, como por el poco acierto al momento de elección de los materiales, como por ejemplo el metal como material predominante.

Prototipos realizados a nivel nacional. En contexto nacional se encuentra la propuesta de Proyectos Tipo del Departamento Nacional de Planeación-DNP (Fig. 25) en

donde en aras de disminuir tiempos y costos se genera el programa de Proyectos Tipo, los cuales: “...constituyen una herramienta dispuesta por el DNP para apoyar la formulación y estructuración de proyectos de inversión pública a través de lineamientos técnicos y metodológicos que garantizan altos estándares de calidad en su formulación y estructuración” (DNP, 2022). El objetivo de estos es dar una solución base a problemáticas recurrentes que deban solucionarse desde lo público, y las cuales, al tener un desarrollo previo, tienen en su compendio toda la información legal y estudios necesarios para la realización de estos, posibilitando su desarrollo en un tiempo reducido en comparación a un proyecto concebido tradicionalmente.

Lo anterior permite minimizar los tiempos de ejecución y permitiendo un mejor manejo de los recursos públicos. Dentro del compendio de información que incluyen los proyectos tipo, encuentran los documentos de guías, los correspondientes anexos técnicos de cada proyecto (planos), elementos presupuestales y los contratos y la documentación legal necesaria para responder a una necesidad particular y generar un bienestar social en un menor tiempo.

Esta estrategia busca que, bajo el uso de los Proyectos Tipo, se genere una apropiación a escala territorial de ellos, permitiendo que sean replicables con mayor facilidad y que en la medida de su construcción, se refuerce el material técnico de soporte. Cabe anotar que esta estrategia, al ser desarrollada desde el ente gubernamental nacional cuenta con toda la normativa aplicada.

Entre los prototipos se encuentran una amplia gama los cuales abarcan propuestas dotacionales, equipamientos como escuelas (Fig. 25), terminales aeroportuarias (Fig. 26) puestos de salud, bibliotecas (Fig. 27), entre otros.



Izquierda

Fig. 25. Prototipo infraestructura educativa.
Fuente: Proyectos Tipo DNP.

Derecha

Fig. 26. Prototipo Terminal Aeroportuaria.
Fuente: Proyectos Tipo DNP.

Dentro del conjunto de propuestas, se resalta el prototipo de escuelas de música (Fig. 28), el cual se dio a partir de un concurso y cuyo diseño estuvo a cargo de la oficina caleña Espacio Colectivo Arquitectos.

Izquierda

Fig. 27. Prototipo Biblioteca. Fuente: Proyectos Tipo DNP -Cultura - Biblioteca.

Derecha

Fig. 28. Prototipo Escuela de Música. Fuente: Proyectos Tipo DNP – Cultura - Escuela de Música.



Estas escuelas son pensadas formalmente similares, y con procesos constructivos iguales a partir del empleo de los mismos materiales a través de diversas regiones. De igual forma, si bien los espacios que se producen son flexibles, la flexibilidad del prototipo se da en las posibles distribuciones de las piezas. Con esto, permite adaptarse a diferentes localizaciones, sin perder una propuesta con calidad arquitectónica.

Por otro lado, la competencia Solar Decathlon ha promovido desde hace varios años el planteamiento de prototipos de vivienda de carácter sostenible, el cual ha tenido como objetivo, presentar las últimas innovaciones alrededor de las tecnologías y técnicas que promuevan los mejores tiempos de construcción y el menor impacto sobre el ambiente. La versión LAC (Latin America & Caribbean) del concurso para las versiones del año 2015 y 2019, tuvo la premisa de generar un prototipo habitacional que sea progresivo, flexible, sostenible y bioclimático. Esto con el interés de generar una vivienda accesible y de bajo costo que pueda ser desarrollada en distintos lugares, y que presente una alta calidad espacial, de confort, sostenibilidad y de eficiencia energética.

En el marco de esta competencia, la Universidad de San Buenaventura Cali (USB Cali) en conjunto con la Universidad Autónoma de Occidente (UAO), desarrollan para la versión del 2015 el prototipo “MIHOUSE” con el cual se alcanza el puesto 1 en la categoría de Sostenibilidad, y el puesto 2 en varias categorías como: Arquitectura, Ingeniería y Construcción, en la de Diseño Urbano y en la de Innovación (Fig. 29). El prototipo “TUHOUSE” se desarrolló en la versión del año 2019 y alcanzó los siguientes premios (Fig. 30).

Izquierda

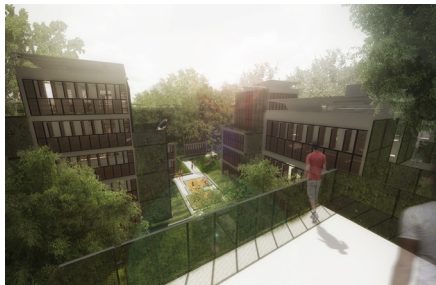
Fig. 29. Prototipo Mi House. Fuente: Está lista la Casa MIHOUSE.

Derecha

Fig. 30. Prototipo Tu House. Fuente: Universidad de San Buenaventura Cali y Universidad Autónoma de Occidente construyeron la vivienda sostenible: TUHOUSE – en el Solar Decathlon.



Ambos prototipos cumplen con premisas como la flexibilidad espacial, la progresividad en su construcción, la sostenibilidad y el componente bioclimático, con una apuesta técnica basada en la prefabricación de módulos de concreto, como una propuesta que retoma técnicamente el principio de los elementos prefabricados en concreto como muros y losas, técnica con la que se construyen los grandes conjuntos de vivienda social en el país. Ambos proyectos generan un conjunto habitacional VIS a partir de un módulo constructivo, de una manera similar al del proyecto Hábitat 67. Este módulo se constituye a partir de un par de módulos prefabricados en concreto, los cuales se agrupan para generar el prototipo de vivienda y luego el conjunto habitacional (Fig. 31 y Fig. 32).



Izquierda

Fig. 31. MIHOUSE propuesta urbana. Fuente: equipos MIHOUSE.

Derecha

Fig. 32. TUHOUSE propuesta urbana. Fuente: equipos TUHOUSE.

Este sistema es posible gracias a la prefabricación de los módulos de concreto en el sitio de fabricación, para ser transportados e instalados y ensamblados en el sitio, a partir de los cuales se ensamblan los elementos de cerramiento y carpinterías. Además, a partir de esta base, se permiten múltiples distribuciones interiores permitiendo la flexibilidad en el espacio dependiendo las necesidades usuario, y que de igual modo da una posible progresividad del conjunto en una escala macro.

Componente del **diseño** **bioclimático**



El proyecto arquitectónico es la síntesis de diversos aspectos: estético, socio-técnico, socioeconómico, climático, energético, sociocultural, ambiental. En este breve y complejo marco, el proceso de diseño ha sido tradicionalmente de una sola vía, en donde hay un primer momento de toma de decisiones por parte del arquitecto en cuanto a forma, técnica y función, basadas en su conocimiento, tendencia arquitectónica, lugar de implantación y las preferencias del cliente, entre otros. Luego se pasa a un proceso de complementación desde lo técnico como la ingeniería civil, hidrosanitaria, eléctrica y mecánica, en una reflexión y producción cultural, interdisciplinaria (Trebilcock, 2009).

Según Gustavo San Juan *et al.* (2013), para considerar temas urgentes en el planeta, como la eficiencia energética y el confort, en el marco del diseño bioclimático y/o sustentable, la metodología implica abordar cuatro etapas básicas en las que está presente el trabajo interdisciplinario de manera permanente, no solo en una etapa del proceso, tal y como en el proceso de diseño tradicional. Estas etapas son: 1. Análisis bioclimático general, 2. Dimensionamiento inicial (precálculo), en la etapa de anteproyecto, estudiando variantes proyectuales y 3. Dimensionamiento final, en la etapa de proyecto, estas tres en la fase preocupacional o de diseño y 4. La auditoría ambiental (objetiva y subjetiva), para verificar las decisiones tomadas en función de contrastar las hipótesis proyectuales con el funcionamiento real. En la Fig. 33, se muestra el esquema planteado de manera sintética.

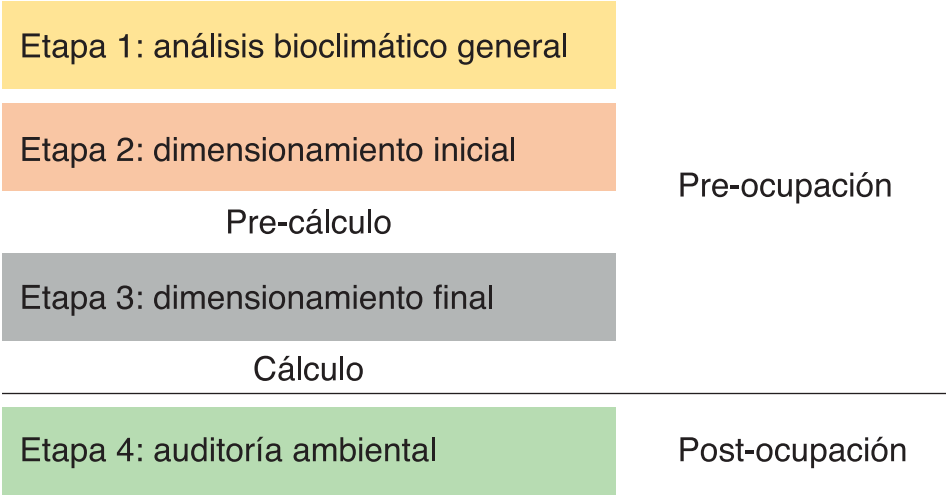


Fig. 33. Etapas de diseño bioclimático. Fuente: (San Juan *et al.*, 2013).

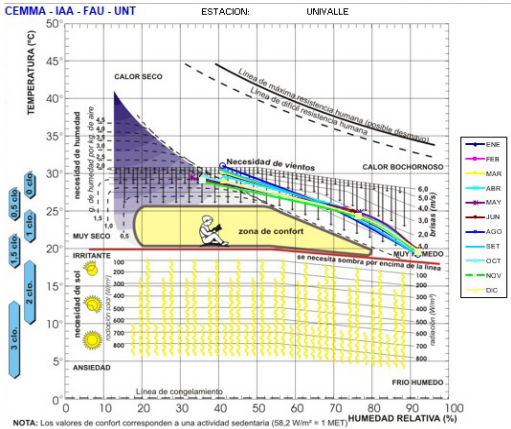
Un ejemplo emblemático del proceso de diseño bioclimático, aplicado a la realidad local es el propuesto por Victor Olgay, presentado en su libro *Clima y Arquitectura en Colombia*. El autor caracteriza tipos de clima cálido, árido y húmedo. El método propuesto por él se basa en 4 temas principales: los datos climáticos, la evaluación

biológica, soluciones tecnológicas de las cuales hacen parte la selección del sitio, orientación, sombra, forma, movimientos de aire, equilibrio de la temperatura y la aplicación arquitectónica. En el capítulo dedicado a Cali, realiza la siguiente descripción climática, entendiendo a la comprensión profunda del clima como uno de los componentes fundamentales para una propuesta acertada para el lugar:

El clima es muy especial. La media anual está en medio del confort, con periodos fríos y calientes durante el día, cruzándose tres veces la zona de confort. Los elementos climáticos también presentan cambios abruptos. Casi todos los días brilla el sol, con energía ardiente, en un firmamento semidespejado, en el cual el sol se mueve con la igualdad de un anillo dorado. Los vientos, al llegar, poseen volumen y fuerza. La lluvia no cae, se desgaja en furiosos aguaceros. Todos los elementos contribuyen a la orquestación climática más de lo que uno espera y este responde con la suavidad de un tigre (P.CA-2).

El Gráfico bioclimático para Cali muestra que la zona de confort se define por la temperatura promedio anual de 24 °C (levemente menor a la actual de 24,8 °C), la cual está definida entre 21,2 y 26,8 °C con 1 de clo. Como se indica en la Fig. 34, las temperaturas en algunos momentos del día alcanzan el confort, sin embargo, las temperaturas máximas exceden dicho rango, mientras las mínimas resultan por debajo del confort. El autor indica que las temperaturas máximas exceden las posibilidades de proveer confort por medio de ventilación cruzada. En estos casos, se debe recurrir además a bajar el clo a 0,5 y a estrategias arquitectónicas como proveer sombreado, equilibrio térmico por materiales, radiación de onda larga de baja temperatura y enfriamiento evaporativo (basado en el refrescamiento por agua) (Fig. 35).

Fig. 34. Diagrama de confort de Victor Olgyay con los datos climáticos de Cali. Fuente: CEM-MA, Guillermo Gonzalo, Universidad Nacional de Tucumán.



En la diagnosis fisiológica para Cali (Fig. 35), se pueden observar las variadas necesidades, independiente del día y hora, pudiéndose leer de manera vertical.

En este, se refleja que las fluctuaciones diarias son más relevantes que las estaciones climáticas a lo largo del año, reflejado mayor importancia a las fluctuaciones diarias (vertical) que, a los elementos climáticos estacionales, mínimos en este caso (horizontales), situación propia de contextos tropicales sin estaciones climáticas marcadas.

En el mismo gráfico se presenta cómo en un mismo día en Cali suceden tres momentos en la zona de confort, por ejemplo, en el mes de mayo (línea roja): Hasta las 3 a. m./ entre 7 a 11 a. m. / y a partir de las 7:30 p. m. Por el contrario, entre las 3 a. m. y 7 a. m. hay necesidad de calor: (área signo negativo) y, a partir de las 11 a. m. en adelante, se presenta necesidad de vientos horas salientes (signo positivo). Las recomendaciones de Olgyay para Cali se fundamentan en reducción de la producción de calor y de la radiación incidente; promover la pérdida de radiación, evitar la absorción de humedad e incrementar el movimiento del aire.

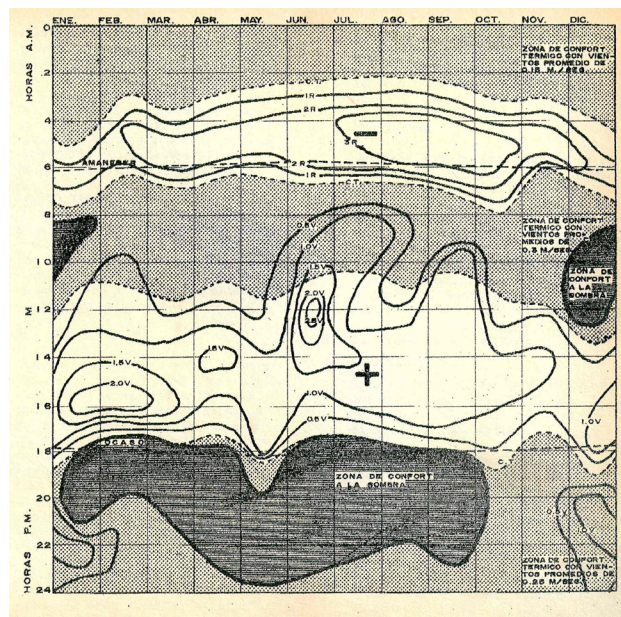


Fig. 3. Diagnosis fisiológica para Cali. Fuente: (Olgyay, 1963).

Estrategias de diseño hacia el confort térmico y visual en el prototipo

Se entiende al confort térmico como la situación en la que las personas se encuentran en estado de bienestar o satisfacción con el medio en el que se encuentran, sin percibir malestar por calor o por frío.

El modelo propuesto por la mayoría de normas a nivel mundial, se basa en el modelo propuesto por O. Fanger (1970), el cual se fundamenta en el balance del flujo de calor entre el ambiente y el cuerpo y el calor requerido para un confort óptimo, en una actividad específica (ASHRAE, 2005). A partir de este modelo, la normativa internacional propone los índices para determinar el Voto Medio Previsto –PMV (por sus siglas en inglés Predicted Mean Vote) y PPD (por sus siglas en inglés Predicted Percentage of Dissatisfied).

De manera posterior surgió el modelo Adaptativo (Cita ASHRAE) el cual sostiene que la percepción del confort está estrechamente ligada a las condiciones culturales, sociales y climáticas del contexto (Tablada *et al.*, 2005) y no solo son el resultado de fenómenos de termorregulación del cuerpo. Bajo este modelo, el rango de confort se determina a partir de la temperatura promedio del lugar dentro de un tiempo determinado.

En esta misma línea de pensamiento, a partir de la capacidad de adaptación de las personas, Olgyay (1968) y Givoni (1992) han definido zonas de confort de acuerdo con las características climáticas. Estos rangos permiten de una manera más fácil predecir en unas primeras etapas del diseño, las condiciones de confort, sin no se cuentan con promedios climáticos históricos, o con los resultados de mediciones en sitio.

Relaciones como el confort térmico y aspectos del diseño arquitectónico han sido estudiados a profundidad en el panorama científico internacional, Por ejemplo, Kwok y Grondzik (2018) presentan alternativas para un ambiente térmico aceptable. Otros, como Liang *et al.* (2012) analizan el confort térmico en relación con la envolvente arquitectónica. Subhashini y Thirumaran (2018) presentan un mejoramiento en el desempeño térmico, a partir de un mayor grado de protección solar en la envolvente Fig. 36 y Fig. 37. Por otro lado, Teli, Jentsch, y James (2014) analizan el efecto de la envolvente (materialidad, superficies vidriadas y elementos de sombreado), la altura del espacio y los dispositivos de control climático, en la percepción de confort de estudiantes, en este caso, en un ambiente educativo.

Fig. 36. Fachada sin elementos de protección.
Fuente: (Subhashini y Thirumaran, 2018b).

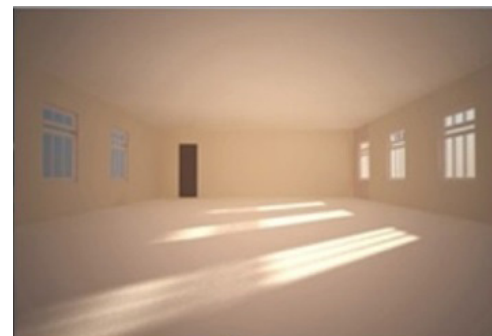




Fig. 37. Opción elemento vertical.
Fuente: (Subhashini y Thirumaran, 2018b).

Por otro lado, el confort visual es la sensación de comodidad visual experimentada por una persona para observar, percibir o realizar una tarea con un requerimiento específico. Al igual que con el confort térmico, la sensación de comodidad se relaciona con la ausencia de fatiga o estrés, en este caso visual, para poder mirar en detalle, o realizar una tarea con exigencia visual durante un tiempo prolongado, tanto en ambientes de estudio, oficina, como en otros de mayor exigencia visual como pueden ser laboratorios, clínicas y fábricas.

Para la comodidad visual la norma en Colombia determina las condiciones para garantizar la visibilidad en las distintas actividades mediante un ambiente lumínico con promedio de 300 lux (para la versión del año 2000) y 500 lux (para la versión del 2015). Enfatiza el aprovechamiento de la luz natural para hacer el mínimo uso la energía eléctrica, requerida por la necesidad de iluminación artificial, y ahorrar hasta el 80 % de la energía eléctrica (Monteoliva y Pattini, 2013). Niveles de iluminancia inferiores a los 300 lux recomendados por la norma, reducen la percepción de los estímulos visuales, afectando el rendimiento cognitivo (Jago y Tanner, 1999).

Las soluciones para lograr un adecuado ingreso de la luz solar y garantizar los niveles apropiados de iluminación van desde soluciones de alta tecnología como vidriados especiales selectivos de los ángulos de incidencia solar y tubos de luz (Reppel y Edmonds, 1998), hasta dispositivos de alta tecnología. Por lo general estas aplicaciones resultan costosas e inaplicables en contextos como el de Colombia, en el cual las soluciones en los edificios públicos institucionales y educativos, terminan reduciéndose a la presencia de vidrios con manipulación manual o fija y protecciones en fachadas.

Para cuantificar la iluminación natural existen métricas estáticas como el Daylight Factor-DF y la incursión solar, que permiten a través de simulaciones y métodos geométricos manuales, identificar la incidencia solar directa en un espacio o plano de trabajo. Por otro lado, en los últimos años se han desarrollado las métricas dinámicas, a partir de cálculos lumínicos computacionales, basados en archivos climáticos CBDM (del ing. Climate Based Daylight Modelling).

Las métricas dinámicas permiten predecir el comportamiento mensual o anual de un espacio, permitiendo tener un diagnóstico más amplio del desempeño visual en este. A continuación, se enumeran algunas, sin embargo, en el capítulo de metodología, se desarrollan en profundidad (Validación del desempeño térmico y visual). Las primeras desarrolladas por Mardaljevic y Nabil (2005), las cuales además de establecer los niveles lumínicos asignan niveles de cumplimiento y rangos, respectivamente:

1. Autonomía de Luz Natural - DA (del ing. Daylight Autonomy),
2. Intervalo de luz Natural Útil-UDI (del ing. Useful Daylight Illuminances).

Además, la Sociedad de Ingenieros en Iluminación de Norteamérica IESNA (del ing. Illuminating Engineering Society of North América), desarrollaron dos métricas (IES, 2012) que permiten complementarse (Heschong *et al.*, 2012) y robustecer el análisis sobre desempeño lumínico:

- Autonomía de luz en el espacio - sDA (del ing. Spatial Daylight Autonomy),
- Exposición solar anual - ASE (del ing. Annual Sunlight Exposure).

El aprovechamiento de la iluminación natural es la principal estrategia diurna para alcanzar los niveles de iluminación adecuados, en algunos casos –tomando las aulas como ejemplo- durante el día es posible minimizar y en algunos casos prescindir de la energía eléctrica consumida para acondicionamiento lumínico (Monteoliva y Pattini, 2013). Los autores señalan que el aprovechamiento de la iluminación natural para tareas diurnas puede representar ahorros entre el 50 % y 80 % del consumo total.

Sin embargo el aprovechamiento de la iluminación natural en el diseño de los espacios, deben tener consideraciones especiales en cuanto a la protección de la radiación solar (James y Christian, 2012; Subhashini y Thirumaran, 2018a) *Accra*. El edificio fue elegido debido a los principios de diseño sostenible (por ejemplo, forma, orientación y ventilación, como por ejemplo evitar el ingreso incontrolado de luz solar directa en el espacio, lo cual tiene consecuencias negativas como brillos indeseados y altos contrastes (Wu, W, y Ng, 2003), además de elevar las temperaturas e incomodidad visual (Villalba, Monteoliva, Pattini y Yamín, 2011). La selección del área vidriada se convierte en la variable principal para el aprovechamiento lumínico del diseño de la envolvente y lograr así, porcentajes de iluminancia suficientes y no excesivos (Monteoliva *et al.* 2016).

Controlar los niveles de iluminancia, el deslumbramiento y la distribución espacial de la luz natural, son aspectos claves para alcanzar el confort visual (Villalba *et al.*, 2011), así como controlar los brillos y contrastes excesivos, evitar reflejos molestos y favorecer la buena reproducción de los colores. (Zapata, Viegas, San Juan, Ramos, Coronado, Ochoa, Rendón, Sarmiento *et al.*, 2018), con lo cual desarrollar las tareas visuales con el menor esfuerzo, riesgo y perjuicio a la vista (Lamberts, Dutra y Pereira, 2012). Para esto, garantizar la iluminancia adecuada en todo el espacio, es uno de los aspectos clave.

Componente de **gestión de** **aguas** en las edificaciones



La gestión integrada del agua es un tema muy importante en la construcción sostenible de edificaciones, ya que el uso eficiente y el ahorro de agua potable, así como el aprovechamiento de aguas lluvias y el reúso de aguas residuales (aguas grises y aguas negras) son prácticas operativas de vital importancia para la planificación, el diseño y la construcción de las edificaciones. La implementación de una red hidrosanitaria eficiente da como resultado la reducción del consumo de agua potable, también, el uso de fuentes alternativas para reducir el uso o eliminar la demanda total de agua potable reduce costos y la huella hídrica asociada al uso de la infraestructura construida. El aprovechamiento de aguas lluvias y aguas grises tratadas, permite la reducción del mal uso de agua potable, ya que estas aguas pueden utilizarse en el riego de zonas verdes, la descarga de inodoros, orinales y para el mantenimiento de zonas comunes, usos en los cuales no se requiere de un agua de óptima calidad como lo es el agua potable. Adicionalmente en lugares donde la oferta de precipitación pluvial supera a la demanda de agua potable, se pueden implementar proyectos de aprovechamiento de aguas lluvias para uso potable o de riego.

A nivel internacional, un ejemplo de proyectos de construcción sostenible en los cuales se hace uso del agua lluvia es “Healy House”, la cual consiste en ser una vivienda autosuficiente, por medio de la implementación de aprovechamiento de aguas lluvias para el consumo potable, además, de toda una estructura para su adecuada captación, canalización, almacenamiento y sistema de tratamiento (Agatón, 2016).

En el contexto nacional existen experiencias en construcciones sostenibles, específicamente el caso de los prototipos MIHOUSE (Multi Intelligent House Using Solar Energy) y TUHOUSE (Technically Unique House Using Solar Energy), presentados en el capítulo 1 del presente libro (ver Prototipos realizados a nivel nacional).

Uno de los criterios más importantes en el diseño de los prototipos MIHOUSE y TUHOUSE fue la adopción de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias para suplir la demanda de agua para riego de zonas verdes, huertas urbanas y riego de plantas ornamentales. Además, se implementó un sistema de tratamiento y reúso de aguas jabonosas (aguas grises) resultantes de la ducha y lavadora para la descarga de sanitarios (UAO y USB, 2015; UAO y USB, 2019).

Un ejemplo del diseño de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en una institución educativa en la ciudad de Santiago de Cali, es el planteado por Bolaños (2022) para el Colegio Freinet ubicado en la zona rural de esta ciudad. En su trabajo de grado llamado “Propuesta de un sistema para el aprovechamiento de aguas lluvias captada en las instalaciones del colegio Freinet”, describe el análisis, diseño y estimación de costos de la implementación de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias para el consumo de los usuarios de la institución educativa, dando así una alternativa en el marco del aprovechamiento y gestión sostenible del agua.

A continuación, se presentan las alternativas reportadas en la literatura analizadas para la gestión sostenible del agua en edificaciones. Esta información permitirá más adelante, definir la alternativa más adecuada para diferentes usos del prototipo de infraestructura, siendo estos: centros educativos, centros de atención médica y hospedaje (tanto para infraestructura nueva o de emergencia).

Alternativas para la gestión de aguas lluvias. En la Tabla 1 se presentan las diferentes alternativas de gestión y aprovechamiento de aguas lluvias revisadas para este proyecto. En esta tabla se describen los beneficios de cada alternativa que pueden facilitar la selección correcta para cada tipo de proyecto, así como sus condiciones limitantes y los materiales o elementos requeridos para la construcción de cada alternativa.

Tabla 1
Alternativas para el aprovechamiento de aguas lluvias (continúa)

Alternativa	Descripción
Ekomuro H2O+ 	Es una alternativa innovadora de aprovechamiento de aguas lluvias elaborado modularmente con envases plásticos de bebidas del material PET (Tereftalato de polietileno), interconectados modularmente conformando así un depósito vertical de agua, compacto y resistente a las presiones del líquido. Esta propuesta se fundamenta en la educación ambiental y la tecnología apropiada, siendo así un incentivo para crear conciencia sobre la importancia de la educación ambiental en los colegios y viviendas, sensibilizando sobre la adecuada disposición de residuos sólidos, como en el aprovechamiento de agua lluvia como fuente de abastecimiento de una manera ecoeficiente y sostenible. El módulo original desarrollado por los investigadores cuenta con 54 botellas de envases plásticos de PET de 3 litros. Sin embargo, la cantidad de botellas a usar puede variar dependiendo del número de módulos requerido según la altura que posea el espacio a instalar. Además, cuenta con canaletas para la captación y bajantes con tubería sanitaria para la conducción del agua lluvia del techo y un filtro para retirar impurezas. Fuente: EkogroupH2O+ (2022). https://ekomuroh2o.wixsite.com/ecoh2o/ekomuro

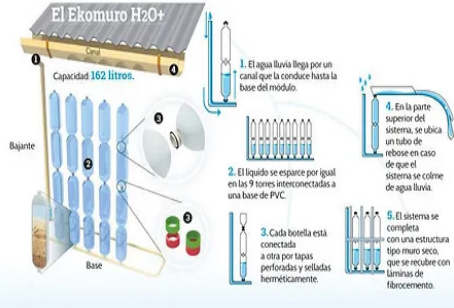
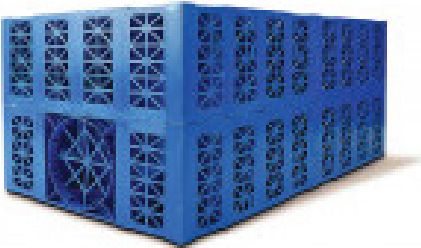


Tabla 1
Alternativas para el aprovechamiento de aguas lluvias

Alternativa	Descripción
Chove-Chuva 	Este prototipo desarrollado en Brasil permite obtener agua potable por la captación, filtrado y depuración del agua lluvia. Se trata de un prototipo con valtros y cloro, que por medio de canaletas en el techo de la vivienda capta el agua lluvia, luego es conducida hacia el prototipo y al final se almacena en tanques para su debido uso, el cual puede ser tanto para usos domésticos como uso potable. El sistema cuenta con los siguientes elementos: • Filtro de rejillas para sólidos de gran tamaño. • Piedra caliza para regular el pH del agua. • Pastillas de cloro para eliminar microorganismos y potabilizar el agua lluvia. • Filtro inteligente para retirar cualquier impureza existente. Fuente: Chovechuva (2016). https://www.chovechuva.com.br/
Tecnotri 	Este tanque o cisterna modular es una alternativa creada principalmente para espacios pequeños, de fácil higiene, protección antimicrobiana interna, protección UV8, totalmente reciclable. Este prototipo también busca fomentar la educación ambiental en los hogares e incentivar la conciencia hacia el buen uso del recurso hídrico reduciendo hasta un 50 % el consumo de agua potable en una residencia. Las medidas del módulo individual de almacenamiento son: 1,60 cm de ancho por 1,55 cm de alto y tan solo 0,64 cm de fondo. Fuente: Rototech Group (2015). https://tecnotri.com.br/es/tanque-modular-vertical-ideal-para-espacios-pequenos/
AquaCell 	La empresa Pavco, por medio de este sistema busca aprovechar el agua lluvia para su uso en infraestructura, reduciendo así el riesgo por inundaciones. Este sistema capta el agua lluvias mediante rejillas y canaletas en el suelo y la lleva a un sistema modular de almacenamiento que va enterrado (Módulo AquaCell), reduciendo el volumen de sobrecarga en los sistemas de saneamiento y reduciendo el volumen de agua lluvia contaminada en la superficie. Además, permite disponer de una fuente alternativa de agua ayudando a mantener el ciclo hídrico natural. Por otro lado, mejora la integración paisajística y ambiental de la infraestructura urbana. El sistema cuenta con los siguientes elementos: • Trampa de sedimentos que controlan sólidos del primer lavado. • Módulos AquaCell, son ligeros, resistentes y versátiles proporcionando un volumen hueco del 95 %, cada unidad acumula 145 L netos de agua lluvia. • Sistema de conexión a bomba para distribuir en la superficie o aparatos sanitarios, el agua lluvia captada por medio de tuberías. Fuente: Pavco. AquaCell (2022). https://pavcowavin.com.co/manejo-de-aguas-lluvia-aquacell-pavco

Al comparar las cuatro alternativas de gestión y aprovechamiento de aguas lluvias, se identifica que las de más fácil instalación son Ekomuro H2O+, Chove-Chuva y Tectroni, ya que no requieren ningún tipo de excavación en el terreno, a diferencia de la alternativa AquaCell que va enterrada en el suelo. Adicionalmente se destaca la alternativa Ekomuro H2O+, la cual tiene una ventaja desde el enfoque ambiental, al incentivar el reciclaje de residuos sólidos mediante el reúso de enva-

ses plásticos de bebidas del material PET (Tereftalato de polietileno). En el caso de las alternativas Chove-Chuva y Tectroni se destaca que no requieren mucho espacio para su instalación y que ya vienen prefabricadas ahorrando tiempo en el proceso de instalación. Adicionalmente la alternativa Tectroni tiene la posibilidad de ampliar progresivamente (según la necesidad del usuario) la capacidad de almacenamiento del sistema de agua lluvia al ser de tipo modular.

Alternativas para la gestión de aguas grises. En la Tabla 2 se presentan las alternativas para la gestión y el reúso de aguas grises (aguas jabonosas provenientes de las duchas y lavadoras entre otras) que tienen el propósito de reducir el uso de agua potable en las edificaciones. En esta tabla se hace una descripción de las alternativas evaluadas y los elementos que la conforman.

Las tres alternativas de aprovechamiento de las aguas grises o jabonosas analizadas en las tablas a continuación son de aprovechamiento *in situ* (directamente en el sitio donde se generan) y permiten disminuir el consumo de agua potable requerida para la descarga de los inodoros, así como disminuir el cobro en la factura de servicios públicos.

Adicionalmente, estas alternativas de aprovechamiento aportan a la conservación del ambiente y de los recursos hídricos, permiten sensibilizar a los usuarios en la disminución de su huella hídrica y en la necesidad de disminuir el vertimiento de aguas negras o aguas residuales a las fuentes hídricas (al eliminar la descarga de las aguas jabonosas que sin su aprovechamiento se convertirían en agua negras), dando como resultado impactos positivos a nivel social, económico y ambiental.

Finalmente, el dispositivo Acqua Tempus, se enfoca en la reducción del consumo de agua potable en la ducha y puede ser de gran utilidad en infraestructura en la que haya varias duchas como puede ser el caso de un espacio para la educación o para el alojamiento.

Tabla 2
 Alternativas para el aprovechamiento de aguas grises (continúa)

Alternativa	Descripción
Ecoguardían 	Este sistema permite la recuperación del agua usada en la ducha y permite almacenarla en un contenedor como base, el cual sirve de apoyo para que la persona pueda estar de pie sobre el elemento, para luego llenar el tanque del sanitario, a través de un sistema de bombeo, para sus descargas. El sistema permite lograr un ahorro hasta del 100 % del agua que se utiliza normalmente en la ducha. El sistema cuenta con los siguientes elementos: • Contenedor con capacidad para 80 L. • Bomba sumergible dentro del contenedor. • Sistema electrónico externo que controla el funcionamiento total del sistema. • Flotador dentro del tanque de la cisterna del inodoro. Fuente: Ecoguardían (2020). https://360ambiental.wixsite.com/360ambiental/copia-de-eko-planet-1#:~:text=Ecoguardi%C3%A1n%20Est%C3%A1ndar,no%20requiere%20ning%C3%BAn%20cambio%20estructural
Ekoducha H2O+ 	Este sistema es similar al Ecoguardían (2020) en cuanto a su funcionamiento, sin embargo, emplea materiales más económicos y es de fabricación casera. En vez de tener una bomba eléctrica que consume energía, emplea una bomba manual construida con tubos de PVC. Este sistema también se puede adecuar para lavadoras y lavamanos. El sistema cuenta con los siguientes elementos: • 2 botellones de 20 litros cada uno. • Una estructura de soporte en lámina de PVC. • Un sobre piso en Polipropileno recuperado. • Una lona antideslizante unida con un marco de aluminio. • Una rejilla de desagüe. Fuente: EkogroupH2O+ (2020) Ekoducha H2O+. https://ekomuro-h2o.wixsite.com/ecoh2o/ekoshower-h2o
Washup (lavadora + inodoro) 	Washup es un híbrido entre lavadora e inodoro el cual es un prototipo hecho con los materiales tradicionales comerciales de lavadoras o inodoros. Este prototipo turco ganador del concurso Green Gadgets 2008, busca que los usuarios reduzcan el uso de agua potable, reusando las aguas grises después del lavado de ropas, para las descargas del inodoro, creando así una educación hacia las buenas prácticas de uso de agua potable para los hogares o instituciones. Fuente: EcolInventos (2016). https://ecoinventos.com/washup-lavadora-inodoro/

Tabla 2
Alternativas para el aprovechamiento de aguas grises

Alternativa	Descripción
Acqua Tempus	 Este aparato se lanza al mercado para controlar el consumo de agua potable en las duchas, mediante un temporizador electrónico que limita el tiempo de ducha. El prototipo es impermeable y de fácil manejo. El dispositivo corta el paso de agua en el grifo, dejándolo inactivo durante un periodo de tiempo, obligando al usuario a terminar su ducha. Estos tiempos de inactividad son graduables y se recomiendan que sean de 3 minutos, también los tiempos de duchas se gradúan entre 7 u 8 minutos, con esto, se obliga a practicar el consumo responsable de agua potable en las duchas. El sistema cuenta con los siguientes elementos: • Se necesita que la ducha tenga un sistema tipo mezclador (ver imagen) y en caso de ser empotrado, debe hacerse una modificación para colocar uno similar. • Se deben programar tres parámetros, el tiempo de ducha, tiempos de enjabonado y tiempos de retardo que son los tiempos en que la ducha permanece inactiva. Fuente: Arelía (2019) https://arelia.es/blog/14_temporizador-de-duchas-economizador-de-agua.html

Al comparar las tres alternativas de aprovechamiento de aguas grises o jabonosas, se identifica que las de más fácil instalación son Ecoguardían (2020) y Ekoducha H2O+, siendo la Ekoducha H2O+ una alternativa con la posibilidad de autoconstrucción enfocada en usuarios menor capacidad económica. La alternativa Washup (lavadora + inodoro) aprovecha el poco espacio disponible en una edificación, sin embargo, es la menos práctica en el ahorro de agua y energía, ya que requiere el continuo uso de la lavadora en el proceso de lavado de ropas, para poder tener agua gris disponible para la descarga del inodoro.

Alternativas para la gestión de aguas negras. En la Tabla 3, se presentan las alternativas para la adecuada gestión y aprovechamiento de aguas negras o aguas residuales que se enfocan en la disminución del consumo de agua potable requerida para la descarga del inodoro y, por tanto, en la reducción del impacto al ambiente generado por este tipo de aguas. A continuación, se analizan algunos ejemplos, su aplicabilidad y los materiales o elementos requeridos.

Tabla 3
 Alternativas para la gestión de aguas negras (continúa)

Alternativa	Descripción
HumanHure- Baño seco 	Este sistema de baño seco es simple y económico y está pensado para implementarse en infraestructura rural donde la cobertura de saneamiento mediante alcantarillado sanitario no es una opción. Su funcionamiento es similar al inodoro tradicional, con la excepción de que después de cada uso se debe colocar una capa de cenizas y tierra para evitar malos olores. Como desventaja se destaca que su mantenimiento debe ser en periodos cortos, ya que su volumen de almacenamiento es pequeño para evitar riesgos de contaminación cruzada o en la salud de los usuarios. Estos sanitarios ecológicos o baños secos pueden construirse en madera reutilizada, fomentando el reúso de materiales y la educación ambiental en los usuarios. El sistema cuenta con los siguientes elementos: • Recipientes para el almacenamiento de la materia orgánica. • Prototipo de HumanHure. • Ceniza y tierra. • Compostera. Fuente: Taller Kuruna. (2017) HumanHure. https://tallerkaruna.org/banos-secos-ecologicos/
Baño grato 	El baño grato, es un prototipo de baño seco que busca cuidar el ambiente mientras mejora la salud e higiene personal, mediante la capacitación en buenas prácticas de agua y saneamiento. Esta alternativa permite ahorrar en promedio 270,000 litros de agua al año y protege los recursos hídricos. Este prototipo genera fertilizantes naturales, utilizado en las zonas aledañas reduciendo costos. El valor social en este proyecto es muy significativo, ya que se enfoca en reducir la falta de cobertura de saneamiento mediante alternativas sostenibles. El sistema cuenta con los siguientes elementos: • Tanques de almacenamiento. • Estructura de baño grato. • Aserrín, cenizas y cal. Fuente: Tierra Grata, (2017). https://tierragrata.org/bano-grato-programa-de-sanitarios-ecologicos-que-cambia-la-vida-a-los-cartageneros
Sistema operativo de saneamiento de emergencia (eSOS). 	El concepto del Sistema operativo de saneamiento de emergencia (eSOS), proporciona una solución de saneamiento sostenible, asequible y holística en situaciones de emergencia, re-inventado las instalaciones sanitarias y de tratamiento (de emergencia), además, utiliza las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC's) para generar ahorros de costos en toda la cadena de gestión del saneamiento. Además, mejora la calidad de vida de las personas vulnerables y minimiza el riesgo para la salud pública de la población afectada. El sistema cuenta con los siguientes elementos: • Madera para el diseño y estabilidad del baño. • Sensores de teledetección (rebose de residuos orgánicos). • Unidad de suministro de energía (panel solar). • Sensor GPS/GSM. • Sensores de ocupación. • Sistema de comunicación en caso de energía. Fuente: IHE Delft Institute for Water Education. (2020). https://aquaforall.org/viawater/projects/esos-smart-toilet-kenya.html

Tabla 3
 Alternativas para la gestión de aguas negras

Alternativa	Descripción
Sanihuerto 	Este sistema es considerado tipo letrina, sin embargo, tiene como valor agregado que en cuanto la cámara de almacenamiento de las heces fecales esta por llenarse, se completa con tierra y se planta un árbol encima, lo que lo convierte en una opción de saneamiento ecológico. Este sistema utiliza los nutrientes contenidos en la cámara de las heces fecales que se han trasformado en humus y de este modo se cierra el ciclo de vida útil del proyecto. El prototipo también incentiva el uso de huertos en hogares o comunidades, ayuda a la reforestación, así como contribuye en la educación ambiental promoviendo buenas prácticas que disminuyan la presión ambiental. Una desventaja de este sistema es el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas cercanas al sitio de implementación del dispositivo, por lo que se recomienda su uso en zonas en las que el nivel freático sea profundo. El sistema cuenta con los siguientes elementos: • Cámara de máx. 1,5 m de profundidad. • Superestructura (anillo, losa, casera, taza). • Cama de hojas de 15 a 20 cm en el fondo de la cámara vacía. Fuente: Cántaro, (2017), Sanihuerto. https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/uso-yo-disposicion-final/relleno-y-cubierta-/sanihuerto-

Las cuatro alternativas para la gestión de aguas negras presentadas en la tabla anterior están pensadas para implementarse en infraestructura rural donde la cobertura de saneamiento mediante alcantarillado sanitario no es una opción o en situaciones de desastre o emergencia, por ejemplo, después de un terremoto, donde el sistema de abastecimiento de agua potable sufra un colapso y el alcantarillado quede inutilizado. En general las cuatro alternativas presentadas son de fácil construcción y mantenimiento, dando así soluciones eficientes y ambientalmente sostenibles, en las cuales se puede disminuir el impacto ambiental de las aguas residuales generadas por las comunidades. La alternativa eSOS es la más innovadora y costosa, haciendo uso de las TIC, así como de sensores y de energías renovables.

Alternativas para obtener agua caliente en el prototipo. En la Tabla 4 se presentan las alternativas de prototipos de calentadores solares de agua. A los prototipos seleccionados se les realizó un resumen de los criterios de instalación y las condiciones adecuadas para que cada uno sea lo más eficiente y adecuado para cada tipo de proyecto o prototipo de infraestructura como el que se desarrolla en el presente libro. También en esta tabla se pueden apreciar los materiales de construcción y los elementos que los conforman. También se analizan los beneficios desde los componentes social, ambiental y económico.

Tabla 4
Alternativas para tener agua caliente en el prototipo (continúa)

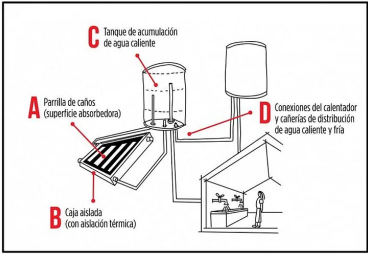
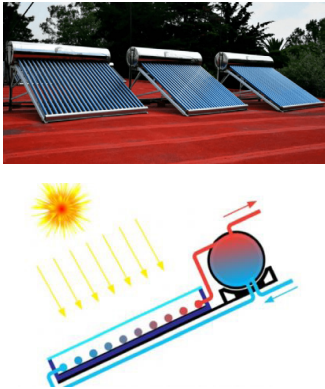
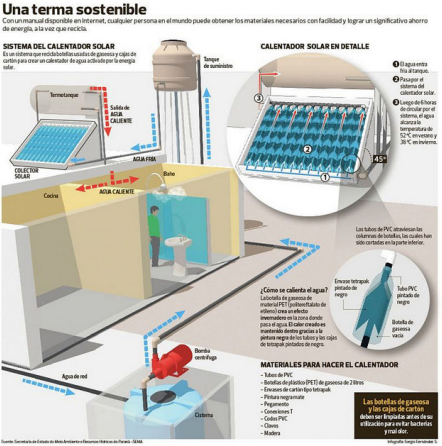
Alternativa	Descripción
Calentador solar de agua con tubos PVC 	El calentador de agua se debe colocar con la superficie en forma perpendicular a los rayos solares. La posición más eficiente varía dependiendo a la latitud para captar la radiación solar. Para almacenar el agua, el calentador debe unirse mediante una tubería, a un tanque que debe estar aislado con fibra de vidrio para evitar la pérdida de calor durante la noche, y poder contar con agua tibia en la mañana. Para realizar la instalación completa, se necesita colocar otro tanque a mayor altura, al cual ingrese el agua con el sistema que se utilice en el hogar (puede tener entrada de una manguera de agua corriente, llenarse manualmente o recolectar agua de lluvia). A una altura más baja debe quedar ubicado el calentador. Por último, el tanque aislado (tanque de reserva del calentador), debe estar más abajo y contar con un sistema tipo flotador de control de excesos y disponer de una salida para utilizarse. El sistema cuenta con los siguientes elementos: • Parrilla de tubos en PVC (superficie absorbedora). • Caja aislada (con aislación térmica). • Tanque de acumulación de agua caliente. • Conexiones de calentador y tuberías. Fuente: Solar MDP- (2016). https://solarmdp.wixsite.com/inicio/post/2016/09/05/te-contamos-como-ahorrar-dinero-calentando-el-agua-de-t%C3%BA-casa
Calentadores solares de tubos de vacío 	Los calentadores solares de tubos de vacío son los sistemas más usados. Absorben la radiación solar y los rayos infrarrojos a través de una serie de tubos de cristal y convierten la energía en calor. Este calor se transfiere al agua y se mueve por termosifón hacia un tanque donde se almacena y se conserva caliente. Estos tubos alcanzan temperaturas entre 50 y 190 grados Celsius dependiendo del modelo. El sistema cuenta con los siguientes elementos: • Tanque de almacenamiento de agua. • Red de distribución de agua. • Colector solar de tubos de vacío. Fuente: E-Ficiencia. (2023). https://e-ficiencia.com/calentadores-solares-consejos-ventajas-y-desventajas/

Tabla 4
Alternativas para tener agua caliente en el prototipo

Alternativa	Descripción
Calentador con paneles solares- REHAU 	A diferencia de otros sistemas, el termosifón Rehau-Solect, es un novedoso sistema de placas solares que busca cubrir la demanda de agua caliente de uso doméstico. Su funcionamiento se basa en la circulación del fluido en el circuito primario, por la convección natural gracias a las diferencias de densidad entre el fluido caliente y el frío. El fluido del colector asciende a medida que se ha calentando como consecuencia de la radiación solar. Al llegar al acumulador, el fluido trasfiere su calor y vuelve enfriado hacia el colector a través de las tuberías de retorno. El equipo funciona sin necesidad de energía auxiliar, por lo tanto, puede utilizarse en sitios en donde no haya corriente eléctrica. El sistema cuenta con los siguientes elementos: • Termosifón Rehau-Solect. • Bomba centrífuga. • Paneles solares. • Red de distribución de energía. • Red de distribución de agua. Fuente: Interempresas. (2008). Rehau Solect. https://www.interempresas.net/Agua/Articulos/23078-Construir-aprovechando-la-energia-del-Sol.html
Calentador con botellas PET 	En este sistema los tubos de PVC atraviesan las columnas de botellas de plástico PET, las cuales han sido cortadas en la parte interior. Las botellas de PET crean un efecto invernadero en la zona donde pasa el agua, el calor creado es mantenido dentro gracias a la pintura de los tubos y las cajas Tetrapak. Su funcionamiento empieza con el agua fría entrando por el tanque, de manera posterior pasa por el sistema del calentador solar y luego de 6 horas de circular por el sistema, el agua alcanza temperaturas entre 38 grados 52 grados Celsius, dependiendo de la zona de estudio. El sistema cuenta con los siguientes elementos: • Tubos, conexiones T y codos de PVC. • Botellas de plástico (PET) de 2 litros. • Envases de cartón tipo Tetrapak. • Pintura negra mate. • Pegamento. • Clavos y madera. Fuente: Carbotecnia. (2019) Calentador con botellas PET y Tetra Pak. https://www.carbotecnia.info/hacer-un-calentador-solar-con-botellas-pet-y-tetra-pak/

En los sistemas de calentadores solares de agua presentados en la tabla anterior, se tiene como principal enfoque el reducir el consumo de energía eléctrica, siendo las cuatro alternativas propuestas soluciones eficientes y seguras. Las alternativas de uso de tubos PVC o el reúso de botellas de plástico PET, se destacan por su simplicidad y bajo costo en relación con las otras opciones. Adicionalmente, la alternativa de reúso de plástico PET y cajas de Tetra Pak, plantean un beneficio ambiental adicional, al darle un nuevo uso a este tipo de residuos sólidos. Las alternativas de calentadores solares de tubos vacíos y el sistema con paneles solares REHAU, podrían considerarse las más costosas y complejas, sin embargo, pueden tener un mayor nivel de durabilidad a través del tiempo y menor requerimiento de mantenimiento debido al tipo de materiales usados.

Norma técnica y legal en Colombia en construcción de infraestructura



Política pública de construcción sostenible

En Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), adoptó a partir del año 2008 la política de gestión ambiental urbana, en la cual se establece como uno de sus objetivos de gestión, contribuir al mejoramiento de la calidad del hábitat urbano, teniendo como meta específica la definición y establecimiento de principios y lineamientos ambientales para el diseño y a la construcción de vivienda. los criterios propuestos se dividen en cuatro ejes principales de estudio:

- La energía.
- El agua.
- Los materiales de construcción.
- El suelo.

El último desde el uso sostenible, la calidad y uso del espacio habitable (MADS, 2012). En el desarrollo del documento del MADS podemos encontrar desde los conceptos básicos sobre la vivienda, sus diferentes tipos y sus procesos de gestión y producción en Colombia, como también los alcances y diferentes conceptos de arquitectura y vivienda sostenible, así como un diagnóstico de las problemáticas ambientales de la vivienda tanto a nivel internacional como nacional.

También el documento incluye un ejercicio de zonificación climática que se realizó con el fin de desarrollar los criterios ambientales para vivienda de acuerdo con las condiciones específicas de la diversidad climática en Colombia; y de manera posterior, determinar los criterios ambientales para la construcción y uso de la vivienda para los cuatro ejes temáticos establecidos bajo tres objetivos ambientales: racionalizar el uso de los recursos, sustituir por alternativas óptimas y minimizar el impacto ambiental (MADS, 2012).

Finalmente en Colombia se cuenta con dos documentos del Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) en el tema de construcción sostenible, los cuales son documentos de política pública que se elaboran con el fin de solucionar problemáticas transversales en cuya solución participan varios sectores y cuya formulación es coordinada por el Consejo Nacional de Política Económica y Social quien es la máxima autoridad nacional de planeación y se desempeña como organismo asesor del Gobierno en todos los aspectos relacionados con el desarrollo económico y social del país (MADS, 2023).

El documento CONPES 3919: Política Nacional de Edificaciones Sostenibles de 2018, plantea la política nacional para el fomento de la construcción de edificaciones sostenibles, la cual tiene como objetivo impulsar la incorporación de criterios de sostenibilidad para todos los usos dentro de las etapas del ciclo de vida de las edificaciones. Esta política considera ajustes normativos, mecanismos de seguimiento y de incentivos económicos que permitan mitigar los efectos

negativos que generan las edificaciones sobre el ambiente. A su vez esta política también busca mejorar las condiciones de habitabilidad y generar oportunidades de empleo e innovación en este sector (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2018).

El documento CONPES 3700: Estrategia Institucional para la Articulación de Políticas y Acciones en Materia de Cambio Climático en Colombia, del año 2011, en el cual la construcción de infraestructura es uno de los sectores socioeconómicos que contribuye a la generación de gases de efecto invernadero. Por tanto, es necesario comprender y actuar frente a este fenómeno como una problemática de desarrollo económico y social.

Como parte de la norma enmarcada en la sostenibilidad, a continuación, se detallan las estrategias para una arquitectura Sostenible, contenidas en el Anexo 1 de la Resolución 0549 de 2015. Posterior a esto, se presentan las normativas que reglamentan la gestión de los sistemas hidrosanitarios y de aprovechamiento de agua.

Normativa técnica y legal

La normatividad en Colombia tiene diferentes enfoques según el campo de aplicación, para un proyecto de esta magnitud, se pueden utilizar diferentes normas desde los diversos campos profesionales que definen y conforman el diseño desde el desarrollo técnico y estructural, hasta la sostenibilidad de los materiales de construcción del prototipo.

A continuación, se presenta una recopilación del marco regulatorio y de los documentos de política pública relacionados con la construcción sostenible establecidos en Colombia.

Inicialmente se destaca el Decreto 1285 del 2015, por el cual se modifica el Decreto 1077 de 2015, “Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio”, en lo relacionado con los lineamientos de construcción sostenible para edificaciones. Este decreto establece los lineamientos de construcción sostenible relacionados con el ahorro de agua y de energía en las edificaciones, encaminado a alcanzar el mejoramiento en la calidad de vida de los habitantes, así como la implementación de acciones basadas en la responsabilidad social y ambiental (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2015).

Por otro lado, la Resolución 0549 de 2015, como norma nacional del Ministerio de Vivienda define los lineamientos y parámetros de construcción sostenible que deben seguir las nuevas edificaciones que se desarrollen en el país, buscando así alcanzar las metas mínimas relacionadas con la reducción del consumo de energía y agua en este sector. En su anexo 1, esta resolución presenta una guía

de construcción sostenible para el ahorro del agua y energía en edificaciones, teniendo en cuenta criterios como el clima de la zona donde se quiere implementar el proyecto.

También se puede citar el artículo 13 de la Resolución 319 del 2022 que deroga la Resolución 196 de 2020 expedida por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), la cual establece los procedimientos necesarios para conceptuar sobre aquellos proyectos de construcción sostenible que tengan incorporado procesos de eficiencia energética o gestión eficiente de la energía y deseen presentarse para acceder a los beneficios tributarios sobre el Impuesto al Valor Agregado (IVA) y la renta, en equipos, materiales y estrategias que optimicen el desempeño energético de las edificaciones (UPME, 2022). Esta resolución busca beneficiar a los constructores que implementan en sus obras estrategias de sostenibilidad enfocadas en eficiencia energética y el cuidado del ambiente.

Por otro lado, se cuenta con la norma técnica colombiana NTC 6112 de etiquetas ambientales, en la cual se establecen los criterios ambientales para diseño y construcción de edificaciones sostenibles para uso diferente al de vivienda (ICONTEC, 2016). Esta norma define los procedimientos que permiten identificar los aspectos ambientales que se puedan controlar y aquellos sobre los que pueda influir y estén asociados al proyecto de construcción durante cada una de sus etapas, buscando así determinar aquellos aspectos ambientales que tienen o pueden tener impactos significativos sobre el ambiente.

Esta norma técnica promueve la inclusión de los criterios de sostenibilidad para todos los usos dentro de todas las etapas del ciclo de vida de las edificaciones, a partir de instrumentos como el Sello Ambiental Colombiano (SAC), iniciativa por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el cual es una certificación que permite demostrar el cumplimiento eficaz de los criterios ambientales establecidos en esta normativa (ICONTEC, 2016).

Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones

Esta guía propone las principales estrategias que deben incorporar los proyectos sostenibles. Algunas de estas son:

- Eficiencia energética: a través del uso de sistemas de iluminación eficiente, el aislamiento térmico adecuado y el uso de energías renovables.
- Gestión de los Materiales y residuos: uso de materiales que permitan disminuir el impacto ambiental, así como la adecuada gestión de los residuos de construcción y demolición.

- Gestión del agua: contar con sistemas para la recolección y aprovechamiento de las aguas lluvias, así como la incorporación de sanitarios y grifos con un consumo eficiente de agua.
- Calidad del ambiente interior: promover condiciones adecuadas para la comodidad térmica, visual y auditiva para el correcto funcionamiento de los espacios.
- Sistemas de transporte sostenible: promover el uso de sistemas sostenibles de transporte como las bicicletas, vehículos eléctricos y transporte público.

El documento propone una serie de medidas de diseño pasivas, basadas en las características climáticas de cada región del país. Entre las principales estrategias de diseño que propone, están:

- Relación ventana-Pared: teniendo en consideración que las ventanas transmiten calor al interior del espacio a una tasa mayor que las paredes.
- Sombreamiento horizontal, vertical y sombra: necesarios en climas tropicales como estrategias que permita disminuir el calor al interior del espacio.
- Vidrios: valor U/ coeficiente de ganancia de calor/ valores del conjunto de acristalamiento: todos valores que ayudan a la mejor elección del vidrio en relación con su exposición directa o indirecta a la radiación solar.
- Valor U de muro y de cubierta: tasa de pérdida de calor de la envolvente, referida a los muros y a la cubierta.
- Reflectividad de pared y de cubierta: reflectividad de la radiación en la envolvente, referida a los muros y a la cubierta.
- Estanqueidad: fugas de aire, las cuales están relacionadas con el consumo energético requerido para la climatización.
- Ventilación natural: estrategias para el ingreso, movimiento y remoción del aire al interior del espacio sin utilizar medios mecánicos.
- En la normativa también se apuesta por las estrategias activas como la iluminación o el acondicionamiento térmico mecánico. Sin embargo, estas no hacen parte del universo de referencia de la propuesta desarrollada y presentada en el libro, por lo cual, solo se deja mencionado.

Norma para los sistemas hidrosanitarios y de aprovechamiento de agua lluvia

Para el correcto diseño y construcción de los sistemas de suministro de agua potable, los sistemas de drenaje de aguas residuales y lluvias en las edificaciones, así como de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia para consumo y uso alternativo, existen una serie de normativas y criterios técnicos a tener cuenta, los cuales son consignados en la Tabla 5.

Tabla 5

Marco legal para el uso y conservación del agua, para el diseño y construcción de los sistemas de suministro de agua potable, de drenaje de aguas residuales y lluvias y de aprovechamiento de agua lluvia

Norma	Descripción
Ley 23 de 1973	Por el cual se conceden facultades extraordinarias al presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Ley 142 de 1994	El establecimiento del sistema de servicio público domiciliario y la emisión de otras regulaciones. Este documento pertenece al tipo legal y al marco legal normativo de la entidad.
Ley 373 de 1997	Por el cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
Decreto 3102 de 1997	Por el cual se reglamenta el artículo 15 de la Ley 373 de 1997 en relación con la instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua.
Norma ICONTEC NTC 1500 de 2004	Esta es la normativa técnica que rige en los procesos de diseño y construcción de instalaciones hidráulicas y sanitarias en proyectos de construcción de edificaciones con fines residenciales, industriales y comerciales en Colombia. Esta norma especifica los requisitos mínimos para asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas de suministro de agua potable; sistemas de drenaje de aguas residuales y pluviales; sistemas de ventilación; y los instrumentos y equipos necesarios para operar y utilizar estos sistemas.
Resolución 2115 de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
Resolución 493 de 2010	Por la cual se adoptan medidas para promover el uso eficiente y ahorro del agua potable y desincentivar su consumo excesivo.
Decreto 3050 de 2013	Su propósito es establecer términos y condiciones para la tramitación de las solicitudes de viabilidad y disponibilidad de los servicios públicos domiciliarios ofrecidos por los prestadores de servicios públicos de acueducto y/o alcantarillado.
Decreto 1076 del 2015	Por medio de la cual se expide el Decreto Único de Reglamento del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Este decreto retoma entre otros el Decreto 3930 de 2010, el cual formula regulaciones relacionadas con el uso de recursos hídricos, regulaciones de gestión de recursos hídricos y regulaciones sobre descarga a recursos hídricos, suelo y alcantarillado.
Resolución 0330 del 2017	En la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento –RAS. Este documento consolida los requisitos técnicos que se debe cumplir en las etapas de diseño, las obras y procedimientos correspondientes a este sector y sus actividades complementarios.
Decreto 1090 de 2018	Por el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua y se dictan otras disposiciones. De forme específica reglamenta la Ley 373 de 1997 en lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua y aplica a las Autoridades Ambientales, a los usuarios que soliciten una concesión de aguas y a las entidades territoriales responsables de implementar proyectos o lineamientos dirigidos al uso eficiente y ahorro del agua.
Resolución 1256 de 2021	Por la cual se reglamenta el uso de las aguas residuales y se adoptan otras disposiciones. Esta resolución derogó la Resolución 1207 de 2014.

Metodología



Selección del sistema constructivo

Para la selección del sistema constructivo del prototipo se empleó el método de análisis jerárquico de procesos (AHP, por sus siglas en inglés). Con su aplicación es posible seleccionar entre distintas alternativas en función de una serie de criterios o variables de selección, normalmente jerarquizadas y que pueden entrar en conflicto entre sí (Vargas, 2010).

Se evaluaron seis alternativas de sistemas constructivos. Estas se definieron a partir de la revisión de literatura realizada, sobre tipos de prototipos y sistemas de construcción (capítulo 1). Los tipos de sistemas constructivos evaluados incluyeron el uso de bloques en concreto fabricados in situ y prefabricados, de bloques de ladrillo, pórticos en metal, en concreto y en madera. Las alternativas definidas para su evaluación se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6
Alternativas de sistemas constructivos evaluadas para el diseño del prototipo

Alternativa (#)	Descripción del sistema constructivo
1	Mampostería en bloque de concreto
2	Mampostería en bloque de ladrillo
3	Pórticos en metal
4	Pórticos en concreto
5	Pórticos en madera
6	Pieza en concreto prefabricado

Para la selección de la alternativa de sistema constructivo a utilizar en el diseño del prototipo se consideraron como criterios aquellos atributos del sistema que condicionan su desempeño ambiental, técnico y económico y que son relevantes para garantizar la sostenibilidad del prototipo. Siguiendo la estructura jerárquica del método AHP se definieron seis criterios y 23 subcriterios. En la Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12 se presentan los criterios y subcriterios establecidos y su correspondiente descripción:

Tabla 7
Criterio y subcriterios de sostenibilidad ambiental

Tipo	Descripción	Código	Descripción
Criterio	Sostenibilidad ambiental	C1	Evalúa la capacidad de las características propias de los sistemas de construcción para prevenir y minimizar los impactos ambientales ocasionados durante su ciclo de vida.
Subcriterio	Generación de emisiones de gases efecto invernadero	C1-SC1	Evalúa el nivel de emisiones de gases efecto invernadero debido a la obtención de los insumos y el proceso de construcción de la infraestructura debido al sistema constructivo empleado, teniendo en cuenta las etapas de extracción de materias primas, fabricación del material de construcción y transporte del material, requerido en el sistema constructivo.
	Requerimientos energéticos	C1-SC2	Evalúa el nivel de los requerimientos energéticos de cualquier tipo de fuente, incluye energía no renovable de origen fósil, nuclear, de biomasa y renovable de origen solar, geotérmica, eólica e hídrica, en los procesos de obtención de insumos y la construcción del sistema. Incluye los requerimientos energéticos por uso de maquinarias y transporte en dichos procesos.
	Requerimientos de agua	C1-SC3	Evalúa el nivel de los requerimientos de agua en los procesos de obtención de insumos y durante el proceso constructivo del sistema.
	Requerimientos de recursos abióticos para la fabricación de los insumos	C1-SC4	Evalúa el nivel de los requerimientos de recursos abióticos para la fabricación de los insumos necesarios para el sistema constructivo. Por ejemplo, materia prima como la caliza, arcilla, arenan necesarias para la elaboración del cemento, o minerales como hierro, manganeso, níquel, necesarios en la producción de acero, entre otros.
	Posibilidad de generación de otros impactos ambientales	C1-SC5	Evalúa la posibilidad de generar otros impactos asociados a los procesos de obtención de insumos y construcción del sistema, según el sistema evaluado. Algunos impactos ambientales identificados durante la extracción de materias primas son: Cambio climático, ecotoxicidad, formación de material particulado, agotamiento de recursos minerales, acidificación, eutrofización.
	Posibilidad de recuperación de materiales	C1-SC6	Evalúa la posibilidad de recuperar los materiales usados para la construcción de la infraestructura una vez haya finalizado su vida útil.

Tabla 8
Criterio y subcriterios de uso del espacio

Tipo	Descripción	Código	Descripción
Criterio	Uso del espacio	C2	Evalúa la flexibilidad del sistema constructivo para permitir el uso de un mismo espacio para diferentes actividades con el fin de satisfacer adecuadamente las necesidades del usuario.
Subcri- terio	Posibilidad de usar un espacio para diferentes propósitos	C2-SC1	Evalúa la posibilidad de emplear el mismo espacio para diferentes propósitos, por ejemplo, educación, salud, hospedaje transitorio.
	Facilidad de adecuación para cambiar el propó- sito de uso	C2-SC2	Evalúa la facilidad de cambio en el uso del espacio, sin recurrir a grandes obras civiles que impliquen costos y alteración del componente estructural.
	Claridad en la organización espacial para el uso requerido	C2-SC3	Evalúa la posibilidad de desarrollar todos los compo- nentes espaciales y funcionales que requieran cada tipo de uso: espacio para vivienda o espacio para salud y para la educación, circulación, con suficiente área y componentes.
	Valoración estética	C2-SC4	Evalúa la facilidad de incorporar al sistema construc- tivo elementos que sean representativos del entorno en donde se desarrolla el proyecto.

Tabla 9
Criterio y subcriterios de comportamiento sismorresistente

Tipo	Descripción	Código	Descripción
Criterio	Comportamiento sismorresistente	C3	Evalúa la capacidad de sistema constructivo para cumplir los requisitos establecidos en el reglamento NSR-10 según la clase de ocupación, el número de ocupantes, área y evacuación.
Subcri- terio	Viabilidad del cál- culo estructural en el marco de la Norma NSR-10	C3-SC1	Evalúa si permite la aplicación de un sistema estruc- tural con criterios definidos y que tenga la posibilidad de diseñarse estructuralmente.
	Seguridad de la infraestructura respecto a ame- nazas naturales	C3-SC2	Evalúa la vulnerabilidad de la infraestructura frente a desastres naturales (sismos, vendavales), lo cual contribuye a la resiliencia de esta.

Tabla 10
Criterio y subcriterios de eficiencia constructiva

Tipo	Descripción	Código	Descripción
Criterio	Eficiencia constructiva	C4	Evalúa el rendimiento y optimización de los recursos empleados durante el proceso de fabricación y construcción de los módulos.
Subcriterio	Optimización en los tiempos de construcción y montaje	C4-SC1	Evalúa el tiempo de construcción y montaje en el sitio, buscando priorizar un menor requerimiento de procesos y maquinaria.
	Posibilidad de prefabricación de elementos estructurales y no estructurales	C4-SC2	Evalúa la posibilidad de prefabricar piezas en grandes formatos para la disminución de costos y elementos que intervienen en la construcción del sistema constructivo, logrando una mayor rapidez de montaje.
	Facilidad de ensamblar las distintas partes del proyecto con procesos secos y rápidos	C4-SC3	Evalúa la posibilidad de ensamblar las piezas del sistema en seco y con procesos fáciles de implementar.
	Complejidad en los procesos de cimentación y trabajo en la tierra	C4-SC4	Evalúa la necesidad de adecuar el terreno para recibir el prototipo.
	Cantidad de elementos constructivos portantes y no portantes	C4-SC5	Evalúa el número de elementos constructivos requeridos en cubierta, cerramientos y acabados, teniendo en consideración cuál sistema posee la menor variedad de elementos constructivos portantes y no portantes, lo que permitirá mayor rapidez en la construcción de la obra.
	Facilidad de emplear mano de obra local	C4-SC6	Evalúa la facilidad de manejar mano de obra local con conocimiento y experiencia en la construcción.
	Facilidad de transporte de todos los elementos constructivos	C4-SC7	Evalúa facilidad de transportar el sistema constructivo en diferentes topografías.

Tabla 11
Criterio y subcriterios de comportamiento bioclimático

Tipo	Descripción	Código	Descripción
Criterio	Comportamiento bioclimático	C5	Se evalúa la capacidad de implementar estrategias pasivas de diseño de los sistemas constructivos, de manera que estos contribuyan a una mejor habitabilidad, teniendo en cuenta las condiciones climáticas, aprovechando los recursos disponibles en el entorno.
Subcriterio	Adecuado comportamiento bioclimático en la envolvente vertical	C5-SC1	Evalúa qué tan adecuado es el desempeño de los muros frente a situación de frío o calor.
	Adecuado comportamiento bioclimático en la envolvente horizontal	C5-SC2	Evalúa qué tan adecuado es el desempeño de la cubierta frente a situación de frío o calor.

Tabla 12
Criterio y subcriterio de viabilidad económica

Tipo	Descripción	Código	Descripción
Criterio	Viabilidad económica	C6	Se evalúan los costes del desarrollo e implementación del proyecto de tal modo que este se puede ejecutar completamente desde la etapa inicial hasta la etapa final, considerando una óptima relación calidad-precio.
Subcriterio	Costos de los materiales que componen el sistema constructivo	C6-SC1	Evalúa el valor económico de los materiales y recursos necesarios para la construcción del sistema.
	Otros costos constructivos que intervienen en el proceso de la obra	C6-SC2	Se evalúan otros costos como mano de obra, transporte, bodegaje, etc.

Los criterios y subcriterios definidos fueron evaluados por un grupo de expertos mediante una comparación pareada, utilizando la escala de Saaty. Para esta evaluación se diseñó un instrumento en Excel. En la Tabla 13 se presenta un ejemplo del formato de la matriz de comparación pareada y en la Tabla 14 se presenta la escala de comparación utilizada.

Tabla 13
Ejemplo de formato diseñado para la aplicación de la comparación pareada

Criterio	Marque con x	Criterio	Marque con x	Valoración
Sostenibilidad ambiental	X	Uso del espacio		Fuertemente más importante
Sostenibilidad ambiental		Comportamiento sismo resistente	X	Extremadamente más importante
Sostenibilidad ambiental	X	Eficiencia constructiva		Fuertemente más importante
Sostenibilidad ambiental	X	Comportamiento bioclimático		Mucho más importante
Sostenibilidad ambiental	X	Viabilidad económica	X	Igual importancia
Uso del espacio		Comportamiento sismo resistente	X	Extremadamente más importante
Uso del espacio	X	Eficiencia constructiva	X	Igual importancia

Fuente: adaptado de Manyoma (2016).

Tabla 14
Escala de comparación de Saaty

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Los dos criterios tienen igual relevancia para el objetivo
3	Ligeramente más importante	La experiencia y el juicio favorecen levemente a un criterio sobre el otro
5	Mucho más importante	Uno de los criterios es fuertemente favorecido
7	Fuertemente más importante	Uno de los criterios es fuertemente dominante
9	Extremadamente más importante	La evidencia que favorece a uno de los criterios es del mayor orden de afirmación

Fuente: (Saaty 1977)

El instrumento diseñado se aplicó a un grupo de expertos, seleccionados por su experiencia y conocimiento en sistemas constructivos. De este grupo hicieron parte profesores e investigadores de los campos de arquitectura e Ingeniería, que han desarrollado proyectos de construcción sostenible.

Los expertos valoraron comparativamente los criterios, usando escala verbal. Los resultados de esta valoración se tabularon y procesaron, asignando la valoración

numérica correspondiente (Tabla 14). A partir de estos resultados se determinó el peso de los criterios y subcriterios respectivos. Posteriormente, los expertos evaluaron comparativamente las alternativas existentes respecto a cada criterio. El resultado obtenido es la ponderación de las alternativas para cada uno de los criterios.

En el caso de las matrices de comparación con más de cuatro elementos, se determinó el cociente de inconsistencia (C.C) de los resultados de la evaluación realizada por cada experto. Cuando este cociente fue mayor a 0,1, los resultados de la matriz analizada se consideraron “inconsistentes”, esto condujo a la revisión de los juicios subjetivos y la repetición del proceso por parte de los evaluadores. Los resultados considerados en la evaluación fueron aquellos para los que C.C fue menor o igual a 0,1.

Una vez analizados los resultados y la consistencia de estos, se obtuvo una ponderación global, que permitió establecer la prioridad de las alternativas. Finalmente, la alternativa seleccionada fue la de mayor prioridad según los resultados obtenidos. De esta manera, la aplicación de la técnica de análisis multicriterio AHP fue utilizada para seleccionar el sistema constructivo del prototipo a diseñar.

Metodología para el diseño arquitectónico y bioclimático del prototipo

La metodología llevada a cabo se basa en el proceso de diseño bioclimático, fundamentado en un modelo experimental para la validación de su desempeño térmicos, visual y sostenible en sus procesos de gestión de los sistemas de aguas y en su impacto ambiental.

De acuerdo con la explicación teórica del proceso de diseño bioclimático, basado en el trabajo adelantado por el Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC) en la Plata, Argentina, liderado por San Juan *et al.* (2013), realizado en la primera parte del documento, la metodología seguida para el diseño del prototipo siguió las siguientes etapas:

- Etapa 1: análisis bioclimático general: Levantamiento de datos climáticos, condiciones climáticas locales, selección de las principales estrategias de diseño pasivas en relación con el clima. Esta etapa se presenta en la primera parte de los resultados.
- Etapa 2: etapa basada en el modelo experimental, para el dimensionamiento inicial de condiciones tecnológicas de la envolvente (selección de los materiales de la propuesta bajo criterios de habitabilidad y de impacto ambiental), dimensionamiento inicial a partir del comportamiento térmico y de protección solar.

- Etapa 3: dimensionamiento final (pre-cálculo): Reducción del impacto ambiental, dimensionamiento final de los elementos constructivos y de la envolvente

Todas las anteriores etapas fueron abordadas, a excepción de la última de las etapas, la de auditoría ambiental (objetiva y subjetiva), debido a que esta etapa se realiza en la fase de funcionamiento del proyecto, una vez se ha construido y está siendo habitado. Esta etapa permite, verificar las decisiones tomadas en función de contrastar las hipótesis iniciales planteadas en las primeras fases de diseño (San Juan *et al.*, 2013).

Dimensionamiento inicial. Corresponde a la Etapa 2 previamente mencionada. En el caso del prototipo para infraestructura básica, los siguientes son los aspectos más importantes a tener en cuenta desde el punto de vista arquitectónico, son la flexibilidad, adaptabilidad y progresividad. Desde el punto de vista técnico, los principales principios son:

- Facilidad constructiva: el diseño del prototipo debe permitir que su proceso de ejecución pueda ser llevado a cabo por cuadrillas de trabajo con conocimientos elementales de construcción, en vez de personal especializado, de tal manera que se facilite su construcción en diferentes entornos de mano de obra. Las “instrucciones de armado” deben ser de fácil comprensión y los ensambles de una lógica constructiva básica. Con el mismo objetivo, la cantidad de los elementos constitutivos a ser ensamblados debe ser la menor posible, con pocas variaciones, de tal manera que no sea confusa su producción, selección e instalación.
- Rapidez de obra: derivado del punto anterior, la ejecución del prototipo debe permitir su puesta a punto en un tiempo mínimo, toda vez que en muchas ocasiones estará encaminado a solucionar situaciones de necesidad apremiante e incluso de emergencia. La construcción en seco en el sitio de obra, realizada a través de ensambles, uniones soldadas o pernadas, pueden facilitar este aspecto.
- Prefabricación: el proceso de prefabricación ofrece amplias ventajas competitivas sobre la construcción en sitio, entre las que se tienen: acudir a procesos industrializados que permitan un mejor control de insumos, generar menores desperdicios, permitir mayor eficiencia en la mano de obra y mayor seguridad laboral, posibilitar un mejor control de calidad en los elementos fabricados, mayor optimización de las secciones estructurales y disminución de los tiempos generales de construcción, pues, por ejemplo, se puede avanzar en la producción de los elementos constitutivos del prototipo mientras en el sitio de obra se hacen las adecuaciones requeridas en el terreno.
- Portabilidad y traslado: atendiendo el punto anterior, y con el fin de facilitar los procesos constructivos y la pronta puesta en funcionamiento de la solución requerida, se pretende que el prototipo tenga la característica de ser trasladado

e instalado rápida y fácilmente, para lo cual se debe tener en cuenta el tamaño y peso de sus partes constitutivas, considerando los equipos requeridos para su transporte, su capacidad de carga, y los necesarios para su instalación en el lugar definitivo. Eventualmente el prototipo podría ser también desmontado y vuelto a trasladar para ser reutilizado o reciclado, de manera que se debe considerar esta posibilidad.

- Durabilidad y resistencia: es muy común que las construcciones utilizadas en este tipo de infraestructura de montaje o ejecución rápida utilicen materiales de baja calidad o deficiente comportamiento en el tiempo. Se pretende que en esta propuesta se garantice una durabilidad competente y que las partes constitutivas del prototipo mantengan su estabilidad y resistencia ante las cargas y fenómenos ambientales que las afectan, a largo plazo.
- Consideraciones de sostenibilidad: la construcción es una de las actividades más contaminantes con el medio ambiente y por esta razón la propuesta investigativa del prototipo se ocupa concretamente en este aspecto. El análisis sostenible de los materiales y procesos requeridos para su formulación, construcción, montaje y uso es de total relevancia y será tenido en cuenta en su apartado correspondiente. Inherente a este aspecto, el prototipo deberá brindar las mejores condiciones de habitabilidad y confort a sus ocupantes.

Validación del desempeño térmico y visual. La Resolución 0549 de 2015 de obligatorio cumplimiento también, determina unas estrategias de diseño pasivas y activas a implementar en los edificios para lograr ahorros en agua y energía. Por otro lado, para determinar el confort, con implicaciones directas en el consumo energético, propone un rango entre 22 a 25 °C, sin mayor profundización en el modelo de medición, excepto la referencia directa a Fanger (1970).

Para entender mejor esta referencia es necesario remitirse a la norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017) la cual establece dos métodos para determinar el confort: el analítico y el adaptativo explicados en el segundo capítulo de este documento (Cap. 2. Componente del diseño bioclimático).

Si bien se reconoce la validez del modelo adaptativo como propuesta para entornos ventilados naturalmente, y para evidenciar la complejidad para el análisis del confort, existe en Colombia otro rango propuesto por la Norma Técnica Colombiana NTC 5316, la cual reglamenta las condiciones de confort higrotérmico en edificaciones. Define para Colombia un rango de confort para verano entre 22,5 a 26 °C T.O (temperatura Operativa), 60 % HR (Humedad relativa), y MET (actividad metabólica) $\leq 1,2$, donde al menos el 80 % de la población esté satisfecha, y (NTC 5316 Condiciones Ambientales Térmicas De Inmuebles Para Personas, 2004). Sin embargo, dado que la NTC es una norma con alcance de recomendación, mas no de obligatorio cumplimiento, se retoma para el presente análisis el rango propuesto por la resolución 0549.

En cuanto al confort visual, la Sociedad de Ingenieros en Iluminación de Norteamérica IESNA (del inglés Illuminating Engineering Society of North América), desarrollaron dos métricas que permiten complementarse (IES LM-83-12 Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy [SDA] and Annual Sunlight Exposure [ASE], 2012) y robustecer el análisis sobre desempeño lumínico.

Algunas de las medidas que se tuvieron en cuenta para establecer el rango de confort visual son (Tabla 15):

Tabla 15
Rango de confort visual

Iluminancia	Autonomía de luz en el espacio - SDA	Exposición solar anual - ASE (del inglés Annual Sunlight Exposure),	Factor de luz de día – DF
La medida de cuanta iluminación llega a una superficie cuantificada por la unidad lux (lumen/m2).	SDA (del inglés Spacial Daylight Autonomy) indica el porcentaje del área analizada por encima de un valor de iluminancia determinado en 500 lux, durante un tiempo específico.	La cual se refiere al porcentaje del área del piso que recibe al menos 1000 lux por al menos 250 horas ocupadas al año (Elghazi <i>et al.</i> , 2014), siendo un indicador relacionado con el deslumbramiento o discomfort como lo indican Kazanasmaz <i>et al.</i> (2016).	DF (del inglés Daylight Factor) es una métrica que proporciona un factor de luz diurna promedio, muestra la relación proporcional entre la luz de día que ingresa al espacio y de esparce sobre los metros cuadrados de piso del espacio.
La proporción del espacio al año que tiene 500 luxes con luz de día.	75 % del tiempo de uso del espacio.	Máximo 10 % (U.S. Green Building Council-USGBC, 2013)	La NTC 4595 para ambientes educativos recomienda valores superiores al 2 %.

Modelo experimental para el análisis del desempeño térmico y visual

El modelo experimental se basa en un prototipo teórico organizado en cinco instancias:

- Análisis de las temperaturas ambiente promedio en la situación de base y bajo la aplicación de estrategias de mejoramiento térmico.
- Análisis de los rangos de confort visual promedio en la situación de base y bajo la aplicación de estrategias de mejoramiento.
- Análisis y comparación de consumo energético en la situación de base y bajo la aplicación de estrategias de mejoramiento.

- Comparación y análisis de funcionamiento de todas las variaciones en paralelo con los tres análisis, el confort térmico visual y eficiencia energética.
- Modelo propuesta final con base en análisis y elección de mejores estrategias de funcionamiento del prototipo.

Como se explicó anteriormente, el caso base consiste en un modelo que funciona con toda la envolvente expuesta, como la propuesta más básica, la cual presenta una envolvente sin ningún elemento de sombreado, como tampoco, espacios de transición que permitan proteger las fachadas. Esto con el fin de verificar la validez de los elementos de sombreado como estrategias de diseño planteadas, en un proceso de validación paso a paso, estrategia por estrategia, con el fin de validar cada una hasta conseguir el resultado óptimo, como resultado final (Fig. 38).

El modelo se construye en el *software* Sketch Up en un ambiente de diseño arquitectónico. Sin embargo, a diferencia de la representación convencional con este *software*, el objetivo para la presente investigación es el de construir un modelo sencillo, con superficies sin ningún espesor ni detalle para el análisis posterior del caso base y la verificación de las estrategias de diseño aplicadas.

En el caso del confort térmico, se utiliza el plugin Open Studio: el cual permite analizar el desempeño térmico y energético, haciendo uso de un motor de análisis potente como es el Energy Plus, con los modelos de confort establecidos por la norma y las variables de análisis térmico, tan detalladas como se requiera (Fig. 38).

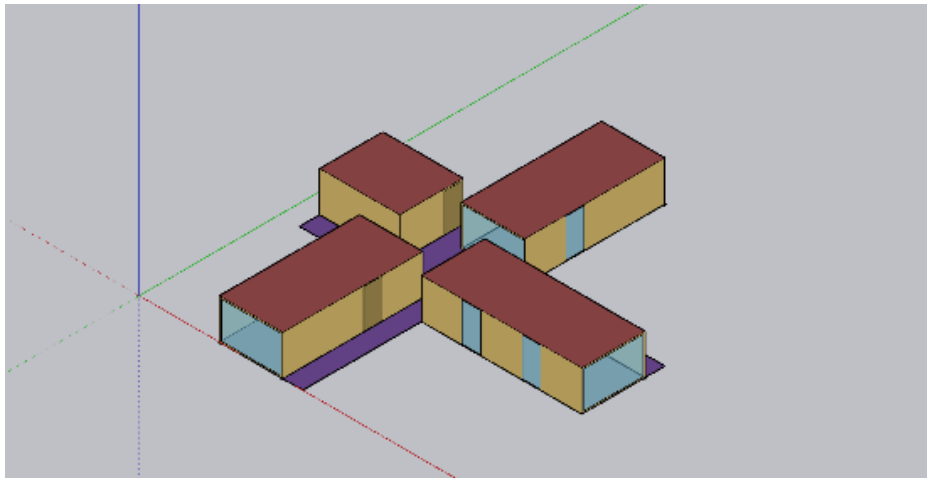


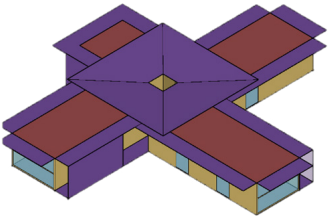
Fig. 38. Caso Base para la validación térmica del diseño del Prototipo. Fuente: elaboración propia.

Las estrategias de diseño implementadas en el modelo para mejorar el desempeño térmico se presentan de manera general en la siguiente tabla y de manera detallada en los resultados (Tabla 16).

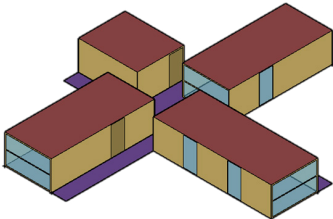
Tabla 16

Especificación de elementos de diseño para el análisis térmico

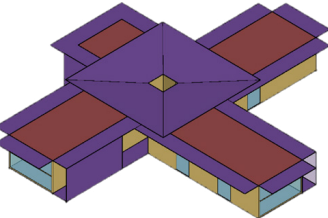
Elementos de sombreado: Como aleros, pasillos y la gran cubierta central que aportan sombreado a las ventanas y a las fachadas más expuestas.



Aislamiento y aumento de masa en la envolvente: aislamiento para los muros y aumento de masa a partir de la implementación de cubiertas verdes.



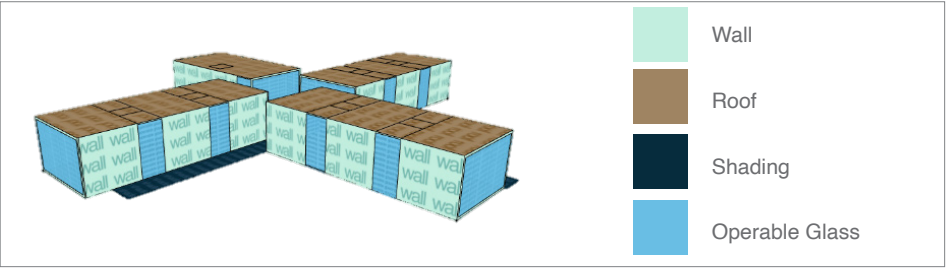
Consolidación: Agrupa los anteriores: Elementos de sombreado y aislamiento y el aumento de masa en la envolvente:



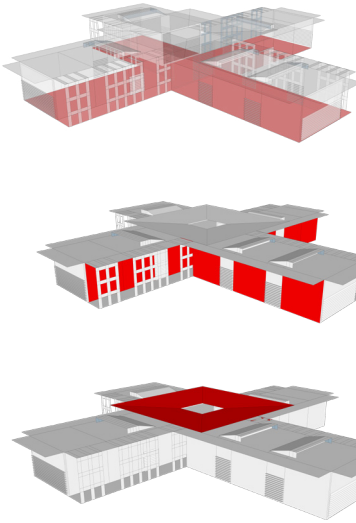
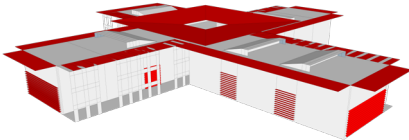
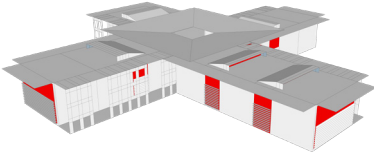
Fuente: elaboración propia.

Las estrategias de diseño implementadas en el modelo para mejorar el desempeño visual, se validan a través del plugin Sefaira, el cual permite analizar el desempeño visual a través de métricas dinámicas de desempeño anual (Fig. 39).

Fig. 39. Caso Base para la validación visual del diseño del Prototipo. Fuente: elaboración propia.



A continuación, se describen los elementos directamente involucrados en el análisis del desempeño visual, ver en la siguiente Tabla 17.

Tabla 17 Especificación de elementos de diseño para el análisis visual	
Techos, pisos y paredes exteriores: presentan un compromiso con el entorno exterior y la transferencia térmica con el mismo.	
Sombreado: estos elementos no experimentan transferencia de calor, sino las propiedades de sombreado.	
Acristalamiento operable: experimentan transferencia térmica con el ambiente exterior y ganancias de calor solar, sin embargo, estos permiten la ventilación natural.	

Fuente: elaboración propia.

Al caso base se le aplican diferentes alternativas de diseño para lograr el mejoramiento del desempeño térmico y visual. En general existen unas estrategias recomendadas por la guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones, como por autores emblemáticos para climas cálidos y la bibliografía especializada en el tema.

La estrategia principal desde el confort visual es la del sombreado para mejorar el desempeño visual a través de evitar el deslumbramiento, sin embargo, se debe evitar el que el espacio resulte en penumbra con condiciones deficientes que obliguen a encender las lámparas desde tempranas horas del día.

Las estrategias o variaciones se aplican sobre un caso base, el cual es el prototipo en su versión más básica: sin elementos de sombreado y sin espacios de transición protegidos. Sobre el caso base se aplican estrategias, divididos en dos grupos de la siguiente manera:

- El primero consiste en espacios de transición como protección a los espacios interiores, conformado por corredores (y su fachada con jaula) y patios.
- El segundo grupo conformado por los elementos de sombreado sobrepuestos a la fachada, los cuales pueden ser:
 - Sombreado horizontal en fachada como persianas.
 - Sombreado superficies horizontales: consiste en los elementos del plano horizontal como aleros, cubierta en patio y lucernarios.

Consideraciones técnicas para el diseño de los sistemas de manejo de aguas

Uno de los puntos más importantes en el diseño del prototipo, es la selección de la alternativa más adecuada para los diferentes tipos de agua y su correcto manejo en el proyecto, porque con una correcta selección se garantiza la eficiencia y optimización de cada proyecto teniendo en cuenta el ámbito técnico, social, ambiental y económico.

Selección de alternativas a partir de la revisión de los casos de estudio

Para el cumplimiento de los objetivos del proyecto, se realizó primero una revisión de antecedentes, en el cual por medio de una matriz de alternativas se analizó la aplicabilidad de los diferentes sistemas sostenibles de manejo de aguas lluvias, grises, negras y agua caliente de acuerdo con el tipo de uso de la edificación y considerando si corresponde a una edificación nueva o una edificación en situación de emergencia.

Inicialmente, se separaron los prototipos para los sistemas de manejo de aguas lluvias, aguas grises, aguas negras y agua caliente según su aplicabilidad y tipo de infraestructura básica (tipo de uso de la edificación), es decir, se analizaron alternativas para un centro de educación (Tabla 18) otro de atención médica (Tabla 19) y finalmente la opción de hospedaje (Tabla 20), evaluando sus ventajas

y desventajas de implementación en otro uso de infraestructura. Adicionalmente, se plantearon alternativas para los sistemas de manejo de aguas según fuera una edificación nueva o una edificación a implementar en una zona después de un desastre o catástrofe natural (situación de emergencia).

Este análisis permitió descartar algunas alternativas que no son viables para su implementación en alguno de los casos, dando como resultado que cada uso del prototipo cuente con sus respectivas alternativas. Luego, se realizó una comparación de cada alternativa en su respectivo uso, analizando cuál de ellas sería más viable de implementar en edificaciones nuevas y en condición de emergencia, teniendo en cuenta sus materiales de construcción, costo de implementación, dificultad de mantenimiento, dificultad de implementación, impacto ambiental y social.

Para la definición de estas alternativas se tuvieron en cuenta criterios como 1. Rápida construcción y ensamblaje. 2. Flexibilidad. 3. Sostenibilidad ambiental, social y económica.

En general, se buscó plantear alternativas sostenibles que puedan reemplazar los sistemas tradicionales de manejo de aguas grises, negras y lluvias y que se puedan aplicar en lugares con o sin fácil acceso a equipos de construcción. Este análisis permitió seleccionar de una forma más integral la alternativa más adecuada para cada tipo de sistema de aprovechamiento y gestión de agua en el prototipo.

Tabla 18
Matriz de análisis de la aplicabilidad de sistemas sostenibles
de manejo de aguas en prototipos de educación

Aplicabilidad de los prototipos de los sistemas de gestión del agua según el tipo de infraestructura básica								
Tipo de infraestructura básica	Sistema de gestión de aguas lluvias		Sistema de gestión de aguas grises		Sistema de gestión de aguas negras		Sistema de gestión de agua caliente	
	Infraestructura nueva	Infraestructura en situación de emergencia	Infraestructura nueva	Infraestructura en situación de emergencia	Infraestructura nueva	Infraestructura en situación de emergencia	Infraestructura nueva	Infraestructura en situación de emergencia
	Imagen		Imagen		Imagen		Imagen	
Educativo	Ekomuro H20+ 		No aplica		Baño Grato 		No aplica	
	Tecnotri 				HumanHure 			
	AquaCell 	No aplica			eSOS 			

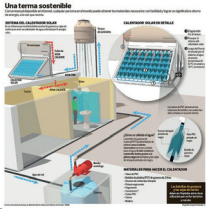
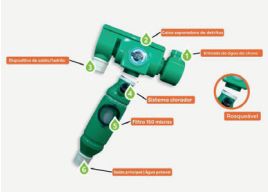
Fuente: elaboración propia.

Tabla 19
Matriz de análisis de la aplicabilidad de sistemas sostenibles de manejo de aguas en prototipos de salud.

Aplicabilidad de los prototipos de los sistemas de gestión del agua según el tipo de infraestructura básica								
Tipo de infraestructura básica	Sistema de gestión de aguas lluvias		Sistema de gestión de aguas grises		Sistema de gestión de aguas negras		Sistema de gestión de agua caliente	
	Infraestructura nueva	Infraestructura en situación de emergencia	Infraestructura nueva	Infraestructura en situación de emergencia	Infraestructura nueva	Infraestructura en situación de emergencia	Infraestructura nueva	Infraestructura en situación de emergencia
	Imagen		Imagen	Imagen	Imagen		Imagen	
Salud	Ekomuro H20+ 		Acqua Tempus 	No aplica	Baño Grato 		No aplica	
	Tecnotri 				HumanHure 			
	AquaCell 	No aplica			eSOS 			

Fuente: elaboración propia.

Tabla 20
Matriz de análisis de la aplicabilidad de sistemas sostenibles de manejo de aguas en prototipos de hospedaje

Aplicabilidad de los prototipos de los sistemas de gestión del agua según el tipo de infraestructura básica								
Tipo de infraestructura básica	Sistema de gestión de aguas lluvias		Sistema de gestión de aguas grises		Sistema de gestión de aguas negras		Sistema de gestión de agua caliente	
	Infraestructura nueva	Infraestructura en situación de emergencia	Infraestructura nueva	Infraestructura en situación de emergencia	Infraestructura nueva	Infraestructura en situación de emergencia	Infraestructura nueva	Infraestructura en situación de emergencia
	Imagen		Imagen	Imagen	Imagen		Imagen	Imagen
Hospedaje	Ekomuro H20+ 		Ecoguardian 		Baño Grato 		Calentador solar PVC 	
	Tecnotri 		Acqua Tempus 		HumanHure 		Calentador solar PET 	
	AquaCell 		Washup 				REHAU 	
	Chove-Chuva 		Ekoducha H20+ 		eSOS 		Calentadores de tubo vacío 	

Fuente: elaboración propia.

Después de analizar las alternativas y aplicarlas en el desarrollo del proyecto, se concluyó que la implementación del sistema de agua lluvias se puede implementar en el uso educativo del prototipo (el cual es el tema central de la propuesta), sin embargo, se puede también proponer para los otros dos tipos de uso del prototipo (i.e. salud y hospedaje), para la descarga de inodoros. De esta forma se puede disminuir el consumo de agua potable en las baterías sanitarias, dejando solo el uso de agua lluvia como fuente de agua potable para momentos de emergencia donde el agua potable no supla la demanda extra de la célula. Con esta implementación se busca reducir la presión al recurso hídrico dado por el sistema de acueducto, disminuyendo también el costo económico y fomentando el uso de recursos alternativos, dando así en las matrices diferentes alternativas que se pueden aplicar en el proyecto.

Por otro lado, para el uso del prototipo en hospedaje y educación se puede considerar el aprovechamiento de agua grises generadas en las duchas y lavamanos, para el riego de plantas y el lavado de pisos, techos y pasillos, esto con el fin de reducir aún más el uso de agua potable. Lo anterior permite también disminuir el impacto al ambiente de las aguas residuales, el costo económico en la factura de servicios públicos y proyectar un sistema de construcción sostenible. Finalmente, para la posibilidad de usar el prototipo para la atención de salud, no se sugirió el aprovechamiento de aguas grises por el riesgo de contaminación cruzada por algún fluido corporal de los pacientes, como puede ser sangre o materia orgánica y así afectar el sistema, por lo tanto, para este solo se recomienda el sistema de aprovechamiento de agua lluvia.

Para la representación gráfica de la recolección y conducción de agua lluvia, el trazado hidrosanitario y el de agua potable se realizó primero una figura en vista en planta (en dos dimensiones o 2D) con la ayuda del *software* REVIT, teniendo en cuenta los aspectos técnicos, constructivos, y normativos con el fin de mostrar las dimensiones, la ubicación y el diseño del trazado con precisión para poder realizar su implementación.

Luego, se realizó con ayuda del *software* REVIT la representación gráfica en diferentes caras del trazado en tres dimensiones o 3D, esto con el fin de documentar completamente el trazado y comunicar el desarrollo detallado de este, para facilitar el entendimiento y además su visualización.

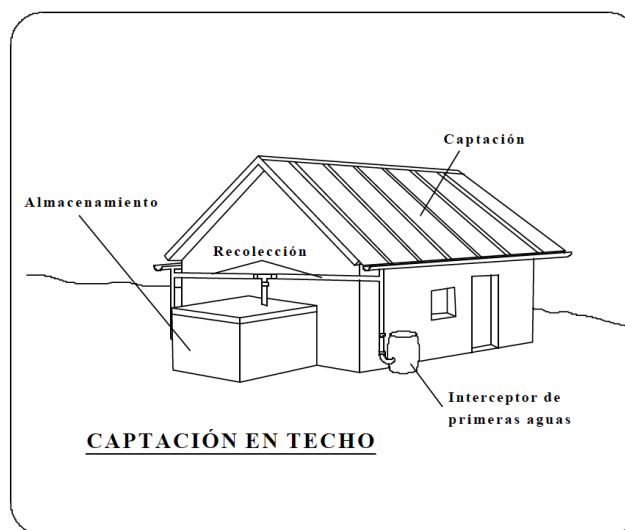
Sistema de aprovechamiento de agua lluvia

Después del análisis de las alternativas se propuso el aprovechamiento de aguas lluvias en la célula para los posibles tipos de uso del prototipo, teniendo en cuenta que este tipo de agua es un recurso que se puede aprovechar en la ubicación donde está planificado el proyecto, porque cuenta con la precipitación adecuada

para suplir la demanda de la célula. Además, se disminuye el impacto ambiental empleando las mejores prácticas de ingeniería, involucrando tanto la fase de construcción como la operación de dicha construcción.

En el sistema de aprovechamiento de aguas lluvia se debe tener en cuenta el dimensionamiento de los elementos más importantes, como es el alcance del sistema de aprovechamiento, el trazado de sistema, el volumen y tamaño de los tanques de almacenamiento que permitan optimar el sistema. También, se deben tener en cuenta múltiples criterios antes de proponer este aprovechamiento como son la hidrología de la zona, el tipo de construcción, el área de captación, la demanda. Así mismo, se debe tener en cuenta los componentes de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia en techos de flujo total, los cuales son el sistema de captación, recolección y conducción, pretratamiento, almacenamiento, drenaje, bombeo y distribución que se pueden apreciar mejor en la Figura 40.

Fig. 40. Sistema de aprovechamiento de aguas lluvias de flujo total con drenaje de excesos.
Fuente: (Bolaños, 2022).



- **Captación:** el sistema de captación está conformado por el techo de la edificación, el cual debe tener una pendiente mínima y el material de fabricación que debe ser el adecuado que permita la esorrentía del agua lluvia, además, una superficie que permita el escurrimiento de este recurso hasta el sistema de recolección.
- El material de fabricación de los techos puede variar en diferentes componentes como plancha metálica ondulada, tejas de arcilla o paja, etc. La plancha metálica es liviana, de fácil instalación y necesita poco mantenimiento, pero

puede tener un costo alto y dificultades de encontrarse en algunos lugares donde se intente instalar este sistema.

- **Recolección y conducción:** este sistema está constituido principalmente por tuberías o canaletas, ubicadas en los bordes de los techos, suelen ser abiertas o cerradas y su uso es el de direccionar el agua lluvia recolectada desde el techo hasta el tanque de almacenamiento. Este sistema no debe ser de gran peso, debe ser resistente al agua y de fácil ensamblaje entre sí, Por lo general se colocan mallas o rejillas sobre ellas para evitar la obstrucción del flujo del agua lluvia por materia orgánica como son las hojas secas u otros elementos inorgánicos de gran o menor tamaño.

Los materiales empleados para en la fabricación de canaletas o tuberías pueden ser madera, bambú, PVC o metal, además, se recomienda unas medidas mínimas de 75 mm y el máximo de 150 mm de ancho, como lo muestra Fig. 41, a continuación.

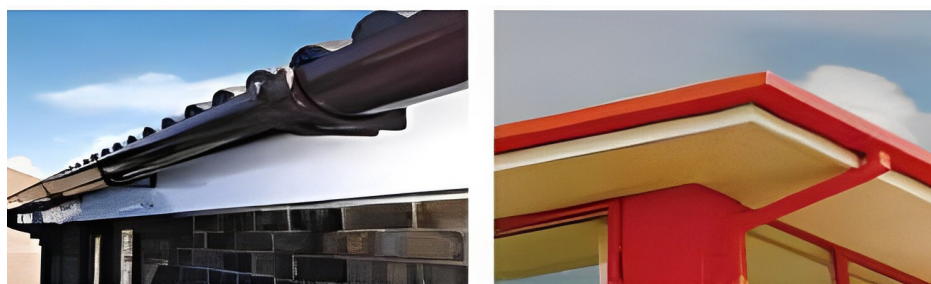


Fig. 41. Tipos de canaletas utilizadas para la recolección y conducción de aguas lluvias.
Fuente: (Bolaños, 2022).

- **Filtro o pretratamiento:** este sistema impide el ingreso al tanque de almacenamiento del material indeseable y de este modo permite disminuir la contaminación que conlleva el agua lluvia que será almacenada posteriormente.
- **Almacenamiento:** es el lugar destinado para conservar y distribuir el agua lluvia necesaria para suplir la demanda diaria de los usuarios o cualquier actividad que lo requiera. En cuanto al material de fabricación puede emplearse el metal, el plástico, el concreto reforzado o la fibra de vidrio, además, en cuanto a su forma puede variar entre cilíndrica, rectangular, esférica o cuadrada, esto dependerá del espacio y las necesidades del proyecto.

Para la construcción de unidades de almacenamiento se debe tener en cuenta que debe ser duradera y cumplir con las siguientes especificaciones:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o evaporación.

- No tener más de 2 metros de altura para minimizar las sobre presiones.
- Con tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos, materia orgánica y de la luz solar.
- Disponer de una escotilla con tapa sanitaria lo suficiente grande como para permitir el ingreso de una persona para su mantenimiento y limpieza.
- La entrada y el rebose deben contar con mayas para el ingreso de animales.
- Debe estar dotado de dispositivos para el retiro de agua y de drenaje.
- **Drenaje:** el tanque de almacenamiento en los sistemas de flujo total no tiene un interceptor de primeras lluvias, pero si un sistema adicional de consumo, el cual tiene como objetivo captar una cantidad específica de agua lluvia para después verterla mediante el sistema de drenaje, disminuyendo asimismo el impacto de agua lluvia en épocas de altas precipitaciones al sistema de un posible colapso o de daños en componentes posteriores.
- **Bombeo y distribución:** dependiendo de la ubicación geográfica de la zona donde se pretende implementar el sistema de aprovechamiento de agua lluvia, se debe tener en cuenta la magnitud del sistema de bombeo, porque dependiendo de la altura de las zonas de demanda, el sistema de bombeo debe ser mayor o menor. En sitios donde el tanque de almacenamiento está por debajo del sistema de distribución como edificios y techos se deben tener bombas de mayor presión, pero en sistemas donde el sistema de bombeo está prácticamente al mismo nivel de altura se requiere un sistema de bombeo menor. Por otro lado, en el sistema de distribución se debe determinar el material de la tubería y el material de los sistemas de control a instalar, debido al riesgo de una posible contaminación cruzada, la presión con la que se distribuye el agua, y la calidad del agua.
- **Diseño del tanque de almacenamiento:** para el diseño del tanque de almacenamiento de aguas lluvias se tuvo en cuenta la demanda hídrica de la edificación, la cual se calculó teniendo en cuenta la cantidad crítica de usuarios, la cantidad de descargas diarias de los inodoros, y la cantidad de días de uso de las baterías sanitarias. También se consideró la cantidad de plantas ornamentales que se planteadas en las fachadas del prototipo y la cantidad de camas de huertas urbanas en los techos. Luego, con este resultado, se obtiene el valor en volumen de agua que se debe garantizar en la edificación mensualmente, requerida para descargas de inodoros, riego de fachadas y techos.

La cantidad mensual de volumen de agua en la célula que se deben garantizar es el volumen neto del tanque de almacenamiento de aguas lluvias, a este valor se le adicionó un valor dado en las recomendaciones del CEPIS (2004) en el diseño final.

Por otro lado, se tuvo en cuenta la oferta hídrica de la zona la cual se calculó mediante la metodología del CEPIS (2004) con los valores de la precipitación en la zona de estudio, el área de captación de agua lluvia y el coeficiente de escorrentía, con el fin de determinar si la oferta hídrica mensual cumple con la demanda hídrica mensual de la célula.

Después se realizó el análisis de los resultados para tomar las mejores decisiones en el diseño del tanque de almacenamiento de aguas lluvias, garantizando así el abastecimiento de agua lluvia supliendo la demanda hídrica en la descarga de sanitarios, riego de fachadas y techos con huer-tas urbanas.

Sistema de manejo de aguas negras y aguas grises

A continuación, se presentan los principales apartados del código colombiano de instalaciones hidráulicas y sanitarias NTC-1500 del ICONTEC en su Capítulo 8. “Desagües sanitarios”, para un correcto diseño, construcción e instalación de los sistemas hidráulicos y sanitarios en edificaciones:

- La pendiente de la tubería sanitaria debe ser tal que se garantice su capacidad para evacuar el caudal de diseño, teniendo en cuenta una velocidad entre 0,60 m/s y 5 m/s o mínimo 0,15 kg.
- La conexión de ramales horizontales que se conecten en la base de las bajantes a los colectores se debe realizar a una distancia no menor de 10 veces el diámetro de la bajante de aguas abajo del punto de descarga de esta.
- Las juntas mecánicas y de expansión se deben instalar de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

En la Tabla 21 se pueden apreciar las conexiones de accesorios a la tubería de desagües que exige la NTC-1500 del ICONTEC.

- Todos los desagües horizontales deben contar con puntos de inspección ubicados a no más de 30 metros de distancia.

A continuación, en la Tabla 22 se ilustran las unidades de aparatos o accesorios y su valor unitario de desagüe como factor de carga, según la NTC-1500 del ICONTEC.

Tabla 21 Conexiones de accesorios a tuberías de desagües			
Tipo de accesorio patrón	Cambio de dirección		
	Horizontal a vertical	Vertical a horizontal	Horizontal a horizontal
Codo de un dieciseisavo	X	X	X
Codo de un octavo	X	X	X
Codo de un sexto	X	X	X
Codo de un cuarto	X	X*a	X*a
Curva cerrada	X	X*a, b	X*a
Curva abierta	X	X	X
T Sanitaria	X*c		
Y Sanitaria	X	X	X
Combinación Y sanitaria y curva de 1/8	X	X	X
a. El accesorio debe permitirse sólo para un desagüe de aparato de 2 pulgadas o menos			
b. 3 pulgadas o mayor			
c. Para una limitación a T sanitarias dobles.			

Tabla 22 Unidades de aparatos		
Tipo de aparato o accesorio	Valor unitario de desagüe de aparato como factor de carga	Dimensión mínima de sifón (pulgadas)
Lavaplatos, doméstico	2	1
Inodoro, privado (1,6 gpd)	3	1

En la Tabla 23, se indican las unidades de desagües de aparatos para desagües de aparatos o sifones en pulgadas y su valor unitario, según la NTC-1500 del ICONTEC.

Tabla 23 Unidades de desagües de aparatos para desagües de aparatos o sifones	
Desagües de aparato o sifón (pulgadas)	Valor unitario de desagüe de aparatos
1	1
1	2
2	3
2	4
3	5
4	6

La Tabla 24 ilustra las dimensiones del sistema de desagüe, teniendo en cuenta el diámetro en pulgadas y el máximo número de unidades de desagüe de aparatos conectados a cualquier posición del alcantarillado, según la NTC-1500 del ICONTEC.

- El sistema de ventilación que sirve a cada desagüe de aguas residuales de la edificación debe tener al menos una tubería de ventilación que se extienda hasta el exterior.
- Cada aparato sanitario debe estar provisto de un sifón independiente que garantice el sello hidráulico.
- La distancia vertical desde la salida de la batería sanitaria hasta el vertedero del sifón no debe exceder los 610 mm y la distancia horizontal no debe exceder 765 mm.

Tabla 24
Dimensiones del sistema de desagües

Diámetro de la tubería (pulgadas)	Máximo número de unidades de desagüe de aparato conectados a cualquier porción de desagüe o alcantarillado de la edificación, incluyendo los ramales de desagüe de la edificación			
	Pendiente en porcentaje (%) (pendiente pulgada por pie)			
	0,5 % (1/16)	1,0 % (1/8)	2,0% (1/8)	4,0% (1/8)
1	-	-	1	1
1	-	-	3	3
2	-	-	21	26
2	-	-	24	31
3	-	36	42	50
4	-	180	216	250
5	-	390	480	575
6	-	700	840	1 000
8	1 400	1 600	1 920	2 300
10	2 500	2 900	3 500	4 200
12	3 900	4 600	5 600	6 700
15	7 000	8 300	10 000	12 000

Factor de conversión: 83,3mm/m= 1 pulgada por pie. La dimensión mínima de la tubería de desagua de aguas residuales de una edificación que sirve a un inodoro debe ser de 76 mm (3 pulgadas).

Sistema de manejo de agua potable. En este estudio la cantidad de prototipos que se instalen depende de la necesidad del proyecto, en este caso, se comprende a

una célula, la cual puede ser utilizada como base para proyectos de mayor magnitud. Una célula cuenta con una cocineta y un baño por separado, a las cuales se les debe suministrar agua potable mediante bombeo desde la empresa prestadora del servicio y distribuida por una red de suministro que tiene unas condiciones específicas en cuanto a las dimensiones de las tuberías, teniendo en cuenta la demanda de la edificación.

La demanda de agua potable en la célula se estimó considerando el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento en Colombia-RAS (MAVDE, 2014) y los registros históricos de los residentes para el año 2014 en Cali. Teniendo en cuenta el nivel de complejidad del sistema que se determina a partir del número de personas, se debe garantizar una dotación mínima de agua de 150 L/ habitantes*día.

Además, para el dimensionamiento de la red de suministro de la célula, los criterios técnicos para la implementación de esta son: tuberías de PVC a presión con un diámetro de ½", codos a 90 grados con un diámetro de ½", abrazaderas metálicas del mismo diámetro y adaptadores a presión de diámetro ½", como también un contador y válvulas tipo compuerta con un diámetro de ½".

Resultados y análisis



Los resultados y el análisis de la Fase 2 y Fase 3 del proceso metodológico se presentan a continuación. De manera inicial se presentan las condiciones físicas y climáticas del lugar, para

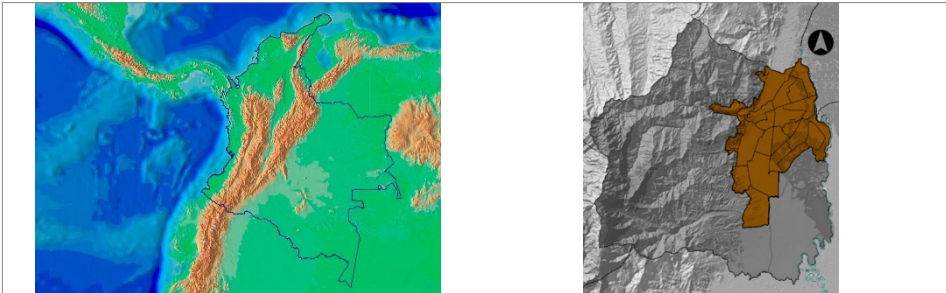
El lugar

El Valle del Cauca es uno de los 32 departamentos de Colombia (Fig. 42), es el tercero más poblado del país y Santiago de Cali, la capital, tiene parte de su territorio en la cordillera occidental y en el valle del río Cauca. Según las proyecciones oficiales del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para el año 2023, la población de Cali se estimaba en 2.297.230 habitantes, por debajo de Medellín con 2.653.729 habitantes, y de Bogotá, la ciudad más poblada del país, con 7.968.095 habitantes (Fig. 43).



Izquierda
Fig.42. Localización del Departamento del Valle del Cauca.
Derecha
Fig. 43. Santiago de Cali en el Valle del Cauca.

El relieve es una de las condiciones determinantes del clima en Colombia, en donde se presentan condiciones diversas como las costas marítimas al norte y occidente, zonas de llanos hacia el oriente y las zonas montañosas conformadas por las cordilleras que atraviesan el territorio (Fig. 44). El punto más alto es el nevado del Huila a 5.750 msnm, mientras las zonas más bajas se encuentran a nivel del mar en las zonas costeras (Fig. 45).



Izquierda
Fig. 44. Zona montañosa de Colombia.
Derecha
Fig. 45. Zona montañosa en el municipio de Santiago de Cali.

Las variaciones climáticas como temperatura, humedad relativa y presión atmosférica sufren diferenciaciones en función de la altura sobre el nivel del mar y no por régimen estacional como ocurre en latitudes en las zonas templadas y polares en la tierra, lo que se debe principalmente a su cercanía con la línea ecuatorial.

El presente análisis se realizó en la ciudad de Cali, ciudad escogida para la propuesta del prototipo. La temperatura promedio es 25 °C, con variaciones durante el día y la noche entre 17 y 34 °C (Tabla 25). El clima cuenta con dos estaciones al año: una estación seca en los meses de diciembre a febrero, y otra en julio y agosto; y dos estaciones lluviosas de abril a mayo y de septiembre a noviembre. Las lluvias en la ciudad de Cali cuentan con un promedio de 1mm de precipitación y con una humedad promedio del 72 % en todo el año, los vientos que inciden mayormente sobre la ciudad provienen del mar Pacífico, el cual se ubica al occidente de la ciudad. Cali es una ciudad con clima cálido seco, según definición del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM.

Tabla 25
Parámetros climáticos de Santiago de Cali
Fuente: elaborado a partir de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia-IDEAM

PARÁMETROS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Temperatura media	24,9	25,1	25,0	24,7	24,8	24,7	25,1	25,5	25,2	24,5	24,2	24,4	24,8
Temperatura máxima media	30,1	30,3	30,2	29,7	29,5	29,5	30,2	31,0	30,5	29,6	29,0	29,1	29,9
Temperatura mínima media	19,5	19,6	19,7	19,7	19,8	19,4	19,0	19,1	19,2	19,3	19,4	19,6	19,4
Brillo solar	5,4	5,2	5,0	4,6	4,6	5,2	6,0	6,0	5,1	4,5	4,5	4,8	5,1
Irradiación solar media (Wh/m² X DIA)	4385,4	4360,8	4373	4303,9	4138,2	4299,1	4628,5	4643,8	4631,4	4256,1	3998,5	3971,9	4332,6
Insolación (días sin brillo solar)	1,18	1,44	1,97	2,47	2,00	1,09	0,74	0,76	1,79	1,88	1,79	1,59	1,56
Precipitación (mm)	88,7	85,3	121,9	165,6	147,8	78,1	55,3	45,7	86,4	140,3	144,0	107,0	1266,1
Días con lluvia	10,7	10,3	13,8	16,8	14,8	11,1	8,8	8,1	11,9	16,9	15,5	13,0	147,1
Humedad relativa	71,4	71,3	72,3	75,1	75,1	73,4	70,0	67,0	69,3	73,1	74,7	74,4	72,2
Evaporación	120,4	119,7	128,1	110,7	110,4	112,3	129,0	140,6	134,9	117,5	100,7	104,9	1362,3
Evotranspiración potencial	122,2	112,3	126,2	114,2	115,3	114,8	131,4	138,3	125,1	117,3	105,5	112,1	1434,3

Según los valores promedios indicados (Tabla 25) son similares durante todos los meses del año, en donde las temperaturas medias, máximas medias y mínimas medias varían menos de 1 °C mes a mes. Para el caso de la humedad relativa la diferencia entre los meses es mayor con variaciones hasta del 8 %, al igual que las precipitaciones, las cuales se pueden duplicar en los meses con mayor intensidad de lluvias.

Selección del sistema constructivo

Evaluación de criterios y subcriterios. Los resultados obtenidos al aplicar el método AHP, mostraron que el comportamiento sismorresistente y la viabilidad económica

son los criterios que tienen una mayor prioridad (Fig. 46), respecto a la selección del sistema constructivo a implementar para el diseño del prototipo. Seguidos por criterios como la eficiencia constructiva y la sostenibilidad ambiental, con prioridades menores, aunque significativas,

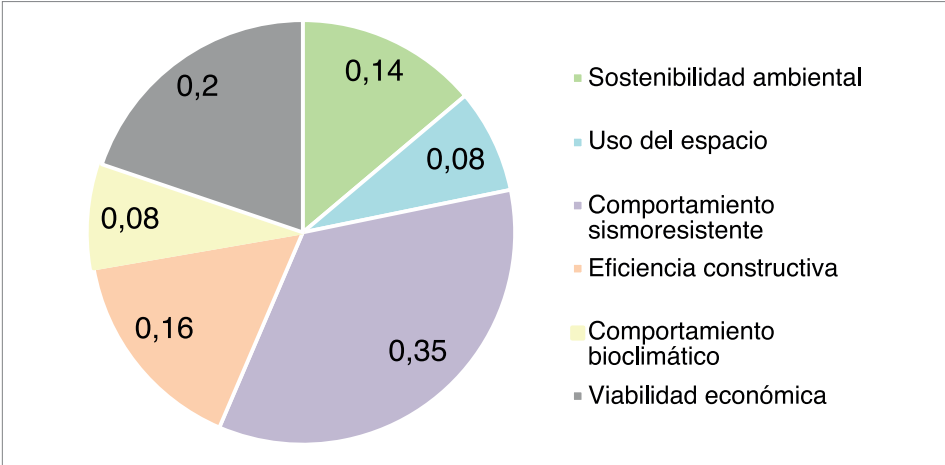


Fig. 46. Vector de prioridad de los criterios definidos para la evaluación de las alternativas de sistemas constructivos.

Siguiendo con la estructura jerárquica de la técnica, la comparación pareada de los subcriterios indicó que el subcriterio con mayor valor de prioridad en la evaluación (0,21) corresponde a la seguridad de la infraestructura respecto a amenazas naturales, seguido por los subcriterios de viabilidad del cálculo estructural en el marco de la Norma NSR-10 y de costos de los materiales que componen el sistema constructivo que obtuvieron el mismo valor de prioridad (0,14) (Tabla 26).

Tabla 26
Vector de prioridad final de los subcriterios para la evaluación de las alternativas de sistemas constructivos (continúa)

Código de subcriterio	Subcriterio	Valor	Código de subcriterio	Subcriterio	Valor
C1-SC1	Generación de emisiones de gases efecto invernadero	0,02	C4-SC1	Optimización en los tiempos de construcción y montaje	0,02
C1-SC2	Requerimientos energéticos	0,02	C4-SC2	Posibilidad de prefabricación de elementos estructurales y no estructurales	0,03
C1-SC3	Requerimientos de agua	0,03	C4-SC3	Facilidad de ensamblar las distintas partes del proyecto con procesos	0,03

Tabla 26
 Vector de prioridad final de los subcriterios para la evaluación
 de las alternativas de sistemas constructivos

Código de subcriterio	Subcriterio	Valor	Código de subcriterio	Subcriterio	Valor
C1-SC4	Requerimientos de recursos abióticos para la fabricación de los insumos	0,02	C4-SC4	Complejidad en los procesos de cimentación y trabajo en la tierra	0,01
C1-SC5	Posibilidad de generación de otros impactos ambientales	0,03	C4-SC5	Cantidad de elementos constructivos portantes y no portantes	0,02
C1-SC6	Posibilidad de recuperación de materiales	0,02	C4-SC6	Facilidad de emplear mano de obra local	0,02
C2-SC1	Posibilidad de usar un espacio para diferentes propósitos	0,02	C4-SC7	Facilidad de transporte de todos los elementos constructivos	0,03
C2-SC2	Facilidad de adecuación para cambiar el propósito de uso	0,03	C5-SC1	Adecuado comportamiento bioclimático en la envolvente vertical	0,03
C2-SC3	Claridad en la organización espacial para el uso requerido	0,02	C5-SC2	Adecuado comportamiento bioclimático en la envolvente horizontal	0,04
C2-SC4	Valoración estética	0,01	C6-SC1	Costos de los materiales que componen el sistema constructivo	0,14
C3-SC1	Viabilidad del cálculo estructural en el marco de la Norma NSR-10	0,14	C6-SC2	Otros costos constructivos que intervienen en el proceso de la obra	0,06
C3-SC2	Seguridad de la infraestructura respecto a amenazas naturales	0,21			
		Total	1,00		

Los anteriores resultados son consistentes con las prioridades establecidas a los criterios de sismorresistencia y de viabilidad económica. En el primer caso, considerando que el prototipo a diseñar debe responder a los requerimientos de

situaciones de emergencia y ser económicamente asequible para las comunidades afectadas.

Evaluación de las alternativas de sistemas constructivos. Los resultados de la evaluación comparativa de las seis alternativas de sistemas constructivos indicaron que la alternativa de pieza de concreto prefabricado es la de mayor prioridad respecto a los criterios y subcriterios evaluados, seguida en orden de prioridad por las alternativas de pórticos en concreto, en madera y en metal (Fig. 47).

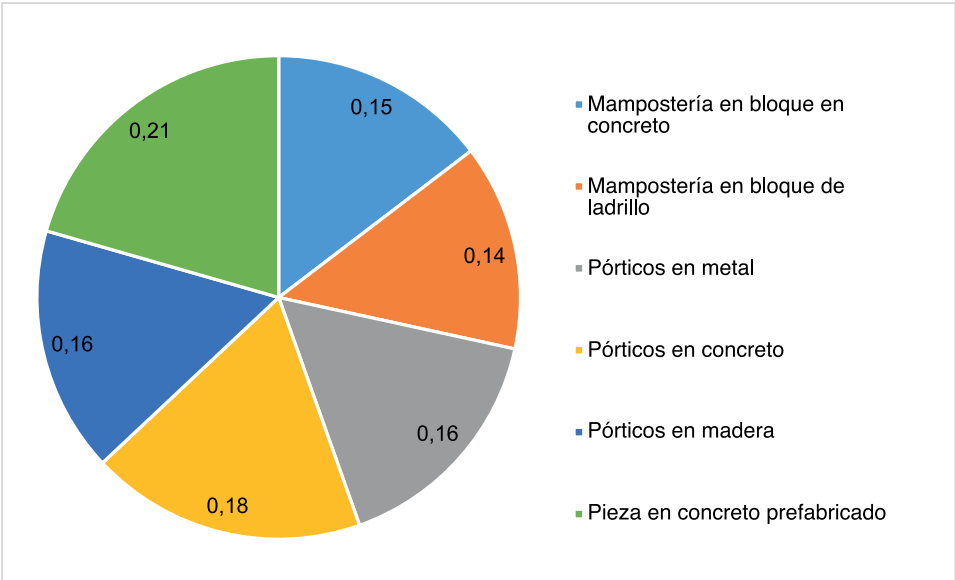


Fig. 47. Prioridad de las alternativas evaluadas de sistemas constructivos.

Los resultados de la evaluación mostraron que, aunque en los criterios de sostenibilidad ambiental, el sistema constructivo de pórticos en madera tiene una prioridad mayor frente a los criterios evaluados (C1-SC1, C1-SC2, C1-SC3, C1-SC5 y C1-SC6), la pieza de concreto se ajusta más a los requerimientos de este proyecto. El sistema constructivo de esta pieza permite la aplicación del cálculo estructural con criterios definidos (C3-SC1), la rapidez de los procesos de construcción y montaje (C4-SC1, C4-SC5), las bajas necesidades de adecuación del terreno (C4-SC4), por tratarse de una estructura que puede ser prefabricada en el contexto colombiano y en particular en la ciudad de Cali (C4-SC2). Estas características a su vez se asocian con mayores posibilidades de ahorro y uso eficiente de materias primas, así como de disminución de costos de producción, transporte y montaje, debido a la posibilidad de fabricar piezas en grandes formatos (C4-SC2).

Tabla 27
Vectores de prioridad de las alternativas respecto a los subcriterios definidos

Criterios	Subcriterios	Alternativas						Total
		1	2	3	4	5	6	
C1. Sostenibilidad ambiental	C1-SC1	0,16	0,18	0,16	0,14	0,20	0,16	1,00
	C1-SC2	0,14	0,16	0,12	0,14	0,31	0,13	1,00
	C1-SC3	0,16	0,17	0,13	0,14	0,24	0,15	1,00
	C1-SC4	0,18	0,17	0,16	0,17	0,13	0,19	1,00
	C1-SC5	0,13	0,13	0,13	0,13	0,33	0,16	1,00
	C1-SC6	0,15	0,08	0,26	0,10	0,21	0,19	1,00
C2. Uso del espacio	C2-SC1	0,05	0,05	0,24	0,23	0,21	0,21	1,00
	C2-SC2	0,05	0,05	0,21	0,24	0,24	0,21	1,00
	C2-SC3	0,11	0,11	0,19	0,19	0,19	0,19	1,00
	C2-SC4	0,13	0,13	0,18	0,14	0,20	0,22	1,00
C3. Comportamiento sísmo-resistente	C3-SC1	0,15	0,13	0,20	0,19	0,08	0,26	1,00
	C3-SC2	0,13	0,13	0,19	0,29	0,05	0,21	1,00
C4. Eficiencia constructiva	C4-SC1	0,05	0,08	0,24	0,07	0,14	0,42	1,00
	C4-SC2	0,05	0,06	0,22	0,12	0,07	0,48	1,00
	C4-SC3	0,04	0,04	0,21	0,10	0,20	0,41	1,00
	C4-SC4	0,13	0,13	0,17	0,17	0,15	0,25	1,00
	C4-SC5	0,07	0,08	0,11	0,09	0,10	0,55	1,00
	C4-SC6	0,21	0,33	0,06	0,12	0,22	0,06	1,00
	C4-SC7	0,19	0,28	0,17	0,07	0,23	0,06	1,00
C5. Comportamiento bioclimático	C5-SC1	0,14	0,22	0,09	0,10	0,33	0,12	1,00
	C5-SC2	0,10	0,14	0,12	0,13	0,37	0,13	1,00
C6. Viabilidad económica	C6-SC1	0,24	0,13	0,10	0,17	0,23	0,15	1,00
	C6-SC2	0,23	0,23	0,10	0,20	0,17	0,07	1,00

Notas: la descripción de los criterios se puede ver en las Tablas 7 a 12 y en la Tabla 26. Las alternativas evaluadas son: 1: mampostería en bloque de concreto; 2: mampostería en bloque de ladrillo; 3: pórticos en metal; 4: pórticos en concreto; 5: pórticos en madera; 6: pieza en concreto prefabricado.

En este sentido, las piezas prefabricadas en concreto reforzado (Fig. 48), que son elaborados en un espacio de producción adecuado, diferente al de su implantación definitiva, bajo parámetros de fabricación industrializada, con procesos suscep-

tibles de implementar controles de calidad propios de la producción en serie y con la facilidad de disminuir los tiempos de terminación de la obra final, cumplen cabalmente con los requerimientos del prototipo considerado en esta investigación.



Fig. 48. Fuente: elaboración propia.

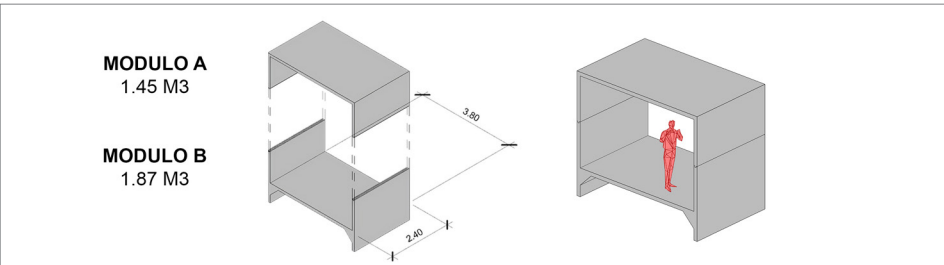
Diseño arquitectónico y bioclimático. El resultado de la propuesta arquitectónica es un prototipo modular de infraestructura básica que pueda atender cualquier emergencia, y que en un momento que la situación lo requiera, puede ser adecuado para uso, educativo, de salud y de alojamiento. Todos estos equipamientos, se abordan desde los principios como: facilidad constructiva, mayor velocidad de obra, posibilidad de crecimiento posterior, traslado cuando ya no se requiera en el lugar y menores costos de producción.

Para la presente contribución, se desarrolla a el diseño prototipo para uso educativo, con el fin profundizar en aspectos del diseño y de explorar las soluciones bioclimáticas y de gestión de aguas, acordes con el uso propuesto.

Diseño arquitectónico

El prototipo se concibe como un sistema modular, de varias unidades constructivas autónomas, que pueden ser agrupadas de diversas maneras, ofreciendo flexibilidad en el uso y ocupación espacial, de acuerdo con las necesidades de la comunidad y las características físicas del sitio de emplazamiento. En estas características se resumen los 3 principios básicos del diseño: flexibilidad, replicabilidad y sostenibilidad presentadas en la metodología (Fig. 49).

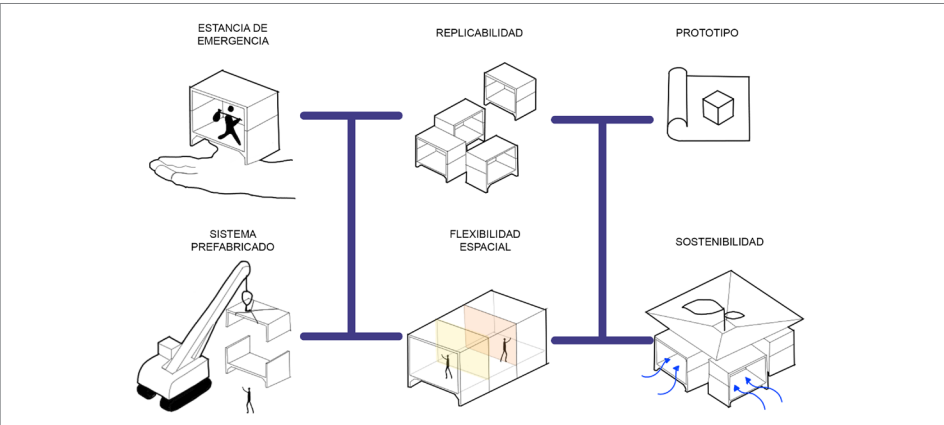
Fig. 49. Unidad constructiva autónoma. Fuente: elaboración propia.



Estructuralmente se propone, en coherencia con el resultado de la evaluación de expertos sobre el material, un sistema de módulos prefabricados similar a los Box Culvert, esta vez para uso arquitectónico, este diseño estructural se ajusta a cada proyecto para obtener la mejor economía, resistencia, rapidez y facilidad durante el proceso de instalación.

El proceso de fabricación es basado en grandes piezas de concreto, con uniones a través de un sistema de macho y hembra, garantizando un acople perfecto entre las secciones, lo cual facilita el montaje y el transporte de las piezas hacia el punto de la implantación (Fig. 50).

Fig. 50. Principios básicos del Prototipo de Infraestructura. Fuente: elaboración propia.



El proceso proyectual se desarrolla desde una concepción sostenible, optimizando procesos de diseño para luego optimizar procesos constructivos y de utilización de recursos.

Se propone un principio ordenador alrededor de un espacio jerárquico “patio cubierto” o “patio sombreado”, el cual además de resolver funcionalmente la edificación proporciona condiciones ambientales como: sombra, ventilación y humedad (Fig. 51).

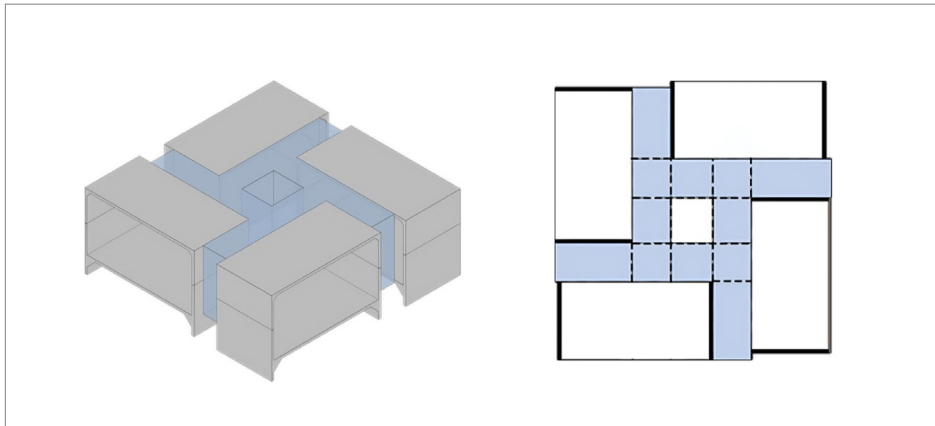


Fig. 51. Principio ordenador al rededor del patio.

Estos espacios se organizan en forma de esvástica alrededor del “patio sombreado”, conformando una unidad básica que contiene los espacios mínimos necesarios para cubrir cualquier emergencia (Fig. 52).

La organización de los módulos de concreto alrededor del patio en forma de esvástica le da protagonismo al patio siendo el elemento principal a partir del cual y en asocio con los corredores permite prolongar el edificio logrando el tamaño necesario según la necesidad y capacidad del equipamiento que se requiera como se presenta en la Fig. 53.



Izquierda

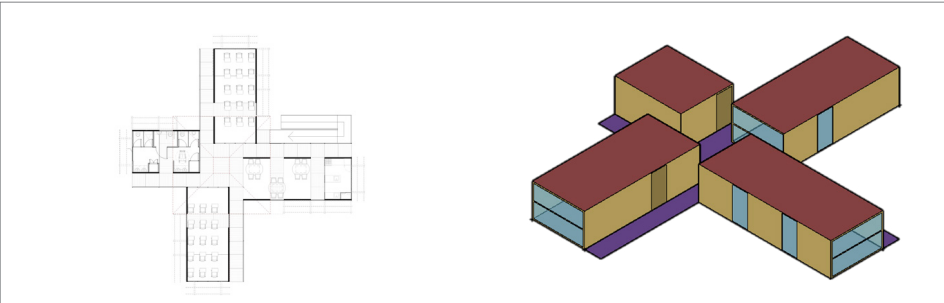
Fig. 52. Principio geométrico ordenador de los diferentes elementos en forma de Esvástica.

Derecha

Fig. 53. Módulo en concreto conformando un patio.

La propuesta de prototipo institucional para la educación se concibe a partir de una “prototipo base” el cual se conforma de 3 espacios-aulas flexibles en donde se pueden realizar diferentes actividades según la especialidad de la necesidad; llámese salón de clase y cafetería- cocina si lo que se requiere es un centro educativo o habitación y consultorio, si la necesidad es un centro de salud etc. más una batería de baños múltiples Fig. 54 y 55.

Izquierda
Fig. 54. Planta prototipo base para uso educativo.
Derecha
Fig. 55. Caso base. Axonometría. Fuente: elaboración propia.



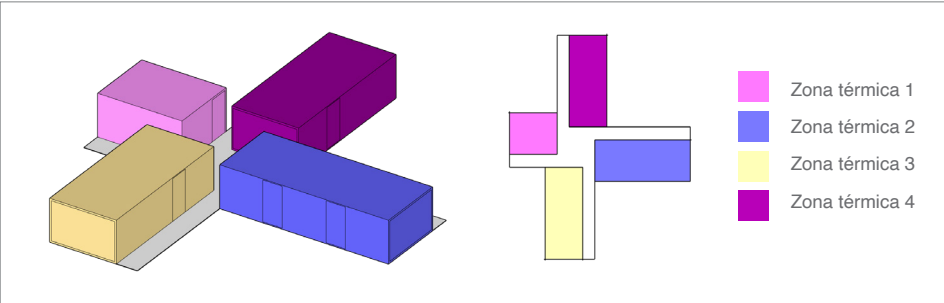
De acuerdo con lo presentado en la metodología, una vez se tiene concebida el esquema básico del prototipo se somete a evaluación del desempeño térmico y visual, en un proceso de ida y vuelta entre el proceso de validación y el diseño arquitectónico y técnico, con el fin de encontrar la mejor propuesta de envoltente para un mejor térmico y visual, como también el menor consumo energético.

Desempeño térmico y energético del prototipo educativo

Con el fin de lograr una optimización en el proceso de diseño, prefabricación y construcción se emplea la menor cantidad de materiales. Toda la envoltente del prototipo está prevista en concreto prefabricado de 10 cm de espesor, fachada con ventanas en vidrio, marcos en metal y persianas en madera; el corredor es en estructura metálica con piso en madera plástica y cubierta en teja tipo sándwich al igual que la cubierta general del prototipo.

Para realizar una adecuada simulación del prototipo se deben identificar las zonas térmicas, estas son volúmenes isométricos que están definidas por 5 superficies piso, muro, cubierta, ventanas y puertas, en el prototipo (Fig. 56 y Fig. 57) se identificaron 4 zonas térmicas, nombradas de la siguiente manera: zona térmica 1 (aula 1), zona térmica 2 (aula 2), zona térmica 3 (aula 3), y zona térmica 4 (Modulo servicio).

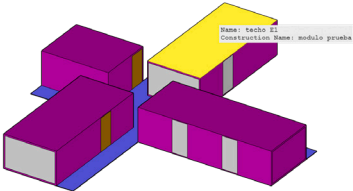
Izquierda
Fig. 56. Zonas térmicas del prototipo en axonometría. Fuente: elaboración propia.
Derecha
Fig. 57. Zonas térmicas del prototipo en planta. Fuente: elaboración propia.



Con las zonas térmicas identificadas se desarrolla un caso base al cual se le asigna un set de construcción, el cual define para cada superficie un material específico, que varía según las alternativas que se proponen para mejorar las condiciones térmicas de los espacios (Tabla 28).

Tabla 28
Especificación de valores térmicos en materiales CASO BASE

Descripción



Caso base

Piso Corredor	Madera plástica Valor U=0,15 W/m. K
Cubierta	100 mm Concreto prefabricado. Valor U=0,5 W/m. K densidad = 2.400 kg/m³
Losa piso	100 mm Concreto prefabricado. Valor U=0,5 W/m. K densidad = 2.400 kg/m³
Muros	100 mm Concreto prefabricado. Valor U=0,5 W/m. K densidad = 2.400 kg/m³
Cerramiento	Vidrio 3 mm claro Valor U= 0,837W/m. K, (SHGC) 0,4
Ventilación	50 % apertura en área vidriada
Ventilación en horario de uso	7 a. m. a 5 p. m.

Name:

Hormigon modulo pruebas

Roughness:

MediumRough

Thickness:

0.100000

m

Conductivity:

0.500000

W/m-K

Density:

2400.000000

kg/m³

Specific Heat:

837.000000

J/kg-K

Thermal Absorptance:

0.900000

Solar Absorptance:

0.650000

Visible Absorptance:

0.650000

Name:

madera plastica

Roughness:

MediumRough

Thickness:

0.025000

m

Conductivity:

0.150000

W/m-K

Density:

1050.000000

kg/m³

Specific Heat:

1400.000000

J/kg-K

Thermal Absorptance:

0.900000

Solar Absorptance:

0.700000

Visible Absorptance:

0.700000

Name:

vidrio 3mm

Optical Data Type:

SpectralAverage

Window Glass Spectral Data Set Name:

Thickness:

0.003000

m

Solar Transmittance At Normal Incidence:

0.837000

Front Side Solar Reflectance At Normal Incidence:

0.075000

Back Side Solar Reflectance At Normal Incidence:

0.000000

Visible Transmittance At Normal Incidence:

0.898000

Front Side Visible Reflectance At Normal Incidence:

0.081000

Back Side Visible Reflectance At Normal Incidence:

0.000000

Infrared Transmittance at Normal Incidence:

0.000000

Front Side Infrared Hemispherical Emissivity:

0.840000

Back Side Infrared Hemispherical Emissivity:

0.840000

Conductivity:

0.900000

W/m-K

Dirt Correction Factor For Solar And Visible Transmittance:

1.000000

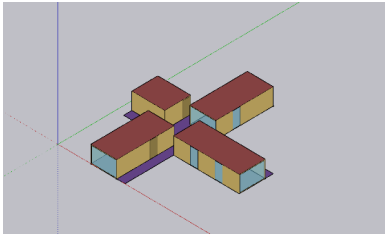
Solar Diffusing:

off

Fuente: elaboración propia.

Para la estrategia de diseño basada en el sombreado, aparecen todos los espacios y elementos arquitectónicos que proveen sombra. En el caso de los espacios: circulación delimitada por jaulas metálicas con vegetación; y en el caso de elementos: aleros horizontales y la gran cubierta sobre el patio central, la cual además de sombrear, permite recolectar las aguas lluvias en un espacio central, para su posterior aprovechamiento.

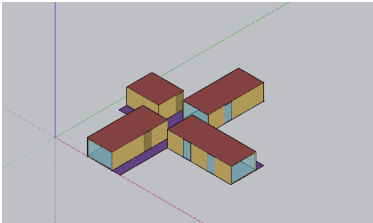
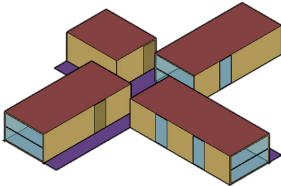
A continuación, se describen las características térmicas de cada elemento de la variación (Tabla 29).

Tabla 29		
Especificación de valores térmicos en materiales estrategias sombreado		
Descripción		
	Caso base	Sombreado
Piso Corredor	Madera plástica Valor $U=0,15$ W/m. K	
Cubierta Prototipo	100 mm Concreto prefabricado. Valor $U=0,5$ W/m. K densidad = 2.400 kg/m^3	
Losa piso	100 mm Concreto prefabricado. Valor $U=0,5$ W/m. K densidad = 2.400 kg/m^3	
Muros	100 mm Concreto prefabricado. Valor $U=0,5$ W/m. K densidad = 2.400 kg/m^3	
Cubierta patio	Superficie metálica+25mm aislamiento +superficie metálica. Valor $U=0,18$ W/m.K	
Aleros	Elemento opaco de sombreado 100 % opacidad	
Jaula Corredor	Elemento verde de sombreado 80 % opacidad	
Persianas	Elemento de sombreado persiana a 45° distanciamiento de 10 mm. Madera $U=0,15$ W/m.K	
Cerramiento	Vidrio 3 mm claro Valor $U= 0.837$ W/m. K, (SHGC) 0,4	
Ventilación área	50 % apertura en área vidriada	50 % apertura en área vidriada
Ventilación en horario de uso	7 a. m. a 5 p. m.	

Fuente: elaboración propia.

Para la implementación de la siguiente alternativa de diseño, se complementó la envolvente de los muros con a través de varias capas de material con material aislante y superficie en placa de fibrocemento (superboard) al interior; mientras la cubierta se planteó con aumento de masa térmica, como cubierta verde, con una capa gruesa de tierra y vegetación, tal y como se detalla en la Tabla 30.

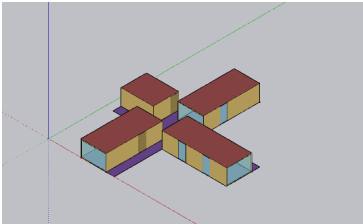
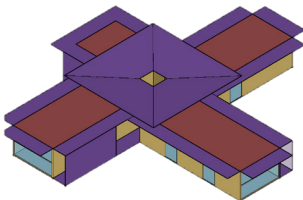
Tabla 30
Especificación de valores térmicos en materiales AISLAMIENTO + CUBIERTA VERDE

Descripción		
		
	Caso base	Aislamiento + cubierta verde
Piso Corredor	Madera plástica Valor $U=0,15$ W/m. K	Madera plástica Valor $U=0,15$ W/m. K
Cubierta Pro-totipo	100 mm Concreto prefabricado. Valor $U=0,5$ W/m. K densidad = 2.400 kg/m^3	100 mm Concreto prefabricado. Valor $U=0,5$ W/m. K densidad = 2.400 kg/m^3 + Tierra 200 mm Valor $U=0,35$ W/m. densidad = 1100 kg/m^3
Losa piso	100 mm Concreto prefabricado. Valor $U=0,5$ W/m. K densidad = 2.400 kg/m^3	100 mm Concreto prefabricado. Valor $U=0,5$ W/m. K densidad = 2.400 kg/m^3
Muros	100 mm Concreto prefabricado. Valor $U=0,5$ W/m. K densidad = 2.400 kg/m^3	100 mm Concreto prefabricado. Valor $U=0,5$ W/m. K densidad = 2.400 kg/m^3 + aislante térmico - Espuma de poliuretano Valor $U = 0,025$ W/m. K + Placa fibrocemento 20 mm Valor $U = 0,16$ W/m. K
Persianas		Elemento de sombreo persiana a 45° distanciamiento de 10 mm. Madera $U= 0,15$ W/m.K
Cerramiento	Vidrio 3 mm claro Valor $U= 0,837$ W/m. K, (SHGC) 0,4	Vidrio 3 mm claro Valor $U= 0,837$ W/m. K, (SHGC) 0,4
Ventilación área	50 % apertura en área vidriada	50 % apertura en área vidriada
Ventilación en horario de uso	7 a. m. a 5 p. m.	

Fuente: elaboración propia.

Por último, la estrategia que consolida las dos estrategias anteriores se denomina consolidado, a continuación, se detalla sus características térmicas en la Tabla 31.

Tabla 31
Especificación de valores térmicos en materiales consolidado

Descripción		
		
	Caso base	Consolidado
Piso Corredor	Madera plástica Valor U=0,15 W/m. K	
Cubierta Prototipo	100 mm Concreto prefabricado. Valor U=0,5 W/m. K densidad = 2.400 kg/m³	
Losa piso	100 mm Concreto prefabricado. Valor U=0,5 W/m. K densidad = 2.400 kg/m³	
Muros	100 mm Concreto prefabricado. Valor U=0,5 W/m. K densidad = 2.400 kg/m³	100 mm Concreto prefabricado. Valor U=0,5 W/m. K densidad = 2.400 kg/m³ + aislante térmico - Espuma de poliuretano Valor U = 0,025 W/m. K + Placa fibrocemento 20 mm Valor U = 0,16 W/m. K
Cubierta patio	Superficie metálica+25 mm aislamiento +superficie metálica. Valor U=0,18 W/m.K	
Aleros	Elemento opaco de sombreado 100 % opacidad	
Jaula Corredor	Elemento verde de sombreado 80 % opacidad	
Persianas	Elemento de sombreado persiana a 45° distanciamiento de 10 mm. Madera U= 0,15 W/m.K	
Cerramiento	Vidrio 3 mm claro Valor U= 0,837W/m. K, (SHGC) 0,4	Vidrio 3 mm claro Valor U= 0,837W/m. K, (SHGC) 0,4
Ventilación área	50% apertura área vidriada	
Ventilación en horario de uso	7 a. m. a 5 p. m.	

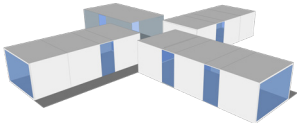
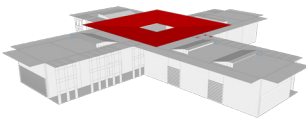
Fuente: elaboración propia.

Desempeño visual del prototipo educativo

De acuerdo con el proceso explicado en la metodología, a continuación, se presentan en detalle cada una de las variaciones aplicadas sobre el caso base para comparar, evaluar y determinar las estrategias de diseño que promueven mejores condiciones de confort visual.

Siguiendo la misma línea presentada para las variaciones de diseño en cuanto al confort térmico, en cada tabla se presentan dos situaciones con el fin de proporcionar mayor claridad.

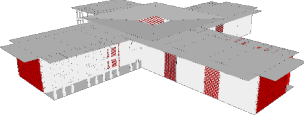
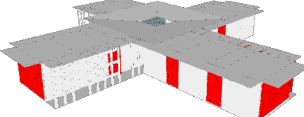
La Variación 1 para el confort visual, reúne algunas estrategias de sombreado como: la gran cubierta en el patio central, los aleros de manera perimetral a las fachadas de los módulos y las rejas metálicas en la circulación. Sin embargo, nótese, que no hay ningún elemento de sombreado directamente sobre las ventanas. Ver en la Tabla 32 el detalle de los componentes:

Tabla 32		
Especificación de elementos de diseño caso base y variación 1		
Descripción	Caso base	Variación 1: sombreado 1
		
Aleros	Perimetral a todos los aulas y servicio	Perimetral a todos los aulas y servicio
Cubierta inclinada patio	8,5 m * 8,5 m con vacío en centro de 2 m * 2 m	8,5 m * 8,5 m con vacío en centro de 2 m * 2 m
Jaula verde	Rejilla metálica con materas y plantas, ubicada sobre los corredores, frente a las puertas de las aulas.	Rejilla metálica con materas y plantas, ubicada sobre los corredores, frente a las puertas de las aulas.
Persianas con 90° de inclinación en 100 % de fachada	N/A	N/A
Persianas con 90° de inclinación en sentido norte – sur 100 % o 50 % de fachada	N/A	N/A
Persianas con 45° de inclinación en sentido este – oeste 100 % o 50 % de fachada	N/A	N/A
Lucernario	N/A	N/A

Fuente: elaboración propia.

Las siguientes variaciones consisten en profundizar en el desempeño de las estrategias de sombreado en las ventanas basado en elementos horizontales como las persianas, para determinar si hay alguna diferencia significativa entre las ventanas que presentan persianas con inclinación de 90° frente a las ventanas que presentan inclinación de 45°. A continuación, se detallan las variaciones de diseño propuestas (Tabla 33):

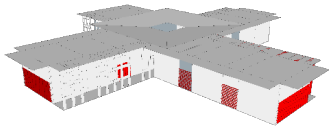
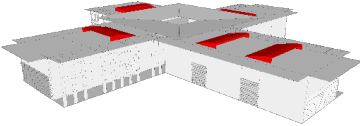
Tabla 33
Especificación de elementos de diseño VARIACIÓN 2 y 3

Descripción	Variación 2: persianas con 90°	Variación 3: persianas 45° en todos los vanos
		
Aleros	Perimetral a todos los aulas y servicio	Perimetral a todos los aulas y servicio
Cubierta inclinada patio	8,5 m * 8,5 m con vacío en centro de 2 m * 2 m	8,5 m * 8,5 m con vacío en centro de 2 m * 2 m
Jaula verde	Rejilla metálica con materas y plantas, ubicada sobre los corredores, frente a las puertas de las aulas.	Rejilla metálica con materas y plantas, ubicada sobre los corredores, frente a las puertas de las aulas.
Persianas con 90° de inclinación en 100 % de fachada	Ubicadas en todos los vanos de las aulas, puertas y ventanas.	N/A
Persianas con 90° de inclinación en sentido norte – sur 100 % o 50 % de fachada	N/A	N/A
Persianas con 45° de inclinación en sentido este – oeste 100 % o 50 % de fachada	N/A	Ubicadas en todos los vanos de las aulas, puertas y ventanas. En sentido este – oeste
Lucernario	N/A	N/A

Fuente: elaboración propia.

Por último, se presentan las variaciones 4 y 5, en la cual se combinan persianas a 90° y a 45° y la variación, la No. 5 la cual reúne la variación 4 y la aparición de lucernarios en cubierta con persianas. Ver en detalle en la Tabla 34.

Tabla 34
Especificación de elementos de diseño variación 4 y 5

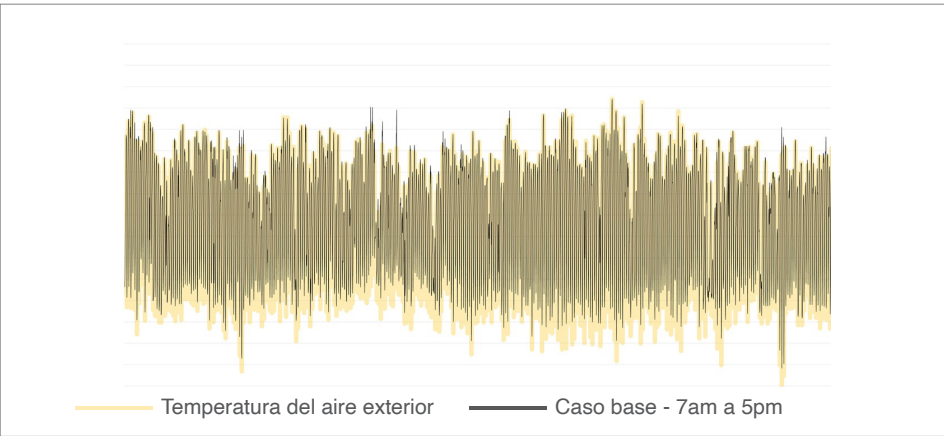
Descripción	Variación 4: persianas 90° norte-sur y 45° este-oeste	Variación 5: variación 4 + persianas en lucernarios
		
Aleros	Perimetral a todos los aulas y servicio	Perimetral a todos los aulas y servicio
Cubierta inclinada patio	8,5 m * 8,5 m con vacío en centro de 2 m * 2 m	8,5 m * 8,5 m con vacío en centro de 2 m * 2 m
Jaula verde	Rejilla metálica con materas y plantas, ubicada sobre los corredores, frente a las puertas de las aulas.	Rejilla metálica con materas y plantas, ubicada sobre los corredores, frente a las puertas de las aulas.
Persianas con 90° de inclinación en 100 % de fachada	N/A	N/A
Persianas con 90° de inclinación en sentido norte – sur 100 % o 50 % de fachada	Ubicadas en todos los vanos de las aulas, puertas y ventanas. En sentido norte – sur.	Ubicadas en todos los vanos de las aulas, puertas y ventanas. En sentido norte – sur.
Persianas con 45° de inclinación en sentido este – oeste 100 % o 50 % de fachada	Ubicadas en todos los vanos de las aulas, puertas y ventanas. En sentido este - oeste	Ubicadas en todos los vanos de las aulas, puertas y ventanas. En sentido este - oeste
Lucernario	N/A	Ubicados en la cubierta dependiendo de la entrada del sol, es la definición de la orientación del lucernario

Fuente: elaboración propia.

Resultados del desempeño térmico

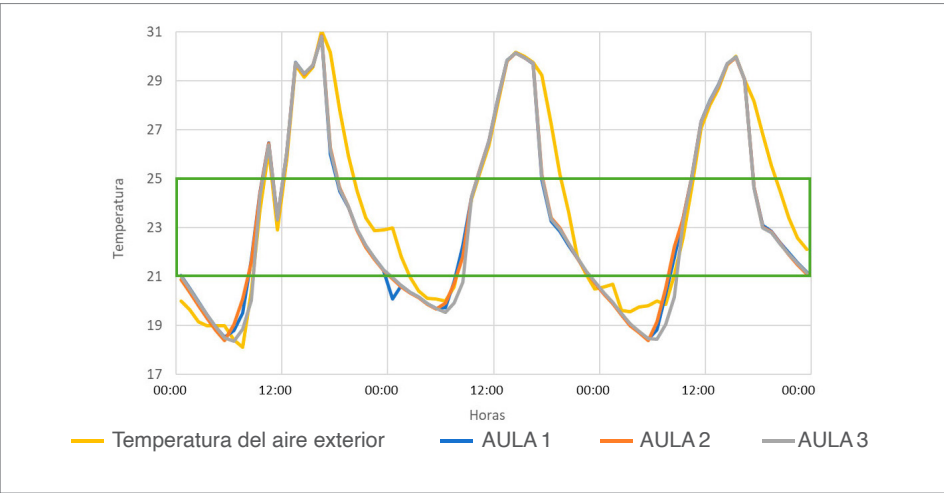
El caso base presenta una temperatura máxima de 34°, resultando similar a la exterior. La temperatura mínima llega hasta 16,6°, mientras la mínima exterior baja hasta 13,4°. Como se puede observar (Fig. 58), el caso base reduce la amplitud térmica del exterior que es de 20,6° a 17,4°, con una diferencia de 3,2°, evidencia calor ganado al interior durante las horas con las temperaturas más bajas, sin embargo, muestra que no logra liberar el aire caliente durante las horas del día.

Fig. 58. Temperatura exterior vs. interiores del caso base anual. Fuente: elaboración propia.



Con el fin de lograr una mejor visualización, se escogen tres días con comportamiento típico, esto permite evidenciar como las 3 aulas salen del rango de confort sobrepasando los 25 °C y presentando algunas horas por debajo del rango en disconfort por situación de frío (Fig. 59).

Fig. 59. Temperatura exterior vs. temperaturas aulas caso base 3 días típicos. Fuente: elaboración propia.



Los resultados sobre un día específico permiten mostrar el espacio en relación con el confort. El espacio se encuentra dentro del confort entre las 8:00 a. m. y las 10:00 a. m. Excede este rango en disconfort por calor entre las 10:00 a. m. hasta las 6:00 p. m., para luego regresar al rango de confort hasta las 12 a.m. A partir de esa hora sale de nuevo del rango, esta vez por situación de frío hasta las 8:00 a. m. (Fig. 60).

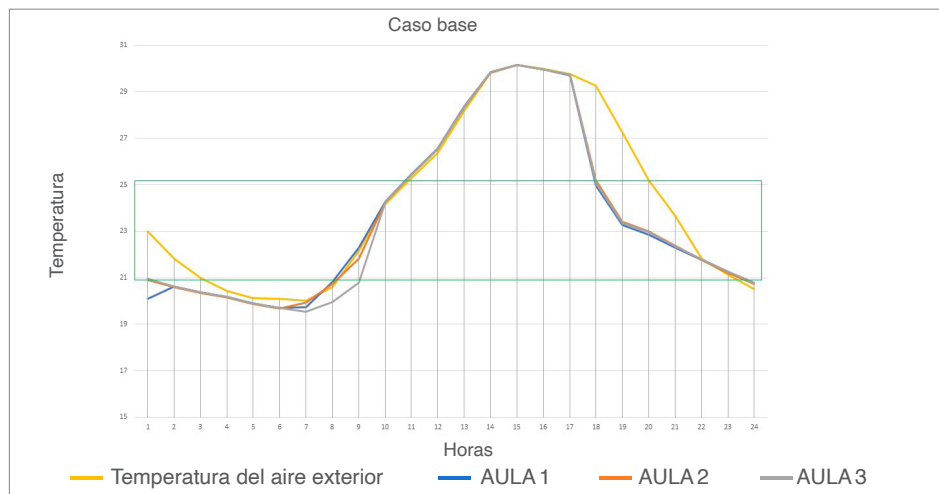
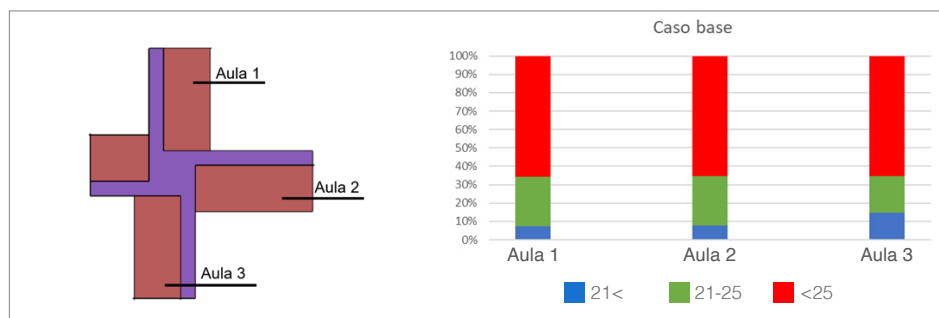


Fig. 60. Temperatura exterior vs. temperaturas aulas caso base día típico. Fuente: elaboración propia.

Lo anterior es preocupante, ya que la mayor situación de discomfort se presenta durante las horas de uso del espacio educativo entre las 7:00 a. m. y las 5:00 p. m., lo que hace necesario explorar alternativas de diseño que logren mejorar la situación higrotérmica y de confort del espacio.

Con los resultados de las temperaturas de las tres aulas Fig. 61, se procesa el rango de confort que alcanza cada una durante las horas de uso entre las 7:00 a. m. a 5:00 p. m. En la Fig. 62 se evidencia que las 3 aulas presentan un comportamiento similar en el rango por discomfort por calor del 66 %, en el rango de confort el aula 1 y 2 son similares con 27 %. El aula 3 presenta un porcentaje en confort menor, de 20 % al mismo tiempo que alcanza un 15 % de discomfort por frío, mientras las aulas aula 1 y 2 presentan un comportamiento similar con 8 %.



Izquierda

Fig. 61. Aulas del prototipo. Fuente: elaboración propia.

Derecha

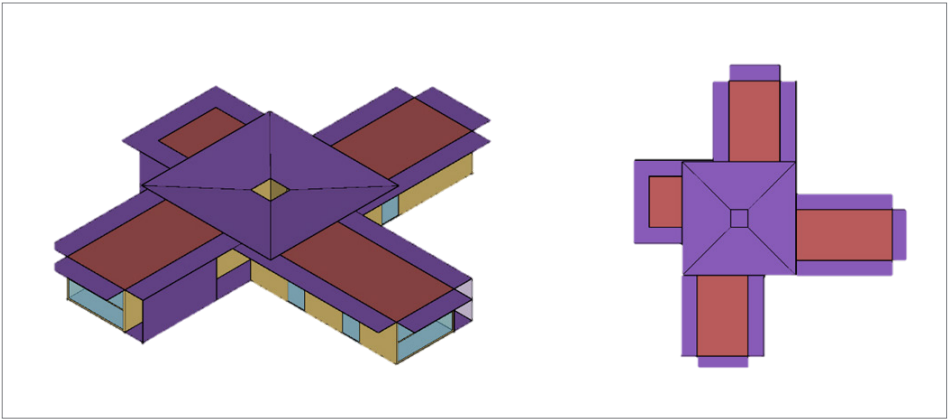
Fig. 62. Porcentajes de confort aulas caso base en horas de uso. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presentan en detalle el comportamiento de las variaciones en cuanto al desempeño térmico.

Elementos de sombreo

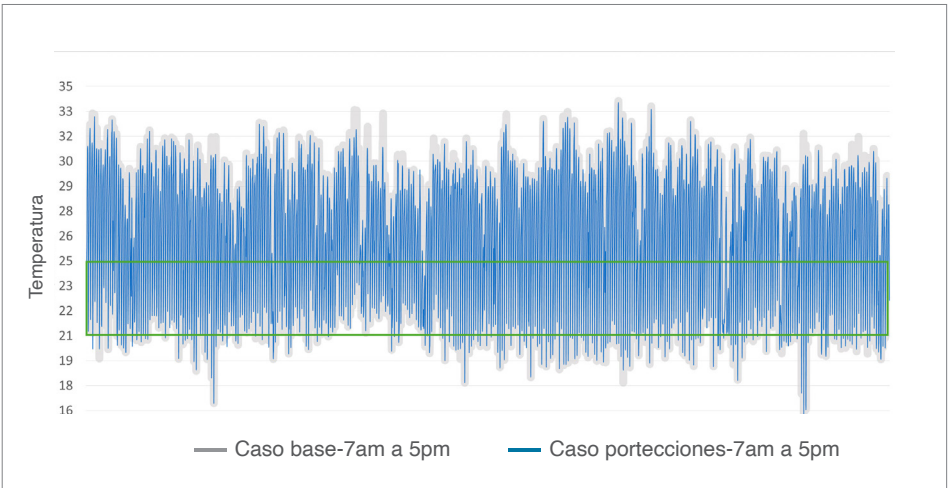
Variación 1. Como se presenta en la Fig. 63 los elementos de sombreo tienen como objetivo evitar la incidencia de radiación directa sobre la envolvente de los muros. La gran cubierta inclinada en el patio, los aleros perimetrales a las aulas, los elementos denominados como jaulas verdes sobre los corredores, lucernarios en cubierta y persianas ubicadas en todos los vanos de las aulas, puertas y ventanas.

Fig. 63. Axonometría y planta de cubiertas variación 1 protecciones Fuente: elaboración propia.

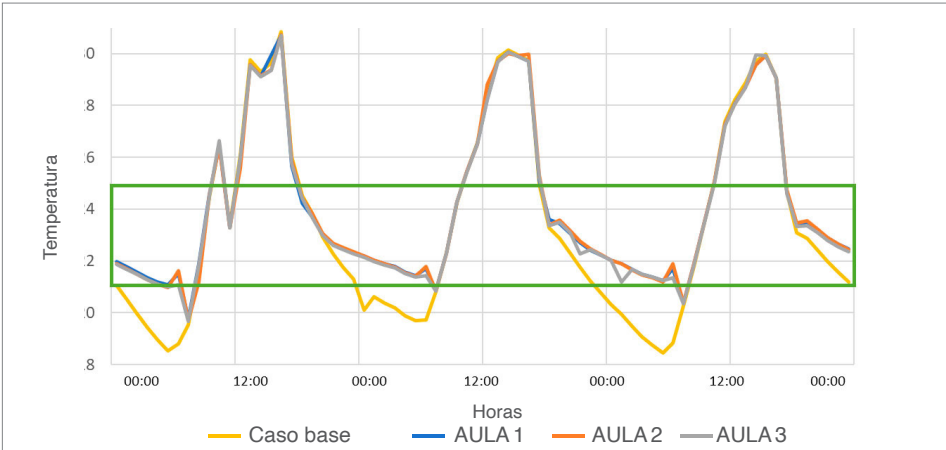


Esta variación 1 presenta una temperatura máxima de 33, 7° y mínima de 16, 5°, con una amplitud térmica de 17, 2° similar a la del caso base de 17,4°. Como se puede observar (Fig. 64) en las protecciones durante todo el año se reduce muy poco las temperaturas máximas, pero no de manera significativa.

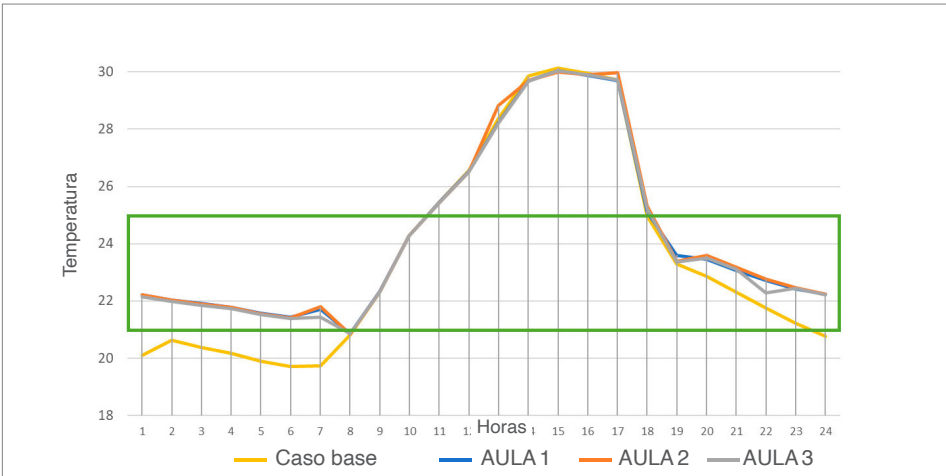
Fig. 64. Temperaturas interiores Caso protecciones vs. Caso base anual. Fuente: elaboración propia.



Observando tres días típicos, se evidencia que la temperatura de las tres aulas sobrepasa los 25° saliendo del confort, con algunas horas por debajo de los 21° pasando a Insatisfacción térmica por frío (Fig. 65).



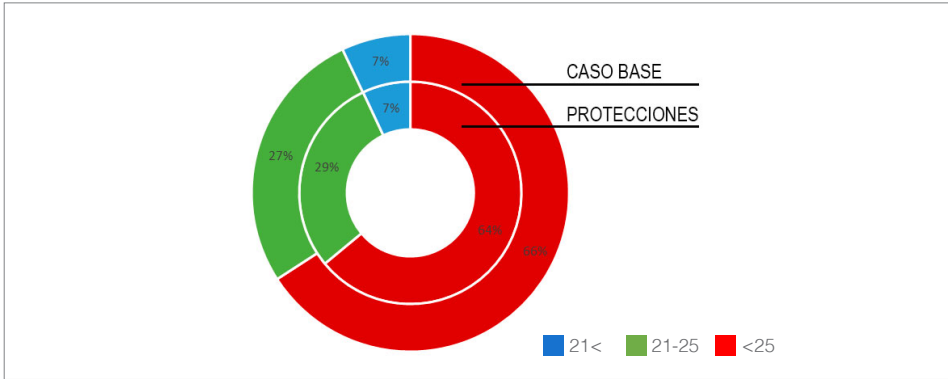
En un día específico la variación 1 se encuentra en confort durante las horas de la mañana entre las 8:00 a. m. y 10:30 a. m. A partir de esa hora, presenta disconfort por calor desde las 10:30 a. m. hasta las 6:00 p. m. Vuelve a estar en confort hasta las 12 p. m., para luego estar en disconfort por frío hasta las 8:00 a. m. (Fig. 66).



Igual que el caso base, es preocupante las horas en las que está en insatisfacción térmica por calor, ya que la mayoría se encuentra entre las horas de uso de 7:00 a. m. a 5:00 p. m., por lo cual esta alternativa no es tan eficiente para

mejorar el comportamiento térmico del prototipo. Al analizar el rango de horas de confort de cada una de las aulas en horas de uso de 7 a. m. a 5 p. m., presentan un comportamiento similar el porcentaje de desconfort por calor es del 64 %, el confort del 29 % y el desconfort por frío del 7 % (Fig. 67).

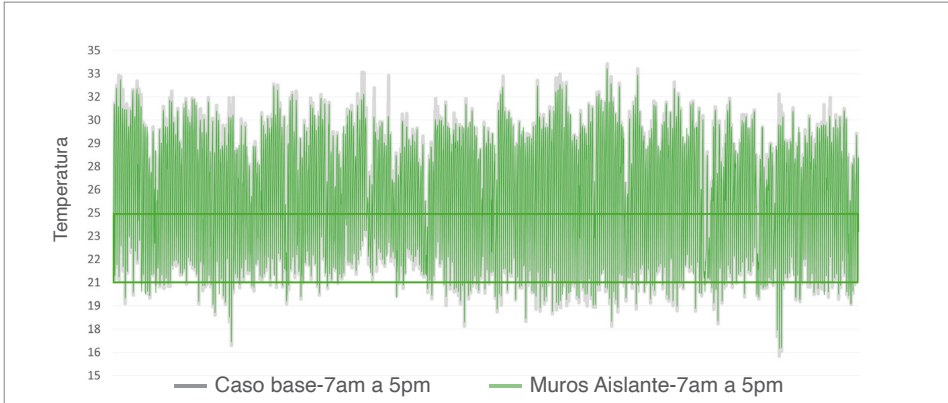
Fig. 67. Rangos de confort Caso base vs. Caso protecciones. Fuente: elaboración propia.



Aislamiento y cubierta verde

Variación 2. La variación 2 presenta una temperatura máxima de 33,5° y temperatura mínima de 16,9°, con una amplitud térmica de 16,6° donde solo baja 0,8° en relación con la amplitud del caso base de 17,4°. Como se puede observar en la Fig. 68, la aislación de los muros más la cubierta verde, logran disminuir significativamente las temperaturas mínimas durante todo el año, mientras las temperaturas máximas siguen teniendo un comportamiento similar a la del caso base.

Fig. 68. Temperaturas interiores Caso muros aislantes vs. Caso base anual. Fuente: elaboración propia.



Observando tres días típicos, se evidencia que la temperatura de las tres aulas sobrepasa los 25° saliendo del confort, pero pocas horas está por debajo de los 21° en situación de desconfort por frío (Fig. 69).

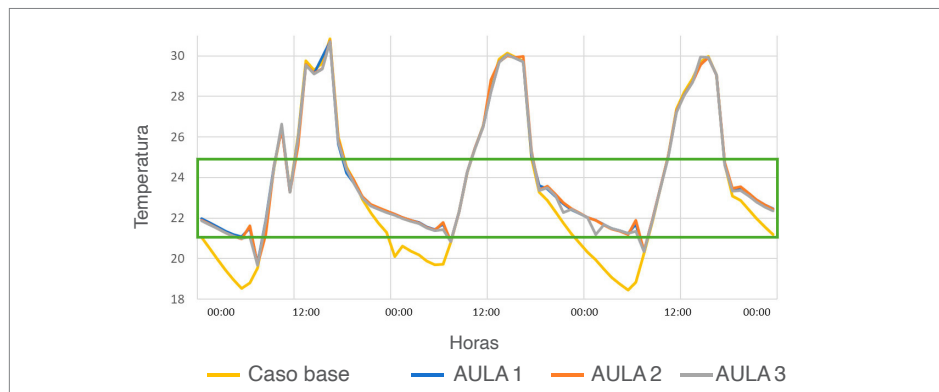


Fig. 69. Temperaturas interiores aulas Caso muros aislantes vs. Caso base 3 días típicos.
Fuente: elaboración propia.

En un día específico la variación 2 está en confort entre las 8:00 a. m. y 10:30 a. m., en disconfort por calor desde las 10:30 a. m. a 6:00 p. m., y vuelve a estar en confort hasta las 8:00 p. m. (Fig. 70).

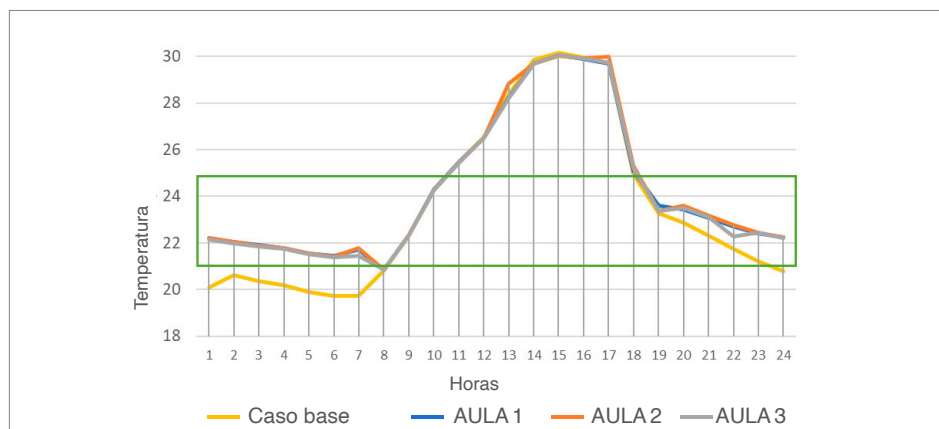
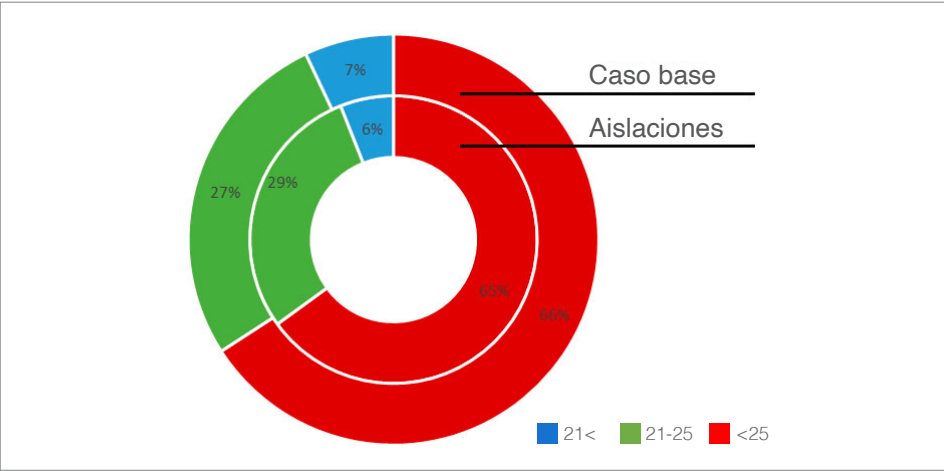


Fig. 70. Temperaturas interiores aulas del Caso muros aislantes día típico. Fuente: elaboración propia.

En esta variación el resultado más relevante es la reducción de las horas en disconfort por frío, ya que en este día no hay en ningún momento donde suceda, pero el rango de disconfort por calor sigue estando su mayoría en horas de uso de 7:00 a. m. a 5:00 p. m. Por lo cual los elementos aislantes demuestran ser una buena alternativa para mantener los espacios protegidos de las incidencias de la temperatura exterior cuando la condición es disconfort por frío, al conservar el calor al interior.

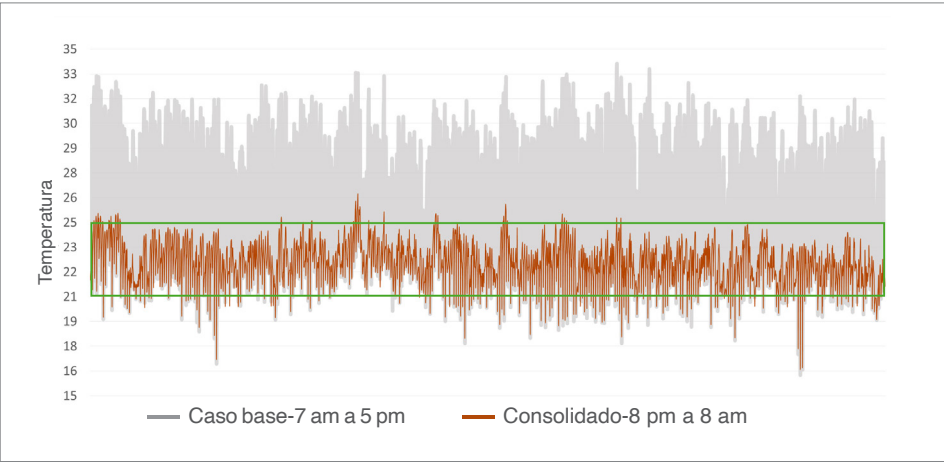
Al analizar el rango de horas de confort de cada una de las aulas en horas de uso de 7 a. m. a 5 p. m., presentan un comportamiento similar el porcentaje de disconfort por calor es del 65 %, el confort del 29 % y el disconfort por frío del 6% (Fig. 71).

Fig. 71. Rangos de confort Caso base vs. Caso muros aislantes. Fuente: elaboración propia.



Variación 3. La variación 3 presenta una temperatura máxima de 27,1° y temperatura mínima de 14,5°, con una amplitud térmica de 12,6° donde se evidencia un cambio importante, ya que hay una diferencia de 4,8° comparado con la amplitud térmica del caso base de 17,4° (Fig. 72). La combinación de todas las alternativas 1 y 2 permitieron reducir el desconfort por calor de manera considerable.

Fig. 72. Temperaturas interiores Caso consolidado vs. Caso base anual. Fuente: elaboración propia.



Observando tres días típicos, se evidencia que las temperaturas de las tres aulas no sobrepasan el rango de desconfort por calor, pero si exceden el rango de desconfort por frío durante algunas horas (Fig. 73).

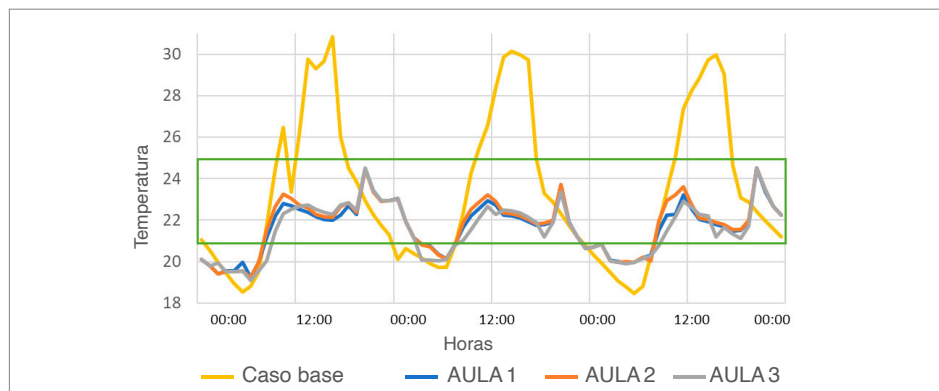


Fig. 73. Temperaturas interiores aulas Caso consolidado vs. Caso base 3 días típicos. Fuente: elaboración propia.

En un día específico la variación 3 comienza a estar en confort entre la 1:00 a. m. a 3:00 a. m., comienza el disconfort por frío desde las 3:00 a. m. a 8:00 a. m., para entrar en confort desde las 8:00 a. m. a 11:00 p. m., y luego estar en disconfort por frío hasta las 12:00 p. m. (Fig. 74).

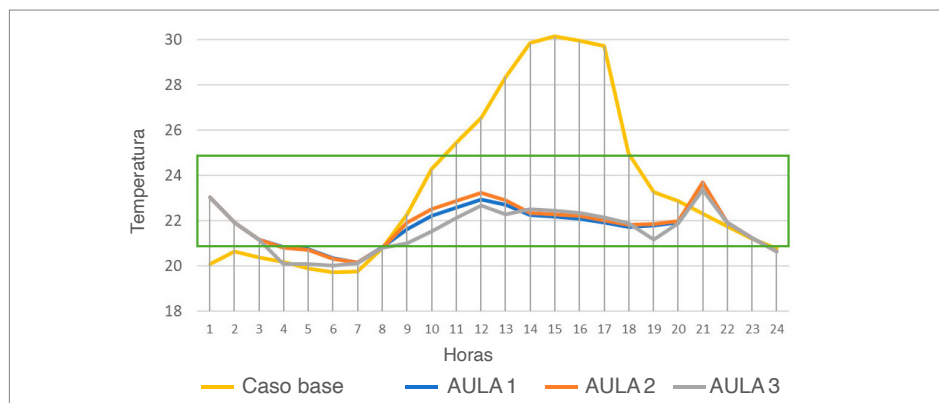


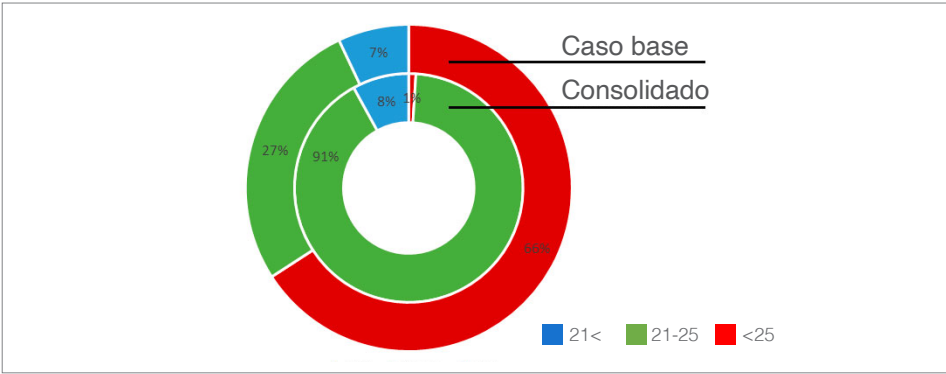
Fig. 74. Temperaturas interiores aulas Caso consolidado día típico. Fuente: elaboración propia.

En esta variación el resultado relevante es la reducción de las horas por disconfort por calor, ya que en este día no hay en ningún momento donde suceda, lo cual nos permite estar en total confort en horas de uso del prototipo de uso educativo entre de 7:00 a. m. a 5:00 p. m. Por lo cual la combinación de todas las alternativas nos permite mejorar la condición térmica del prototipo.

Al analizar el rango de horas de confort de cada una de las aulas en horas de uso de 7 a. m. a 5 p. m., presentan un comportamiento similar el porcentaje de disconfort por calor es del 1 % al 12 %, el confort del de 77 % a 97 % y el disconfort por frío del 8 % a 11 %, comparado con el caso base se logra un mayor rango de horas de confort, sin embargo es de anotar que también hay un mayor

porcentaje de desconfort por frío, el cual no es objetivo fundamental a atender, ya que estas horas en frío ocurren en el horario de la madrugada, horario en que las aulas no están en uso, pero que este frío “ganado” ayuda a mantener el espacio más fresco durante la mañana (Fig. 75).

Fig. 75. Rangos de confort Caso base vs. Caso muros aislantes. Fuente: elaboración propia.

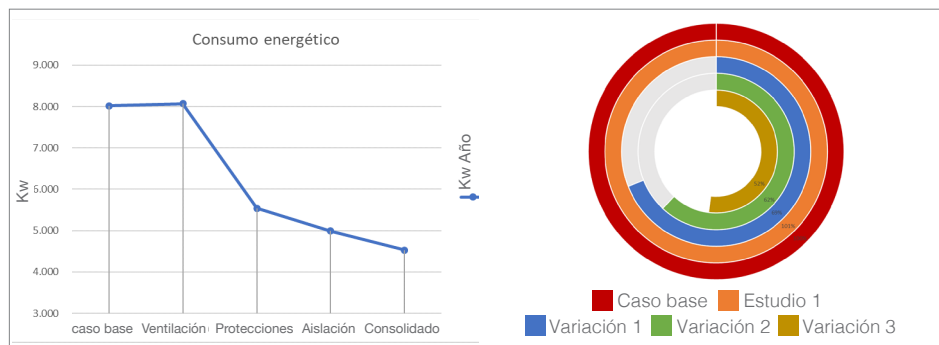


Desempeño energético. El desempeño energético se analizó a las diferentes alternativas de diseño térmico. Se midió en horas de uso para el espacio educativo entre las 7:00 a. m. a 5:00 p. m. Como se puede evidenciar en la Tabla 35, desde la aplicación de estrategias para el sombreado (variación 1) se consiguen ahorros energéticos por acondicionamiento, térmico. Los ejercicios realizados también demuestran la pertinencia de aplicar diferentes estrategias de diseño y al final, en la variación 3 la cual consolida todas las estrategias, se consigue un ahorro hasta del 44 % en el consumo energético por refrigeración.

Tabla 35
Consumo energético

	Caso base	Variación 1 Sombreo	Variación 2 Aislamiento+ cubierta verde	Variación 3 Consolidación
			(Kw/año)	
Luces y equipos	4117	4117	4117	4117
Aire Acondicionado	3903	1424	876	412
Consumo total	8020	5541	4993	4529
Porcentaje Consumo	100 %	69 %	62 %	56 %
Porcentaje Ahorro		31 %	38 %	44 %

En las siguientes figuras se presenta de manera gráfica lo descrito en la tabla anterior, con el fin de explicar con mayor claridad la diferencia y ventana en cuanto al consumo, al incorporar diferentes estrategias de diseño Fig. 76 y Fig. 77.



Izquierda

Fig. 76. Consumo energético. Fuente: elaboración propia.

Derecha

Fig. 77. Rango consumo energético. Fuente: elaboración propia.

Resultados del desempeño visual. El caso base presenta el 100 % del espacio con iluminancia superior a 500 lux, reflejado en el sDA (ver definición en el capítulo: 2.1. Estrategias de Diseño hacia el confort TERMICO Y VISUAL en el prototipo). Sin embargo, este resultado por sí solo es insuficiente para describir la condición lumínica del espacio (Fig. 78).

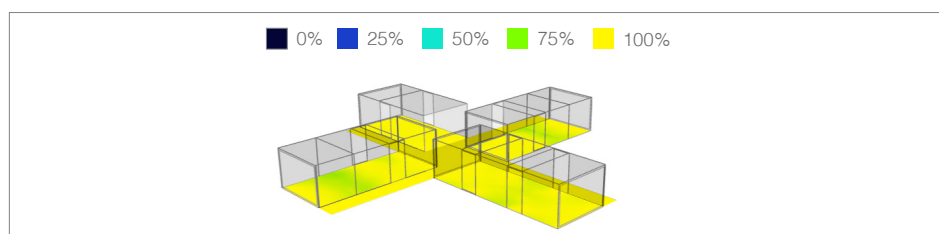


Fig. 78. sDA = 100 % en el caso base. Fuente: elaboración propia.

Cuando se cruza este resultado con el resultado del ASE (ver definición en el capítulo: 2.1. Estrategias de Diseño hacia el confort en el prototipo) de 70 % (Fig. 79), es posible determinar que la mayor parte del espacio se encuentra sobre iluminado, con las condiciones que se derivan de esto como son: alto contraste, además de brillos y reflejos molestos.

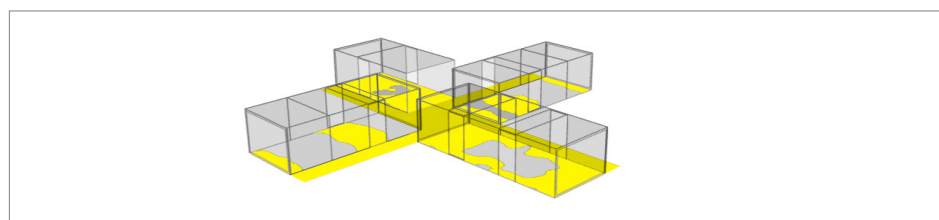
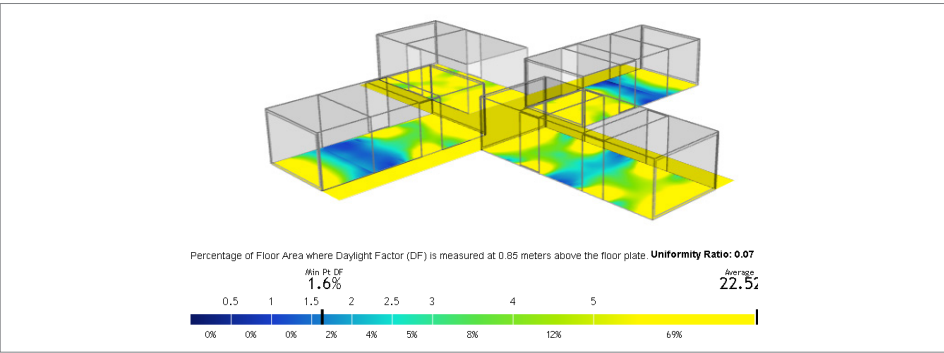


Fig. 79. ASE = 70 % en el Caso Base. Fuente: elaboración propia.

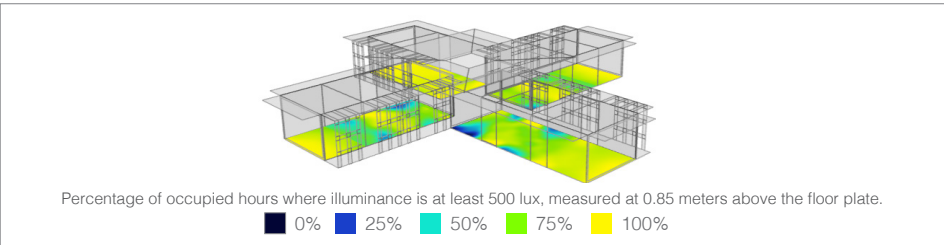
El Daylight Factor resulta también excesivo con un punto mínimo del 1,6 % y un punto promedio de 22,5 % al tener esta diferencia tan alta en entre el mínimo y el promedio, se entiende que hay partes del espacio muy oscuras y otras muy

Fig. 80. Daylighth Factor caso Base. Fuente: elaboración propia.

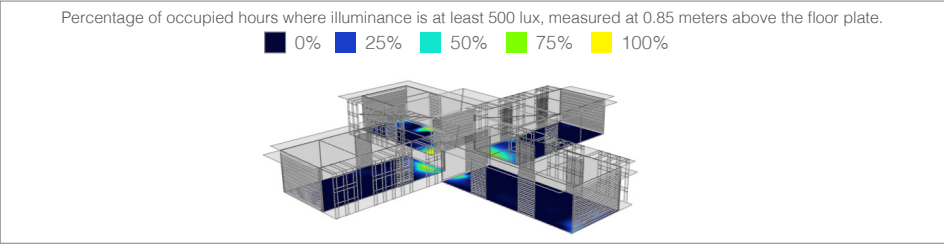


Es posible observar las diferencias entre la luminancia de la variación 1 (Fig. 81) que solo tiene los elementos de sombreo sin persianas, en contraste con la variación 3 (Fig. 82), que tiene los elementos de sombreo, más las persianas en todas las fachadas a 45°. Aquí analizamos como la implementación de una estrategia de diseño en fachada, cambia por completo el funcionamiento del espacio.

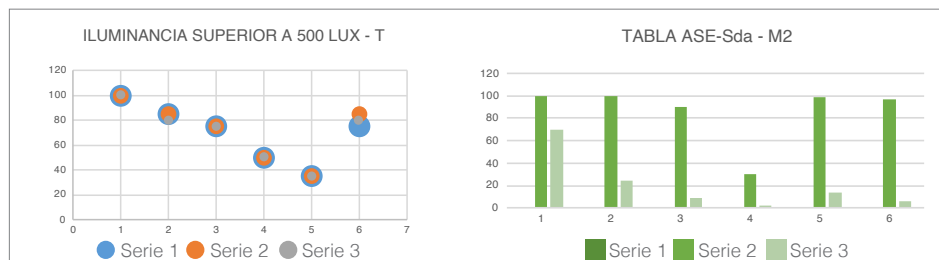
Variación 1
Fig. 81. Iluminancia Variación 1.
Fuente: elaboración propia.



Variación 3
Fig. 82. Iluminancia Variación 3.
Fuente: elaboración propia.

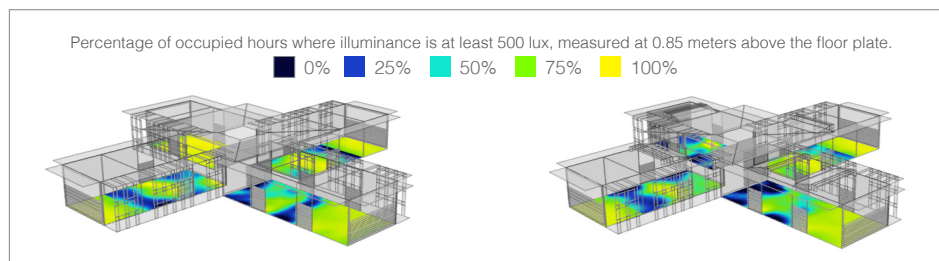


Si comparamos estos resultados de iluminancia con la exposición solar anual ASE, evidenciamos que, aunque aquí se muestra como un espacio funciona efectivamente con más de 500 luxes (Fig. 83), pueda estar sobre iluminado y presente al interior deslumbramientos molestos (Fig. 84).



Por otro lado, cuando se modifican los elementos en fachadas en la variación 4 y se orientan de forma más precisa como son: mayor protección en persianas al este y oeste con ángulo de 45° y, hacia el norte y sur con ángulo de 90° para evitar la penumbra, los resultados muestran como la luz se reparte de manera adecuada al interior del espacio, con menos contrastes y más homogeneidad como se presenta en la Fig. 85.

Finalmente, en la variación 5, se logran resolver los retos presentes aún en la variación 4, con lugares específicos en penumbras, incorporando lucernarios en el techo que complementen la iluminación, mejorando al mismo tiempo la calidad de esta (Fig. 86).



Analizando el resultado de la autonomía espacial con luz de día (sDA) confirmamos que a pesar de que la variación 1 cumple con los 500 luxes de luminancia, en la exposición solar anual (ASE) se evidencia sobre-exposición al sol directo y esto conlleva deslumbramientos y ausencia de confort visual. Si comparamos entre la exposición solar anual (ASE) en la Fig. 84 y autonomía espacial con luz de día (Sda) en la Fig. 83 en el Caso Base, observamos que entre más exposición solar anual tiene el espacio, mayor es su autonomía espacial con luz de día, ya que esta medida nos valida la cantidad de luxes con los que el espacio está funcionando, sin embargo, es importante no olvidar que el número de luxes se debe lograr evitando el ingreso de sol directo en el espacio, especialmente para el contexto tropical del estudio.

Izquierda

Fig. 83. Gráfica iluminancia. Fuente: elaboración propia.

Derecha

Fig. 84. Gráfica ASE – sDA. Fuente: elaboración propia.

Izquierda

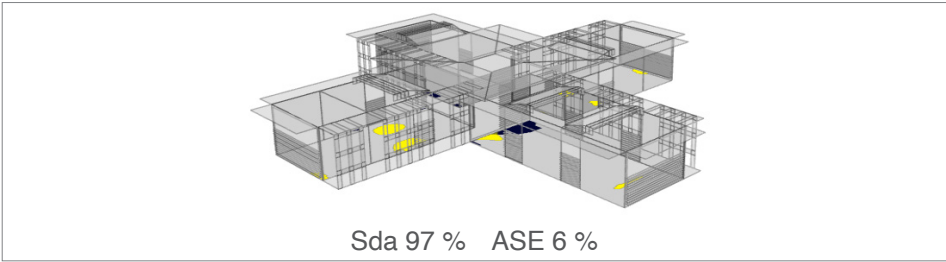
Fig. 85. Iluminancia Variación 4. Fuente: elaboración propia.

Derecha

Fig. 86. Iluminancia Variación 5. Fuente: elaboración propia.

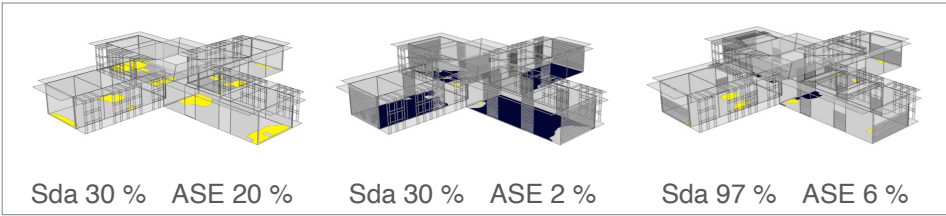
Por otro lado, lo que se logra con la variación 5 (Fig. 87), es una autonomía espacial con luz de día del 97 %, sin exponer el espacio al ingreso solar directo, con un ASE por debajo del 10 % recomendado.

Fig. 87. Variación 5 sDA - ASE.
Fuente: elaboración propia.



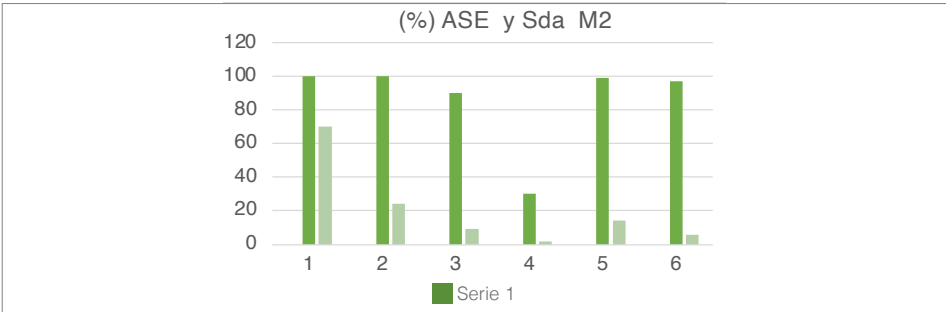
La comparación entre las métricas dinámicas en las variaciones 1, 3 y 5 muestran la relación directa entre el tipo de protección en ventana, como por ejemplo solo alero horizontal en la variación 1 (Fig. 88) con un ingreso solar altísimo de 20 %, mientras en la variación 3 (Fig. 89) en donde hay un exceso de elementos con todas las ventanas cubiertas con persianas a 45° producen penumbra al interior con 2 % de ingreso solar directo, mientras en la variación 5 (Fig. 90) como se indicó anteriormente, se logran valores óptimos en las dos métricas propuestas.

Izquierda
Fig. 88. Variación 1 sDA - ASE.
Fuente: elaboración propia.
Centro
Fig. 89. Variación 3 sDA - ASE.
Fuente: elaboración propia.
Derecha
Fig. 90. Variación 5 sDA - ASE.
Fuente: elaboración propia.



A continuación, se presenta la figura 91 la síntesis del comportamiento de las dos métricas dinámicas y permite visualizar como el caso base presenta altos niveles de iluminancia, al mismo tiempo que presenta el valor más alto de iluminación directa (ASE) y permite comparar, como la variación 5 presenta un porcentaje de iluminancia similar, pero el valor de ASE es mucho menor.

Fig. 91. ASE y sDA en las variaciones para el desempeño visual. Fuente: elaboración propia.



En la siguiente grafica (Fig. 92) se presenta la síntesis de las métricas analizadas a lo largo del desempeño visual, así como también de las otras métricas estáticas como el Dayligh Factor. Para resaltar, el alto valor de ingreso solar directo del caso base (72 %), el bajo valor de sDA en la variación 3 (84 %) con todas las persianas a 45°, el asoleamiento excesivo en el caso 2 con todas las persianas a 90° y la variación 5 con el mejor desempeño (solo con el DF un poco por debajo del 2 % recomendado por la norma).

	N/A	ELEMENTOS DE SOMBREO	ELEMENTOS DE SOMBREO + PERSIANAS 100% 90°	ELEMENTOS DE SOMBREO + PERSIANAS 100% 90° - 45°	ELEMENTOS DE SOMBREO + PERSIANAS 50% 90° - 45°	ELEMENTOS DE SOMBREO + PERSIANAS 50% 90° - 45°
						
	CASO BASE	V1	V2	V3	V4	V5
ILUMINANCIA	100	85	75	50	35	75
	100	85	75	50	35	85
	100	80	75	50	35	80
SDA 50%	↑ 100	↓ 100	↑ 90	↑ 84	↑ 100	↑ 97
ASE	↑ 72	↑ 24	↑ 9	↓ 7	↓ 15	↓ 4
DF	↑ 22,57	↑ 2,55	↓ 1,28	↓ ,59	↓ 1,78	↓ 1,62
EXCESIVO	↑ 72%	↑ 76%	9%	↓ 2%	↓ 14%	↓ 6%
ADECUADO	↓ 28%	↓ 24%	↑ 81%	↑ 26%	↑ 85%	↑ 91%
DEFICIENTE	0%	0%	↑ 9%	↑ 70%	↓ 1%	↓ 3%

Fig. 92. Tabla comparativa de variaciones y resultados.

Propuesta arquitectónica para un prototipo con alto desempeño térmico, visual y energético. Como conclusión de este proceso de diseño, se presenta el prototipo que resume los mejores desempeños térmico y visual. Además, está conformado por elementos prefabricados de rápida construcción y montaje, permitiendo la rapidez de la construcción en sitio y la flexibilidad de la propuesta, acorde con los principios planteados al inicio del proyecto. Cada elemento que conforma el prototipo base cumple una función arquitectónica, bioclimática y sostenible, principal principio de la propuesta de diseño, así:

Los módulos de concreto que conforman los diferentes espacios se dimensionan teniendo en cuenta la facilidad de su prefabricación, transporte, aislamiento climático y cumpla con los requerimientos espaciales de las diferentes infraestructuras de emergencias que se necesiten (Fig. 93).

El patio sombreado, se concibe como el espacio central de reunión y encuentro del edificio y el recolector de agua lluvia la cual se utilizará para el aseo de los baños y del edificio en general, reduciendo significativamente el consumo del edificio.

Las estructuras metálicas que soporta los muros verdes protegen las fachadas del asoleamiento y también son los corredores de circulación del edificio que permiten que el edificio crezca según la necesidad y la estructura metálica de los aleros,

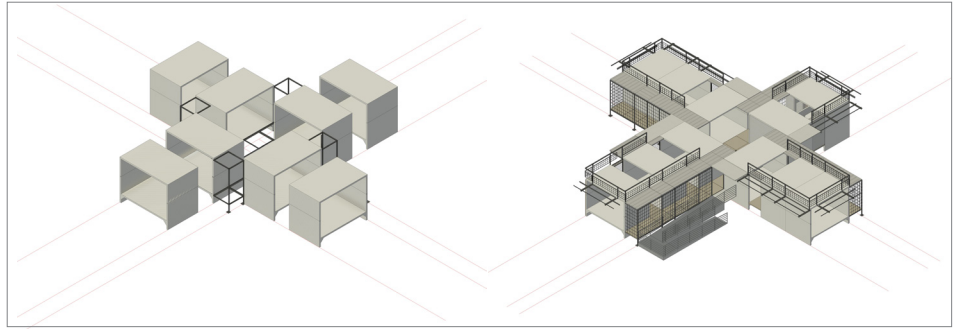
son el soporte de los paneles solares y a su vez protegen los muros de concreto del asoleamiento (Fig. 94).

Izquierda

Fig. 93. Conformación de los “espacio – aulas” con varios módulos de concreto.

Derecha

Fig. 94. Envolvente de fachadas, estructuras metálicas; corredores y aleros soportes de paneles solares.



Los lucernarios en estructura metálica y placa delgada de fibrocemento, ayudan a mejorar la iluminación y ventilación en los diferentes espacios.

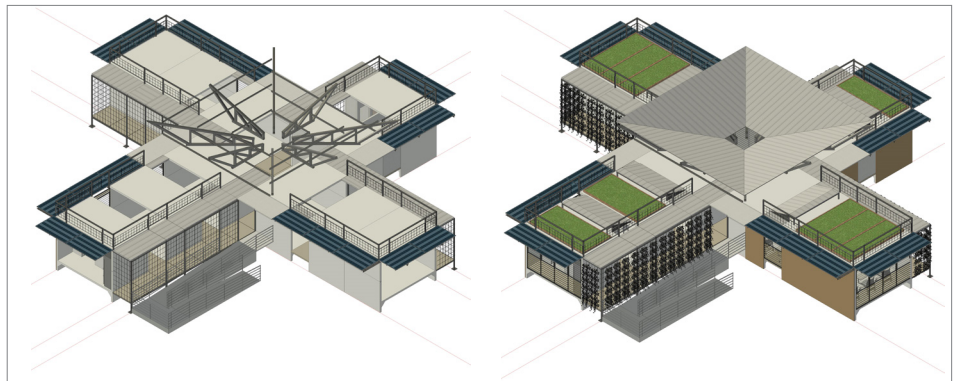
Las diferentes cubiertas; verde y del patio, cobijan el edificio disminuyendo la incidencia solar en hora del medio día principalmente donde la radiación solar es más intensa en el en nuestras latitudes Fig. 95 y Fig. 96.

Izquierda

Fig. 95. Estructura de cubierta, lucernarios y paneles solares.

Derecha

Fig. 96. Prototipo completo. Fuente: elaboración propia.



Si bien, la propuesta del prototipo se centra en el comportamiento y evaluación de la unidad presentada, esta unidad hace parte de un conjunto propuesto, el cual se puede adaptar a diferentes situaciones urbanas.

El principio de diseño del conjunto de infraestructura básica se basa en proponer un sistema de agrupación de prototipos base que se adapte al lugar, uso (escuela,

centro de salud, hospedaje de emergencia) y cobertura que se necesite según la emergencia. Como se presentó anteriormente el patio y los corredores son fundamentales para lograr flexibilidad y replicabilidad del diseño. Ellos son los espacios articuladores de los demás espacios en el conjunto (Fig. 97).

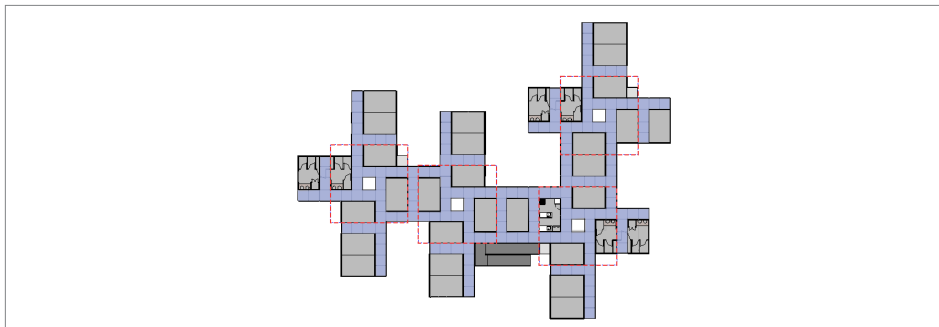


Fig. 97. Planta conjunta para la educación.

El objetivo propuesto en la agrupación del conjunto es permitir el desarrollo de recintos, y de espacios de transición que permitan no solo la independencia de los espacios sino la iluminación y ventilación natural, como se presenta en la volumetría (Fig. 98).

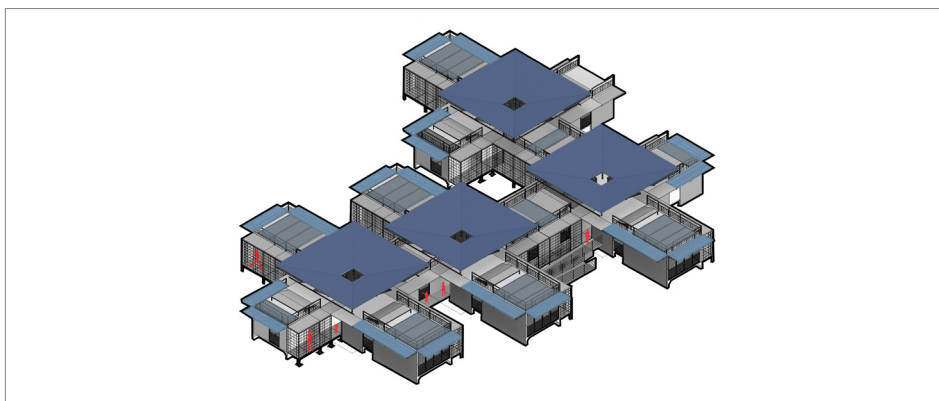


Fig. 98. Axonometría Prototipo de educación.

Como se indicó al inicio del libro, en la presente contribución se desarrolla en profundidad el prototipo para la educación, se presenta tanto desde el tema arquitectónico como desde el de gestión de aguas, recomendaciones de cómo podría funcionar el mismo prototipo para usos diferentes de infraestructura.

Diseño del sistema de gestión sostenible del agua en el prototipo

A continuación, se describe el proceso de diseño ejecutado en el proyecto el cual permitió plantear una propuesta para el sistema de gestión sostenible del agua en el prototipo planteado. Se realizaron diseños para el sistema de manejo de aguas lluvias, de aguas negras (aguas residuales), aguas grises (aguas jabonosas) y agua potable por unidad de célula. Así mismo se plantea un trazado del sistema hidrosanitario en el prototipo para cada uno de estos tipos de aguas.

Diseño del sistema de manejo de aguas lluvias por unidad de célula

Para el planteamiento del sistema de aprovechamiento de agua lluvia, primero se debe definir el área de captación, así como también, determinar la oferta y demanda de agua que se propone suplir con el agua captada, además, de determinar el volumen del tanque de almacenamiento y el sistema de bombeo para el aprovechamiento de este recurso.

Para calcular la oferta hídrica mensual, se empleó la metodología del CEPIS, en la cual, se consideran los siguientes criterios (CEPIS, 2004).

$$V_x(m^3) = \frac{P_{pi} \left(\frac{L}{m^2} \right) * C_e * A_c(m^2)}{1000}$$

Donde, V_x : Oferta de agua en el mes “x” (P_{pi} : Precipitación promedio mensual ()), C_e : Coeficiente de escorrentía, A_c : Área de captación ()).

Área de captación: Está compuesta por la longitud, el ancho y el ángulo de la inclinación del techo con relación al vertical de la célula, como se muestra en la Fig. 99. Para calcular esta área se emplea la siguiente ecuación.

$$A_c = L * b * \text{Sen} \alpha$$

donde, A_c es el área de captación en m^2 , L es la longitud del techo en m , b es el ancho del techo en m y α es el ángulo de inclinación del techo con relación a la vertical de la célula.

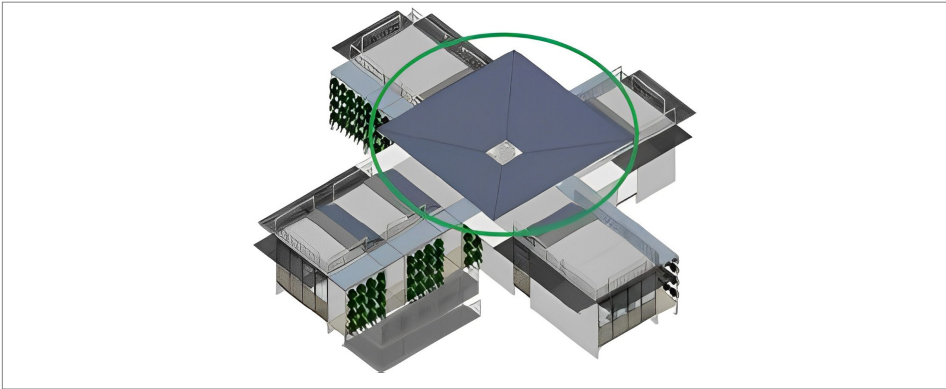


Fig. 99. Área de captación de precipitación en la célula.

Teniendo en cuenta los datos registrados en los planos del proyecto prototipo, se determina que el área de captación de aguas lluvias es de 73,1.

Precipitación promedio mensual de la zona: Para determinar la oferta de precipitación mensual en la zona de estudio, se procedió a recolectar la información meteorológica presentada en los últimos 10 años, por medio de la Red Metodológica Automatizada (RMA). Se recopilaron los datos la zona y se promediaron para así, definir cuál es la oferta de agua lluvia con la que se cuenta al mes. En la siguiente Tabla 36, se puede apreciar la cantidad en litros por metro cuadrado de la oferta hídrica promedio en 10 años.

Precipitación promedio mensual en la zona de estudio (año 2008-2018)											
Precipitación mensual de la zona de estudio (10 años) (L/m²)											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
79,69	108,73	163,2	204,1	166,3	71,1	58,7	49,82	88,2	163,11	177,8	110,72

Fuente: MIHOUSE, Project Team. MIHOUSE, Project MA, 29 (2015).

Coeficiente de escorrentía: El coeficiente de escorrentía se adopta del manual ATHA en la Tabla 37, donde se plantea un valor de 1,0 para la oferta hídrica en pavimentos hormigón en lluvias largas. Por lo tanto, se asumió este valor para determinar la oferta hídrica de nuestra zona de estudio, teniendo en cuenta que donde está ubicada es una zona de alta probabilidad de precipitación y puede tener lluvias constantes en los meses donde la demanda hídrica es más alta.

Tabla 37
 Coeficiente de escorrentía según el tipo de área

Tipo área	C. Lluvias corta	C. Lluvias largas
Residencial >150 vivienda/ha	0,70 a 1	1
Residencial de 100 a 150 v/ha	0,75 a 1	1
Residencial de 100 a 150 v/ha	0,65 a 1	1
Residencial de 50 a 100 v/ha	0,40 a 0,70	1
Residencial de 25 a 50 v/ha	0,30 a 0,50	0,80 a 0,9
Residencial de 10 a 25 v/ha	0,25 a 0,35	0,60 a 0,80
Residencial de 0 a 5 v/ha	0,10 a 0,70	0,50 a 0,60
Comercial céntrica	0,70 a 0,95	1
Comercial periférica	0,50 a 0,70	1
Industrial	0,50 a 0,90	1
Deportiva	0,20 a 0,35	0,5
Parques de jardines	0,10 a 0,25	0,4
Pavimento hormigón aglomerado	0,90 a 1	1
Pavimentos de ladrillo	0,70 a 0,85	1
Pavimientos de grava	0,20 a 0,30	1
Cubierta	0,90 a 1	1
Cultivos (según pendiente)	0,05 a 0,20	0,15 a 0,50
Bosques (según pendiente)	0,05 a 0,15	0,10 a 0,35

Fuente: adaptado de Almazán Gárate (s.f.),
http://www.andece.org/wpcontent/uploads/2019/06/manual_calculo_atha.pdf

Teniendo ya todos los criterios determinados, se procedió a aplicar la ecuación planteada por el CEPIS anteriormente citada, por medio de esta, se calculó el abastecimiento de agua por precipitación mes a mes promedio, planteando así con la oferta hidria mensual en la zona de estudio presentada en la Tabla 38.

Tabla 38
 Oferta hídrica mensual en la zona de estudio

Oferta hidrica mensual (m³)											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
6	8	12	15	12	5	4	4	6	12	13	8

En la anterior tabla el color amarillo corresponde al mes de mayor oferta hídrica para almacenar siendo el mes de abril con 15 . Por el contrario, el color rojo identifica los meses donde la oferta hídrica se reduce a más de la mitad en este caso los meses de julio y agosto con 4.

Demanda de agua: Se plantea como caso de uso crítico en la demanda de agua, el uso del prototipo como institución educativa (por tener el mayor consumo de agua respecto a los demás usos del prototipo), por lo tanto, el cálculo de la demanda requiere que el agua captada por precipitación mensual supla la descarga total de las baterías sanitarias y un cuarto de lavado de útiles. Por lo tanto, se analizó la cantidad de usuarios en promedio que usan el inodoro por día, dando como resultado 35 usuarios, que son 30 estudiantes y 5 trabajadores.

Además, se tiene en cuenta la cantidad de descargas diarias por usuarios, adoptando un valor promedio de 2 descargas por usuario diarias, esto con el fin de conocer la demanda diaria sobre el abastecimiento de agua requerida en la descarga de las baterías sanitarias en una célula por cada usuario.

También, se determinaron los días de uso de las baterías sanitarias al mes, teniendo en cuenta que los fines de semana no se tendría uso institucional, por lo que se decidió adoptar un valor de 20 días al mes de uso diario por todos los usuarios.

Adicionalmente, se tiene en cuenta el volumen de agua requerido por cada descarga del tanque del sanitario por el usuario, de esta forma se seleccionó una batería sanitaria de alta eficiencia y mayor comodidad, además con un consumo mínimo correspondiente a 4 litros por descarga por usuario, el cual es adecuado para instituciones educativas de tráfico medio. Para una mayor descripción en la Fig. 100, se observa la ficha técnica del sanitario seleccionado en el proyecto.

POWER ONE

Sanitario

Instalaciones con drenaje de alta eficiencia y alta descarga para mayor comodidad

Sanitario con consumo de 3.8 litros por descarga y grifo con descarga

Altura comfortable de taza ADA apta para personas con discapacidades o personas de tercera edad

Admite la cierre suave para evitar accidentes y ruidos innecesarios

Batón superior de cerámica con 360° de rotación

Puede mayor capacidad de evacuación de los días que sanitarios estándar

Admite las instalaciones para instalaciones de tráfico medio (BODI, de WISCI)

Válvula de suministro hidrostática automática

Grifo 100% terminado de 5.1 cm que optimiza el funcionamiento y mantiene limpio el sanitario



INFORMACIÓN TÉCNICA

Material	Porcelana Sanitaria
Dimensiones Generales	425x 290x 786 mm 16.7x 11.4x 30.9 in
Presión de agua	20 - 80 PSI
Sistema de descarga	Por gravedad
Flujo de agua	Modelo 232 cm - 6.5 x 9.2 pulg
Altura de sello	62 cm - 24.2 pulg

Modelo	Capacidad	Peso
0154000	Sanitario con	24.7 kg - 54.6 lb
0400000	Tapa, Tercera y Grifo	14.0 kg - 30.9 lb

PRODUCTO EMPACADO

Modelo	Capacidad	Peso
Taza P/D	25.8 x 14.4 x 42.8 cm 10.2 x 5.7 x 16.8 in	25.8 kg - 56.9 lb
Tanque P/D	43 x 21 x 48 cm 17 x 8.3 x 19 in	14 kg - 30.8 lb

INSTALACIÓN

Para instalación tradicional de 30.5 cm de la pared terminada.

Sistema de montaje de la taza al tanque para reducir ruidos innecesarios.

Estas dimensiones son nominales y están sujetas a cambios sin previo aviso.



Disponible en colores:
Blanco



Garantía grifo limitada de 5 años.

LÍNEA DE ATENCIÓN 01 8000 05 1230

Si usted desea ver nuestra línea completa de productos por favor ingrese a: www.corona.co

Fig. 100. Ficha técnica del sanitario seleccionado. Fuente: adaptado de <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/277351/sanitario-power-one/277351/>

Teniendo en cuenta todos los criterios determinados anteriormente, se procedió a calcular la demanda de agua para el volumen de descarga de las baterías sanitarias por 35 usuarios, 2 veces al día por 20 días teniendo en cuenta que cada descarga es de 4 litros, dada por la siguiente ecuación.

$$Dx(m^3)= \frac{Nu \cdot Nd \cdot Ds \left(\frac{L}{descarga \cdot usuario} \right) \cdot Cd}{1000}$$

Donde, Dx = Demanda hídrica en el mes “x”. Nu= Número de usuarios. Ds= Volumen de descarga del sanitario por usuario. Cd= Cantidad de descargas diarias por usuario.

El anterior cálculo da como resultado una demanda de la célula de 6 por mes para la descarga de los sanitarios en el caso de uso de institución educativa. Además, se planteó también el uso en un cuarto de aseo para el cual se consideró una demanda de 2 al mes para suplir y se tiene un volumen de reserva del 20 % que son 2. Por lo tanto, el volumen de demanda total a suplir es de 10.

En la Tabla 39 se presenta la relación oferta-demanda de la zona de estudio, el estudio se realizó mes a mes, empezando por el mes de abril, donde tenemos mayor oferta hídrica y se pudo acumular más volumen de agua lluvia en el primer mes de funcionamiento con el sistema de recolección. También, se muestra la demanda mensual de la célula con un funcionamiento normal, el acumulado de agua lluvias sin drenaje mes a mes y por último el acumulado neto, en donde el agua lluvia que no es necesario para suplir la necesidad es drenado a través de una tubería alterna.

En cuanto a los colores en la tabla, se puede observar que, en los meses de julio y agosto, no hay demanda de agua en la célula del prototipo, porque son los meses donde no hay usuarios en la célula. Además, en los meses de diciembre y enero se reduce la demanda a la mitad porque son meses donde el calendario estudiantil es menor, por semanas de vacaciones.

Sin embargo, se debe aclarar que este caso de estudio es para la situación de escolaridad, en el caso de implementaciones futuras en prototipos con uso en salud u hospedaje se debe ajustar la demanda, pero se puede utilizar esta tabla como base a próximos estudios.

Por último, en color azul, se puede observar dos valores, en el primero es el primer mes de acumulación de aguas lluvias por lo tanto es menor a la cantidad de agua requerida teniendo en cuenta la reserva de agua, pero en el mes siguiente se cumplen y se proyecta que para el siguiente año se cumpla toda la demanda de agua lluvia en la célula.

Tabla 39
Relación oferta-demanda considerada en el diseño

Relacion oferta - demanda (m³)					
Mes	Oferta	Demanda	Diferencia	Acumulado (sin drenaje)	Acumulado neto
Abril	15	6	9	9	9
Mayo	12	6	6	15	10
Junio	5	6	-1	14	10
Julio	4	0	4	18	10
Agosto	4	0	4	22	10
Septiembre	6	6	0	22	10
Octubre	12	6	6	28	10
Noviembre	13	6	7	35	10
Diciembre	8	3	5	40	10
Enero	6	3	3	43	10
Febrero	8	6	2	45	10
Marzo	12	6	6	51	10
Abril (próx. año)	15	6	9	60	10

Diseño del tanque de almacenamiento: Después de determinar el volumen de agua necesario para suplir la descarga de sanitarios y el cuarto de lavado mensualmente, se procedió a calcular el dimensionamiento del sistema de almacenamiento.

Teniendo en cuenta que el total del volumen de agua para suplir, se puede captar y almacenar, se determinó que el volumen de almacenamiento del tanque es de 10, siendo 6 para el uso de descarga sanitaria, 2 para la demanda en el uso de limpieza de materiales en el cuarto de lavado y 2 de protección y reserva para posibles contingencias o imprevistos.

En la Fig. 101, se ilustra el tanque de almacenamiento seleccionado, el cual tiene una capacidad de 10 y es de la marca Colempaques. Este tanque almacena el agua lluvia necesaria para suplir las necesidades para la célula. Este tanque tiene la tubería de entrada por arriba, por lo tanto, el ingreso del agua captada es por gravedad y su tubería de salida es en su parte inferior el cual por una tubería está conectado al sistema de bombeo. El sistema de almacenamiento se plantea ubicar adjunto a una de las células del prototipo, por lo tanto, tiene un cuarto de mantenimiento y bombeo aparte.

Fig. 101. Tanque de almacenamiento Colempaques 10 m³. Fuente: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/61695/tanque-10000-litros/61695/>



Filtro de pretratamiento de aguas lluvias: En el sistema de recolección y captación, el agua lluvia puede contaminarse por materia orgánica como también por sólidos suspendidos que pueden obstruir el sistema y así colapsarlo, también, puede generar malos olores y reducir la calidad de las aguas lluvias captada para su posterior uso, por esto, es necesario un filtro de pretratamiento.

Para este caso, como el aprovechamiento y reúso de aguas lluvias es para descargas sanitarias y uso de lavado de pisos, por lo tanto, un filtro con malla para la eliminación de sólidos como las hojas secas o sólidos puede satisfacer esta necesidad. Una alternativa son los Filtros Rainy de la compañía colombiana VIC, ya que estos funcionan a gravedad, son auto-limpiables por lo tanto no tienen costo de operación y de mantenimiento, además, elimina partículas suspendidas desde 0.25 mm, tiene larga vida útil ya que no tiene partes móviles por lo tanto no hay un desgaste del filtro. En Fig. 102, Fig. 103 y en la Fig. 104, se puede observar sus componentes de ensamblaje, el filtro y su vista ya ensamblado.

Fig. 102. Componentes del Filtro Rainy de aguas lluvias. Fuente: <https://vic.com.co/filtros-rainy2-0/>

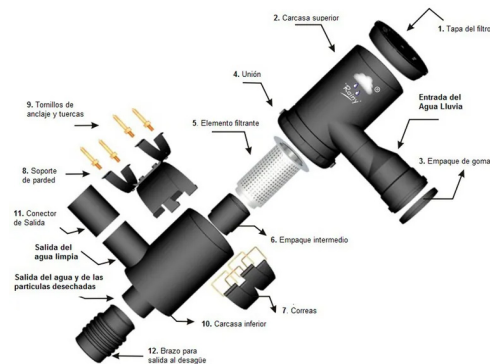




Fig. 103. Filtro Rainy de aguas lluvias. Fuente: <https://vic.com.co/filtros-rainy2-0/>

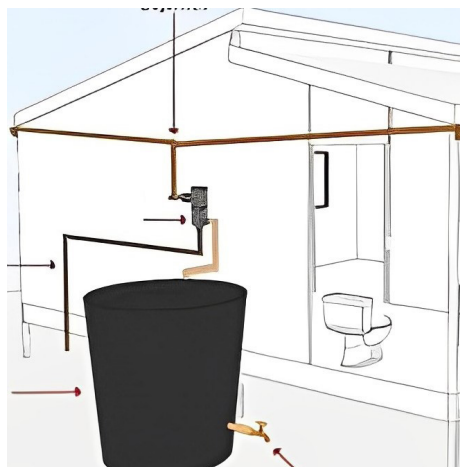


Fig. 104. Filtro Rainy implementado en un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias. Fuente: <https://vic.com.co/filtros-rainy2-0/>

Sistema de bombeo de aguas lluvias. Se propone un sistema de bombeo de aguas lluvias compuesto por una bomba que tendrá como función distribuir el agua desde el tanque de almacenamiento de aguas lluvias hasta los tanques de almacenamiento de agua para descarga en los inodoros y el cuarto de lavado. El cuarto de tanques está ubicado en la parte trasera de la pared posterior de los inodoros, por lo tanto, esto facilita la red de distribución del agua almacenada hacia las baterías por medio de la motobomba.

Para este caso, se selecciona una hidro-bomba horizontal como lo ilustra la Fig. 105, con una potencia de 0,5 HP, un voltaje de 110 V, una presión máxima de 57 Psi y un caudal máximo de 40 L por minuto, con la cual constata que el agua siempre llegue en el momento adecuado garantizando el uso óptimo de este recurso.

Fig. 105. Sistema de bombeo de aguas lluvias.
Fuente: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/238499/equipo-hydro-bomba-horizontal-1-2-hp-24-litros/238499/>



Dimensionamiento y planos hidrosanitarios del sistema de manejo de aguas lluvias por unidad de célula. A continuación, se ilustra en la Fig. 106, Fig. 107, y Fig. 108 el trazado de las tuberías y canales de sistema de aprovechamiento de aguas lluvias en la célula del proyecto RUPIV.

Fig. 106. Vista en planta del trazado hidrosanitario del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, conducción, almacenamiento y distribución.

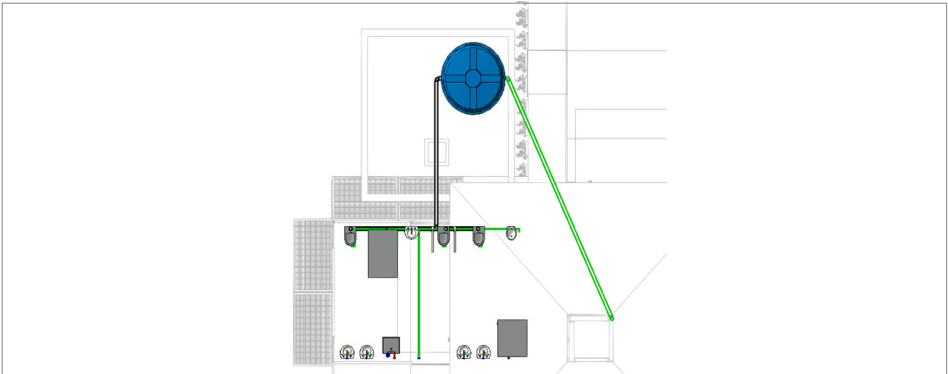
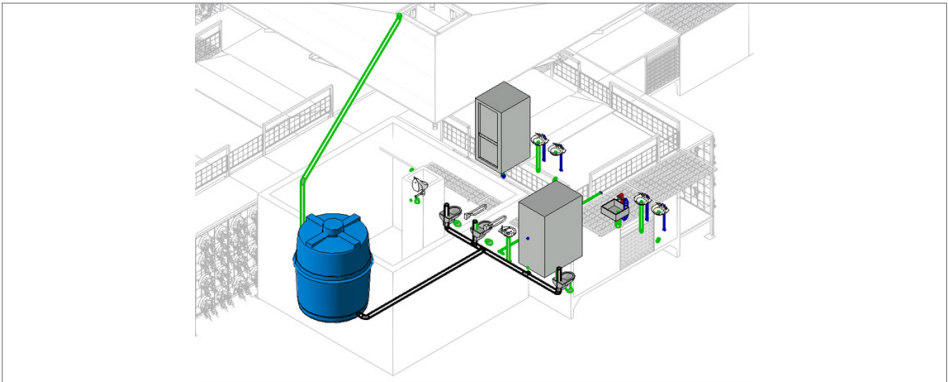


Fig. 107. Isometría del trazado hidrosanitario del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, conducción, almacenamiento y distribución.



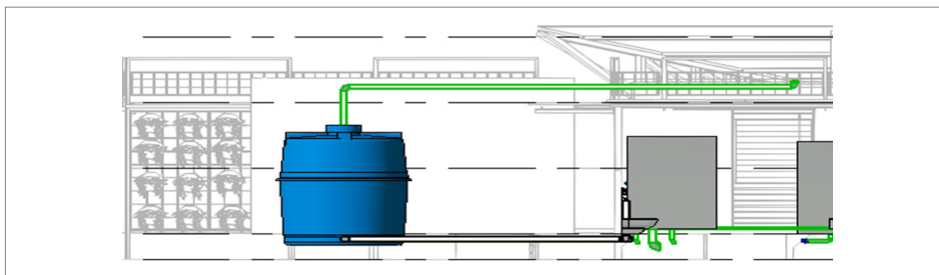


Fig. 108. Vista lateral del trazado hidrosanitario del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, conducción, almacenamiento y distribución.

Diseño del sistema de manejo de aguas negras por unidad de célula

Las aguas residuales o aguas negras son las aguas que contienen desechos orgánicos, detergentes, jabones, grasas, orina, materia fecal o cualquier material disuelto o en suspensión después de actividades llevadas a cabo por los usuarios y que no se les proponga algún tratamiento o reúso. Por lo tanto, se les considera aguas negras a los efluentes originados en las baterías sanitarias y el lavaplatos.

Considerando lo anterior, para el presente proyecto la recolección de aguas negras proviene de: (1) las baterías sanitarias por su contenido alto en materia orgánica como lo son la materia fecal y la orina; (2) el efluente de lavaplatos, por su alto contenido de residuos de materia orgánica como son los alimentos y (3) las duchas y lavamanos, por su alto contenido de residuos peligrosos como es la sangre o fluidos corporales (solo aplica para el uso de salud). Para el uso educativo y hospedaje se propone separar las aguas negras de las aguas grises o jabonosas de la red de alcantarillado e implementar aprovechamiento de aguas grises.

Inicialmente, se aclara que para las aguas negras no se considera ningún tipo de tratamiento en el proyecto, ya que en la ciudad de Cali se cuenta con la planta de tratamiento de aguas residuales - PTAR Cañaveralejo como receptora de estas. Sin embargo, se debe garantizar una serie de normativas para garantizar el correcto manejo del recurso hasta la planta de tratamiento, este va desde su generación, transporte inspección hasta la disposición final.

Dentro del marco de la normativa nacional de Colombia, se debe cumplir unos parámetros y valores máximos permisibles en los vertimientos a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público, según lo establece la Resolución 0631 de 2015. En este caso, al ser aguas residuales no resultantes de actividades industriales o comerciales, se establecen los parámetros físico-químicos para realizar descargas de las aguas residuales domésticas según esta establecido en la resolución.

Estimación de la producción de aguas negras por unidad de célula. Inicialmente es importante definir las baterías sanitarias o dispositivos que generarán el efluente de aguas negras, como lo muestra la siguiente Tabla 40, los cuales en este caso son los sanitarios de cada célula, los orinales secos y los grifos en las cocinetas.

Tabla 40
Dispositivos que generan agua negra

Nombre	Generación
Sanitario Power One	3,8 L/descarga
Grifería de Cocina LOFT	6,2 L/minuto
Orinal sin agua	1,5 L/persona*día

Teniendo en cuenta los dispositivos se realiza la restimación de la producción de aguas negras por unidad de célula como lo exhibe la Tabla 41. De acuerdo con los criterios de diseño de la célula, se ha definido que en promedio la cantidad de usuarios que harían uso de las baterías sanitarias son 35, además, se define que la cantidad de descargas diarias por usuario es en promedio 2 descargas al día.

Tabla 41
Cálculo de producción de aguas negras proveniente de las baterías sanitarias

Generación de aguas negras (Baterías sanitarias)		
Concepto	Valor	Unidades
Descarga del sanitario	3,8	(L/descarga)
Demanda por persona (2 descargas*día)	70	(L/usuario*día)
Usuarios por célula	35	(usuarios*día)
Número de días de uso al mes	20	(días)
Generación por célula	600	(L/mes)

Además, se estimó la producción de aguas negras por uso de lavaplatos en una célula en la Tabla 42. El consumo de agua potable y posterior generación de aguas negras en la zona de lavavajillas o lavaplatos, distingue una generación de 20 litros por usuario al día de las labores de preparación culinaria y limpieza (UAO y USB, 2019).

Tabla 42
Cálculo de producción de aguas negras proveniente del lavaplatos y limpieza

Generación de aguas negras (Lavaplatos y limpieza)		
Concepto	Valor	Unidades
Preparación culinaria y limpieza	20	(L/usuarios*día)
Número de días de uno al mes	6	(L/usuario*día)
Generación por célula	120	(L/mes)

Dimensionamiento y planos hidrosanitarios del sistema de manejo de aguas negras por unidad de célula. A continuación, en las Fig. 109, Fig. 110 y Fig. 111, se ilustra el plano hidrosanitario de las aguas negras en el prototipo, con su respectivo trazado a través de la célula del proyecto.

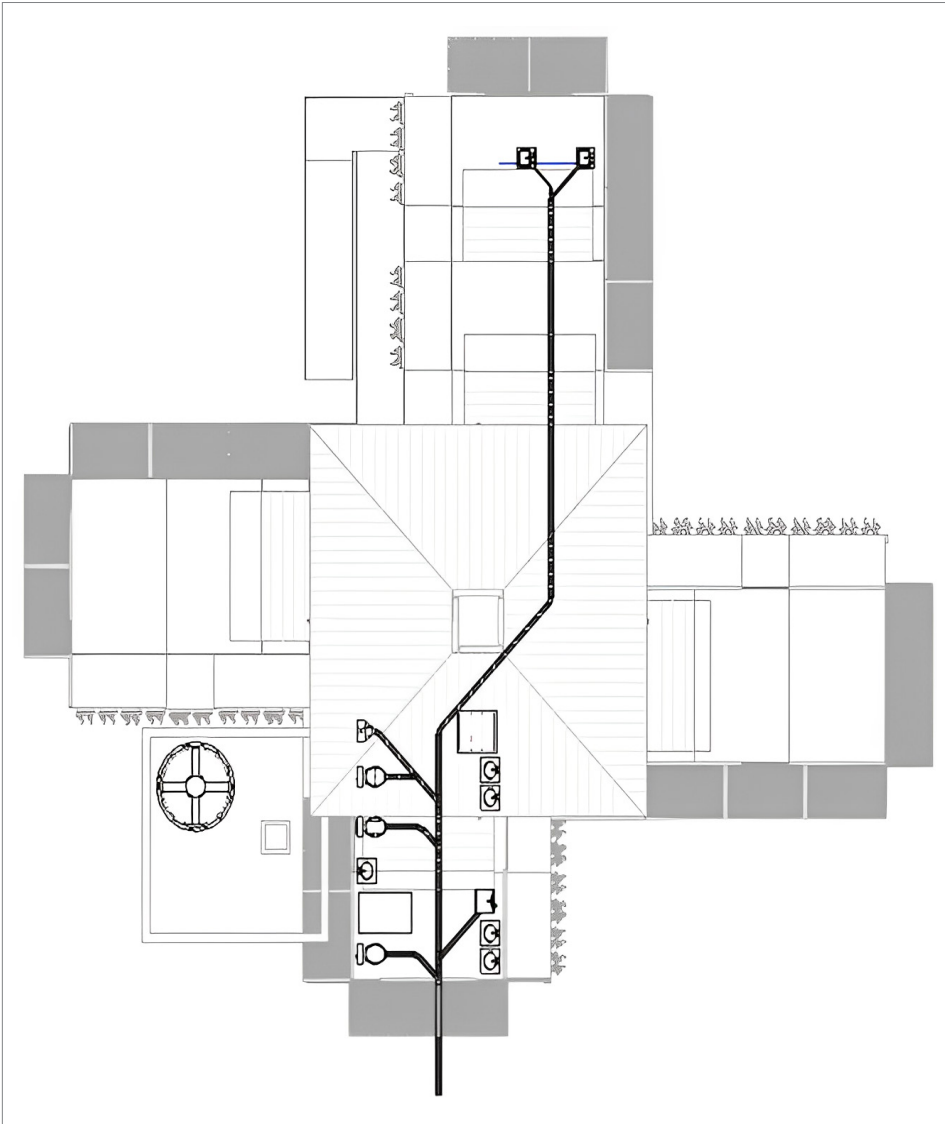


Fig. 109. Vista lateral del trazado hidrosanitario del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, conducción, almacenamiento y distribución.

Fig. 110. Isometría del trazado hidrosanitario de las aguas negras producidas en la célula.

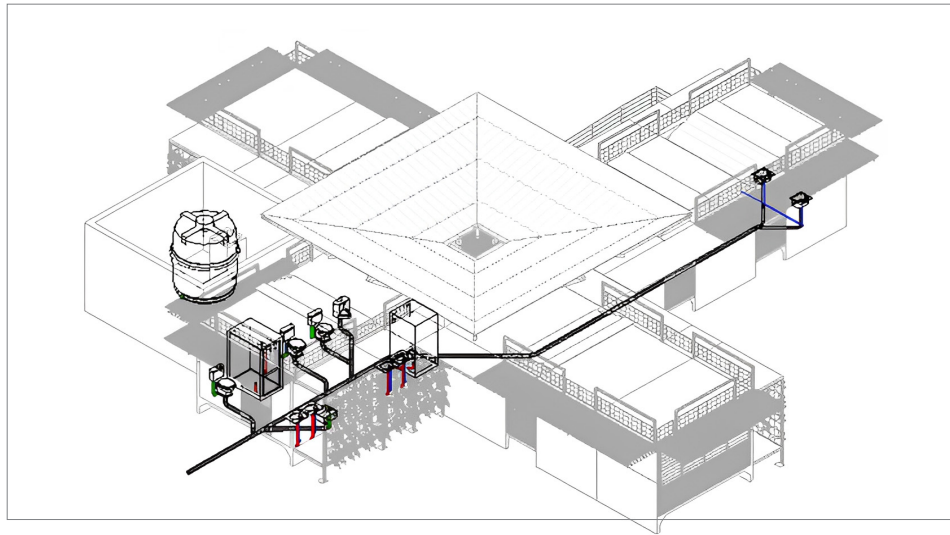
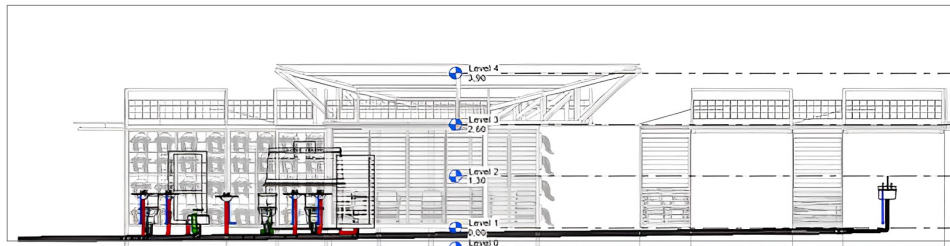


Fig. 111. Vista lateral del trazado hidrosanitario de las aguas negras producidas en la célula.



Diseño del sistema de manejo de aguas grises por unidad de célula

Las aguas grises también conocidas como aguas jabonosas se definen como las aguas provenientes del lavamanos, duchas y lavadoras, las cuales tienen materia orgánica e inorgánica, microorganismos, un alto porcentaje de detergentes, pero un bajo o nulo contenido de materia fecal. Estas aguas en algunos casos son enviadas a un sistema de tratamiento para permitir su reuso o en otros casos son enviadas al alcantarillado y no se realiza ningún aprovechamiento.

Para las aguas grises consideradas en el presente proyecto en el uso del prototipo en institución de salud, no se considera el aprovechamiento, ya que en este uso estas aguas pueden tener alto porcentaje de materia orgánica, químicos, sangre y/o otros fluidos corporales que por medio de un tren de tratamiento tradicional

no se lograría depurar. Por otro lado, en los otros dos usos del prototipo, educativo y hospedaje si se pudiera aprovechar las aguas grises, por lo tanto, se separa el sistema de red de alcantarillado de aguas grises y aguas negras con el fin, de que, si el usuario desea tratar y reusar estas aguas, ya tenga una red por separado para su conducción hacia el tratamiento o en el caso que no, podrá conectar estas dos redes para tener una sola red en el momento de conectar con el alcantarillado municipal.

En el presente prototipo las aguas grises provenientes de efluente de lavamanos, cuarto de lavado y duchas, serán conducidas por una tubería sanitaria de material PVC con un diámetro de 2” para después conectar con la tubería principal de aguas residuales del prototipo que tiene una medida de 4” y posteriormente al alcantarillado municipal.

Estimación de la producción de aguas grises por unidad de célula: Las aguas grises se generarán en el prototipo por tres fuentes principales; cuarto de lavado, ducha y lavamanos. La producción de aguas grises fue estimada para una célula con la máxima capacidad, 35 usuarios al día. En la Tabla 43, se describe la producción de aguas grises por célula al mes.

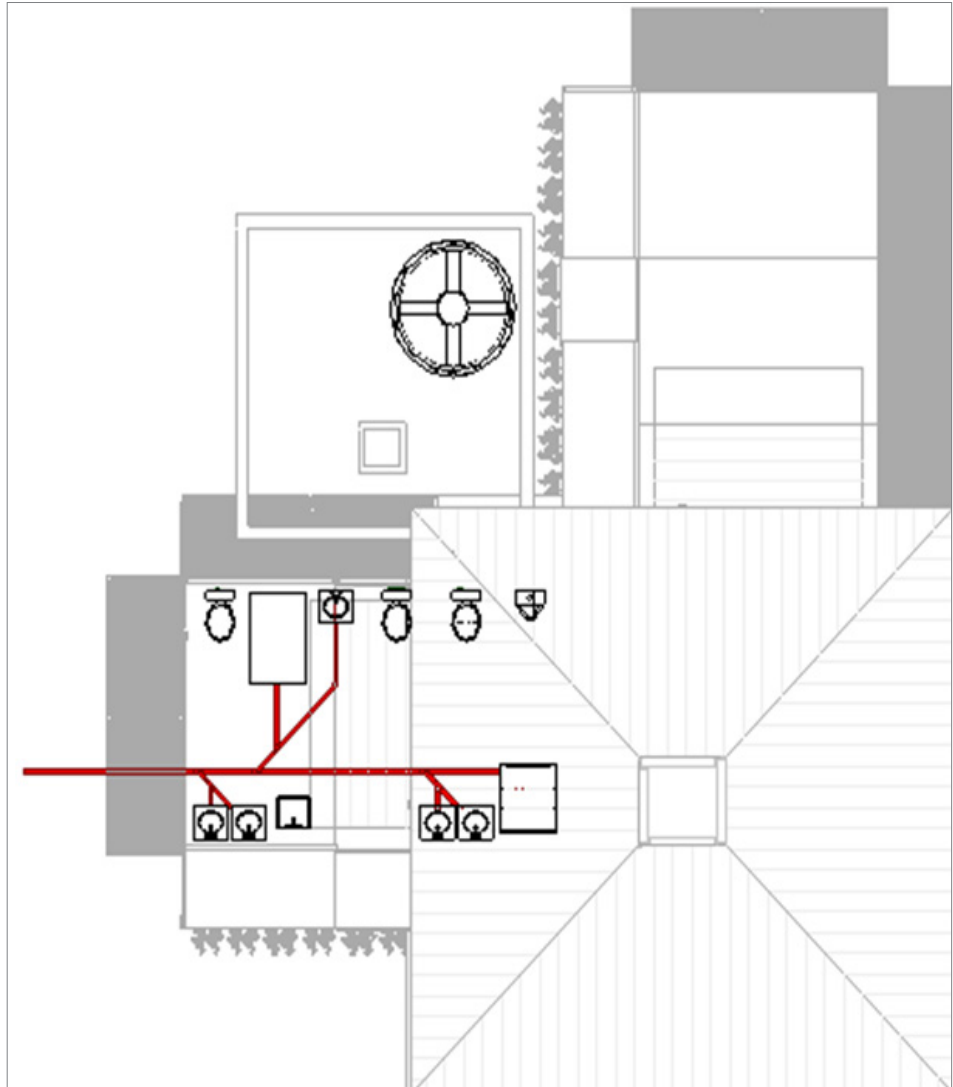
Tabla 43
Cálculo de producción aguas grises provenientes de la célula

Producción de aguas grises	
Uso de ducha (veces/usuario*día)	1
Cantidad consumida (L/min)	11,8
Tiempo de ducha (min)	5
Consumo de agua (L/usu*día)	59
Uso de lavamanos (veces/usu*día)	5
Cantidad consumida (L/m)	3,2
Tiempo de lavamanos (min)	0,2
Consumo de agua (L/usu*día)	3,2
Consumo de agua total (L/usu*día)	62,2
Consumo de agua total (L/célula*día)	2177
Consumo de agua total (L/célula*mes)	435,40
Consumo de agua total (/célula*mes)	43,54

Con los resultados de la Tabla 43 se resalta, la cantidad de volumen de aguas grises generadas por mes en la célula, dado a que no se propone aprovechamiento de esta agua, esta va directamente al alcantarillado municipal, pero dado el caso de un aprovechamiento de aguas grises, este resultado sería en promedio lo que podría aprovechar y reusar el usuario por cada célula.

Dimensionamiento y planos hidrosanitarios del sistema de manejo de aguas grises por unidad de célula. A continuación, en la Fig. 112, Fig. 113 y Fig. 114, se ilustra el trazado hidrosanitario en color rojo de las aguas grises producidas en la célula del proyecto RUPIV.

Fig. 112. Vista en planta del trazado hidrosanitario de las aguas grises producidas en la célula.



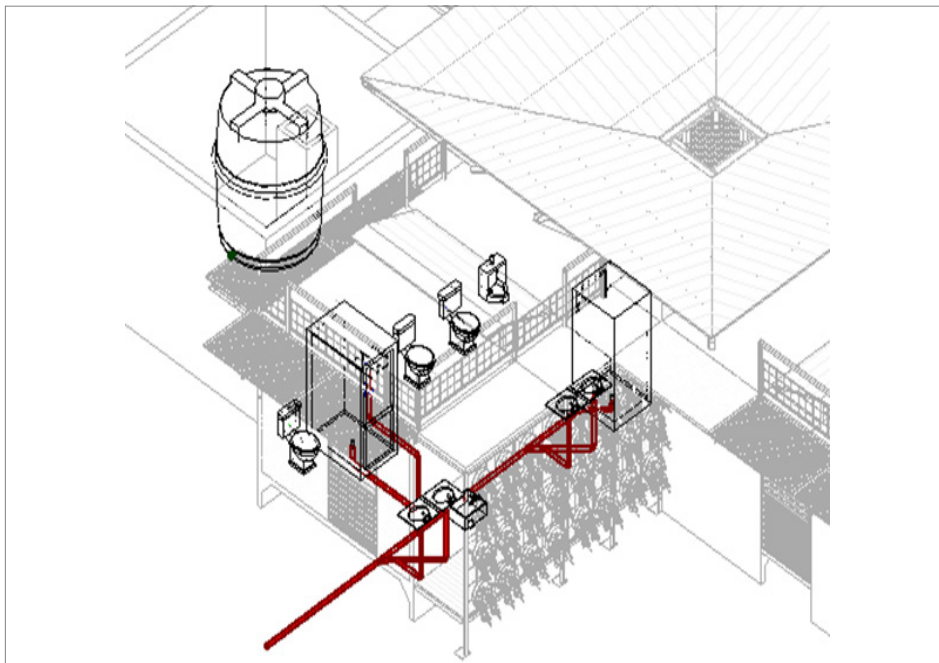


Fig. 113. Isometría del trazado hidrosanitario de las aguas grises producidas en la célula.

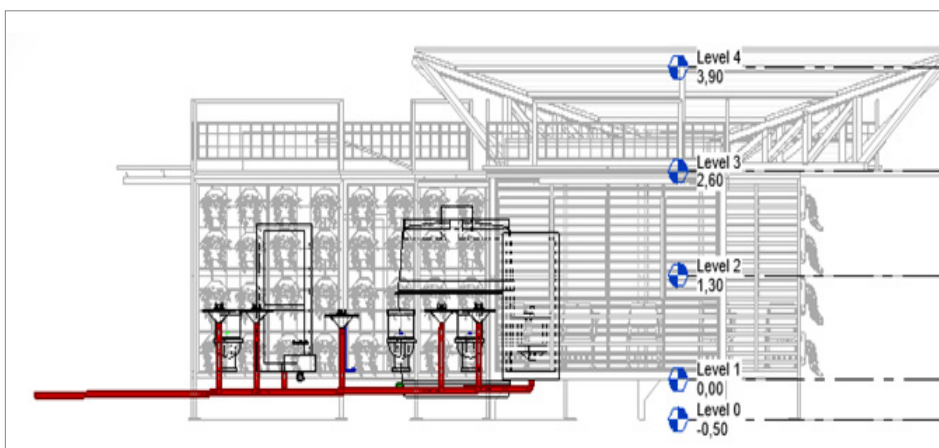


Fig. 114. Vista lateral del trazado hidrosanitario de las aguas grises producidas en la célula.

Diseño del sistema para el manejo de agua potable por unidad de célula

Para reducir el consumo de agua potable dentro de la célula y así disminuir la huella hídrica del prototipo, se plantea el uso de accesorios como lo son grifería y aparatos sanitarios eficientes y de bajo consumo de agua, además se busca innovar con la implementación de orinales sin necesidad de agua para su funcionamiento. De la misma manera, se plantea el reúso de aguas lluvias con un pretratamiento para eliminar impurezas y sólidos, para el uso de llenado y descarga de baterías sanitarias, además del uso de limpieza que representan un gran porcentaje del consumo diario de agua potable en la célula. Además, se recomienda el uso de electrodomésticos ecoeficientes y el uso de tecnologías que disminuyan el consumo de agua y energía.

Una de las actividades cotidianas que produce un gran desperdicio de agua potable, es el uso de la ducha, en este caso, se propone disminuir el consumo de agua potable y el desperdicio utilizando grifería ecoeficiente, la cual disminuye el consumo de volumen de agua por minuto, sin disminuir su altamente su presión, ahorrando así hasta en un 50 % del uso de este recurso. Una alternativa que se propone es el uso de un medidor de tiempo en la estructura de la ducha, el cual, limita el tiempo de uso, por medio de una pantalla se puede observar el tiempo de uso y en cinco minutos se obstruye el paso de agua para así reducir el tiempo de uso, además, se debe esperar un tiempo corto para utilizar nuevamente la ducha, promoviendo asimismo la buena práctica del tiempo de uso de la ducha, concientizado así al usuario del buen uso de este preciado recurso. Este dispositivo no reduce el confort ni la sensación de la cantidad de agua, además, tiene un termo sensor para hacer mucho más eficiente y ahorrativa la búsqueda de la temperatura del agua adecuada.

Para el abastecimiento de agua potable a poblaciones, se debe tener en cuenta la Resolución 2115 del 2007 expedida por el Ministerio de protección social y el Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial de ese entonces. Aquí se establecen las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano, en donde se indican los parámetros mínimos que se deben analizar para el tratamiento del agua para consumo. También, se debe tener en cuenta el Título B del reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS), donde se establece la cantidad mínima requerida de agua potable para satisfacer las necesidades básicas de un usuario sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto, pero se estima a partir del nivel de complejidad del sistema. Por último y no menos importante, la NTC 1500 del 2017, el cual es el código colombiano de instalaciones hidráulicas y sanitarias, donde se fijan los criterios de diseño, recomendaciones técnicas y parámetros para llevar a cabo algún diseño de un sistema de abastecimiento o instalaciones sanitarias.

Plan de suministro de agua potable por unidad de célula. Para la implementación del sistema de abastecimiento de agua potable en la célula del proyecto, se debe primero definir y establecer los siguientes parámetros de diseño como se muestra en la siguiente Tabla 44.

Tabla 44
Parámetros de diseño para el diseño del sistema de abastecimiento para el proyecto RUPIV

Parámetro	Unidades	Valor máximo aceptable
Nivel de complejidad	-	Alto
Densidad habitacional	Usuarios/célula	35
Número de células	N.º de células	1
Dotación neta por usuario	L/usuarios*día	150
Cuartos de servicio	N.º cuartos de servicio	1

Así mismo se debe conocer el número y tipo de unidades hidráulicas que van a ser instaladas en cada célula del proyecto como lo muestra la siguiente Tabla 45.

Tabla 45
Unidades hidráulicas instaladas para una célula del proyecto RUPIV

Unidad hidráulica	Cantidad de unidades
Sanitario	3
Lavamanos	4
Ducha	2
Lavaplatos	2

Dimensionamiento y planos hidrosanitarios del sistema para el manejo de agua potable por unidad de célula. A continuación, se ilustra el plano del abastecimiento de agua potable en color azul por medio de la Fig. 115, Fig. 116 y Fig. 117, con su respectivo trazado en la célula del proyecto RUPIV.

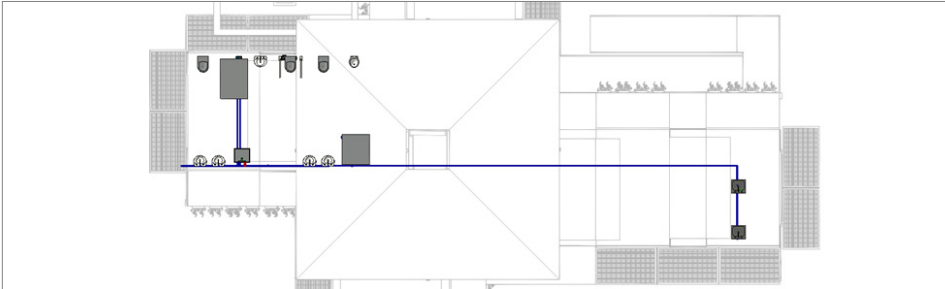


Fig. 115. Vista en planta del trazado hidrosanitario del abastecimiento de agua potable en la célula.

Fig. 116. Isometría del trazado hidrosanitario del abastecimiento de agua potable en la célula.

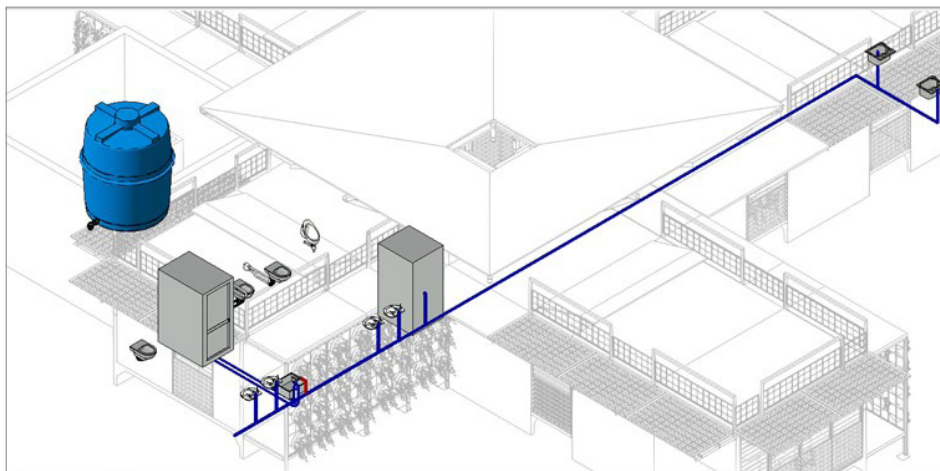
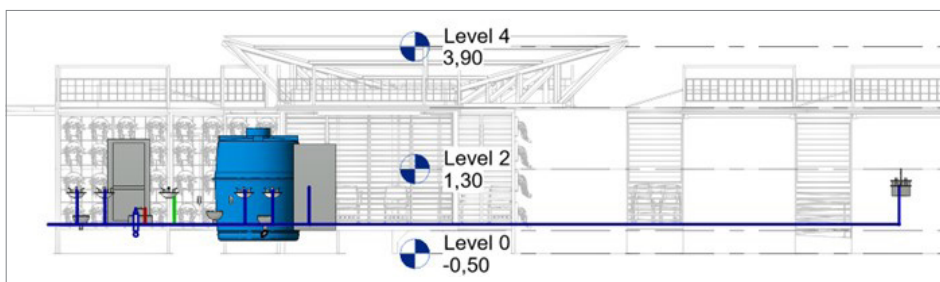


Fig. 117. Vista lateral del trazado hidrosanitario del abastecimiento de agua potable en la célula.



Trazado del sistema hidrosanitario de aguas lluvias, aguas negras, aguas grises y agua potable por unidad de célula. A continuación, en la Fig. 118 y Fig. 119 se ilustra el trazado del sistema hidrosanitario de aguas lluvias, aguas negras, aguas grises y agua potable en la célula considerada en el proyecto RUPIV.

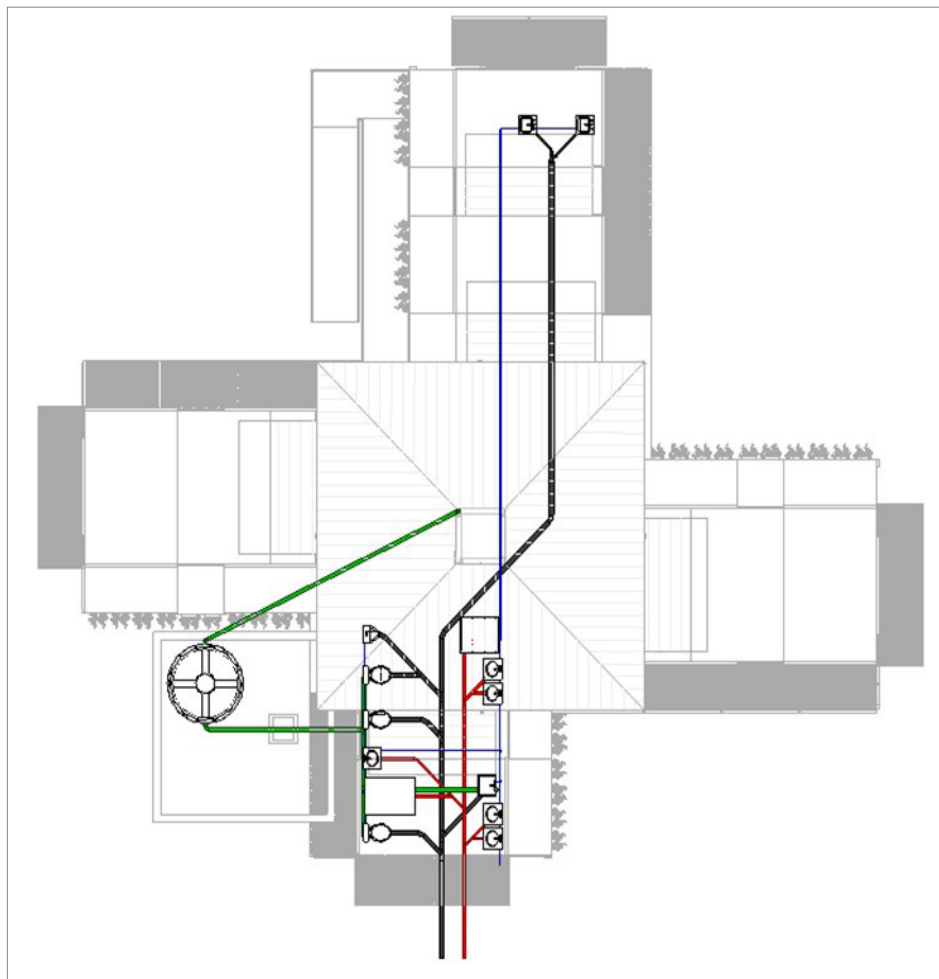
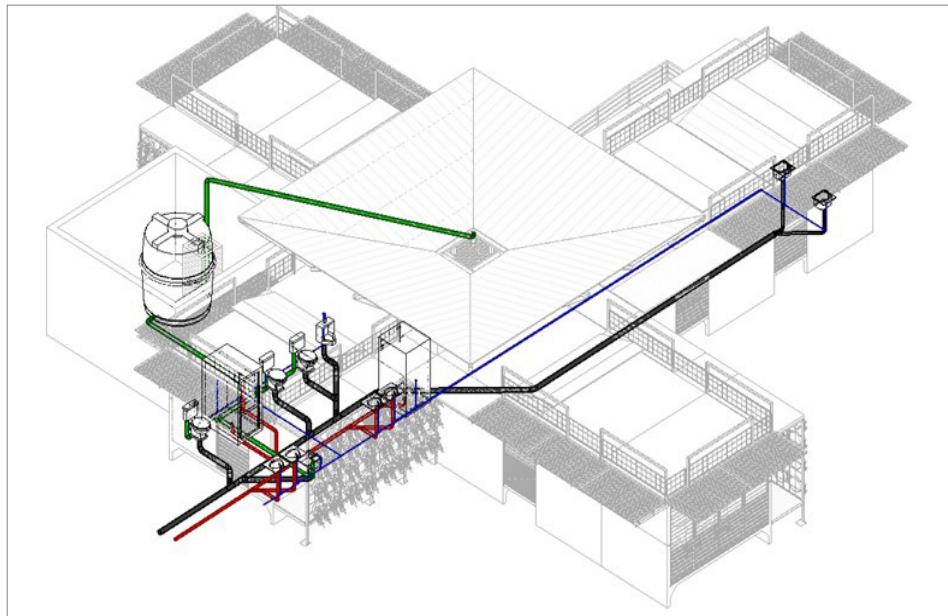


Fig. 118. Vista en planta del trazado hidrosanitario para el manejo de aguas lluvias (color verde), aguas negras (color negro), aguas grises (color verde) y agua potable (color azul) en la célula.

Fig. 119. Isometría del trazado hidrosanitario para el manejo de aguas lluvias en color verde, aguas negras en color negro, aguas grises en color rojo y agua potable en color azul en la célula.



Consideraciones finales. De acuerdo con la literatura consultada (Acevedo *et al.*, 2013; Rodríguez y Fernández, 2010) el sector de la construcción a nivel global es uno de los llamados a implementar acciones que permitan reducir la demanda de recursos naturales, entre ellos el recurso agua. En el contexto de la implementación de estrategias de construcción sostenible de edificaciones, el uso eficiente del recurso agua puede generar una reducción en el consumo de agua del 30-50 % (Acevedo *et al.*, 2013).

Por lo anterior, en este proyecto se planteó una revisión de alternativas para el uso eficiente y el ahorro de agua potable, así como el aprovechamiento de aguas lluvias y el reúso de aguas residuales (aguas grises y aguas negras), como también alternativas para tener agua caliente que pudiesen emplearse en un prototipo de infraestructura básica con opciones de uso como centro educativo, de atención médica o de hospedaje, considerando una edificación nueva o una edificación a implementar en una zona después de un desastre o catástrofe natural (situación de emergencia). Para la definición de estas alternativas de gestión del agua en edificaciones, se tuvieron en cuenta los materiales de construcción, el costo de implementación, la dificultad de mantenimiento, la dificultad de implementación, el impacto ambiental y social.

En el proceso de diseño de prototipo, se seleccionó solamente un tipo de infraestructura básica, el cual fue el educativo, pero sé llegó a la conclusión que todo

el proceso de diseño sería igual para los demás usos, solamente cambiando la oferta de aguas lluvias del lugar y la demanda de los usuarios que depende de la cantidad de usuarios y el tamaño de la infraestructura, pero no cambiarían las ecuaciones, criterios y demás.

Para el prototipo seleccionado teniendo en cuenta las condiciones y limitaciones de la zona de estudio del proyecto (ciudad de Cali), se tomó la decisión de no hacer reúso de aguas grises, sin embargo, el trazado hidrosanitario del sistema de aguas grises producidas en el prototipo se hace separado del sistema de aguas negras, esto con el fin de que en caso de decidirse hacer reúso de aguas grises se pueda mantener el diseño planteado en el proyecto. Además, en el análisis de alternativas, se estudiaron y seleccionaron sistemas para obtener agua caliente en los diferentes usos del prototipo, pero por las condiciones específicas de ubicación del proyecto en una zona cálida como la ciudad de Cali, donde no es un requerimiento básico el agua caliente, no se propusieron alternativas para el prototipo final planteado.

Conclusiones



De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de la evaluación multicriterio, utilizando la técnica AHP para la selección del sistema constructivo del prototipo diseñado en este proyecto, se encontró que, entre los seis criterios evaluados, el comportamiento sismorresistente y la viabilidad económica son los criterios con mayor prioridad, seguidos la eficiencia constructiva y la sostenibilidad ambiental, con prioridades menores, aunque significativas.

Los resultados de la evaluación de las seis alternativas de sistemas constructivos, de los seis criterios definidos, indicaron que la alternativa de pieza de concreto prefabricado es la de mayor prioridad respecto a los 23 subcriterios evaluados, de los seis criterios definidos, seguida en orden de prioridad por las alternativas de pórticos en concreto, en madera y en metal. Los resultados de este proceso de selección mostraron la prioridad de la pieza de concreto prefabricado respecto a los criterios de sismorresistencia y eficiencia constructiva. Debido a las posibilidades de aplicar cálculos estructurales con criterios definidos, la optimización en el uso de elementos, la rapidez de los procesos de construcción y montaje y las bajas necesidades de adecuación del terreno, que a su vez se relacionan con menores costos en las etapas de construcción y montaje.

El aprendizaje realizado por las dos universidades en las dos versiones del concurso Solar Decathlon (años 2015 y 2019) con la construcción de prototipos a escala 1:1 en sistemas prefabricados en concreto, permitió partir de unas bases de diseño arquitectónico, basado en la viabilidad técnica de un sistema puesto a prueba y comprobado, tanto en la rapidez de construcción como en la flexibilidad del sistema.

El sistema modular se adaptó a las diferentes necesidades de infraestructura planteadas, con la posibilidad de conformar unidades o conjuntos más grandes, dependiendo de las necesidades. Todo esto a partir de mínimos componentes arquitectónicos, lo que hace más eficiente el sistema de diseño y de obra.

El proceso de diseño bioclimático empleado en el diseño del prototipo demostró su factibilidad de realización, y permitió tomar las decisiones de diseño desde criterios de confort, desempeño energético, sostenible y ambiental. Sin embargo, es un proceso que se puede mejorar, desde los momentos de interacción de los diferentes componentes, para que el proceso gane una mayor dinámica y se tomen las decisiones de diseño en el momento oportuno.

Después de analizar las alternativas del sistema de manejo de agua potable, aguas lluvias y aguas grises y aplicarlas en el desarrollo del proyecto considerando el uso del prototipo para educación, se logró concluir que:

- Respecto al agua potable se considera necesario el uso de grifería, dispositivos y aparatos sanitarios de bajo consumo, los cuales no implican costos

significativos adicionales y por el contrario permiten reducir el consumo de agua potable.

- El uso más adecuado de aguas lluvias para este proyecto es la descarga de inodoros. De esta forma se logra disminuir el consumo de agua potable en las baterías sanitarias (inodoros y orinales), dejando solo el uso de agua lluvia como fuente de agua potable para momentos de emergencia donde el agua potable no supla la demanda extra de la célula. Adicionalmente, en lugares donde la oferta de precipitación pluvial supera a la demanda de agua potable se pueden implementar proyectos de aprovechamiento de aguas lluvias para uso potable o de riego.
- El uso más adecuado para las aguas grises generadas en las duchas y lavamanos, fue su reúso en el riego de plantas ornamentales y el lavado de pisos, techos y pasillos, usos en los cuales no se requiere de un agua de óptima calidad como lo es el agua potable, esto con el fin de reducir aún más el uso de agua potable.

Las anteriores estrategias permiten reducir la presión al recurso hídrico dado por el sistema de acueducto, disminuyendo el consumo de agua potable y su costo económico, fomentando el uso de fuentes alternativas como el agua lluvia para suplir el abastecimiento de agua y reducir el uso o eliminar la demanda total de agua potable dado el caso. A su vez, el reúso de aguas grises permite disminuir el impacto al ambiente de las aguas residuales, el costo económico en la factura de servicios públicos y proyectar un sistema de construcción sostenible.

Glosario

ALEROS: Elementos horizontales sobrepuestos a las fachadas para proveer sombreado y soporte de los paneles solares, se componen en estructura metálica.

AULA TIPO: Conformada por 3 piezas bases (box culvert) en concreto con dilatación para ventilar, iluminar y generar accesos.

CORREDOR: Espacio articulador de las aulas y módulos de servicio. Sirve también para acceder y proteger del asoleamiento directo a través de la vegetación que va cubriendo el enrejado. Está conformado por estructura metálica, con piso en madera plástica y techo en teja tipo sándwich.

DESEMPEÑO TÉRMICO: Como es el funcionamiento en cuanto a temperaturas del espacio.

DILATACIÓN: Espacio entre piezas bases (box culvert), de 1,20 m de ancho X 2,40 m de largo X 2,40 m de alto en estructura metálica, con piso en madera plástica y techo en teja tipo sándwich. Que sirve para ventilar, iluminar y generar accesos.

CONSUMO ENERGÉTICO: Consumo en KW al año representados en el funcionamiento de aparatos para climatizar o de las luminarias.

CONFORT TÉRMICO: Estado de bienestar con el ambiente térmico del lugar, se puede expresar como aceptable, o en disconfort por calor o por frío.

CONFOR VISUAL: Estado de bienestar con el ambiente lumínico del espacio y la posibilidad de desempeñar una labor sin dificultad visual.

EQUIPAMIENTO: Según el Decreto 798 de 2010 de marzo 11, se refiere a las "Áreas, edificaciones e instalaciones de uso público o privado, destinadas a proveer a los ciudadanos de los servicios colectivos de carácter educativo, formativo, cultural, de salud, deportivo recreativo, religioso y de bienestar social y a prestar apoyo funcional a la administración pública y a los servicios urbanos básicos del municipio".

MÓDULO DE SERVICIO: Conformado por 2 piezas bases (box culvert) en el cual se encuentran los servicios como baños, oficinas, bodegas o cocinas.

PIEZA BASE: Cajón en concreto prefabricado, conformado por dos piezas (en forma de mesa). Conformar una unidad espacial similar a un Box Culvert de 2,40 m x 3,80m x 2,40m de alto (medidas exteriores).

PATIO: Espacio central ordenador del prototipo. Presenta una cubierta invertida en estructura metálica y teja tipo sándwich, cuya función es proveer sombreado y recoger aguas lluvias.

PROTOTIPO: Conjunto básico arquitectónico, conformado por 3 aulas y 1 módulo de servicio con un patio central.

PROYECTO ARQUITECTÓNICO GENERAL: Conformado por un conjunto de prototipos que se implantan dependiendo de las condiciones del lugar, y para el que se requieren conformar zonas de parqueo, rampas, áreas de servicios y patios.

Bibliografía

- Acevedo A., Harlem, Vasquez H., Alejandro Y Ramírez C., (2013, mayo), Diego A. Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia. En: Gestión Ambiental., Vol. 15, no. 1, p. 105-118.
- Agatón, A.L., Córdoba R.L., (2016, diciembre). Revisión del estado de arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos. Tecura, 20(50), 141-153.
- Bolaños Bryan, (2022). Propuesta de un sistema para el aprovechamiento de aguas lluvias captada en las instalaciones del Colegio Freinet. [Tesis de pregrado Universidad Autónoma de Occidente].
- CCCS-Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. (2025). Sostenibilidad en la construcción. Recuperado el 16 de mayo de 2025, de <https://www.cccs.org.co/sostenibilidad-en-la-construccion/>
- CEPIS-Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2004). Guía de Diseño para captación del Agua de Lluvia.
- Cervera, J. C. (2001). Pg. 14. In Tipo, arquetipo, Prototipo, Modelo. essay, Club Universitario.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2018). CONPES 3919 de 2018. Consejo Nacional de Política Económica y Social.
- Departamento Nacional de Planeación. (n.d.). ¿Qué son los Proyectos Tipo? Proyectos Tipo. Retrieved November 28, 2022, from https://proyectostipo.dnp.gov.co/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=183&Itemid=333
- Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. Energy and buildings, 18(1), 11-23.
- James, A.-D., & Christian, K. (2012). An assessment of thermal comfort in a warm and humid school building at Accra, Ghana. Pelagia Research Library Advances in Applied Science Research, 3(1), 535–547. recuperado de www.pelagiaresearchlibrary.com
- Kwok, A. G., & Grondzik, W. (2018). The green studio handbook: Environmental strategies for schematic design. Taylor, Publisher.
- Lamberts, R., Dutra, L., y Pereira, F. (2012). Eficiência Energética na Arquitetura (3rd ed.). Florianópolis.
- Lammerant, J. (2019). CRITICALASSESSMENT OF BIODIVERSITY MEASUREMENT APPROACHES FOR BUSINESSES AND BIODIVERSITY ACCOUNTING FINANCIAL INSTITUTIONS APPROACHES FOR BUSINESSES. EU Business @ Biodiversity Platform, March, 1–179.

- Liang, H.-H., Lin, T.-P., & Hwang, R.-L. (2012). Linking occupants' thermal perception and building thermal performance in naturally ventilated school buildings. *Applied Energy*, 94, 355–363. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2012.02.004>
- Llantoy, N., Chàfer, M., & Cabeza, L. F. (2020). A comparative life cycle assessment (LCA) of different insulation materials for buildings in the continental Mediterranean climate. In *Energy and Buildings* (Vol. 225). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110323>
- MADS-Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia 2012. Criterios ambientales para el diseño y la construcción de vivienda urbana. p 4-200.
- Manyoma, P. (2015). Localización de rellenos sanitarios regionales en áreas urbanas de rápido crecimiento. Tesis de doctorado. Universidad del Valle.
- MAVDE-Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo económico. (2014). RAS 2000 Título “B” Sistemas de Acueducto. En Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000. <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULOB>
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2015). Decreto 1285 de 2015. 4.
- Ministerio de Vivienda, C. y T. (2015). Resolución 0549 de 2015. In Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio.
- Monteoliva, J. M., Aceña, A., Villalba, A. M., y Pattini, A. E. (2016). Modelo simplificado para el cálculo de iluminancia por luz natural (UDI) en espacios individuales perimetrales de cielos claros: Caso de estudio: Mendoza, Argentina. *Hábitat Sustentable*, 6(1), 50–59.
- Olgyay, V. (1968). *Clima y arquitectura en Colombia*. Universidad del Valle. Facultad de Arquitectura
- RAE (2005). Engineering for sustainable development Guiding Principles. The Royal Academy of Engineering. September 2005
- Rodríguez F. y Fernández G., (2010, de agosto). Ingeniería sostenible: nuevos objetivos en los proyectos de construcción. *Revista Ingeniería de Construcción* Vol. 25 No. 2. www.ing.puc.cl/ric
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234-281.
- San Juan, G. A. (2013). Metodología del diseño bioclimático: pautas de diseño. Libros de Cátedra
- San Juan, G. A. (2013). Metodología del diseño bioclimático: pautas de diseño. Libros de Cátedra
- Hashini, S., & Thirumaran, K. (2018a). A passive design solution to enhance thermal comfort in an educational building in the warm humid climatic zone of Madurai. *Journal of Building Engineering*, 395–407. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.04.014>

- Teli, D., Jentsch, M. F., & James, P. A. B. (2014). The role of a building's thermal properties on pupils' thermal comfort in junior school classrooms as determined in field studies. *Building and Environment*, 82, 640–654. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2014.10.005>
- Universidad Autónoma de Occidente y Universidad de San Buenaventura-Cali (2015). MIHOUSE, Project Team. MIHOUSE, Project MA, 29.
- Universidad Autónoma de Occidente y Universidad de San Buenaventura-Cali (2019). TUHOUSE, Project Team. TUHOUSE, Project MA, 484.
- Vargas, R. V., & IPMA-B, P. M. P. (2010, October). Using the analytic hierarchy process (AHP) to select and prioritize projects in a portfolio. In *PMI global congress* (Vol. 32, No. 3, pp. 1-22). PA: Project Management Institute Washington, DC.
- Villalba, A., Monteoliva, J., Pattini, A., y Yamín, J. (2011). Control solar sobre superficies vidriadas. Evaluación lumínica mediante métricas dinámicas y preferencia de usuarios a filtros solares. *Avances En Energías Renovables Y Medio Ambiente*, 15, 79–88.
- Wu, W., & Ng, E. (2003). A review of the development of daylighting in schools. *Lighting Research and Technology*, 35(2), 111–125. <https://doi.org/10.1191/1477153503li072oa>
- Zapata, C. M., Viegas, G. M., San Juan, G. A., Ramos, H., Coronado, J. A., Ochoa, J., y Montoya, O. L. (2018). *Comodidad ambiental en aulas escolares. Incidencia en la salud docente y en el rendimiento cognitivo de los estudiantes en colegios públicos de Bogotá, Medellín y Cali* (1st ed.). Editorial Bonaventuriana; Ediciones Unisalle; Universidad Nacional de la Plata.

Colección
SEÑALES



El objetivo de este libro es aportar al conocimiento del diseño y construcción de prototipos de infraestructura que incorporen estrategias de diseño bioclimático y sostenible desde el ámbito de la construcción. Este diseño se desarrolla mediante la aplicación de campos profesionales que afectan la sostenibilidad de este tipo de proyectos, integrando el manejo y tratamiento de aguas, así como el campo del diseño arquitectónico y bioclimático para obtener un diseño multipropósito, flexible, sísmico resistente y eficiente energéticamente, implementando estrategias pasivas para reducir el consumo energético, generar condiciones de confort lumínico y térmico.



<https://editorial.uao.edu.co/>
www.editorialbonaventuriana.usb.edu.co

    @editorialbonaventuriana