



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE ARQUITECTURA

**DISEÑO DE PROTOTIPO DE CENTRO DE INTEGRACIÓN
COMUNITARIA PARA LA CIUDAD DE CUENCA (CERO
HUELLA DE CARBONO)**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE ARQUITECTO**

AUTOR: JHONATAN PATRICIO CUENCA CEDILLO

DIRECTOR: ARQ. CRISTIAN EDUARDO PEÑAFIEL ORTEGA

CUENCA - ECUADOR

2025

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE ARQUITECTURA

**DISEÑO DE PROTOTIPO DE CENTRO DE INTEGRACIÓN
COMUNITARIA PARA LA CIUDAD DE CUENCA (CERO
HUELLA DE CARBONO)**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE ARQUITECTO**

AUTOR: JHONATAN PATRICIO CUENCA CEDILLO

DIRECTOR: ARQ. CRISTIAN EDUARDO PEÑAFIEL ORTEGA

CUENCA - ECUADOR

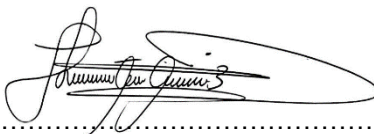
2025

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Jhonatan Patricio Cuenca Cedillo portador de la cédula de ciudadanía N° 015041402-7. Declaro ser el autor de la obra: "DISEÑO DE ANTEPROYECTO DE CENTRO DE INTEGRACIÓN COMUNITARIA PARA LA CIUDAD DE CUENCA (CERO HUELLA DE CARBONO)", sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 29 de abril de 2025

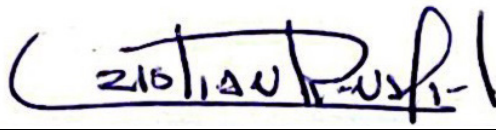
F: 

Jhonatan Patricio Cuenca Cedillo

015041402-7

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jhonatan Patricio Cuenca Cedillo, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Cristian Eduardo Peñafiel', written over a horizontal line.

Arq. Cristian Eduardo Peñafiel

DIRECTOR

DEDICATORIA

Con todo mi corazón, dedico esta tesis a aquellas personas que han sido mi pilar, mi inspiración y mi mayor fuente de fortaleza a lo largo de este camino.

A mis padres, Patricio Cuenca y Amparito Cedillo, por su amor incondicional, su sacrificio y por enseñarme que con esfuerzo y determinación todo es posible. Gracias por cada palabra de aliento, por creer en mí incluso en los momentos en que yo dudé, y por ser mi ejemplo de perseverancia y dedicación.

A mis hermanas, Domenica Anahí y Lesly Camina, por su apoyo inquebrantable y por estar siempre a mi lado, celebrando mis logros y dándome fuerzas cuando más lo necesitaba. Su confianza en mí ha sido un motor para seguir adelante.

A mi novia, Nathaly Delgado, por su amor, paciencia y por ser mi refugio en los momentos de incertidumbre. Sus palabras de aliento y su compañía han sido un soporte invaluable en este proceso.

A mi tutor, Cristian Eduardo Peñafiel, por su orientación, paciencia y compromiso con mi formación. Su apoyo ha sido clave para que esta investigación llegue a su culminación.

A mi abuela, María Francisca Carrión Condo, quien en vida fue un ejemplo de sabiduría, fortaleza y perseverancia. Su legado de amor, esfuerzo y resiliencia seguirá siendo una guía en mi camino. Aunque hoy no está físicamente conmigo, su recuerdo vive en cada enseñanza que dejó y en cada consejo que con cariño me dio. Esta tesis también es para ella, con la certeza de que estaría orgullosa de este logro.

Y finalmente, dedico este trabajo a la ciudad de Cuenca, que me ha visto crecer y que, con cada rincón lleno de historia y cultura, me ha inspirado a desarrollar este proyecto con amor y compromiso. Espero que mi aporte contribuya, aunque sea en una pequeña medida, a su crecimiento y bienestar.

A todos ustedes, gracias por ser parte de mi historia.

Jhonatan Cuenca

AGRADECIMIENTOS

A lo largo de este camino académico, han sido muchas las personas que, con su apoyo y guía, han contribuido a la culminación de esta tesis. A todos ellos, les expreso mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fuerza, la perseverancia y la oportunidad de completar esta etapa de mi vida.

A mi familia, especialmente a mis padres, Patricio Cuenca y Amparito Cedillo, y a mis hermanas, Domenica Anahí y Lesly Camina, por ser mi mayor fuente de inspiración. Su voluntad y apoyo incondicional han sido fundamentales en este proceso. Cada vez que me sentí desafiado, sus palabras de aliento: "Tú puedes, sigue adelante, lo vas a lograr", me recordaban que no estaba solo en este camino. A su vez, agradezco a mi novia, Nathaly Delgado, por su motivación constante y por brindarme fuerzas en los momentos más difíciles con sus palabras de aliento.

A mi tutor, Cristian Eduardo Peñafiel, quien fue un pilar fundamental en la realización de esta tesis. Su guía y apoyo fueron determinantes para lograr culminarla con éxito. Sin su orientación y paciencia, este proyecto no habría sido posible.

Extiendo mi gratitud al Municipio de Cuenca, por brindarme la oportunidad de desarrollar este proyecto para la ciudad que tanto amo. En especial, agradezco al arquitecto Juan Zea, por confiar en mi trabajo y brindarme su respaldo. De igual manera, mi reconocimiento a la arquitecta Katherine Reyes, quien me guió en las primeras etapas de esta investigación, dedicando su tiempo y conocimientos para ayudarme a dar los primeros pasos en este proceso.

A todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a este proyecto, ya sea brindándome información, compartiendo sus conocimientos o motivándome a seguir adelante, les extiendo mi más profundo agradecimiento.

Jhonatan Cuenca

Cuenca, 2025

RESUMEN

Este estudio propone el diseño de un Centro de Integración Comunitaria en Cuenca con huella de carbono cero, utilizando materiales locales y técnicas sostenibles para reducir el impacto ambiental en la construcción. Se aplica una metodología mixta (cualitativa y cuantitativa) en tres etapas: investigación teórica y contextual, diagnóstico del sitio y análisis participativo, y desarrollo del anteproyecto. En la primera etapa, se revisa la bibliografía para establecer un marco técnico-conceptual, analizando materiales y técnicas de bajo impacto ambiental. En la segunda etapa, se estudian las condiciones climáticas, físicas y sociales del sitio, aplicando estrategias pasivas de diseño y utilizando materiales como adobe y ladrillo artesanal. En la tercera etapa, se desarrolla el anteproyecto, calculando la huella de carbono mediante Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y simulaciones energéticas. Los resultados muestran que el uso de estos materiales reduce considerablemente la huella de carbono sin afectar la calidad estructural, demostrando la viabilidad de las estrategias en contextos urbanos y rurales. Este trabajo establece precedentes para futuras construcciones sostenibles en Cuenca.

Palabras clave: arquitectura sostenible, huella de carbono, materiales locales, construcción sustentable

ABSTRACT

This study proposes the design of a zero-carbon footprint Community Integration Center in Cuenca by utilizing local materials and sustainable techniques to reduce the environmental impact of construction. A mixed methodology (qualitative and quantitative) is applied in three stages: theoretical and contextual research, site diagnosis and participatory analysis, and preliminary design development. In the first stage, the literature is reviewed to establish a technical-conceptual framework, analyzing materials and techniques with low environmental impact. In the second stage, the site's climatic, physical, and social conditions are studied, passive design strategies are applied, and materials such as adobe and handcrafted brick are used. In the third stage, the preliminary design is developed, calculating the carbon footprint using Life Cycle Assessment (LCA) and energy simulations. The results show that the use of these materials considerably reduces the carbon footprint without affecting structural quality, demonstrating the feasibility of these strategies in urban and rural contexts. This work establishes precedents for future sustainable constructions in Cuenca.

Keywords: sustainable architecture, carbon footprint, local materials, sustainable construction

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	- 4 -
AGRADECIMIENTOS	- 5 -
DEDICATORIA	- 6 -
ÍNDICE DE CONTENIDOS	- 7 -
LISTA DE FIGURAS	- 12 -
LISTA DE TABLAS	- 14 -
LISTA DE ANEXOS	- 15 -
RESUMEN	- 16 -
ABSTRACT	- 17 -
CAPÍTULO I	- 18 -
1.1 INTRODUCCIÓN	- 18 -
1.2 JUSTIFICACIÓN	- 19 -
1.3 DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO (OPTATIVO)	- 20 -
1.4 OBJETIVOS	- 21 -
a. General	- 21 -
b. Específicos	- 21 -
1.5 METODOLOGÍA	- 21 -
1.5.1 Etapa 1:	- 21 -
a. Revisión bibliográfica y documental:	- 21 -
b. Análisis de normativa	- 22 -
c. Análisis de caso de estudio sostenible:	- 22 -
1.5.2 Etapa 2:	- 23 -
a. Evaluaciones climáticas	- 23 -
b. Análisis de materiales y mano obra de la zona	- 24 -
c. Condiciones del terreno	- 24 -
1.5.3 Etapa 3:	- 24 -
a. Propuesta arquitectónica preliminar:	- 25 -
b. Cálculo de huella de carbono:	- 25 -
c. Análisis de replicabilidad territorial.	- 25 -
d. Simulación energética:	- 26 -
CAPÍTULO II	- 27 -
2.1. MARCO TEÓRICO	- 27 -
2.1.1. <i>Concepto de Huella de Carbono</i>	- 27 -
2.1.2. <i>Origen y surgimiento de la palabra huella de carbono</i>	- 27 -
2.2. ANTECEDENTES	- 28 -
2.2.1. <i>Arquitectura Preindustrial</i>	- 28 -
2.2.2. <i>Impacto ambiental y huella de carbono de la arquitectura tradicional</i>	- 29 -
2.2.3. <i>Duración y sostenibilidad de edificaciones con materiales tradicionales</i>	- 30 -
a. Durabilidad de la piedra como material constructivo	- 31 -
b. La madera como material renovable	- 32 -
2.2.4. <i>Cero residuos contaminantes</i>	- 33 -
2.2.5. <i>Producción de materiales en contexto preindustrial</i>	- 34 -
2.2.6. <i>Ejemplos de construcciones de materiales Tradicionales</i>	- 36 -
a. Casas de barro y adobe en América Latina	- 36 -
<i>Casa experimental de Tapial / Estudio de Arquitectura y Planificación Kaiser. Cortesía de Estudio de Arquitectura y Planificación Kaiser</i>	- 36 -
<i>Casa jardín / al borde. JAG Studio</i>	- 37 -

b. Uso de bambú en regiones tropicales	- 38 -
2.2.7. Contexto histórico de la Revolución Industrial	- 39 -
2.2.8. Uso de combustibles fósiles	- 41 -
2.2.9. Urbanizaciones y cambios de vida.	- 42 -
2.2.10. Transformación de la arquitectura y las construcciones	- 42 -
2.2.11. Llegada de la revolución industrial a América Latina	- 43 -
a. Transformación de la arquitectura y construcción en América Latina	- 43 -
b. Legado hacia la Arquitectura Moderna	- 44 -
2.2.12. Avances tecnológicos en la construcción	- 45 -
2.3. DATOS SOBRE EMISIONES	- 47 -
2.4. ESTRATEGIAS PARA REDUCIR LA HUELLA DE CARBONO EN LA CONSTRUCCIÓN	- 47 -
2.4.1. Protagonismo de Europa	- 48 -
2.5. NORMAS Y REGULACIONES INTERNACIONALES	- 49 -
2.5.1. Acuerdos globales y su impacto en la construcción	- 49 -
2.5.2. Normas específicas	- 50 -
2.5.3. Sistemas de certificación	- 51 -
a. LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	- 51 -
b. BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)	- 51 -
c. EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies)	- 52 -
2.6. MATERIALES TRADICIONALES MITIGANDO LA HUELLA DE CARBONO	- 52 -
2.6.1. Adobe	- 52 -
a. Proceso técnico del adobe	- 53 -
b. Elaboración artesanal del adobe	- 55 -
2.6.2. Piedra natural	- 56 -
a. Proceso técnico de la piedra natural	- 56 -
b. Elaboración artesanal de la piedra natural	- 57 -
2.6.3. Madera maciza	- 57 -
a. Proceso técnico de la madera maciza	- 57 -
b. Elaboración artesanal de la madera maciza	- 58 -
2.6.4. Barro cocido (Ladrillo artesanal)	- 58 -
a. Proceso técnico del ladrillo cocido	- 58 -
b. Elaboración artesanal del ladrillo cocido	- 59 -
2.6.5. Tejas de arcilla	- 59 -
a. Proceso técnico de las tejas de arcilla	- 60 -
b. Elaboración artesanal de tejas de arcilla	- 60 -
2.6.6. Cal hidráulica	- 60 -
a. Proceso técnico de la cal hidráulica	- 61 -
b. Elaboración artesanal de la cal hidráulica	- 61 -
2.6.7. Paja	- 61 -
a. Proceso técnico de construcción con paja	- 62 -
b. Elaboración artesanal y construcción con paja	- 62 -
2.7. MATERIALES NUEVOS E INNOVADORES MITIGANDO LA HUELLA DE CARBONO	- 62 -
2.7.1. Hormigón de ultra alto desempeño (UHPC)	- 62 -
a. Proceso técnico	- 63 -
2.7.2. Acero reciclado	- 63 -
a. Proceso técnico	- 64 -
2.7.3. Madera laminada cruzada (CLT)	- 64 -
a. Proceso técnico	- 65 -
2.7.4. Geopolímeros	- 65 -
a. Proceso técnico	- 65 -
2.7.5. Aislantes naturales (Corcho y lana de oveja)	- 66 -
a. Proceso técnico	- 66 -
2.7.6. Vidrio de alto desempeño	- 67 -
a. Proceso técnico	- 68 -
2.8. MEDICIÓN Y CONTROL DE LA HUELLA DE CARBONO	- 69 -

2.8.1.	<i>Herramientas digitales para evaluar el impacto ambiental</i>	- 69 -
2.8.2.	<i>Herramientas y cuadros digitales de medición</i>	- 70 -
a.	Cálculo de Emisiones de Carbono (kgCO ₂)	- 71 -
b.	Rango de Huella de Carbono para Proyectos de Construcción:	- 71 -
2.9.	CASO DE ESTUDIO	- 72 -
2.9.1.	<i>Datos generales del proyecto</i>	- 72 -
2.9.2.	<i>Diseño arquitectónico y eficiencia energética</i>	- 73 -
a.	Orientación:	- 73 -
b.	Integración con el entorno:	- 74 -
c.	Diseño pasivo	- 75 -
d.	Aislamiento térmico:	- 75 -
2.9.3.	<i>Materiales de Construcción</i>	- 76 -
2.9.4.	<i>Impacto ambiental:</i>	- 77 -
2.9.5.	<i>Normativas y certificaciones</i>	- 78 -
2.9.6.	<i>Emisión de carbono del proyecto</i>	- 78 -
a.	Fases de la evaluación del proyecto	- 79 -
CAPÍTULO III		- 82 -
3.1.	ANÁLISIS DE SITIO Y FACTORES CONSTRUCTIVOS PARA CERO HUELLA DE CARBONO	- 82 -
3.1.1.	<i>Importancia del análisis del sitio para la arquitectura sostenible</i>	- 82 -
3.1.2.	<i>Relación con los principios de cero huella de carbono</i>	- 82 -
3.2.	UBICACIÓN DEL SITIO	- 82 -
3.3.	ANÁLISIS DE CONDICIONES CLIMÁTICAS Y ESTRATEGIAS PASIVAS	- 83 -
3.3.1.	<i>Soleamiento</i>	- 83 -
a.	Trayectoria solar en diferentes estaciones	- 83 -
3.3.2.	<i>Solsticio de Invierno (21 de diciembre)</i>	- 85 -
3.3.3.	<i>Estrategias pasivas recomendadas:</i>	- 85 -
3.3.4.	<i>Horas de luz solar y ángulos de incidencia</i>	- 86 -
3.3.5.	<i>Vientos dominantes y ventilación natural</i>	- 87 -
3.4.	VIENTOS DOMINANTES Y VENTILACIÓN NATURAL (ANÁLISIS)	- 88 -
3.4.1.	<i>Este noreste. Análisis de la rosa de vientos</i>	- 88 -
3.4.2.	<i>Este. Análisis de la rosa de vientos</i>	- 90 -
3.4.3.	<i>Estesureste. Análisis de la rosa de vientos</i>	- 91 -
3.4.4.	<i>Sureste. Análisis de la rosa de vientos</i>	- 93 -
3.4.5.	<i>Oeste noroeste. Análisis de la rosa de vientos</i>	- 94 -
3.4.6.	<i>Estrategias de ventilación pasiva: ventilación cruzada, uso de patios interiores.</i>	- 96 -
3.4.7.	<i>Análisis del sitio y aplicación en el proyecto</i>	- 97 -
3.4.8.	<i>Uso de vegetación y barreras naturales para control de vientos.</i>	- 97 -
3.4.9.	<i>Barreras Naturales y Permeables</i>	- 98 -
3.5.	ANÁLISIS DE TEMPERATURA Y CONFORT TÉRMICO	- 99 -
3.5.1.	<i>Temperaturas máximas y mínimas</i>	- 99 -
3.5.2.	<i>Temperaturas estacionales de Cuenca</i>	- 99 -
3.5.3.	<i>Amplitud térmica diaria</i>	- 101 -
3.5.4.	<i>Estrategias de Diseño para Regulación Térmica</i>	- 102 -
3.5.5.	<i>Inercia Térmica del Adobe y su Aplicación</i>	- 103 -
3.5.6.	<i>Estrategias Complementarias de Confort Térmico</i>	- 104 -
3.6.	NIVELES DE PRECIPITACIÓN ANUAL EN CUENCA, ECUADOR	- 104 -
3.6.1.	<i>Promedio Anual de Precipitación en Cuenca</i>	- 104 -
3.6.2.	<i>Diferencias entre Zonas Altas y Bajas</i>	- 107 -
3.6.3.	<i>Estrategias de Captación y Reutilización de Agua de Lluvia en Cuenca</i>	- 108 -
3.7.	ESTUDIO DE MATERIALES LOCALES Y TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS	- 109 -
3.7.1.	<i>Materiales disponibles en la zona</i>	- 109 -
a.	Empresas que disponen del material.	- 110 -
b.	Identificación de Materiales	- 112 -

c. Ventajas Ambientales	- 114 -
3.8. NORMATIVAS LOCALES	- 114 -
3.9. PARTICIPACIÓN COMUNITARIA	- 115 -
3.9.1. Uso de Materiales Locales:	- 115 -
3.9.2. Uso de mano de obra local:	- 116 -
3.10. MANO DE OBRA LOCAL Y FACTIBILIDAD CONSTRUCTIVA	- 117 -
3.10.1. Disponibilidad de mano de obra	- 117 -
d. Capacitación y formación	- 118 -
3.11. ANÁLISIS DE SITIO	- 119 -
3.11.1. Accesibilidad	- 119 -
3.11.2. Infraestructura existente	- 120 -
3.11.3. Topografía y ubicación para el proyecto	- 121 -
3.11.4. Vegetación del sitio	- 121 -
CAPÍTULO IV	- 122 -
4.1. PROYECTO ARQUITECTÓNICO DE LA CENTRO DE INTEGRACIÓN COMUNITARIA CON CERO HUELLAS DE CARBONO	- 122 -
4.2. CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROYECTO	- 123 -
4.2.1. Enfoque del diseño	- 123 -
4.2.2. Uso de materiales ecológicos y de bajo impacto:	- 124 -
4.2.3. Accesibilidad universal e integración con el entorno	- 125 -
4.3. CRITERIOS DE DISEÑO	- 126 -
4.3.1. Programa arquitectónico	- 127 -
a. Cuadro de áreas	- 128 -
4.4. CRITERIOS ESTÉTICOS	- 129 -
4.4.1. Criterios técnicos	- 130 -
4.5. IMPLANTACIÓN DEL PROYECTO	- 131 -
4.5.1. Relación con la topografía	- 131 -
4.5.2. Integración Paisajística y Relación con la Vegetación	- 132 -
4.5.3. Conexión con el Entorno y Espacios Recreativos	- 132 -
4.6. ESTRATEGIAS DE DISEÑO SOSTENIBLE	- 133 -
4.7. PLANOS ARQUITECTÓNICOS	- 135 -
4.8. DESARROLLO FORMAL Y CONSTRUCTIVO	- 144 -
4.8.1. Detalle constructivo: Muro de ladrillo portante con enlucido de tierra con fibras	- 145 -
4.8.2. Detalle constructivo: Zapatas corridas con piedra de canto rodado y unión de hormigón	- 147 -
4.8.3. Detalle constructivo: Unión del techo con la viga de madera e impermeabilización con lámina asfáltica	- 148 -
4.8.4. Detalle constructivo: Muro de adobe con revoque y enlucido fino con fibras de paja	- 150 -
4.8.5. Detalle constructivo: Cielo raso de gypsum	- 152 -
4.9. PERSPECTIVAS DEL PROYECTO.	- 153 -
4.9.1. Renders del Proyecto	- 154 -
4.10. CÁLCULO DE HUELLA DE CARBONO DEL PROYECTO.	- 162 -
4.10.1. Cimentación	- 162 -
4.10.2. Pisos (70m ²)	- 162 -
4.10.3. Paredes	- 163 -
4.10.4. Cubierta	- 164 -
4.10.5. Vigas y refuerzos	- 164 -
4.10.6. Cálculo de peso y emisión:	- 164 -
4.10.7. Total, global de emisiones con reajuste:	- 164 -
4.10.8. Cálculo de la huella de carbono por m ² :	- 164 -

b. Resultado del proyecto de la huella de carbono _____	- 165 -
4.11. PRESUPUESTO REFERENCIAL _____	- 165 -
4.12. ANÁLISIS DE REPLICABILIDAD TERRITORIAL DEL ANTEPROYECTO _____	- 167 -
4.12.1. <i>Justificación de la replicabilidad</i> _____	- 167 -
4.12.2. <i>Selección del sitio para prueba de prototipo</i> _____	- 168 -
a. Ubicación _____	- 168 -
c. Orientación del proyecto _____	- 169 -
d. Características urbanas _____	- 170 -
e. Características climáticas _____	- 170 -
f. Características sociales _____	- 174 -
g. Simulación de confort térmico y eficiencia energética _____	- 174 -
4.12.3. <i>Evaluación del proyecto en el nuevo sitio</i> _____	- 175 -
CAPÍTULO V _____	- 178 -
5.1. CONCLUSIONES _____	- 178 -
5.2. RECOMENDACIONES Y APLICACIONES FUTURAS _____	- 178 -
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	- 180 -
ANEXOS _____	- 184 -

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Ubicación del proyecto</i>	- 20 -
<i>Figura 2. Producción del adobe</i>	- 29 -
<i>Figura 3: Coliseo Anfiteatro Flavio</i>	- 30 -
<i>Figura 4: Baja porosidad y la alta densidad</i>	- 31 -
<i>Figura 5: Preparación del adobe</i>	- 33 -
<i>Figura 6: Extracción de la piedra</i>	- 35 -
<i>Figura 7: Extracción manual de las maderas en regiones antiguas.</i>	- 35 -
<i>Figura 8. Casa experimental de Tapial</i>	- 36 -
<i>Figura 9. Casa Jardín</i>	- 37 -
<i>Figura 10. Uso de Bambú</i>	- 38 -
<i>Figura 11: Revolución Industrial</i>	- 39 -
<i>Figura 12: Máquina de vapor</i>	- 40 -
<i>Figura 13: Extracción del petróleo</i>	- 41 -
<i>Figura 14. Vida industrial</i>	- 42 -
<i>Figura 15. El origen del hormigón</i>	- 45 -
<i>Figura 16: Empresa reguladora de emisiones de carbono</i>	- 49 -
<i>Figura 17: Composición del adobe</i>	- 53 -
<i>Figura 18: Tamaños y formatos del ladrillo</i>	- 54 -
<i>Figura 19: Proceso artesanal de la elaboración del adobe</i>	- 55 -
<i>Figura 20: Poza de mezcla</i>	- 55 -
<i>Figura 21. Casa Kaattu Veedu Guesthouse</i>	- 72 -
<i>Figura 22: Casa Kaattu Veedu Guesthouse</i>	- 73 -
<i>Figura 23. Casa Kaattu Veedu Guesthouse</i>	- 73 -
<i>Figura 24: Casa Kaattu Veedu Guesthouse</i>	- 74 -
<i>Figura 25: Casa Kaattu Veedu Guesthouse</i>	- 75 -
<i>Figura 26. Casa Kaattu Veedu Guesthouse</i>	- 75 -
<i>Figura 27: Casa Kaattu Veedu Guesthouse</i>	- 76 -
<i>Figura 28: Casa Kaattu Veedu Guesthouse</i>	- 77 -
<i>Figura 29. Certificación BREEAM</i>	- 78 -
<i>Figura 30: Ubicación del terreno del proyecto</i>	- 82 -
<i>Figura 31: Sol de verano</i>	- 84 -
<i>Figura 32: Sol de equinoccios</i>	- 84 -
<i>Figura 33: El sol de invierno</i>	- 85 -
<i>Figura 34: Vientos predominantes</i>	- 88 -
<i>Figura 35: Temperatura máximas</i>	- 99 -
<i>Figura 36: Temperatura mínimas</i>	- 100 -
<i>Figura 37: Temperatura media</i>	- 101 -
<i>Figura 38: Temperatura Horaria</i>	- 102 -
<i>Figura 39: Humedad específica a 2m</i>	- 104 -
<i>Figura 40: Humedad Relativa a 2m</i>	- 105 -
<i>Figura 41: Humedad Horaria</i>	- 106 -
<i>Figura 42: Estudio de materiales locales y técnicas constructivas</i>	- 109 -
<i>Figura 43: Ubicación de la fábrica de ladrillos</i>	- 110 -
<i>Figura 44: Ladrillera falco</i>	- 110 -
<i>Figura 45: Ubicación de joga construcciones</i>	- 111 -
<i>Figura 46: Joga construcciones</i>	- 111 -
<i>Figura 47: Ubicación del fabricante de madera</i>	- 112 -
<i>Figura 48: Mano de obra local</i>	- 117 -
<i>Figura 49: Infraestructura de accesibilidad</i>	- 119 -
<i>Figura 50: Infraestructura Existente</i>	- 120 -
<i>Figura 51: Implantación dentro de la topografía</i>	- 121 -

Figura 52: Vegetación del sitio	- 121 -
Figura 53: Corte explicativo.....	- 123 -
Figura 54: Materiales utilizados en el proyecto	- 124 -
Figura 55: Adaptaciones universales de diseño.....	- 125 -
Figura 56: Zonificación del espacio	- 126 -
Figura 57: Zonificación de espacios	- 127 -
Figura 58: Criterios estéticos.....	- 129 -
Figura 59: Implantación del proyecto	- 131 -
Figura 60: Estrategias de diseño sostenible.....	- 133 -
Figura 61: Emplazamiento	- 135 -
Figura 62: Cimentación	- 136 -
Figura 63: Planta baja	- 137 -
Figura 64: Corte A-A	- 138 -
Figura 65: Corte B-B	- 139 -
Figura 66: Elevación frontal.....	- 140 -
Figura 67: Elevación derecha.....	- 141 -
Figura 68: Elevación posterior.....	- 142 -
Figura 69: Elevación izquierda	- 143 -
Figura 70: Despiece constructivo del proyecto.....	- 144 -
Figura 71: Detalle constructivo general de muro	- 145 -
Figura 72: Detalle constructivo de la cimentación	- 147 -
Figura 73: Detalle constructivo de las vigas con el techo.....	- 149 -
Figura 74: Detalle constructivo del adobe y general.....	- 150 -
Figura 75: Detalle constructivo del cielo Raso.....	- 152 -
Figura 76: Perspectiva del proyecto	- 153 -
Figura 77: Perspectiva del proyecto en el terreno.....	- 154 -
Figura 78: Render Exterior del proyecto.....	- 154 -
Figura 79: Render Exterior 2	- 155 -
Figura 80: Render exterior 3.....	- 155 -
Figura 81: Render Interior. Sala de reuniones.....	- 156 -
Figura 82: Render exterior 4.....	- 156 -
Figura 83: Render interior de sala de reuniones 1	- 157 -
Figura 84: Render de interior, sala de reuniones	- 157 -
Figura 85: Render interior. Sala de reuniones.....	- 158 -
Figura 86: Render Interior Cocina	- 158 -
Figura 87: Render interiores y jardineras internas.....	- 159 -
Figura 88: Jardineras.....	- 159 -
Figura 89: Jardineras.....	- 160 -
Figura 90: Render entrada del proyecto.....	- 160 -
Figura 91: Render detalle	- 161 -
Figura 92: Render Cocina	- 161 -
Figura 93: Render pasillo de circulación	- 162 -
Figura 94: Ubicación de opción del proyecto.....	- 168 -
Figura 95: Emplazamiento del prototipo.....	- 169 -
Figura 96: Características urbanas.....	- 170 -
Figura 97: Fotomontaje parque Iberia, render exterior. Nuevo sitio.	- 175 -
Figura 98: Fotomontaje del parque Iberia, render exterior 2	- 175 -
Figura 99: Analisis de materiales del nuevo sitio.....	- 176 -

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1: Herramientas para evaluar el impacto ambiental.</i>	- 70 -
<i>Tabla 2: Herramientas digitales de medición.</i>	- 71 -
<i>Tabla 3: Rango de contaminación de un proyecto de la huella de carbono</i>	- 72 -
<i>Tabla 4: Reducción de emisiones de CO2</i>	- 78 -
<i>Tabla 5: Cuadro de resultados de CO2</i>	- 81 -
<i>Tabla 6: Estaciones del sol</i>	- 86 -
<i>Tabla 7: Inclinación del sol</i>	- 87 -
<i>Tabla 8: Análisis de dirección de los vientos</i>	- 88 -
<i>Tabla 9: Análisis de dirección de los vientos</i>	- 90 -
<i>Tabla 10: Análisis de dirección de los vientos</i>	- 91 -
<i>Tabla 11: Análisis de dirección de los vientos</i>	- 93 -
<i>Tabla 12: Análisis de dirección de los vientos</i>	- 94 -
<i>Tabla 13: Variaciones diarias de temperaturas en Cuenca</i>	- 102 -
<i>Tabla 14: Normativa local de cuenca</i>	- 115 -
<i>Tabla 15: Área de los espacios</i>	- 128 -
<i>Tabla 17: Temperaturas máximas, nueva ubicación</i>	- 171 -
<i>Tabla 18: Temperaturas mínimas, nueva ubicación</i>	- 171 -
<i>Tabla 19: Temperatura media, nuevo proyecto.</i>	- 172 -
<i>Tabla 20: Humedad específica, nueva ubicación</i>	- 173 -
<i>Tabla 21: Humedad relativa, nueva ubicación</i>	- 173 -
<i>Tabla 22: Simulación térmica de la nueva ubicación.</i>	- 174 -

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: <i>Confort Termico</i> _____	- 184 -
Anexo 2: <i>Confort Térmico</i> _____	- 185 -
Anexo 3: <i>Confort Térmico</i> _____	- 185 -
Anexo 4: <i>Grafica del Confort Térmico</i> _____	- 186 -
Anexo 5: <i>Planos Arquitectonicos</i> _____	- 187 -

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción es uno de los principales responsables de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a nivel global, representando cerca del 37% del total de las emisiones energéticas relacionadas con el CO₂, Global Status Report 2022 del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) menciona que, En Ecuador, las actividades del sector construcción, vinculadas al uso de cemento, acero y otros materiales industrializados, aportan entre el 25% y 30% de las emisiones nacionales de CO₂, consolidándose como uno de los sectores con mayor impacto ambiental.

En la ciudad de Cuenca, el impacto de la construcción se manifiesta de forma particular. Con una población en crecimiento y una dinámica urbana en expansión, las edificaciones convencionales dominan el paisaje, destacando la existencia de aproximadamente 178 casas comunales que, en su mayoría, fueron construidas con materiales tradicionales de alto impacto ambiental. Estos materiales, principalmente hormigón y acero, no solo contribuyen a la contaminación por emisiones de CO₂, sino también al incremento de residuos sólidos y contaminación del agua.

Agencia Internacional de Energía (2020) menciona que, el hormigón, uno de los materiales más utilizados en la construcción, emite aproximadamente 0.9 a 1 tonelada de dióxido de carbono (CO₂) por cada tonelada de cemento producida. Además, considerando el ciclo de vida completo de una edificación desde la extracción de materiales, construcción, uso y demolición, se estima que puede generar entre el 40% y 50% de las emisiones totales de CO₂ vinculadas al entorno construido. En este contexto, se vuelve urgente replantear las estrategias de construcción para reducir su impacto ambiental, priorizando el uso de materiales sostenibles y técnicas pasivas.

En la ciudad de Cuenca, las casas comunales cumplen un rol importante como espacios de encuentro vecinal, pero en términos de sostenibilidad, presentan desafíos relevantes. Aunque no existen estudios específicos que cuantifiquen de forma directa la huella de carbono de estas construcciones en la ciudad, se puede inferir un impacto ambiental considerable al considerar el ciclo de vida completo de los materiales comúnmente empleados como el hormigón y el acero y la falta de estrategias de eficiencia energética. Basado en estimaciones derivadas de análisis comparativos en construcciones comunitarias de tamaño similar, cada casa comunal podría generar entre 50 y 100 toneladas de CO₂ al año, particularmente durante las fases de construcción y mantenimiento (GlobalABC, 2022). Esta situación se agrava por la ausencia de tecnologías sostenibles, como sistemas de captación de agua lluvia, aislamiento térmico o ventilación natural, lo cual evidencia la necesidad de replantear sus procesos constructivos desde un enfoque ambientalmente responsable.

1.2 Justificación

Para contribuir al desarrollo sostenible y a la reducción de la huella de carbono en la ciudad de Cuenca, este proyecto propone una solución constructiva concreta: el diseño y construcción de un centro de integración comunitaria que incorpore estrategias sostenibles desde su concepción, con el fin de mitigar las emisiones generadas durante su propio proceso constructivo y de funcionamiento. La intervención se plantea en la parroquia de El Batán, una zona que presenta una presión ambiental considerable debido a la actividad de la Feria Libre, un mercado de alta concurrencia que produce emisiones significativas por el tráfico vehicular y las actividades comerciales. Además, las construcciones cercanas utilizan en su mayoría materiales convencionales como el hormigón y el acero, los cuales elevan la huella de carbono de la zona. Frente a este contexto, el centro propuesto busca ser un ejemplo replicable de construcción de bajo impacto ambiental mediante el uso de materiales locales, técnicas constructivas tradicionales y soluciones pasivas.

El proyecto tiene como objetivo reducir las emisiones asociadas a la construcción mediante el uso de materiales sostenibles de bajo impacto ambiental, técnicas de diseño pasivo y sistemas que optimicen el uso eficiente de los recursos naturales. Se incorporan tecnologías como la captación y reutilización de agua de lluvia, sistemas de aislamiento térmico natural y la utilización de energías renovables. Estas estrategias permiten minimizar el consumo energético y las emisiones de CO₂ del edificio durante todas las etapas de su ciclo de vida, desde la construcción hasta su operación. Además, el proyecto aborda directamente la necesidad de disminuir la contribución del sector de la construcción al impacto ambiental de la ciudad de Cuenca, estimada como considerable. El enfoque adoptado propone una solución tangible y replicable, ya que se basa en el uso de materiales locales y sistemas constructivos adaptados al clima y contexto urbano, lo que facilita su implementación en otras zonas de la ciudad. A través del diseño de un prototipo de Centro de Integración Comunitaria con características sostenibles, se busca no solo mitigar el impacto ambiental en la parroquia de El Batán, sino también ofrecer una estrategia práctica de arquitectura sostenible de bajo costo, accesible y adaptable. Este enfoque contribuirá a reducir la contaminación ambiental a escala barrial, mejorar la calidad de vida de los habitantes y fomentar la adopción de prácticas constructivas más responsables y alineadas con los principios del desarrollo sostenible.

1.3 Definición de la zona de estudio (optativo)

El área de intervención de proyecto es en la ciudad de Cuenca, en el sector del Arenal con coordenadas -2.900529, -79.027330, El terreno es en el parque Juan Bautista Stiehle con vías delimitadas por la Av. de las Américas, calle Nicaragua, calle Venezuela y calle Trinidad y Tobago. tiene un área de 400 m2.



Figura 1: Ubicación del proyecto

Fuente: Google maps.

Elaboración: Elaboración Propia

1.4 Objetivos

a. General

Desarrollar un prototipo de Centro de Integración comunitaria en la ciudad de Cuenca, Ecuador, que minimice su impacto ambiental mediante el uso de materiales de construcción sostenibles y técnicas de construcción pasiva, con el fin de alcanzar una huella de carbono cero y servir como modelo replicable a nivel local.

b. Específicos

- Realizar una revisión bibliográfica y un análisis de materiales de construcción sostenibles, complementado con un estudio teórico de casos relevantes de arquitectura sostenible, para identificar soluciones que contribuyan a la reducción de la huella de carbono.
- Realizar un diagnóstico técnico de la zona de estudio para evaluar las condiciones y potencialidades del entorno, orientadas a la implementación de la eficiencia energética y sostenibilidad.
- Desarrollar el anteproyecto del Centro de Integración Comunitaria integrando los materiales sostenibles seleccionados y las estrategias de eficiencia energética definidas, incluyendo aislamiento térmico, reciclaje de agua y enfriamiento natural. Como parte del proceso calcular la huella de carbono y cuantificar el impacto ambiental mitigado.

1.5 Metodología

La presente investigación se enmarca en el desarrollo de un prototipo de anteproyecto arquitectónico de un Centro de Integración Comunitaria con huella de carbono cero en la ciudad de Cuenca, basado en el uso de materiales locales sostenibles, técnicas de construcción de bajo impacto ambiental y estrategias de diseño pasivo. Para ello, se ha adoptado una metodología mixta (cualitativa y cuantitativa), estructurada en tres etapas principales: investigación teórica y contextual, diagnóstico del sitio y análisis participativo, y desarrollo del anteproyecto.

1.5.1 Etapa 1:

Análisis integral de materiales de bajo impacto ambiental, técnicas constructivas eficientes, estrategias de diseño pasivo y referentes normativos internacionales, con el fin de establecer un marco técnico-conceptual que sirva de base para el diseño arquitectónico sostenible de edificaciones comunitarias con mínima huella de carbono.

a. Revisión bibliográfica y documental:

Para la recopilación de la información teórica, se emplean herramientas académicas reconocidas como Scopus, Google Scholar y ScienceDirect, que permiten acceder a investigaciones actualizadas, revisadas por pares y con alto rigor científico. Estas plataformas facilitan la

identificación de estudios relevantes sobre arquitectura sostenible, evaluación ambiental, diseño pasivo y uso de materiales de bajo impacto. La selección de fuentes se basa en su pertinencia temática, actualidad y aporte técnico, priorizando publicaciones desarrolladas en los últimos quince años, lo que garantiza la solidez y validez de los fundamentos conceptuales que sustentan el desarrollo de la presente investigación.

La revisión bibliográfica permite establecer el marco conceptual y técnico de la investigación, con el propósito de fundamentar el diseño arquitectónico de un centro comunitario con huella de carbono cero. Esta etapa comprende el estudio de materiales de construcción sostenibles, estrategias de diseño pasivo, normativas ambientales y metodologías para el cálculo del impacto ambiental en edificaciones.

Se analiza la evolución histórica del uso de materiales en la arquitectura, desde los sistemas tradicionales de bajo impacto ambiental hasta el cambio producido por la revolución industrial, que introduce materiales industrializados y eleva considerablemente las emisiones de carbono asociadas a la construcción. Asimismo, se examinan los principales enfoques actuales sobre sostenibilidad, así como los sistemas de certificación ambiental y marcos normativos que promueven la reducción de la huella de carbono. Finalmente, se realiza una evaluación comparativa de materiales tradicionales y contemporáneos, considerando su viabilidad técnica, económica y ambiental en el contexto local del proyecto.

b. Análisis de normativa

Como parte del marco metodológico, se realiza un análisis de las principales normativas internacionales relacionadas con la evaluación ambiental de edificaciones. Este estudio permite comprender los criterios técnicos requeridos para el cálculo de la huella de carbono, así como los lineamientos aplicables a la selección de materiales y estrategias de sostenibilidad.

Se lleva a cabo una evaluación comparativa de los sistemas de certificación ambiental más utilizados a nivel internacional: Leed, Breeam y Edge. Este análisis permite identificar los requisitos y criterios que cada sistema aplica en relación con la eficiencia energética, el uso de materiales sostenibles y la reducción de emisiones de carbono. La revisión normativa y de certificaciones proporciona un marco técnico de referencia para orientar el diseño del anteproyecto hacia el cumplimiento de estándares de sostenibilidad reconocidos globalmente.

c. Análisis de caso de estudio sostenible:

La selección del caso de estudio internacional se realizó en función de sus soluciones constructivas sostenibles y del uso de materiales naturales como la madera y el adobe. Este proyecto fue considerado comparable debido a su enfoque en la reducción de la huella de carbono, lo cual permite establecer paralelismos técnicos y conceptuales aplicables al contexto local.

Para el análisis del caso de estudio, se adopta el enfoque metodológico propuesto por Yin (2014), que permite examinar fenómenos complejos dentro de su contexto real, combinando

técnicas de observación, revisión documental y análisis cuantitativo. Esta metodología resulta adecuada para investigar proyectos arquitectónicos sostenibles, ya que posibilita una comprensión integral de sus componentes técnicos, constructivos y ambientales. Además, se emplea la Evaluación del ciclo de vida (ACV) como herramienta para estimar la huella de carbono del proyecto analizado, siguiendo los lineamientos establecidos por las normas ISO 14040 e ISO 14044. Esta metodología permite cuantificar las emisiones generadas en cada fase del ciclo de vida del edificio: producción de materiales, construcción, uso operativo y fin de vida, proporcionando datos concretos que respaldan las decisiones proyectuales de la investigación.

El análisis de caso de estudio constituye una herramienta clave dentro de la investigación, al permitir observar de forma concreta la aplicación de estrategias sostenibles en un proyecto arquitectónico real. Se selecciona un caso ejemplar que integra el uso de materiales de bajo impacto, estrategias de diseño pasivo y una metodología clara para la medición de la huella de carbono.

El caso seleccionado se analiza a partir de documentación técnica, características del diseño, sistemas constructivos implementados y datos cuantitativos obtenidos mediante la metodología de Evaluación del Ciclo de Vida (ACV). Se toma en cuenta el desempeño ambiental del edificio durante su ciclo completo, desde la extracción de materias primas hasta la etapa de operación.

El cálculo de la huella de carbono realizado en este caso permite establecer una referencia objetiva sobre el impacto de los materiales y sistemas utilizados, lo que contribuye a la toma de decisiones fundamentadas para el desarrollo del anteproyecto. Además, se identifican estrategias replicables que pueden adaptarse al contexto local de Cuenca, fortaleciendo el enfoque de sostenibilidad y eficiencia energética del prototipo planteado.

1.5.2 Etapa 2:

Análisis de las condiciones ambientales, físicas y sociales del entorno inmediato del sitio de intervención, con el fin de identificar los factores clave que influyen en el diseño arquitectónico. Este estudio permitirá desarrollar una edificación eficiente y adaptada al clima local del sector y a las técnicas constructivas disponibles en la zona, fomentando así una propuesta contextualizada y sostenible.

a. Evaluaciones climáticas

Se realizó un análisis climático del sitio de intervención que incluye el estudio del soleamiento, la dirección del viento, la temperatura y las precipitaciones, con el objetivo de definir estrategias pasivas eficientes para el diseño arquitectónico.

El estudio del soleamiento se llevó a cabo mediante ortofotos georreferenciadas y representaciones solares, lo cual permitió identificar la incidencia solar a lo largo del año y establecer criterios para el control solar y el aprovechamiento óptimo de la iluminación natural.

La dirección y velocidad del viento se analizaron a través de una rosa de vientos generada con datos históricos del INEC y procesada en el software Climate Consultant, lo que facilitó la definición de estrategias de ventilación cruzada y otros mecanismos pasivos de confort térmico.

La temperatura media anual y diaria se estudió utilizando registros del período 2001–2020, procesados mediante el software PowerPoint Climatology 2001–2020, lo cual permitió obtener representaciones gráficas precisas del comportamiento térmico en la zona.

Finalmente, se evaluaron las precipitaciones anuales considerando su distribución estacional y sus variaciones históricas, con el fin de estimar el potencial de captación y reutilización de agua de lluvia como parte de las estrategias sostenibles del proyecto.

b. Análisis de materiales y mano obra de la zona

Se realiza un estudio de la disponibilidad y accesibilidad de materiales de construcción en el entorno cercano al sitio de intervención, mediante el uso de ortofotos y herramientas digitales como Google Maps, que permiten identificar ubicaciones y distancias.

Este análisis considera la proximidad, facilidad de transporte y compatibilidad de los materiales con los principios de bajo impacto ambiental. Asimismo, se incluye un diagnóstico de la mano de obra local, con el fin de reconocer conocimientos existentes y establecer estrategias de capacitación orientadas al uso de técnicas constructivas tradicionales y sostenibles.

Finalmente, se toma en cuenta la normativa local vigente relacionada con el uso de materiales naturales y construcción en tierra, asegurando la viabilidad legal y técnica de las propuestas constructivas del proyecto.

c. Condiciones del terreno

Se evalúan las condiciones topográficas, la infraestructura existente, los accesos y la vegetación del sitio mediante representaciones tridimensionales generadas a partir del redibujo del terreno en el software ArchiCad, lo que permite obtener una visión integral del entorno. Esta información se interpreta para integrar de forma estratégica estos elementos al diseño arquitectónico, optimizando la adaptación del proyecto a las características físicas del lugar y fortaleciendo su relación con el contexto inmediato.

1.5.3 Etapa 3:

Síntesis y aplicación de los resultados obtenidos en el análisis ambiental y constructivo del sitio para el desarrollo del diseño arquitectónico de un centro de integración comunitaria sostenible. Esta propuesta busca ser replicable en otras zonas urbanas con características similares, mediante el uso de estrategias pasivas, materiales de bajo impacto ambiental y técnicas constructivas adaptadas al contexto local.

a. Propuesta arquitectónica preliminar:

Como parte del desarrollo del anteproyecto arquitectónico, se elabora una propuesta preliminar que integra de forma coherente los criterios técnicos, climáticos, constructivos y sociales analizados en las etapas anteriores. El diseño considera el uso de estrategias pasivas, tales como ventilación cruzada, control solar y aprovechamiento de la iluminación natural, con el fin de garantizar confort térmico y eficiencia energética sin depender de sistemas mecánicos. Asimismo, se prioriza la incorporación de materiales sostenibles disponibles, disponibles localmente, evaluando su compatibilidad con las condiciones del sitio y su aporte a la reducción de la huella de carbono. La propuesta se desarrolla mediante la elaboración de planos arquitectónicos, cortes, elevaciones y detalles constructivos, que permiten visualizar y validar la viabilidad técnica y ambiental del proyecto planteado.

b. Cálculo de huella de carbono:

Se aplica la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como herramienta principal para la evaluación de la huella de carbono generada por el anteproyecto arquitectónico. Esta metodología permite estimar las emisiones de dióxido de carbono asociadas a cada etapa del ciclo de vida del edificio: producción de materiales, construcción, uso operativo y fin de vida. Para ello, se identifican los materiales empleados, sus cantidades, métodos de transporte y procesos constructivos, asignando factores de emisión reconocidos en la normativa internacional.

Los resultados obtenidos se comparan con rangos y estándares globales establecidos por estudios de referencia en ACV para edificaciones. Análisis de Ciclo de Vida (ACV) menciona que, una construcción tradicional de alto impacto presenta emisiones entre 500 y 1.000 kgCO₂/m², una construcción con materiales sostenibles genera entre 100 y 500 kgCO₂/m², mientras que una construcción de bajo impacto o carbono neutral se sitúa por debajo de 100 kgCO₂/m². Esta comparación permite validar la reducción del impacto ambiental alcanzado en el proyecto y verificar su coherencia con el enfoque de arquitectura de huella de carbono cero.

c. Análisis de replicabilidad territorial.

Como parte del enfoque replicable del anteproyecto, se realiza una prueba de ubicación alternativa dentro del área urbana de Cuenca, con el fin de validar su viabilidad constructiva y ambiental en otro contexto geográfico de la misma ciudad. Esta evaluación no se enfoca en condiciones climáticas específicas, sino en aspectos logísticos como la disponibilidad de materiales, las distancias de transporte y la capacidad operativa local. A partir de este análisis, se compara el impacto ambiental generado en el sitio original con el de la nueva localización, comprobando que la huella de carbono se mantiene dentro de los márgenes aceptables gracias al uso de recursos regionales similares y estrategias constructivas replicables. Este ejercicio permite verificar que el modelo arquitectónico puede ser implementado en diferentes sectores de Cuenca sin comprometer los principios de sostenibilidad que lo fundamentan.

d. Simulación energética:

Con el objetivo de prever el comportamiento térmico del edificio, se realiza una simulación climática mediante el uso del software PowerPoint Climatology 2001–2020, el cual permite visualizar y analizar datos históricos de temperatura en el sitio de intervención. A través de esta herramienta, se identifican patrones de comportamiento térmico a lo largo del año, lo que facilita la toma de decisiones en relación con la orientación, ventilación, control solar y uso de materiales con inercia térmica adecuada. La información obtenida se integra al diseño arquitectónico como base técnica para optimizar el confort interior y minimizar la demanda energética, en concordancia con los principios del diseño pasivo y la reducción de emisiones de carbono.

CAPÍTULO II

2.1. Marco teórico

2.1.1. Concepto de Huella de Carbono

La huella de carbono se refiere a la cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄), que son emitidos directa o indirectamente por actividades humanas. Este concepto ayuda a medir el impacto ambiental de individuos, organizaciones y gobiernos en términos de su contribución al calentamiento global. Los GEI se liberan a través de diversas actividades, como el uso de combustibles fósiles, la deforestación y la producción industrial; su acumulación en la atmósfera provoca un aumento de la temperatura media global (British Standards Institute, 2008).

2.1.2. Origen y surgimiento de la palabra huella de carbono

El concepto de huella de carbono surgió en el contexto de la creciente preocupación por el cambio climático y sus efectos a nivel global, una preocupación que se intensificó en la década de 1990. Durante esos años, la comunidad científica, liderada por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), comenzó a investigar ya publicar informes sobre el papel de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el calentamiento global. Estos informes destacaron la urgencia de reducir las emisiones antropogénicas, promoviendo la creación de métricas que ayudarán a cuantificar el impacto humano en el medio ambiente.

El Protocolo de Kioto de 1997 marcó un punto de inflexión en la medición de las emisiones de GEI, al establecer objetivos vinculantes para que los países industrializados redujeran sus emisiones. Este tratado internacional no solo fue el primer acuerdo en el que los países asumieron compromisos concretos, sino que también impulsó el desarrollo de sistemas de contabilidad de carbono. A partir de entonces, los países comenzaron a rastrear sus emisiones nacionales, transformando la huella de carbono en un indicador clave para medir y comunicar las contribuciones individuales, corporativas y nacionales al cambio climático (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 1998).

En los años 2000, se fortalecieron las metodologías para el cálculo de la huella de carbono, especialmente en el sector empresarial, gracias a la publicación de estándares como el Greenhouse Gas Protocolo y la norma PAS 2050 del British Standards Institute. Estos documentos proporcionan guías prácticas para contabilizar y reducir las emisiones a lo largo del ciclo de vida de productos y servicios, permitiendo a las empresas ya los gobiernos evaluar de forma precisa sus impactos ambientales y tomar decisiones informadas basadas en datos (British Standards Institute, 200).

2.2. Antecedentes

2.2.1. Arquitectura Preindustrial

La arquitectura preindustrial se caracterizó por su estrecha relación con el entorno natural, utilizando recursos locales y renovables que garantizaban una baja huella ambiental. Las construcciones respondían directamente a las condiciones climáticas y geográficas de cada región, desarrollando técnicas constructivas manuales transmitidas de generación en generación. Los materiales empleados eran extraídos directamente del medio, y su elección respondía tanto a la disponibilidad como a su adaptabilidad al contexto. Entre los más comunes se encontraban el adobe, la madera, la piedra y la paja, todos con cualidades sostenibles y de bajo impacto ambiental.

En Europa medieval, la piedra fue el principal recurso constructivo, utilizada en catedrales, castillos y edificaciones públicas por su resistencia y durabilidad. Esta técnica, dominada por canteros experimentados, perduró durante siglos como símbolo de monumentalidad y defensa. En contraste, en el norte de África, regiones como Marruecos desarrollaron la técnica del tapial, utilizando tierra arcillosa comprimida en moldes de madera para crear muros térmicamente estables. Un ejemplo representativo es la Kasbah Ait Benhaddou, del siglo XI, una fortaleza de tierra que demuestra cómo las condiciones climáticas determinaron el uso de materiales naturales (Houben y Guillaud, 1994).

En América Latina, los métodos constructivos manuales también respondían al entorno. En los Andes, el adobe mezcla de tierra, agua y paja moldeada en bloques secados al sol fue un material dominante. Esta técnica permitió el levantamiento de estructuras altamente adaptadas al clima seco de la región, como la ciudadela de Chan Chan en Perú, construida alrededor del año 850 d.C., una de las mayores ciudades de barro del mundo (Norton, 1997). A su vez, la mampostería en piedra fue ampliamente utilizada por las civilizaciones andinas, como los incas, quienes lograron construcciones sísmicamente resistentes a través del encaje perfecto de bloques de piedra, sin necesidad de mortero (Protzen, 1993).

En las zonas tropicales del Amazonas, donde la humedad es predominante, se emplearon materiales ligeros y flexibles como el bambú y la palma, ideales para las condiciones climáticas de la selva. Las viviendas tradicionales de las comunidades indígenas aún reflejan este conocimiento ancestral y una arquitectura bioclimática adaptada. Por otro lado, en Japón, la carpintería manual en madera alcanzó niveles de precisión técnica excepcionales. El templo Hōryū-ji, construido en el siglo VII, es una muestra de cómo la madera, tratada con sistemas de ensamblaje sin clavos, podía resistir los frecuentes terremotos de la región, al tiempo que ofrecía longevidad y belleza (Fletcher, 2001).

Estas técnicas también llegaron a América Latina durante la colonización, cuando los métodos europeos fueron adaptados a los materiales disponibles en el nuevo continente. Esta fusión dio lugar a una arquitectura híbrida, donde la carpintería, la mampostería y otras técnicas se integraron en

construcciones coloniales que conservaron elementos tanto indígenas como europeos (Langenbach, 2009).

2.2.2. Impacto ambiental y huella de carbono de la arquitectura tradicional



Figura 2. Producción del adobe

Fuente y elaboración: Jaramillo, 2010

Uno de los ejemplos más representativos es el adobe, un material ampliamente utilizado en climas áridos y secos. Su fabricación artesanal, a base de tierra arcillosa, agua y fibras vegetales como la paja, se realizaba sin maquinaria ni combustibles fósiles, utilizando el sol para el secado de los bloques (véase Figura 2). Este proceso de producción genera aproximadamente 0.05 kg de CO₂ por kilogramo de material, en contraste con los 0.9 kg de CO₂ emitidos por cada kilogramo de cemento utilizado en la producción de concreto moderno (Houben y Guillaud, 1994; Le Quéré et al., 2015). Esta diferencia evidencia la notable ventaja ambiental de los materiales tradicionales en términos de emisiones de gases de efecto invernadero. Además del adobe, materiales como la piedra, la madera, la paja y el bambú fueron elementos fundamentales de esta arquitectura. Su procesamiento manual y local prescindía del uso de hornos, transporte a larga distancia o maquinaria pesada. Por ejemplo, la extracción de piedra para mampostería, o el corte de madera para estructuras y cubiertas, se realizaban a través del trabajo humano o con ayuda de animales, generando emisiones casi nulas (Oliver, 2003). Esta lógica de construcción de bajo impacto se extendía también al transporte de materiales, que rara vez superaba distancias mayores a unos pocos kilómetros, lo que reducía aún más el consumo de energía fósil.

Un aspecto crucial de la arquitectura tradicional es su ciclo de vida ambientalmente equilibrado. Se estima que más del 90% de los materiales utilizados eran biodegradables o reciclables, facilitando su reintegración al entorno natural tras el desuso o deterioro de las edificaciones (Rapoport, 1969). En este sentido, el uso de recursos renovables como el bambú, la

madera y la paja contribuye a mantener ciclos de carbono cerrados, ya que las plantas que los producen absorben CO₂ durante su crecimiento, compensando las emisiones generadas en su uso posterior (Chandrasekaran et al., 2010). Asimismo, materiales como la piedra y la madera no solo destacan por su bajo impacto ambiental, sino también por su larga vida útil, lo cual reduce la necesidad de reemplazos frecuentes y, por tanto, de nuevos ciclos constructivos. Estas cualidades convierten a los materiales tradicionales en opciones sostenibles que, además de perdurar en el tiempo, minimizan los residuos de construcción y contribuyen a la conservación del entorno.

2.2.3. Duración y sostenibilidad de edificaciones con materiales tradicionales



Figura 3: Coliseo Anfiteatro Flavio

Fuente y elaboración: Fitchen, 1986.

La arquitectura tradicional ha demostrado una notable durabilidad y sostenibilidad, características que han permitido la conservación de edificaciones durante siglos e incluso milenios. Un ejemplo destacado es el Coliseo, también conocido como Anfiteatro Flavio (ver Figura 3), cuya estructura de piedra ilustra cómo los materiales tradicionales han sido capaces de resistir el paso del tiempo con mínimo impacto ambiental. A diferencia de los materiales modernos, cuyo ciclo de vida está condicionado por procesos industriales intensivos y una rápida degradación, los materiales tradicionales como la piedra, la madera y el adobe han sido empleados en la construcción de estructuras que han garantizado estabilidad estructural a lo largo de generaciones. Esta resistencia y longevidad han reducido la necesidad de constantes renovaciones y demoliciones, mitigando así el consumo excesivo de recursos naturales (Oliver, 2003).

La durabilidad de los materiales tradicionales se relaciona directamente con su bajo procesamiento industrial y su adaptación a las condiciones climáticas locales. La piedra, por ejemplo, ha sido utilizada en la arquitectura desde la antigüedad debido a su resistencia natural a la erosión y su estabilidad estructural, como lo evidencian construcciones icónicas como las pirámides de Egipto y las catedrales góticas de Europa (Fitchen, 1986). Por otro lado, la madera, empleada en

edificaciones tradicionales en Asia y América, se destaca por su capacidad de renovación y por su rol en la captura de carbono, contribuyendo a la reducción de la huella ambiental de la construcción (Chandrasekaran et al., 2010). Además de la resistencia de sus materiales, la arquitectura tradicional incorpora técnicas de construcción que prolongan la vida útil de las edificaciones sin la necesidad de materiales sintéticos o sistemas complejos de mantenimiento. Métodos como el apisonado en la construcción de muros de tierra o el ensamble de estructuras de madera sin clavos ni adhesivos industriales, han permitido que estas edificaciones conserven su integridad estructural por siglos (Minke, 2009). Estas técnicas, además, responden a principios de sostenibilidad, ya que evitan el uso de procesos energéticamente intensivos y priorizan el empleo de recursos locales y renovables.

En un contexto actual donde la industria de la construcción representa uno de los sectores con mayor impacto ambiental, con aproximadamente un 38% de las emisiones globales de CO₂ asociadas al uso de cemento, acero y otros materiales industrializados (Global Alliance for Buildings and Construction, 2020), la revalorización de los materiales tradicionales se plantea como una alternativa viable para el diseño de edificaciones más sostenibles. La capacidad de estos materiales para minimizar la demanda energética durante su ciclo de vida y su compatibilidad con técnicas constructivas de bajo impacto los convierte en opciones fundamentales dentro del paradigma de la arquitectura ecológica y la economía circular (Rapoport, 1969).

a. Durabilidad de la piedra como material constructivo

La piedra es uno de los materiales más antiguos y duraderos empleados por la humanidad en la construcción. Su resistencia a la compresión, a los agentes atmosféricos y su escasa necesidad de mantenimiento la convierten en un recurso estructural de gran longevidad. Fitchen (1986) menciona que, muchas construcciones en piedra, como los templos egipcios o las estructuras románicas europeas, han perdurado por más de dos mil años gracias a la combinación de propiedades físicas del material y técnicas constructivas apropiadas.



Figura 4: Baja porosidad y la alta densidad

Fuente: Fernández y Sanz, 2013

La baja porosidad y la alta densidad de la piedra permiten que resista ciclos de congelamiento y deshielo, lo cual es clave en climas extremos (Minke, 2009), como se observa en la Figura 4. Además, no sufre degradaciones químicas aceleradas ni oxidación, a diferencia de materiales como

el acero. Fernández y Sanz (2013) explican que, incluso en zonas de elevada humedad, como en la región andina, las edificaciones de piedra han demostrado un comportamiento estructural excelente durante siglos.

En cuanto a su huella de carbono, al tratarse de un material que puede emplearse con mínimo procesamiento industrial limitado en muchos casos a la extracción y el tallado, la piedra presenta bajas emisiones de CO₂ en su ciclo de vida. González y García Navarro (2006) indican que su impacto ambiental está principalmente en la fase de transporte, lo que puede minimizarse si se utiliza piedra del entorno inmediato. Además, muchas culturas han reutilizado piedras de edificaciones antiguas en nuevas construcciones, lo que potencia su ciclo cerrado de uso y reduce el consumo de nuevos materiales (Oliver, 2003). Esta práctica también evidencia el valor patrimonial y estructural de la piedra, ya que puede conservarse y adaptarse a nuevos usos sin perder integridad.

b. La madera como material renovable

La madera es uno de los pocos materiales de construcción que, al ser adecuadamente gestionado, puede considerarse completamente renovable. Su uso en arquitectura tradicional se remonta a milenios atrás, y ejemplos de estructuras longevas, como el templo Hōryū-ji en Japón (siglo VII), evidencian su alta durabilidad cuando es correctamente trabajada y mantenida (Tsunoda, 1980).

A diferencia de los materiales industriales, la madera no solo almacena carbono durante su crecimiento, sino que continúa reteniéndolo durante toda su vida útil en una edificación. Esto significa que, incluso después de ser talado, un árbol puede seguir contribuyendo a la mitigación del cambio climático. Chandrasekaran et al. (2010) destacan que cada metro cúbico de madera contiene aproximadamente 0.9 toneladas de CO₂ fijado, lo cual la convierte en un sumidero de carbono eficiente. Además de su función como sumidero de carbono, la madera puede ser altamente duradera dependiendo de la especie, el tratamiento recibido y las condiciones ambientales. Green y Karsh (2012) señalan que especies como el cedro, la teca o el alerce pueden superar los 100 años de vida útil sin tratamientos químicos, especialmente cuando se utilizan técnicas tradicionales de conservación. Entre estas se incluyen el secado al aire, el uso de aceites vegetales y el carbonizado superficial, como en la técnica japonesa Shou Sugi Ban, que mejora la resistencia de la madera al fuego, insectos y humedad.

Desde un enfoque sostenible, la madera también presenta ventajas en términos de capacidad de reparación y reutilización. Al tratarse de un material que puede cortarse, ensamblarse y adaptarse sin grandes pérdidas, muchas culturas tradicionales han desarrollado sistemas constructivos que permiten desmontar estructuras y reutilizar sus componentes (Rapoport, 1969). Incluso hoy, estudios recientes como el de Gustavsson et al. (2010) sugieren que las construcciones en madera tienen un impacto climático entre un 40 y un 70% menor que las realizadas con concreto u hormigón, especialmente cuando se prioriza el uso de especies locales y se evita el tratamiento con químicos industriales.

2.2.4. Cero residuos contaminantes

El concepto de “cero residuos contaminantes” en la arquitectura tradicional adquiere una relevancia crucial ante la creciente problemática ambiental asociada al sector de la construcción. A diferencia de los materiales contemporáneos, cuyo proceso de fabricación, demolición y disposición final generan una considerable cantidad de desechos y emisiones, los materiales tradicionales como el adobe, la madera, la piedra y el bambú poseen la virtud de reintegrarse de forma natural al entorno o ser reutilizados sin causar impactos negativos. Esta característica los convierte en aliados fundamentales en la transición hacia modelos constructivos sostenibles.



Figura 5: Preparación del adobe

Fuente y elaboración: Houben y Guillaud, 1994

Por ejemplo, el adobe, compuesto únicamente por tierra, agua y fibras vegetales (véase Figura 5), puede regresar al suelo como materia orgánica al concluir su vida útil. Este ciclo cerrado evita la generación de residuos sólidos persistentes y minimiza el consumo energético. Houben y Guillaud (1994) mencionan que los restos de construcciones en tierra cruda pueden incluso enriquecer los suelos donde se depositan, contribuyendo a la regeneración del paisaje natural. De manera similar, la piedra, al no sufrir alteraciones químicas en su proceso de uso, puede desmontarse y emplearse nuevamente en otras edificaciones sin requerir procesamiento adicional, como evidencian múltiples estructuras reutilizadas a lo largo de la historia (Oliver, 2003). Asimismo, la piedra, al no transformarse químicamente para su uso, puede ser recuperada y reutilizada múltiples veces sin necesidad de triturarla ni procesarla, como evidencian muchas edificaciones históricas donde los bloques han sido removidos y reincorporados a nuevas obras (Oliver, 2003). Este proceso de reutilización directa contribuye a evitar la emisión de CO₂ derivada de la trituración y transporte de materiales nuevos, lo que se alinea con las estrategias de economía circular propuestas por Pomponi y Moncaster (2017). Su durabilidad inherente permite que estructuras de piedra permanezcan funcionales por siglos sin necesidad de reconstrucción, reforzando así su valor ambiental y patrimonial.

La madera, por su parte, no solo es un material renovable, sino también biodegradable. Chandrasekaran et al. (2010) destacan que en condiciones naturales puede descomponerse completamente en un lapso de entre 5 a 10 años, sin dejar residuos tóxicos. Además, en muchas culturas tradicionales, sus elementos eran cuidadosamente desmontados y almacenados para ser reutilizados en nuevas edificaciones, prolongando su vida útil y reduciendo la necesidad de extraer nuevos recursos (Rapoport, 1969). (véase Figura 6). Incluso materiales como el bambú, ampliamente usado en zonas tropicales, presentan una descomposición natural eficiente y son valorados por su bajo impacto ambiental durante todo su ciclo de vida (Minke, 2001). Este modelo de aprovechamiento total del material se relaciona directamente con el concepto de economía circular, en el que los residuos se convierten en recursos y el proceso constructivo cierra su ciclo sin contaminar. Pomponi y Moncaster (2017) sostienen que incorporar principios de circularidad en la arquitectura podría reducir hasta en un 80% los residuos de construcción y demolición, que actualmente representan el 30% de los residuos sólidos urbanos en países industrializados (González y García Navarro, 2006).

En este sentido, también es fundamental comprender que la producción de materiales en contextos preindustriales estuvo determinada por el uso de recursos locales y procesos manuales que respetaban las dinámicas del entorno. Antes del siglo XIX, la mayoría de las construcciones en el mundo se levantaban con materiales extraídos a menos de 5 kilómetros del sitio de obra, lo cual eliminaba la huella ecológica asociada al transporte y disminuía el consumo energético (Fernández Buey, 2008). Minke (2009) reporta que, en comunidades rurales de América Latina, más del 80% de los materiales utilizados en viviendas tradicionales procedían del entorno inmediato.

2.2.5. Producción de materiales en contexto preindustrial

La producción de materiales de construcción en contextos preindustriales estuvo profundamente enraizada en el uso de recursos locales, conocimientos empíricos y técnicas manuales adaptadas a las condiciones climáticas, geográficas y culturales de cada región. Esta etapa histórica, que se extiende hasta finales del siglo XVIII y comienzos del XIX, antes del auge de la revolución industrial, representa un modelo de construcción con un impacto ambiental mínimo, caracterizado por prácticas sostenibles, bajas emisiones y una profunda integración con el entorno.

Uno de los materiales más representativos de este periodo fue el adobe, ampliamente empleado en regiones áridas y semiáridas de América Latina, África y Asia. Su composición mezcla de barro, agua y fibras vegetales permitía una producción completamente local y sin necesidad de maquinaria ni procesos de cocción. El secado al sol, aprovechando la energía solar como fuente natural, eliminaba el uso de combustibles fósiles y contribuía a minimizar el consumo energético. Estudios recientes estiman que la energía necesaria para producir 1 kg de adobe era de apenas 0.5 megajulios, en comparación con los 10 megajulios requeridos para fabricar la misma cantidad de ladrillo cocido en hornos industriales del siglo XIX (Minke, 2009). Civilizaciones como la mesopotámica o la del Valle del Indo ya utilizaban este material hacia el 3000 a.C., y en América

Latina su aplicación se mantuvo vigente hasta el siglo XIX, con ejemplos emblemáticos como la ciudad precolombina de Chan Chan en Perú.



Figura 6: Extracción de la piedra

Fuente y elaboración: Oliver, 2003

El uso de la piedra, particularmente en civilizaciones que desarrollaron grandes centros urbanos y templos monumentales, como los egipcios, griegos e incas. La piedra era extraída localmente y transportada mediante fuerza humana, rodillos, palancas o animales de carga, sin combustibles fósiles. (véase Figura 6). A pesar de su peso y dificultad de manipulación, su durabilidad compensaba con creces el esfuerzo, ya que estas construcciones podían durar siglos sin requerir mantenimiento intensivo. En el caso de Machu Picchu, los incas emplearon bloques de piedra perfectamente tallados y ensamblados sin mortero, lo cual demuestra un conocimiento técnico avanzado sin recurrir a procesos industriales. Oliver (2003) estima que la energía requerida para estas tareas era menos del 10% respecto a los sistemas mecanizados actuales. Además, la posibilidad de reutilizar bloques en nuevas edificaciones sin transformarlos químicamente hacía de la piedra un material altamente sustentable.



Figura 7: Extracción manual de las maderas en regiones antiguas.

Fuente y elaboración: Berge, 2009

En regiones boscosas del norte de Europa o Asia oriental, la madera fue el material predominante. Su abundancia natural y facilidad de trabajo con herramientas manuales la

convirtieron en una opción ideal para viviendas, templos y estructuras públicas. Durante la Edad Media (siglos V al XV), la madera se talaba y preparaba localmente, sin necesidad de maquinaria, y muchas veces los elementos estructurales eran desmontables y reutilizables. (véase Figura 7). Un ejemplo icónico es el Templo Hōryū-ji en Japón, construido en el siglo VII, que aún se mantiene en pie, reflejando tanto la calidad del material como la eficiencia de las técnicas constructivas tradicionales. Este tipo de producción evitaba completamente las emisiones asociadas al transporte a larga distancia y a la transformación industrial, elementos clave en la huella de carbono contemporánea.

Estas prácticas constructivas reflejan un conocimiento profundo del entorno y una visión sostenible del hábitat, donde los materiales eran producidos y empleados sin generar residuos contaminantes ni emisiones significativas. De hecho, se ha calculado que una vivienda estándar de adobe de aproximadamente 50 m² generaba menos de 250 kg de CO₂ durante todo su ciclo de vida, frente a las más de 10 toneladas emitidas por una estructura similar construida con concreto moderno (Berge, 2009). Por su parte, la extracción manual de piedra generaba emisiones indirectas mínimas, relacionadas únicamente con herramientas básicas, a diferencia de las operaciones mineras modernas, que pueden liberar entre 10 y 15 toneladas de CO₂ por cada 100 toneladas de piedra extraída (Rapoport, 1969).

2.2.6. Ejemplos de construcciones de materiales Tradicionales

a. Casas de barro y adobe en América Latina

En algunas zonas altoandinas de clima seco o semiárido, las casas de adobe proporcionaban un excelente aislamiento térmico, lo que reducía la necesidad de calefacción o refrigeración adicional. Este enfoque minimizaba tanto el consumo energético como las emisiones asociadas.

Casa experimental de Tapial / Estudio de Arquitectura y Planificación Kaiser. Cortesía de Estudio de Arquitectura y Planificación Kaiser



Figura 8. Casa experimental de Tapial.

Fuente y elaboración: Planificación Kaiser, 2020

Ubicación: San Lorenzo, Bolivia

Arquitectos: Estudio de Arquitectura y Planificación Kaiser

Año: 2020

Arquitectos A Cargo: Mechthild Kaiser

Equipo De Diseño: Mauricio Méndez

Clientes: Mechthild Kaiser

Colaboradores: Mauricio Méndez, Abran Rodríguez

La casa se ubica en una parcela cuadrada, recortada de un sembradío de maíz, separada del bosque por un camino. El diseño se orienta norte-sur, con ventanas hacia el este y oeste. La estructura combina funcionalidad y portabilidad mediante muros de tapial de 36 cm de grosor en forma de "U", que garantizan solidez y permiten ventilación, iluminación y transición espacial. Una viga anular y cimientos de hormigón conectan todo horizontalmente, protegiendo los muros de la humedad. (Planificación Kaiser, 2020).

El volumen principal, de doble altura, integra servicios sin comprometer la integridad del tapial, dejando las instalaciones eléctricas expuestas. Inspirada en la arquitectura tradicional, combina un núcleo sólido con extensiones hacia patios y galerías, contrastando con los muros geométricos de textura irregular, resultado del apisonado de capas de tierra (Planificación Kaiser, 2020).

La construcción en tapial es laboriosa pero ecológica: tres trabajadores producen 1 m³ por día. El bajo costo del material compensa la mano de obra, eliminando revoques y pinturas. Las superficies, tratadas con caseína y cera, son resistentes y fácilmente reparables (Planificación Kaiser, 2020).

Casa jardín / al borde. JAG Studio



Figura 9. Casa Jardín

Fuente y elaboración: Al Borde, JAG studio, 2020

Arquitectos: Al Borde

Año: 2020

Fotografías: JAG Studio, Al Borde

Ingeniería Estructural: Patricio Cevallos

Constructores: Miguel Ramos, José Fabara

Dirección De Obra: Diego Ledesma

Colaboradores: Iara Pezzuti, Ippolita Barnato

Ubicación: Ciudad: Quito – Ecuador

José, ecologista y amante de la naturaleza, diseñó una casa integrada con su entorno, donde el jardín es parte de la circulación y los límites entre vivienda y naturaleza se desdibujan. Para ir de la cama al baño, hay que salir, y la ducha ocurre en un invernadero entre plantas. Los espacios fusionan jardín y casa, aplicando arquitectura vernácula (Al Borde, JAG Studio, 2020).

El invernadero-ducha utiliza postes de lechero como columnas vivas, cubiertos con policarbonato y madera contrachapada protegida con manto asfáltico. Los árboles alcanzan 3 m de altura y están enterrados 1 m, formando una estructura básica y funcional (Al Borde, JAG Studio, 2020).

La casa, desconectada del alcantarillado, emplea un sistema de permacultura: aguas negras tratadas con lombrices rojas y aguas grises filtradas con papiros enanos nutren frutales. Residuos orgánicos se compostan para hortalizas, mientras especies nativas atraen fauna que controla plagas. Este diseño sostenible refleja la convivencia armoniosa de José con la naturaleza (Al Borde, JAG Studio, 2020).

b. Uso de bambú en regiones tropicales

El bambú, ampliamente utilizado en Asia y América Latina, es un recurso renovable que crece rápidamente y tiene una resistencia comparable al acero en ciertas aplicaciones. Su cultivo y procesamiento generan una huella de carbono muy baja, siendo una opción sostenible para estructuras ligeras (Janssen, 2000).



Figura 10. *Uso de Bambú*

Fuente y elaboración: Mora. 2014

Arquitectos: Enrique Mora

Año: 2014

Fotografías: Sin nombre

Constructores: Enrique Mora Alvarado

Dirección De Obra: Enrique Mora Alvarado

Ubicación: Ciudad: Chone - Ecuador

País: Ecuador

Ubicada en la Parroquia Convento (Chone), en un entorno natural rodeado de bambú, una quebrada y montañas de bosque húmedo, esta vivienda busca conectar a sus dueños con el paisaje. Con un presupuesto máximo de \$15,000, se usaron recursos locales: 900 bambúes y 8 troncos de laurel extraídos y curados in situ con la ayuda de la familia, que también aprendió técnicas constructivas (Mora, 2014).

Elevada para ventilación y protección contra inundaciones, la casa combina arquitectura vernácula y contemporánea. Tiene 3 habitaciones, áreas sociales y de servicio conectadas por un espacio intermedio abierto al entorno, con hamacas y jardines que integran vegetación (Mora, 2014).

Una cocina exterior mantiene la tradición de cocinar con leña y reduce el impacto del humo. La habitación de la abuela incluye una terraza con vistas al bambú cercano. Las ventanas y puertas abatibles permiten configuraciones flexibles según privacidad y conexión con el exterior, creando un espacio adaptable y dinámico (Mora, 2014).

2.2.7. Contexto histórico de la Revolución Industrial



Figura 11: Revolución Industrial

Fuente y elaboración: Mokyr, 1999

La revolución industrial, que comenzó en la segunda mitad del siglo XVIII en Gran Bretaña, marcó un cambio radical en la producción, el transporte y el consumo de energía (véase Figura 11). Este período estuvo caracterizado por el paso de una economía basada en la agricultura y la artesanía a una centrada en la fabricación y el uso de maquinaria. Este cambio fue impulsado por avances tecnológicos, especialmente el desarrollo de la máquina de vapor, diseñada inicialmente por Thomas Newcomen y perfeccionada por James Watt en 1769. La máquina de vapor fue una innovación revolucionaria que transformó la industria, permitiendo a las fábricas y minas operar de forma más eficiente al aprovechar la energía del carbón (Mokyr, 1999) (véase Figura 12).

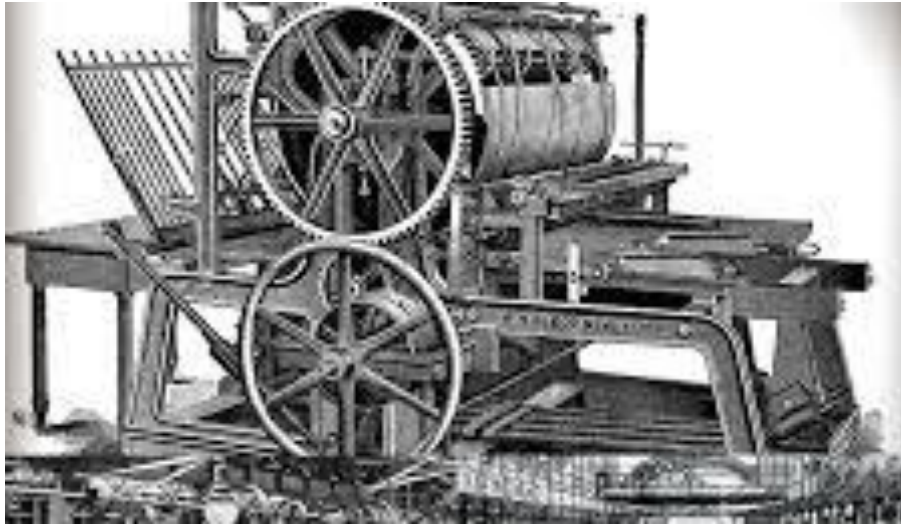


Figura 12: Máquina de vapor

Fuente y elaboración: Mokyr, 1999

A medida que la industria crecía, la demanda de recursos energéticos, particularmente del carbón, aumentaba considerablemente. Este combustible fósil, abundante y barato en ese momento, se convirtió en la principal fuente de energía para los nuevos sistemas de producción y transporte, como los ferrocarriles y barcos de vapor. Este auge en el uso del carbón fue una de las primeras grandes fuentes de emisiones de dióxido de carbono a nivel mundial, representando un punto de inflexión en la relación entre la humanidad y el medio ambiente. La dependencia del carbón y, posteriormente, del petróleo y el gas, inició un camino de consumo intensivo de energía que caracteriza al mundo moderno (Simmons, 2011). Además del desarrollo de la maquinaria, la Revolución Industrial promovió el crecimiento de las ciudades y el aumento de la producción en masa. La urbanización y la expansión de las fábricas trajeron consigo un cambio demográfico y un incremento en la demanda de bienes, lo cual intensificó la extracción de recursos naturales y la emisión de gases de efecto invernadero. Este período sentó las bases para las emisiones de carbono a gran escala, que hasta hoy en día constituyen el núcleo de la huella de carbono global (Stearns, 2013).

2.2.8. Uso de combustibles fósiles

El carbón fue el primer combustible fósil que se utilizó a gran escala durante la Revolución Industrial. En el siglo XVIII, el carbón se empleaba inicialmente para la producción de hierro, calefacción y posteriormente para alimentar las máquinas de vapor. Su bajo costo y abundancia en países como Gran Bretaña lo convirtieron en el recurso energético principal. El carbón no solo impulsó la industria pesada, sino que también impulsó el crecimiento del sistema ferroviario y naval, elementos fundamentales para la expansión económica de la época. Sin embargo, el uso masivo de carbón inició un proceso de emisiones de dióxido de carbono que, aunque no era comprendido en su totalidad en ese momento, comenzó a impactar la atmósfera y a sentar las bases de la actual crisis climática (Smil, 2017).



Figura 13: Extracción del petróleo

Fuente y elaboración: Yergin, 1991

El uso del petróleo comenzó a desarrollarse en la segunda mitad del siglo XIX, especialmente tras el descubrimiento de yacimientos en Pensilvania, Estados Unidos, en 1859. El petróleo se convirtió en una alternativa al carbón debido a su mayor densidad energética y facilidad de transporte. (véase Figura 13). A principios del siglo XX, el petróleo comenzó a reemplazar al carbón en diversas aplicaciones, desde la calefacción y la generación de electricidad hasta la alimentación de motores de combustión interna en automóviles y aviones. La transición hacia el petróleo impulsó la expansión del transporte a motor y la industria automotriz, y, en consecuencia, las emisiones de dióxido de carbono se incrementaron a nivel global (Yergin, 1991).

En la segunda mitad del siglo XX, el gas natural emergió como otro combustible fósil clave. Este recurso es más limpio en términos de emisiones de carbono en comparación con el carbón y el petróleo, lo cual lo convirtió en una opción atractiva para la generación de electricidad y calefacción en hogares e industrias. Sin embargo, aunque el gas natural produce menores emisiones de dióxido de carbono, su extracción y transporte implican fugas de metano, un gas de efecto invernadero aún más potente que el CO₂. Esta expansión del gas natural contribuyó al aumento de los GEI y fortaleció la dependencia global de los combustibles fósiles, agravando la problemática de la huella de carbono (Sovacool, 2014).

2.2.9. Urbanizaciones y cambios de vida.

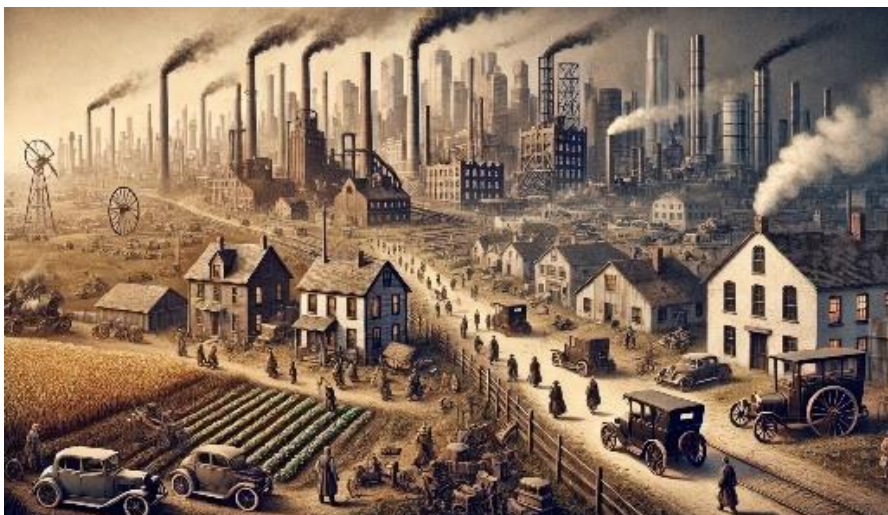


Figura 14. Vida industrial

Fuente y elaboración: Pacione, 2009.

Con la industrialización, se produjo una gran migración de las zonas rurales a las urbanas en busca de empleo en fábricas y otras industrias emergentes. Este fenómeno de urbanización fue especialmente significativo en Europa y América del Norte durante el siglo XIX, y más adelante se extendió a otras regiones. La urbanización trajo consigo un incremento en la demanda de infraestructura, servicios públicos y recursos naturales. Las ciudades, que se convirtieron en centros de consumo energético, comenzaron a emitir mayores cantidades de gases de efecto invernadero debido al uso intensivo de combustibles fósiles en el transporte, la construcción y la industria. Este proceso de urbanización acelerada aumentó considerablemente la huella de carbono de las ciudades, que hoy representan una proporción significativa de las emisiones globales (Pacione, 2009).

La industrialización y urbanización también generaron cambios en los hábitos de consumo de la población. Con el acceso a empleos asalariados en entornos urbanos, las personas comenzaron a tener mayor capacidad de consumo y adoptaron estilos de vida centrados en el uso de productos industriales y bienes de consumo masivo. La aparición de productos manufacturados, junto con la publicidad y la cultura de consumo, impulsaron el deseo de adquirir bienes no esenciales, lo cual aumentó la demanda de materias primas y energía. Este consumo acelerado contribuyó a un modelo de producción lineal que genera emisiones y residuos significativos, afectando tanto el medio ambiente como el clima. (Stearns, 2013).

2.2.10. Transformación de la arquitectura y las construcciones

Durante la Revolución Industrial, la demanda de hierro y acero se incrementó drásticamente, ya que estos materiales se convirtieron en la base de nuevas construcciones industriales y urbanas. A mediados del siglo XIX, la producción de hierro en Gran Bretaña alcanzó alrededor de 2 millones de toneladas anuales, cifra que se duplicó en unas pocas décadas debido a la expansión de fábricas,

ferrocarriles y puentes. El uso del acero también se disparó hacia finales del siglo XIX, impulsado por la invención del proceso Bessemer en 1856, que permitía producir acero de manera más rápida y económica. Para 1870, la producción global de acero superaba las 500,000 toneladas, una cifra que creció a más de 28 millones de toneladas en 1900, evidenciando la escala y la dependencia de la construcción en estos materiales (Smil, 2016).

La introducción del cemento Portland en 1824 también representó una innovación significativa en la industria de la construcción. Este nuevo tipo de cemento permitió la construcción de edificios más duraderos y sólidos, acelerando la urbanización. Para 1900, la producción global de cemento alcanzaba ya varios millones de toneladas anuales, con un aumento particularmente rápido en países en proceso de industrialización como Estados Unidos y Alemania. El uso intensivo de cemento y acero no solo reflejaba el crecimiento de la infraestructura urbana, sino que también inició el camino hacia un impacto ambiental notable, debido a las emisiones derivadas de la producción de estos materiales (Giedion, 1967).

La expansión de la infraestructura urbana e industrial en el siglo XIX transformó el paisaje urbano de Europa y América del Norte. En Reino Unido, por ejemplo, se construyeron aproximadamente 15,000 kilómetros de vías férreas entre 1830 y 1850, facilitando el transporte de mercancías y personas y estableciendo un modelo de urbanización centrada en el transporte. Esta expansión ferroviaria no solo requería grandes cantidades de acero (aproximadamente 2,500 toneladas de acero por kilómetro de vía férrea), sino también una infraestructura logística compleja y el consumo masivo de carbón como combustible para los trenes (Freeman y Louçã, 2002). Además de los ferrocarriles, se desarrollaron redes de alcantarillado y sistemas de agua potable para satisfacer las necesidades de las crecientes poblaciones urbanas. En ciudades como Londres, París y Nueva York, se construyeron sistemas de alcantarillado que alcanzaban decenas de kilómetros. El sistema de alcantarillado de Londres, construido en la segunda mitad del siglo XIX, implicó el uso de más de 300 millones de ladrillos y una inversión de aproximadamente 6 millones de libras esterlinas de la época, reflejando el inmenso esfuerzo y la cantidad de recursos invertidos en esta infraestructura vital (Halliday, 2001).

2.2.11. Llegada de la revolución industrial a América Latina

a. Transformación de la arquitectura y construcción en América Latina

La importación de materiales como hierro, acero y cemento se convirtió en la base del desarrollo arquitectónico e industrial de América Latina en el siglo XIX. Por ejemplo, entre 1850 y 1900, Argentina importó más de 300,000 toneladas de hierro y acero de Inglaterra, utilizadas principalmente en la construcción de ferrocarriles, puentes y edificios públicos (Baer, 1972). En Brasil, la llegada de cemento Portland revolucionó la construcción, permitiendo la edificación de estructuras más sólidas y duraderas, como el Viaduto do Chá en São Paulo, completado en 1892 (Tavares, 2001). Sin embargo, esta dependencia de materiales importados generó una marcada desigualdad en la distribución de recursos. Mientras que las capitales y centros comerciales como Buenos Aires, Lima y Río de Janeiro experimentaron un auge constructivo, las áreas rurales

continuaron utilizando materiales tradicionales como adobe y madera. Esto perpetuó un contraste arquitectónico y tecnológico que se mantiene hasta la actualidad.

Por otro lado, las técnicas industriales como el uso de estructuras de hierro prefabricadas y sistemas de construcción modular introdujeron un enfoque más eficiente en el diseño arquitectónico. En Chile, el Palacio de la Moneda fue parcialmente modernizado con técnicas europeas, utilizando hierro para refuerzos estructurales y techos de vidrio para mejorar la iluminación interna (Soto, 1999).

La interacción entre lo industrial y lo tradicional en América Latina produjo una arquitectura única. En países como México, la ornamentación tradicional, como los motivos barrocos y los azulejos pintados a mano, se integraron con tecnologías modernas como el hierro forjado y el vidrio. Este sincretismo es evidente en edificios emblemáticos como el Teatro Juárez en Guanajuato, cuya construcción en 1903 combinó columnas de estilo corintio con un techo de hierro diseñado en Europa (Noriega, 1995).

En otros casos, los materiales importados fueron adaptados para reflejar sensibilidades locales. Por ejemplo, en el Caribe, las casas de estilo victoriano importadas desde Inglaterra incorporaron techos inclinados de zinc y balcones de madera tallada, ajustándose a las condiciones climáticas y culturales de la región (Scarpaci, 2005). Este enfoque híbrido no solo preservó tradiciones arquitectónicas, sino que también permitió una transición gradual hacia la modernidad.

En el ámbito urbano, la modernización de sistemas de agua potable y alcantarillado transformó ciudades como Montevideo y Buenos Aires, mejorando significativamente las condiciones de vida. El sistema de cloacas de Buenos Aires, completado en 1894, utilizó más de 500 kilómetros de tuberías de hierro fundido importadas de Alemania, marcando un hito en la ingeniería urbana de la región (Gootenberg, 1990). Por otro lado, la construcción de edificios industriales, como fábricas textiles y refinerías de azúcar, impulsó el desarrollo económico local. Estas instalaciones, muchas veces diseñadas por ingenieros europeos, integraron estructuras de hierro y ladrillo mecanizado, como se observó en las plantaciones de caña de azúcar de Cuba y las minas de plata de Bolivia (Galeano, 1971).

b. Legado hacia la Arquitectura Moderna

La Arquitectura Moderna en América Latina adoptó con rapidez los materiales y técnicas derivados de la Revolución Industrial. Uno de los cambios más significativos fue la introducción del concreto armado, que permitió construir estructuras más resistentes y flexibles. En Brasil, Oscar Niemeyer utilizó este material para crear diseños curvilíneos icónicos, como los de la ciudad de Brasilia, inaugurada en 1960, demostrando el potencial expresivo del concreto (Segre, 2005).

El acero, por su parte, revolucionó la construcción de edificios altos y puentes. En Argentina, la construcción del Puente Nicolás Avellaneda (1939) utilizó grandes cantidades de acero importado para conectar áreas urbanas, simbolizando el progreso industrial del país. Este enfoque se replicó en otros proyectos emblemáticos, como el Palacio de Bellas Artes en México, que combinó acero

estructural con mármol local, evidenciando la fusión entre tradición e innovación tecnológica (Gutiérrez, 2012). Además, materiales prefabricados y modulares comenzaron a ser utilizados para reducir tiempos de construcción y costos. Durante las décadas de 1950 y 1960, las viviendas sociales en ciudades como Lima y Caracas se construyeron utilizando paneles de concreto prefabricado, un método eficiente pero que a menudo carecía de personalización y adaptación al entorno local (Hardoy, 1984).

Hoy en día, la arquitectura en América Latina enfrenta el reto de equilibrar la modernización con la sostenibilidad y la preservación del patrimonio cultural. Uno de los principales desafíos es la alta dependencia del concreto, cuya producción genera hasta el 8% de las emisiones globales de CO₂ (Chávez y Torres, 2020). Este problema se agrava en áreas urbanas de rápido crecimiento, donde el concreto sigue siendo el material predominante debido a su bajo costo y disponibilidad.

La integración de materiales sostenibles como bambú, madera certificada y adobe modificado ha ganado relevancia en algunos proyectos contemporáneos. En Colombia, por ejemplo, el arquitecto Simón Vélez ha promovido el uso del bambú como un material estructural renovable y de bajo impacto ambiental, aplicándolo en proyectos como el Pabellón ZERI para la Expo Hannover 2000 (Cruz, 2015). Sin embargo, estas iniciativas aún son limitadas frente a la escala de las necesidades urbanas. Por otro lado, el deterioro de estructuras modernistas plantea problemas significativos. Muchas de estas edificaciones, construidas durante el auge industrial, carecen de sistemas adecuados para enfrentar condiciones climáticas extremas y envejecen rápidamente. En ciudades como São Paulo y Ciudad de México, el mantenimiento insuficiente y la falta de regulación sobre materiales reciclables dificultan la restauración y conservación de estos edificios (UNESCO, 2013).

2.2.12. Avances tecnológicos en la construcción

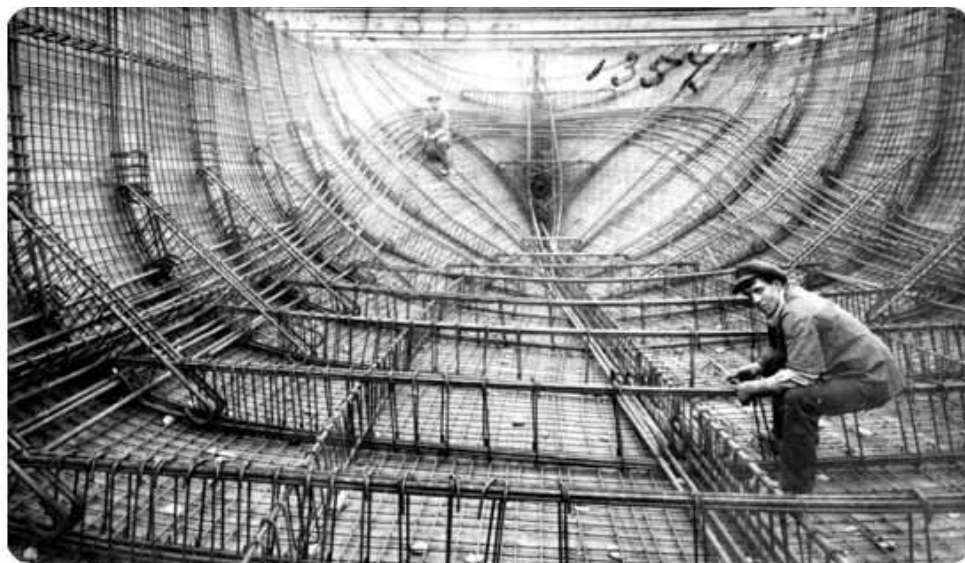


Figura 15. El origen del hormigón

Fuente y elaboración: Scrivener, 2014

El hormigón armado emergió como uno de los materiales más influyentes del siglo XX, combinando la resistencia del concreto con la ductilidad del acero. (véase Figura 15). Esta innovación permitió la construcción de puentes colosales, presas hidráulicas, estadios y rascacielos, representando una revolución en términos de alcance estructural y durabilidad. Sin embargo, su desarrollo trajo consigo impactos ambientales significativos, particularmente por la producción del cemento —su componente esencial—, que requiere temperaturas superiores a 1,400 °C y procesos industriales que liberan grandes cantidades de dióxido de carbono. Hacia 1950, la producción mundial de cemento ya superaba los 500 millones de toneladas anuales, generando aproximadamente el 5% de las emisiones globales de CO₂ en ese entonces (Scrivener, 2014).

Paralelamente, el avance en la fabricación del vidrio, especialmente con la invención del vidrio flotado en la década de 1950, permitió el diseño de fachadas ligeras, translúcidas y estéticamente modernas. Este material redefinió la arquitectura contemporánea, aunque a costa de elevados consumos energéticos. La producción de vidrio industrial, al igual que la del cemento, implicaba la fundición de sílice a altas temperaturas, resultando en un proceso intensivo en combustibles fósiles y generador de emisiones contaminantes.

El acero se consolidó como un símbolo del poderío estructural moderno, posibilitando edificaciones esbeltas y de gran altura. Su resistencia a la tracción, rapidez de montaje y versatilidad lo convirtieron en un elemento indispensable en las construcciones del siglo XX. Obras emblemáticas como el Empire State Building (1931) en Nueva York o la Torre Eiffel (1889) en París, aunque construida en el siglo XIX, marcaron el inicio de una era en la que la arquitectura vertical tomó protagonismo. No obstante, la producción de acero presenta una de las mayores huellas ambientales del sector constructivo. Este proceso requiere altas temperaturas en hornos de fundición y utiliza grandes cantidades de carbón y electricidad, generando niveles elevados de CO₂. Hacia 1970, las emisiones derivadas de la industria siderúrgica alcanzaban 2.5 gigatoneladas anuales, representando cerca del 10% de las emisiones industriales globales (World Steel Association, 2020).

El crecimiento urbano acelerado y las demandas de la modernidad impulsaron una producción masiva de materiales como el hormigón, el vidrio y el acero, favoreciendo la expansión de las ciudades, la creación de infraestructura vial y el auge de los edificios multifuncionales. Esta transformación, sin embargo, implicó una extracción intensiva de recursos naturales, deforestación, contaminación y una marcada dependencia de combustibles fósiles.

Un ejemplo claro de esta expansión se observa en el caso del cemento: si en 1900 la producción mundial era de apenas 10 millones de toneladas anuales, para 1990 esta cifra había superado los 1,500 millones de toneladas, con un impacto notable en el incremento de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (IPCC, 2006). A pesar de los avances tecnológicos, la industria de la construcción se convirtió en uno de los principales sectores responsables de la crisis climática actual, dando paso a la urgente necesidad de repensar los materiales y técnicas constructivas desde una perspectiva sostenible.

2.3. Datos sobre emisiones

Uno de los principales emisores de CO₂ en la industria de la construcción es el cemento, un componente esencial del hormigón armado. Su proceso de fabricación, particularmente la calcinación del carbonato de calcio, libera grandes cantidades de dióxido de carbono. Para finales del siglo XX, la producción de cemento representaba entre el 7% y el 8% de las emisiones globales de CO₂, evidenciando el peso que este material ha tenido en la huella ambiental del sector (Andrew, 2018). Además, el uso intensivo de maquinaria pesada en la extracción, transformación y colocación de materiales acentuó el consumo de combustibles fósiles. La expansión del comercio global y la creciente interdependencia económica hicieron que el transporte internacional de materiales también se convirtiera en una fuente significativa de emisiones. Por ejemplo, el envío de acero desde Asia a Europa puede generar alrededor de 1 tonelada de CO₂ por cada 100 toneladas transportadas, solo en el proceso logístico (UNEP, 2021).

La urbanización acelerada fue uno de los factores determinantes en la expansión de la industria de la construcción. Entre 1950 y 2000, la proporción de población urbana en el mundo aumentó del 30% al 47%, lo cual incrementó de manera exponencial la demanda de viviendas, carreteras, escuelas, hospitales e infraestructura básica (UN-Habitat, 2001). Esta presión sobre los centros urbanos y sus periferias modificó profundamente los métodos de edificación.

En este contexto, los hábitos constructivos tradicionales, basados en técnicas locales y materiales de bajo impacto ambiental, fueron reemplazados por métodos industriales que priorizaban la velocidad y la estandarización. Un ejemplo emblemático fue el auge de los suburbios estadounidenses en la posguerra (1945–1960), donde se promovió la construcción masiva de viviendas mediante el uso de elementos prefabricados de hormigón. Estas prácticas permitieron reducir los tiempos y costos de obra, pero al mismo tiempo incrementaron el uso de materiales de alta huella de carbono (Krausmann et al., 2017).

La conjunción de estos factores industrialización de materiales, uso intensivo de energía y urbanización acelerada consolidó un modelo constructivo altamente contaminante, cuya huella de carbono continúa siendo un reto central en la búsqueda de soluciones sostenibles para las ciudades del siglo XXI.

2.4. Estrategias para reducir la huella de carbono en la construcción

Frente al alarmante impacto ambiental del sector de la construcción, que contribuye con aproximadamente el 40% de las emisiones globales de carbono (Global Alliance for Buildings and Construction, 2022), es imperativo adoptar soluciones efectivas y estrategias innovadoras que permitan mitigar este efecto. La huella de carbono no solo se genera durante el proceso de edificación, sino que se extiende a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio, desde la extracción de materias primas, la fabricación de materiales, el transporte, la operación, el mantenimiento y, finalmente, la demolición.

Este desafío ambiental representa también una oportunidad de transformación hacia modelos constructivos más sostenibles, resilientes y eficientes, alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Según el informe del IPCC (2023), si se adoptan tecnologías existentes y prácticas sostenibles a gran escala, el sector de la construcción podría reducir sus emisiones hasta en un 80% para el año 2050. Para ello, es clave una transición que involucre tanto políticas públicas, innovación tecnológica como cambios en la cultura constructiva global.

En este contexto, la innovación tecnológica ha empezado a marcar un camino hacia edificaciones con menor huella ambiental. Por ejemplo, la implementación de sistemas pasivos como la ventilación natural, el aprovechamiento solar o el aislamiento térmico con materiales naturales permite reducir el consumo energético hasta en un 70% en climas templados (IEA, 2021). Asimismo, la construcción modular con prefabricados de bajo impacto ambiental ha demostrado ser una alternativa eficaz, capaz de disminuir las emisiones de CO₂ en un 45% respecto a sistemas convencionales (Chastas et al., 2016).

La elección de materiales también desempeña un papel determinante. El cemento, uno de los mayores emisores de dióxido de carbono, puede ser sustituido parcial o totalmente por compuestos como la ceniza volante o la escoria de alto horno, logrando reducciones de entre el 30% y el 50% en la huella de carbono del concreto (Andrew, 2018). De igual manera, el uso de madera estructural proveniente de fuentes sostenibles ha ganado protagonismo, no solo por su bajo impacto, sino por su capacidad de almacenar hasta una tonelada de CO₂ por metro cúbico (FAO, 2020), convirtiéndola en un material activo en la lucha contra el cambio climático.

Paralelamente, el enfoque basado en el ciclo de vida de los edificios cobra cada vez más importancia. Este análisis permite evaluar las emisiones en todas las fases del proyecto, desde la concepción hasta la demolición, e identificar oportunidades para optimizar procesos, reutilizar componentes y minimizar residuos. Bajo esta lógica, la economía circular se presenta como una estrategia potente: el reciclaje de residuos de demolición, por ejemplo, ha permitido reducir hasta un 25% del uso de materiales vírgenes en proyectos urbanos contemporáneos (Ellen MacArthur Foundation, 2021), fomentando un modelo constructivo regenerativo.

2.4.1. Protagonismo de Europa

Europa ha demostrado un liderazgo sólido en la transformación sostenible del sector constructivo, tanto en términos regulatorios como tecnológicos. El Pacto Verde Europeo, lanzado en 2019, establece como meta lograr la neutralidad climática para 2050, impulsando reformas profundas en la industria de la construcción mediante estándares obligatorios de eficiencia energética, materiales reciclables y reducción de emisiones de carbono.



Figura 16: Empresa reguladora de emisiones de carbono

Fuente y elaboración: Swedish Green Building Council, 2021

Un ejemplo paradigmático es Suecia, donde el estándar Miljöbyggnad regula aspectos como energía, materiales y calidad del aire interior, promoviendo edificaciones con bajas emisiones de carbono. Como resultado, más del 85% de los nuevos edificios suecos cumplen con niveles altos de eficiencia energética y materiales renovables (Swedish Green Building Council, 2021).

Alemania también ha implementado políticas contundentes a través del programa KfW Energy-efficient Construction, que financia proyectos residenciales y comerciales que reduzcan el consumo energético en más de un 40% respecto a los estándares mínimos. Este incentivo ha permitido la edificación de más de 5 millones de metros cuadrados certificados solo en 2020 (European Commission, 2021). Por otro lado, Francia ha introducido la reglamentación RE2020, que exige la medición de la huella de carbono de los nuevos edificios desde su fase de diseño, lo cual ha motivado la investigación de materiales alternativos como el hormigón bajo en carbono, la madera estructural y los biomateriales.

2.5. Normas y regulaciones internacionales

2.5.1. Acuerdos globales y su impacto en la construcción

A medida que la crisis climática se ha convertido en una preocupación global urgente, la comunidad internacional ha establecido una serie de acuerdos y marcos regulatorios con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Estos acuerdos, aunque abordan múltiples sectores, han tenido un impacto significativo y creciente en la industria de la construcción, debido a su alto nivel de emisiones y a su papel central en el desarrollo urbano y económico mundial.

Uno de los primeros hitos fue el Protocolo de Kioto, adoptado en 1997, que impuso compromisos vinculantes a los países industrializados para reducir sus emisiones. Si bien el protocolo no se enfocaba específicamente en el sector de la construcción, sí sentó las bases para el desarrollo de tecnologías limpias y promovió el uso de energías renovables, factores que posteriormente influirían directamente en las estrategias de diseño y edificación sostenible (UNFCCC, 1997). La necesidad de cumplir con las metas del Protocolo incentivó la búsqueda de

sistemas constructivos más eficientes y el desarrollo de normativas locales para reducir el consumo energético en edificaciones.

El Acuerdo de París, firmado en 2015 por 196 países, consolidó este compromiso al establecer como meta mantener el aumento de la temperatura global por debajo de los 2°C con respecto a niveles preindustriales, y preferiblemente limitarlo a 1.5°C (IPCC, 2018). En este marco, el sector de la construcción se identificó como un pilar estratégico, ya que representa cerca del 40% del consumo de energía y más del 36% de las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía a nivel mundial (IEA y UNEP, 2020). Para alcanzar los objetivos del acuerdo, los países han desarrollado planes nacionales que incluyen acciones concretas para transformar el entorno construido, como la implementación de códigos de eficiencia energética, incentivos para construcciones de cero emisiones y normativas para el uso de materiales de bajo impacto ambiental.

En paralelo, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, adoptados también en 2015, han reforzado la relación entre sostenibilidad y construcción. En particular, el ODS 11, "Ciudades y Comunidades Sostenibles", promueve el acceso universal a viviendas seguras, accesibles y sostenibles, así como una planificación urbana inclusiva y resiliente. Esto ha estimulado la integración de criterios ambientales y sociales en el diseño arquitectónico, fomentando modelos de urbanismo más equilibrados (UN, 2015). De igual forma, el ODS 13, "Acción por el Clima", exige una respuesta inmediata para reducir las emisiones de carbono, lo que ha incentivado la adopción de soluciones basadas en la naturaleza, estrategias de adaptación al cambio climático y una transformación profunda en las prácticas constructivas.

Como resultado de estos compromisos globales, diversos países han adoptado políticas ambiciosas. Por ejemplo, la Unión Europea, bajo su Pacto Verde Europeo, exige que todas las nuevas construcciones sean de cero emisiones a partir de 2030, y que se renueve al menos el 3% del parque edificado anualmente para mejorar su eficiencia energética (European Commission, 2021). En países como Francia y Alemania, estos acuerdos han impulsado reformas legislativas para que los materiales utilizados en la construcción tengan un menor impacto ambiental, privilegiando la reutilización y el reciclaje.

La influencia de estos acuerdos no se limita a las políticas públicas; también ha transformado el mercado y el comportamiento de los actores privados. La certificación de edificios sostenibles, como LEED, BREEAM o EDGE, ha crecido exponencialmente en los últimos años, respondiendo tanto a regulaciones como a la demanda de usuarios más conscientes. Se estima que los edificios con certificación ambiental pueden reducir en promedio un 30% el consumo de energía y un 50% las emisiones de CO₂ durante su operación (USGBC, 2022).

2.5.2. Normas específicas

ISO 14040: Análisis del ciclo de vida (LCA). Esta herramienta metodológica evalúa los impactos ambientales de un producto o proceso desde su origen (extracción de materias primas) hasta su fin de vida (disposición final o reciclaje). En el ámbito de la construcción, el LCA permite

identificar cuáles etapas generan mayores emisiones de carbono, ayudando a los diseñadores a elegir materiales con menor impacto o a optimizar procesos constructivos. Según la International Organization for Standardization (ISO, 2006).

ISO 21930: Declaraciones ambientales de producto (EPD). Las EPD son documentos verificables que comunican el desempeño ambiental de un producto basándose en un análisis del ciclo de vida. Esto permite a arquitectos, ingenieros y constructores comparar diferentes materiales en términos de emisiones, consumo energético, uso de recursos, y generación de residuos, entre otros parámetros. Esta norma ha sido clave para introducir transparencia en la cadena de suministro y fomentar una competencia más ecológica entre fabricantes (ISO, 2017).

ISO 14025: Regulador de las (EDP). Regula específicamente las EPD de tipo III, es decir, aquellas que son cuantificables, verificadas por terceros y comparables. Esta certificación ha sido ampliamente adoptada por fabricantes de productos de construcción como hormigón, acero, vidrio o cerámicas, especialmente en proyectos que buscan certificaciones ambientales como LEED o BREEAM (ISO, 2006).

ISO 20887: Reutilización y reciclaje de materiales. Fomentan la economía circular dentro del sector. Esta norma propone estrategias para facilitar la recuperación de materiales al final de la vida útil de un edificio, promoviendo así prácticas de construcción reversibles y minimizando la generación de residuos (ISO, 2020).

2.5.3. Sistemas de certificación

a. LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*)

LEED, desarrollado por el U.S. Green Building Council (USGBC), es uno de los sistemas de certificación más difundidos en el mundo. Su objetivo es promover edificaciones sostenibles desde la planificación hasta la operación, evaluando aspectos como el diseño energético, el uso eficiente del agua, la selección de materiales, la gestión de residuos y la calidad del ambiente interior (USGBC, 2022).

LEED clasifica los proyectos en diferentes niveles (Certificado, Plata, Oro y Platino), según la puntuación obtenida en categorías específicas. Esta metodología ha demostrado tener un impacto significativo en la reducción de emisiones. De acuerdo con estudios del USGBC, los edificios certificados LEED presentan entre un 25% y un 50% menos emisiones de CO₂ en comparación con construcciones tradicionales, gracias al uso de fuentes de energía renovable, aislamiento eficiente y ventilación mejorada (USGBC, 2022).

b. BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*)

BREEAM fue desarrollado en el Reino Unido por el Building Research Establishment (BRE) en 1990, y se considera uno de los sistemas de certificación más antiguos y robustos del mundo. Evalúa el desempeño ambiental de los edificios en nueve categorías: gestión, salud y bienestar,

energía, transporte, agua, materiales, residuos, uso del suelo y ecología, e innovación (BRE Group, 2020).

Este sistema utiliza una escala de puntuación que otorga certificaciones como Pass, Good, Very Good, Excellent y Outstanding, dependiendo del cumplimiento de los criterios establecidos. A través de la implementación de buenas prácticas constructivas, selección de materiales responsables y eficiencia energética, BREEAM ha demostrado reducir considerablemente el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero durante todo el ciclo de vida del edificio. (BRE Group, 2020).

Datos del BRE menciona que, los edificios certificados con BREEAM pueden reducir la huella de carbono hasta en un 40%, especialmente cuando se adoptan medidas integradas desde las etapas iniciales de diseño y construcción (BRE Group, 2020). Este enfoque ha sido replicado en más de 70 países, lo que ha contribuido a su reconocimiento como un estándar global en sostenibilidad ambiental.

c. EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies)

EDGE es un sistema de certificación creado por la Corporación Financiera Internacional (IFC), miembro del Grupo del Banco Mundial, con el propósito de fomentar construcciones sostenibles, especialmente en países en desarrollo. Su enfoque está centrado en la eficiencia de recursos, permitiendo a arquitectos, promotores y gobiernos diseñar y construir edificios con un menor impacto ambiental y costos operativos reducidos (IFC, 2020).

A diferencia de otros sistemas más complejos, EDGE se destaca por su accesibilidad, facilidad de implementación y enfoque cuantitativo. Para obtener la certificación, un edificio debe demostrar al menos un 20% de ahorro en energía, agua y energía incorporada en materiales en comparación con una edificación base convencional (IFC, 2020). Esto lo convierte en una herramienta ideal para proyectos de vivienda social, edificios públicos y desarrollos urbanos que buscan alcanzar metas climáticas sin incurrir en altos costos adicionales.

En términos de huella de carbono, EDGE permite calcular de manera detallada el CO₂ evitado mediante simulaciones de eficiencia energética y reducción de consumo hídrico. Estudios del IFC muestran que un edificio certificado EDGE puede disminuir su huella de carbono operacional hasta en un 34% en zonas tropicales y hasta en un 50% si se integran energías renovables (IFC, 2021).

2.6. Materiales tradicionales mitigando la huella de carbono

2.6.1. Adobe

El adobe es un material constructivo milenario que ha sido utilizado por civilizaciones de distintas partes del mundo debido a su disponibilidad, bajo costo y adaptabilidad climática. Se compone principalmente de una mezcla de tierra arcillosa, agua y fibras naturales como la paja, y se seca al sol sin necesidad de cocción. Su uso ha prevalecido en regiones de climas secos, pero

también ha demostrado una notable eficiencia en zonas templadas o cálidas, debido a sus propiedades térmicas que permiten regular la temperatura interior de los espacios habitables.

Desde el punto de vista ambiental, el adobe presenta una de las huellas de carbono más bajas dentro del espectro de materiales de construcción. Esto se debe a que su proceso de fabricación no involucra hornos ni maquinaria pesada, lo cual evita la quema de combustibles fósiles. Tampoco requiere procesos industriales complejos, y puede ser producido localmente, minimizando las emisiones asociadas al transporte. De acuerdo con un estudio del Journal of Sustainable Building Technology (2021), las edificaciones de adobe generan hasta un 90% menos de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) durante su ciclo de vida en comparación con construcciones realizadas con hormigón. Asimismo, su alto rendimiento energético pasivo reduce la demanda de sistemas de climatización artificial, lo que representa un ahorro energético a lo largo de los años de uso del edificio. Esta eficiencia térmica se traduce en una menor dependencia de electricidad o combustibles para calentar o enfriar interiores, lo cual disminuye las emisiones indirectas de CO₂. Por estas razones, el adobe no solo representa una solución técnica viable para la construcción sostenible, sino que también actúa como un aliado directo en la lucha contra el cambio climático.

a. Proceso técnico del adobe

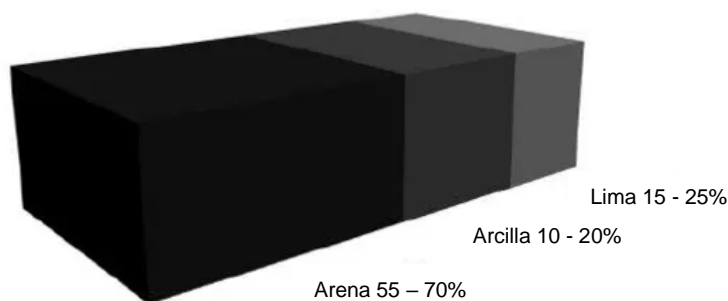


Figura 17: Composición del adobe

Fuente y elaboración: Houben y Guillaud, 1994

El proceso técnico del adobe parte de una metodología sustentada en la eficiencia energética y el aprovechamiento de recursos naturales locales. Su fabricación inicia con la selección del suelo, compuesto idealmente por una mezcla de entre 15 y 30% de arcilla y entre 70 y 85% de arena y limo, proporciones que aseguran la estabilidad estructural del bloque (Houben y Guillaud, 1994). (véase Figura 17). A esta tierra se le añade agua y fibras orgánicas como paja o estiércol seco, que actúan como refuerzo natural, evitando la formación de fisuras durante el secado y aumentando su resistencia a la compresión.

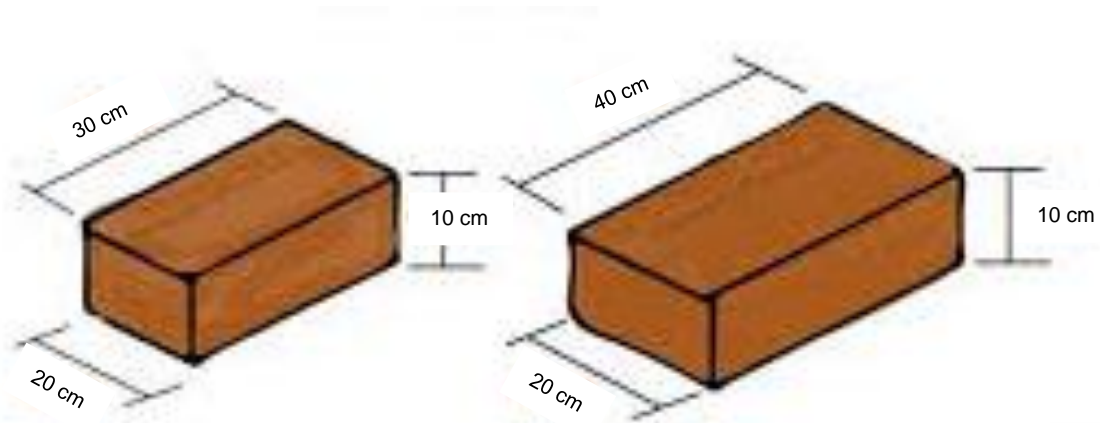


Figura 18: Tamaños y formatos del ladrillo

Fuente y elaboración: Minke, 2006

La mezcla se vierte en moldes de madera para formar bloques con dimensiones estandarizadas (usualmente 30 x 15 x 10 cm) y luego se deja secar al aire libre, sin uso de hornos ni combustibles fósiles. (véase Figura 18). Este proceso puede extenderse de una a tres semanas, dependiendo de las condiciones climáticas. El secado natural al sol representa uno de los aspectos clave que diferencian al adobe de otros materiales como el ladrillo cocido, ya que no genera emisiones significativas de dióxido de carbono durante su producción (Minke, 2006).

Un análisis realizado por González y García Navarro (2006) sobre la energía incorporada en materiales de construcción confirma que el adobe tiene una de las menores huellas de carbono del sector, con emisiones que pueden ser hasta 90% inferiores a las del hormigón tradicional. Asimismo, su proceso técnico descentralizado permite la producción in situ, eliminando costos y emisiones de transporte y promoviendo el desarrollo local con bajo impacto ambiental (Laurence, 2017).

b. Elaboración artesanal del adobe

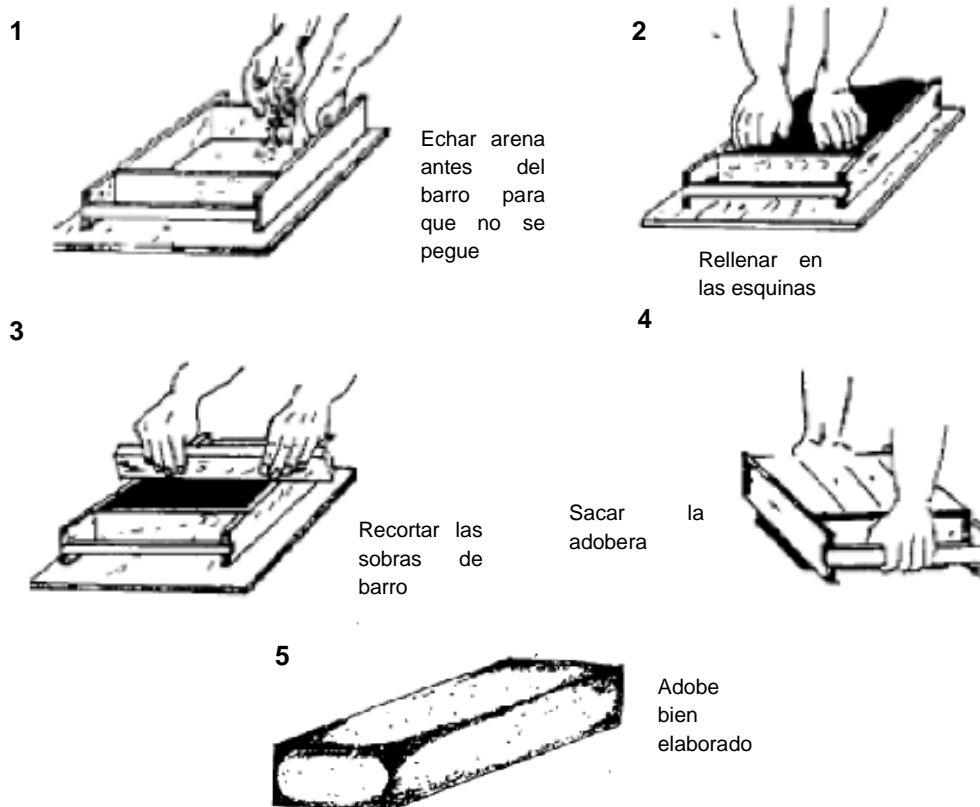


Figura 19: Proceso artesanal de la elaboración del adobe

Fuente y elaboración: Sierra y Burbano, 2015

La elaboración artesanal del adobe representa una práctica ancestral que integra conocimientos empíricos y técnicas sostenibles, adaptadas a las condiciones climáticas y culturales de cada región. (véase Figura 19). Esta tradición se ha mantenido vigente en múltiples comunidades rurales alrededor del mundo, especialmente en América Latina, donde la autoconstrucción sigue siendo una alternativa viable frente a los métodos industrializados (Sierra y Burbano, 2015).



Figura 20: Poza de mezcla

Fuente y elaboración: Minke, 2006

En este proceso, los habitantes del lugar identifican tierras con propiedades plásticas adecuadas basándose en su color, textura y reacción al agua. La mezcla se realiza manualmente,

muchas veces con los pies, combinando la tierra con agua y paja o fibras vegetales locales. (véase Figura 20). Esta preparación se vierte en moldes de madera reutilizables y se deja reposar en sombra parcial para evitar un secado brusco. Posteriormente, los bloques se exponen al sol durante varios días para asegurar un secado completo y homogéneo (Minke, 2006).

A diferencia de la fabricación industrial, esta técnica no requiere maquinaria pesada ni combustibles fósiles, lo que hace que el adobe artesanal tenga una huella de carbono casi nula (Zemella, 2018). Además, este método fomenta la economía circular, el empleo local y el rescate de saberes tradicionales, integrando aspectos sociales, culturales y ecológicos en la construcción. De acuerdo con Manzanal (2020), el adobe no solo es un material sustentable, sino también un medio para la autodeterminación de las comunidades frente a la urbanización descontrolada.

2.6.2. Piedra natural

La piedra natural es uno de los materiales más antiguos y duraderos utilizados en la historia de la construcción. Se extrae directamente de formaciones geológicas y, a diferencia de los materiales industrializados, no requiere procesos de transformación que generen grandes emisiones de dióxido de carbono. Su durabilidad, resistencia mecánica y bajo mantenimiento hacen que la piedra tenga un ciclo de vida prolongado, disminuyendo la necesidad de reemplazo frecuente de materiales (Ashurst, 1994).

Desde el punto de vista ambiental, la piedra natural posee una de las huellas de carbono más bajas del sector de la construcción. Natural Stone Council (2021) menciona que, las emisiones de CO₂ durante todo el ciclo de vida de la piedra extracción, procesamiento, transporte y uso pueden ser hasta un 80% menores en comparación con materiales como el hormigón o el acero, especialmente si se utiliza piedra de origen local. Además, al no requerir cocción ni procesos químicos, la energía incorporada en la piedra es significativamente baja (Pomponi y Moncaster, 2016).

a. Proceso técnico de la piedra natural

El proceso técnico de utilización de la piedra natural comienza con la identificación de canteras con formaciones geológicas adecuadas para la construcción, como granito, basalto, arenisca o caliza. La extracción se realiza mediante cortes mecánicos o perforación con tecnología de hilo diamantado, que minimiza el desperdicio de material y reduce la energía utilizada en comparación con explosivos o métodos invasivos (Luodes et al., 2012).

Una vez extraída, la piedra es transportada al taller para su procesamiento. En esta etapa se efectúan cortes, pulidos y acabados según el uso final, ya sea para muros de carga, pavimentos, revestimientos o detalles ornamentales. Los residuos de corte pueden reutilizarse como áridos o elementos decorativos, lo que aumenta la eficiencia del recurso (Brehm y Lindemann, 2017).

Es importante destacar que, si bien el transporte de la piedra puede aumentar su huella ambiental, esta puede mitigarse seleccionando fuentes cercanas al sitio de construcción. De

acuerdo con Gielen y Moriguchi (2002), cuando se prioriza el uso de piedra local, se reducen hasta un 60% las emisiones por logística, además de contribuir a la identidad arquitectónica del lugar.

b. Elaboración artesanal de la piedra natural

El trabajo artesanal de la piedra ha sido una práctica fundamental en la arquitectura vernácula y patrimonial. Canteros, escultores y albañiles han transmitido por generaciones técnicas de labrado manual que permiten tallar, dar forma y ensamblar bloques sin necesidad de maquinaria pesada. Estas técnicas se adaptan a las propiedades del material y a las necesidades estructurales y climáticas del entorno (Ashurst y Dimes, 1998).

En muchos contextos rurales o de restauración, la elaboración artesanal permite un aprovechamiento más eficiente de la piedra, reduciendo el desperdicio y promoviendo diseños más sensibles con el entorno. Herramientas como cinceles, punteros y mazos de hierro permiten un control preciso en el labrado, y técnicas como el aparejo a hueso o la colocación en seco reducen el uso de morteros con alta huella de carbono (Silliman, 2019). Además, la elaboración artesanal fomenta el empleo local, la conservación del patrimonio y la valorización del oficio, contribuyendo a un enfoque integral de sostenibilidad que combina impacto ambiental reducido con beneficios sociales y culturales. En palabras de Jones y Green (2016), “la piedra labrada a mano no solo construye espacios, sino que también transmite historia y arraigo territorial”.

2.6.3. Madera maciza

La madera maciza ha sido utilizada por siglos como un recurso esencial en la construcción, gracias a su disponibilidad, resistencia estructural y propiedades térmicas. Es un material natural, renovable y biodegradable, que además funciona como sumidero de carbono: durante su crecimiento, el árbol absorbe CO₂ de la atmósfera, lo que convierte a la madera en una aliada estratégica frente al cambio climático (Gustavsson et al., 2006).

En comparación con materiales como el acero o el hormigón, la madera maciza presenta una huella de carbono significativamente más baja. Según el Forestry Stewardship Council (FSC, 2021), un metro cúbico de madera puede almacenar hasta una tonelada de CO₂, y su utilización puede reducir en un 50% las emisiones de carbono en proyectos de construcción. Además, su ligereza reduce la carga estructural y el consumo energético en transporte e instalación (UNECE/FAO, 2010).

a. Proceso técnico de la madera maciza

El proceso técnico comienza con la selección y tala de árboles, preferentemente en bosques certificados bajo criterios de manejo forestal sostenible. Luego, los troncos se trasladan a aserraderos donde se les realiza el despiece en tablas, vigas u otros formatos, dependiendo del uso previsto. Posteriormente, la madera pasa por un proceso de secado, que puede ser natural (al aire libre) o técnico (en cámaras de secado), para reducir su contenido de humedad y evitar deformaciones o ataques biológicos (Zhou et al., 2018).

Después del secado, se llevan a cabo tratamientos de preservación con aceites naturales, calor o productos no tóxicos para aumentar su durabilidad. Finalmente, se realiza el acabado superficial con lijado, cepillado o aceitado, dependiendo del uso en obra. La trazabilidad del material es un aspecto importante en este proceso, ya que permite verificar su origen responsable y su eficiencia ecológica (González y García, 2006).

b. Elaboración artesanal de la madera maciza

El trabajo artesanal de la madera ha sido parte integral de las tradiciones constructivas de múltiples culturas. Carpinteros, ebanistas y constructores han desarrollado por generaciones técnicas manuales de unión, tallado y ensamble que no requieren procesos industriales contaminantes. En este enfoque, la madera es tratada con herramientas simples como sierras, formones y cepillos, respetando su veta y propiedades naturales (Greenwood, 2010).

Una técnica característica es la unión por ensambles como la espiga y la mortaja, que permite construir estructuras sin clavos ni pegamentos, reforzando la sostenibilidad del material. Además, la carpintería artesanal promueve el uso de maderas locales, lo que reduce la huella de carbono del transporte y favorece la economía circular en el ámbito rural (Mallo y Espinoza, 2015).

Desde un enfoque cultural, la madera trabajada artesanalmente conserva su dimensión simbólica y estética, integrando conocimientos ancestrales con soluciones ecológicas. Tal como afirma Mazet (2017), “la carpintería tradicional no solo preserva un oficio, sino también una manera de habitar el territorio con conciencia ambiental”.

2.6.4. Barro cocido (Ladrillo artesanal)

El ladrillo de barro cocido, también conocido como ladrillo artesanal, es uno de los materiales más antiguos y ampliamente utilizados en la historia de la construcción. Elaborado a partir de una mezcla de arcilla, agua y a veces paja, su cocción en hornos le otorga resistencia y durabilidad. Aunque su proceso involucra el uso de energía, en contextos comunitarios y a pequeña escala, el impacto ambiental puede ser significativamente menor que el de los procesos industrializados (Silva y Romero, 2017).

Desde una perspectiva de huella de carbono, la producción artesanal de ladrillos emite menos CO₂ si se realiza con hornos eficientes o alimentados por biomasa renovable. Según la Clay Brick Association (2022), los ladrillos cocidos artesanalmente pueden reducir hasta un 40% de las emisiones en comparación con los ladrillos industriales, dependiendo del tipo de horno y la fuente energética utilizada. Además, al tener una vida útil superior a 150 años, y ser reutilizables o reciclables, su impacto se diluye a lo largo del tiempo (UN-Habitat, 2020).

a. Proceso técnico del ladrillo cocido

El proceso técnico de elaboración del ladrillo cocido involucra varias etapas. Primero, se selecciona la arcilla con propiedades plásticas adecuadas. Esta se mezcla con agua y, en algunos casos, con agregados orgánicos como paja o aserrín, lo que mejora la cohesión del barro y ayuda

en el secado. Una vez obtenida la masa, se procede al moldeado, ya sea manualmente o con moldes de madera.

Luego, los ladrillos crudos se dejan secar al sol durante varios días, reduciendo así el consumo energético posterior. Una vez secos, se introducen en hornos, cuya temperatura puede alcanzar entre 800 y 1.000°C. Es en esta etapa donde se genera la mayor parte de las emisiones de CO₂. No obstante, investigaciones como la de Bhattacharjee et al. (2019) han demostrado que el uso de hornos tipo zigzag o de tiro vertical reduce las emisiones hasta en un 30% frente a los hornos tradicionales.

b. *Elaboración artesanal del ladrillo cocido*

La fabricación artesanal del ladrillo cocido mantiene una tradición constructiva ligada a saberes comunitarios y métodos empíricos. Generalmente se realiza en zonas rurales o periurbanas, donde las familias o pequeños productores extraen la arcilla local y realizan todo el proceso de forma manual. La mezcla de barro se pisa o amasa con los pies hasta lograr una textura homogénea. Luego se moldea con cajas de madera y se deja secar bajo el sol durante al menos una semana (López, 2015).

El horneado se hace en hornos de tierra o ladrillo que funcionan con leña, cáscaras secas, estiércol o residuos agrícolas. En muchos casos, se reaprovechan materiales orgánicos que de otro modo serían desechados, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles (Gutiérrez y Orduña, 2018). Esta forma de producción no solo reduce la huella ecológica, sino que fortalece las economías locales y promueve el uso de materiales de origen regional.

2.6.5. Tejas de arcilla

Las tejas de arcilla son elementos tradicionales ampliamente utilizados en cubiertas desde tiempos antiguos por su durabilidad, comportamiento térmico y estética natural. Elaboradas a partir de arcilla cocida, estas tejas representan una solución constructiva sostenible, especialmente cuando se producen de forma local y artesanal. La arcilla, al ser un recurso abundante y natural, permite minimizar el uso de materiales derivados del petróleo o del cemento (Fabbri y Goulart, 2016).

En cuanto a su huella de carbono, la producción de tejas de arcilla puede generar emisiones de CO₂ durante la cocción, pero en comparación con materiales compuestos como techos metálicos o de fibrocemento, el impacto es considerablemente menor. Roofing Materials Analysis (2021) menciona que, las tejas de arcilla emiten hasta un 50% menos de CO₂ en su ciclo de vida, gracias a su longevidad (superior a 100 años), su baja necesidad de mantenimiento y su capacidad de reciclaje al final de su vida útil. Además, su comportamiento térmico contribuye a la eficiencia energética de las edificaciones, reduciendo el uso de sistemas de climatización artificial. Las propiedades de inercia térmica de la arcilla permiten mantener temperaturas interiores más estables, lo que disminuye la demanda energética (Torres y Cordero, 2018).

a. Proceso técnico de las tejas de arcilla

El proceso técnico de elaboración de las tejas de arcilla comienza con la extracción y preparación de la materia prima. La arcilla se tamiza y mezcla con agua para obtener una pasta plástica. Posteriormente, se moldean las tejas utilizando moldes de madera o matrices metálicas, según el tipo de teja: canal, colonial, muslera, entre otras. Después del moldeado, las piezas se dejan secar durante varios días en condiciones naturales para eliminar la humedad (Alvarado, 2015).

El proceso culmina con la cocción en hornos, a temperaturas que oscilan entre 800°C y 1000°C. Es en esta etapa donde se consolidan las propiedades físicas y mecánicas del material, otorgándole resistencia al agua y al fuego. El uso de hornos eficientes o alimentados con biomasa puede reducir notablemente las emisiones de CO₂. Estudios recientes, como el de Romero y Pinto (2019), indican que el uso de hornos tipo túnel o de tiro controlado puede mejorar el rendimiento térmico y reducir el consumo energético hasta en un 35%.

b. Elaboración artesanal de tejas de arcilla

La fabricación artesanal de tejas de arcilla es una práctica común en comunidades rurales, especialmente en América Latina. Esta técnica mantiene viva una tradición constructiva que promueve la sostenibilidad y el empleo local. La arcilla se mezcla manualmente con agua y, en algunos casos, con fibras vegetales para mejorar la cohesión. Luego se moldea a mano o con herramientas simples sobre una superficie curva o convexa, como troncos o moldes de madera (Pacheco, 2016).

El secado se realiza al aire libre, generalmente bajo sombra o en estructuras protegidas del sol directo, para evitar grietas. Una vez secas, las tejas se cuecen en hornos construidos con ladrillo o barro. Estos hornos suelen alimentarse con leña, residuos agrícolas o estiércol seco. Aunque estas fuentes pueden generar emisiones, el impacto ambiental es menor si se gestionan de forma sostenible y se usan tecnologías mejoradas (García y Olmedo, 2020).

2.6.6. Cal hidráulica

La cal hidráulica es un material de construcción utilizado desde la antigüedad, compuesto principalmente por caliza cocida con presencia de arcillas u otros minerales silíceos, que le permiten fraguar en presencia de agua. A diferencia del cemento Portland, su producción requiere temperaturas más bajas (aproximadamente 900°C frente a los 1450°C del cemento), lo que implica una reducción significativa en las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) (Martínez y García, 2018). Además, la cal hidráulica tiene la capacidad de absorber parte del CO₂ emitido durante su fabricación a través de un proceso de carbonatación natural, lo que contribuye a reducir su impacto ambiental a lo largo del tiempo. Según datos de la European Lime Association (2021), el uso de cal hidráulica en lugar de cemento Portland puede reducir las emisiones de CO₂ entre un 20% y un 30% durante el ciclo de vida del material. Este atributo la convierte en una alternativa ideal para obras patrimoniales, restauraciones y edificaciones sostenibles, ya que es más compatible con materiales tradicionales y favorece la transpirabilidad de los muros (Alfaro y Utrilla, 2017).

a. Proceso técnico de la cal hidráulica

El proceso técnico de producción de cal hidráulica inicia con la extracción de piedra caliza con impurezas de arcilla. Este material se tritura y se somete a un proceso de calcinación en hornos verticales o rotatorios a temperaturas que oscilan entre 850°C y 950°C. Durante la calcinación, el carbonato de calcio (CaCO_3) se descompone en óxido de calcio (CaO) y dióxido de carbono (CO_2), generando la cal viva (Rodríguez et al., 2019).

La cal viva se apaga mediante la adición controlada de agua, lo que da lugar a una pasta o polvo de hidróxido de calcio, que en presencia de componentes silíceos y aluminatos presentes en la arcilla, confiere las propiedades hidráulicas al material. Este producto se deja madurar y se ensaca para su distribución y uso. La proporción de aditivos y el tiempo de cocción determinan la clasificación de la cal como natural hidráulica (NHL) o artificialmente hidráulica (HL), según la normativa europea EN 459-1 (Cano y Vázquez, 2016).

b. Elaboración artesanal de la cal hidráulica

En contextos rurales o de producción tradicional, la cal hidráulica se elabora en hornos de tipo artesanal conocidos como caleras. Estos hornos están contruidos con ladrillo, piedra o adobe, y funcionan mediante una combustión controlada con leña, residuos agrícolas o biomasa. La piedra caliza arcillosa se introduce en el horno en capas alternadas con el combustible, y se cuece durante varios días hasta alcanzar la temperatura necesaria para su calcinación (Maldonado, 2020).

Una vez cocida, la cal se apaga de manera manual con agua en tinas o pozas de decantación, generando una pasta que se deja reposar durante semanas o meses para alcanzar sus propiedades óptimas. Este método artesanal conserva los principios básicos del material y favorece una huella ecológica más baja cuando se usan recursos locales y combustibles renovables. Además, permite mantener vivas técnicas constructivas ancestrales y genera empleo en zonas rurales, fortaleciendo economías locales con un enfoque sostenible (López y Romero, 2021).

2.6.7.Paja

La paja es un material natural y renovable, proveniente de los residuos agrícolas del trigo, cebada, centeno u otros cereales. Tradicionalmente utilizada en la construcción rural, en especial para cubiertas y muros, hoy en día está siendo revalorizada como un recurso clave en la arquitectura sostenible. Su bajo impacto ambiental se debe a que no requiere procesos industriales para su producción, y su disponibilidad es amplia en zonas agrícolas (Chiras, 2011).

Uno de los principales beneficios de la paja es su capacidad de actuar como sumidero de carbono: durante el crecimiento del cereal, el CO_2 atmosférico es capturado por la planta y almacenado en el tallo. Cuando se utiliza en la construcción, este carbono queda retenido en el material, evitando su liberación a la atmósfera. Según el Institute for Straw Bale Construction (2022), una vivienda construida con paja puede emitir hasta un 60% menos de CO_2 en comparación con

una de ladrillo y mortero tradicional. Además, la paja tiene un excelente comportamiento térmico, reduciendo la necesidad de sistemas de climatización y, por tanto, el consumo energético.

a. Proceso técnico de construcción con paja

El proceso técnico moderno con paja se basa en la técnica de balas de paja estructurales o como relleno no estructural en marcos de madera. En ambos casos, las balas de paja deben estar bien compactadas, secas y libres de hongos para garantizar una construcción segura y duradera. Se seleccionan balas con dimensiones estandarizadas (aproximadamente 40 x 50 x 100 cm), y se almacenan bajo cubierta para evitar su deterioro por humedad (Jones et al., 2009).

En la construcción, las balas se colocan como bloques de mampostería, amarradas entre sí y sujetas mediante estacas de bambú, madera o alambre. Una vez terminado el montaje, las paredes se recubren con revocos naturales, como barro o cal, lo que mejora su protección contra el fuego, la humedad y los agentes externos. La resistencia térmica de un muro de paja puede alcanzar hasta R-35 (en sistema imperial), lo que supera ampliamente la de los muros convencionales (King, 2006).

b. Elaboración artesanal y construcción con paja

En contextos rurales y autoconstructivos, la elaboración artesanal con paja se realiza con herramientas manuales y técnicas tradicionales. Las balas se prensan con prensas mecánicas o manuales, utilizando los restos de la cosecha. Este método permite que pequeños agricultores aprovechen los residuos de sus cultivos y los conviertan en materiales de construcción de bajo costo y bajo impacto (Khalili y Tharanathan, 2015).

Las viviendas hechas con paja suelen utilizar estructuras de madera o caña guadúa como soporte. Las balas se ensamblan dentro del marco estructural, y luego se cubren con mezclas de barro, arcilla o cal, aplicadas manualmente con paleta o directamente con las manos. Esta técnica no solo es respetuosa con el medio ambiente, sino que también promueve la participación comunitaria y la transferencia de conocimientos ancestrales sobre construcción ecológica. En países como México, Bolivia y Ecuador, estas técnicas han sido adaptadas a condiciones climáticas locales con resultados exitosos en confort térmico y durabilidad (Velasco y Ordóñez, 2020).

2.7. Materiales nuevos e innovadores mitigando la huella de carbono

2.7.1. Hormigón de ultra alto desempeño (UHPC)

El Hormigón de Ultra Alto Desempeño (UHPC) representa una evolución significativa respecto al hormigón convencional, destacándose por su alta resistencia mecánica, durabilidad extrema y capacidad de autocompactación. Este material incorpora una matriz de cemento denso con fibras metálicas o sintéticas, lo que permite resistencias superiores a los 150 MPa y una vida útil cinco veces mayor en comparación con el concreto tradicional (American Concrete Institute, 2021).

Desde el punto de vista ambiental, el UHPC presenta una paradoja relevante. Aunque su fabricación requiere una mayor cantidad de clínker por metro cúbico —lo que implica una emisión de CO₂ mayor en su producción inicial— su extraordinaria durabilidad, impermeabilidad y capacidad para reducir el volumen de material estructural necesario compensan estas emisiones a lo largo del ciclo de vida del edificio. Estudios como los de Thomas y Mechtcherine (2020) revelan que, considerando una perspectiva de análisis de ciclo de vida (ACV), el UHPC puede reducir la huella de carbono total de una estructura entre un 25% y 40% debido a la disminución en reparaciones, mantenimiento y sustitución prematura.

a. Proceso técnico

La fabricación del UHPC difiere del hormigón convencional principalmente en la selección y proporción de sus componentes. El proceso técnico incluye:

- Uso de cementos de alta resistencia, generalmente con mayor contenido de clínker
- Incorporación de arena de sílice fina y microsílice, que aportan densidad y reducen la porosidad (Schmidt y Fehling, 2005)
- Adición de superplastificantes, que permiten una alta fluidez sin aumentar el contenido de agua
- Integración de fibras metálicas o sintéticas (como polipropileno o carbono), que mejoran el comportamiento dúctil del material (Schmidt y Fehling, 2005)
- Control preciso de la relación agua-cemento, usualmente inferior a 0.25

El mezclado debe realizarse en etapas, comenzando por los agregados secos y luego incorporando gradualmente los componentes líquidos para garantizar una mezcla homogénea. Una vez vertido, el UHPC puede autocompactarse, eliminando la necesidad de vibrado. El curado térmico (a temperaturas entre 60 y 90 °C) es habitual para acelerar el desarrollo de la resistencia, aunque nuevas formulaciones han logrado eliminar este requerimiento, favoreciendo la sostenibilidad del proceso (Schmidt y Fehling, 2005).

2.7.2. Acero reciclado

El acero reciclado es uno de los materiales más importantes en la transición hacia una construcción más sostenible. Se estima que más del 30% del acero producido globalmente proviene de materiales reciclados (World Steel Association, 2022), y este porcentaje sigue en aumento debido a los esfuerzos por reducir el impacto ambiental de la industria siderúrgica.

El proceso de producción de acero reciclado genera hasta un 58% menos de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en comparación con el acero producido a partir de mineral de hierro en altos hornos tradicionales (World Steel Association, 2021). Además, es completamente reciclable sin pérdida de calidad, lo que le permite ser reutilizado múltiples veces en diferentes aplicaciones estructurales, lo que alarga su ciclo de vida útil y reduce la demanda de extracción de materias primas.

Desde la perspectiva del análisis de ciclo de vida (ACV), la utilización de acero reciclado disminuye considerablemente el consumo energético, especialmente cuando se produce en hornos de arco eléctrico (EAF, por sus siglas en inglés), que utilizan electricidad (idealmente de fuentes renovables) en lugar de carbón para fundir la chatarra metálica. Según Pomponi y Moncaster (2017), emplear acero reciclado puede reducir la huella de carbono incorporada de un edificio entre un 20% y un 40%, dependiendo del porcentaje de acero utilizado en la estructura.

a. Proceso técnico

La producción de acero reciclado sigue un proceso industrial controlado y altamente eficiente. Los pasos técnicos principales incluyen:

- Recolección y clasificación de chatarra ferrosa (acero post-industrial y post-consumo), que se separa por tipo, calidad y contenido de aleaciones. (Densley Tingley y Davison, 2012).
- Fusión en horno de arco eléctrico (EAF), donde la chatarra se funde a temperaturas superiores a 1.600 °C utilizando energía eléctrica, reduciendo el uso de coque o carbón.
- Desgasificación al vacío y ajuste químico, proceso en el cual se eliminan impurezas y se ajusta la composición con elementos como carbono, manganeso, níquel, etc., para obtener las propiedades deseadas. (Densley Tingley y Davison, 2012).
- Colada continua o moldeado, en donde el acero líquido se vierte en moldes o en procesos de colada para formar lingotes, planchas o perfiles. (Densley Tingley y Davison, 2012).
- Laminación en caliente o en frío, según el uso final del producto: estructural, industrial o arquitectónico. (Densley Tingley y Davison, 2012).

En términos constructivos, el acero reciclado se adapta bien a sistemas prefabricados, estructuras desmontables y proyectos de arquitectura verde, permitiendo una flexibilidad estructural alta y facilidad para ser desmontado y reutilizado en el futuro (Densley Tingley y Davison, 2012).

2.7.3. Madera laminada cruzada (CLT)

La Madera Laminada Cruzada (CLT, por sus siglas en inglés) es un material estructural innovador compuesto por capas de madera maciza dispuestas perpendicularmente entre sí y unidas con adhesivos estructurales. Esta disposición cruzada mejora considerablemente su resistencia estructural y estabilidad dimensional, permitiendo su uso en edificios de varios pisos, incluso en rascacielos de madera.

Desde una perspectiva ambiental, la CLT es considerada un material carbono-negativo. Durante el crecimiento de los árboles, se captura dióxido de carbono (CO₂), el cual queda almacenado en los paneles de madera durante toda su vida útil. Peñaloza, Erlandsson y Falk (2016) menciona que, un metro cúbico de CLT puede almacenar hasta 0.9 toneladas de CO₂, lo cual convierte al material en una herramienta efectiva para mitigar el cambio climático en la arquitectura contemporánea.

Además, la producción de CLT genera muchas menos emisiones de carbono que el hormigón o el acero. Un análisis comparativo realizado por Gustavsson et al. (2010) mostró que sustituir materiales convencionales por CLT puede reducir entre un 30% y un 50% la huella de carbono incorporada de una edificación.

a. Proceso técnico

El proceso de fabricación del CLT sigue etapas de alta precisión tecnológica:

- Selección y secado de la madera: Se utilizan tablas de madera maciza (generalmente de coníferas como pino o abeto) secadas a un contenido de humedad específico (aproximadamente 12%), para evitar deformaciones. (Brandner et al., 2016).
- Clasificación estructural y mecanizado: Las tablas se inspeccionan por resistencia mecánica y calidad visual, y luego son cepilladas y cortadas a la medida. (Brandner et al., 2016).
- Encolado y prensado cruzado: Las tablas se colocan en capas perpendiculares (normalmente de 3, 5 o 7 capas), y se unen mediante adhesivos estructurales libres de formaldehído. Luego se prensan con presión controlada hasta alcanzar la consolidación. (Brandner et al., 2016).
- Corte CNC y personalización: Los paneles de CLT se mecanizan mediante tecnología CNC para realizar los cortes precisos de ventanas, puertas, conexiones y pasajes para instalaciones. (Brandner et al., 2016).
- Transporte y montaje: Los paneles son transportados a obra y ensamblados como bloques modulares, reduciendo los tiempos de construcción en un 40% comparado con sistemas tradicionales (Brandner et al., 2016).

2.7.4. Geopolímeros

Los geopolímeros son materiales cementantes alternativos que se presentan como una solución eficaz frente al alto impacto ambiental del cemento Portland tradicional. Se producen a partir de residuos industriales ricos en sílice y aluminio, como cenizas volantes (subproducto de centrales térmicas) y escorias de alto horno (residuo siderúrgico), activados con soluciones alcalinas. Su principal ventaja radica en su baja huella de carbono, ya que no requieren calcinación a altas temperaturas, como sí ocurre en la producción del cemento Portland.

Según estudios de Davidovits (2011), pionero en el desarrollo de la tecnología de los geopolímeros, este tipo de material puede reducir las emisiones de CO₂ en hasta un 80%, dependiendo de la fuente de los insumos y el proceso de fabricación. La producción de una tonelada de cemento Portland emite aproximadamente 0.9 toneladas de CO₂, mientras que la de geopolímeros puede estar por debajo de 0.2 toneladas (Provis y van Deventer, 2014).

a. Proceso técnico

El proceso de elaboración de geopolímeros se basa en una activación alcalina de materiales aluminosilicatos, y consta de las siguientes etapas:

- Selección de materias primas: Se emplean residuos industriales ricos en sílice y alúmina, como cenizas volantes, metacaolín, o escorias. Estos materiales no requieren procesos de calcinación, lo cual reduce drásticamente el consumo energético. (Provis y van Deventer, 2014).
- Preparación del activador alcalino: Se utilizan soluciones de hidróxido de sodio (NaOH) o silicato de sodio, que sirven para disolver y reorganizar los minerales presentes en los residuos. (Provis y van Deventer, 2014).
- Mezclado y activación: Se combinan las materias primas con el activador, produciendo una pasta fluida que comienza a polimerizar a temperatura ambiente o con un leve curado térmico (entre 40 °C y 80 °C), dependiendo de la formulación. (Provis y van Deventer, 2014).
- Moldeo y curado: La mezcla se vierte en moldes y se cura durante 24 a 72 horas. El curado puede realizarse a temperatura ambiente o en cámaras térmicas para acelerar la reacción. Una vez endurecido, el material presenta una estructura amorfa tridimensional de gran resistencia. (Provis y van Deventer, 2014).
- Aplicación: Se puede utilizar en elementos prefabricados, pavimentos, bloques de construcción, paneles o como revestimiento resistente al fuego y productos químicos. (Provis y van Deventer, 2014).

2.7.5. Aislantes naturales (Corcho y lana de oveja)

Los aislantes naturales como el corcho y la lana de oveja están emergiendo como alternativas sostenibles en la construcción, especialmente debido a su bajo impacto ambiental y sus propiedades de aislamiento térmico y acústico. Estos materiales son renovables, biodegradables, y poseen una huella de carbono significativamente menor en comparación con materiales sintéticos, como el poliestireno expandido (EPS) o la fibra de vidrio.

El corcho proviene de la corteza del alcornoque, un árbol que se regenera de manera natural cada 9 años sin necesidad de talarlo, lo que contribuye a la conservación de los bosques. Santos et al. (2020) menciona que, la producción de corcho para la fabricación de aislamientos genera una huella de carbono negativa, ya que durante su proceso de crecimiento, el alcornoque captura más CO₂ del que se emite en la extracción y procesamiento del corcho. Por cada tonelada de corcho producido, se estima que se retiran del ambiente entre 30 y 60 kg de CO₂. Por su parte, la lana de oveja es un material renovable que también presenta ventajas en términos de sostenibilidad. Se obtiene de las ovejas de manera no invasiva, y sus propiedades naturales de aislamiento son excelentes para la regulación térmica y acústica. Según estudios de Building Green (2021), la lana de oveja tiene una huella de carbono mucho menor que los aislantes sintéticos, ya que su producción no requiere procesos industriales de alto consumo energético.

a. Proceso técnico

Corcho:

- Extracción: El proceso comienza con la cosecha de la corteza del alcornoque, un proceso que se realiza cada 9 años sin necesidad de talar el árbol. Esto asegura que el ecosistema forestal se mantenga intacto. (Santos et al. 2020)
- Corte y secado: La corteza extraída se corta en trozos y se seca para eliminar la humedad. El proceso de secado es natural y no requiere energía adicional. (Santos et al. 2020)
- Molienda y expansión: Después del secado, el corcho se muele y se somete a un proceso de expansión mediante vapor, lo que hace que se convierta en un material ligero y altamente aislante. (Santos et al. 2020)
- Moldeo: El corcho expandido se mezcla con un aglutinante natural para formar paneles o bloques que pueden ser utilizados como aislamiento térmico y acústico. (Santos et al. 2020)
- Aplicación: Los paneles de corcho se emplean en paredes, techos y suelos de edificaciones, siendo una opción ideal para proyectos sostenibles que buscan reducir el impacto ambiental. (Santos et al. 2020)

Lana de oveja:

- Obtención de la lana: La lana de oveja se recoge anualmente sin dañar al animal. Este material es un subproducto de la industria ganadera, por lo que su proceso de obtención tiene una huella de carbono mínima. (Santos et al. 2020)
- Limpieza y procesamiento: Una vez recolectada, la lana se limpia y se carda para separarla de las impurezas. Luego, se convierte en fibras más finas, que se utilizan para la fabricación de paneles o rollos de aislamiento.
- Tratamiento natural: En su mayoría, la lana de oveja se trata de forma natural sin el uso de productos químicos agresivos, lo que la hace completamente biodegradable al final de su vida útil. (Santos et al. 2020)
- Aplicación: Se utiliza en una variedad de formas, como rollos, mantas o paneles, para su colocación en paredes, techos y suelos. La lana de oveja es especialmente valorada por su capacidad para regular la humedad, lo que la convierte en un aislante eficaz en climas fríos y húmedos. (Santos et al. 2020)

2.7.6. Vidrio de alto desempeño

El vidrio de alto desempeño es un tipo de vidrio especialmente diseñado para mejorar la eficiencia energética en los edificios. Este material ha sido tratado con recubrimientos especiales que permiten reducir la ganancia de calor en verano, optimizar el aislamiento térmico, y mejorar el control de la luz natural que entra en el edificio. El vidrio de alto desempeño no solo reduce la necesidad de calefacción o refrigeración artificial, sino que también ayuda a minimizar las emisiones de CO₂ relacionadas con el consumo energético de los edificios.

La producción de vidrio tradicional genera una cantidad significativa de emisiones de CO₂ debido a los altos requerimientos térmicos del proceso de fabricación, en el que se funden sílice y otros materiales a temperaturas de más de 1,700 °C. Sin embargo, el vidrio de alto desempeño,

gracias a sus recubrimientos especializados, reduce la demanda de energía de los edificios. Según un informe de la International Energy Agency (2022), los edificios que emplean este tipo de vidrio pueden reducir su demanda energética en un 15-25%, lo que a su vez disminuye las emisiones de CO₂ derivadas del uso de energía.

El uso de vidrio de alto desempeño contribuye a mitigar la huella de carbono de la construcción al reducir la dependencia de sistemas de climatización artificial. En términos de huella de carbono, aunque la producción del vidrio sigue siendo intensiva en energía, los beneficios a largo plazo en términos de reducción de emisiones superan ampliamente los impactos iniciales de su fabricación.

a. Proceso técnico

El proceso de fabricación del vidrio de alto desempeño incluye varias etapas que mejoran tanto sus propiedades térmicas como ópticas. Las principales características técnicas son las siguientes:

- **Fabricación del vidrio base:** Fusión de materiales: El proceso comienza con la fusión de materiales como sílice (arena), caliza, carbonato de sodio y otros óxidos metálicos a temperaturas extremadamente altas. Este proceso consume mucha energía y es el principal factor que contribuye a las emisiones de CO₂ del vidrio tradicional. (Energy Agency 2022)
- **Recubrimientos especiales:** Vidrio bajo emisivo: El vidrio de alto desempeño está cubierto con recubrimientos de baja emisividad (Low-E) que ayudan a reflejar el calor hacia el interior en invierno y hacia el exterior en verano. Este recubrimiento se aplica mediante vaporización en vacío (procesos como el magnetrón sputtering o el depósito de capa delgada). (Energy Agency 2022)
- **Vidrio con control solar:** Algunos tipos de vidrio de alto desempeño también incluyen recubrimientos que controlan la radiación solar, minimizando el deslumbramiento y ayudando a regular la temperatura interna. Este tipo de vidrio es especialmente útil en áreas con climas cálidos o soleados. (Energy Agency 2022)
- **Vidrio con doble o triple acristalamiento:** En muchos casos, el vidrio de alto desempeño está compuesto por varias capas de vidrio selladas, con cámaras de aire o gas (como argón o criptón) entre ellas. Este diseño mejora significativamente las propiedades de aislamiento térmico, reduciendo la transferencia de calor o frío. (Energy Agency 2022)
- **Proceso de sellado y ensamblaje:** El vidrio de alto desempeño se coloca en marcos de ventanas que están diseñados para minimizar las fugas de aire. Además, las ventanas de alto rendimiento pueden incorporar tecnologías de hermetización avanzada que previenen la pérdida de calor a través de las aberturas de las ventanas. (Energy Agency 2022)
- **Aplicación:** El vidrio de alto desempeño se utiliza en ventanas y fachadas de edificios, especialmente en proyectos de arquitectura sostenible. Su instalación puede incluir ventanas de doble o triple acristalamiento, que proporcionan un excelente aislamiento térmico y acústico. (Energy Agency 2022)

2.8. Medición y control de la huella de carbono

2.8.1. Herramientas digitales para evaluar el impacto ambiental

Categoría	Herramienta / Elemento	Descripción / Función	Indicadores o resultados	Fuente
Modelado y simulación	BIM (Building Information Modeling)	Modela todo el ciclo de vida del edificio: diseño, construcción, operación y demolición.	Reducción de desperdicios, optimización logística, predicción energética. Reducción de emisiones en 18%.	Autodesk sustainability report, 2023
Análisis de ciclo de vida (ACV)	SimaPro, One Click LCA, GaBi Software	Identifican impactos por etapas, sugieren materiales menos contaminantes, cumplen normativas (LEED, BREEAM).	Reportes con datos normalizados y comparables.	Schmidt y Fehling, 2005; ISO 14040
Normativas y límites de emisión	Reglamento RE2020 (Francia)	Define emisiones máximas por tipo de edificio.	300 kgCO ₂ /m ² (residencial); 500 kgCO ₂ /m ² (comercial).	Ministère de la Transition Écologique, 2022
Certificaciones ambientales	LEED, BREEAM	Evalúan energía, agua, materiales y residuos.	Incentivan el diseño sostenible con criterios de puntuación.	World Green Building Council, 2022
Etapas del ciclo de vida evaluadas (según ISO 14040/14044)	Producción, construcción, uso, fin de vida	Análisis integral de emisiones en cada fase del edificio.	Estandarización internacional del impacto ambiental.	ISO 14040-14044
Componentes medidos en el proyecto	Materiales	Emisiones por tipo de material	Cemento: 250–350 kgCO ₂ /m ³ ; Acero: 1,850–2,500 kgCO ₂ /ton	EnergyPlus, 2022
	Energía incorporada	Energía total para fabricar y transportar materiales	25–30% del impacto total del proyecto	BIM con ACV
	Energía operativa	Emisiones por consumo energético del edificio	50–90 kWh/m ² /año en edificios eficientes	Simulación con EnergyPlus

	Transporte	Distancia y tipo de transporte	10–20 kgCO ₂ /ton/km	Cálculo logístico
	Gestión de residuos	Volumen reciclado o desechado	80% reciclaje óptimo en proyectos sostenibles	Auditorías de obra

Tabla 1: Herramientas para evaluar el impacto ambiental.

Fuente: World Green Building Council, 2022

Elaboración: Elaboración propia

2.8.2.Herramientas y cuadros digitales de medición

Categoría	Subcategoría	Indicador / Actividad	Valor o método	Normativa / Herramienta asociada	
Fases del ciclo de vida	Producción	Cemento, acero, madera	180 kgCO ₂ /m ²	Máx. 200 kgCO ₂ /m ² (RE2020)	
	Construcción	Transporte y maquinaria	30 kgCO ₂ /m ²	Máx. 40 kgCO ₂ /m ² (RE2020)	
	Uso	Energía operativa del edificio	75 kgCO ₂ /m ²	Máx. 100 kgCO ₂ /m ² (RE2020)	
	Fin de vida	Reciclaje y disposición	15 kgCO ₂ /m ²	Máx. 25 kgCO ₂ /m ² (RE2020)	
Certificaciones ambientales	LEED	Energía y atmósfera	30–35% del puntaje total	Certificaciones Plata, Oro, Platino	
		Materiales y recursos	20–25% del puntaje		
		Sitios sostenibles	15–20% del puntaje		
	BREEAM	Gestión	12% del puntaje	Certificación de excelencia: >85%	
Salud y bienestar	15% del puntaje				
Flujo metodológico	Fases del ciclo de vida	Identificación de etapas	Producción, Construcción, Uso, Fin de vida	ISO 14040	
	Herramientas y normativas	Software BIM, One Click LCA, SimaPro, GaBi	Simulación y cálculo de emisiones	RE2020, LEED, BREEAM, ISO 14040	
		Recolección de datos clave	Materiales	Tipo, cantidad y procedencia	Modelado en BIM
			Energía	Consumo estimado por fase	Simulación energética
		Transporte	Distancia y tipo de vehículo	Herramientas logísticas	

Residuos	Volumen generado y % reciclado	Auditoría ambiental
----------	--------------------------------	---------------------

Tabla 2: Herramientas digitales de medición.

Fuente: World Green Building Council, 2022

Elaboración: Elaboración propia

a. Cálculo de Emisiones de Carbono (kgCO₂)

Fórmulas Básicas:

Producción:

$$\text{Emisiones (kgCO}_2\text{)} = \text{Cantidad del Material (kg)} \times \text{Factor de Emisión del Material (kgCO}_2\text{/kg)}$$

$$\text{Emisiones (kgCO}_2\text{)} = \text{Cantidad del Material (kg)} \times \text{Factor de Emisión del Material (kgCO}_2\text{/kg)}$$

Ejemplo: 100 toneladas de cemento (0.9 kgCO₂/kg) = 90,000 kgCO₂.

$$\text{Transporte: Emisiones (kgCO}_2\text{)} = \text{Distancia (km)} \times \text{Peso (kg)} \times \text{Factor de Emisión del Transporte (kgCO}_2\text{/ton/km)}$$

$$\text{Emisiones (kgCO}_2\text{)} = \text{Distancia (km)} \times \text{Peso (kg)} \times \text{Factor de Emisión del Transporte (kgCO}_2\text{/ton/km)}$$

Ejemplo: 50 km × 10 toneladas × 0.05 kgCO₂/ton/km = 25 kgCO₂.

b. Rango de Huella de Carbono para Proyectos de Construcción:

Tipo de proyecto	Emisiones Estimadas (kgCO ₂ /m ²)	Características principales
Construcción Tradicional (Alto Impacto)	500 – 1.000	Uso de materiales industrializados como hormigón, acero y vidrio. Considerado de alto impacto ambiental.
Construcción con Materiales Sostenibles (Medio Impacto)	100 – 500	Uso de materiales locales y naturales (adobe, madera sostenible, piedra). Puede incorporar sistemas pasivos para reducir el consumo energético.
Construcción de Bajo Impacto o Carbono Neutral (Bajo Impacto)	< 100	Uso de materiales reciclados y de bajo impacto. Sistemas de eficiencia energética como energía solar, recolección de agua, etc. Puede llegar a ser carbono negativo.

Tabla 3: Rango de contaminación de un proyecto de la huella de carbono

Fuente: RE2020

Elaboración: Elaboración propia

2.9. Caso de estudio

La selección del presente caso de estudio no se basa exclusivamente en parámetros de eficiencia energética, sino que responde principalmente a criterios relacionados con el uso consciente y estratégico de materiales de construcción. Se ha priorizado una obra que recurre a materiales de bajo impacto ambiental, tales como la madera y el adobe, los cuales provienen directamente del entorno local y responden a una lógica de construcción contextual y sostenible.

La decisión de centrarse en un único caso responde a la profundidad del análisis requerido en torno a la elección y aplicación de materiales tradicionales en un modelo contemporáneo, integrando prácticas vernáculas con estándares actuales de sostenibilidad. Además, este proyecto fue certificado bajo la metodología BREEAM, lo cual refuerza su validez como ejemplo representativo de construcción con baja huella de carbono, alineado con los objetivos de esta investigación.

2.9.1. Datos generales del proyecto



Figura 21. Casa Kaattu Veedu Guesthouse

Fuente y elaboración: Kamataka India, 2023

Nombre del proyecto: Kaattu Veedu Guesthouse

Ubicación: Karnataka, India

Año de construcción: 2023

Diseñador/Constructor: StudioXS

Propósito del proyecto: Crear un espacio de hospedaje que se integre con la naturaleza, minimizando el impacto ambiental y aprovechando materiales locales y estrategias sostenibles.

2.9.2. Diseño arquitectónico y eficiencia energética



Figura 22: Casa Kaattu Veedu Guesthouse

Fuente y elaboración: Kamataka India, 2023

El diseño arquitectónico cumple un rol esencial en la reducción de la demanda energética de una edificación. A continuación, se desarrollan los aspectos clave que componen esta eficiencia desde el enfoque arquitectónico, abarcando la orientación y el diseño pasivo, el aislamiento térmico y la integración con el entorno.

a. Orientación:

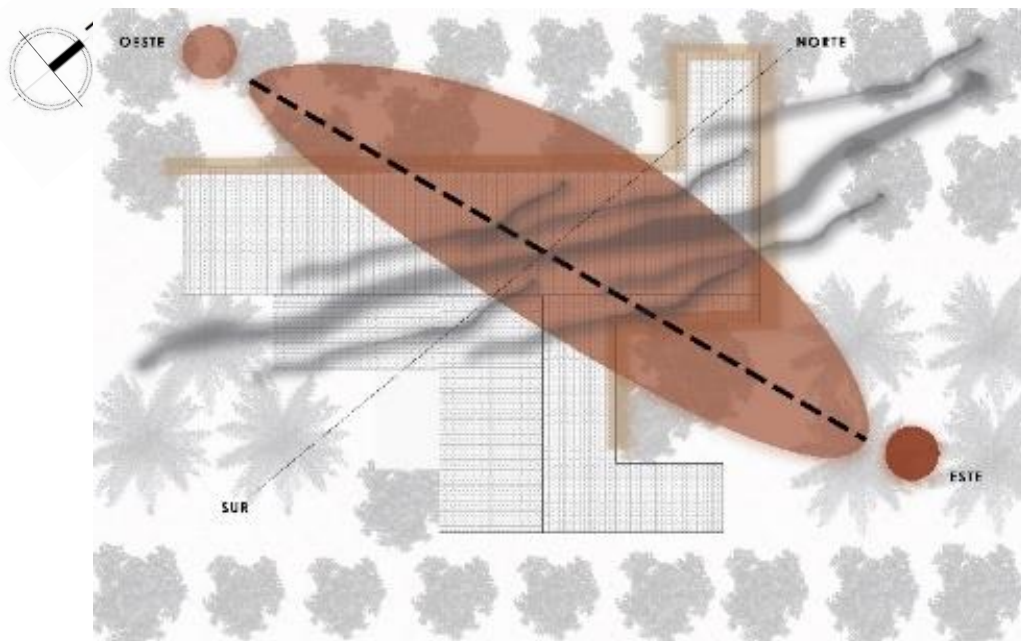


Figura 23. Casa Kaattu Veedu Guesthouse

Fuente y elaboración: Kamataka India, 2023

El proyecto, con su orientación de noroeste a sureste, permite aprovechar de manera eficiente la incidencia solar. Durante las mañanas, la luz solar se concentra principalmente en la fachada norte, mientras que, en las tardes, el sol incide directamente en la fachada sur. Para maximizar la iluminación natural y reducir la necesidad de luz artificial, se han diseñado estratégicamente aberturas en el techo que permiten la entrada de luz en los pasillos y áreas de conexión entre los espacios. Estas aberturas no solo optimizan el uso de la luz natural, sino que también generan un efecto térmico pasivo al regular la temperatura interior, minimizando el impacto del calor excesivo.

b. Integración con el entorno:

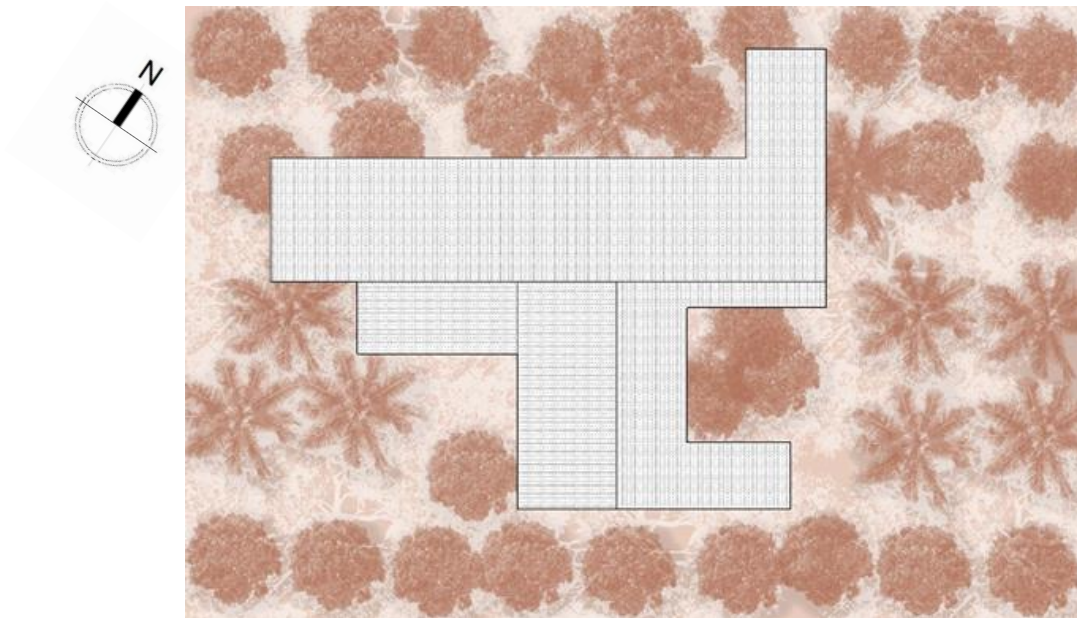


Figura 24: Casa Kaattu Veedu Guesthouse

Fuente y elaboración: Kamataka India, 2023

El proyecto demuestra una conexión armoniosa con el entorno al respetar y preservar la vegetación preexistente en el sitio. Este enfoque no solo minimiza el impacto ambiental, sino que también permite que el diseño se adapte naturalmente al paisaje, integrándose a través de patios interiores que generan una sensación de continuidad entre el espacio construido y el entorno natural. Además, estas áreas verdes estratégicas contribuyen a vistas agradables y a una protección vegetal que mejora el confort térmico. Esta integración refuerza el diseño pasivo del proyecto, promoviendo sostenibilidad y destacando su carácter ecológico. Energías renovables:

c. Diseño pasivo



LEYENDA

01. Aberturas de iluminación y ventilación.
02. Del piso al cielo raso 5.50m.
03. Ventilación cruzada.
04. Ventanales estratégicos.

Figura 25: Casa Kaattu Veedu Guesthouse

Fuente y elaboración: Kamataka India, 2023

La ventilación cruzada se optimiza mediante la incorporación estratégica de aberturas tanto en las ventanas como en el techo del proyecto, lo que permite un flujo eficiente de aire que mejora el confort térmico en los espacios interiores. Estas aberturas facilitan la entrada y salida de aire, favoreciendo un ambiente fresco y ventilado. Además, la altura considerable de 5.50 metros contribuye significativamente al enfriamiento pasivo, ya que permite que el aire caliente ascienda, mejorando la circulación y reduciendo la acumulación de calor en el espacio.

d. Aislamiento térmico:



LEYENDA

01. Muros de adobe.
02. Tejas de manglore .
03. Patios exteriores y barreras naturales

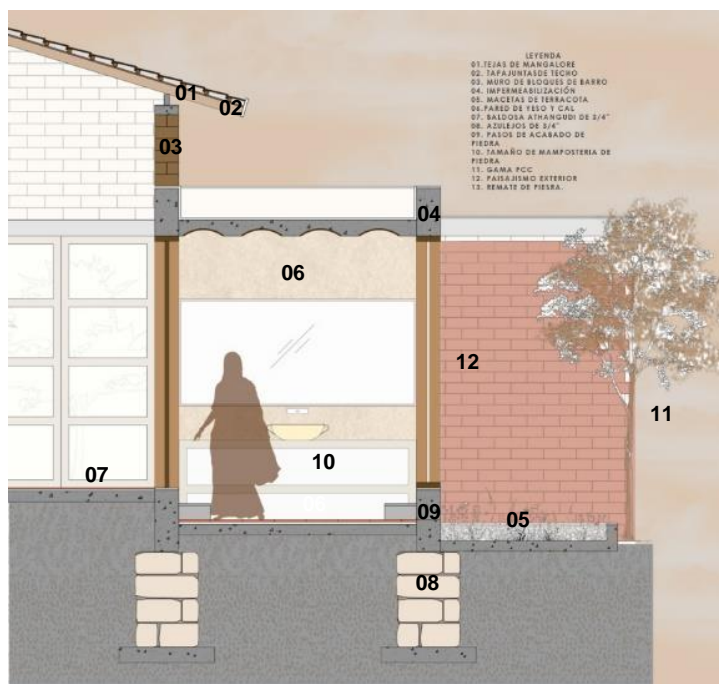
Figura 26. Casa Kaattu Veedu Guesthouse

Fuente y elaboración: Kamataka India, 2023

El aislamiento térmico del proyecto se basa en el uso del adobe, un material natural con excelentes propiedades aislantes. Gracias a su capacidad de almacenar calor durante el día, el adobe libera de manera gradual esta energía durante la noche, ayudando a mantener una temperatura interior estable. Este fenómeno crea un ambiente confortable, eliminando la necesidad de sistemas de climatización eléctrica como ventiladores o aire acondicionado. Además, el diseño pasivo del proyecto incorpora vegetación estratégica para generar sombra y luz indirecta, reduciendo la incidencia directa del sol en las fachadas más expuestas. Esto no solo refresca los espacios interiores, sino que también mejora el confort térmico al minimizar los efectos del calor en las horas más intensas del día.

La combinación de materiales naturales y estrategias de diseño pasivo posiciona al proyecto como un ejemplo de eficiencia energética y sostenibilidad en climas cálidos.

2.9.3. Materiales de Construcción



LEYENDA

01. Tejas de mangalore.
02. Tapajuntas de techo.
03. Muro de bloques de barro.
04. Impermeabilización.
05. Macetas de terracota.
06. Pared de yeso.
07. Baldosa athangudi de 3/4"
08. Pasos de acabado de piedra.
09. Tamaño de mampostería de piedra.
10. Gama de PCC.
11. Paisajismo exterior.
12. Remate de piedra.

Figura 27: Casa Kaattu Veedu Guesthouse

Fuente y elaboración: Kamataka India, 2023

El proyecto se construye utilizando materiales locales y técnicas tradicionales, priorizando la producción in situ en lugar de materiales industriales. La cimentación, las columnas, los pisos y la cubierta están compuestos por elementos naturales y sostenibles que se integran con el entorno.

Descripción de los materiales empleados:

- **Tejas de mangalore**, utilizadas en la cubierta para protección y estética.
- **Muros de bloques de barro**, que proporcionan aislamiento térmico y contribuyen a la eficiencia energética del edificio.

- **Paredes de yeso y cal**, materiales que regulan la humedad interior y favorecen un ambiente confortable.
- **Pisos de baldosa Athangudi y azulejos**, que refuerzan el carácter artesanal y sostenible del proyecto.
- **Acabados de piedra en pasos y mampostería**, que aportan durabilidad y estabilidad estructural.
- **Macetas de terracota y paisajismo exterior**, elementos que refuerzan la relación con la naturaleza y aportan frescura al espacio.

La combinación de estos materiales no solo responde a criterios estéticos y funcionales, sino que también fomenta la sostenibilidad, reduciendo la huella de carbono del proyecto y promoviendo técnicas constructivas tradicionales.

2.9.4. Impacto ambiental:



Figura 28: Casa Kaattu Veedu Guesthouse

Fuente y elaboración: Kamataka India, 2023

El uso de materiales locales como adobe, piedra y tejas de Mangalore minimiza la huella de carbono al evitar procesos industriales y reducir la necesidad de transporte. La mampostería de piedra y el barro ofrecen alta inercia térmica, mejorando la eficiencia energética sin recurrir a sistemas mecánicos de climatización.

El proyecto maximiza la ventilación cruzada a través de aberturas estratégicas en fachadas y techo, lo que garantiza la renovación del aire sin necesidad de sistemas artificiales. Asimismo, la altura de 5.50 m permite la disipación del calor, generando un ambiente interior confortable. La orientación y el diseño de patios interiores optimizan la iluminación natural y reducen el uso de electricidad.

El respeto a la vegetación preexistente y la incorporación de áreas verdes mejoran la calidad ambiental del proyecto. La vegetación actúa como un filtro térmico y de sombra, reduciendo el impacto del soleamiento directo y mejorando la calidad del aire.

El diseño promueve la autosuficiencia energética pasiva y la optimización de recursos naturales. Al no depender de climatización artificial y al utilizar materiales biodegradables y de bajo impacto, el proyecto disminuye significativamente su huella de carbono en comparación con edificaciones convencionales.

2.9.5. Normativas y certificaciones

El proyecto sigue lineamientos de arquitectura sostenible y cumple con normativas locales de eficiencia energética y construcción ecológica. Se ha priorizado la utilización de materiales con bajo impacto ambiental y estrategias de diseño pasivo.

El diseño sigue criterios alineados con estos estándares, favoreciendo la reducción del impacto ambiental mediante estrategias bioclimáticas y uso de materiales reciclables. El proyecto contiene una certificación de plata de **BREAMS. Code for A Sustainable built environment.**



Figura 29. Certificación BREEAM

Fuente y elaboración: Breeam.es, 2022

2.9.6. Emisión de carbono del proyecto

Reducción de emisiones de CO₂:

El proyecto ha sido evaluado en función de su impacto en todas sus fases:

FASE	Emisiones (kgCO ₂)
Producción (extracción y fabricación de materiales)	3,344
Construcción (transporte y uso de maquinaria)	134
Uso y operación (eficiencia energética)	30% de ahorro
Fin de vida (reciclaje y disposición de materiales)	-2,376
Total, Neto	1,102 kgCO₂

Tabla 4: Reducción de emisiones de CO₂

Fuente: Elaboración Propia

El uso de materiales locales y reciclables, junto con el diseño bioclimático, ha reducido las emisiones totales. Se ha evitado el uso intensivo de cemento y acero, minimizando el impacto ambiental asociado a su producción.

a. Fases de la evaluación del proyecto

Fase 1: Producción

Esta fase considera las emisiones generadas por la extracción, fabricación y transporte de los materiales utilizados.

Datos principales:

Material principal: Bloques de barro (3,000 unidades).

Otros materiales:

- *Madera estructural:* 20 tiras de vigas + 20 tiras de columnas.
- *Tejas:* 230 m².
- *Tableros de OSB* en cubierta.

Fuente de materiales: Locales, fabricados in situ (distancia de transporte mínima).

Eficiencia energética en fabricación: No se utilizó maquinaria pesada para la producción, lo que reduce las emisiones significativamente.

Estimación de emisiones (kgCO₂):

Para cada material, aplicamos la fórmula:

Emisiones (kgCO₂) = Cantidad del material (kg) × Factor de emisión (kgCO₂/kg).

Bloques de barro:

- *Peso promedio por bloque:* 3.5 kg (aproximado).
- *Total:* 3,000 bloques × 3.5 kg = 10,500 kg
- *Factor de emisión:* 0.1 kgCO₂/kg (fabricación artesanal y local).

$$\text{Emisiones} = 10,500 \text{ kg} \times 0.1 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 1,050 \text{ kgCO}_2.$$

Madera estructural:

- *Peso aproximado por tira:* 20 kg.
- *Total:* 40 tiras × 20 kg = 800 kg
- *Factor de emisión:* 0.05 kgCO₂/kg (por ser madera local no tratada).

$$\text{Emisiones} = 800 \text{ kg} \times 0.05 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 40 \text{ kgCO}_2$$

Tejas de mangalore:

- *Peso promedio por m²:* 60 kg.
- *Total:* 230 m² × 60 kg = 13,800 kg
- *Factor de emisión:* 0.08 kgCO₂/kg (por ser producidas localmente).

$$\text{Emisiones} = 13,800 \text{ kg} \times 0.08 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 1,104\text{kgCO}_2.$$

Tableros de OSB:

- *Peso estimado:* 20 kg/m².
- *Cubierta estimada:* 230 m²
- *Total:* 230m²×20kg=4,600kg.
- *Factor de emisión:* 0.25 kgCO₂/kg (OSB tratado y fabricado industrialmente).

$$\text{Emisiones} = 4,600 \text{ kg} \times 0.25 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 1,150\text{kgCO}_2.$$

Total, de emisiones en la producción:

$$1,050 + 40 + 1,104 + 1,150 = 3,344 \text{ kgCO}_2.$$

Fase 2: Construcción

Esta fase incluye las emisiones por el uso de maquinaria y transporte de materiales.

Datos principales:

- *Uso de maquinaria:* Breve uso para cimentación.
- *Transporte:* Distancia corta para materiales locales.
- *Combustible estimado:* 50 litros de diésel.
- *Factor de emisión diésel:* 2.68 kgCO₂/litro.

Cálculo de emisiones:

$$\text{Emisiones} = 50 \text{ litros} \times 2.68 \text{ kgCO}_2/\text{litro} = 134\text{kgCO}_2.$$

Fase 3: Uso (Vida útil)

Aquí se consideran las estrategias de eficiencia energética y el consumo de energía durante la operación del edificio.

Datos principales:

- Ventilación cruzada estratégica: Reducción del uso de sistemas mecánicos de climatización.
- Energía renovable: No especificada.
- Reducción estimada en consumo energético: 30% en comparación con un diseño convencional.

Estimación cualitativa:

Aunque no se tiene un cálculo exacto, el diseño de ventilación cruzada permite un ahorro significativo en la huella de carbono operativa, reduciendo el uso de aire acondicionado y ventilación mecánica.

Fase 4: Fin de vida

Se consideran las emisiones asociadas al reciclaje, demolición o disposición de los materiales.

Datos principales:

- *Bloques de barro y tejas:* Totalmente reciclables o reutilizables.
- *Madera:* Puede ser reciclada o utilizada como biomasa.
- *Tableros de OSB:* Difícil reciclaje (emisiones más altas).

Cálculo estimado:

- *Emisiones reciclaje* = Volumen reciclado × Factor de compensación (kgCO₂/kg)
- *Materiales Reciclados*: 80 % de 29,700 kg = 23,760 kg reciclados.
- *Factor de compensación*: -0.1 kgCO₂/kg.

$$\text{Emisiones negativas} = 23,760 \text{ kg} \times -0.1 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = -2,376 \text{ kgCO}_2.$$

Cuadro de resultados

FASE	Emisiones (kgCO ₂)
Producción (extracción y fabricación de materiales)	3,344
Construcción (transporte y uso de maquinaria)	134
Uso y operación (eficiencia energética)	30% de ahorro
Fin de vida (reciclaje y disposición de materiales)	-2,376
Total, Neto	1,102 kgCO₂

Tabla 5: Cuadro de resultados de CO2

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III

3.1. Análisis de sitio y factores constructivos para cero huella de carbono

El análisis del sitio es un paso fundamental en el desarrollo de un proyecto arquitectónico sostenible. En el contexto del diseño con cero huellas de carbono, comprender las condiciones naturales y climáticas del lugar permite aprovechar estrategias pasivas que reduzcan el consumo energético y minimicen el impacto ambiental. Este capítulo tiene como objetivo evaluar los factores climáticos y geográficos que influyen en la construcción del Centro de Integración Comunitaria, con el fin de establecer criterios de diseño basados en el uso eficiente de los recursos disponibles.

3.1.1. Importancia del análisis del sitio para la arquitectura sostenible

Un proyecto arquitectónico sostenible debe adaptarse a su entorno, aprovechando las condiciones naturales para mejorar el confort térmico y reducir la necesidad de sistemas mecánicos de climatización. Aspectos como soleamiento, vientos, temperatura, humedad y vegetación son determinantes en la elección de materiales, la orientación del edificio y el diseño de estrategias de ventilación e iluminación natural.

3.1.2. Relación con los principios de cero huella de carbono

El concepto de cero huella de carbono en arquitectura implica minimizar la emisión de gases de efecto invernadero a lo largo del ciclo de vida del edificio. Para ello, el análisis del sitio permite:

- Reducir el uso de energía a través de estrategias pasivas.
- Favorecer la selección de materiales locales con menor impacto ambiental.
- Implementar sistemas de captación y reutilización de recursos naturales.
- Mejorar la integración del proyecto con su entorno natural y cultural.

En los siguientes apartados se abordará el análisis climático del sitio, considerando factores como soleamiento, vientos, temperatura, precipitaciones y disponibilidad de recursos naturales, con el fin de diseñar un espacio arquitectónico eficiente y ambientalmente responsable.

3.2. Ubicación del sitio

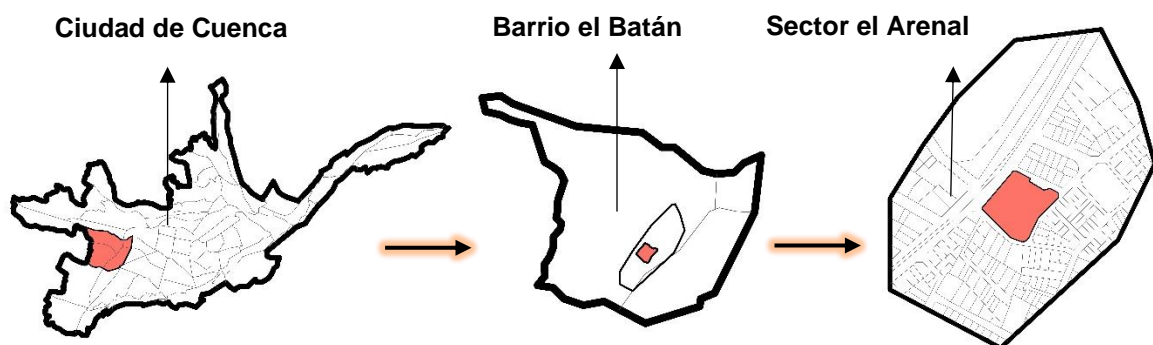


Figura 30: Ubicación del terreno del proyecto

Elaboración: Elaboración Propia

El terreno está ubicado en la ciudad de Cuenca, Ecuador, específicamente en el barrio El Batán, dentro del sector conocido como El Arenal. El área de intervención corresponde al Parque Juan Bautista Stiehle, un espacio público de carácter urbano con alto valor comunitario y potencial para el desarrollo de infraestructura social sostenible.

El Parque Juan Bautista Stiehle delimitado para el proyecto cuenta con una superficie de 400 m² y se encuentra rodeado por importantes vías de acceso: al norte la avenida de las Américas, al sur la calle Trinidad y Tobago, al este la calle Nicaragua y al oeste la calle Venezuela. Esta localización estratégica facilita la conectividad con diversos sectores de la ciudad, a la vez que ofrece un entorno urbano consolidado para el desarrollo de equipamiento comunitario.

Las coordenadas geográficas del Parque Juan Bautista Stiehle son -2.900529, -79.027330, lo que permite su georreferenciación precisa dentro del área urbana de Cuenca. La elección de este sitio responde a criterios de accesibilidad, impacto comunitario y posibilidad de aplicar principios de sostenibilidad en una zona urbana consolidada, donde además se pretende fomentar el uso de materiales de bajo impacto ambiental y técnicas constructivas contextualizadas.

3.3. Análisis de condiciones climáticas y estrategias pasivas

3.3.1. Soleamiento

El estudio del soleamiento constituye un componente esencial en el análisis de sitio, ya que permite comprender el comportamiento de la radiación solar sobre el terreno a lo largo del año. Esta información resulta fundamental para orientar adecuadamente el diseño arquitectónico, optimizando la captación de calor en épocas frías y reduciendo la ganancia térmica durante las estaciones cálidas.

El análisis del recorrido solar, así como la identificación de sombras proyectadas por edificaciones o elementos naturales cercanos, permite definir estrategias pasivas que mejoren el confort térmico del usuario y disminuyan la dependencia de sistemas mecánicos de climatización. En este contexto, se evaluará la incidencia solar en el terreno ubicado en el parque Juan Bautista Stiehle, con el objetivo de establecer criterios de diseño bioclimático acordes a las condiciones específicas del lugar.

a. Trayectoria solar en diferentes estaciones

La trayectoria solar varía a lo largo del año debido a la inclinación del eje terrestre. Este análisis permite comprender la incidencia del sol sobre el sitio del proyecto, lo que es crucial para la optimización de estrategias pasivas de diseño, como la orientación de los espacios, la ubicación de aberturas y la implementación de elementos de sombra.

Solsticio de Verano (21 de junio)

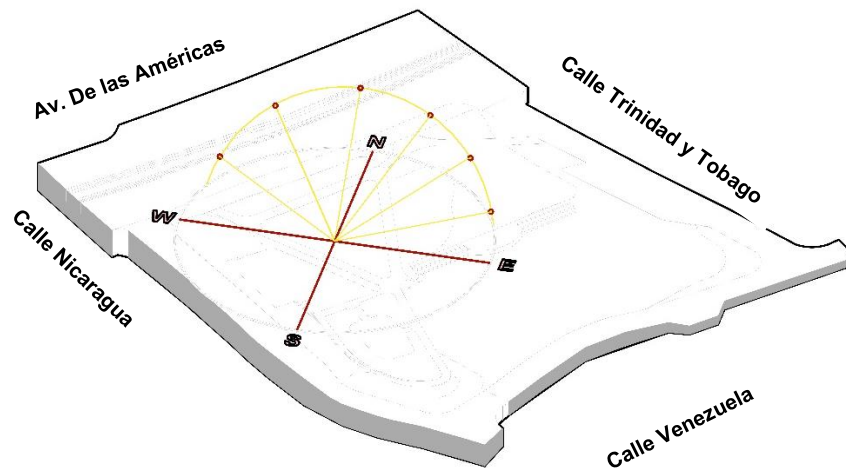


Figura 31: Sol de verano

Fuente: Elaboración Propia

- El sol alcanza su punto más alto en el cielo, con una inclinación máxima.
- En el hemisferio sur, los días son más largos y las noches más cortas.
- La radiación solar es intensa, lo que puede generar sobrecalentamiento en edificaciones sin estrategias de control solar.
- En la orientación noroeste, norte y noroeste del proyecto es donde va afectado directamente al proyecto.

Estrategias pasivas recomendadas:

- Uso de aleros y voladizos para bloquear la radiación directa en horas pico.
- Incorporación de vegetación caduca que proporcione sombra natural.
- Ventilación cruzada para disipar el calor acumulado.

Equinoccios (21 de marzo y 21 de septiembre)

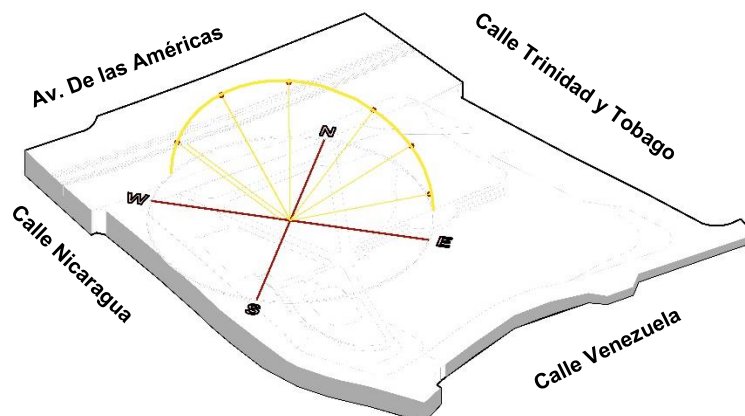


Figura 32: Sol de equinoccios

Fuente: Elaboración Propia

- La duración del día y la noche es igual (12 horas cada uno).
- El sol se encuentra en una posición intermedia en el cielo.
- La radiación es moderada, pero la temperatura aún puede variar significativamente.

Estrategias pasivas recomendadas:

- Optimización de la orientación de ventanas para capturar luz natural sin sobrecalentamiento.
- Uso de materiales con inercia térmica para equilibrar las fluctuaciones de temperatura.
- Integración de sistemas de sombreado ajustables según la estación.

3.3.2.Solsticio de Invierno (21 de diciembre)

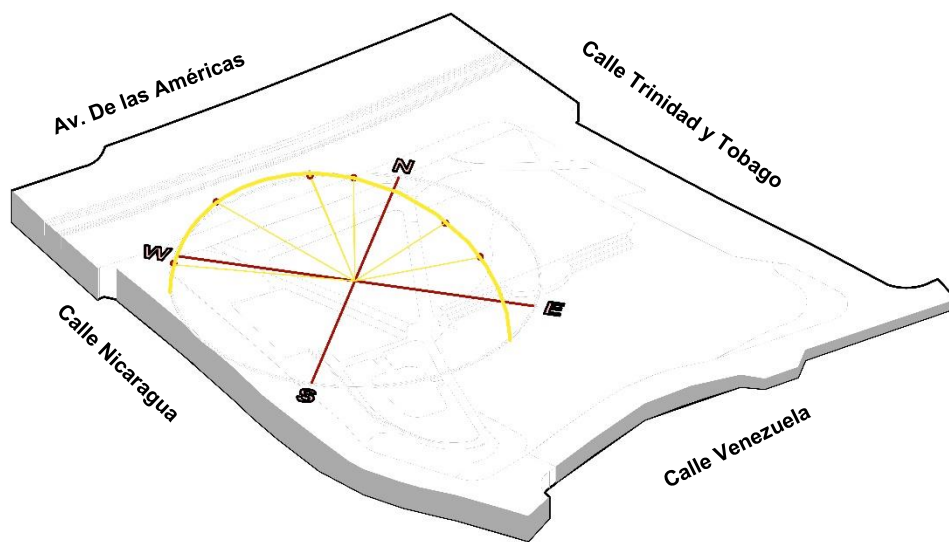


Figura 33: El sol de invierno

Fuente: Elaboración Propia

- El sol está en su punto más bajo en el cielo.
- Los días son más cortos y las noches más largas.
- La radiación solar es reducida, lo que puede generar ambientes fríos en interiores si no se diseñan correctamente.
- En la orientación Suroeste, sur y suroeste del proyecto es donde va afectado directamente al proyecto, se tiene que maximizar la entrada solar estas partes de la orientación

3.3.3.Estrategias pasivas recomendadas:

- Maximización del asoleamiento en fachadas orientadas al norte (en el hemisferio sur).
- Uso de materiales con alta inercia térmica para almacenar el calor durante el día y liberarlo en la noche.
- Implementación de cerramientos herméticos para evitar la pérdida de calor.

Estación	Posición del Sol	Duración del Día	Radiación Solar	Impacto Térmico	Estrategias Pasivas
Verano (21 junio)	Punto más alto	Día más largo	Alta	Riesgo de sobrecalentamiento	Aleros, voladizos, ventilación cruzada, vegetación caduca
Equinoccios (21 marzo / 21 septiembre)	Posición intermedia	12 horas	Moderada	Equilibrado	Orientación óptima de ventanas, inercia térmica, sombreado ajustable
Invierno (21 diciembre)	Punto más bajo	Día más corto	Baja	Ambientes fríos	Captación de sol en fachadas norte, materiales térmicos, cerramientos herméticos

Tabla 6: Estaciones del sol

Fuente: Elaboración Propia

3.3.4. Horas de luz solar y ángulos de incidencia

El análisis de las horas de luz solar y los ángulos de incidencia es fundamental para comprender el comportamiento del sol en el sitio y su influencia en el diseño arquitectónico. La cantidad de horas de luz varía según la estación del año, afectando la iluminación natural y la ganancia térmica del edificio. Asimismo, los ángulos de incidencia del sol determinan la forma en que la radiación solar impacta en las superficies construidas, influyendo en la eficiencia energética y en las estrategias de confort térmico pasivo.

Este apartado analiza la variación de la duración del día en las diferentes estaciones y cómo los ángulos solares cambian a lo largo del año. Con esta información, se pueden establecer estrategias de diseño adecuadas, como la optimización de la orientación del edificio, el uso de elementos de sombreado y la selección de materiales con propiedades térmicas apropiadas.

Fórmula de Angulo de incidencia solar

$$H = 90^\circ - | \text{latitud} - \text{declinación solar} |$$

Donde:

- Latitud de Cuenca: ~2.9° S
- Declinación solar en:

- Solsticio de verano: +23.44°
- Equinoccios: 0°
- Solsticio de invierno: -23.44°

Análisis de las horas de luz solar y los ángulos de incidencia en Cuenca, Ecuador:

Estación	Altura solar máxima (°)	Horas de luz solar (h)
Solsticio de verano (21 junio)	63.66°	12.3 h
Equinoccios (21 marzo y 21 septiembre)	87.10°	12.0 h
Solsticio de invierno (21 diciembre)	69.46°	11.7 h

Tabla 7: Inclínación del sol

Fuente: Elaboración Propia

- En los equinoccios, el sol está casi en el cenit (87.1°), lo que indica una radiación más directa y uniforme durante el año.
- En el solsticio de verano, la altura máxima del sol es de 63.66°, lo que proporciona la mayor cantidad de radiación solar y las horas de luz más largas.
- En el solsticio de invierno, la altura máxima del sol es de 69.46°, con menos radiación y menos horas de luz.

3.3.5. Vientos dominantes y ventilación natural

El análisis del viento es un factor esencial en la arquitectura bioclimática, ya que influye directamente en el confort térmico, la eficiencia energética y la calidad del aire dentro de un edificio. Comprender la dirección, velocidad y variaciones estacionales del viento permite diseñar estrategias pasivas de ventilación que optimicen la renovación del aire y reduzcan la dependencia de sistemas mecánicos de climatización.

En el contexto de la arquitectura sostenible y el diseño con cero huella de carbono, el aprovechamiento del viento es clave para disminuir el consumo energético. Al orientar correctamente los espacios, diseñar aperturas estratégicas y utilizar elementos naturales como la vegetación, es posible mejorar el flujo de aire dentro del edificio y reducir la acumulación de calor en épocas cálidas, al mismo tiempo que se mitigan las corrientes frías en estaciones más frías.

Este apartado analiza la dinámica del viento en el sitio del proyecto, identificando los vientos predominantes y sus variaciones estacionales. Además, se exploran estrategias de ventilación pasiva como la ventilación cruzada y el uso de patios interiores, así como la implementación de barreras naturales y vegetación para controlar el impacto del viento.

Un correcto análisis del viento no solo mejora la habitabilidad de los espacios, sino que también contribuye a la sostenibilidad del proyecto, asegurando una mejor adaptación al entorno y un menor impacto ambiental.

3.4. Vientos dominantes y ventilación natural (Análisis)

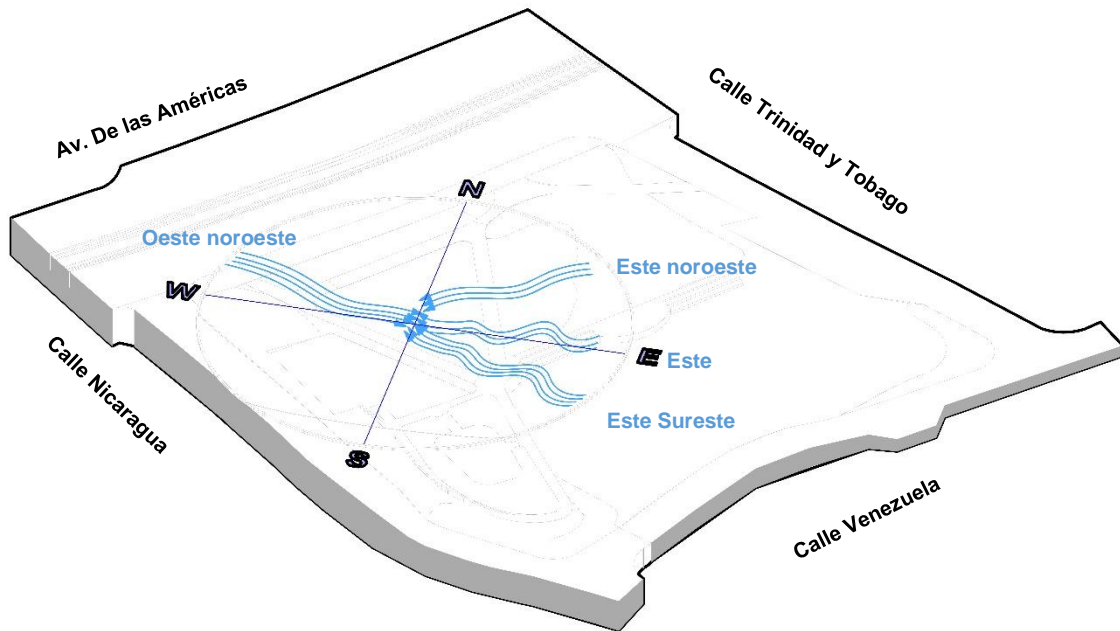


Figura 34: Vientos predominantes

Fuente: Elaboración Propia

3.4.1. Este noreste. Análisis de la rosa de vientos

Menor 2 km/h	58.6 h/año
2 – 5 km/h	315.4 h/año
5 – 10 km/h	337.5 h/año
10 – 20 km/h	5.5 h/año
20 – 30 km/h	0.0 h/año
30 – 40 km/h	0.0 h/año
40 – 50 km/h	0.0 h/año

Tabla 8: Análisis de dirección de los vientos

Fuente: Elaboración Propia

Análisis del viento en dirección este-noreste (ene)

Frecuencia y velocidad del viento desde el ene

- *Rango más común:*

2 – 5 km/h → (248.5 h/año)

Se trata de un viento de intensidad baja, pero con presencia considerable en el sitio.

- *Segunda velocidad más común:*

5 – 10 km/h → (143.6 h/año)

Un flujo de aire moderado que puede contribuir a la ventilación cruzada.

- *Vientos más fuertes registrados:*

10 – 20 km/h → (22.3 h/año)

Son poco frecuentes y aparecen solo en momentos específicos del año.

- *Ausencia de vientos extremos:*

No se han registrado vientos superiores a 20 km/h en esta dirección.

Interpretación y relevancia para el diseño

- *Frecuencia media-alta del viento ENE*

Es un viento relativamente frecuente en el sitio, con presencia notable a lo largo del año.

Su intensidad moderada lo hace adecuado para estrategias de ventilación natural.

- *Impacto en la ventilación pasiva*

Su velocidad oscila entre 2 y 10 km/h, lo que lo convierte en un aliado para la renovación del aire en el proyecto.

Puede utilizarse como una de las principales fuentes de aire fresco si se orientan adecuadamente las aberturas.

- *Aplicaciones arquitectónicas*

Ubicación estratégica de ventanas y aberturas: Las fachadas orientadas hacia el ENE pueden captar aire fresco en horas de la mañana.

Diseño de patios interiores: Un patio semiabierto en esta dirección puede permitir una ventilación eficiente sin generar corrientes de aire incómodas.

Ventilación cruzada: Si se diseñan aberturas en la dirección suroeste, se podría establecer un flujo de aire óptimo dentro del edificio.

- *Uso de vegetación y barreras*

No se requiere una protección fuerte contra este viento, pero se pueden utilizar árboles de mediana altura para regular la velocidad del aire.

La vegetación puede ayudar a canalizar el viento hacia zonas específicas del edificio.

3.4.2.Este. Análisis de la rosa de vientos

Menor 2 km/h	44.6 h/año
2 – 5 km/h	377.3 h/año
5 – 10 km/h	327.5 h/año
10 – 20 km/h	57.5 h/año
20 – 30 km/h	0.0 h/año
30 – 40 km/h	0.0 h/año
40 – 50 km/h	0.0 h/año

Tabla 9: Análisis de dirección de los vientos

Fuente: Elaboración Propia

Análisis del viento en dirección este (e)

Frecuencia y velocidad del viento desde el este (e)

- *Rango más común:*

2 – 5 km/h → (377.3 h/año)

Es el viento más frecuente desde esta dirección, con una velocidad baja, pero con una alta presencia en el sitio.

- Segunda velocidad más común:

5 – 10 km/h → (327.5 h/año)

Se observa un flujo moderado, que puede aprovecharse para estrategias de ventilación natural.

- Vientos más fuertes registrados:

10 – 20 km/h → (57.5 h/año)

Aunque son menos comunes, estos vientos pueden generar corrientes de aire significativas.

- Ausencia de vientos extremos:

No se registran vientos superiores a 20 km/h desde esta dirección.

Interpretación y relevancia para el diseño

- *Alta frecuencia del viento Este*

Es una de las direcciones de viento más importantes en el sitio.

Su combinación de velocidad baja y moderada lo hace ideal para estrategias de ventilación pasiva.

- *Impacto en la ventilación pasiva*

Este viento es constante y aprovechable para mejorar la circulación del aire dentro del edificio.

En combinación con aperturas en la dirección opuesta (Oeste), puede generar una ventilación cruzada eficiente.

- *Aplicaciones arquitectónicas*

Ubicación estratégica de ventanas y aberturas: Fachadas orientadas al Este pueden captar aire fresco por la mañana, cuando las temperaturas son más bajas.

Protección solar combinada con ventilación: En climas cálidos, es recomendable integrar sistemas de sombra como aleros o celosías que permitan la entrada de aire sin sobrecalentar los espacios.

Uso de patios interiores: Un patio abierto hacia el Este puede ayudar a refrescar las áreas internas sin comprometer el confort térmico.

- *Uso de vegetación y barreras*

Árboles de follaje denso pueden servir como reguladores del viento en caso de ráfagas más intensas.

Muros perforados o celosías pueden permitir la entrada controlada de aire sin generar turbulencias en espacios cerrados.

3.4.3. Estesureste. Análisis de la rosa de vientos

Menor 2 km/h	84.2 h/año
2 – 5 km/h	611.7 h/año
5 – 10 km/h	292.8 h/año
10 – 20 km/h	10.1 h/año
20 – 30 km/h	0.0 h/año
30 – 40 km/h	0.0 h/año
40 – 50 km/h	0.0 h/año

Tabla 10: Análisis de dirección de los vientos

Fuente: Elaboración Propia

Análisis del viento en dirección este-sureste (ese)

Frecuencia y velocidad del viento desde el ese

- *Rango más común:*

2 – 5 km/h → (248.1 h/año)

Es la velocidad predominante, lo que indica que este viento es constante pero suave.

- *Segunda velocidad más común:*

5 – 10 km/h → (161.5 h/año)

Representa un flujo de aire moderado que puede contribuir a la ventilación pasiva.

- *Vientos más fuertes registrados:*

10 – 20 km/h → (32.6 h/año)

Son menos frecuentes, pero pueden generar corrientes de aire aprovechables en ciertos momentos del año.

- *Ausencia de vientos extremos:*

No hay registros de vientos mayores a 20 km/h desde esta dirección.

Interpretación y relevancia para el diseño

- *Frecuencia media del viento ESE*

Es un viento que, aunque no es el predominante, tiene una presencia considerable en el sitio.

Su intensidad moderada lo hace útil para estrategias de ventilación cruzada.

- *Impacto en la ventilación pasiva*

Puede ayudar a mejorar la circulación del aire en combinación con aberturas estratégicas en la dirección opuesta (Oeste-Noroeste).

Es un viento estable que podría aprovecharse para refrescar espacios interiores sin causar incomodidad térmica.

- *Aplicaciones arquitectónicas*

Ubicación de ventanas y aperturas: Fachadas orientadas al ESE pueden captar aire fresco en la mañana y a primeras horas de la tarde.

Diseño de patios ventilados: Un patio orientado en esta dirección puede mejorar la calidad del aire en el interior del edificio.

Uso de celosías y aleros: Permiten el paso de aire sin exponer los espacios interiores a sobrecalentamiento.

- Uso de vegetación y barreras

Árboles de mediana altura pueden ayudar a canalizar el flujo de aire y mejorar la calidad térmica del espacio.

En zonas donde se requiera mayor protección, muros perforados o cercos vegetales pueden filtrar el viento sin bloquearlo por completo.

3.4.4. Sureste. Análisis de la rosa de vientos

Menor 2 km/h	58.3 h/año
2 – 5 km/h	302.9 h/año
5 – 10 km/h	141.8 h/año
10 – 20 km/h	0.0 h/año
20 – 30 km/h	0.0 h/año
30 – 40 km/h	0.0 h/año
40 – 50 km/h	0.0 h/año

Tabla 11: Análisis de dirección de los vientos

Fuente: Elaboración Propia

Análisis del viento en dirección sureste (se)

Frecuencia y velocidad del viento desde él se

- *Rango más común:*

2 – 5 km/h → (200.4 h/año)

Se presenta como un viento suave y constante, sin causar ráfagas fuertes.

- *Segunda velocidad más común:*

5 – 10 km/h → (177.3 h/año)

Representa un flujo de aire moderado, útil para estrategias de ventilación pasiva.

- *Vientos más fuertes registrados:*

10 – 20 km/h → (29.7 h/año)

Aunque poco frecuentes, pueden contribuir a la renovación del aire en el sitio.

- *Ausencia de vientos extremos:*

No se registran vientos superiores a 20 km/h desde esta dirección.

Interpretación y relevancia para el diseño

- *Frecuencia media del viento SE*

Es un viento con presencia considerable, aunque no es la dirección predominante en el sitio.

Su velocidad moderada lo hace útil para mejorar la circulación del aire sin causar incomodidad térmica.

- *Impacto en la ventilación pasiva*

Puede ser aprovechado para favorecer la ventilación cruzada en combinación con aberturas estratégicas en la dirección opuesta (Noroeste).

Suave en la mayoría de las ocasiones, lo que permite su uso sin necesidad de elementos de protección intensivos.

- *Aplicaciones arquitectónicas*

Ubicación de ventanas y aperturas: Las fachadas orientadas al SE pueden captar aire fresco en las primeras horas del día y contribuir a la ventilación.

Diseño de patios interiores: Permite una renovación eficiente del aire sin generar corrientes excesivas.

Uso de celosías y pérgolas: Favorecen la entrada de aire sin comprometer el confort térmico.

- *Uso de vegetación y barreras*

La vegetación de altura media puede servir como regulador del flujo de aire.

Barreras naturales ligeras pueden ayudar a dirigir el viento hacia zonas de interés en el diseño.

3.4.5. Oeste noroeste. Análisis de la rosa de vientos

Menor 2 km/h	179.7 h/año
2 – 5 km/h	800.6 h/año
5 – 10 km/h	257.9 h/año
10 – 20 km/h	0.2 h/año
20 – 30 km/h	0.0 h/año
30 – 40 km/h	0.0 h/año
40 – 50 km/h	0.0 h/año

Tabla 12: Análisis de dirección de los vientos

Fuente: Elaboración Propia

Análisis del viento en dirección oeste-noroeste (wnw)

Frecuencia y velocidad del viento desde el wnw

- *Rango más común:*

2 – 5 km/h → (140.6 h/año)

Se presenta como un viento de baja intensidad, con una presencia moderada en el sitio.

- *Segunda velocidad más común:*

5 – 10 km/h → (110.2 h/año)

Representa un flujo moderado que puede ser aprovechado en la ventilación pasiva.

- *Vientos más fuertes registrados:*

10 – 20 km/h → (20.1 h/año)

Se presentan ocasionalmente y pueden contribuir a la circulación del aire en ciertos momentos del año.

- *Ausencia de vientos extremos:*

No hay registros de vientos mayores a 20 km/h desde esta dirección.

Interpretación y relevancia para el diseño

- *Frecuencia media del viento WNW*

No es uno de los vientos dominantes en el sitio, pero su presencia es significativa en algunas épocas del año.

Su velocidad moderada lo hace adecuado para ser considerado en estrategias de confort térmico.

- *Impacto en la ventilación pasiva*

Puede ser aprovechado en combinación con aberturas en la dirección opuesta (Este-Sureste) para mejorar la circulación de aire.

Su flujo constante ayuda a la renovación del aire sin generar ráfagas incómodas.

- *Aplicaciones arquitectónicas*

Ubicación de ventanas y aberturas: Puede servir para captar aire fresco en la tarde, en combinación con la dirección opuesta para ventilación cruzada.

Diseño de patios interiores y corredores ventilados: Permiten mejorar la calidad del aire sin generar sobrecalentamiento en los espacios interiores.

Protección contra radiación solar: En climas cálidos, puede ser útil incluir elementos de sombreado combinados con aperturas controladas para equilibrar ventilación y confort térmico.

- *Uso de vegetación y barreras*

La vegetación de altura media puede servir para regular el flujo del viento sin bloquearlo completamente.

Se pueden utilizar muros perforados o celosías para canalizar el aire de manera efectiva sin turbulencias.

3.4.6. Estrategias de ventilación pasiva: ventilación cruzada, uso de patios interiores.

Ventilación Cruzada

¿Qué es?

Es una estrategia pasiva que permite la circulación del aire dentro de un espacio a través de aperturas ubicadas en lados opuestos del edificio. Funciona aprovechando la diferencia de presión generada por los vientos predominantes (Givoni, 1998).

Análisis del sitio y aplicación en el proyecto

Vientos más relevantes: Se identificaron vientos predominantes del Este y Suroeste, los cuales pueden ser utilizados para maximizar la ventilación cruzada (Santamouris y Kolokotsa, 2016).

Ubicación de aperturas:

- Se recomienda colocar ventanas en la fachada Este para captar los vientos dominantes en la mañana.
- Aberturas en la fachada Oeste y Suroeste permitirán la salida del aire caliente, facilitando la ventilación cruzada (Olgay, 2015).

Altura de las aberturas:

- Las ventanas bajas permitirán la entrada de aire fresco.
- Las aperturas en niveles altos (claraboyas o ventanas superiores) permitirán la salida del aire caliente acumulado (Indian Roads Congress, 2021).

Beneficios

- Reducción del uso de sistemas mecánicos de ventilación (Givoni, 1998).
- Disminución de la sensación térmica en el interior (Nature Sustainability, 2022).
- Optimización del confort térmico sin consumo energético adicional (Martínez, 2018).

Uso de Patios Interiores para Ventilación

¿Qué es?

Los patios interiores son espacios abiertos dentro de un proyecto que permiten mejorar la circulación del aire y reducir la acumulación de calor (Koenigsberger et al., 2013).

3.4.7. Análisis del sitio y aplicación en el proyecto

Posicionamiento estratégico:

- Los patios deben ubicarse en zonas donde el viento predominante pueda ingresar y refrescar los espacios internos.
- En este sitio, los vientos del Este y Sureste pueden aprovecharse en patios orientados en esta dirección (Santamouris y Kolokotsa, 2016).
- Para lograr una circulación de aire efectiva, se sugiere que el patio tenga una proporción adecuada entre altura y ancho, evitando espacios demasiado cerrados (Givoni, 1998).
- Incorporación de muros bajos o elementos perforados para direccionar el viento.
- Uso de fuentes de agua o vegetación para enfriar el aire antes de que ingrese a los espacios internos (Martínez, 2018).

Beneficios

- Reducción de la temperatura en los espacios internos (Koenigsberger et al., 2013).
- Mejora de la calidad del aire y reducción de contaminantes (Nature Sustainability, 2022).
- Conexión con la naturaleza y mejora del confort psicológico (Indian Roads Congress, 2021).

3.4.8. Uso de vegetación y barreras naturales para control de vientos.

Vegetación como regulador del viento

¿Cómo funciona?

Los árboles y arbustos pueden utilizarse para controlar la velocidad del viento y mejorar la calidad térmica del entorno construido (Olgyay, 2015).

Análisis del sitio y aplicación en el proyecto

Vientos que necesitan regulación:

- Vientos moderados del Suroeste y Oeste: Se recomienda utilizar vegetación de altura media para reducir su impacto sin bloquearlos completamente (Santamouris y Kolokotsa, 2016).
- Vientos suaves del Este y Sureste: Se pueden canalizar hacia las aberturas del edificio mediante barreras vegetales estratégicas (Givoni, 1998).

Ubicación de la vegetación:

- Árboles de hoja caduca en el lado Oeste y Suroeste ayudarán a bloquear la radiación solar en verano, pero permitirán el paso del sol en invierno (Martínez, 2018).
- Muros verdes o arbustos altos pueden servir como filtros de viento en zonas con corrientes más intensas (Nature Sustainability, 2022).

Beneficios

- Mejora de la calidad del aire y reducción de la temperatura ambiente (Koenigsberger et al., 2013).
- Protección contra ráfagas de viento intensas sin afectar la ventilación pasiva (Olgay, 2015).
- Aumento de la biodiversidad y mejora de la estética del proyecto (Indian Roads Congress, 2021).

3.4.9. Barreras Naturales y Permeables

¿Cómo funcionan?

Son elementos arquitectónicos que permiten regular la entrada del viento sin bloquearlo completamente (Givoni, 1998).

Análisis del sitio y aplicación en el proyecto

Materiales recomendados:

- Celosías de madera o cerámica perforada permiten la entrada de aire sin generar ráfagas incómodas (Santamouris y Kolokotsa, 2016).
- Muros perforados de adobe pueden utilizarse en combinación con vegetación para regular el flujo del viento (Nature Sustainability, 2022).

Ubicación estratégica:

- En zonas donde el viento es más fuerte, se pueden colocar barreras semiabiertas que reduzcan la velocidad del aire antes de ingresar al edificio.
- Pérgolas o estructuras de sombra con elementos perforados pueden dirigir el viento hacia zonas de confort térmico (Indian Roads Congress, 2021).

Beneficios

- Regulación del viento sin impedir la circulación natural del aire (Givoni, 1998).
- Integración con la arquitectura del proyecto sin necesidad de elementos mecánicos (Olgay, 2015).
- Mejora de la privacidad sin comprometer la iluminación y la ventilación (Martínez, 2018).

3.5. Análisis de temperatura y confort térmico

El confort térmico en la arquitectura sostenible se basa en la regulación pasiva de la temperatura interior, minimizando el uso de sistemas artificiales de climatización. En este apartado se analizarán las temperaturas máximas y mínimas del sitio, sus variaciones diarias y estacionales, y las estrategias de diseño que pueden implementarse para optimizar el confort térmico.

Ecuador, al estar en la línea ecuatorial, no presenta estaciones marcadas como en otros países, sino que se divide en dos períodos climáticos principales: invierno (época lluviosa) y verano (época seca). En la ciudad de Cuenca, el clima es templado andino, con variaciones térmicas diarias significativas y una altitud de aproximadamente 2,560 m sobre el nivel del mar, lo que influye en la radiación solar, las temperaturas y la ventilación natural.

3.5.1. Temperaturas máximas y mínimas

3.5.2. Temperaturas estacionales de Cuenca

Época seca (verano)

- Mayor radiación solar y cielos despejados durante el día.
- Posible sobrecalentamiento en superficies expuestas sin protección.
- Estrategias recomendadas: Sombras naturales (vegetación), pérgolas, techos ventilados y ventilación cruzada.

Época lluviosa (invierno)

- Alta humedad y lluvias constantes pueden afectar los materiales de construcción.
- Pérdida térmica nocturna en edificaciones sin buena inercia térmica.
- Estrategias recomendadas: Uso de materiales térmicos (adobe), captación de radiación solar durante el día, protección contra humedad y filtraciones.

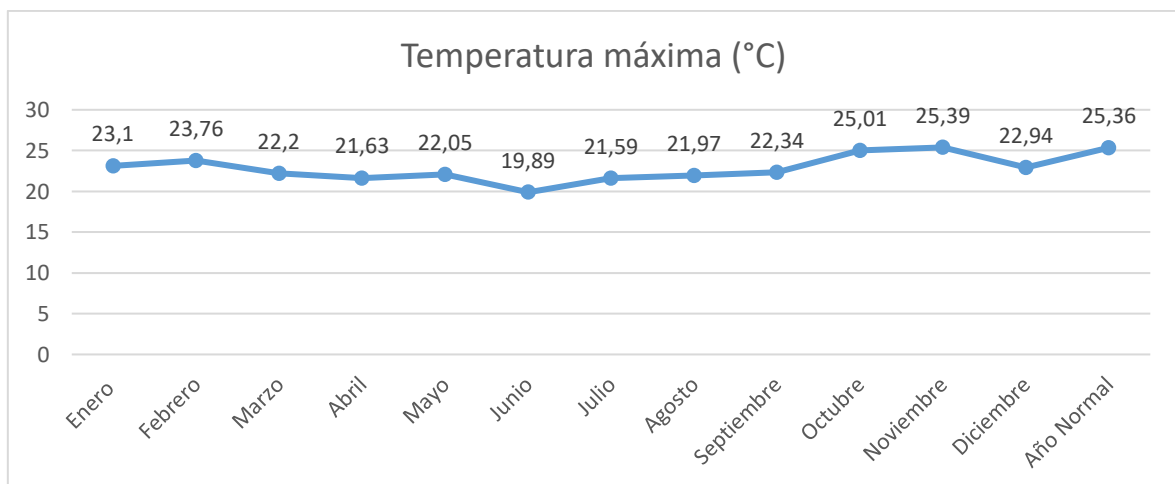


Figura 35: Temperatura máximas

Fuente: Elaboración Propia

El comportamiento térmico en la zona de intervención presenta variaciones suaves a lo largo del año, lo cual es característico del clima templado andino de Cuenca. La temperatura máxima promedio más baja se registra en el mes de junio con 19.89 °C, mientras que el pico más alto ocurre en noviembre con una media de 25.39 °C. El resto de los meses mantiene un rango relativamente estable entre los 21 °C y 23 °C.

Este comportamiento térmico evidencia una oscilación térmica moderada, lo que permite implementar estrategias pasivas de diseño sin necesidad de sistemas mecánicos complejos para controlar la temperatura interior. Además, estas condiciones son favorables para el confort térmico con el uso de materiales locales como la madera y el adobe, que presentan buen desempeño en climas templados.

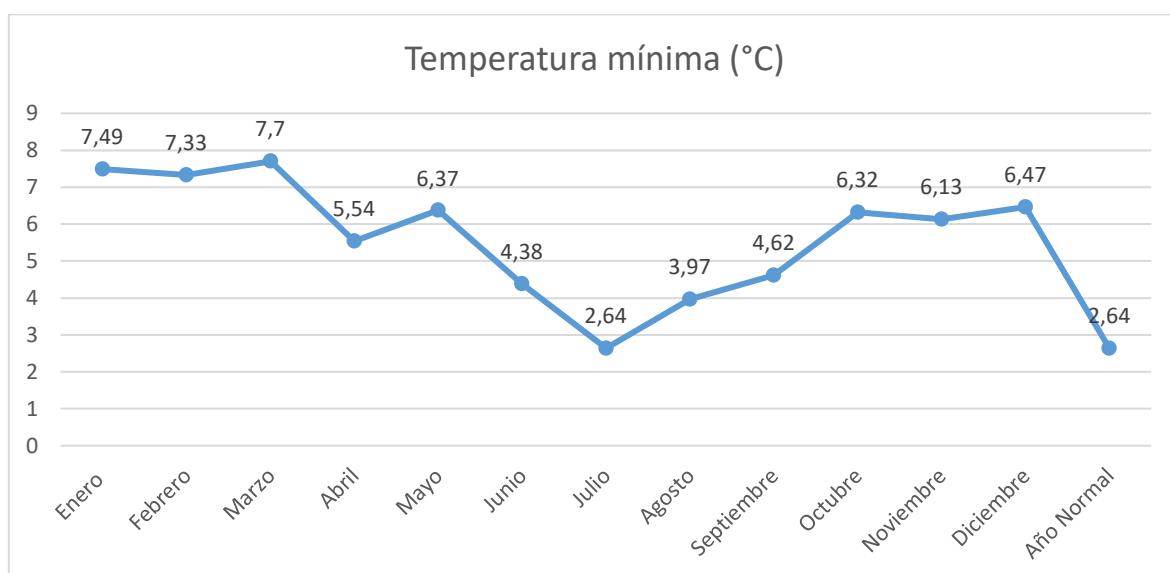


Figura 36: Temperatura mínimas

Fuente: Elaboración Propia

Las temperaturas mínimas en el sector El Arenal de la ciudad de Cuenca presentan una mayor variabilidad a lo largo del año en comparación con las máximas. El mes más frío es julio, con una temperatura mínima promedio de 2.64 °C, mientras que el valor más alto se registra en marzo, alcanzando los 7.7 °C. El resto del año muestra mínimas que fluctúan entre los 3.97 °C y los 7.49 °C.

Estas cifras evidencian la necesidad de estrategias de aislamiento térmico, especialmente en los meses más fríos, para evitar pérdidas de calor en el interior de los espacios habitables. La temperatura mínima tan baja como la de julio indica que durante la noche pueden generarse condiciones de incomodidad térmica si no se consideran materiales y soluciones adecuadas, como muros de gran inercia térmica o la incorporación de sistemas pasivos de ganancia solar.

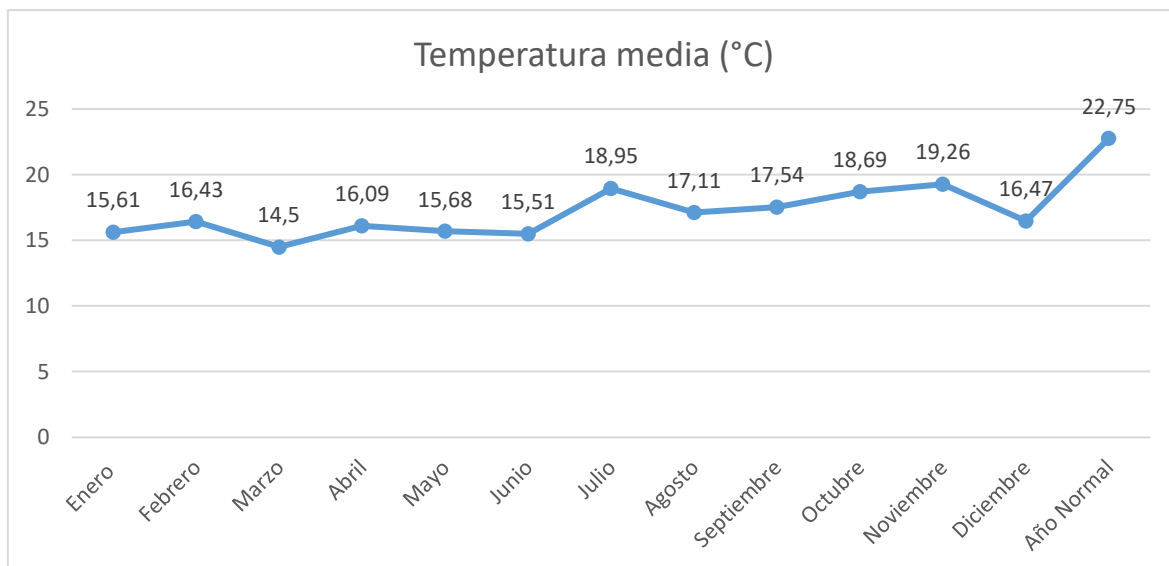


Figura 37: Temperatura media

Fuente: Elaboración Propia

La temperatura media anual en el sector El Arenal de Cuenca presenta un rango moderado, con variaciones que oscilan entre los 14.50 °C y los 19.26 °C. El mes con la temperatura media más baja es marzo, con 14.50 °C, mientras que la más alta se registra en noviembre, alcanzando los 19.26 °C. El resto de los meses se mantienen dentro de un rango promedio que va desde los 15.61 °C hasta los 18.69 °C.

Estas condiciones térmicas medias reflejan un clima templado a lo largo del año, lo que permite el uso efectivo de estrategias bioclimáticas pasivas. El confort térmico puede lograrse mediante una adecuada orientación del proyecto, la ventilación cruzada, y el uso de materiales de construcción con propiedades térmicas acordes al entorno. Esta temperatura promedio relativamente estable también permite minimizar el uso de sistemas activos de climatización, favoreciendo el diseño de edificaciones de baja demanda energética.

3.5.3. Amplitud térmica diaria

Durante todo el año, las temperaturas pueden variar hasta 15°C en un solo día, lo que requiere el uso de materiales con alta inercia térmica para equilibrar los cambios de temperatura.

Variaciones Diarias de Temperatura en Cuenca

Momento del Día	Temperatura Promedio	Diferencia Térmica
Mañana (6:00 - 10:00 AM)	8 - 12°C	Baja radiación solar, ambiente fresco.
Mediodía (12:00 - 2:00 PM)	22 - 24°C	Mayor radiación solar, riesgo de sobrecalentamiento.
Tarde (4:00 - 6:00 PM)	18 - 20°C	Descenso progresivo de la temperatura.
Noche (8:00 PM - 4:00 AM)	5 - 10°C	Pérdida de calor, temperaturas frías.

Tabla 13: Variaciones diarias de temperaturas en Cuenca

Fuente: Elaboración Propia

Impacto de la variación térmica en la arquitectura

- En las mañanas y noches, la temperatura baja requiere materiales con inercia térmica (adobe, piedra) para almacenar calor y liberarlo progresivamente.
- En las tardes y mediodía, la radiación solar puede ser intensa, por lo que es fundamental incorporar elementos de sombreado y ventilación pasiva.

3.5.4. Estrategias de Diseño para Regulación Térmica

TEMPERATURA HORARIA														
TEMPERATURA HORARIA														
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	AÑO	
TEMP. MAX	23,1	23,76	22,2	21,63	22,05	19,89	21,59	21,97	22,34	25,01	25,39	22,94	25,36	
TEMP. MEDIA	15,295	15,545	14,95	13,585	14,21	12,135	12,115	12,97	13,48	15,665	15,76	14,705	14	
TEMP. MIN.	7,49	7,33	7,7	5,54	6,37	4,38	2,64	3,97	4,62	6,32	6,13	6,47	2,64	
OSCILACION TERMICA	15,61	16,43	14,5	16,09	15,68	15,51	18,95	18	17,72	18,69	19,26	16,47	22,72	
HORAS	1:00 h	7,66	7,51	7,86	5,72	6,54	4,55	2,85	4,17	4,81	6,52	6,34	6,65	2,89
	2:00 h	8,16	8,04	8,33	6,24	7,05	5,05	3,46	4,75	5,39	7,13	6,96	7,18	3,62
	3:00 h	8,98	8,90	9,08	7,08	7,87	5,86	4,45	5,69	6,31	8,10	7,97	8,04	4,81
	4:00 h	10,07	10,05	10,10	8,20	8,96	6,95	5,77	6,95	7,55	9,41	9,32	9,19	6,40
	5:00 h	11,39	11,44	11,33	9,56	10,29	8,26	7,38	8,47	9,05	10,99	10,95	10,59	8,32
	6:00 h	7,49	7,33	7,70	5,54	6,37	4,38	2,64	3,97	4,62	6,32	6,13	6,47	2,64
	7:00 h	7,96	7,83	8,14	6,03	6,84	4,85	3,21	4,51	5,15	6,88	6,71	6,97	3,33
	8:00 h	9,32	9,25	9,40	7,42	8,20	6,19	4,86	6,08	6,69	8,51	8,38	8,40	5,30
	9:00 h	11,39	11,44	11,33	9,56	10,29	8,26	7,38	8,47	9,05	10,99	10,95	10,59	8,32
	10:00 h	13,94	14,12	13,69	12,19	12,85	10,79	10,47	11,41	11,94	14,04	14,09	13,28	12,03
	11:00 h	16,65	16,97	16,21	14,98	15,57	13,48	13,76	14,53	15,02	17,29	17,43	16,13	15,97
	12:00 h	19,20	19,65	18,58	17,61	18,13	16,01	16,85	17,47	17,91	20,34	20,58	18,82	19,68
	13:00 h	21,27	21,84	20,50	19,75	20,22	18,08	19,37	19,86	20,27	22,82	23,14	21,01	22,70
	14:00 h	22,63	23,26	21,76	21,14	21,58	19,42	21,02	21,43	21,81	24,45	24,81	22,44	24,67
	15:00 h	23,10	23,76	22,20	21,63	22,05	19,89	21,59	21,97	22,34	25,01	25,39	22,94	25,36
	16:00 h	22,93	23,58	22,04	21,45	21,88	19,72	21,38	21,77	22,15	24,81	25,18	22,76	24,67
	17:00 h	22,43	23,05	21,57	20,93	21,37	19,22	20,77	21,19	21,57	24,20	24,56	22,23	24,38
	18:00 h	21,61	22,19	20,82	20,09	20,55	18,41	19,78	20,25	20,65	23,23	23,55	21,37	23,19
	19:00 h	20,52	21,04	19,80	18,97	19,46	17,32	18,46	18,99	19,41	21,92	22,20	20,22	21,60
	20:00 h	19,20	19,65	18,58	17,61	18,13	16,01	16,85	17,47	17,91	20,34	20,58	18,82	19,68
	21:00 h	17,71	18,08	17,19	16,07	16,63	14,53	15,04	15,75	16,22	18,55	18,74	17,25	17,51
	22:00 h	16,11	16,40	15,71	14,43	15,03	12,95	13,11	13,91	14,41	16,64	16,77	15,57	15,19
	23:00 h	14,48	14,69	14,19	12,74	13,39	11,32	11,12	12,03	12,55	14,69	14,75	13,84	12,81
	24:00 h	12,88	13,01	12,71	11,10	11,79	9,74	9,19	10,19	10,74	12,78	12,78	12,16	10,49

Figura 38: Temperatura Horaria

Fuente: Elaboración Propia

Las temperaturas más bajas se registran entre las 2:00 a.m. y las 6:00 a.m., con valores que en ciertos meses descienden hasta cerca de los 2.85 °C (mes más frío). Esto sugiere que el enfriamiento nocturno es considerable, por lo que será fundamental considerar el aislamiento térmico adecuado para conservar el calor interior durante la noche.

A partir de las 7:00 a.m., se observa un aumento progresivo de la temperatura, llegando a valores templados hacia las 11:00 a.m. y mediodía. Esto indica que la radiación solar matutina tiene un impacto térmico favorable, lo cual es útil para estrategias de ganancia solar pasiva, sobre todo en fachadas orientadas al este.

Las horas más cálidas se presentan entre las 13:00 y las 16:00, alcanzando temperaturas que rondan o superan los 25 °C en los meses más cálidos (como noviembre). Esto es crucial para

el diseño de sombreados efectivos en fachadas oeste y sur, así como para la implementación de ventilación cruzada durante esas horas.

Desde las 17:00 hasta las 21:00 horas, las temperaturas descienden de forma paulatina. Aunque todavía se mantienen confortables, el descenso sugiere que puede aprovecharse para refrescar naturalmente los espacios interiores y disipar el calor acumulado.

La diferencia entre temperaturas mínimas y máximas horarias es significativa, especialmente en meses intermedios como mayo o septiembre. Este contraste térmico diario debe considerarse al seleccionar materiales con inercia térmica adecuada que regulen las fluctuaciones y mantengan el confort térmico.

Uso de Materiales Térmicos

El diseño debe considerar materiales que contribuyan a la estabilidad térmica del edificio, minimizando los efectos de la fluctuación de temperatura.

Adobe:

- Alta capacidad de almacenamiento térmico (Martínez, 2018).
- Regula la temperatura al absorber calor durante el día y liberarlo gradualmente por la noche (Givoni, 1998).
- Reducción de la dependencia de sistemas de calefacción y refrigeración.

Madera:

- Baja conductividad térmica, lo que permite evitar la transferencia rápida de calor.
- Su uso en cubiertas y revestimientos contribuye a mantener temperaturas interiores equilibradas (Koenigsberger et al., 2013).

Tejas de barro:

- Aportan aislamiento térmico y favorecen la disipación del calor acumulado en la cubierta.
- Combinadas con ventilación en techos, permiten evitar el sobrecalentamiento (Santamouris y Kolokotsa, 2016).

3.5.5. Inercia Térmica del Adobe y su Aplicación

La inercia térmica es clave en la arquitectura bioclimática, permitiendo mitigar variaciones extremas de temperatura en interiores.

- Espesor de muros de adobe recomendado: 40-50 cm para una mejor regulación térmica (Olgay, 2015).
- Ubicación estratégica: Muros expuestos al sol en el día acumulan calor y lo liberan gradualmente en la noche.

- Combinación con otros materiales: Se puede complementar con yeso de cal para mejorar la absorción de humedad y evitar condensaciones.

3.5.6. Estrategias Complementarias de Confort Térmico

Aprovechamiento de la ventilación natural:

- Disposición de aberturas para promover el flujo de aire fresco en verano y minimizar la ganancia térmica en invierno.
- Uso de patios interiores como reguladores térmicos.

Protección solar y sombreados:

- Incorporación de aleros, pérgolas y vegetación para minimizar la radiación solar directa en fachadas expuestas.
- Árboles de hoja caduca en el lado oeste y suroeste para proporcionar sombra en verano y permitir el paso del sol en invierno (Indian Roads Congress, 2021).

Variaciones Diarias

Las fluctuaciones térmicas entre el día y la noche influyen en la elección de materiales y estrategias pasivas. En zonas con alta amplitud térmica, los edificios deben diseñarse para regular estas variaciones sin comprometer el confort térmico.

3.6. Niveles de Precipitación Anual en Cuenca, Ecuador

3.6.1. Promedio Anual de Precipitación en Cuenca

Cuenca tiene un régimen de lluvias significativo, con un promedio anual de aproximadamente 1,000 mm de precipitación. Sin embargo, la cantidad de lluvia varía a lo largo del año debido a la influencia de los Andes y la circulación atmosférica en la región.

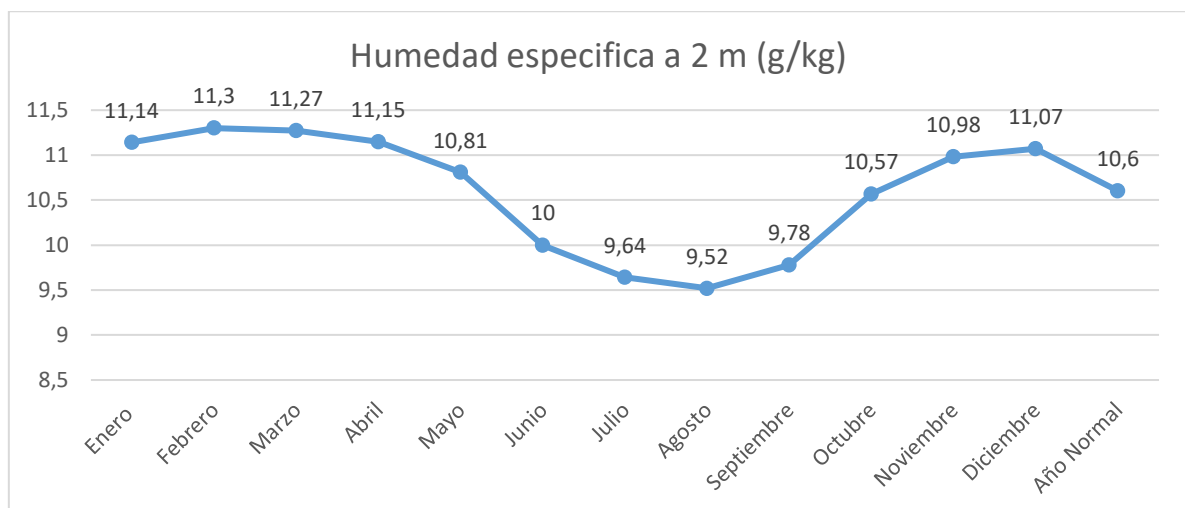


Figura 39: Humedad específica a 2m

Fuente: Elaboración propia

La humedad específica a 2 metros sobre el nivel del suelo representa la cantidad de vapor de agua presente en el aire por cada kilogramo de aire seco, expresada en gramos por kilogramo (g/kg). Este parámetro es esencial en el análisis climático ya que influye directamente en la sensación térmica, la capacidad de evaporación y el confort térmico en el entorno construido.

Durante el año, se observa una ligera variación en los niveles de humedad específica en el área de estudio. El mes de febrero presenta el valor más alto, con 11.30 g/kg, indicando una atmósfera más cargada de humedad. Por el contrario, el mes de agosto registra el valor más bajo, con 9.52 g/kg, lo cual puede relacionarse con una mayor sequedad en el ambiente y posibles condiciones más frescas o de menor nubosidad.

El resto de los meses mantiene una variación moderada, oscilando entre 11.27 y 9.64 g/kg, lo que refleja un comportamiento relativamente estable a lo largo del año. Este comportamiento permite prever un clima húmedo constante, con meses puntuales de mayor evaporación y menor retención de humedad, factores que deberán considerarse en el diseño bioclimático del proyecto, especialmente en lo relacionado con ventilación natural, control de condensación y estrategias pasivas de enfriamiento.

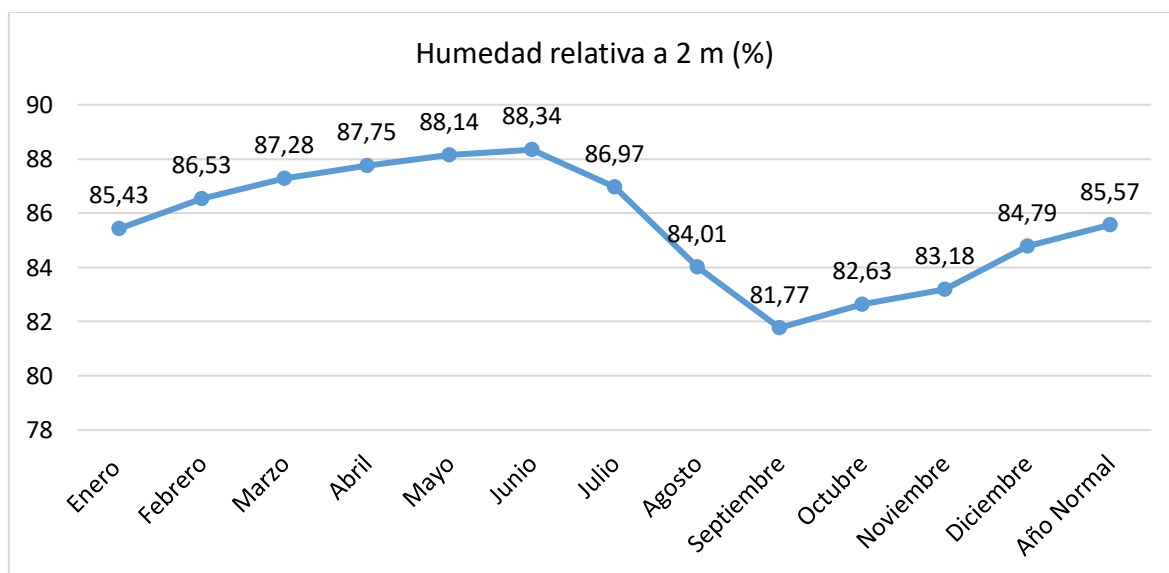


Figura 40: Humedad Relativa a 2m

Fuente: Elaboración propia

La humedad relativa es un indicador del porcentaje de vapor de agua presente en el aire con respecto al máximo que este puede contener a una temperatura dada. A nivel de 2 metros sobre el suelo, este valor es determinante para evaluar el confort térmico, la ventilación natural y el comportamiento higrotérmico de los materiales de construcción.

Durante el año, los niveles de humedad relativa en el sitio de estudio muestran una oscilación suave pero significativa. El valor más alto se registra en el mes de junio, alcanzando un 88.34%, lo que indica condiciones muy húmedas, posiblemente relacionadas con mayor nubosidad

y menor oscilación térmica diurna. En contraste, el mes más seco es septiembre, con un valor de 81.74%, lo que sigue siendo un nivel relativamente alto, manteniendo un entorno húmedo incluso en los periodos de menor saturación.

El resto de los meses se mantiene en un rango estable entre 88.14% y 82.63%, lo que evidencia un clima predominantemente húmedo a lo largo del año. Este comportamiento sugiere la necesidad de estrategias de diseño que favorezcan la ventilación cruzada, el control de la condensación en materiales porosos y la elección de acabados resistentes a la humedad. Además, es crucial considerar estos datos para minimizar patologías en edificaciones y asegurar un ambiente interior saludable.

Variación Estacional: Época Seca vs. Época Lluviosa

HUMEDAD HORARIA													
ESTIMACION DE HUMEDADES RELATIVAS HORARIAS MEDIAS MENSUALES, A PARTIR DE MEDIAS EXTREMAS.													
Localidad	Cuenca	lat. (xx.x)	-2.90	Long.(xxx.x)	-79.03	Altitud (m)	2572						
Esta hoja de cálculo estima la HR media horaria mensual a partir de los valores promedio de máxima y de mínima.													
Los valores de HR max y HR min pueden ser calculados a partir de la media en el caso de no contar con los valores observados.													
¿Desea utilizar valores observados? (Sí / No): no													
Si no cuenta con los valores de la HR media, éstos pueden ser estimados a partir de la temp. mínima.													
¿Cuenta con los valores observados? (Sí / No): no													
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	
Temp max	23.1	23.76	22.2	21.63	22.05	19.89	21.59	21.97	22.34	25.01	25.39	22.94	
Temp med	15.3	15.5	15.0	13.6	14.2	12.1	12.1	13.0	13.5	15.7	15.8	14.7	
Temp min	7.49	7.33	7.7	5.54	6.37	4.38	2.64	3.97	4.62	6.32	6.13	6.47	
H R max observ													
H R min observ													
H R med calc	58	56	60	58	58	61	57	56	56	53	52	57	
H R max calc	80	79	82	82	81	85	83	81	80	76	76	80	
H R min calc	35	34	38	35	35	37	31	32	32	29	29	34	
Hora max	5,925	5,954	5,990	6,032	6,066	6,083	6,076	6,048	6,008	5,967	5,933	5,917	
Hora min	13,335	13,454	12,820	13,702	13,656	13,993	13,326	13,548	13,598	13,137	13,433	13,167	
Hora (TSV)													
0:00	70	69	72	71	70	73	70	69	69	65	65	69	
1:00	72	71	74	73	72	75	73	72	71	67	67	71	
2:00	74	72	75	74	74	77	75	73	73	69	68	73	
3:00	75	74	77	76	75	79	76	75	74	71	70	74	
4:00	76	75	78	77	77	80	78	76	76	72	71	75	
5:00	77	76	79	78	78	81	79	77	77	73	72	76	
6:00	80	79	82	79	78	82	80	78	77	76	76	80	
7:00	77	76	79	79	79	82	80	78	77	73	72	76	
8:00	68	67	70	70	70	73	70	69	68	64	63	67	
9:00	57	56	60	59	59	62	58	57	56	53	51	56	
10:00	48	46	51	49	49	62	47	47	46	43	42	46	
11:00	41	39	44	41	42	44	38	39	38	35	34	39	
12:00	37	35	39	37	37	39	33	34	34	31	30	35	
13:00	35	34	38	35	36	37	31	32	32	30	29	34	
14:00	36	35	39	36	36	38	32	33	33	30	30	35	
15:00	39	37	41	38	38	40	34	35	35	33	32	37	
16:00	42	40	44	41	42	43	38	39	39	36	36	41	
17:00	46	44	48	46	46	48	43	43	43	41	40	45	
18:00	50	49	52	50	50	52	47	48	48	45	44	49	
19:00	54	53	56	54	54	56	52	52	52	49	48	53	
20:00	58	57	60	58	58	61	57	56	56	53	52	57	
21:00	62	60	64	62	62	64	61	60	60	57	56	61	
22:00	65	63	67	65	65	68	65	64	63	60	59	64	
23:00	68	66	69	68	68	71	68	67	66	63	62	67	
Promedio %HR horario													
													69
													71
													73
													75
													76
													77
													79
													77
													68
													57
													48
													40
													35
													34
													34
													37
													40
													44
													49
													53
													57
													61
													64
													67
Promedio anual													
% HR Promedio mensual	59	57	61	59	59	62	58	57	57	54	53	58	58

Figura 41: Humedad Horaria

Fuente: Elaboración propia

Se observa un mayor porcentaje de humedad relativa en horas de la madrugada y primeras horas de la mañana, con valores promedio entre 69% y 79% desde las 00:00 hasta las 07:00. Esto se debe a la menor temperatura ambiente durante la noche, lo que incrementa la saturación del aire.

A partir de las 09:00 hasta las 17:00, los niveles de humedad disminuyen significativamente, con mínimos que rondan entre 30% y 48%, reflejando el efecto del calentamiento solar y el aumento de temperatura, que reduce la capacidad del aire de retener humedad relativa. Desde las 18:00 en adelante, la humedad empieza a recuperarse gradualmente, alcanzando nuevamente valores entre 54% y 70% hacia la noche.

La humedad relativa más baja se presenta alrededor de las 14:00 a 15:00, con promedios horarios cercanos al 33%-37%, lo cual sugiere un periodo de mayor sequedad del ambiente y condiciones de mayor evaporación superficial.

El promedio anual de la humedad relativa horaria es de 58%, lo cual clasifica al clima de la zona como moderadamente húmedo, influenciado por un régimen térmico de oscilaciones suaves.

- Época lluviosa (invierno): Se extiende de febrero a mayo, con los meses más lluviosos en marzo y abril. Durante este período, las precipitaciones son frecuentes y de intensidad variable.
- Época seca (verano): Abarca de junio a septiembre, con agosto y septiembre como los meses más secos. Sin embargo, no es completamente árida, ya que Cuenca tiene un clima templado y húmedo.

3.6.2. Diferencias entre Zonas Altas y Bajas

- Zonas Altas (ej. Parque Nacional Cajas y alrededores): Presentan una mayor cantidad de lluvia anual debido a la condensación del aire húmedo en las montañas.
- Zonas Bajas (ej. centro urbano y valle de Cuenca): Tienden a recibir menos precipitación en comparación con las zonas elevadas, aunque la diferencia no es extrema.

Relación con el Diseño Arquitectónico y la Gestión del Agua

- Diseño de Cubiertas y Drenaje: En Cuenca, los techos deben considerar pendientes adecuadas para facilitar la evacuación del agua de lluvia. El uso de canales y bajantes pluviales eficientes es esencial para evitar acumulaciones y filtraciones.
- Sistemas de Captación de Agua: Dado que la ciudad tiene una precipitación significativa, es viable la implementación de techos captadores de agua de lluvia para su reutilización en riego, limpieza o incluso para filtración y consumo.
- Materiales de Construcción: La elección de materiales resistentes a la humedad es clave en el diseño arquitectónico local, evitando problemas como la proliferación de hongos y la degradación por humedad.

3.6.3.Estrategias de Captación y Reutilización de Agua de Lluvia en Cuenca

Objetivo: Proponer soluciones arquitectónicas para la captación y reutilización del agua de lluvia, con el fin de mitigar problemas de escasez o exceso de agua, optimizando el diseño sostenible del Centro de Integración Comunitaria con Cero Huella de Carbono.

Sistemas de Captación de Agua de Lluvia

Principio: Consiste en recolectar el agua de lluvia desde las cubiertas de las edificaciones, canalizarla y almacenarla para su posterior uso.

Ejemplos de Implementación:

Cubiertas captadoras inclinadas: Facilitan la recolección eficiente del agua y evitan acumulaciones innecesarias.

Canalización con filtros de hojas y sedimentos: Impide que impurezas lleguen al sistema de almacenamiento.

Almacenamiento en tanques pluviales: Dependiendo del volumen de lluvia en Cuenca, se pueden utilizar tanques subterráneos o elevados.

Factibilidad en Cuenca:

- Promedio de precipitación anual: Aproximadamente 1000-1200 mm.
- Época de mayor lluvia: Entre marzo y mayo.
- Uso recomendado: Para riego, sistemas sanitarios y limpieza.

Reutilización del Agua en Edificaciones

Objetivo: Aprovechar el agua captada en distintas funciones dentro del edificio.

Opciones de reutilización:

- Riego de áreas verdes: Uso de agua sin tratamiento para jardines y techos verdes.
- Descargas sanitarias: Sistemas de doble tubería permiten el uso de agua reciclada en inodoros y urinarios.
- Filtrado para consumo humano: Se pueden instalar filtros de carbón activado y sistemas de osmosis inversa para potabilización.

Ejemplo en Cuenca: En la Universidad del Azuay ya se han implementado sistemas de reutilización de agua de lluvia para riego y limpieza.

Permeabilidad del Suelo y Drenajes Sostenibles

Importancia: Permitir que el agua se infiltre de manera natural ayuda a reducir el riesgo de inundaciones y mejora la recarga de acuíferos.

Estrategias aplicables:

- Pavimentos permeables: Materiales como adoquines filtrantes o suelo estabilizado permiten el paso del agua.
- Sistemas de infiltración natural: Zanjas de infiltración o jardines de lluvia evitan el escurrimiento superficial excesivo.
- Biodrenajes: Uso de vegetación que absorbe el agua y reduce la erosión.

Aplicabilidad en el Centro Comunitario: Permitiría una gestión sostenible del agua en patios y áreas exteriores.

Impacto en la huella de carbono

Beneficios ambientales de estas estrategias:

- Reducción del consumo de agua potable. Disminuye la energía utilizada en la distribución del agua.
- Menor carga en sistemas de alcantarillado. Evita desbordes y sobrecarga de infraestructura.
- Aprovechamiento del ciclo natural del agua. Disminuye la necesidad de bombeo y tratamiento industrial.

3.7. Estudio de materiales locales y técnicas constructivas

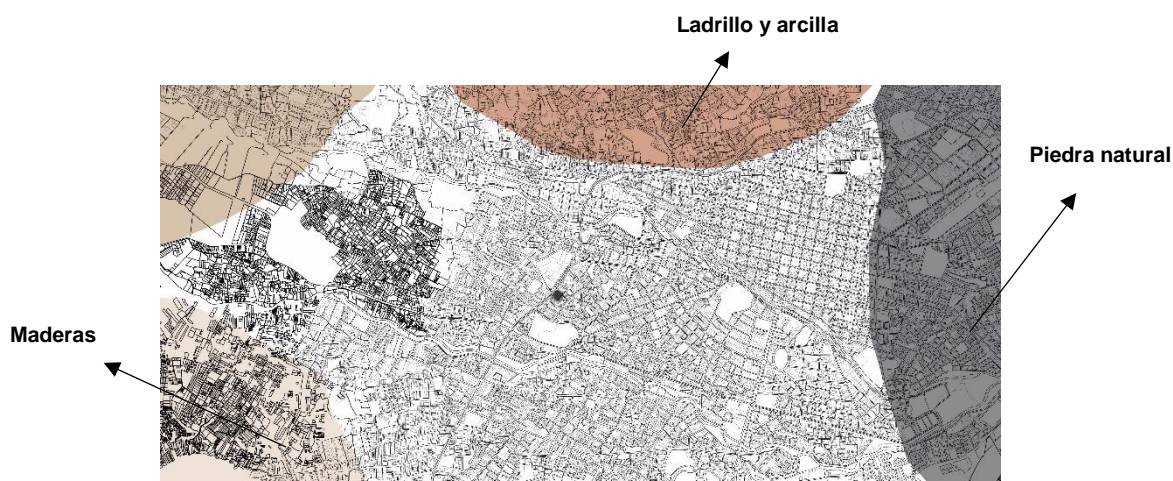


Figura 42: Estudio de materiales locales y técnicas constructivas

Fuente: Elaboración propia

3.7.1. Materiales disponibles en la zona

La utilización de materiales locales en proyectos de construcción sostenible es fundamental para reducir el impacto ambiental, ya que disminuye la huella de carbono asociada al transporte y fomenta la economía local. En el contexto de la ciudad de Cuenca, Ecuador, la disponibilidad de materiales naturales y tradicionales ofrece una oportunidad única para desarrollar un Centro de Integración Comunitaria con un enfoque de cero huella de carbono. Este apartado

tiene como objetivo identificar y analizar los materiales de construcción disponibles en la región, sus características, ventajas ambientales y posibles limitaciones.

a. Empresas que disponen del material.

Nombre de la empresa: FALCO Fábrica de Ladrillos

Ubicación:

La fábrica se encuentra ubicada en el sector de Racar, al oeste de la ciudad de Cuenca, en la provincia del Azuay. El acceso principal se realiza a través de la vía El Carmen, una arteria vial de importancia que conecta directamente con la zona urbana. El terreno destinado para la implantación de la fábrica se localiza a aproximadamente 6 kilómetros de distancia del terreno, lo que facilita la conectividad logística sin alejarse del área metropolitana. Sus coordenadas geográficas son -2.845960209466693, -79.03827524476792, lo cual permite su fácil localización y georreferenciación para fines técnicos y administrativos.

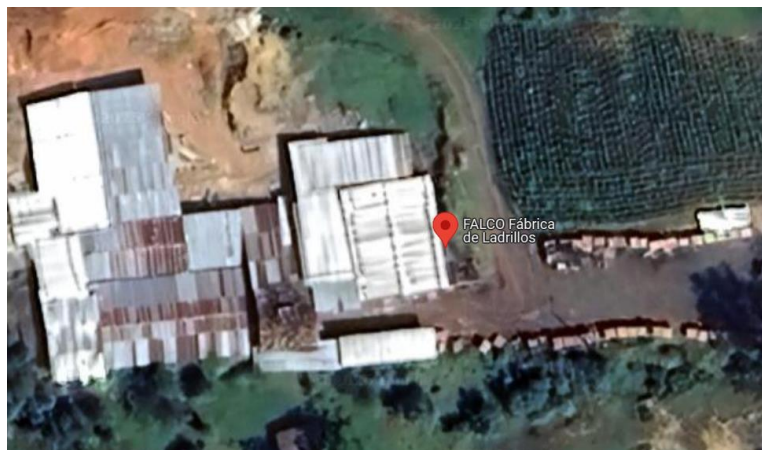


Figura 43: Ubicación de la fábrica de ladrillos

Fuente: Google maps



Figura 44: Ladrillera falco

Fuente: Google maps

Nombre de la empresa: Productora Jugaconstrucciones, Venta de piedra de cantera

Ubicación:

La fábrica se encuentra ubicada en el sector de San Joaquín, al oeste de la ciudad de Cuenca, en la provincia del Azuay. El acceso principal se realiza a través de la vía Cuenca–Molleturo–Naranjal, una ruta estratégica que facilita la conexión directa con otras zonas productivas y urbanas. El terreno destinado para la implantación de la fábrica se localiza a una distancia aproximada de 4.50 kilómetros del centro urbano, lo que garantiza una adecuada accesibilidad sin comprometer la operatividad. Las coordenadas geográficas del sitio son -2.8882248552215097, -79.06429714608811, permitiendo su precisa identificación y localización cartográfica.

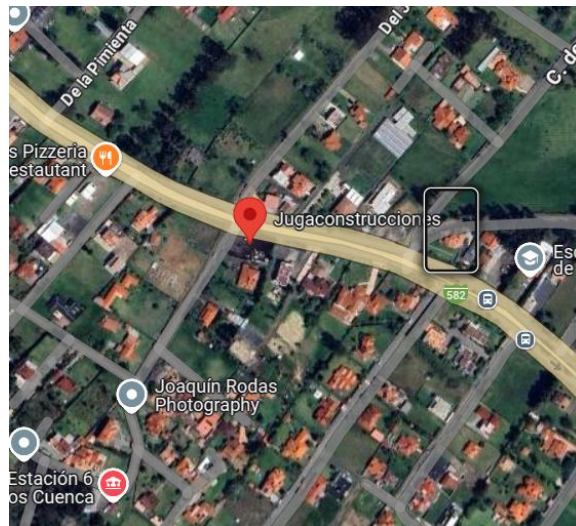


Figura 45: Ubicación de juga construcciones

Fuente: Google maps



Figura 46: Juga construcciones

Fuente: Elaboración Propia

Nombre de la empresa: Maderas del austro. Madera para la estructura y acabados

Ubicación:

La fábrica se encuentra ubicada en el sector de Miraflores, en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay. El acceso principal se realiza por la avenida de las Américas, una vía arterial que conecta eficientemente con distintas zonas urbanas y periféricas de la ciudad. El terreno destinado para la implantación de la fábrica se sitúa a una distancia aproximada de 4.00 kilómetros, lo que facilita la logística de transporte y distribución. Las coordenadas geográficas del sitio son -2.885344483306044, -78.99490364259512, lo cual permite su localización exacta en mapas o sistemas de información geográfica.



Figura 47: Ubicación del fabricante de madera

Fuente: Google maps

b. Identificación de Materiales

En el área geográfica correspondiente al cantón Cuenca, ubicado en la provincia del Azuay, existen diversos materiales de construcción que han sido utilizados históricamente y que siguen siendo relevantes por su disponibilidad local y su bajo impacto ambiental. Entre los principales materiales tradicionales se encuentran:

- **Madera:** Proveniente de bosques locales y plantaciones sostenibles.
- **Adobe:** Material tradicional compuesto por tierra, arcilla y paja.
- **Ladrillos de arcilla:** Producidos localmente a partir de arcilla cocida.
- **Piedra:** Extraída de canteras cercanas, utilizada en cimentaciones y muros.
- **Paja y fibras naturales:** Utilizadas como refuerzo en construcciones de tierra.
- **Tierra compactada (tapial):** Técnica tradicional que utiliza tierra apisonada para muros.

Características de los Materiales

Madera:

- **Propiedades físicas:** Ligera, fácil de trabajar y con buena resistencia a la flexión.
- **Propiedades térmicas:** Excelente aislante térmico, regula la humedad y la temperatura interior.
- **Propiedades mecánicas:** Alta resistencia en relación a su peso, pero susceptible a la humedad y plagas si no se trata adecuadamente.

Adobe:

- **Propiedades físicas:** Material denso y pesado, con buena inercia térmica.
- **Propiedades térmicas:** Regula la temperatura interior, manteniendo frescos los espacios en climas cálidos.
- **Propiedades mecánicas:** Resistente a la compresión, pero vulnerable a la humedad y los sismos si no se refuerza adecuadamente.

Ladrillos de arcilla:

- **Propiedades físicas:** Duros y duraderos, con buena resistencia al fuego.
- **Propiedades térmicas:** Moderado aislamiento térmico, dependiendo de su densidad.
- **Propiedades mecánicas:** Alta resistencia a la compresión, pero frágiles ante impactos.

Piedra:

- **Propiedades físicas:** Extremadamente duradera y resistente.
- **Propiedades térmicas:** Alta inercia térmica, ideal para climas con variaciones de temperatura.
- **Propiedades mecánicas:** Excelente resistencia a la compresión, pero pesada y difícil de trabajar.

Paja y fibras naturales:

- **Propiedades físicas:** Livianas y flexibles, utilizadas como refuerzo en construcciones de tierra.
- **Propiedades térmicas:** Excelente aislamiento térmico y acústico.
- **Propiedades mecánicas:** Baja resistencia individual, pero efectivas como refuerzo en mezclas.

Tierra compactada (tapial):

- **Propiedades físicas:** Denso y pesado, con alta inercia térmica.
- **Propiedades térmicas:** Regula la temperatura interior de manera eficiente.

- **Propiedades mecánicas:** Resistente a la compresión, pero requiere refuerzos en zonas sísmicas.

c. Ventajas Ambientales

El uso de materiales locales en la construcción del Centro de Integración Comunitaria ofrece múltiples ventajas ambientales, entre las que destacan:

- **Reducción de la huella de carbono:** Al utilizar materiales disponibles en la región, se minimiza la energía y las emisiones asociadas al transporte de larga distancia.
- **Menor energía incorporada:** Materiales como el adobe, la tierra compactada y el bambú requieren menos energía en su producción en comparación con materiales industrializados como el acero o el concreto.
- **Sostenibilidad:** Materiales como el bambú y la madera son renovables y pueden ser cultivados de manera sostenible.
- **Integración con el entorno:** Los materiales locales armonizan visual y culturalmente con el paisaje y la arquitectura tradicional de Cuenca.
- **Fomento de la economía local:** El uso de materiales locales promueve la creación de empleo y el desarrollo de cadenas de suministro regionales.

Limitaciones

A pesar de sus ventajas, el uso de materiales locales también presenta ciertos desafíos y limitaciones que deben ser considerados:

- **Disponibilidad:** Algunos materiales pueden tener una disponibilidad limitada debido a la sobreexplotación o a normativas ambientales (por ejemplo, la madera de bosques nativos).
- **Resistencia y durabilidad:** Materiales como el adobe y la tierra compactada pueden ser vulnerables a la humedad y a eventos sísmicos si no se refuerzan adecuadamente.
- **Normativas locales:** Las regulaciones de construcción pueden restringir el uso de ciertos materiales o técnicas tradicionales.
- **Mano de obra especializada:** Algunas técnicas constructivas, como el tapial o la construcción con bambú, requieren mano de obra capacitada, que puede no estar siempre disponible.
- **Percepción cultural:** En algunos casos, los materiales tradicionales pueden ser percibidos como menos modernos o de menor estatus, lo que puede afectar la aceptación del proyecto por parte de la comunidad.

3.8. Normativas Locales

Normativa / Categoría	Requisitos / Implicaciones	Aplicación a Materiales Locales
Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC)		

Resistencia Sísmica	<ul style="list-style-type: none"> - Todas las edificaciones deben cumplir normas de diseño sismo resistente. - Refuerzo obligatorio en zonas de alto riesgo sísmico. 	<ul style="list-style-type: none"> - El adobe debe ser reforzado con mallas metálicas, fibras o estructuras de madera. - Uso de ladrillo estructural reforzado en muros portantes. - La madera debe cumplir normas de resistencia y protección.
Eficiencia Energética	<ul style="list-style-type: none"> - Se exige el uso de aislamiento térmico, ventilación cruzada y aprovechamiento de luz natural. 	<ul style="list-style-type: none"> - El adobe y la piedra tienen alta inercia térmica natural. - La madera permite buena ventilación y es aislante.
Accesibilidad Universal	<ul style="list-style-type: none"> - Rampas, pasillos y entradas deben cumplir estándares para personas con movilidad reducida. 	<ul style="list-style-type: none"> - El diseño con materiales locales debe adaptarse sin comprometer accesibilidad. - Pavimentos estables y resistentes.
Normas de Sostenibilidad Ambiental (Municipales)	<ul style="list-style-type: none"> - Fomentan el uso de materiales de bajo impacto, reciclables o naturales. - Incentivos para construcciones con bajo consumo energético y bajo CO₂. 	<ul style="list-style-type: none"> - Adobe: material biodegradable y de baja huella de carbono. - Madera: debe provenir de bosques sostenibles. - Ladrillo artesanal: menor energía incorporada que los industriales.
Preservación del Patrimonio Constructivo	<ul style="list-style-type: none"> - Promoción del uso de técnicas tradicionales en zonas patrimoniales o rurales. - Restricciones en el uso de materiales industrializados en ciertas zonas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Recuperación de técnicas vernáculas con adobe y tapial. - Uso de madera local trabajada artesanalmente.
Normas Técnicas Complementarias (INEN - NTE INEN)	<ul style="list-style-type: none"> - Las construcciones con materiales naturales deben cumplir estándares técnicos específicos según el material (resistencia, absorción, durabilidad, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> - Adobe: NTE INEN 3009 - Ladrillo cerámico: NTE INEN 3068 - Madera estructural: NTE INEN 1108 y 1109

Tabla 14: Normativa local de Cuenca

Fuente y elaboración: Municipio de Cuenca, 2021

3.9. Participación Comunitaria

3.9.1. Uso de Materiales Locales:

Las normativas locales en Cuenca fomentan activamente el uso de materiales disponibles en la región, como el adobe, la piedra y la madera. Esta medida busca reducir el impacto ambiental asociado al transporte de insumos desde otras zonas, promoviendo así una arquitectura más sostenible y adaptada al contexto. Además, los proyectos que adoptan este enfoque pueden acceder a beneficios fiscales, tales como exenciones de impuestos o subsidios, lo que incentiva aún más su implementación (Municipio de Cuenca, 2020).

En línea con este objetivo de sostenibilidad, también se promueve el uso de técnicas constructivas de bajo impacto ambiental. Entre estas se destacan aquellas que minimizan el consumo energético y de agua, como la construcción con tierra compactada o la incorporación de tecnologías como paneles solares. Un ejemplo significativo es el proyecto de viviendas sociales en Cuenca, que ha sido reconocido por utilizar adobe y techos verdes, demostrando un compromiso real con la reducción del impacto ambiental en el entorno urbano (González, 2018).

La preservación del patrimonio histórico y cultural es otro eje fundamental en el desarrollo de proyectos arquitectónicos en esta ciudad. Las nuevas construcciones deben respetar el carácter tradicional del entorno, lo que implica utilizar materiales y técnicas vernáculos, muchas veces heredadas de generaciones pasadas. En este sentido, el uso de adobe, piedra y madera no solo se considera adecuado, sino que es preferido en áreas históricas, siempre que cumpla con los estándares de seguridad exigidos para garantizar la estabilidad de las edificaciones (UNESCO, 1999). Asimismo, los proyectos deben integrarse armónicamente tanto visual como funcionalmente con el entorno urbano y natural. Esta exigencia cobra especial relevancia en propuestas como la del Centro de Integración Comunitaria, cuyo diseño debe responder no solo a las necesidades sociales, sino también al paisaje y a la identidad arquitectónica local (Municipio de Cuenca, 2020).

Por último, la participación comunitaria es un componente esencial en la planificación y ejecución de proyectos, sobre todo en contextos patrimoniales. Involucrar a la comunidad en las distintas etapas del proceso no solo mejora la aceptación del proyecto, sino que también fortalece su sostenibilidad a largo plazo, ya que incorpora conocimientos locales, valores culturales y un sentido de pertenencia compartido (Chambers, 1994).

3.9.2. Uso de mano de obra local:

La contratación de mano de obra local para la construcción del Centro de Integración Comunitaria no solo representa una estrategia eficaz para reducir costos, sino que también constituye una herramienta clave para dinamizar la economía de la comunidad y fortalecer el tejido social del entorno (González, 2018). Al utilizar materiales locales y técnicas tradicionales, se generan múltiples beneficios socioeconómicos, entre ellos la creación de empleo en actividades como la extracción, producción y construcción, lo que contribuye a reducir el desempleo y mejorar la calidad de vida de las familias involucradas. Esta dinámica, a su vez, fomenta la economía local al inyectar recursos directamente en la comunidad, fortaleciendo las cadenas de suministro y reduciendo la dependencia de materiales importados (Minke, 2012). Además, la preservación de prácticas constructivas ancestrales, como el uso de adobe o la carpintería tradicional, no solo enriquece el patrimonio arquitectónico de Cuenca, sino que también fortalece la identidad cultural y favorece su transmisión intergeneracional (UNESCO, 1999).

Para garantizar que el proyecto responda efectivamente a las necesidades de la población, se propone establecer un sistema de retroalimentación continua con la comunidad durante todas las fases del proceso, lo que permitirá identificar de manera temprana posibles problemáticas y realizar los ajustes necesarios en el diseño (Chambers, 1994). Esta integración de saberes locales, recursos

autóctonos y participación activa asegura una sostenibilidad a largo plazo, ya que los materiales y técnicas empleados suelen ser más accesibles y económicos, lo que facilita tanto el mantenimiento como la replicabilidad del modelo en otros contextos similares (Bribián et al., 2011).

3.10. Mano de obra local y factibilidad constructiva

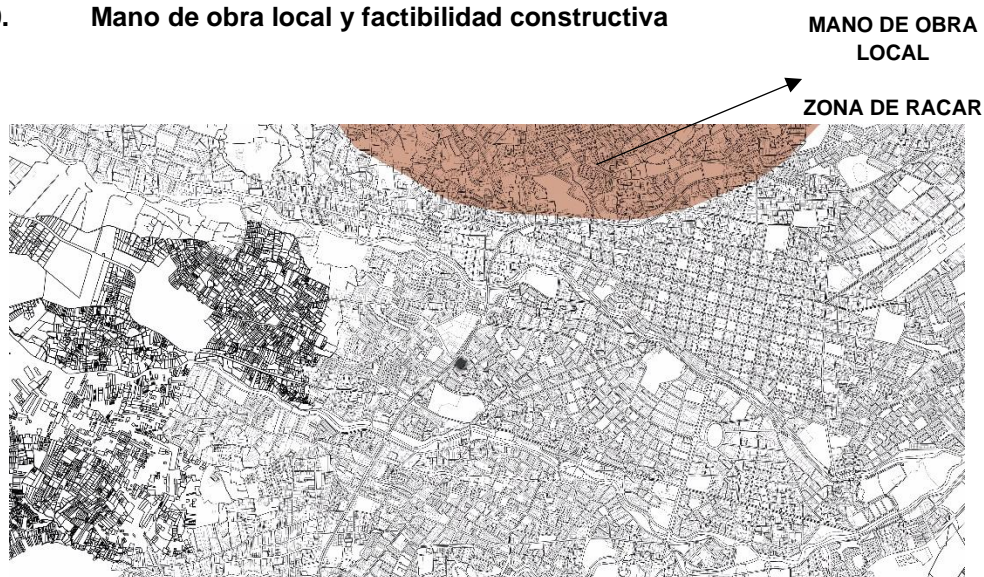


Figura 48: Mano de obra local

Fuente: Elaboración propia

La mano de obra local es un pilar fundamental en proyectos de construcción sostenible, ya que no solo contribuye a la reducción de costos, sino que también fomenta la economía regional y fortalece el tejido social. En el contexto del Centro de Integración Comunitaria en Cuenca, el uso de materiales y técnicas locales requiere de una mano de obra capacitada y comprometida con los principios de sostenibilidad. Además, la factibilidad constructiva del proyecto está directamente relacionada con la disponibilidad de trabajadores calificados y la viabilidad técnica de las soluciones propuestas. Este apartado analiza la disponibilidad de mano de obra local, la necesidad de capacitación, la factibilidad constructiva y los beneficios socioeconómicos asociados.

3.10.1. Disponibilidad de mano de obra

La región de Cuenca cuenta con una rica tradición en técnicas constructivas tradicionales, lo que representa una ventaja significativa para el proyecto. Sin embargo, es necesario evaluar la disponibilidad de mano de obra calificada y las habilidades específicas requeridas.

Trabajadores calificados:

Análisis: En Cuenca existe una base de trabajadores con experiencia en técnicas tradicionales como la construcción con adobe, tapial y quincha. Sin embargo, la disponibilidad de mano de obra especializada en técnicas modernas sostenibles. (Municipio de Cuenca, 2020).

Habilidades específicas: Se requiere identificar trabajadores con conocimientos en:

- Construcción con adobe y tierra compactada.

- Manejo de bambú para estructuras y acabados.
- Instalación de sistemas de eficiencia energética, como techos verdes y paneles solares (Minke, 2012).

d. Capacitación y formación

La capacitación de la mano de obra local es esencial para garantizar la calidad y sostenibilidad del proyecto. Esto implica no solo mejorar las habilidades técnicas, sino también fomentar una cultura de construcción sostenible.

Programas de capacitación:

La factibilidad constructiva del Centro de Integración Comunitaria se fundamenta en la viabilidad técnica, económica y cultural del uso de materiales y técnicas locales, combinadas con enfoques modernos que prioricen la sostenibilidad. La implementación de talleres y cursos prácticos, dirigidos tanto a la comunidad como a los trabajadores involucrados, es clave para transmitir conocimientos sobre técnicas tradicionales como la construcción con adobe reforzado, el manejo del bambú, la instalación de sistemas de energía renovable y la gestión de residuos, fortaleciendo así la autosuficiencia local (Minke, 2012).

Esta formación puede llevarse a cabo mediante alianzas con instituciones educativas y organizaciones comunitarias que incorporen la sostenibilidad en sus programas y contribuyan a su difusión en el territorio (Chambers, 1994). Además, certificar a los trabajadores en técnicas sostenibles garantiza estándares de calidad y mejora su empleabilidad, como ocurre en los programas de certificación en construcción con bambú o adobe reforzado (Bribián et al., 2011). En cuanto a la viabilidad técnica, se plantea un análisis detallado de la resistencia y adaptabilidad de materiales locales como el adobe, el bambú y la piedra, los cuales pueden ser mejorados mediante el uso de refuerzos contemporáneos como mallas de acero o fibras sintéticas, conforme a las directrices del Código Ecuatoriano de la Construcción (2014). La comparación de costos entre el uso de materiales locales y materiales industrializados revela beneficios significativos en términos de transporte y adquisición, aunque podría requerirse una mayor inversión en mano de obra

3.11. Análisis de sitio

3.11.1. Accesibilidad

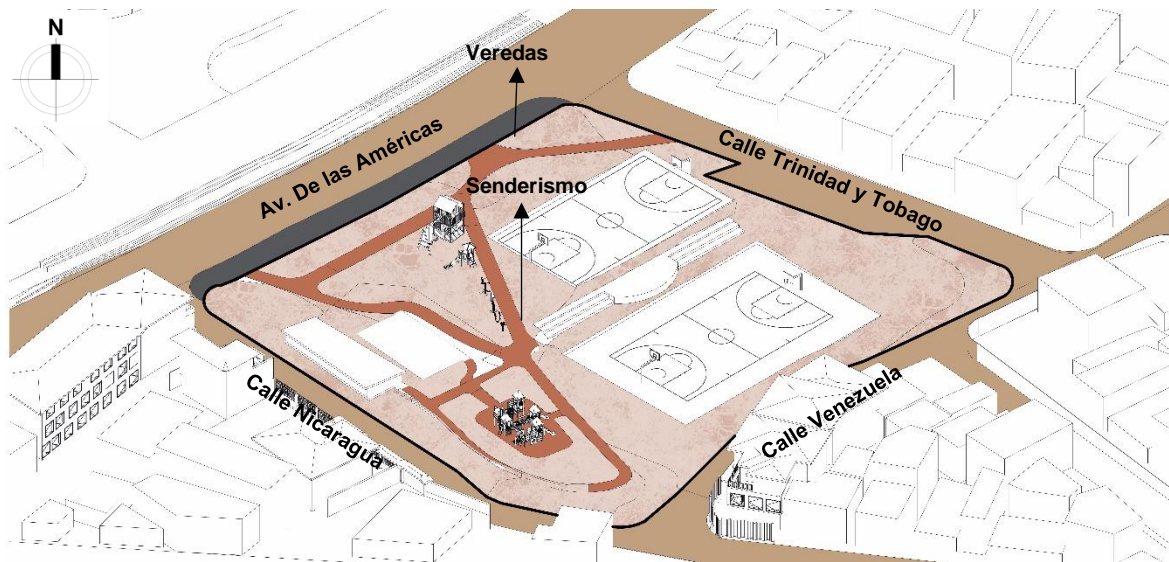


Figura 49: Infraestructura de accesibilidad

Fuente: Elaboración propia

La infraestructura y la accesibilidad son elementos clave para el éxito del Centro de Integración Comunitaria en Cuenca. Una infraestructura adecuada no solo garantiza la funcionalidad del proyecto, sino que también facilita su integración con la comunidad y el entorno. La ubicación del sitio, su conectividad con áreas urbanas y rurales, y su adaptabilidad para personas con movilidad reducida son aspectos fundamentales que deben ser considerados en el diseño y construcción del centro. Este apartado analiza la infraestructura existente, la accesibilidad, el transporte y la logística, así como la integración del proyecto con el entorno.

Senderismo como parte fundamental de su diseño, aprovechando las características naturales del terreno, que se encuentra dentro de un parque. Este enfoque no solo promueve la conexión con la naturaleza, sino que también establece una red de circulaciones internas que se entrelazan con el entorno. La circulación principal, que actúa como columna vertebral del parque, está estratégicamente diseñada para conectar todos los puntos clave del proyecto, incluyendo la entrada principal, la cual se prioriza como el acceso más importante y representativo del conjunto.

En cuanto a las veredas, estas se concentran principalmente en la zona frontal del terreno, lo que garantiza un acceso peatonal óptimo y único. Esta disposición no solo facilita la movilidad de los visitantes, sino que también refuerza la jerarquía espacial del proyecto, destacando la entrada principal como el punto focal de llegada y partida. Además, las veredas están diseñadas para integrarse armoniosamente con el paisaje, utilizando materiales locales y técnicas sostenibles que respetan el entorno natural.

Respecto a las vías de acceso, todas cuentan con una buena accesibilidad, lo que permite una conexión fluida entre el proyecto y su contexto urbano y natural. Las entradas están

estratégicamente ubicadas para garantizar un flujo eficiente de personas y, en algunos casos, de vehículos, sin comprometer la experiencia peatonal. Esto asegura que el proyecto sea inclusivo y accesible para todos los usuarios, incluyendo personas con movilidad reducida, mediante la implementación de rampas, pasillos amplios y señalización clara.

3.11.2. Infraestructura existente

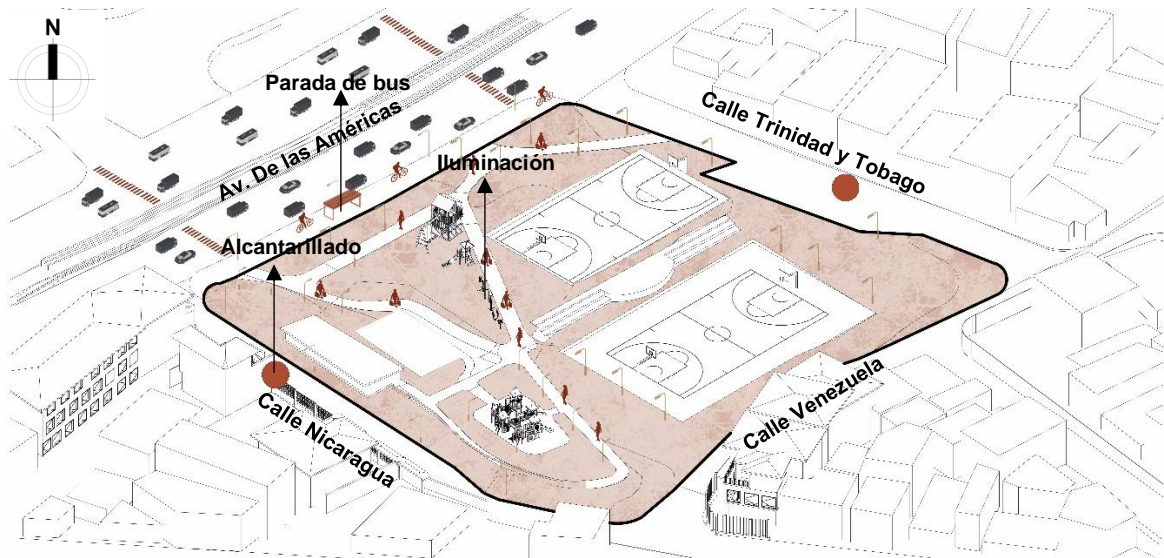


Figura 50: Infraestructura Existente

Fuente: Elaboración propia

El Parque Juan Bautista Stiehle, ubicado en la ciudad de Cuenca, cuenta con una infraestructura de servicios públicos bien desarrollada, que resulta clave para el desarrollo de cualquier intervención proyectual. La iluminación está distribuida estratégicamente tanto en el perímetro exterior como en el interior del parque, lo cual garantiza visibilidad y seguridad durante las horas nocturnas, promoviendo un entorno seguro para los usuarios.

En cuanto al sistema de agua potable, se identifican al menos dos puntos de conexión existentes que pueden ser aprovechados en la planificación del suministro hídrico del proyecto, optimizando así los recursos disponibles.

Adicionalmente, el parque cuenta con un sistema de alcantarillado funcional, lo que facilita el manejo adecuado de aguas residuales. También se destaca la presencia de una parada de transporte público cercana, lo que mejora la accesibilidad al sitio y lo convierte en un punto estratégico dentro del tejido urbano.

3.11.3. Topografía y ubicación para el proyecto

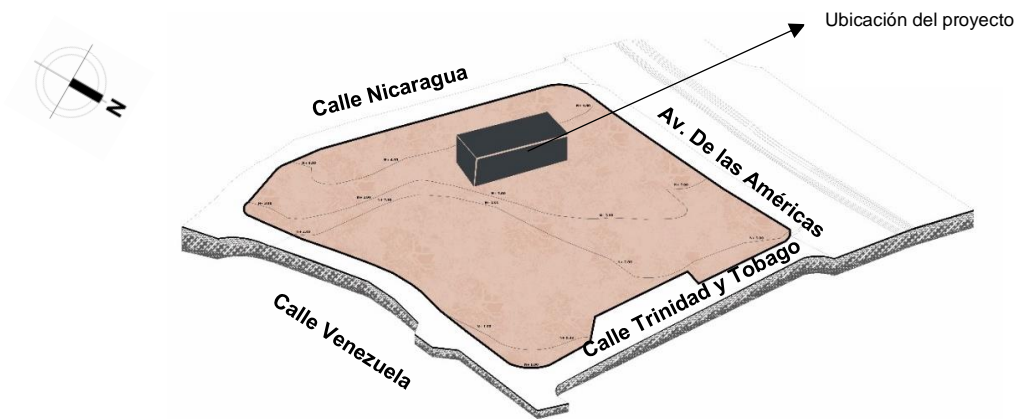


Figura 51: Implantación dentro de la topografía

Fuente: Elaboración propia

Debido a la presencia de varias curvas de nivel en el terreno, se determinó que la ubicación del proyecto se adapte a la topografía existente, evitando intervenciones significativas en el relieve natural. Esta decisión permite minimizar movimientos de tierra y reducir el impacto ambiental, facilitando además la integración del diseño con el entorno. Un aspecto clave en la implantación es que el proyecto se alinearán con la curva de nivel correspondiente a la cota +3.00, garantizando una adaptación óptima al terreno y asegurando estabilidad en la construcción.

3.11.4. Vegetación del sitio

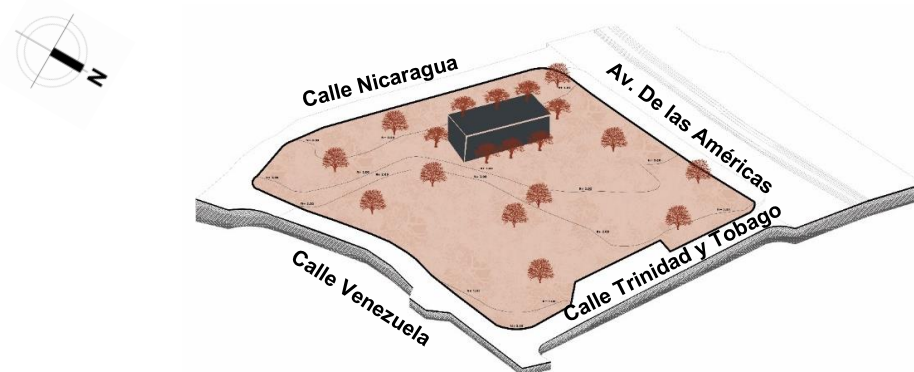


Figura 52: Vegetación del sitio

Fuente: Elaboración propia

La vegetación existente dentro del terreno del proyecto debe ser un elemento fundamental en el diseño, priorizando su conservación e integración con la propuesta arquitectónica. Esta estrategia no solo fortalece la relación entre el espacio construido y la naturaleza, sino que también contribuye a la sostenibilidad del proyecto. El diseño debe incorporar soluciones que respeten y potencien la flora existente, ya sea mediante la adaptación de la volumetría, el uso de especies nativas en el paisajismo o la generación de áreas verdes que refuercen el equilibrio ecológico del entorno.

CAPÍTULO IV

4.1. Proyecto arquitectónico de la Centro de Integración Comunitaria con cero huellas de carbono

El presente capítulo desarrolla la propuesta arquitectónica del Centro de Integración Comunitaria con Cero Huella de Carbono, fundamentada en los análisis previos realizados en el capítulo 3. A partir del estudio del sitio, las condiciones climáticas, los materiales locales y las estrategias pasivas, se establece un diseño que responde a criterios de sostenibilidad, eficiencia energética y armonía con el entorno.

El objetivo principal de esta propuesta es crear un espacio funcional, adaptable y ambientalmente responsable, optimizando el uso de materiales con baja huella de carbono y aplicando estrategias de diseño bioclimático. Para ello, se plantean soluciones arquitectónicas que integran estrategias pasivas de ventilación, iluminación natural, uso eficiente del agua y materiales locales que reduzcan el impacto ambiental.

A lo largo de este capítulo se abordará el concepto de diseño, la organización espacial, la relación con el entorno, las estrategias sostenibles implementadas y el desarrollo constructivo del proyecto. Asimismo, se incluirán representaciones gráficas que permitan visualizar la implantación, la distribución de espacios y las características técnicas de la propuesta.

Este enfoque busca que el proyecto no solo cumpla su función social y comunitaria, sino que también sirva como un modelo replicable de arquitectura sostenible, promoviendo una construcción responsable con el medioambiente y alineada con los principios de reducción de la huella de carbono.

4.2. Conceptualización del proyecto

4.2.1. Enfoque del diseño

El proyecto se concibe como un modelo de arquitectura sostenible que busca minimizar su impacto ambiental mediante la aplicación de estrategias bioclimáticas y el uso de materiales locales de bajo impacto. Su diseño se basa en una serie de principios que garantizan su funcionalidad, accesibilidad y armonización con el entorno.

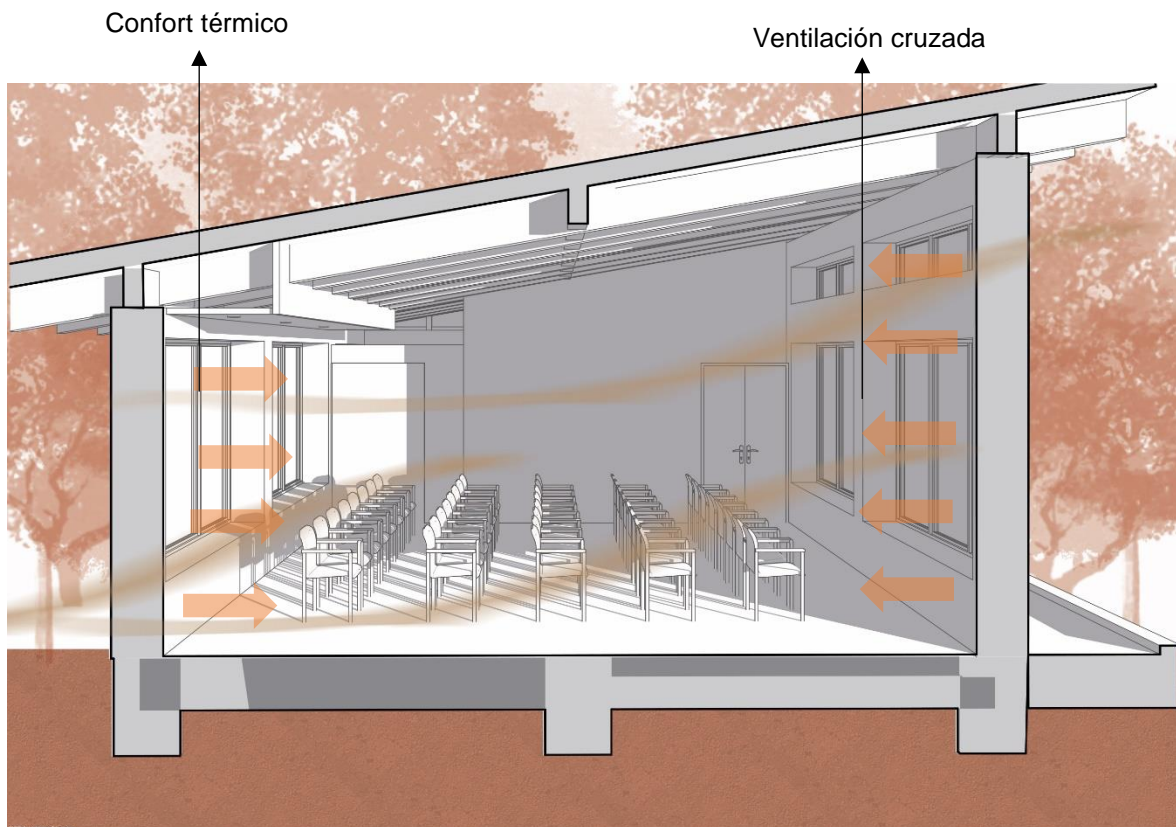


Figura 53: Corte explicativo

Fuente: Elaboración propia

La sostenibilidad es el eje central de la propuesta, abordando el diseño arquitectónico desde una perspectiva ecológica y eficiente. Se incorporan estrategias que permiten reducir el consumo energético y optimizar el aprovechamiento de los recursos naturales:

Estrategias Pasivas para el Confort Térmico: Se prioriza la orientación del edificio para maximizar la captación de radiación solar en invierno y minimizarla en verano. Se incluyen muros térmicos de adobe, techos ventilados y ventanas estratégicamente ubicadas para permitir ventilación cruzada, reduciendo la necesidad de climatización artificial.

Captación y Reutilización del Agua de Lluvia: Se plantea un sistema de recolección y almacenamiento de agua de lluvia mediante cubiertas inclinadas y canaletas que la dirigen a un depósito. Esta agua podrá reutilizarse para riego de áreas verdes, limpieza y, tras un proceso de filtración, para el uso en sanitarios.

4.2.2. Uso de materiales ecológicos y de bajo impacto:

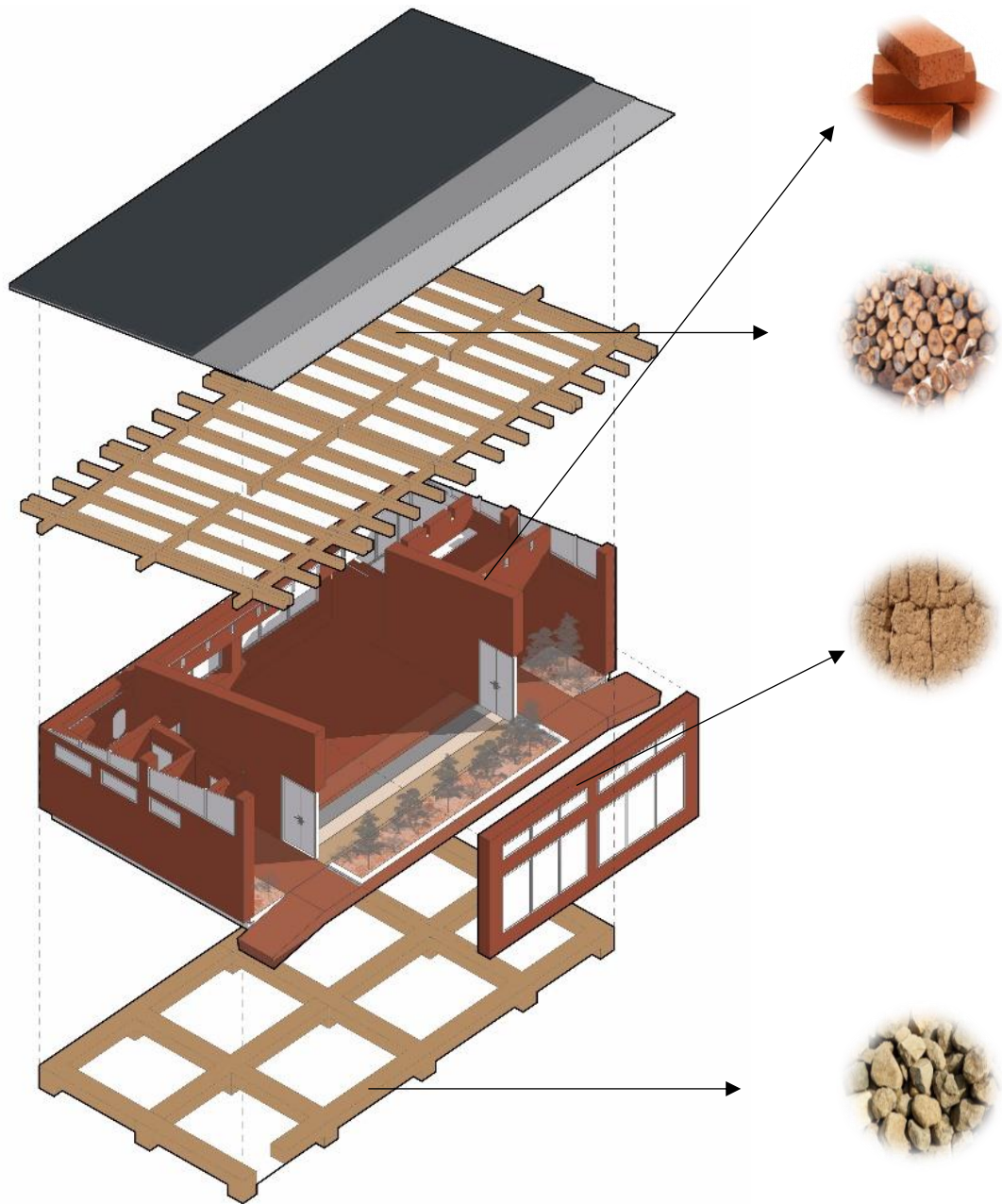


Figura 54: Materiales utilizados en el proyecto

Fuente: Elaboración propia

La construcción empleará materiales de origen local y renovables, como adobe, madera certificada y piedra, reduciendo la huella de carbono generada por transporte y procesos industriales. Además, se prevé el uso de acabados naturales como revocos de cal en lugar de pinturas sintéticas, lo que mejora la calidad del aire interior y prolonga la vida útil de la edificación.

4.2.3. Accesibilidad universal e integración con el entorno

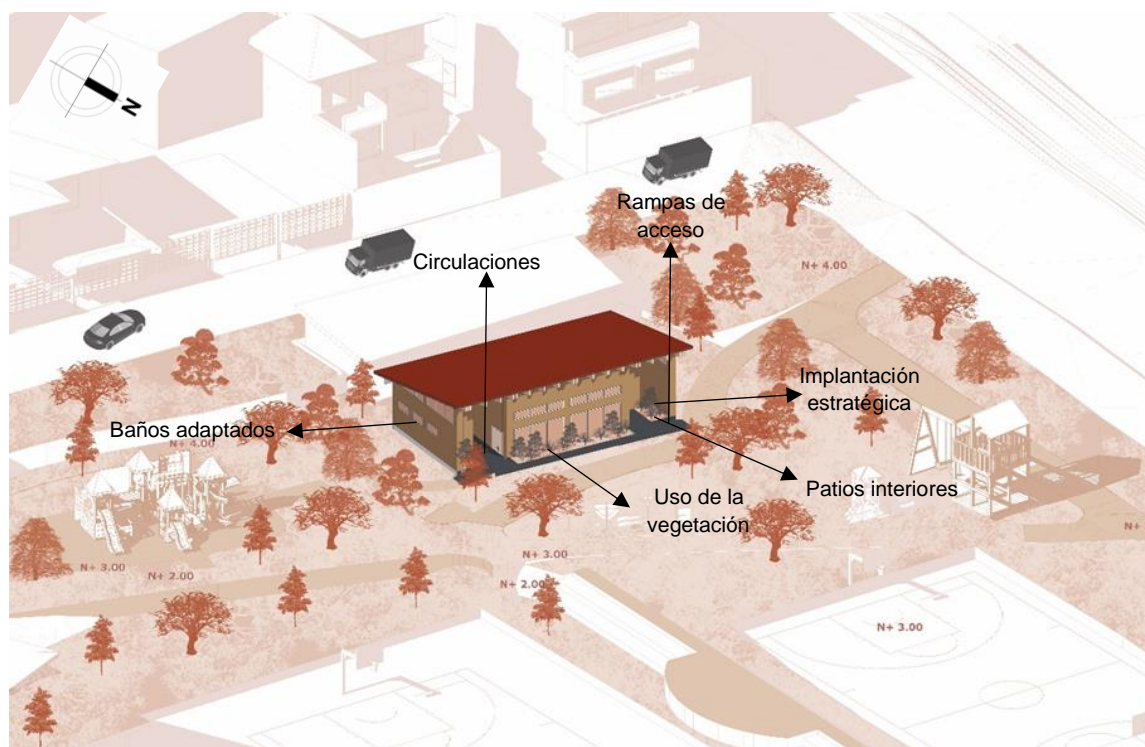


Figura 55: Adaptaciones universales de diseño

Fuente: Elaboración propia

El diseño garantiza inclusión y equidad, permitiendo que todas las personas, independientemente de su movilidad, puedan acceder y recorrer el espacio sin restricciones. Para ello, se contemplan:

- Ancho mínimo de 1.20 m en pasillos y accesos, asegurando comodidad en el tránsito de personas con movilidad reducida.
- Rampas con pendientes máximas del 8%, garantizando accesibilidad para sillas de ruedas.
- Baños adaptados con barras de apoyo, lavamanos a altura accesible y espacios adecuados para maniobra.
- Mobiliario ergonómico en espacios comunes, asegurando comodidad y funcionalidad para adultos mayores y personas con discapacidad.

Integración con el entorno

El proyecto se adapta a la topografía natural del terreno, minimizando movimientos de tierra y reduciendo la alteración del ecosistema. Se respetan los árboles preexistentes y se incorporan áreas verdes con especies nativas para contribuir a la biodiversidad local.

Ubicación estratégica en el terreno: La edificación sigue la curva de nivel para evitar cortes excesivos y favorecer la estabilidad del suelo.

Uso de vegetación como regulador térmico: Árboles de sombra y enredaderas permiten controlar la radiación solar en ciertas fachadas, reduciendo la temperatura en el interior.

Patios internos como espacios de transición: Permiten una conexión directa entre el usuario y la naturaleza, favoreciendo iluminación natural y ventilación.

4.3. Criterios de diseño

El proyecto responde a criterios funcionales, estéticos y técnicos que optimizan su desempeño tanto en términos ambientales como de habitabilidad.



Figura 56: Zonificación del espacio

Fuente: Elaboración propia

Criterios funcionales

Para garantizar la eficiencia en el uso del espacio, la distribución arquitectónica está pensada en función de la comodidad, circulación y funcionalidad:

- **Zonificación eficiente:** Separación clara entre espacios de uso público (sala de reuniones, patios), semiprivado (oficina, cocina) y privado (servicios higiénicos).
- **Flujo de circulación optimizado:** Se priorizan recorridos cortos y accesibles, minimizando interferencias entre actividades simultáneas.
- **Iluminación y ventilación natural:** Disposición estratégica de ventanas y claraboyas para reducir el consumo de energía artificial.
- **Áreas de almacenamiento adecuadas:** Espacios dedicados para el resguardo de mobiliario y utensilios sin comprometer la fluidez del diseño.

4.3.1. Programa arquitectónico

El programa arquitectónico del Centro de Integración Comunitaria con Cero Huella de Carbono responde a las necesidades de la comunidad, organizando los espacios de manera eficiente y funcional. La distribución espacial prioriza la accesibilidad, la flexibilidad y la integración con el entorno, asegurando el adecuado funcionamiento del proyecto y su sostenibilidad.

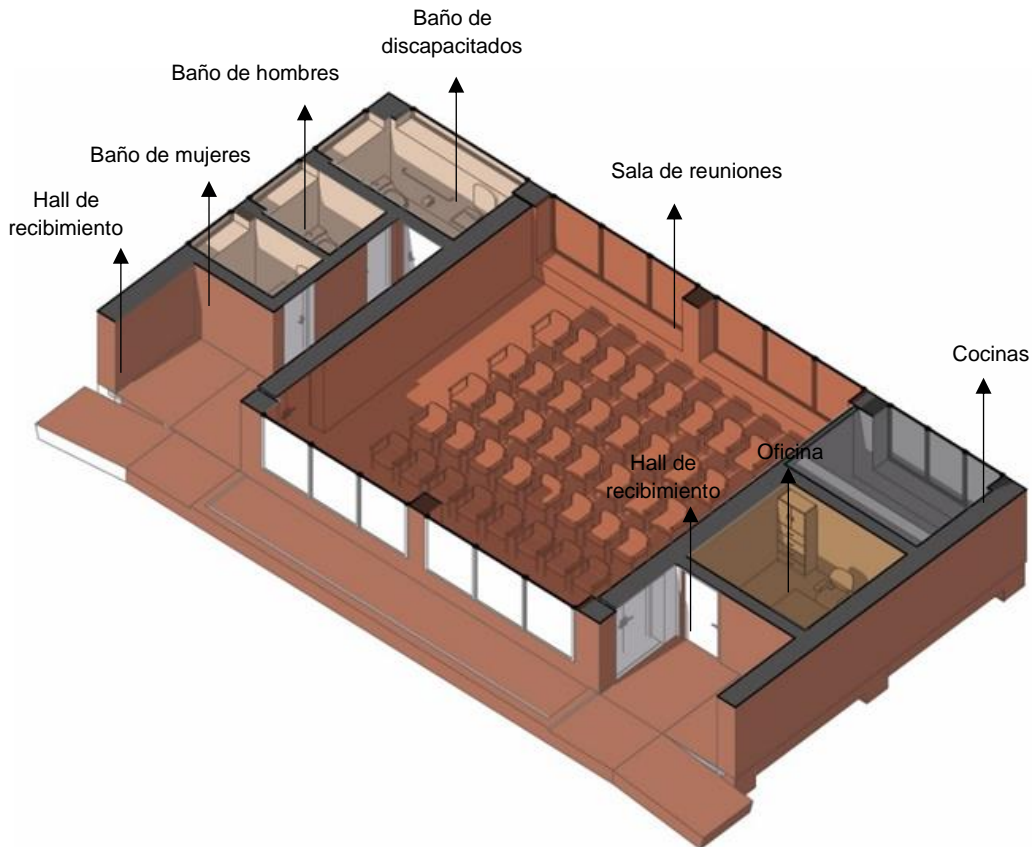


Figura 57: Zonificación de espacios

Fuente: Elaboración propia

El diseño del centro comunitario considera las siguientes zonas principales, organizadas según su función y relación con las actividades del proyecto:

Zona de uso comunitario:

- Sala de reuniones (45 m²): Espacio destinado a actividades comunitarias, reuniones y eventos. Diseñada con ventilación e iluminación natural para reducir el consumo energético.
- Hall de recibimiento (2.66 m²): Área de acceso que permite la orientación de los usuarios dentro del centro.

Zona de servicios:

- Baño de mujeres (2.06 m²) y baño de hombres (2.06 m²): Servicios sanitarios diferenciados por género.

- Baño para personas con discapacidad (8.50 m²): Espacio accesible que cumple con normativas de accesibilidad universal.

Zona de apoyo operativo:

- Oficina administrativa (6.50 m²): Espacio destinado para la gestión del centro comunitario y la atención a los visitantes.
- Cocina (5.30 m²): Área de preparación de alimentos, diseñada con ventilación cruzada y materiales de fácil mantenimiento.

Zona de circulación y áreas verdes:

- Pasillo de circulación (3 m²): Conecta los diferentes espacios, asegurando recorridos accesibles y funcionales.
- Jardineras (2.28 m² + 2.28 m²): Elementos paisajísticos que aportan confort ambiental y reducen el impacto del calor en la edificación.

a. Cuadro de áreas

Espacio	Área (m²)
Sala de reuniones	45.00
Pasillo de circulación	3.00
Baño de mujeres	2.06
Baño de hombres	2.06
Baño de discapacitados	8.50
Jardinera 1	2.28
Jardinera 2	2.28
Hall de recibimiento	2.66
Oficina	6.50
Cocina	5.30
Hall de recibimiento	2.66
Total, de Área Construida	80.00

Tabla 15: Área de los espacios

Fuente: Elaboración propia

Flujos y zonificación

La organización del proyecto permite una fluidez en la circulación de los usuarios, garantizando accesibilidad y conectividad entre los espacios. La zonificación se ha planteado de manera que cada área cumpla su función sin interferencias con otras actividades:

Flujo de usuarios:

- Los visitantes ingresan por el hall de recibimiento, donde pueden acceder directamente a la sala de reuniones o dirigirse a otras zonas del edificio.
- Los servicios sanitarios están ubicados en un punto de fácil acceso para los asistentes.

Separación de zonas:

- Se mantiene independencia entre las áreas de servicio (baños, cocina) y las áreas de reunión para evitar interrupciones en las actividades.
- La oficina administrativa se sitúa estratégicamente para supervisar el acceso y la organización de eventos.

Zonas de integración con el entorno:

- Las jardineras cumplen una función ambiental, proporcionando sombra y regulando la temperatura del edificio.
- La sala de reuniones cuenta con aberturas estratégicas para permitir ventilación cruzada y reducir el consumo energético.

4.4. Criterios estéticos

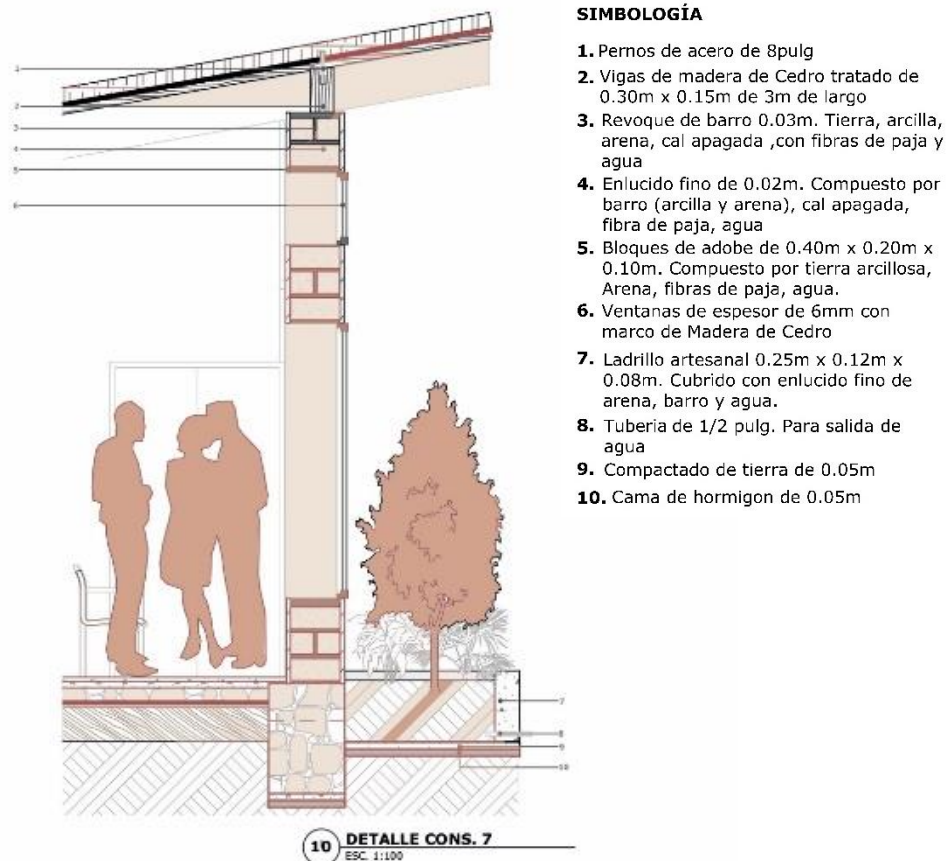


Figura 58: Criterios estéticos

Fuente: Elaboración propia

- El lenguaje arquitectónico busca armonizarse con el entorno natural y cultural, evitando la imposición de una estética ajena al contexto:
- Uso de materiales naturales que refuerzan la identidad local (adobe, madera, piedra).
- Fachadas permeables y dinámicas, utilizando elementos como celosías o muros ventilados que permitan el juego de luces y sombras.
- Colores y texturas en sintonía con el paisaje, evitando acabados industrializados y priorizando materiales de tonalidades neutras y terrosas.
- Espacios abiertos con vegetación integrada, promoviendo una transición fluida entre el interior y el exterior.

4.4.1. Criterios técnicos

El proyecto incorpora soluciones técnicas que garantizan durabilidad, eficiencia energética y bajo impacto ambiental:

Uso de sistemas constructivos tradicionales y eficientes: Aplicación de técnicas de construcción en tierra (adobe) combinadas con estructuras en madera laminada.

Sistemas de captación y gestión del agua: Recolección de agua de lluvia en cubiertas y drenajes filtrantes para reutilización en riego y baños.

Inercia térmica de los materiales: Se aprovechan las propiedades del adobe y la piedra para regular la temperatura interior de manera pasiva, reduciendo el uso de calefacción o aire acondicionado.

4.5. Implantación del proyecto

El Centro de Integración Comunitaria con Cero Huella de Carbono ha sido implantado de manera estratégica dentro del terreno, respetando la topografía existente y buscando una integración armoniosa con el entorno natural.

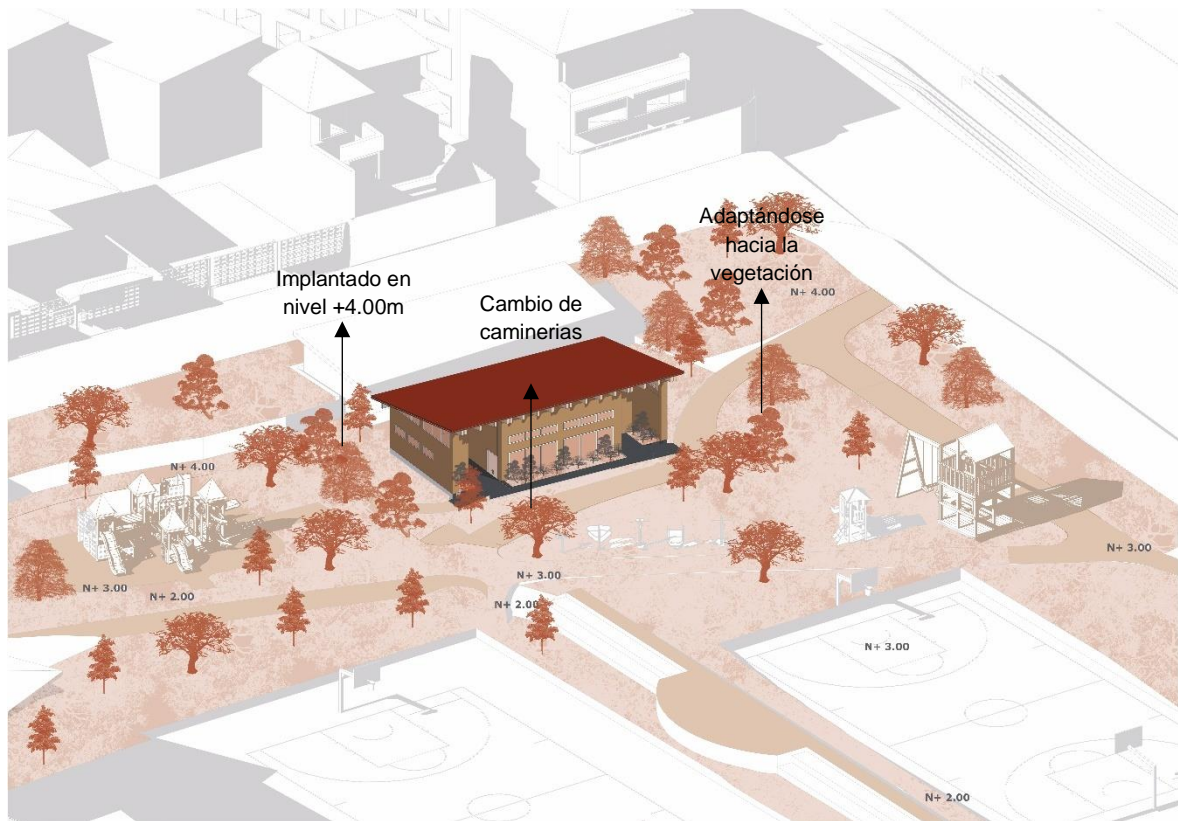


Figura 59: Implantación del proyecto

Fuente: Elaboración propia

4.5.1. Relación con la topografía

El proyecto se ubica en el nivel +4.00, manteniendo la configuración natural del terreno sin realizar modificaciones drásticas en la topografía. Para garantizar una implantación adecuada, el área de intervención fue únicamente preparada y nivelada sin alterar significativamente el relieve del sitio. Esta estrategia no solo minimiza el impacto ambiental, sino que también contribuye a la estabilidad del suelo y a la reducción de movimientos de tierra innecesarios.

La nivelación se realizó en sentido de la topografía, permitiendo que el edificio se asiente de manera natural sobre el terreno, sin generar cortes o rellenos excesivos. Esta decisión garantiza una construcción más eficiente y sostenible, reduciendo el uso de materiales adicionales y evitando alteraciones en los flujos de agua y escorrentía del lugar.

4.5.2. Integración Paisajística y Relación con la Vegetación

Uno de los principales objetivos del diseño fue lograr una sinergia entre el edificio y su entorno natural. Para ello, se incorporaron estrategias que permiten una integración armónica con la vegetación existente, aprovechando su presencia para mejorar el confort térmico y la calidad ambiental del proyecto.

- **Respeto por la vegetación preexistente:** Se evitó la tala innecesaria de árboles, manteniendo la mayor cantidad posible de vegetación nativa en el sitio. Esto no solo conserva la biodiversidad local, sino que también proporciona sombra natural y contribuye a la regulación térmica del edificio.
- **Paisajismo complementario:** Se incorporaron especies vegetales adicionales en áreas estratégicas, reforzando la presencia verde en el proyecto y mejorando la calidad del aire.
- **Sombreado natural:** La ubicación del proyecto permite que los árboles cercanos aporten sombra y reduzcan la incidencia directa del sol sobre la edificación, disminuyendo la carga térmica y optimizando el confort interior sin necesidad de sistemas mecánicos de climatización.

4.5.3. Conexión con el Entorno y Espacios Recreativos

El proyecto no solo se implanta de manera respetuosa con la topografía y vegetación, sino que también establece una relación fluida con el contexto urbano y los espacios recreativos circundantes.

- **Conexión con las áreas deportivas:** Se han definido accesos y recorridos que vinculan el centro comunitario con las canchas y otras zonas de esparcimiento cercanas, facilitando el uso del espacio por parte de los habitantes del sector.
- **Espacios de interacción:** Se han diseñado senderos y plazas de encuentro que permiten una circulación accesible y amigable con el entorno.
- **Integración con los espacios lúdicos:** Se han incorporado áreas de juego y recreación para fomentar la participación de niños y familias dentro del conjunto arquitectónico.

4.6. Estrategias de Diseño Sostenible

El Centro de Integración Comunitaria con Cero Huella de Carbono incorpora estrategias pasivas y materiales sostenibles para reducir su impacto ambiental y mejorar el confort térmico de los usuarios.

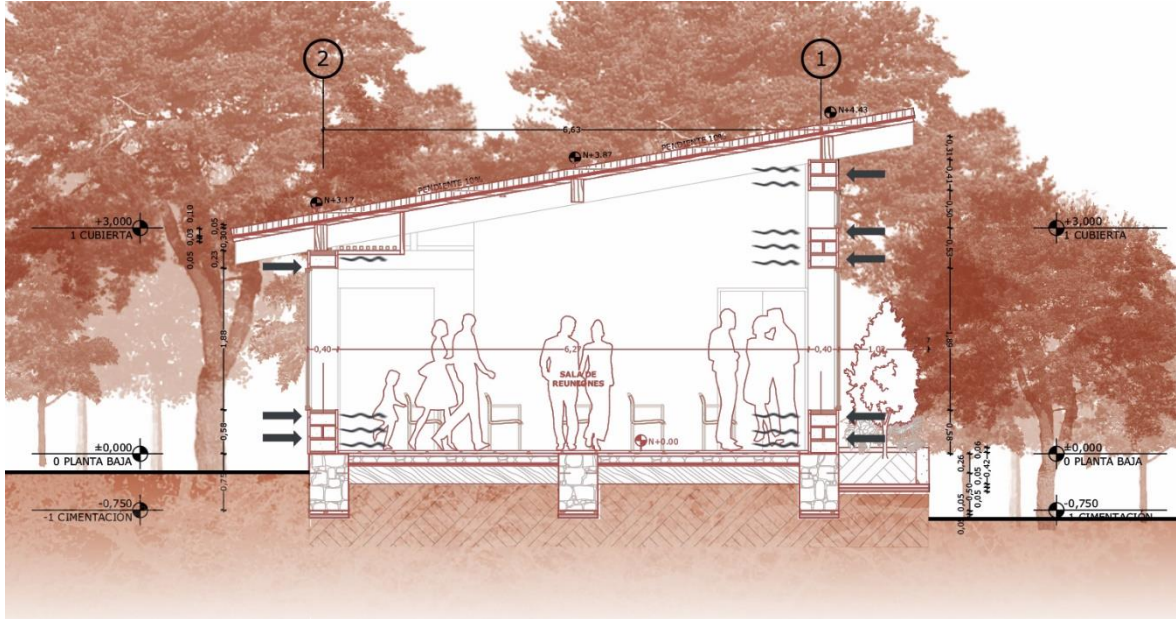


Figura 60: Estrategias de diseño sostenible

Fuente: Elaboración propia

El diseño del edificio maximiza el uso de estrategias pasivas para reducir la demanda energética y garantizar condiciones óptimas de habitabilidad.

Soleamiento y Control Solar

- La orientación del edificio y el diseño de la cubierta permiten una protección contra la radiación solar directa, reduciendo el sobrecalentamiento en el interior.
- Se incorporan elementos de sombreado en ventanas superiores, protegiendo el espacio de la incidencia directa del sol en horas de mayor temperatura.
- La vegetación perimetral contribuye a la generación de sombra y disminuye la acumulación de calor en la superficie del suelo.

Ventilación Cruzada y Confort Térmico

- El edificio está diseñado con aberturas ubicadas estratégicamente para favorecer la ventilación cruzada, permitiendo el ingreso de aire fresco y la expulsión del aire caliente.
- Se utilizan ventanas superiores y lamas de ventilación en las partes altas de los muros, facilitando la salida del aire caliente acumulado y mejorando la circulación del aire.
- La diferencia de alturas en la cubierta genera un efecto chimenea, promoviendo el flujo de aire ascendente y mejorando la regulación térmica interior.

Aislamiento y Regulación Térmica

- Se emplean muros de alta inercia térmica, que absorben el calor durante el día y lo liberan gradualmente en la noche, estabilizando la temperatura interna.
- Los materiales utilizados en la cubierta y los muros garantizan un aislamiento adecuado, reduciendo la pérdida de calor en temperaturas frías y evitando el sobrecalentamiento en días cálidos.

1.8 Planos arquitectónicos

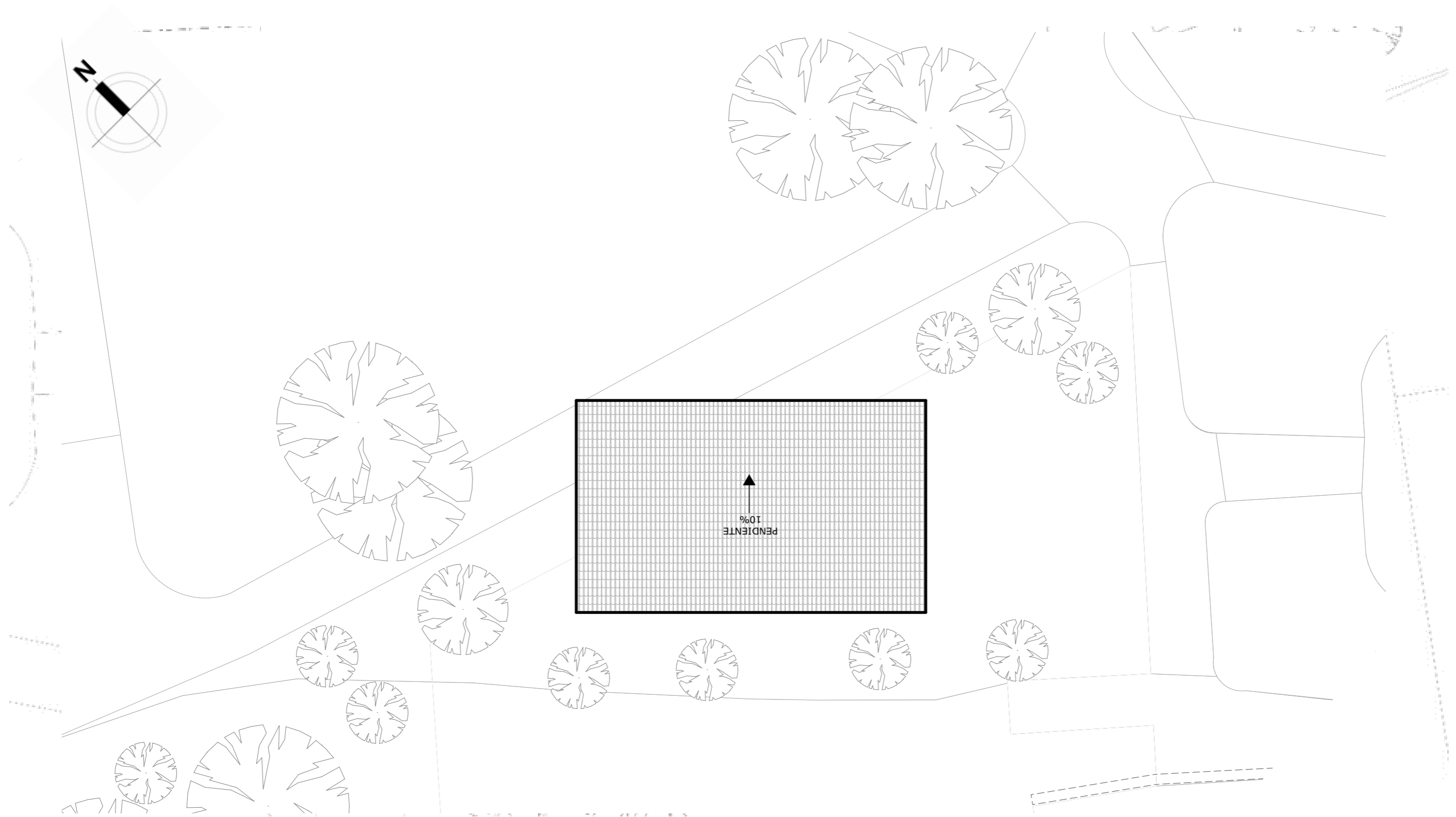


Figura 61: Emplazamiento

Fuente: Elaboración propia

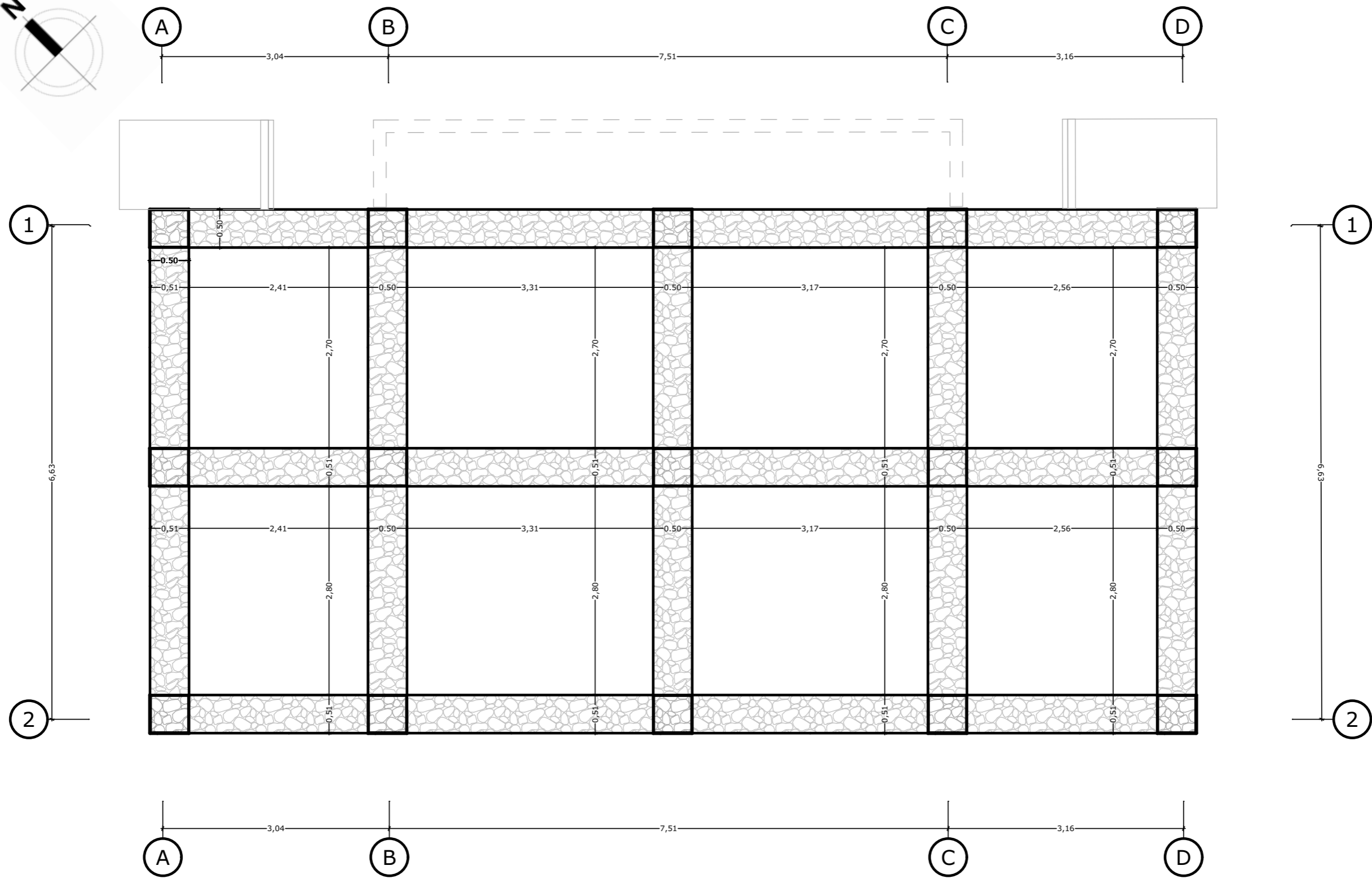
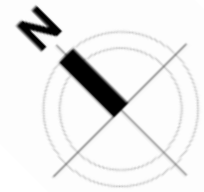
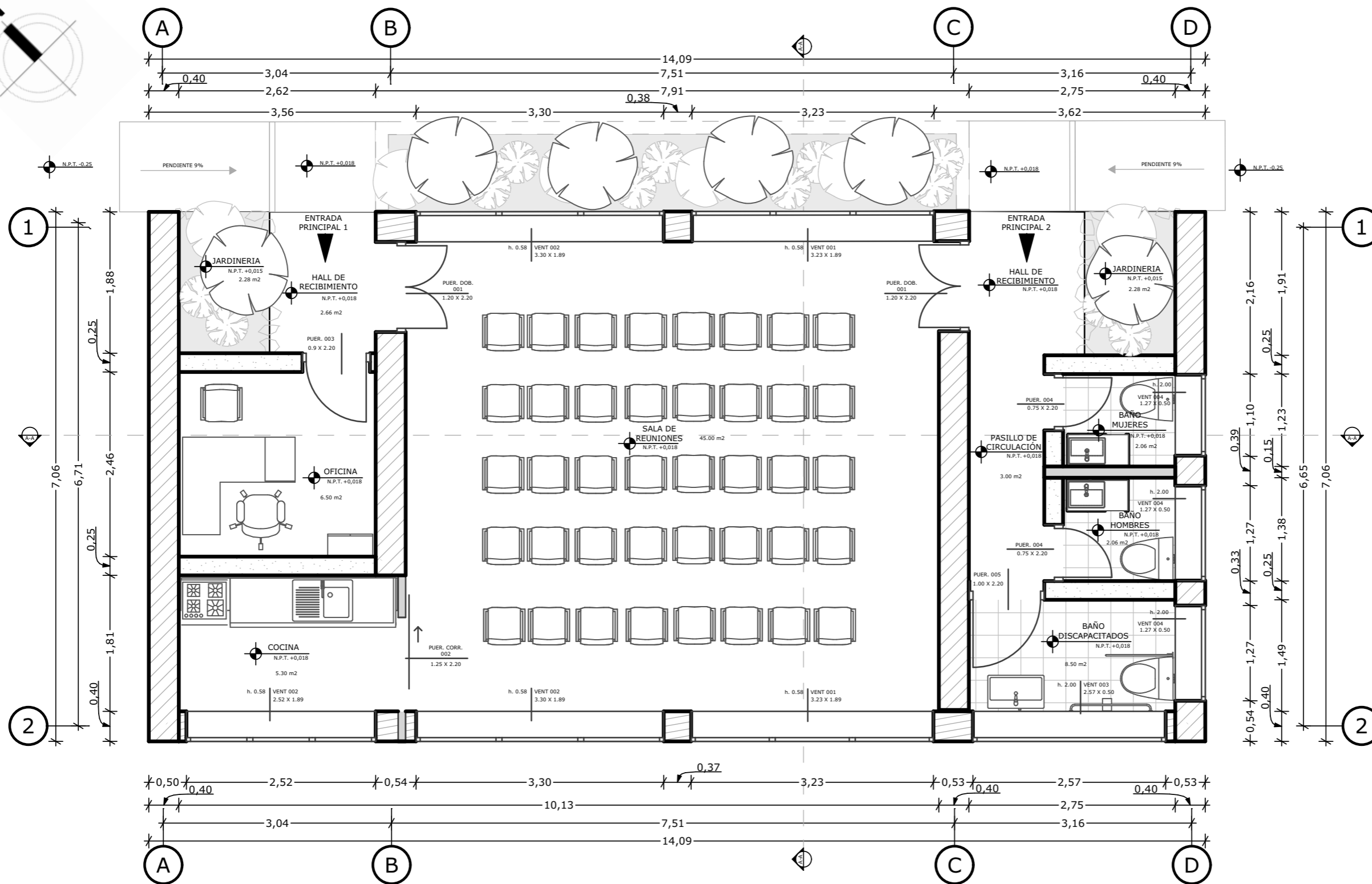
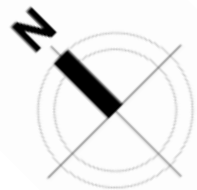
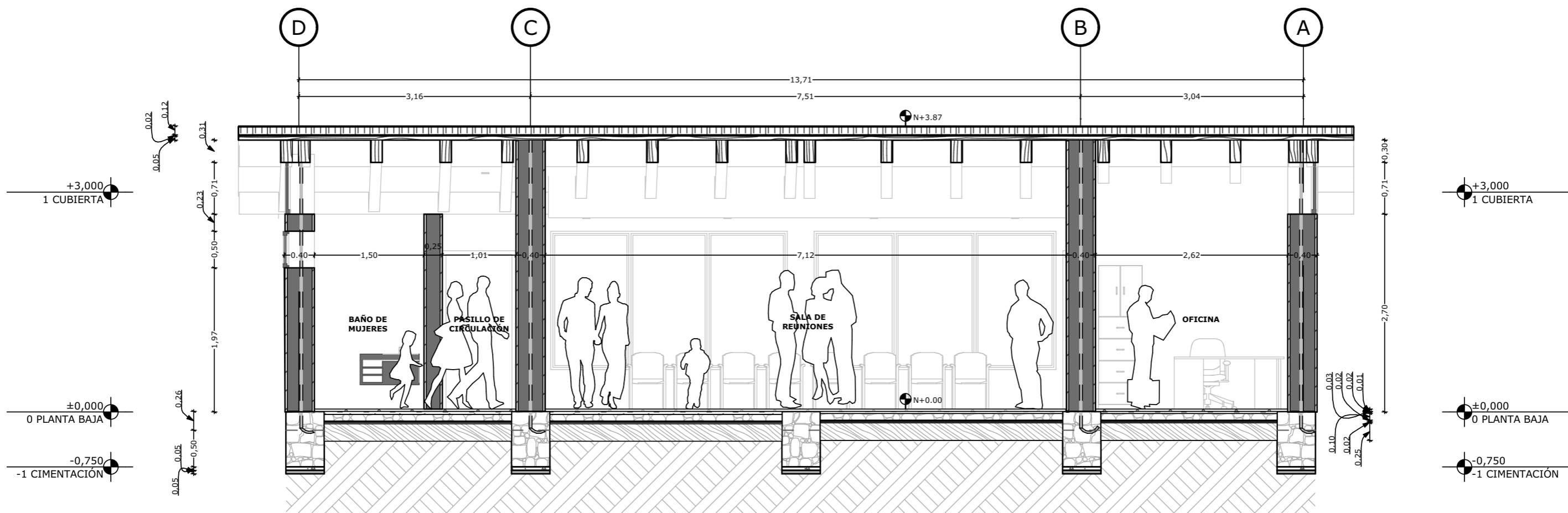


Figura 62: Cimentación
Fuente: Elaboración propia



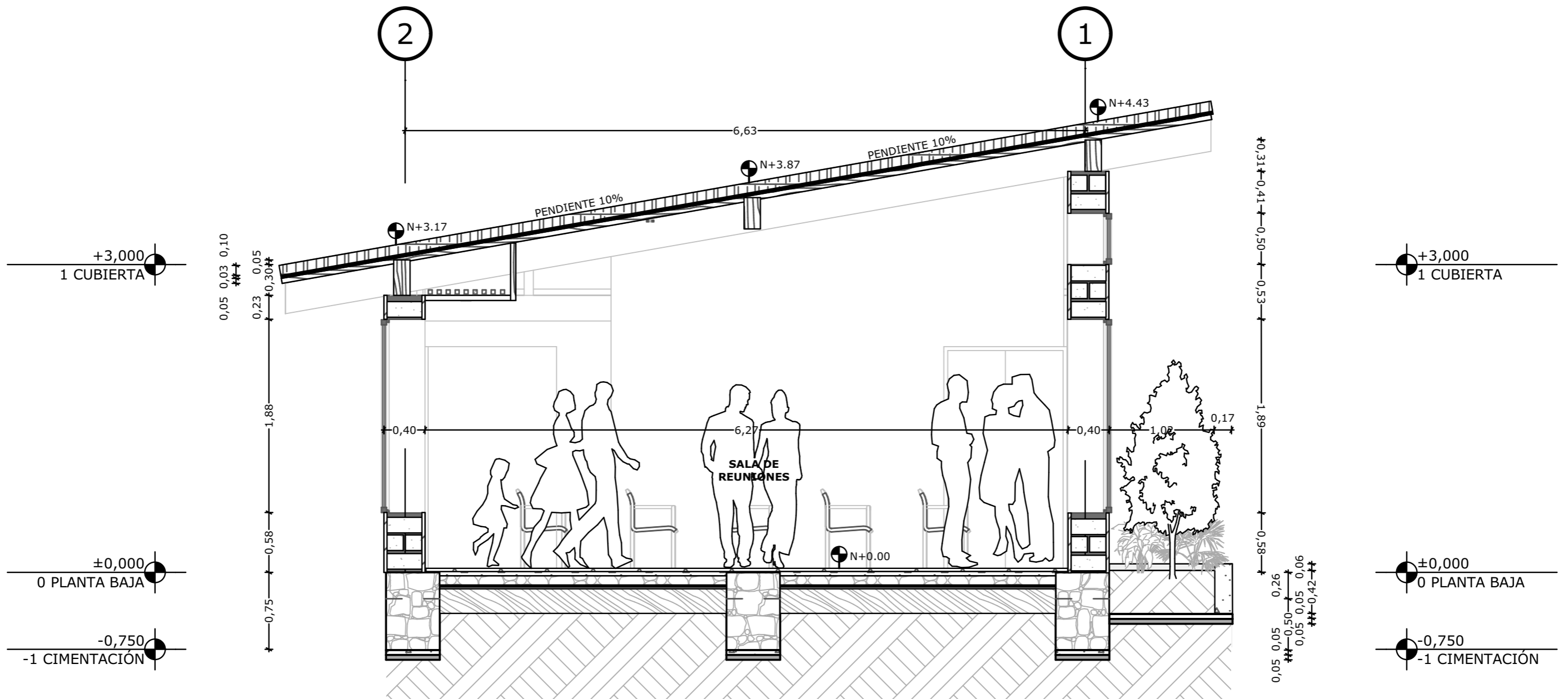
1 PLANTA BAJA
 ESC. 1:100 N+0.00

Figura 63: Planta baja
 Fuente: Elaboración propia



2 CORTE A-A
 ESC. 1:100

Figura 64: Corte A-A
 Fuente: Elaboración propia



3 CORTE B-B
 ESC. 1:100

Figura 65: Corte B-B

Fuente: Elaboración propia

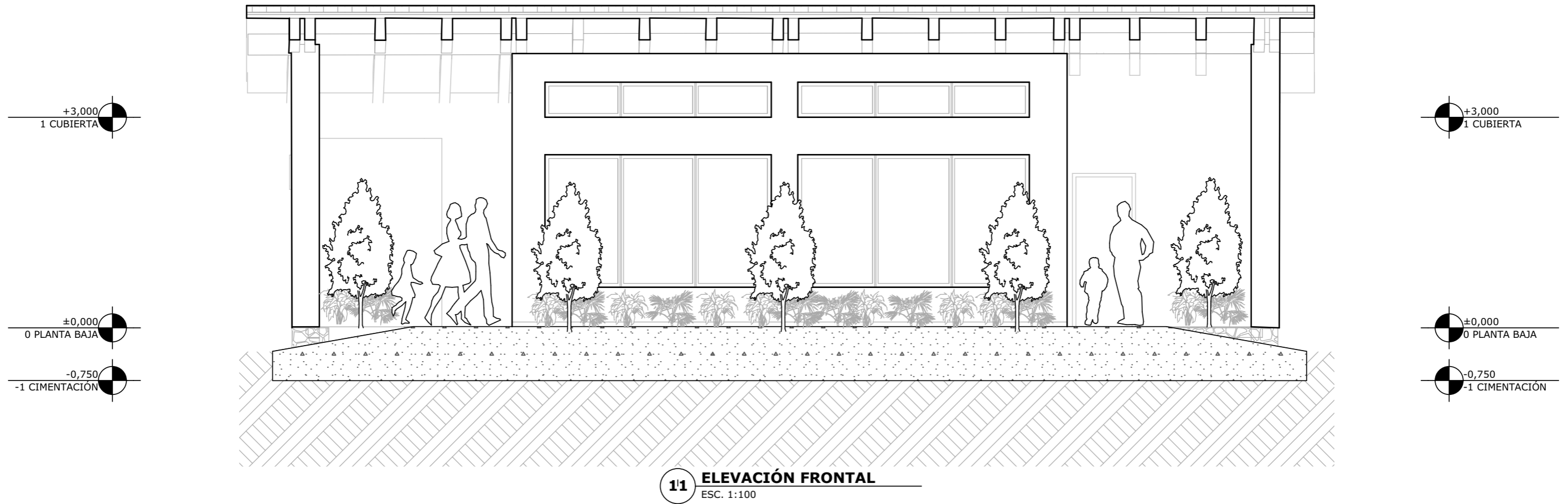
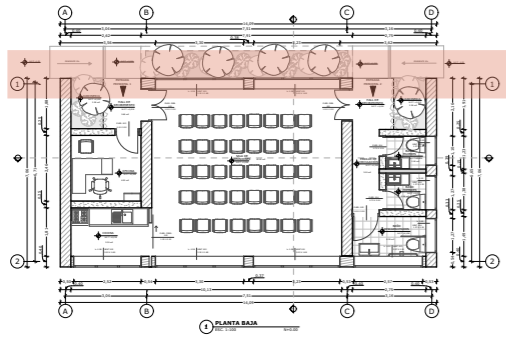
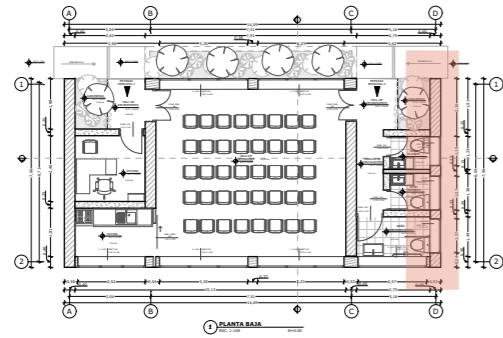


Figura 66: Elevación frontal

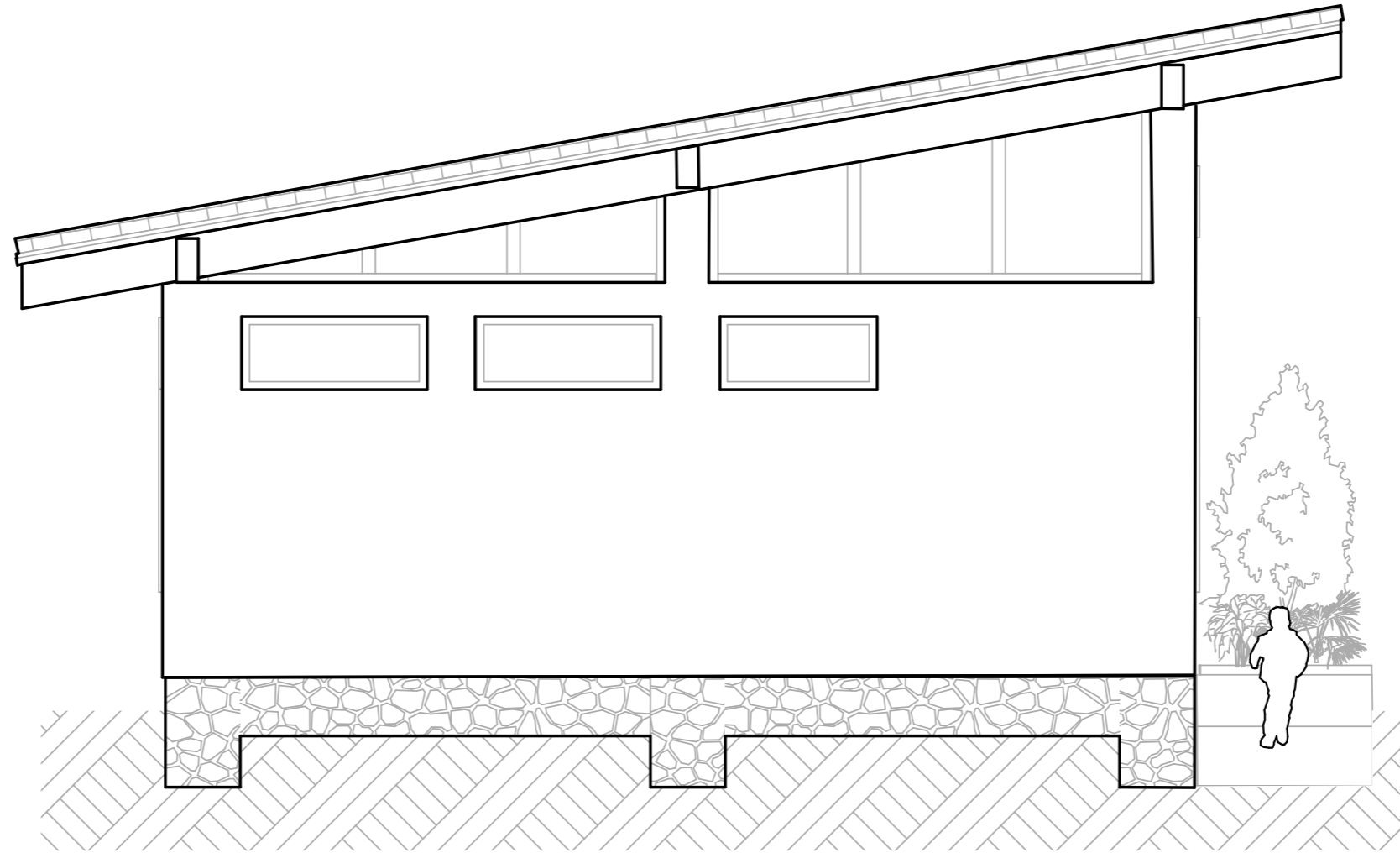
Fuente: Elaboración propia



+3,000
1 CUBIERTA

±0,000
0 PLANTA BAJA

-0,750
-1 CIMENTACIÓN



+3,000
1 CUBIERTA

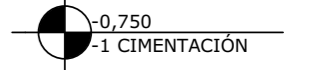
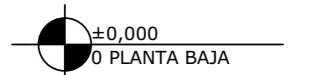
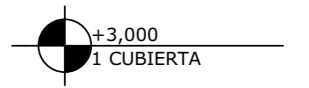
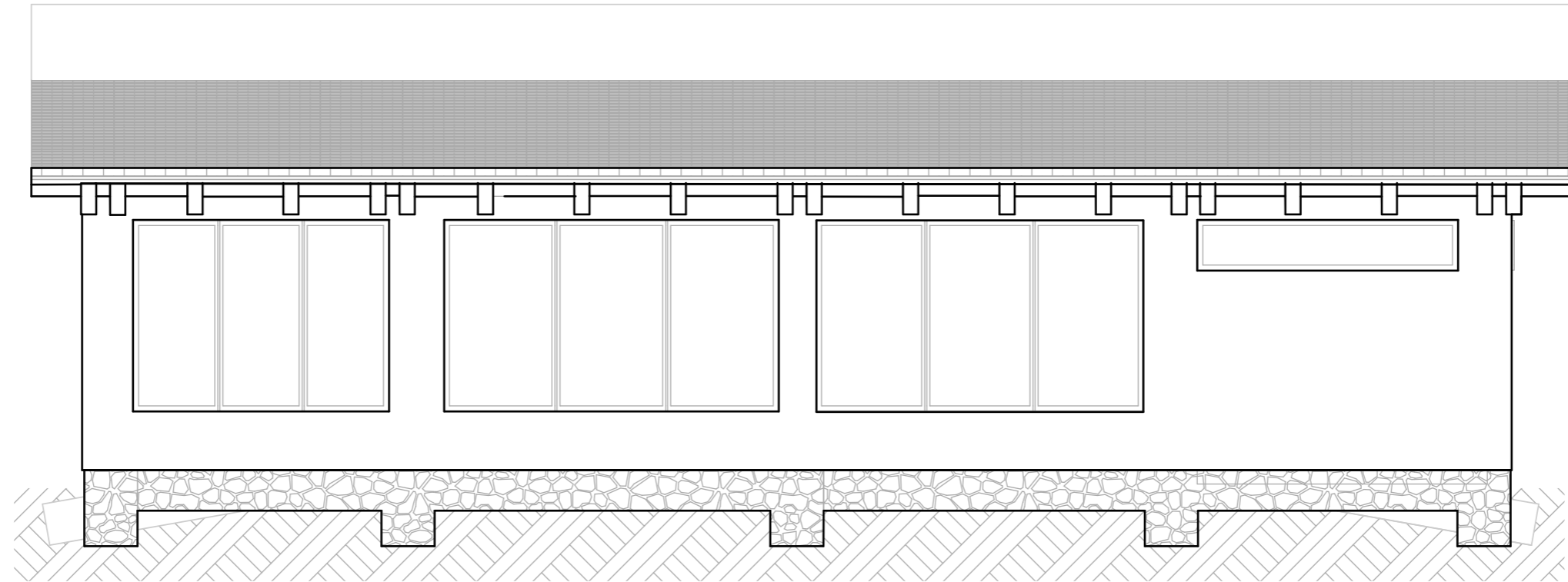
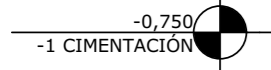
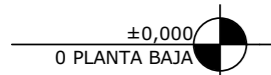
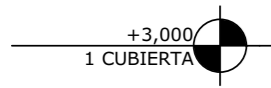
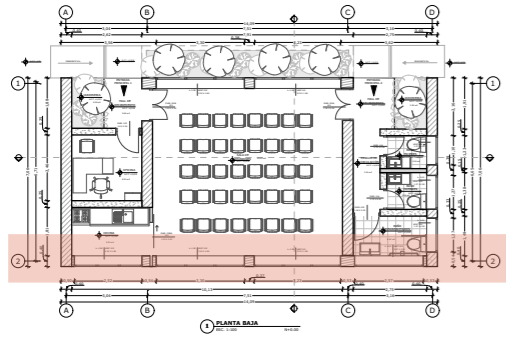
±0,000
0 PLANTA BAJA

-0,750
-1 CIMENTACIÓN

12 ELEVACIÓN DERECHA
ESC. 1:100

Figura 67: Elevación derecha

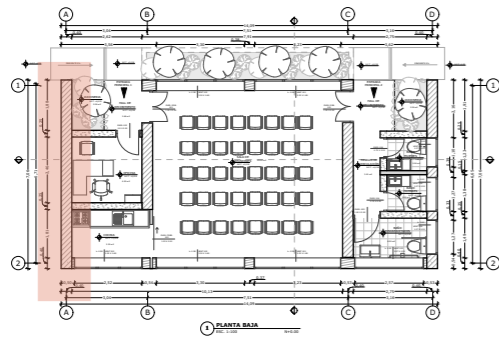
Fuente: Elaboración propia



12 ELEVACIÓN POSTERIOR
ESC. 1:100

Figura 68: Elevación posterior

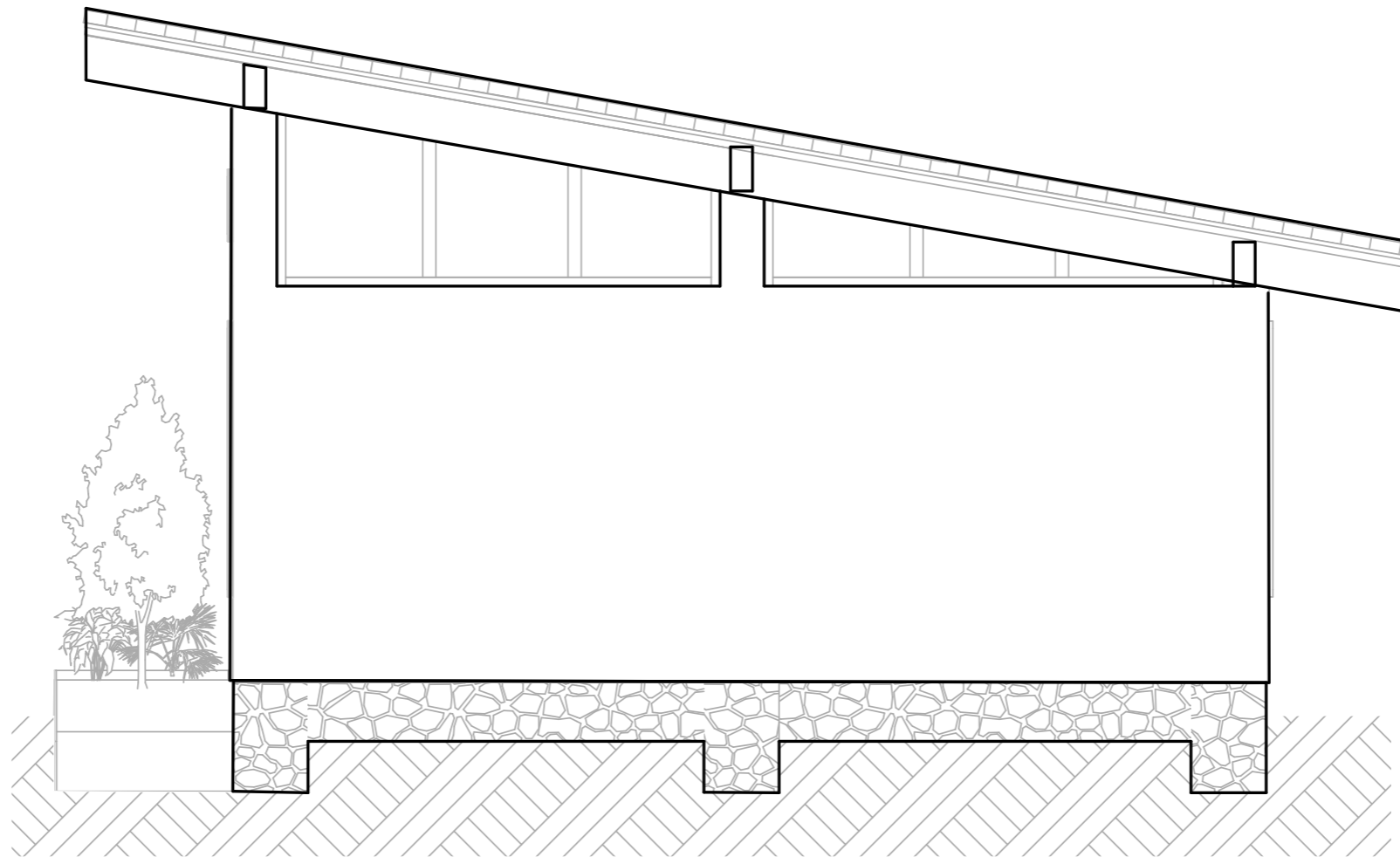
Fuente: Elaboración propia



+3,000
1 CUBIERTA

±0,000
0 PLANTA BAJA

-0,750
-1 CIMENTACIÓN



+3,000
1 CUBIERTA

±0,000
0 PLANTA BAJA

-0,750
-1 CIMENTACIÓN

12 ELEVACIÓN IZQUIERDA
ESC. 1:100

Figura 69: Elevación izquierda

Fuente: Elaboración propia

4.8. Desarrollo formal y constructivo

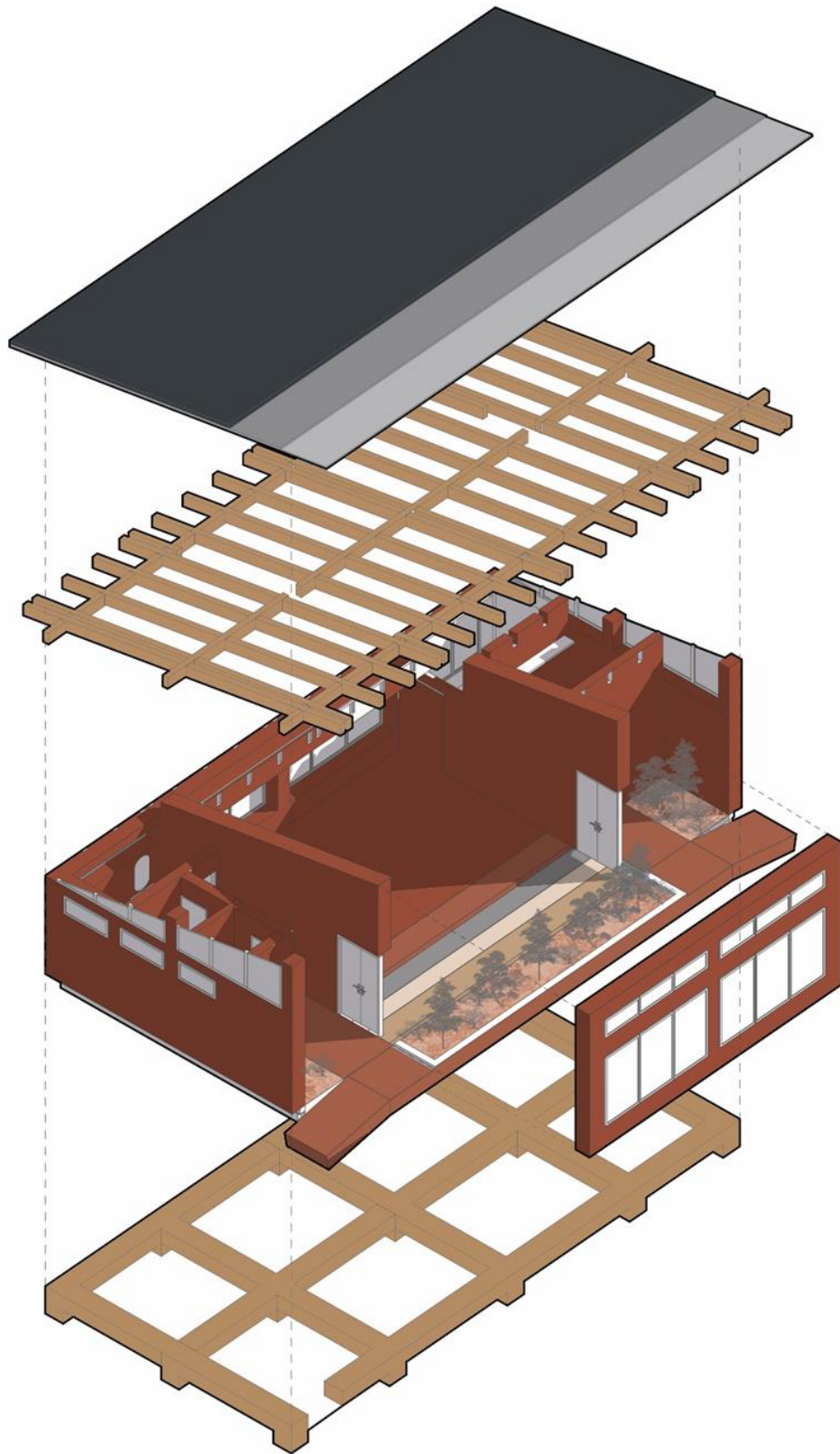
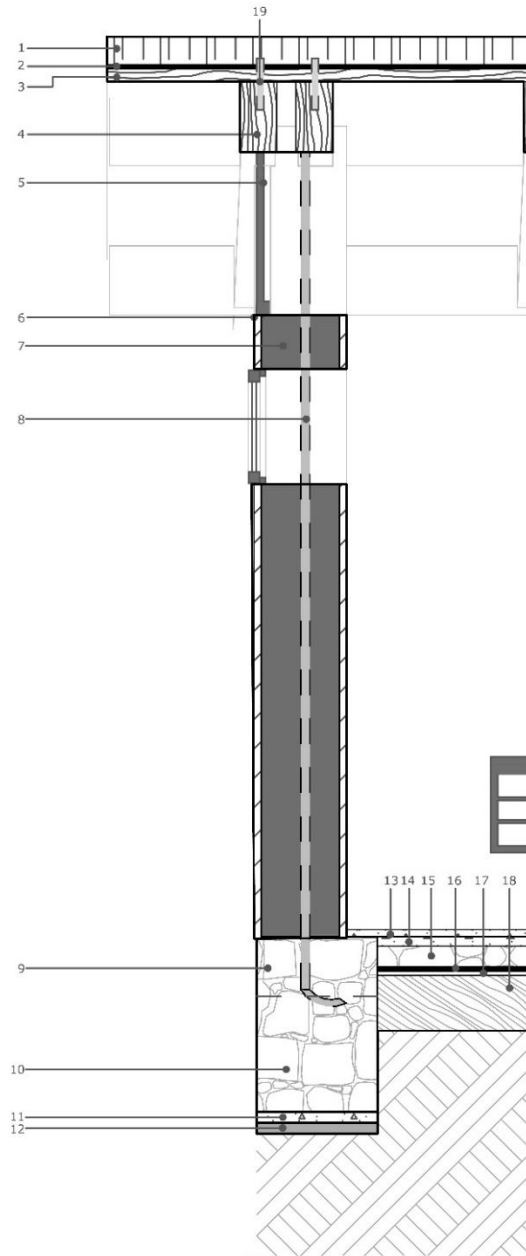
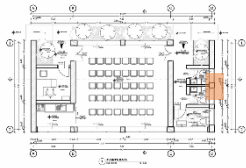


Figura 70: Despiece constructivo del proyecto

Fuente: Elaboración propia

4.8.1. Detalle constructivo: Muro de ladrillo portante con enlucido de tierra con fibras



SIMBOLOGÍA

1. Teja artesanal 0.30m x 0.40m
2. Lamina asfáltica de 0.01m de espesor. Aislamiento Térmico
3. Plancha de MDF de color Cedro de 2.40m x 1.30m de espesor de 0.05m
4. Vigas de madera de Cedro tratado de 0.30m x 0.15m de 3m de largo
5. Ventanas de espesor de 6mm con marco de Madera de Cedro
6. Enlucido fino de 0.02m. Compuesto por barro (arcilla y arena), cal apagada, fibra de paja, agua
7. Ladrillo estructural macizo de arcilla 25 x 12 x 6cm
8. Varillas de refuerzo de \varnothing 12mm para los muros portantes.
9. Sobrecimiento de 0.25 m. Componen de piedra cantera y cemento.
10. Cimiento de 0.50 m. Componen de piedra cantera y hormigón.
11. Cama de hormigon de 0.05m
12. Compactado de tierra de 0.05
13. Piso de cemento pulido de 0.05m
14. Cama de hormigon de 0.05m
15. Compactado de piedra 0.10 m. Componen de piedra cantera y hormigón.
16. Membrana de polietileno (Plastico negro) de 0.005m
17. Cama de cal de 0.005m
18. Compactado de tierra con arcilla de 0.25 m
19. Pernos de acero de 8pulg

4 DETALLE CONS. 1
ESC. 1:100

Figura 71: Detalle constructivo general de muro

Fuente: Elaboración propia

Composición del muro

Ladrillo portante:

- Elemento estructural que soporta cargas verticales y laterales.
- Dimensiones y resistencia adecuadas para garantizar estabilidad.
- Disposición con mortero de tierra estabilizada o mortero de cal.

Enlucido de tierra con fibras:

- Capa de acabado a base de tierra cruda con fibras naturales como paja, cáñamo o bagazo.
- Aplicada en capas delgadas para mejorar la adherencia y reducir fisuras.
- Regulador térmico y de humedad, mejorando el confort interior.
- Ventajas del Sistema Constructivo

Sostenibilidad y bajo impacto ambiental

- Uso de materiales locales y naturales reduce la huella de carbono.
- No requiere procesos industriales intensivos, disminuyendo el consumo energético.
- Biodegradable y reciclable al final de su vida útil.

Regulación térmica y confort interior

- La tierra con fibras actúa como un regulador térmico natural, absorbiendo y liberando calor gradualmente.
- Disminuye la necesidad de climatización artificial, reduciendo el consumo energético.
- El muro de alta inercia térmica mantiene temperaturas estables dentro del espacio.

Regulación de la humedad

- La tierra tiene propiedades higroscópicas, permitiendo absorber y liberar humedad según las condiciones del ambiente.
- Previene condensaciones y mejora la calidad del aire en el interior.
- Evita problemas de moho y deterioro por exceso de humedad.

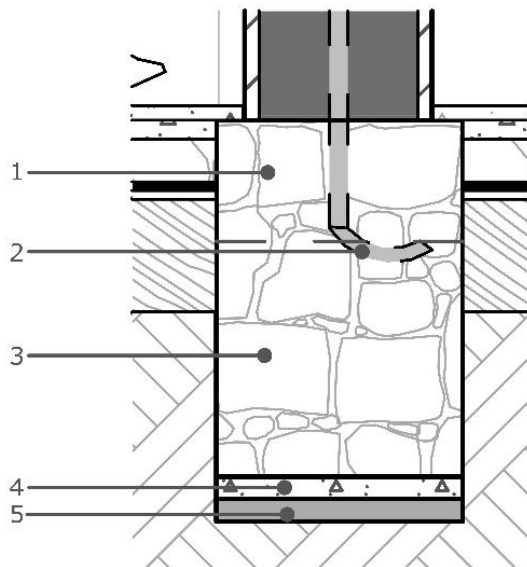
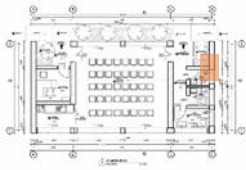
Resistencia y durabilidad

- El ladrillo portante proporciona solidez estructural y estabilidad frente a cargas.
- El enlucido de tierra con fibras refuerza la superficie, evitando erosión y desgaste.
- Bajo mantenimiento, con posibilidad de reparaciones simples aplicando nuevas capas de enlucido.

Estética natural y acabado saludable

- Textura cálida y orgánica que se integra con el entorno.
- No emite compuestos tóxicos (COV), asegurando un ambiente interior saludable.
- Posibilidad de pigmentación con tierras naturales para acabados personalizados.

4.8.2. Detalle constructivo: Zapatas corridas con piedra de canto rodado y unión de hormigón



SIMBOLOGÍA

1. Sobrecimiento de 0.25 m. Componen de piedra cantera y hormigón compuesto con arena fina, cemento y agua y piedras pequeñas de 0.05m.
2. Varillas de $\varnothing 12$ mm. Con un giro de cola de mono.
3. Cimiento de 0.50m x 0.50m. Componen de piedra cantera y hormigón. compuesto con arena fina, cemento y agua y piedras pequeñas de 0.05m.
4. Cama de hormigón de 0.05m
5. Compactado de tierra de 0.05

5

DETALLE CONS. 2

ESC. 1:100

Figura 72: Detalle constructivo de la cimentación

Fuente: Elaboración propia

Composición del sistema

Zapatas corridas:

- Base estructural de piedra de canto rodado colocada en una zanja de cimentación.
- Distribuye cargas de manera uniforme al suelo.

Piedra de canto rodado:

- Material natural, generalmente extraído de ríos o canteras cercanas.
- Se coloca de manera trabada para garantizar estabilidad y resistencia.

Unión con hormigón:

- Hormigón con mezcla de cemento, arena y grava para cohesionar la piedra.
- Asegura una mayor integración y solidez estructural.
- Puede incluir refuerzos de acero si se requiere mayor capacidad portante.

Ventajas del sistema constructivo

Sostenibilidad y bajo impacto ambiental

- Uso de materiales naturales y locales, reduciendo la huella de carbono.
- Menor consumo de cemento en comparación con una cimentación completamente de hormigón.
- Alta durabilidad con bajo mantenimiento.

Capacidad de drenaje y adaptabilidad al terreno

- La piedra de canto rodado permite cierto drenaje del agua subterránea, reduciendo la presión hidrostática.
- Se adapta bien a suelos con buena capacidad portante.

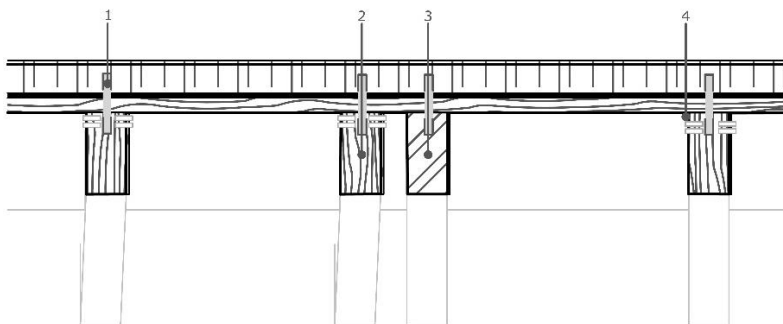
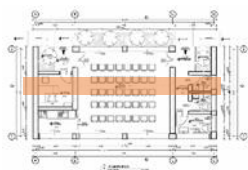
Estabilidad y distribución de cargas

- Las zapatas corridas permiten repartir las cargas de los muros portantes de manera uniforme.
- La combinación de piedra y hormigón genera una estructura resistente y flexible ante asentamientos diferenciales.

Costo reducido

- Menor uso de hormigón y acero en comparación con cimentaciones convencionales.
- Aprovechamiento de piedra disponible en la zona, reduciendo costos de transporte y material.

4.8.3. Detalle constructivo: Unión del techo con la viga de madera e impermeabilización con lámina asfáltica



SIMBOLOGÍA

1. Pernos de acero de 8pulg
2. Vigas de madera de Cedro tratado de 0.30m x 0.15m de 3m de largo
3. Vigas de acero con forramiento de Cedro tratado de 0.30m x 0.15m. Esta viga sirve de refuerzo para asumir las grandes luces
4. Unión de vigas con lamina de metal y con pernos de 8pulg

6

DETALLE CONS. 3

ESC. 1:100

Figura 73: Detalle constructivo de las vigas con el techo

Fuente: Elaboración propia

Composición del sistema

Viga de madera como elemento estructural

- La viga de madera funciona como soporte principal del techo, transmitiendo las cargas a la estructura portante.
- Puede ser de madera laminada o maciza, tratada contra humedad, plagas e incendios.
- Se fija a los muros mediante anclajes met

Panel de madera como base del techo

- Sobre la viga se coloca un panel de madera estructural (puede ser OSB o plywood), el cual actúa como soporte para la impermeabilización y la cubierta.
- Asegura rigidez y estabilidad al techo, evitando deformaciones.

Impermeabilización con lámina asfáltica

- Sobre el panel de madera se instala una lámina asfáltica, asegurando una barrera contra filtraciones.
- La colocación se realiza con calor o adhesivos específicos para sellar correctamente la superficie.
- Se solapan las uniones para evitar puntos de entrada de agua.
- En la unión con el muro, la lámina se extiende unos centímetros y se sella con un perfil metálico o mortero impermeable.

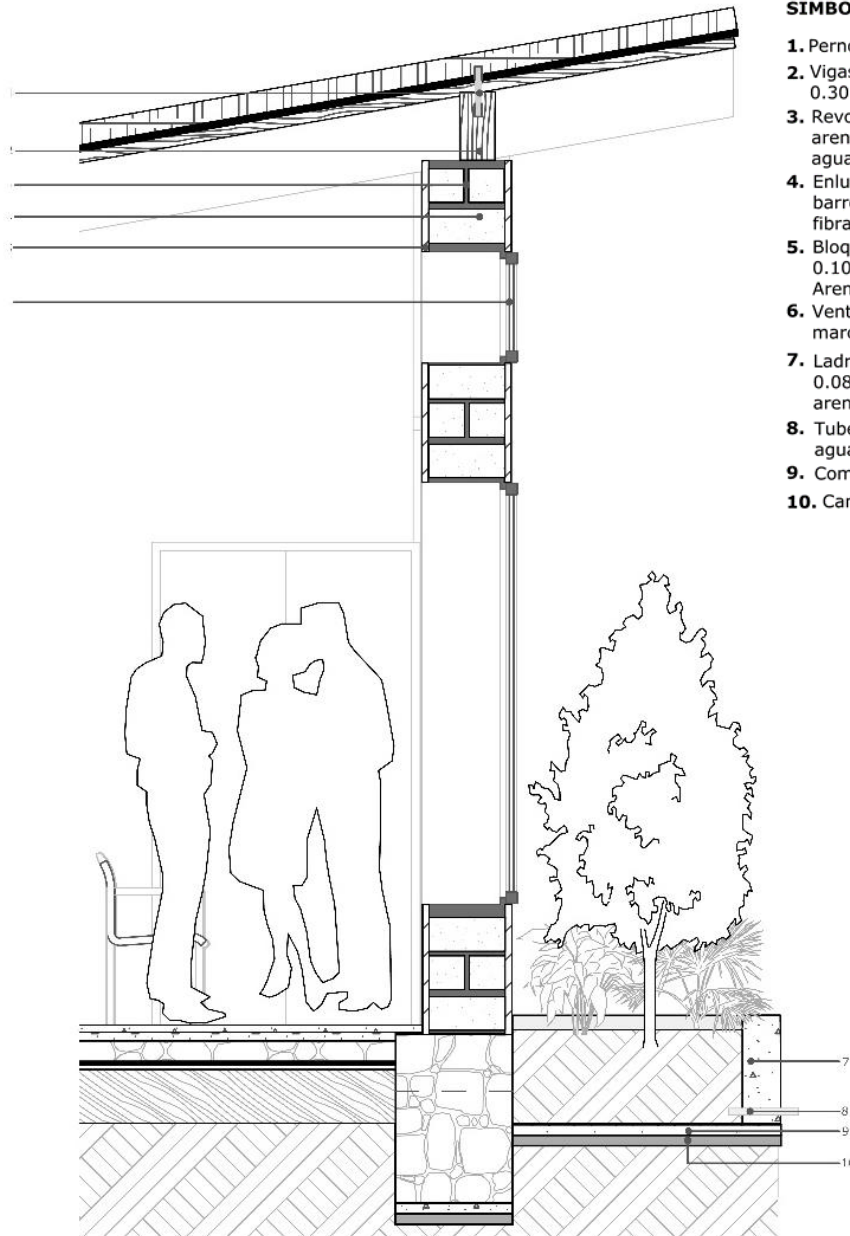
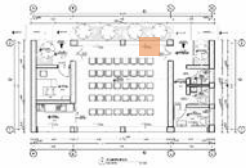
Cubierta de fibrocemento como protección final

- Impermeabilización se coloca el techo de fibrocemento.
- Se fija con tornillos o clavos especiales, dejando una pequeña separación entre las láminas para permitir la dilatación.
- Puede incluirse un aislamiento térmico debajo de la cubierta para mejorar el confort en el interior.

Ventajas del sistema constructivo

- Alta resistencia estructural: La combinación de madera y fibrocemento brinda un sistema liviano pero resistente.
- Impermeabilidad garantizada: La lámina asfáltica protege contra filtraciones y prolonga la vida útil de la cubierta.
- Eficiencia térmica y acústica: El panel de madera y el fibrocemento reducen la transmisión térmica y el ruido exterior.
- Durabilidad y bajo mantenimiento: Materiales tratados para resistir humedad, plagas y agentes climáticos adversos.

4.8.4. Detalle constructivo: Muro de adobe con revoque y enlucido fino con fibras de paja



SIMBOLOGÍA

1. Pernos de acero de 8pulg
2. Vigas de madera de Cedro tratado de 0.30m x 0.15m de 3m de largo
3. Revoque de barro 0.03m. Tierra, arcilla, arena, cal apagada, con fibras de paja y agua
4. Enlucido fino de 0.02m. Compuesto por barro (arcilla y arena), cal apagada, fibra de paja, agua
5. Bloques de adobe de 0.40m x 0.20m x 0.10m. Compuesto por tierra arcillosa, Arena, fibras de paja, agua.
6. Ventanas de espesor de 6mm con marco de Madera de Cedro
7. Ladrillo artesanal 0.25m x 0.12m x 0.08m. Cubrido con enlucido fino de arena, barro y agua.
8. Tubería de 1/2 pulg. Para salida de agua
9. Compactado de tierra de 0.05m
10. Cama de hormigon de 0.05m

10 DETALLE CONS. 7

ESC. 1:100

Figura 74: Detalle constructivo del adobe y general

Fuente Elaboración propia

Composición del sistema

Muro de adobe como elemento estructural

- Construido con bloques de adobe (mezcla de tierra, agua y fibras vegetales como paja).
- Material natural con excelente capacidad térmica y buena resistencia estructural en muros portantes.
- Disposición trabajada de los adobes para mejorar la estabilidad y evitar fisuras.

Revoque con fibras

- Aplicado sobre la superficie del adobe para mejorar su resistencia a la intemperie.
- Compuesto por una mezcla de tierra, arena, agua y fibras naturales (como paja o cabuya) para reforzar su cohesión.
- Se aplica en capas de aproximadamente 2 a 3 cm de espesor, garantizando una adherencia adecuada al adobe.
- Permite la transpirabilidad del muro, impidiendo la acumulación de humedad.

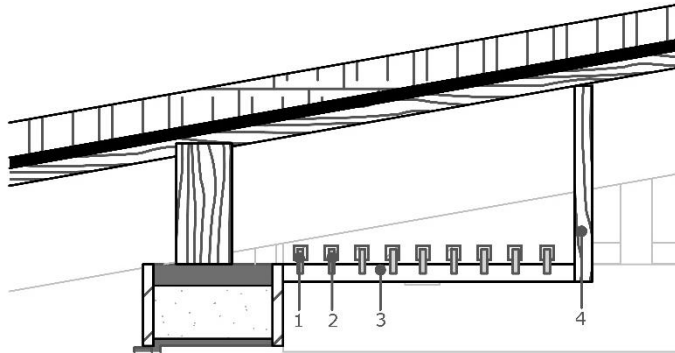
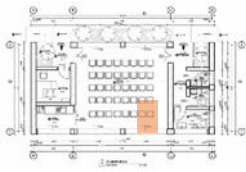
Enlucido fino con fibras de paja

- Capa final de acabado sobre el revoque, con una mezcla de tierra más fina, arena cernida, agua y paja muy triturada.
- Aplicado en capas delgadas (0,5 a 1 cm de espesor) para dar un acabado liso y resistente.
- La fibra de paja mejora la cohesión y reduce la formación de fisuras por retracción.
- Puede recibir un tratamiento con arcillas o pigmentos naturales para mejorar su estética y protección.

Ventajas del sistema constructivo

- Sostenibilidad y bajo impacto ambiental: Uso de materiales locales y biodegradables.
- Eficiencia térmica y confort interior: El adobe regula la temperatura y humedad del ambiente.
- Resistencia y durabilidad: El revoque con fibras protege el adobe de la erosión y agentes climáticos.
- Mantenimiento sencillo y bajo costo: Reparaciones fáciles con la misma mezcla utilizada en la construcción.

4.8.5. Detalle constructivo: Cielo raso de gypsum



SIMBOLOGÍA

1. Pernos de acero de 6pulg
2. Cuadricula de 0.05m x 0.05m con dimensiones del aluminio de 0.05m x 0.03m
3. Cielo raso de GYPSUM
4. Plancha de MDF de color Cedro de 2.40m x 1.30m de espesor de 0.05m

9

DETALLE CONS. 6

ESC. 1:100

Figura 75: Detalle constructivo del cielo Raso

Fuente: Elaboración propia

Composición del sistema

Estructura de soporte

- Formada por un entramado de perfiles metálicos de acero galvanizado, generalmente montantes y canales.
- Se fija a la losa o viguetas mediante anclajes mecánicos o colgadores regulables, permitiendo nivelación y ajuste.
- La separación entre perfiles depende del diseño, pero suele ser de 40 a 60 cm para garantizar la estabilidad.

Placas de yeso como superficie visible

- Se atornillan a la estructura metálica con tornillos autoperforantes, asegurando una fijación firme.
- Se pueden utilizar placas estándar o resistentes a la humedad (para baños y cocinas).
- Las juntas entre placas se sellan con masilla y cinta de refuerzo para un acabado uniforme.

Acabado y pintura

- Una vez seco el sellado de juntas, se lija la superficie para obtener un acabado liso.
- Se aplica una capa de imprimación antes de pintar para mejorar la adherencia.
- Puede pintarse con pintura acrílica o látex según la estética deseada.

Ventajas del sistema constructivo

- Ligero y resistente: No sobrecarga la estructura y tiene buena resistencia mecánica.
- Flexibilidad en diseño: Permite cielos rasos planos, curvos o con niveles para efectos estéticos.
- Aislamiento térmico y acústico: Puede incorporar lana mineral u otros aislantes en su interior.
- Fácil mantenimiento y reparación: Se pueden desmontar secciones sin afectar toda la estructura

4.9. Perspectivas del proyecto.

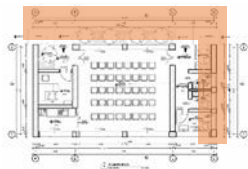


Figura 76: Perspectiva del proyecto

Fuente Elaboración propia

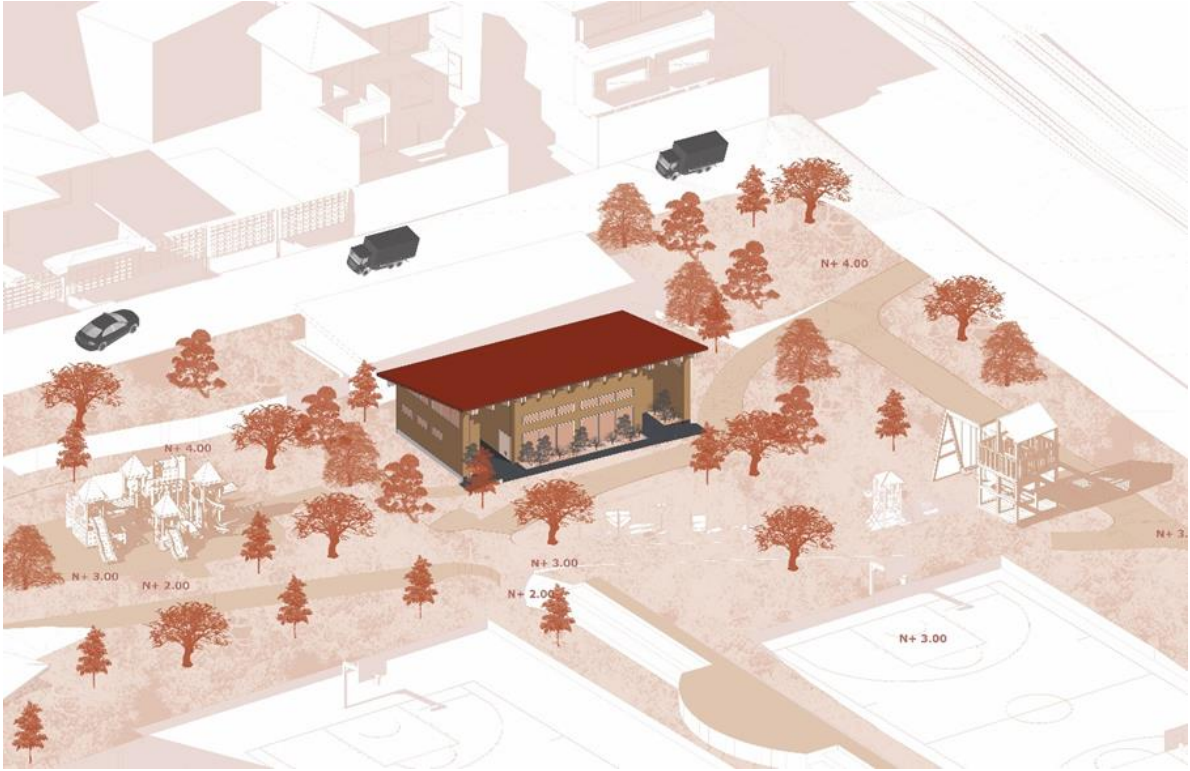


Figura 77: Perspectiva del proyecto en el terreno

Fuente Elaboración propia

4.9.1. Renders del Proyecto

Render exterior 1



Figura 78: Render Exterior del proyecto

Fuente y elaboración: Elaboración propia

Render exterior 2



Figura 79: Render Exterior 2

Fuente y elaboración: Elaboración propia

Render exterior 3



Figura 80: Render exterior 3

Fuente y elaboración: Elaboración propia

Render interior 1. sala de reuniones



Figura 81: Render Interior. Sala de reuniones

Fuente y elaboración: Elaboración propia

Render exterior 4



Figura 82. Render exterior 4

Fuente y elaboración: Elaboración propia

Render interior, sala de reuniones



Figura 83: Render interior de sala de reuniones 1

Fuente y elaboración: Elaboración propia

Render interior, sala de reuniones



Figura 84: Render de interior, sala de reuniones

Fuente y elaboración: Elaboración propia

Render Interior, sala de reuniones



Figura 85. Render interior. Sala de reuniones

Fuente y elaboración: Elaboración propia

Render Interior, Cocina



Figura 86. Render Interior Cocina

Fuente y elaboración: Elaboración propia

Render interior, baños, jardines internos



Figura 87: Render interiores y jardineras internas

Fuente y elaboración: Elaboración propia



Figura 88. Jardineras

Fuente y elaboración: Elaboración propia



Figura 89. Jardinerias

Fuente y elaboración: Elaboración propia

Renders de detalles



Figura 90: Render entrada del proyecto

Fuente y elaboración: Elaboración propia



Figura 91. Render detalle

Fuente y elaboración: Elaboración propia

Render de cocina



Figura 92. Render Cocina

Fuente y elaboración: Elaboración propia

Render de pasillo de circulación



Figura 93: Render pasillo de circulación

Fuente y elaboración: Elaboración propia

4.10. Cálculo de huella de carbono del proyecto.

4.10.1. Cimentación

Materiales: Piedra de canto rodado, hormigón (mínima adherencia)

Cálculo de peso y emisión:

Piedra de canto rodado:

$$\text{Peso: } 12 \text{ m}^3 \times 2.600 \text{ kg/m}^3 = 31.200 \text{ kg}$$

$$\text{Emisiones: } 31.200 \text{ kg} \times 0,005 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 156 \text{ kgCO}_2$$

Hormigón (5% del volumen total = 0,6 m³):

$$\text{Peso: } 0,6 \text{ m}^3 \times 2.400 \text{ kg/m}^3 = 1.440 \text{ kg}$$

$$\text{Emisiones: } 1.440 \text{ kg} \times 0,15 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 216 \text{ kgCO}_2$$

$$\text{Cimentación total: } 156 + 216 = 372 \text{ kgCO}_2$$

4.10.2. Pisos (70m²)

Materiales: Tierra compactada (0.25m) + Cal apagada (0.01m) + Plástico + Piedra de canto rodado (0.10m) + Tierra estabilizada con cal (0.05m, en lugar de cemento pulido)

Cálculo de peso y emisión:

Tierra compactada:

$$\text{Peso: } (70\text{m}^2 \times 0,25\text{m}) \times 1.700 \text{ kg/m}^3 = 29.750 \text{ kg}$$

$$\text{Emisiones: } 29.750 \text{ kg} \times 0,002 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 59,5 \text{ kgCO}_2$$

Cal apagada:

$$\text{Peso: } (70\text{m}^2 \times 0,01\text{m}) \times 800 \text{ kg/m}^3 = 560 \text{ kg}$$

$$\text{Emisiones: } 560 \text{ kg} \times 0,76 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 425,6 \text{ kgCO}_2$$

Plástico (2 kg/m² asumidos):

$$\text{Peso: } 70\text{m}^2 \times 2 \text{ kg} = 140 \text{ kg}$$

$$\text{Emisiones: } 140 \text{ kg} \times 6 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 840 \text{ kgCO}_2$$

Piedra de canto rodado:

$$\text{Peso: } (70\text{m}^2 \times 0,10\text{m}) \times 2.600 \text{ kg/m}^3 = 18.200 \text{ kg}$$

$$\text{Emisiones: } 18.200 \text{ kg} \times 0,005 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 91 \text{ kgCO}_2$$

Tierra estabilizada con cal (90% tierra, 10% cal, densidad 1.600 kg/m³, espesor 0,05m):

$$\text{Peso total: } (70\text{m}^2 \times 0,05\text{m}) \times 1.600 \text{ kg/m}^3 = 5.600 \text{ kg}$$

$$\text{Peso tierra (90\%)} = 5.600 \text{ kg} \times 0,90 = 5.040 \text{ kg}$$

$$\text{Peso cal (10\%)} = 5.600 \text{ kg} \times 0,10 = 560 \text{ kg}$$

$$\text{Emisiones tierra: } 5.040 \text{ kg} \times 0,002 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 10,08 \text{ kgCO}_2$$

$$\text{Emisiones cal: } 560 \text{ kg} \times 0,76 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 425,6 \text{ kgCO}_2$$

$$\text{Total, pisos reajustados: } 59,5 + 425,6 + 840 + 91 + 10,08 + 425,6 = 1.851,78 \text{ kgCO}_2$$

4.10.3. Paredes

Paredes de adobe (75m²)

Materiales: Adobe, revoque de tierra, enlucido fino, pintura pigmentada.

Cálculo de peso y emisión:

$$\text{Peso: } (75\text{m}^2 \times 0,3\text{m}) \times 1.800 \text{ kg/m}^3 = 40.500 \text{ kg}$$

$$\text{Emisiones: } 40.500 \text{ kg} \times 0,01 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 405 \text{ kgCO}_2$$

Paredes de ladrillo estructural artesanal (102,63m²)

Materiales: Ladrillo artesanal, enlucido fino, pintura pigmentada.

Cálculo de peso y emisión:

$$\text{Peso: } (102,63\text{m}^2 \times 0,2\text{m}) \times 1.900 \text{ kg/m}^3 = 38.000 \text{ kg}$$

$$\text{Emisiones: } 38.000 \text{ kg} \times 0,08 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 3.040 \text{ kgCO}_2$$

$$\text{Paredes totales: } 405 + 3.040 = 3.445 \text{ kgCO}_2$$

4.10.4. Cubierta

Materiales: MDF, lámina asfáltica, teja artesanal

Cálculo de peso y emisión:

MDF:

$$\text{Peso: } (80\text{m}^2 \times 0,015\text{m}) \times 700 \text{ kg/m}^3 = 840 \text{ kg}$$

$$\text{Emisiones: } 840 \text{ kg} \times 0,50 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 420 \text{ kgCO}_2$$

Lámina asfáltica:

$$\text{Peso: } 80\text{m}^2 \times 3 \text{ kg/m}^2 = 240 \text{ kg}$$

$$\text{Emisiones: } 240 \text{ kg} \times 0,35 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 84 \text{ kgCO}_2$$

Teja artesanal:

$$\text{Peso: } 80\text{m}^2 \times 40 \text{ kg/m}^2 = 3.200 \text{ kg}$$

$$\text{Emisiones: } 3.200 \text{ kg} \times 0,06 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 192 \text{ kgCO}_2$$

$$\text{Techo total: } 420 + 84 + 192 = 696 \text{ kgCO}_2$$

4.10.5. Vigas y refuerzos

Materiales: Madera estructural, varillas de acero.

4.10.6. Cálculo de peso y emisión:

Madera estructural (170ml de vigas de 0,15x0,30m):

$$\text{Peso: } 170\text{ml} \times 25 \text{ kg/ml} = 4.250 \text{ kg}$$

$$\text{Emisiones: } 4.250 \text{ kg} \times 0,05 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 212,5 \text{ kgCO}_2$$

Varillas de acero (30m, 12mm de diámetro):

$$\text{Peso: } 30\text{m} \times 0,89 \text{ kg/m} = 26,7 \text{ kg}$$

$$\text{Emisiones: } 26,7 \text{ kg} \times 1,85 \text{ kgCO}_2/\text{kg} = 49,4 \text{ kgCO}_2$$

$$\text{Estructura total: } 212,5 + 49,4 = 261,9 \text{ kgCO}_2$$

4.10.7. Total, global de emisiones con reajuste:

$$372 \text{ (cimentación)} + 1.851,78 \text{ (pisos)} + 3.445 \text{ (paredes)} + 696 \text{ (techo)} + 261,9 \text{ (estructura)} = 6.626,68 \text{ kgCO}_2$$

4.10.8. Cálculo de la huella de carbono por m²:

Si tu proyecto tiene 6.626,68 kgCO₂ para 80 m², podemos calcular las emisiones de carbono por metro cuadrado.

$$\text{Emisiones por m}^2 = 6,626.68 \text{ kgCO}_2 / 80\text{m}^2 = 82.83 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$$

b. Resultado del proyecto de la huella de carbono

El cálculo de la huella de carbono para el proyecto arquitectónico arroja un valor total de 6.626,68 kgCO₂, correspondiente a una superficie de 80 m², lo que equivale a 82,83 kgCO₂/m². Este resultado sitúa al proyecto dentro del rango de Construcción de Bajo Impacto o Carbono Neutral, según los parámetros del ciclo de vida (ACV), que consideran emisiones menores a 100 kgCO₂/m² como indicativo de un impacto ambiental reducido.

Este desempeño positivo se atribuye al uso de materiales locales y naturales como el adobe, la madera y la piedra, así como a la incorporación de estrategias pasivas y elementos de eficiencia energética, lo que demuestra un compromiso con la sostenibilidad ambiental. En comparación con construcciones tradicionales que pueden superar los 500 kgCO₂/m² debido al uso intensivo de materiales industrializados como el hormigón y el acero, el presente proyecto representa una alternativa viable y responsable frente al cambio climático y la reducción de gases de efecto invernadero.

4.11. Presupuesto referencial

N°	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio referencial unitario (USD)	Precio referencial global (USD)
OBRAS PRELIMINARES					
1	Limpieza y desbroce del terreno	2	Global	\$100.00	\$200.00
2	Trazado y nivelación	2	global	\$80.00	\$160.00
3	Excavación manual en terreno suave	12	m3	\$70.00	\$840.00
SUBTOTAL					\$1200.00
CIMENTACIÓN					
1	Piedra de canto rodado	12	m3	\$120.15	\$1441.80
2	Hormigón simple (mezcla en obra)	6	m3	\$120	\$720
3	Mano de obra para cimentación, Maestro	2	global	\$180	\$360
4	Mano de obra para cimentación, Albañiles	4	global	\$160	\$640
SUBTOTAL					\$3161.80
PISOS					
1	Compactado de tierra con arcilla	20	m3	\$25	\$500.00

2	Cama de cal	4	m3	\$20	\$80.00
3	Compactado de piedra con hormigón	8	m3	\$160.50	\$1284.00
4	Cama de hormigón	4	m3	\$140	\$560
5	Piso pulido	4	m3	\$140	\$560
6	Mano de obra para pisos, Maestro	2	global	\$180	\$360
7	Mano de obra para pisos, Albañiles	4	global	\$160	\$640
SUBTOTAL					\$3984.00
PAREDES					
1	Paredes de adobe	75	m2	\$35	\$2625.00
2	Pared de ladrillo estructural	102.63	m2	\$30	\$3078.90
3	Enlucido de tierra	102.63	m2	\$10	\$1026.30
4	Mano de obra para pisos, Maestro	3	global	\$180	\$540.00
5	Mano de obra para pisos, Albañiles	6	global	\$160	\$960.00
SUBTOTAL					\$8230.80
CUBIERTA					
1	Teja artesanal de barro	85	m2	\$40	\$3400.00
2	Lámina asfáltica impermeabilizante	85	m2	\$25	\$2125.00
3	Panel de madera (MDF o similar para base de cubierta)	85	m2	\$27.50	\$2337.50
4	Mano de obra para pisos, Maestro	3	Global	\$180	\$540.00
5	Mano de obra para pisos, Albañiles	6	Global	\$160	\$960.00
SUBTOTAL					\$9362.50
VIGAS Y REFUERZO					
1	Vigas de madera (30 x 15 cm)	23	u	\$35	\$805.00
2	Clavos para uniones (8" aprox., reforzados)	138	u	\$0.10	\$13.80

3	Mano de obra para pisos, Maestro	3	Global	\$180	\$540.00
4	Mano de obra para pisos, Albañiles	6	Global	\$160	\$960.00
SUBTOTAL					\$2318.80
TOTAL					\$28257.90
TOTAL, M2 CONSTRUCCIÓN					\$353.22

4.12. Análisis de replicabilidad territorial del anteproyecto

4.12.1. Justificación de la replicabilidad

La replicabilidad del proyecto de centro comunitario representa una estrategia clave para ampliar el impacto positivo del diseño arquitectónico más allá del sitio inicial de intervención. En una ciudad como Cuenca, caracterizada por una expansión urbana diversa y heterogénea, contar con un prototipo de infraestructura comunitaria adaptable y sostenible permite responder a distintas realidades barriales sin comprometer los principios de eficiencia ambiental ni de cohesión social. Según Castañeda y Barragán (2020), la adaptabilidad arquitectónica es fundamental en contextos urbanos dinámicos, ya que permite que los proyectos respondan a las particularidades de cada territorio sin perder su esencia funcional.

Replicar el modelo arquitectónico en otros sectores no implica una simple repetición del diseño, sino una adaptación inteligente que considera los recursos materiales del entorno, las condiciones climáticas locales y la participación activa de la comunidad. Esta capacidad de ajuste convierte al proyecto en una solución modular, viable y escalable, especialmente valiosa en zonas urbanas con déficit de espacios comunitarios y alta vulnerabilidad social o ambiental. Como afirman Fernández y García (2018), los modelos arquitectónicos replicables deben tener la capacidad de flexibilizarse para integrarse a distintos contextos socioculturales y físicos, sin generar impactos ambientales significativos.

Desde una perspectiva ambiental, la replicabilidad fortalece el enfoque de construcción con baja huella de carbono, ya que promueve el uso de materiales locales y técnicas constructivas acordes a cada sitio, reduciendo los costos energéticos asociados al transporte y a la fabricación intensiva (González y Navarro, 2006). Asimismo, se contribuye a la resiliencia urbana, al implementar estrategias pasivas de diseño —como orientación solar, ventilación cruzada y aislamiento térmico natural— que se adaptan a las distintas condiciones sin depender de sistemas mecánicos de climatización (Olgay, 2015).

En términos urbanos, un prototipo replicable permite generar una red de centros comunitarios distribuidos equitativamente en distintos sectores de la ciudad, facilitando el acceso a servicios y actividades colectivas. Esto no solo mejora la calidad de vida, sino que refuerza el tejido social y promueve un desarrollo urbano más inclusivo y sostenible. De acuerdo con Gehl (2011), los

espacios comunitarios bien distribuidos y con enfoque humano son vitales para una ciudad viva, segura y ambientalmente consciente.

Finalmente, el alcance de esta estrategia posiciona al proyecto como una herramienta replicable de transformación urbana con enfoque ecológico, que puede ser adoptada por los gobiernos locales, juntas parroquiales y organizaciones sociales, promoviendo así una visión ciudadana participativa y ambientalmente responsable en la planificación y construcción de equipamiento urbano (UN-Habitat, 2014).

4.12.2. Selección del sitio para prueba de prototipo

Con el objetivo de validar la replicabilidad del prototipo de centro comunitario en diferentes contextos urbanos de Cuenca, se ha seleccionado un segundo sitio para la implantación del modelo arquitectónico, ubicado en el Parque Iberia, dentro de la parroquia Yanuncay. Este nuevo emplazamiento permite contrastar el comportamiento del proyecto en un entorno urbano más consolidado y denso, posibilitando una evaluación comparativa en términos de impacto ambiental, adaptación funcional y eficiencia térmica.

a. Ubicación

El terreno se encuentra delimitado por importantes vías urbanas: la Av. Don Bosco, la calle Fray Luis de León, la calle Francisco de Quevedo y la calle Iberia, con coordenadas geográficas aproximadas de -2.915447, -79.019814. Esta localización se inserta en una zona estratégica del sur de Cuenca, con alta conectividad vial y cercanía a redes de transporte público y ciclovías.



Figura 94: Ubicación de opción del proyecto

Fuente y elaboración: Google maps

c. Orientación del proyecto

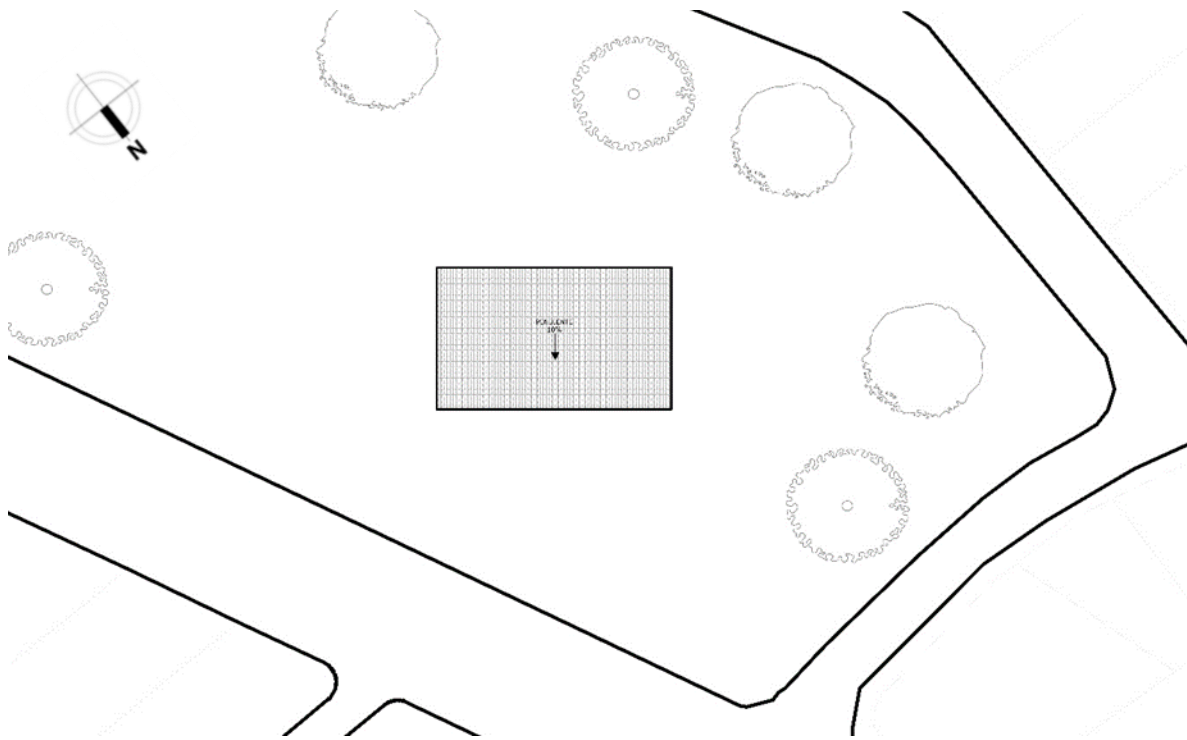


Figura 95: Emplazamiento del prototipo

Fuente: Elaboración propia

Uno de los pilares fundamentales del diseño sostenible es la optimización de estrategias pasivas, las cuales permiten reducir el consumo energético y mejorar el confort térmico de los usuarios sin recurrir a sistemas mecánicos. En este sentido, al trasladar el prototipo al nuevo emplazamiento en el Parque Iberia, se ha verificado que el diseño mantiene su eficiencia pasiva, al conservar la misma orientación analizada originalmente.

La orientación de la fachada principal del proyecto determinante para el ingreso controlado de radiación solar se ha mantenido en el nuevo terreno. Esta fachada está dispuesta hacia el nortee-noreste, lo que permite maximizar el aprovechamiento de la radiación solar en las mañanas y primeras horas de la tarde, reduciendo la necesidad de iluminación artificial y facilitando el calentamiento natural del espacio durante las horas más frescas del día (Olgay, 2015).

Dado que Cuenca se encuentra en una zona ecuatorial con baja variación estacional del ángulo solar, la eficacia de la orientación se mantiene constante a lo largo del año, asegurando un comportamiento térmico estable tanto en el sitio original como en el nuevo emplazamiento.

Los vientos predominantes en Cuenca provienen del este y noreste, especialmente durante la tarde. En ambos sitios, el diseño incorpora ventanas operables en fachadas opuestas, permitiendo ventilación cruzada y renovación del aire interior de forma natural, lo que contribuye a mejorar el confort térmico y reducir la humedad interna. Este principio, aplicado en el nuevo entorno urbano

del Parque Iberia, mantiene su efectividad debido a la orientación y disposición espacial del prototipo (Givoni, 1998).

d. Características urbanas

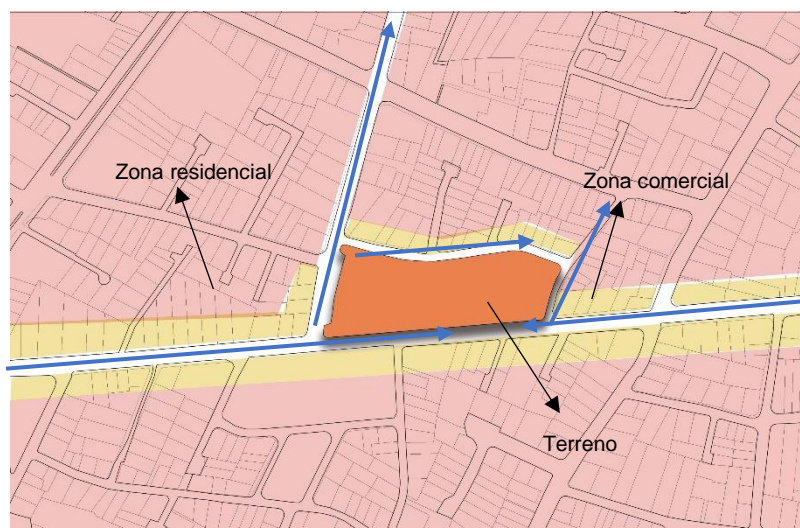


Figura 96: Características urbanas

Fuente y elaboración: Elaboración propia

El entorno inmediato del Parque Iberia presenta una densidad urbana media-alta, en donde se combinan edificaciones residenciales y comerciales, generando un tejido urbano activo y diverso. La Av. Don Bosco, que delimita el parque por el norte, es una de las arterias más dinámicas de la parroquia, reconocida por su actividad comercial y gastronómica.

A nivel de infraestructura, el sitio cuenta con acceso a servicios esenciales como instituciones educativas, centros de salud, supermercados y sistemas de transporte público, lo cual lo convierte en un entorno favorable para la implementación de proyectos piloto de impacto comunitario (El Mercurio, 2023). Asimismo, la presencia de áreas verdes consolidadas como el Parque Iberia y el Parque Lineal del río Yanuncay fortalece el componente ambiental del prototipo y ofrece oportunidades para la integración paisajística y el uso recreativo.

e. Características climáticas

El clima en Cuenca, clasificado como ecuatorial mesotérmico semi húmedo, se caracteriza por temperaturas promedio entre 10°C y 20°C a lo largo del año y una humedad relativa elevada, que varía entre el 77% y el 88% según la estación (GAD Azuay, 2023; Weather Atlas, 2023). Las precipitaciones anuales alcanzan en promedio los 1.200 mm, con una mayor incidencia en marzo y una disminución notable en agosto. Estas condiciones climáticas inciden directamente en los criterios de diseño pasivo, especialmente en lo referente a protección contra la humedad, ventilación natural e iluminación solar.

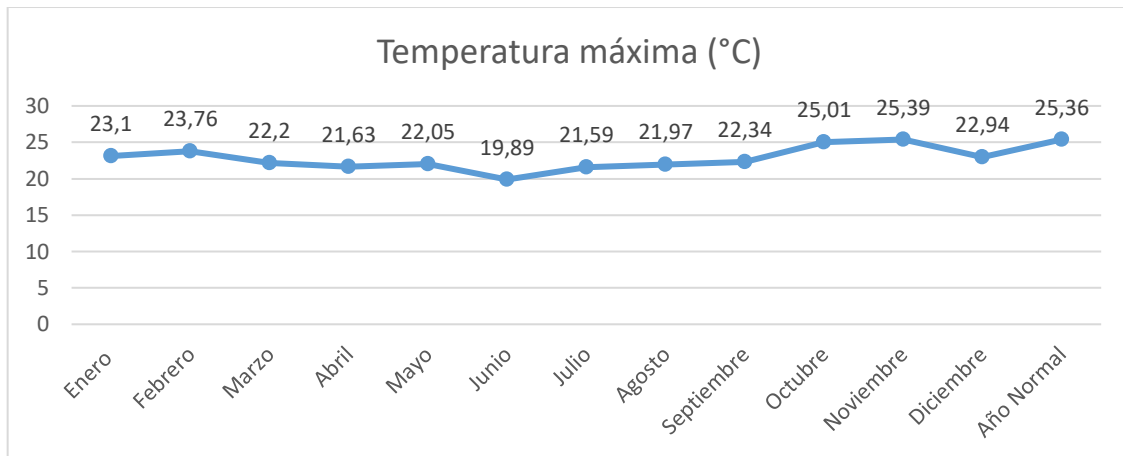


Tabla 16: Temperaturas máximas, nueva ubicación

Fuente y elaboración: Elaboración propia

En el sector del Parque Iberia, ubicado en la zona sur de la ciudad de Cuenca, se observa una leve variación en las temperaturas máximas en comparación con otros sectores urbanos debido a su ubicación más abierta y su cercanía con zonas verdes. Durante el año, la temperatura máxima más baja se registra en el mes de junio, con un promedio de 19.45 °C, mientras que la más alta se presenta en el mes de noviembre, alcanzando aproximadamente los 25.80 °C.

El resto del año, las temperaturas máximas oscilan entre los 21.3 °C y 23.9 °C, evidenciando un clima templado y relativamente constante. Esta estabilidad térmica es favorable para el diseño de estrategias pasivas de ventilación y protección solar, lo que puede contribuir significativamente a la eficiencia energética del prototipo arquitectónico planteado para esta ubicación.

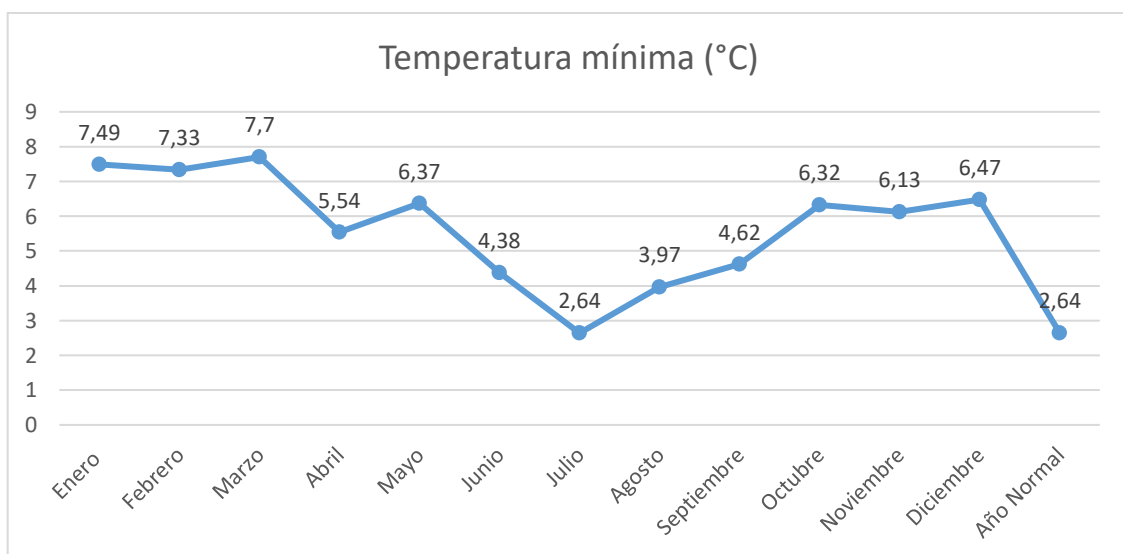


Tabla 17: Temperaturas mínimas, nueva ubicación

Fuente y elaboración: Elaboración propia

En cuanto a las temperaturas mínimas en el sector del Parque Iberia, se percibe una ligera oscilación a lo largo del año, influenciada por la altitud y la vegetación circundante. El mes más frío corresponde a julio, con un valor mínimo promedio de 2.35 °C, mientras que el mes con la temperatura mínima más alta es marzo, registrando aproximadamente 7.95 °C.

Durante el resto del año, las mínimas se mantienen entre 3.75 °C y 7.68 °C, lo cual evidencia noches frescas que deben ser consideradas en el diseño arquitectónico, especialmente en la selección de materiales con buen aislamiento térmico y el aprovechamiento del calor pasivo durante el día.

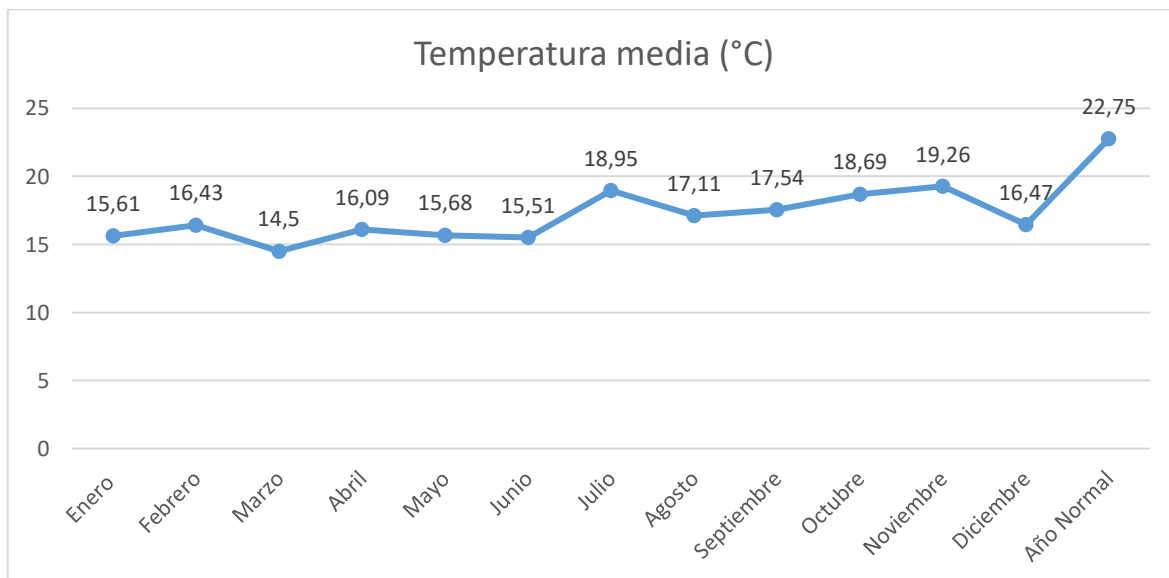


Tabla 18: Temperatura media, nuevo proyecto.

Fuente y elaboración: Elaboración propia

La temperatura media anual en el sector del Parque Iberia presenta un comportamiento moderado, característico del clima templado andino de Cuenca. El mes más fresco es marzo, con una media de 14.26 °C, mientras que el mes más cálido es noviembre, alcanzando una media de 19.58 °C.

Durante los otros meses del año, las temperaturas medias fluctúan entre 15.45 °C y 18.74 °C, lo que sugiere condiciones térmicas estables y agradables para la habitabilidad. Este rango permite diseñar estrategias pasivas efectivas, aprovechando la masa térmica de los materiales locales como el adobe o la madera para mantener un confort térmico interior sin recurrir a sistemas artificiales de climatización.

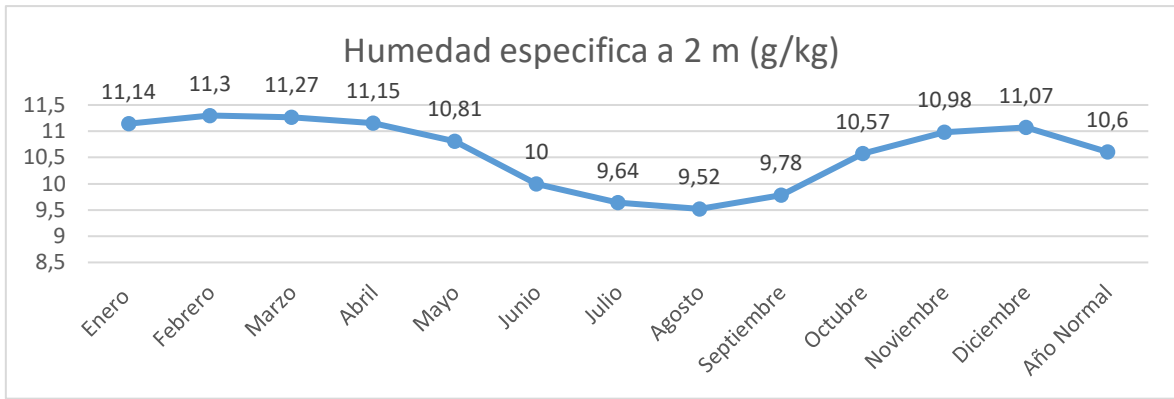


Tabla 19: Humedad específica, nueva ubicación

Fuente y elaboración: Elaboración propia

La humedad específica en el sector Parque Iberia se mantiene relativamente constante a lo largo del año, con ligeras variaciones estacionales. El mes con mayor humedad específica es febrero, con un valor promedio de 11.18 g/kg, mientras que el mes más seco es agosto, registrando 9.49 g/kg.

Durante el resto del año, los valores oscilan entre 11.05 g/kg y 9.61 g/kg, lo que indica una atmósfera ligeramente húmeda, pero dentro de los parámetros confortables para los habitantes. Esta condición favorece el uso de materiales higroscópicos como el adobe o la madera, que pueden ayudar a regular naturalmente la humedad interior en el edificio, aportando a la eficiencia energética y el confort térmico.

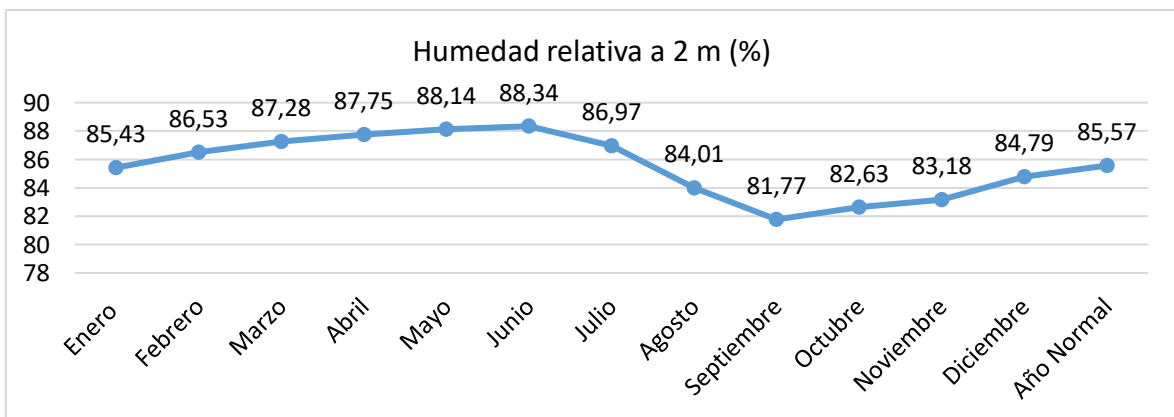


Tabla 20: Humedad relativa, nueva ubicación

Fuente y elaboración: Elaboración propia

La humedad relativa en el sector Parque Iberia se mantiene elevada durante casi todo el año, lo que refleja el clima húmedo característico de la ciudad de Cuenca. El valor más alto se presenta en el mes de junio, alcanzando un promedio del 87.94 %, mientras que el más bajo corresponde a septiembre, con 81.58 %.

Durante los meses restantes, los niveles de humedad fluctúan entre 87.73 % y 82.49 %, lo que indica un ambiente constante de alta humedad. Esta condición debe considerarse en el diseño del proyecto, ya que influye en la elección de materiales y en los sistemas pasivos de ventilación. Además, es importante prever estrategias que eviten la condensación en los interiores, especialmente en materiales sensibles como la madera.

f. Características sociales

La parroquia Yanuncay alberga aproximadamente el 16% de la población del cantón Cuenca, y presenta una marcada diversidad socioeconómica, con presencia de viviendas populares, conjuntos habitacionales cerrados y edificios multifamiliares. La identidad comunitaria y la existencia de organizaciones barriales generan un entorno propicio para la implementación de proyectos participativos, como lo es un centro de integración comunitaria. Además, la cercanía con espacios públicos verdes ofrece oportunidades para reforzar el vínculo entre el edificio y la vida comunitaria (El Mercurio, 2023).

g. Simulación de confort térmico y eficiencia energética

En el nuevo emplazamiento, se ha considerado una simulación térmica teórica con parámetros ambientales locales para verificar la eficiencia energética del prototipo. Dado el clima de Cuenca y la orientación propuesta para el proyecto, se mantiene un nivel de confort térmico aceptable sin necesidad de sistemas activos de climatización, gracias a la implementación de estrategias pasivas como ventilación cruzada, aislamiento natural y el uso de materiales térmicamente estables. Estas condiciones, junto con el enfoque bioclimático del diseño, permiten que el prototipo sea replicable en zonas con características climáticas similares, especialmente dentro del entorno urbano de Cuenca y sus alrededores.

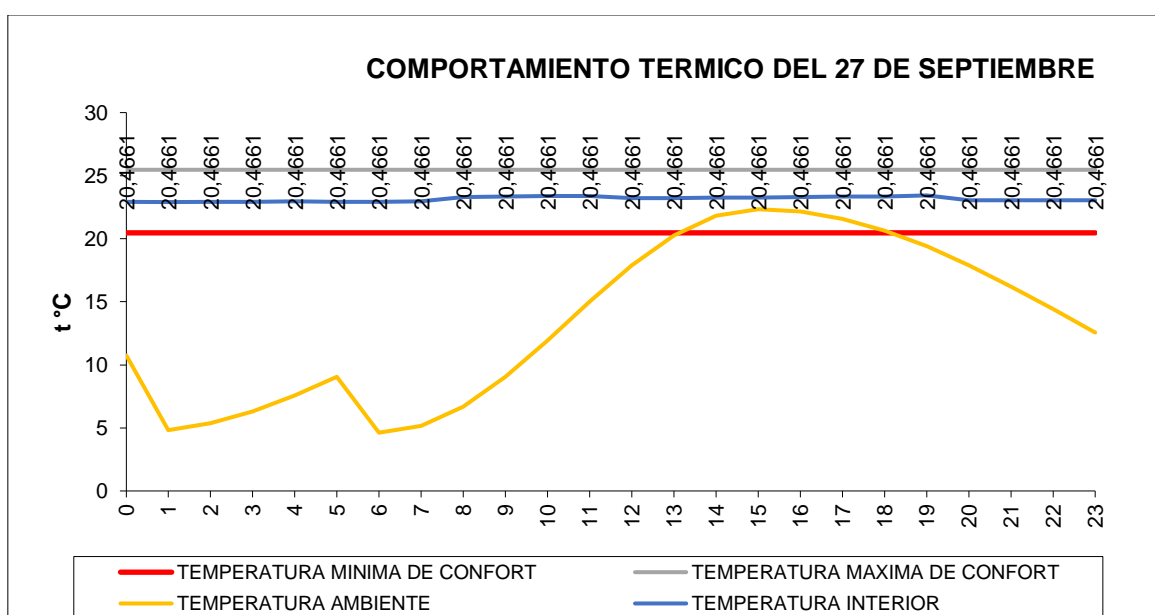


Tabla 21: Simulación térmica de la nueva ubicación.

Fuente y elaboración: Elaboración propia

Este resultado teórico demuestra que el prototipo conserva su comportamiento térmico eficiente incluso en otro sector urbano, validando su diseño bioclimático y su capacidad de ser replicado en distintas zonas de Cuenca sin comprometer sus objetivos de sostenibilidad.

4.12.3. Evaluación del proyecto en el nuevo sitio



Figura 97: Fotomontaje parque Iberia, render exterior. Nuevo sitio.

Fuente y elaboración: Elaboración propia



Figura 98: Fotomontaje del parque Iberia, render exterior 2

Fuente y elaboración: Elaboración propia

Uno de los aspectos fundamentales al analizar la replicabilidad del prototipo arquitectónico es el comportamiento del proyecto frente a la disponibilidad, acceso y transporte de materiales de construcción sostenibles, ya que estos inciden directamente en la huella de carbono generada durante la fase constructiva (Cabeza et al., 2014).

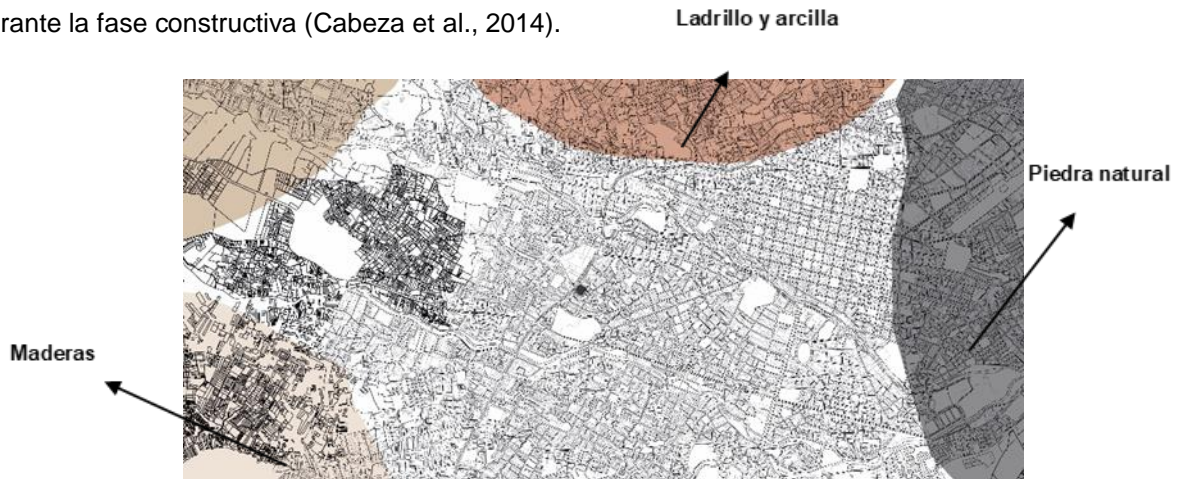
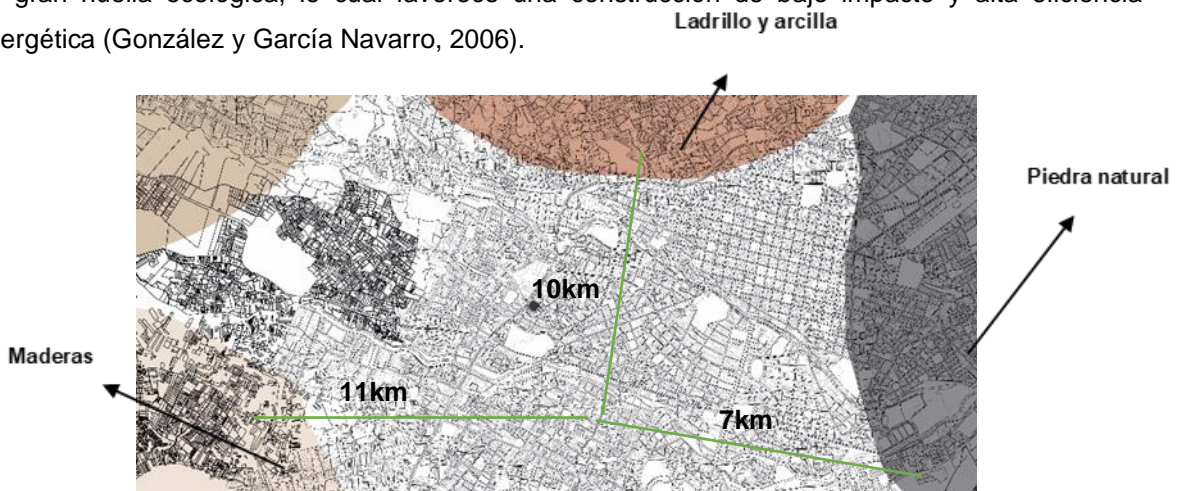


Figura 99: Analisis de materiales del nuevo sitio

Fuente y elaboración: Elaboración propia

En el entorno del nuevo emplazamiento (Parque Iberia, parroquia Yanuncay), se confirma la disponibilidad local de materiales tradicionales y sostenibles como el adobe, el ladrillo artesanal, la piedra cantera y la madera. Estos materiales, además de su bajo impacto ambiental, han sido históricamente empleados en la región y presentan buenas propiedades térmicas y estructurales (Rincón et al., 2017).

La cercanía a canteras, talleres de producción artesanal y centros de acopio permite que la construcción del prototipo en este sector no dependa de la importación de materiales industriales o de gran huella ecológica, lo cual favorece una construcción de bajo impacto y alta eficiencia energética (González y García Navarro, 2006).



Tanto en el sitio original como en el nuevo, la oferta de materiales de construcción naturales y locales es comparable. Ambos se encuentran dentro de zonas del cantón Cuenca que mantienen viva la cadena productiva de técnicas tradicionales como la fabricación de ladrillo artesanal y bloques de adobe, así como el uso de piedra y madera proveniente de aserraderos regulados.

Esta equivalencia en disponibilidad permite mantener el diseño constructivo original del prototipo, sin necesidad de modificar sus especificaciones técnicas, validando su adaptabilidad en contextos urbanos diversos dentro de la ciudad (Álvarez, 2020).

En cuanto al transporte, las distancias entre los puntos de producción de materiales y el nuevo sitio de construcción no superan los 10 km, rango similar al observado en el terreno original. Esta proximidad resulta clave, ya que la fase de transporte puede representar entre el 10% y el 30% de la huella de carbono total del ciclo de vida de un edificio, especialmente cuando se utilizan materiales industriales importados o desplazados a largas distancias (Cabeza et al., 2014).

El hecho de que los materiales empleados sean de origen local y estén disponibles en ambos sectores de prueba, minimiza significativamente el impacto ambiental relacionado con el transporte, lo cual refuerza el criterio de sostenibilidad del prototipo y confirma su potencial para ser replicado sin comprometer los principios de construcción de baja huella de carbono.

CAPÍTULO V

5.1. Conclusiones

La investigación evidenció que la arquitectura ha transitado de prácticas de construcción con baja huella de carbono, caracterizadas por el uso de materiales naturales y técnicas tradicionales, hacia sistemas industrializados con alto impacto ambiental. Esta transformación histórica refuerza la urgencia de replantear los modelos constructivos actuales desde una perspectiva sostenible.

El estudio demostró que materiales como el adobe, la madera, la piedra y el ladrillo artesanal no solo son viables para la construcción actual, sino que poseen un alto potencial para reducir la huella de carbono. Su utilización, combinada con estrategias pasivas de diseño, permite alcanzar confort térmico sin depender de sistemas activos.

El análisis climático y topográfico del sitio permitió plantear una propuesta arquitectónica coherente con las condiciones locales. La correcta orientación del edificio, la protección ante vientos predominantes, y la elección de materiales disponibles en el entorno, fundamentaron un diseño adaptado al contexto físico, climático y cultural de Cuenca.

La propuesta alcanzó una huella de carbono estimada de 82.83 kgCO₂/m², ubicándose dentro de los parámetros internacionales de construcción de bajo impacto. Además, la simulación térmica validó el comportamiento del diseño en términos de confort ambiental, confirmando la efectividad de las estrategias pasivas aplicadas.

La implantación del prototipo en un segundo sitio urbano (Parque Iberia) comprobó que el modelo arquitectónico puede adaptarse a distintos sectores de Cuenca sin comprometer su eficiencia ambiental. La disponibilidad de materiales locales y la similitud climática permiten replicar el proyecto manteniendo su bajo impacto ambiental.

El proyecto contribuye a la discusión sobre sostenibilidad al revalorizar el conocimiento constructivo tradicional, integrando elementos locales con herramientas tecnológicas accesibles para optimizar el diseño. A nivel metodológico y práctico, demuestra que es posible desarrollar arquitectura funcional, culturalmente apropiada y ambientalmente responsable.

5.2. Recomendaciones y aplicaciones futuras

Se recomienda fomentar el uso consciente de materiales como el adobe, la madera y la piedra de cantera, cuya disponibilidad local y bajo impacto ambiental los convierten en recursos estratégicos para una arquitectura sostenible. Su implementación debe ir acompañada de procesos de capacitación técnica que garanticen su correcta aplicación y durabilidad.

Las soluciones pasivas utilizadas en este proyecto, como la orientación adecuada, la ventilación cruzada, los aleros y la selección de materiales con inercia térmica, demostraron ser eficaces para alcanzar el confort térmico. Estas estrategias son especialmente recomendables en

zonas rurales o periurbanas con recursos limitados y condiciones climáticas similares a las de Cuenca.

Si bien el prototipo arquitectónico fue diseñado para un caso específico, las estrategias proyectuales y constructivas pueden ser adaptadas a nuevos contextos urbanos o rurales que compartan condiciones ambientales y culturales. La replicabilidad debe ser entendida como una guía de principios y no como una copia literal del diseño.

El uso de programas como POWER POINT CLIMATOLOGY para el análisis climático demostró que herramientas gratuitas y de fácil acceso pueden ser aliadas clave en la toma de decisiones de diseño pasivo. Se recomienda su uso en fases tempranas de proyectos similares para optimizar el desempeño ambiental sin depender de sistemas complejos o costosos.

En futuras investigaciones se sugiere incorporar activamente a las comunidades mediante talleres, entrevistas o encuestas, de manera que se integren sus conocimientos, necesidades y expectativas en el diseño. Esto no solo fortalece la apropiación del espacio, sino que también enriquece la propuesta desde una dimensión social y cultural.

Es necesario avanzar hacia la formalización técnica de los sistemas constructivos con materiales naturales, mediante la elaboración de normativas locales claras y específicas. Esto facilitará su aplicación en proyectos reales, reduciendo barreras legales y técnicas para su implementación en contextos urbanos y rurales.

Se recomienda incorporar software de simulación térmica y análisis de ciclo de vida más avanzados para lograr una evaluación más precisa del desempeño ambiental de los proyectos. Estas herramientas permitirán afinar los indicadores de sostenibilidad y mejorar la toma de decisiones en las etapas de diseño y ejecución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, A. (2021). *La construcción en tierra en Ecuador: Tradición y sostenibilidad*. FLACSO Ecuador.
- Álvarez, R. (2020). *Materiales sostenibles en la construcción: Análisis comparativo de impacto ambiental*. Arquitectura Viva.
- Ávila, M. (2020). Análisis del confort térmico en viviendas rurales utilizando técnicas pasivas. *Revista de Arquitectura Sustentable*, 15(2), 45–58.
- Bonet, J. (2018). *Construcción sostenible: Fundamentos y aplicaciones*. Ediciones UPC.
- Camino, F. (2021). *Arquitectura pasiva en climas templados*. Ediciones Trama.
- Díaz, P. (2017). *Historia de los materiales de construcción: De la tradición a la modernidad*. Editorial Reverté.
- Fundación Ecología y Desarrollo. (2023). *¿Qué es la huella de carbono?* <https://ecodes.org/herramientas/huella-de-carbono>
- González, M. A., y Navarro, J. G. (2020). *Diseño arquitectónico y eficiencia energética en edificaciones sostenibles*. Universidad de Granada.
- Herrero, J. (2019). *El legado de la revolución industrial en la arquitectura contemporánea*. Ediciones Nobuko.
- International Energy Agency. (2021). *Global status report for buildings and construction 2021*. <https://www.iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction-2021>
- Kibert, C. J. (2016). *Sustainable construction: Green building design and delivery* (4th ed.). Wiley.
- Lechner, N. (2015). *Heating, cooling, lighting: Sustainable design methods for architects* (4th ed.). Wiley.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2022). *Inventario nacional de gases de efecto invernadero*. <https://ambiente.gob.ec>
- NASA Langley Research Center POWER Project. (2023). *POWER Data Access Viewer*. <https://power.larc.nasa.gov>
- Pérez, L. (2022). *Arquitectura tradicional y sostenibilidad: Materiales y técnicas ancestrales*. Editorial Tectónica.
- Romero, E. (2020). *El adobe como solución constructiva sostenible* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid].
- Sánchez, M., y Torres, F. (2019). Impacto ambiental de los materiales de construcción modernos. *Revista Iberoamericana de Arquitectura*, 15(2), 89–104.
- United Nations Environment Programme. (2020). *2020 global status report for buildings and construction*. <https://www.unep.org/resources/report/2020-global-status-report-buildings-and-construction>

- Villagómez, C. (2021). *Construcción con tierra: Técnicas y desafíos contemporáneos*. Ediciones ArquiAndina.
- Acosta, M. (2019). La tierra como material constructivo en la arquitectura contemporánea latinoamericana. *Revista Hábitat y Sociedad*, 12(1), 78–91.
- Andino, J. (2022). *Estrategias pasivas de diseño para climas andinos: Casos de estudio en el sur del Ecuador* [Tesis de maestría, Universidad de Cuenca].
- Arias, C. (2020). *Sistemas constructivos con bajo impacto ambiental*. Editorial Diseño Verde.
- Becerra, L., y Molina, R. (2021). Uso de materiales locales en proyectos de infraestructura sostenible. *Revista Construcción y Medio Ambiente*, 9(3), 34–47.
- Benavides, H. (2018). *Arquitectura y medio ambiente: Principios de diseño ecológico*. Ediciones ULEAM.
- Bravo, S. (2020). Evaluación de confort térmico mediante simulaciones en edificaciones de tierra. *Revista Arquitectura y Energía*, 6(1), 20–32.
- Carrillo, A. (2021). *Diseño climático y sostenibilidad: Experiencias en la región andina*. Ediciones PUCE.
- Centro de Energías Renovables del Ecuador (CERE). (2021). *Atlas solar del Ecuador*. <https://www.cere.gob.ec>
- Chávez, F. (2023). Diseño arquitectónico sustentable en zonas rurales del Ecuador. *Revista Andina de Arquitectura*, 17(1), 55–70.
- Comité Ecuatoriano de Eficiencia Energética. (2020). *Guía técnica de eficiencia energética para edificaciones*. <https://www.cee.gob.ec>
- Del Pozo, I. (2019). *Bioconstrucción: Materiales naturales y eficiencia energética*. Editorial Arquitectura Natural.
- Díaz, L. (2022). *Arquitectura bioclimática: Fundamentos y aplicaciones en la región andina* [Tesis de maestría, Universidad Central del Ecuador].
- Espinosa, R. (2020). Comparativa de aislantes térmicos en edificaciones sostenibles. *Revista de Tecnología y Medio Ambiente*, 11(4), 62–75.
- Fernández, V. (2020). *Recursos locales en la construcción ecológica: Una mirada desde la sostenibilidad*. Ediciones EcoHabitat.
- Fundación Tierra Viva. (2022). *Manual de técnicas constructivas con tierra para climas andinos*. Fundación Tierra Viva.
- GAD Municipal de Cuenca. (2023). *Plan de Ordenamiento Territorial 2023–2030*. <https://www.cuenca.gob.ec>
- García, E. (2021). *Diseño pasivo en arquitectura: Principios y estrategias para zonas de altura*. Editorial UTA.
- Gómez, A. (2020). *Materiales y técnicas para una arquitectura sostenible en Ecuador* [Tesis de grado, Universidad del Azuay].

González, J. (2021). *Arquitectura vernácula: Lecciones para el diseño contemporáneo*. Editorial Cátedra de Arquitectura Sustentable.

Herrera, M. (2022). Confort térmico y ventilación cruzada en viviendas rurales de la Sierra ecuatoriana. *Revista de Innovación y Arquitectura*, 8(2), 93–110.

Ibarra, D. (2021). Impacto del diseño bioclimático en la reducción del consumo energético en viviendas. *Revista Arquitectura y Sustentabilidad*, 4(2), 41–56.

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2015). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2245: Aislamiento térmico de edificaciones*. INEN.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2023). *Informe climático anual de la ciudad de Cuenca*. <https://www.inamhi.gob.ec>

Lema, J. (2022). *Evaluación del comportamiento térmico de materiales locales en climas fríos* [Tesis de maestría, Universidad de Cuenca].

López, F. (2019). Diseño arquitectónico con enfoque sustentable: Una propuesta para comunidades rurales andinas. *Revista Ecomateriales*, 5(3), 19–33.

Mena, P. (2020). *Sistemas pasivos de ventilación natural en viviendas unifamiliares*. Editorial Técnica Nacional.

Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). (2022). *Lineamientos para edificaciones sostenibles en Ecuador*. <https://www.ambiente.gob.ec>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2021). *Manual de construcción sostenible para vivienda social*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec>

Molina, V., y Torres, M. (2021). Uso de cubiertas verdes como estrategia de confort térmico y captación pluvial. *Revista Hábitat Natural*, 12(2), 88–102.

Mora, C. (2020). *Aplicaciones de adobe y tapia en el diseño contemporáneo andino*. Ediciones ARQAndina.

Muñoz, E. (2023). *Diseño sostenible en contextos rurales: Análisis de casos en Azuay y Loja* [Tesis de grado, Universidad del Azuay].

Narváez, L. (2021). Aprovechamiento de la radiación solar en edificaciones de altura en Cuenca. *Revista SolarArquitectura*, 6(1), 45–60.

Organización de las Naciones Unidas. (2020). *Agenda 2030 para el desarrollo sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es>

Orellana, M. (2022). *Contribución del diseño arquitectónico al confort térmico interior en climas fríos* [Tesis de maestría, Universidad Central del Ecuador].

Ortega, J. (2018). *Principios del diseño solar pasivo en arquitectura*. Editorial EcoUrbana.

Pérez, D. (2021). Diseño con enfoque climático: Retos y oportunidades en zonas montañosas del Ecuador. *Revista Arquitectura y Territorio*, 3(4), 24–37.

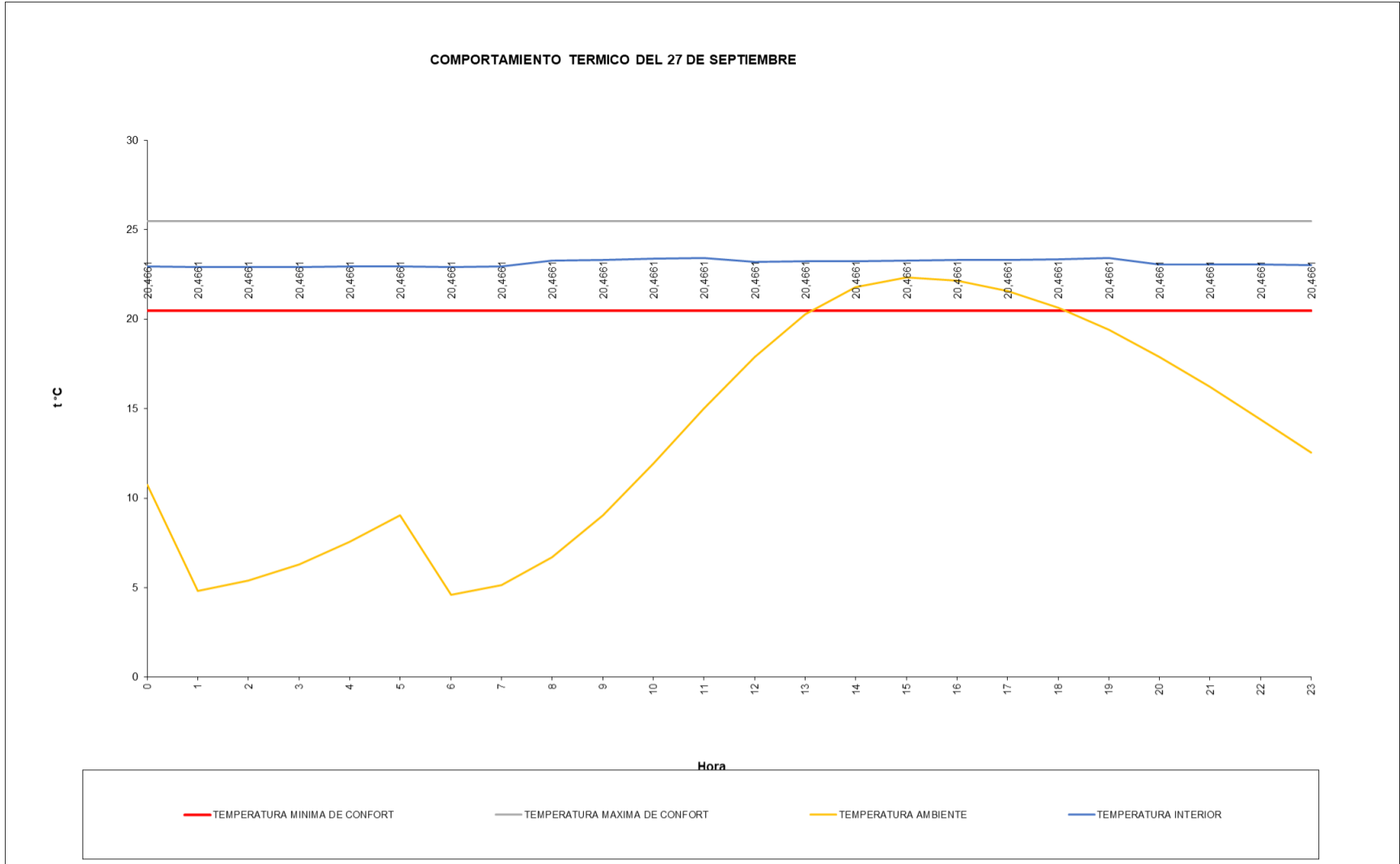
Procel, K. (2020). *Técnicas tradicionales de construcción y su relación con el confort térmico* [Tesis de grado, Universidad del Azuay].

Quinde, T. (2022). Aislamiento térmico natural: Análisis de materiales alternativos en viviendas andinas. *Revista Sustentabilidad y Construcción*, 8(3), 73–89.

Reyes, P. (2021). Ventilación cruzada y diseño de aperturas eficientes en viviendas ecológicas. *Revista de Arquitectura Ambiental*, 10(1), 30–44.

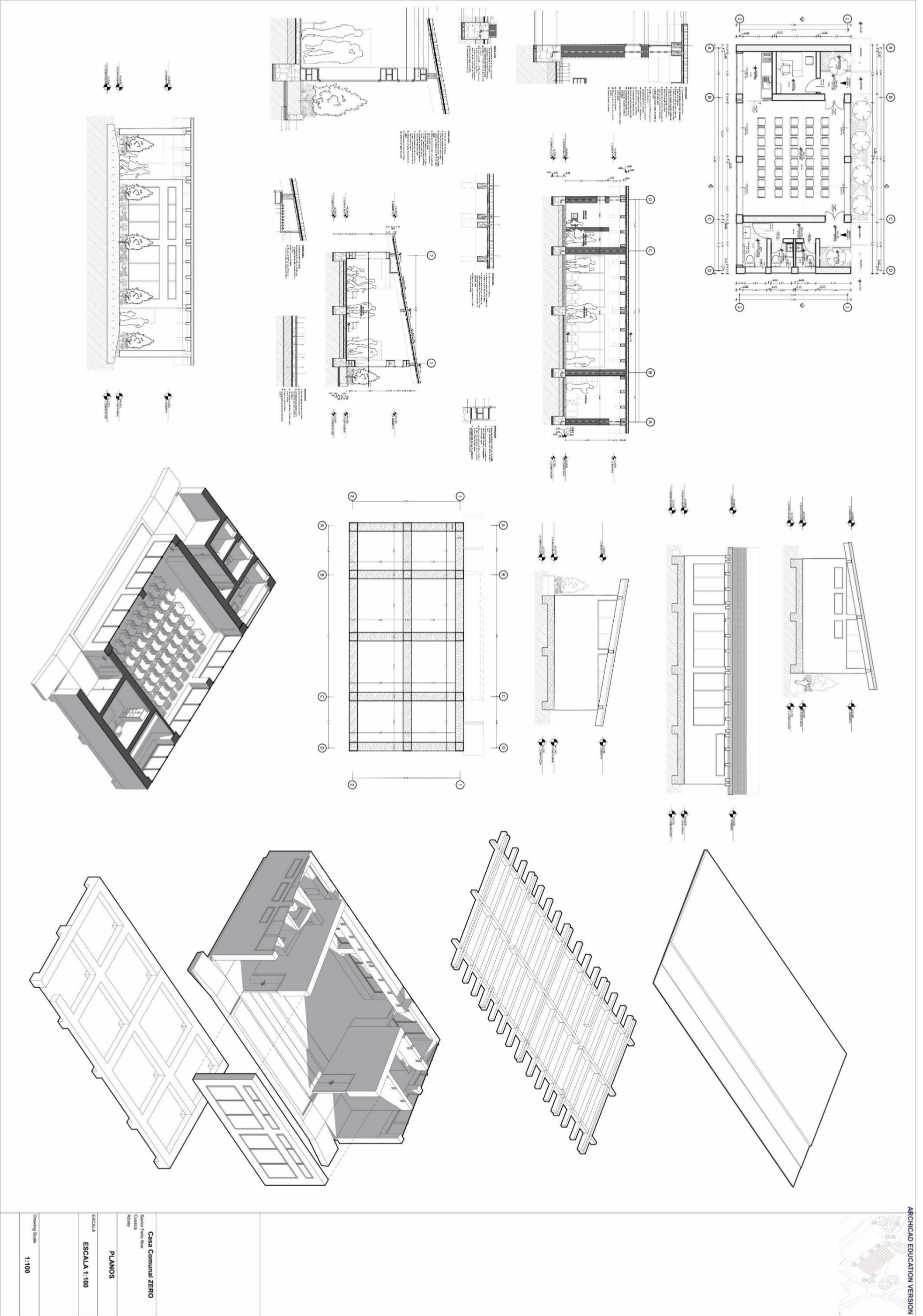
Rodríguez, N. (2020). *Arquitectura y sostenibilidad en contextos rurales: Estrategias para reducir la huella ecológica*. Editorial PUCE.

Salazar, B. (2023). Diseño pasivo y eficiencia energética en zonas frías del sur del Ecuador. *Revista Andina de Arquitectura*, 18(1), 61–76.



Anexo 4: Grafica de la simulación térmico

Fuente: Elaboración Propia



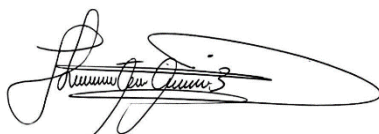
Anexo 5. Planos Arquitectonicos

Fuente: Elaboración Propia

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Jhonatan Patricio Cuenca Cedillo portador de la cédula de ciudadanía N.º 0150414027. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Diseño de prototipo de Centro de Integración Comunitaria para la ciudad de Cuenca (Cero huella de carbono)” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 29 de abril de 2025



F:
Jhonatan Patricio Cuenca Cedillo
0150414027