



UCR
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

“Análisis comparativo del bambú como solución constructiva frente a una estructura de acero”

Trabajo final de investigación aplicada sometido a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Arquitectura para optar al grado y título de Maestría Profesional en Arquitectura y Construcción.

WARNER VEGA OROZCO

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica
2022

Dedicatoria y agradecimientos

Dedico esta investigación a mis padres, hermanos, familiares y amigos, quienes con su apoyo y amor me motivaron a dar siempre lo mejor de mí para lograr las metas académicas que me he propuesto. También, quiero dedicarla a mis profesores y compañeros, quienes con su experiencia y conocimiento me ayudaron a crecer como persona y como profesional.

Agradezco de manera especial a mi colega Arq. Adriana Cruz Lara, así como a la investigadora Lic. Marilyn Rojas Vargas y al Arquitecto Jorge Bonilla Tijerino por todo su aporte y pasión para compartir su conocimiento y experiencia.

Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Arquitectura de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Arquitectura y Construcción.

Mag. Dania Chavarría Núñez

Representante de la Decanatura del Sistema de Estudios de Posgrado

Mag. Arq. Rudy Piedra Mena

Profesor Guía

M.Ing., I.C Ing. Flor Muñoz Umaña

Lectora

MGP. Manuel Antonio Alan Zúñiga

Lector

M.Sc. Federico Mata Herrera

Representante de la Dirección del Programa de Posgrado en Arquitectura

Warner Vega Orozco

Sustentante

Tabla de contenidos

Dedicatoria y agradecimientos	ii
Hoja de aprobación	iii
Resumen	x
Lista de tablas.....	xi
Lista de imágenes.....	xiv
Lista de gráficos	xviii
Tabla de abreviaturas	xx
1. Objetivos y marco de referencia.....	2
1.1 Justificación	2
1.2 Factibilidad y viabilidad	3
1.3 Formulación del problema	4
1.4 Objetivo general.....	4
1.5 Objetivos específicos.....	4
1.6 Alcances y limitaciones de la investigación.....	5
2. Marco Conceptual.....	7
2.1 Concepto de Sostenibilidad y su importancia para la investigación	7
2.2 Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	8
2.3 Medidas adoptadas por Costa Rica ante el Cambio Climático: Plan de Acción Estrategia Nacional de Cambio Climático	12
2.4 Sistemas de certificación para construcciones sostenibles y su importancia como referencia conceptual para la investigación	14
2.4.1 La certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	15

2.4.2 Sistema de acreditación EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies) ...	15
2.4.3 Norma RESET INTE 06-12-01:2014/Enm 1:2017	16
2.5 Marco conceptual para el cálculo de la huella de carbono	17
2.5.1 Build Carbon Neutral	18
2.5.2 Inventory of Carbon & Energy (ICE) V2.0	18
2.5.3 Importancia para la investigación	18
3. Configuración y diseño	20
3.1 Estudio de casos	20
3.1.1 Torre de observación de aves: Luna Nueva Lodge, La Fortuna, San Carlos.....	21
3.1.2 Escuela de Carate, Península de Osa.....	24
3.1.3 Un Bosque para una Admiradora de la Luna	26
3.2 Contexto del proyecto de análisis.....	29
3.2.1 Vulnerabilidad y riesgo	30
3.2.2 Ubicación y localización.....	30
3.2.3 Disponibilidad y oferta de insumos materiales para la construcción con una estructura primaria de acero en la zona, (lugares de compra y distribución).....	31
3.2.4 Disponibilidad y oferta de insumos y materiales para construcción con base en estructuras de bambú en la zona.....	31
3.2.5 Disponibilidad de mano de obra calificada en la zona	39
3.3 Antecedentes del bambú en Costa Rica como material de construcción, y oportunidades para el desarrollo de emprendimientos e innovación.	40
3.4 Costos estimado del m ² de construcción en bambú según tipología constructiva de referencia	44
3.5 Descripción, localización y configuración del proyecto	45
3.5.1 Configuración del proyecto en análisis.....	52

3.6 Componentes arquitectónicos y estructurales del proyecto.....	59
3.6.1 Detallado estructural de la propuesta en acero.....	62
3.6.2 Propuesta de anteproyecto en bambú: Replanteamiento del sistema constructivo	64
3.6.3 Proceso constructivo en bambú	69
3.7 Detallado estructural esquemático de la propuesta alternativa en bambú	82
3.8 Hallazgos y conclusiones de la transformación de la estructura de acero a bambú.	89
3.9 Análisis de las variables climatológicas que afectan el proyecto	94
4. Evaluación.....	101
4.1 Análisis comparativo entre las características de desempeño en sostenibilidad de un sistema constructivo en acero y un sistema constructivo en bambú	101
4.2 Hallazgos y conclusiones preliminares del análisis comparativo entre las características de sostenibilidad de un sistema constructivo en acero y un sistema constructivo en bambú.....	105
4.3 Análisis de la huella de carbono de la estructura en acero y en bambú.....	107
4.3.1 Cálculos realizados a través de la calculadora Build Carbon Neutral	107
4.3.2 Hallazgos y conclusiones preliminares de los resultados de los análisis de la huella de carbono de la estructura en acero y bambú con la calculadora Build Carbon Neutral.....	108
4.4 Resumen del cálculo de la huella de carbono para ambas estructuras a través de las tablas ICE V2.0.....	111
4.5 Hallazgos y conclusiones de los resultados de la evaluación de huella de carbono para las estructuras de acero y bambú mediante las tablas ICE 2.0.....	115
4.6 Ejercicio de análisis comparativo de costos.....	116

4.7 Hallazgos y conclusiones del análisis de costos entre las estructuras en acero y bambú.....	119
4.6.2. Hallazgos y conclusiones de los análisis de evaluación.....	120
5. Hallazgos y conclusiones de cierre de la investigación	127
5.1 Cierre de la investigación	127
5.1.1 Hallazgos y conclusiones en el ámbito medioambiental, socioeconómico y cultural en relación con la modificación de la propuesta de acero a bambú.....	128
5.1.4 Implicaciones comparativas del acero y del bambú en el ámbito constructivo-arquitectónico	132
5.1.7 Establecimiento de beneficios ambientales y económicos	134
5.2 Comentario de cierre.....	145
6. Referencias	146
7. Anexos.....	152
Anexo 1.....	152
Características de las certificaciones LEED, EDGE y RESET	152
Anexo 2.....	157
Principales especies de bambú en Costa Rica, catálogo de materiales y precios referencia	157
Tabla de catálogo de materiales y productos para construcción en bambú.	159
Tabla de resumen de tratamiento de las piezas de bambú.....	161
Tabla comparativa de precios de referencia para la construcción en acero y bambú.	162
Anexo 3.....	166
Descripción y cuantificación de materiales y componentes con base en una estructura primaria de acero.....	166
Resumen de cuantificación de materiales y componentes del proyecto	173

Descripción y cuantificación de materiales y componentes con base en una estructura primaria de bambú	176
Resumen de cuantificación de materiales y componentes de la propuesta en bambú.	182
Anexo 4.....	185
Fundamentos teóricos y Modelo de Confort Adaptativo ASHRAE Standard 55-2010, gráficos de climatología local.....	185
Gráficos de variables climatológicas.	186
Gráfico de temperaturas promedio.....	187
Gráfico de cobertura de nubosidad.....	188
Velocidad promedio de los vientos.....	190
Gráfico de temperatura de bulbo seco vs. humedad relativa.....	192
Gráfico promedio de humedad relativa.....	194
Gráfico de rosa de los vientos.....	196
Cuadro psicrométrico: Confort en interiores. (Estación seca).....	198
Cuadro psicrométrico: Confort en interiores. (Estación lluviosa).....	199
Segunda sección: Herramientas para el análisis de soleamiento, radiación, transferencia de calor y vientos.....	202
Análisis de radiación solar acumulada en la envolvente del conjunto de edificios.....	204
Análisis de transferencia de calor de los materiales propuestos en cubierta y cerramientos.....	212
Análisis de vientos.....	216
Anexo 5.....	221
Cálculo de emisiones de CO2 para la estructura de acero:	221
Cálculo de emisiones de CO2 para la estructura de bambú:	222

Cálculos a partir de las tablas de Inventory of Carbon & Energy (ICE) V2.0, Universidad de Bath, Reino Unido.	224
Cálculo de huella de carbono estructura de acero _ICE V2.0	226
Cálculo de huella de carbono estructura de bambú _ICE V2.0	228

Resumen

El Trabajo Final de Investigación Aplicada, busca dar continuidad a los contenidos del *Taller de Edificaciones y sus materiales*, curso que motivó la investigación del bambú como material y sistema constructivo alternativo, el cual, se plantea como una sustitución potencial al sistema constructivo original del proyecto. El fin de este replanteamiento es determinar y mostrar, de manera comparativa, los rendimientos obtenidos para cada una de las propuestas en términos de sostenibilidad.

Para llevar a cabo este análisis comparativo, se recurrió a una serie de herramientas utilizadas a lo largo de los cursos de la maestría, así como recursos bibliográficos especializados en el tema de la sostenibilidad, los cuales permitieron una serie de hallazgos y conclusiones que, posteriormente, darían paso al replanteamiento arquitectónico y estructural de la propuesta original.

Puntualmente, el ejercicio consiste en la sustitución del sistema constructivo original, (en este caso una estructura liviana en acero), por un sistema constructivo en bambú. Una vez obtenida la propuesta de replanteamiento del anteproyecto, se aplican las herramientas de análisis y se genera una serie de datos comparativos que permitirán demostrar o desacreditar los beneficios potenciales relacionados con la sostenibilidad producto de la transformación.

El bambú, es un material con alta capacidad estructural, el cual permite gran cantidad de soluciones y

aplicaciones innovadoras, desde paneles para cerramientos y pisos hasta complejos sistemas estructurales.

Los beneficios y retribución de su cultivo al medio ambiente le convierten además en un agente regenerador de cuencas hidrográficas, estabilizador de suelos, entre otros servicios ambientales como la fijación de carbono y la reforestación.

En términos económicos, se pretende determinar los ahorros potenciales del bambú comparado con la estructura en acero, y determinar, además, los costos ambientales, así como los posibles aportes directos e indirectos al desarrollo socioeconómico de las comunidades. En esta dirección, se pretende explorar la capacidad en potencia del bambú para transformar de manera positiva la vida de las personas a través del desarrollo sostenible.

Es importante destacar que uno de los objetivos primordiales de esta investigación, será el de poner sobre la mesa y cuestionar la problemática subyacente en torno al bambú, en temas de cadenas de producción y comercialización, incentivos, capacitación y formación técnica, apoyo de las instituciones gubernamentales, el mercado actual de la construcción y el papel del profesional en arquitectura y construcción como formador, promotor y gestor de proyectos de construcción sostenibles que aprovechen al máximo las cualidades y beneficios de valor agregado que ofrece el bambú.

Lista de tablas

Tabla 1 - Sectores claves de mitigación (Elaboración propia, tomado de Plan de Acción de la Estrategia Nacional de Cambio Climático)	13
Tabla 2 - Datos generales del proyecto en estudio. Fuente: Elaborada por el autor.....	47
Tabla 3 - Resumen de áreas edificio de recepción. Fuente: Elaborada por el autor.	53
Tabla 4 - Áreas de edificio de restaurante. Fuente: Elaborada por el autor.....	54
Tabla 5 - Áreas de edificio de baños. Fuente: Elaborada por el autor.	55
Tabla 6 - Áreas de edificio de vestidores. Elaborada por el autor.	56
Tabla 7 - Áreas complementarias del proyecto. Fuente: Elaborada por el autor.....	57
Tabla 8 - Resumen general áreas del proyecto. Fuente: Elaborada por el autor.	58
Tabla 9 - Etapas y herramientas básicas para el proceso de construcción de una estructura en bambú. Fuente: Elaborada por el autor a partir de Construir con Bambú, Manual de Construcción, INBAR.	72
Tabla 10 - Recomendaciones para acabado y mantenimiento de estructuras en bambú. Fuente: Elaborada por el autor a partir de Construir con Bambú, Manual de Construcción, INBAR.	74
Tabla 11 - Hallazgos y conclusiones preliminares de la transformación de la estructura de acero a bambú.	89
Tabla 12 - Matriz comparativa de las características de cada sistema constructivo. Fuente: Elaborada por el autor.	103
Tabla 13 - Resumen de los resultados del cálculo de la huella de carbono para una estructura de acero, bambú y una estructura mixta a través de la calculadora Build Carbon Neutral. Fuente: Elaborada por el autor.	109
Tabla 14 - Resumen de las mediciones de la huella de carbono para ambas estructuras a partir de las tablas ICE V2.0. Fuente: Elaborada por el autor.	112
Tabla 15 - Presupuesto inicial real del anteproyecto, con estos datos se hizo el cálculo aproximado del costo de la estructura de acero	116
Tabla 16 - Variables y costos aproximados de la inversión inicial de la estructura de acero. Fuente: Elaborada por el autor.	117
Tabla 17 - Variables y costos aproximados de la inversión inicial de la estructura de bambú. Fuente: Elaborada por el autor.	118
Tabla 18 - Hallazgos y conclusiones de la fase de Evaluación. Fuente: Elaborada por el autor.	121

Tabla 19 - Comparativa resumen de los rendimientos obtenidos para la estructura de acero y bambú a lo largo de la investigación. Fuente: Elaborada por el autor.	134
Tabla 20 - Características de las certificaciones LEED, EDGE y RESET. Fuente: Elaborado por el autor.	152
Tabla 21 - Normas y líneas base de consumo. Fuente: Elaborada por el autor.	155
Tabla 22 - Variedades de bambú con potencial del siembra y transformación. Fuente: Fallas, L (2017). Reflexiones sobre el cultivo y la transformación del bambú en Costa Rica. FUNDEBAMBU.	157
Tabla 23 - Catálogo de productos para construcción y derivados de bambú. Fuente: Elaborada por el autor.	159
Tabla 24 - Resumen de tratamiento de las piezas de bambú. Fuente: Elaborada por el autor.	161
Tabla 25 - Comparativa de precios de referencia para la construcción en acero y bambú. Fuente: Elaborada por el autor.	162
Tabla 26 - Cuantificación de componentes estructurales (Fundaciones). Fuente: Elaborada por el autor.	166
Tabla 27 - Cuantificación de componentes estructurales (Columnas). Fuente: Elaborada por el autor.	168
Tabla 28 - Cuantificación de materiales según componentes estructurales. (Entrepisos, techos, terrazas y pasarelas). Fuente: Elaborada por el autor.	169
Tabla 29 - Cuantificación de materiales según componentes estructurales. Fuente: Elaborada por el autor.	171
Tabla 30 - Resumen fundaciones. Fuente: Elaborada por el autor.	173
Tabla 31 - Resumen columnas de acero. Fuente: Elaborada por el autor.	174
Tabla 32 - Resumen de tipos de vigas y viguetas. Fuente: Elaborada por el autor.	174
Tabla 33 - Resumen de tipos de pared. Fuente: Elaborada por el autor.	175
Tabla 34 -Resumen de cubiertas. Fuente: Elaborada por el autor.	175
Tabla 35 - Resumen de cuantificación de los principales componentes del proyecto. Fuente: Elaborado por el autor.	176
Tabla 36 - Cuantificación de componentes estructurales de la propuesta en bambú (Fundaciones). Fuente: Elaborada por el autor.	176
Tabla 37 - Cuantificación de componentes estructurales de la propuesta en bambú (Columnas). Fuente: Elaborada por el autor.	178
Tabla 38 - Cuantificación de materiales según componentes estructurales de la propuesta en bambú. (Entrepisos, techos, terrazas y pasarelas). Fuente: Elaborada por el autor.	179

Tabla 39 - Cuantificación de materiales según componentes estructurales de la propuesta en bambú (Cerramientos y fachada). Fuente: Elaborada por el autor.	180
Tabla 40 - Cuantificación de materiales según componentes estructurales de la propuesta en bambú, (entrepisos, cielos, cubierta y pasarelas).	181
Tabla 41 - Resumen área y volumen en fundaciones, propuesta en bambú. Fuente: Elaborada por el autor.	182
Tabla 42 - Resumen área y volumen de columnas de bambú. Fuente: Elaborada por el autor.	183
Tabla 43 - Resumen de tipos de vigas y viguetas de bambú. Fuente: Elaborada por el autor.	183
Tabla 44 - Resumen de tipos de pared de la propuesta en bambú. Fuente: Elaborada por el autor.	184
Tabla 45 - Resumen de cubiertas de la propuesta en bambú. Fuente: Elaborada por el autor.	184
Tabla 46 - Resumen de cuantificación de los principales componentes de la propuesta en bambú. Fuente: Elaborado por el autor.	184
Tabla 47 - Resumen de tangos promedio de temperatura. Fuente: Elaborada por el autor.	188
Tabla 48 - Resumen de cobertura de nubosidad. Fuente: Elaborada por el autor.	189
Tabla 49 - Resumen de velocidad promedio de vientos. Fuente: Elaborada por el autor.	191
Tabla 50 - Resumen de temperatura de bulbo seco vs humedad relativa. Fuente: Elaborada por el autor.	193
Tabla 51 - Resumen de rangos promedio de humedad relativo. Fuente: Elaborada por el autor.	195
Tabla 52 - Resumen de datos de dirección de viento. Fuente: Elaborada por el autor.	197
Tabla 53 - Resumen de cuadro psicrométrico de estación seca. Fuente: Elaborada por el autor.	198
Tabla 54 - Resumen de cuadro psicrométrico de estación lluviosa. Fuente: Elaborada por el autor.	199
Tabla 55 - Factores de ganancia térmica solar. Fuente: Tomada de Energy Models. http://energy-models.com/heat-transfer	206
Tabla 56 - Resumen de radiación acumulada en cubiertas y terrazas. Fuente: Elaborada por el autor.	211
Tabla 57 - Datos para el cálculo de transferencia de calor. Fuente: Elaborada por el autor.	212
Tabla 58 - Cálculo de transferencia de calor por cubierta para diferentes tipos de ensamble. Fuente: Elaborada por el autor.	213
Tabla 59 - Datos para el cálculo de transferencia de calor. Fuente: Elaborada por el autor.	214
Tabla 60 - Cálculo de transferencia de calor por cerramientos para diferentes tipos de ensamble. Fuente: Elaborada por el autor.	215

Tabla 61 - Datos para el cálculo de la huella de carbono de la estructura de acero con la calculadora Build Carbon Neutral. Fuente: Elaborada por el autor.	221
Tabla 62 - Datos para el cálculo de la huella de carbono de la estructura de bambú con la calculadora Build Carbon Neutral. Fuente: Elaborada por el autor.	222
Tabla 63 - Ejemplo de las tablas de ICE V2.0. Fuente: ICE V2.0.....	224
Tabla 64 - Ejemplo de la clasificación de concretos según la tabla ICE V2.0. Fuente: ICE V2.0.	225
Tabla 65 - Cálculo de huella de carbono para la estructura de acero a través de las tablas ICE V 2.0. Fuente: Elaborada por el autor.	226
Tabla 66 - Cálculo de huella de carbono para la estructura de bambú a través de las tablas ICE V 2.0. Fuente: Elaborada por el autor.	228

Lista de imágenes

Imagen 1- Gro Harlem Brundtland, primera ministra de Noruega dirigiendo la Asamblea General de Ambiente y Desarrollo. Naciones Unidas, (1987). Fuente: Ecología política, recuperado de: https://www.ecologiapolitica.info/?p=9707	9
Imagen 2 - Objetivos de Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas, (2015). Fuente: Organización de las Naciones Unidas. Recuperado de: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/	10
Imagen 3 - Torre de observación de aves Luna Nueva Lodge. Fuente: Recuperado de: https://www.tripadvisor.es/AttractionProductReview-g1453880-d19991118-Exotic_bird_watching_from_the_ONLY_bamboo_observation_tower_in_Arenal-Chachagua_A.html#/media-atf/19991118/-2:p	21
Imagen 4 - Torre de observación de aves Luna Nueva Lodge. Fuente: Recuperado de: https://www.tripadvisor.es/AttractionProductReview-g1453880-d19991118-Exotic_bird_watching_from_the_ONLY_bamboo_observation_tower_in_Arenal-Chachagua_A.html#/media-atf/19991118/-2:p	23
Imagen 5 - Vista aérea Escuela de Carate, Península de Osa. Fuente: Recuperado de: https://www.inder.go.cr/noticias/comunicados/2017/N44-escuela-autosostenible-salon-ecocultural.aspx	24
Imagen 6 - Acto de inauguración de la Escuela de Carate, Península de Osa. Fuente: Recuperado de: https://www.inder.go.cr/noticias/comunicados/2017/N44-escuela-autosostenible-salon-ecocultural.aspx	26

Imagen 7 - Fachada principal de la casa, donde se muestra la aplicación del bambú como parte de los paneles. Fuente: Imagen cortesía de Studio Saxe (2010).	26
Imagen 8 - Diagrama de conceptualización del diseño. Fuente: Imagen cortesía de Studio Saxe (2010).	28
Imagen 9 - Sección longitudinal. Se aprecia la aplicación del bambú en cerramientos y cielos. Fuente: Imagen cortesía de Studio Saxe (2010).	28
Imagen 10 - Detalle del cerramiento con piezas de bambú. Fuente: Imagen cortesía de Studio Saxe (2010).	29
Imagen 11 - Mapa de localización - Bajos de Tabacón. Fuente: http://mapasociales.inec.cr/mapnew.php	30
Imagen 12 - Mapeo de la disponibilidad de materiales de construcción a diferentes radios de distancia del proyecto. Fuente: Google Earth. Modificada por el autor.	33
Imagen 13 - Disponibilidad de concreto a diferentes radios del proyecto. Fuente: Google Earth. Modificada por el autor.	34
Imagen 14 - Disponibilidad de bambú a diferentes radios del proyecto. Fuente: Elaborada por el autor a partir de la información contenida en el artículo El desarrollo del bambú en Costa Rica, (Revista Ambientico)	35
Imagen 15 - Gráfico área sembrada de bambú en Costa Rica por regiones. Fuente: FUNDEBAMBU.	36
Imagen 16 - Áreas sembradas de bambú por cantón. Fuente: PROCOMER, Evaluaciones de valor agregado para rambután y bambú.	37
Imagen 17 - Mapa Virtual de la Cadena Productiva del Bambú en Costa Rica. Fuente: Proyecto Bambú, Universidad Nacional. Tomado de: https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=16Cyifbe5-E0En3fO_Q-f6vq1JU4BVFxm&ll=10.514145034656341%2C-84.94528046741765&z=9	38
Imagen 18 - Línea de tiempo de la historia del bambú en Costa Rica. Fuente: Elaborada por el autor.	41
Imagen 19 - Fotografía tomada desde el sitio de intervención. Al fondo, el Volcán Arenal. Fuente: Tomada por el autor.	46
Imagen 20 - Mapa de localización del proyecto. Fuente: Google Maps, intervenida por el autor.	46
Imagen 21 - Planta de sitio del proyecto. Fuente: Elaborada por el autor.	48
Imagen 22 - Planta de conjunto 3D. Fuente: Elaborada por el autor.	49
Imagen 23 - Planta del conjunto arquitectónico. Fuente: Elaborada por el autor.	50
Imagen 24 - Sección longitudinal del proyecto. Fuente: Elaborada por el autor.	51

Imagen 25 - Sección transversal del proyecto. Fuente: Elaborada por el autor.	51
Imagen 26 - Vista del conjunto. Fuente: Elaborada por el autor.	52
Imagen 27 - Vista conceptual del proyecto. Fuente: Elaborada por el autor.	52
Imagen 28 - Edificio de recepción. Fuente: Elaborada por el autor.	53
Imagen 29 - Edificio de restaurante. Fuente; Elaborada por el autor.	54
Imagen 30 - Edificio de servicios sanitarios. Fuente: Elaborada por el autor.	55
Imagen 31 - Edificios de vestidores. Fuente: Elaborada por el autor.	56
Imagen 32 - Áreas complementarias. Fuente: Elaborada por el autor.	57
Imagen 33 - Diagrama de componentes arquitectónicos del proyecto. Fuente: Elaborada por el autor.	60
Imagen 34 - Esquema estructural de la propuesta en acero, conjunto. Fuente: Elaborada por el autor.	62
Imagen 35 - Esquema estructural de entepiso en acero. Fuente: Elaborada por el autor.	63
Imagen 36 - Esquema estructural cubierta en acero. Fuente: Elaborada por el autor.	63
Imagen 37 - Diagrama de replanteamiento del sistema constructivo. Fuente: Elaborada por el autor.	65
Imagen 38 - Detalle de cimentaciones y componentes estructurales del anteproyecto en estructura de acero. Fuente: Elaborada por el autor.	67
Imagen 39 - Detalle de cimentaciones y componentes estructurales del anteproyecto esquemático de estructura en bambú. Fuente: Elaborada por el autor.	67
Imagen 40 - Detalle de entepiso y componentes estructurales del anteproyecto refinado de estructura en bambú. Fuente: Elaborada por el autor.	68
Imagen 41 - Diversificación de cuadrillas de trabajo gracias a la construcción en bambú. Fuente: Recuperado de: https://www.bambuksa.com/proyectos?pgid=j9pb0hz0-5a2b0b48-42fa-477a-83fc-fd8d018dc632	71
Imagen 42 - I Simposio Internacional de Bambú en Costa Rica. Fuente: Recuperado de: https://www.facebook.com/sibambuocr/photos/a.450036198768815/451995351906233	78
Imagen 43 - Esquema estructural de la propuesta en bambú, conjunto. Fuente: Elaborada por el autor.	82
Imagen 44 - Esquema estructural de entepiso en bambú. Fuente: Elaborada por el autor.	83
Imagen 45 - Esquema estructural cubierta en bambú. Fuente: Elaborada por el autor.	83
Imagen 46 - Visualización conceptual de la estructura en bambú, se aprecian algunos de los edificios del conjunto. Fuente: Elaborada por el autor.	84

Imagen 47 - Sección esquemática de la propuesta en bambú. Fuente: Elaborada por el autor.	85
Imagen 48 - Elevación frontal de uno de los edificios del conjunto. Fuente: Elaborada por el autor. .	85
Imagen 49 - Vista exterior del conjunto de edificios.	86
Imagen 50 - Visualización interior de la propuesta en bambú, donde se aprecia el uso del bambú en diferentes formas de aplicación. Fuente: Elaborada por el autor.....	88
Imagen 51 -Ejemplo de diagrama de recomendaciones de diseño generado desde el software Climate Consultant.	97
Imagen 52 - Diagrama del análisis comparativo de la estructura en bambú vs la estructura en acero. Fuente: Elaborada por el autor.	101
Imagen 53- Criterios de evaluación del Modelo de Confort Adaptativo. Fuente: Climate Consultant	186
Imagen 54 - Diagramas de estrategias de ventilación. Fuente: Climate Consultant.....	201
Imagen 55 - Diagrama de diseño de arquitectura tradicional para el climas húmedos y cálidos y aprovechamiento de la vegetación para la reducción de la ganancia térmica. Fuente: Climate Consultant.	201
Imagen 56- Modelo arquitectónico sometido al análisis – 21 de marzo, 10:00 a.m. Fuente: Elaborada por el autor.	203
Imagen 57 - Imagen 33- Modelo arquitectónico sometido al análisis – 21 de marzo, 2:00 p.m. Fuente: Elaborada por el autor.	204
Imagen 58 - Escala de colores para determinar los valores de radiación. Tomada de Autodesk Insight 2020.....	206
Imagen 59 - Análisis de radiación sobre las envolventes de los edificios del conjunto, (marzo 21). Fuente: Elaborada por el autor.	207
Imagen 60 - Análisis de radiación sobre las envolventes de los edificios del conjunto, (junio 21). Fuente: Elaborada por el autor.	208
Imagen 61 - Análisis de radiación sobre las envolventes de los edificios del conjunto, (setiembre 21). Fuente: Elaborada por el autor.	209
Imagen 62 - Análisis de radiación sobre las envolventes de los edificios del conjunto, (diciembre 21). Fuente: Elaborada por el autor.	210
Imagen 63 - Diagrama de estrategia de diseño contemplando la dirección y velocidad del viento. Fuente: Climate Consultant.....	217
Imagen 64 - Escala cromática de velocidad del viento y tabla de datos del análisis. Estos parámetros varían según la velocidad del túnel de viento. Fuente: Autodesk Flow Design.	217
Imagen 65 - Simulación de vientos en plan vertical, (2 m/s). Fuente: Elaborada por el autor.	218

Imagen 66-- Simulación de vientos en plan vertical, (5 m/s). Fuente: Elaborada por el autor.	219
Imagen 67- - Simulación de vientos en plan vertical, (10 m/s). Fuente: Elaborada por el autor.	220
Imagen 68 - Resultado del cálculo de la huella de carbono de la estructura de acero mediante la calculadora Build Carbon Neutral. Fuente: Recuperado de: http://www.buildcarbonneutral.org/calculated.php	222
Imagen 69 - Resultado del cálculo de la huella de carbono de la estructura de bambú mediante la calculadora Build Carbon Neutral. Fuente: Recuperado de: http://www.buildcarbonneutral.org/calculated.php	223
Imagen 70 - Presentación tablas ICE V2.0. Fuente: ICE V2.0.	224

Lista de gráficos

Gráfico 1 - Distribución de empleo según tamaño de empresa. Fuente: Oferta Productiva e Indicadores Socioeconómicos, (MEIC, 2012), modificada por el autor.....	39
Gráfico 2 - Cuantificación de toneladas de carbono para una estructura en acero, una en bambú y una mixta.	110
Gráfico 3 - Comparativo de la huella de carbono según sistema constructivo. Fuente: Elaborado por el autor.....	112
Gráfico 4 - Comparativo de toneladas de carbón liberadas de las estructuras en acero y bambú según componentes. Fuente: Elaborada por el autor.	114
Gráfico 5 - Inversión inicial en acero. Fuente: Elaborado por el autor.	117
Gráfico 6 - Inversión inicial en bambú. Fuente: Elaborado por el autor.	119
Gráfico 7 - Resumen de los resultados del análisis comparativo. Fuente: Elaborada por el autor. ...	125
Gráfico 8 - Resumen del análisis de costos. Fuente: Elaborada por el autor.	125
Gráfico 9 - Promedio de vientos. Fuente: Climate Consultant.	187
Gráfico 10 - Cobertura de nubosidad. Fuente: Climate Consultant.	189
Gráfico 11 - Velocidad promedio de vientos. Fuente: Climate Consultant.....	191
Gráfico 12 - Temperatura de bulbo seco vs. humedad relativa. Fuente: Climate Consultant.	193
Gráfico 13 -Promedio de humedad relativa. Fuente: Climate Consultant.....	195
Gráfico 14 - Rosa de los vientos - Estación lluviosa. Fuente: Climate Consultant.	196
Gráfico 15 - Rosa de los vientos - Estación seca. Fuente: Climate Consultant.....	197
Gráfico 16 - Cuadro psicrométrico de estación seca. Fuente: Climate Consultant.	198
Gráfico 17 - Cuadro psicrométrico de estación lluviosa. Fuente: Climate Consultant.	199

Gráfico 18 - Toneladas métricas de CO2 producto de las emisiones de los diferentes materiales en la estructura de acero. Fuente: Elaborada por el autor.....	227
Gráfico 19 - Toneladas métricas de CO2 producto de las emisiones de los diferentes materiales en la estructura de bambú. Fuente: Elaborada por el autor	229

Tabla de abreviaturas

ABREVIATURA EN ESPAÑOL	SIGNIFICADO	ABREVIATURA EN INGLÉS	SIGNIFICADO
DCC	Dirección del Cambio Climático	ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
EARTH	Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda	BCN	Build Carbon Neutral
FUNDEBAMBU	Fundación para el desarrollo del bambú en Costa Rica.	EDGE	Excellence in Design for Greater Efficiencies
GEI	Gases de efecto invernadero	ICE	Inventory of Carbon & Energy
INTECO	Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica	LEED	Leadership in Energy & Environmental Design
ONU	Organización de las Naciones Unidas	USGBC	United States Green Building Council
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas		
PROCOMER	Promotora de Comercio Exterior		
RESET	Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico		



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

SEP Sistema de
Estudios de Posgrado

Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Wamer Vega Orozco, con cédula de identidad 4 0190 0457, en mi condición de autor del TFG titulado Análisis comparativo del bambú como solución constructiva frente a una estructura de acero.

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI NO *

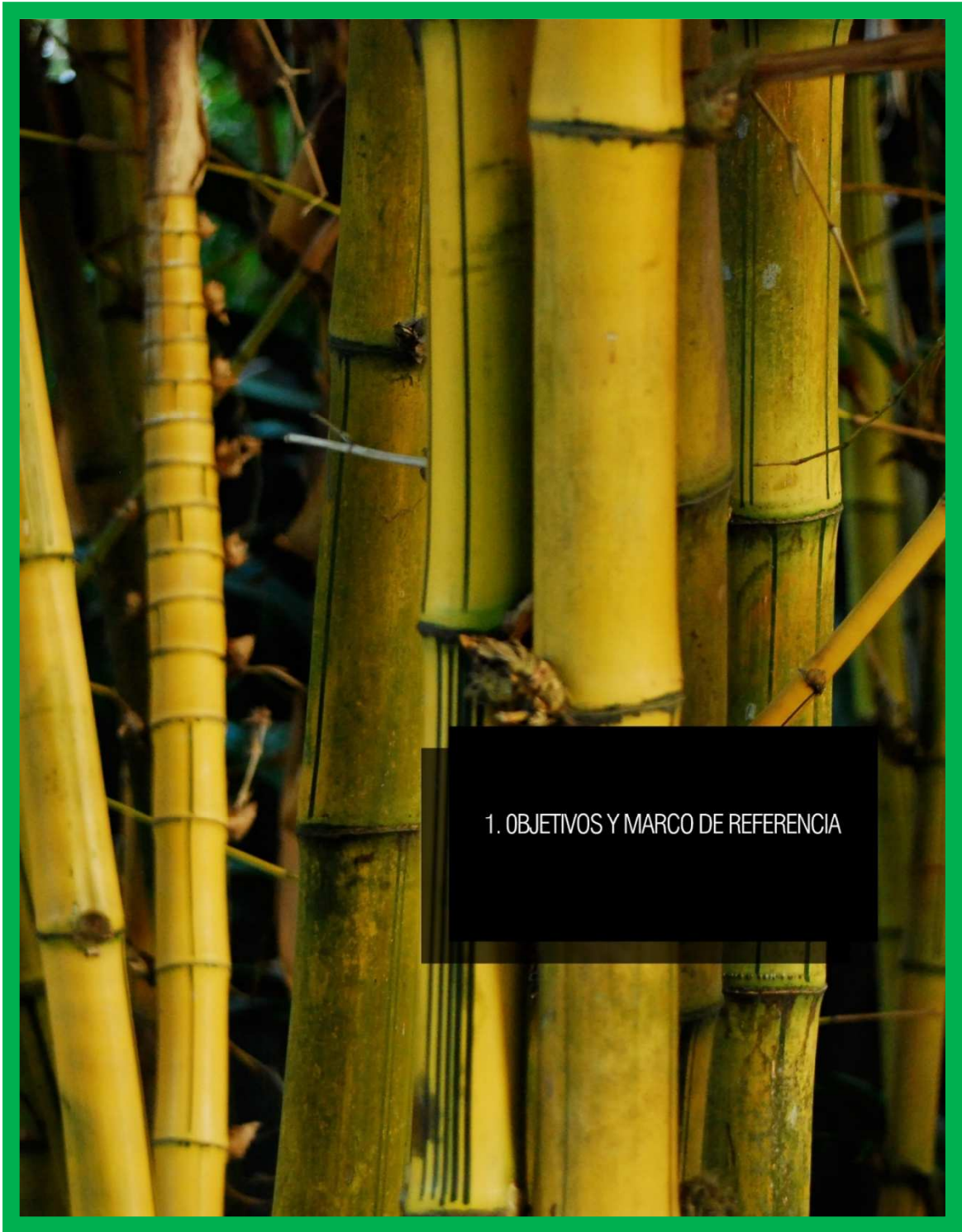
*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.



1. OBJETIVOS Y MARCO DE REFERENCIA

1. Objetivos y marco de referencia

1.1 Justificación

El mercado actual de la arquitectura y la construcción demanda la exploración de alternativas que permitan un alto desempeño en materia de sostenibilidad. El TFIA, (Trabajo Final de Investigación Aplicada), es una oportunidad para investigar la factibilidad del bambú como material de construcción en comparación con la estructura constructiva de acero, como parte del ejercicio cotidiano que enfrentan los profesionales en arquitectura y construcción cuando se aventuran a plantear alternativas no convencionales.

Si bien es cierto el bambú como material o sistema constructivo no se encuentra normado en el Código Sísmico de Costa Rica, existen numerosas investigaciones que demuestran las propiedades estructurales del bambú y respaldan su aplicabilidad, (las cuales se desarrollan en los aspectos teóricos del trabajo), incluso como sistema sismorresistente, factor importante dadas las condiciones locales de sismicidad. Cabe aclarar que, si bien el Código Sísmico de Costa Rica no incluye el diseño de estructuras en bambú, tampoco excluye la posibilidad, siempre que se demuestre por medio de cálculos estructurales para el material.

Existen en Costa Rica amplios antecedentes en la utilización del material, sin embargo, al carecer de políticas públicas suficientemente desarrolladas que relacionan de mejor manera las cadenas productivas con el sector construcción, se ha generado la desinformación generalizada en el sector construcción.

Estas condiciones han limitado de alguna manera el estudio y la puesta en práctica del bambú a la academia y algunos profesionales que, convencidos del potencial de este material, han llevado a cabo diferentes estudios y aproximaciones.

También, es pertinente destacar que existen otras condicionantes más allá de las expuestas anteriormente, como por ejemplo la disponibilidad del material óptimo para la construcción, las tendencias del mercado de la construcción, los enfoques de modelos constructivos promovidos las cámaras, el sistema de compras públicas, entre otros

factores determinantes, según explica el señor Luis Fallas Calderón, director ejecutivo de FUNDEBAMBU¹.

En otros países de la región, como Colombia y Ecuador, el bambú ha sido un material empleado desde hace cientos de años por las culturas precolombinas, y cuya tradición permanece intacta hasta hoy. Países de otras partes del mundo, como China o Japón, han demostrado también un desarrollo muy avanzado de la aplicación del material en variedad de elementos constructivos, arquitectónicos y decorativos.

1.2 Factibilidad y viabilidad

A pesar que existe una gran variedad de estudios académicos, así como guías y manuales de construcción en bambú, dichos documentos se limitan al análisis de temas como la plantación, el curado, y el desarrollo de las diferentes técnicas para el ensamble de algunos tipos de estructuras.

Dentro de toda esta teoría existente, se plantea esta investigación como una ruta diferente de análisis para la viabilidad del bambú como sistema constructivo, abordando el problema desde una perspectiva comparativa, que incluye factores como materialidad, disponibilidad, costos, mano de obra, reducción del impacto ambiental y la huella de carbono, así como los posibles beneficios o desventajas.

Este análisis comparativo utiliza las herramientas aprendidas a lo largo de los diferentes módulos de la maestría, donde se estudiaron técnicas para la medición de la huella de carbono, software para el análisis de las condiciones climáticas del sitio, cálculos básicos para determinar la capacidad de aislamiento térmico y acústico de diferentes materiales y ensambles, análisis de rendimiento en términos de sostenibilidad, entre otra serie de recursos de gran aplicabilidad en el campo profesional de la arquitectura y construcción. El ejercicio, se lleva a cabo usando como referencia un anteproyecto aportado por el estudiante, con el fin de entender de manera generalizada los beneficios potenciales de la implementación del bambú como sistema constructivo.

¹ Fundación para el Desarrollo del Bambú en Costa Rica.

1.3 Formulación del problema

El objetivo de esta investigación es poder determinar comparativamente la aplicabilidad y beneficios ambientales de un material alternativo como el bambú frente a uno convencional como es el acero, resultados que podrían reafirmar su idoneidad o por el contrario desestimar su aplicación. Esto da lugar al siguiente problema:

¿Qué beneficios medibles se podrían obtener de la construcción en bambú, frente a una estructura de acero en el mercado actual de la construcción en Costa Rica?

1.4 Objetivo general

Analizar los costos y beneficios ambientales entre la construcción con una estructura primaria de acero y otra con base en materiales de bambú, para un proyecto turístico a construirse en la Fortuna de San Carlos.

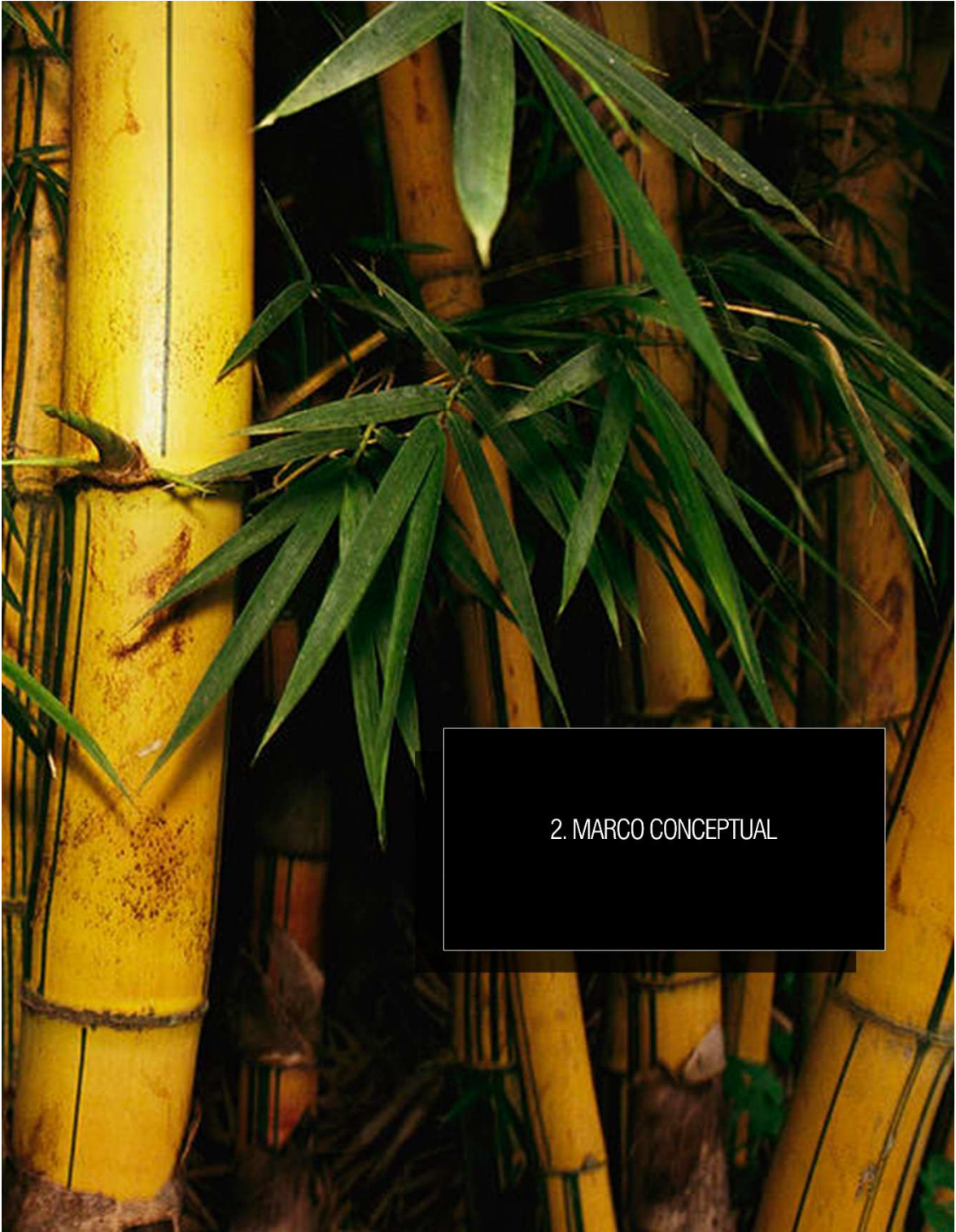
1.5 Objetivos específicos

- Determinar los costos aproximados en mano de obra, materiales, transporte y uso de equipos en la construcción de una estructura primaria de acero, o con base en materiales de bambú, utilizando como objeto de análisis un proyecto turístico ubicado en la Fortuna de San Carlos.
- Determinar y comparar las ventajas de construir con una estructura primaria de acero o una con base en materiales de bambú en un proyecto turístico ubicado en la Fortuna de San Carlos, con base en la procedencia local de los materiales, el costo aproximado de la construcción, la duración y ciclo de vida de los materiales.
- Realizar una comparación entre los beneficios ambientales y económicos para definir la mejor opción en el proyecto turístico a desarrollar ubicado en la fortuna de San Carlos.
- Generar una serie de directrices para la toma de decisiones para la elección entre la construcción con una estructura primaria de acero o con base en materiales de bambú.
- Determinar la aplicabilidad y funcionalidad de las herramientas digitales de análisis para la toma de decisiones en un proyecto de construcción que busca lograr altos índices de desempeño en términos de sostenibilidad.

1.6 Alcances y limitaciones de la investigación

El alcance de esta investigación busca analizar de manera comparativa dos sistemas constructivos para medir y determinar las ventajas o desventajas que podría tener uno sobre otro. Para poder llevar a cabo esta comparación, hubo que plantear algunos conceptos estructurales en bambú y replantear el anteproyecto, trabajo que se desarrolló a lo largo del Taller de Edificaciones y sus materiales, cabe destacar que el enfoque de esta investigación no está dirigido al desarrollo de un sistema constructivo en bambú.

Es importante destacar también, que por las razones que se comentaron anteriormente, el acceso a información de presupuestos, costos de construcción, curvas de aprendizaje y rendimientos se vuelve difícil al no existir bases de datos públicas, como las hay para sistemas constructivos como mampostería y acero. Por estas condiciones, el análisis de costos tendrá que abordarse desde consideraciones medioambientales y algunos datos generales de costos de materiales y costo unitario promedio por metro cuadrado.



2. MARCO CONCEPTUAL

2. Marco Conceptual

Siendo la sostenibilidad un aspecto de suma importancia en todo proyecto de construcción, se citan en esta investigación algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ODS), parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, objetivos que plantean la sostenibilidad como una visión integral que promueve la inclusión y la generación de riqueza y bien común a través de prácticas que comulgan con la conservación del medio ambiente. Esta aproximación se relaciona a la vez de manera directa con los planteamientos de los diferentes sistemas de acreditación y herramientas para la evaluación del rendimiento de un proyecto de construcción desde la óptica de la sostenibilidad.

Desde esta perspectiva, dichos objetivos deberían ser el *objetivo común de todo proyecto de construcción*. Estos objetivos, permitirán además establecer un análisis comparativo entre los potenciales aportes que pueden brindar los métodos constructivos en análisis, no únicamente desde su viabilidad económica, sino también analizando su costo medioambiental, su costo social, y las posibilidades que brindan para la educación y generación de empleo.

2.1 Concepto de Sostenibilidad y su importancia para la investigación

Rivera, Blanco, Alcántara, Pascal & Pérez (2017) indican que el término desarrollo sostenible tiene un énfasis sobre el desarrollo, y busca que sea sostenido de acuerdo con el cuidado del medio ambiente. De esta manera el concepto según Rivera et. al refiere en su origen a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, (UICN), en 1948 que busca formas prácticas de solucionar los desafíos ambientales.

Rivera et al. (2017) expresan que para la década de 1970 se empieza a cuestionar el modelo de desarrollo vigente, por la perceptible y medible contaminación y uso excesivo de los recursos. Pero es Maurice Strong, del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUMA,) quién primero utiliza el concepto, y la elaboración y difusión se debe posteriormente a Ignacio Sachs. Busca la crítica al desarrollo económico sin respecto al medio ambiente Prosiguen Rivera et al. (2017):

No fue hasta la aparición del documento Nuestro Futuro Común, también conocido como Informe Brundtland, cuando surge y se define formalmente el término en inglés “*sustainable development*” (ONU, 1987). En dicho texto, el término se entiende como: “el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (ONU, 1987, p.23). Sin embargo, el concepto significa una definición ética inicial, lo cual permite conciliar las diferencias existentes entre los diversos actores tanto de la sociedad civil, como gubernamentales, reconociendo además las diferencias entre naciones y cómo se acentúan estas a causa de las deudas externas de los países en vía de desarrollo. (p.59)

Rivera et al. explican que el concepto tiene como radical la noción de preservar el medio ambiente como una de sus bases, pero conserva otros elementos más tradicionales, como lo son el busca el crecimiento sostenido de la economía a mediano y largo plazo, donde se eliminan los altibajos, y en medio de esto también el bienestar económico y social que debe tener todos los habitantes.

2.2 Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

El concepto de sostenibilidad, o sustentabilidad, nunca ha estado más presente en las políticas de gestión pública que en la actualidad.



Imagen 1- Gro Harlem Brundtland, primera ministra de Noruega dirigiendo la Asamblea General de Ambiente y Desarrollo. Naciones Unidas, (1987). Fuente: Ecología política, recuperado de: <https://www.ecologiapolitica.info/?p=9707>

El documento “*Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. (2015)*”, documento final de la Cumbre de las Naciones Unidas, plantea un plan de acción que gira en torno a cinco pilares fundamentales:

- Las personas
- El planeta
- La prosperidad
- La paz
- Las alianzas

Estos pilares fundamentales, se sustentan por medio de 17 objetivos de desarrollo que buscan, entre otras metas, erradicar la pobreza, hacer sociedades más inclusivas, proteger el uso de los recursos naturales, promover la educación en temas de medioambiente, mitigar

el cambio climático, promover la generación de fuentes de empleo, igualdad de género y empoderamiento de mujeres y niñas, entre otros.



Imagen 2 - Objetivos de Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas, (2015). Fuente: Organización de las Naciones Unidas. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, y 169 metas, constituyen además un compromiso vital para cumplir los propósitos de la agenda. Estos objetivos plantean una visión a futuro de igualdad de condiciones para el desarrollo, así como compromisos de protección de los recursos naturales y reducción del impacto de la huella de carbono y el calentamiento global.

Si bien es cierto estos objetivos se deben ver desde perspectiva integral, algunos de los objetivos planteados dentro de la agenda involucran directa o indirectamente al sector construcción planteando nuevos desafíos para los actores, quienes deberán diseñar sus proyectos desde una perspectiva de sostenibilidad, que involucre estos objetivos como parte del compromiso adoptado.

Los objetivos con una relación más directa sobre el sector construcción, serán citados y comentados a continuación:

Objetivo 8: Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.

El impulso de políticas orientadas al desarrollo de actividades productivas, así como de generación de empleo digno, formalización de pequeñas empresas, igualdad de oportunidades, entre otros ideales de desarrollo, (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015)., pueden ser promovidos desde la arquitectura, brindando oportunidades de trabajo durante las diferentes etapas del ciclo de vida de un proyecto.

Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes.

Se pretende en este objetivo mejorar los procesos de producción industrial, promoviendo prácticas más limpias y seguras e inclusivas, también buscando mejorar el acceso a servicios financieros como créditos, así como la integración a los mercados y cadenas de valor (ONU, 2015).

Objetivo 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

Se plantea las ciudades y asentamientos como los potenciadores de sociedades resilientes, que garanticen el acceso a las condiciones básicas de desarrollo y bienestar. (ONU, 2015). Esta preocupación evidencia la naturaleza social de la arquitectura, que trasciende las barreras de lo constructivo y económico, para convertirse en plataforma de desarrollo humano.

Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

Este objetivo promueve la mejora en la educación y la sensibilización respecto al cambio climático y sus potenciales efectos. Sectores como producción, transporte y construcción, son considerados focos importantes de liberación de gases de efecto invernadero (ONU, 2015).

Las mejoras en las prácticas constructivas, así como el uso de materiales con menor huella de carbono pueden convertirse en acciones a tomar como medida ante los efectos del cambio climático desde el sector construcción.

2.3 Medidas adoptadas por Costa Rica ante el Cambio Climático: Plan de Acción Estrategia Nacional de Cambio Climático

De manera complementaria con estos objetivos, Costa Rica ha tomado una posición hacia la carbono-neutralidad para el 2021. El Ministerio de Ambiente y Energía, a través de la DCC, (Dirección de Cambio Climático), y específicamente a través del Plan de Acción de la Estrategia Nacional de Cambio Climático, promueve una serie progresiva de intervenciones para la mejora en sectores como transportes, procesos industriales, agroindustria, energía, entre otras áreas, al ser estos los principales focos de emisión de GEI²

Desde el sector privado de la construcción, los esfuerzos para reducir el impacto sobre el medio ambiente se han centrado en la obtención de certificaciones de desempeño y sostenibilidad, como lo es el caso de LEED³ y EDGE⁴. A nivel local, destacan certificaciones en construcción sostenible como RESET⁵ y la Certificación de Carbono Neutralidad de INTECO⁶. Esta realidad queda plasmada en el artículo *“El mercado costarricense de la construcción continúa avanzando hacia la sostenibilidad”*, de la revista Construir, donde se revela el interés creciente en la industria por inclinarse hacia la obtención de alguna certificación en sostenibilidad⁷.

El Plan de Acción Estrategia Nacional de Cambio Climático, se compone de iniciativas de mitigación y adaptación, así como de 6 ejes de acción:

² Gases de Efecto Invernadero

³ Leadership in Energy and Environmental Design

⁴ Excellence in Design for Greater Efficiencies

⁵ Requisitos para Edificios Sostenibles en el Trópico

⁶ Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica

⁷ Redacción. (2019). *“El mercado costarricense de la construcción continúa avanzando hacia la sostenibilidad”*. Construir. Recuperado de: <https://revistaconstruir.com/mercado-costarricense-la-construccion-continua-avanzando-hacia-la-sostenibilidad/>

Tabla 1- Sectores claves de mitigación (Elaboración propia, tomado de Plan de Acción de la Estrategia Nacional de Cambio Climático)

Sectores claves de mitigación	Energía Transportes Agropecuario Industrial Residuos sólidos Turismo Hídrico Cambio de uso de suelo
Sectores claves de adaptación	Hídrico Agropecuario Energía Pesca y Zonas Costeras Salud Infraestructura Biodiversidad

Según el de Plan de Acción de la Estrategia Nacional de Cambio Climático, (ENCC), estos sectores demandan la movilización de recursos humanos, técnicos y financieros con el fin de orientar al país hacia un desarrollo bajo en emisiones. Estas acciones de mitigación permiten la movilización del sector privado, universidades y otros actores de la sociedad civil con el fin

de promover acciones concretas en los sectores que más contribuyen con la huella de carbono del país. En términos de adaptación, las acciones se han concentrado en la realización de estudios y la formulación de planes.

Instituciones como EARTH e INTECO son verificadores autorizados para las declaraciones de Carbono Neutralidad con la cual han sido reconocidas muchas empresas (Vargas, 2014). La sociedad como un todo es responsable de la implementación y adaptación mediante acciones simples que garanticen un desarrollo sostenible.

2.4 Sistemas de certificación para construcciones sostenibles y su importancia como referencia conceptual para la investigación

(Sobre las características y especificaciones puntuales de los sistemas de certificación, ver Anexo 1.)

Durante los últimos 10 años se ha incrementado la cantidad de proyectos de construcción que realizan esfuerzos considerables por mejorar el impacto sobre el medio ambiente y su entorno.

A pesar que Costa Rica es el país de la región que alberga el mayor índice per cápita de m² de construcción certificada, y es reconocida por sus esfuerzos en sostenibilidad y conservación, no cuenta aún con incentivos fiscales o crediticios que promuevan este tipo de construcciones, así como con una Estrategia Nacional de Construcción Sostenible. (Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica [PROCOMER], 2018).⁸

A continuación, se explican brevemente algunos de los sistemas de acreditación más populares en el mercado local, los cuales plantean diferentes aproximaciones para la medición y cálculo de los parámetros o criterios empleados para evaluar un proyecto de construcción.

⁸ (Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica [PROCOMER], 2018)

2.4.1 La certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)⁹

Es indudable la popularidad que ha tomado en el mercado de la construcción algunos de estos sistemas de certificación, como lo es el caso de LEED, desarrollado por el Consejo de Construcción Verde de Estados Unidos, (US Green Building Council).¹⁰

Este sistema de certificación es uno de los más empleados actualmente alrededor del mundo y cuenta con certificaciones para prácticamente cualquier tipo de proyecto de construcción, incluyendo construcciones nuevas, remodelaciones, edificios existentes, interiores comerciales, estructura y fachada, escuelas, centros de salud, establecimientos comerciales e incluso comunidades.

2.4.2 Sistema de acreditación EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies)¹¹

EDGE es una plataforma en línea de carácter gratuito, además de un estándar de construcción sostenible, y un sistema de certificación creado por la IFC¹², institución financiera que forma parte del Banco Mundial.

La aplicación en línea “Edge App”, genera una serie de estrategias y recomendaciones según el contexto y tipo de proyecto, partiendo de las condiciones base y comparándolo con diferentes escenarios de mejora en función de los costos, eficiencia y rendimiento.

Según este sistema de evaluación/certificación, un proyecto que alcance el estándar EDGE, podría lograr alcances significativos en ahorro en el consumo de agua y energía. Para obtener la certificación, se debe alcanzar al menos un 20 % de reducción en el consumo de energía, 20 % menos en el consumo de agua y 20 % de energía embebida en los materiales.

⁹ (Leadership in Energy and Environmental Design) Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental)

¹⁰ (US Green Building Council) Consejo Estadounidense de Construcción Verde

¹¹ Información referente a EDGE*, recuperada de los sitios oficiales web: edgebuildings.com, app.edgebuildings.com

¹² International Finance Corporation (Corporación Financiera Internacional)

Adicionalmente, se puede lograr niveles de excelencia cuando se logran demostrar ahorros considerablemente superiores al 20 %.

En la actualidad, los edificios generan hasta el 19 % de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a energía y consume 40 % de la electricidad global. Para el 2050, se espera que el espacio construido se duplique debido al alto crecimiento de la población y a las tendencias de urbanización. (EDGE 2019)

2.4.3 Norma RESET INTE 06-12-01:2014/Enm 1:2017

La norma RESET, (Requisitos para Edificios Sostenibles en el Trópico), es una norma desarrollada por el Instituto de Arquitectura Tropical, (IAT), y tiene como objetivo alcanzar mediante la arquitectura y el diseño altos niveles de eficiencia y sostenibilidad. Esta norma técnica, ha sido donada por el Instituto de Arquitectura Tropical a diferentes instituciones, con el fin de convertirla en una norma nacional de referencia para la construcción sostenible.

La norma se basa en el principio de “Sostenibilidad con más arquitectura que tecnologías”, partiendo de la premisa del potencial del diseño para reducir el uso de tecnologías aplicadas a la climatización de edificios a menos que sea estrictamente indispensable.

Al igual que otros sistemas de acreditación, RESET también enfatiza la relación del edificio con su entorno, la utilización de energía y recursos naturales, el reforzamiento de las economías locales a través del uso de materiales y mano de obra local y el fortalecimiento de la cultura medioambiental.

La norma, contiene 7 capítulos de evaluación, que repasan los diferentes requisitos de diseño y construcción:

- Entorno y transporte
- Aspectos socioeconómicos
- Calidad y bienestar espacial
- Suelos y paisajismo
- Materiales y recursos
- Uso eficiente del agua
- Optimización de energética

Adicionalmente a estos capítulos, se cuenta con una “Hoja de Contexto”, la cual permite determinar el impacto sobre el medio ambiente según la escala y la naturaleza del proyecto.

Para la evaluación de cada criterio, existe un valor de referencia que se debe cumplir para calificar el logro del criterio. Los criterios serán evaluados por un equipo de personas competentes en el campo de la arquitectura y construcción, a partir de indicadores que permiten determinar si el punto es logrado o no. Es importante decir que se deben alcanzar la totalidad de los puntos para obtener el sello RESET, representado con un sol.

Además, se pueden obtener puntos plus, que permiten ganar soles adicionales como reconocimiento por los esfuerzos en sostenibilidad. Los puntos plus se pueden obtener superando en al menos un 50 % por encima de valor de referencia para un criterio, cuando se cumple con criterios que no corresponden a la exigencia de la categoría de impacto del proyecto, sino de uno mayor, y obteniendo puntos de los criterios de “Factor de infraestructura”, los cuales premian aspectos como la escogencia del sitio y la infraestructura de servicios.

Una vez realizada la evaluación, es posible graficar los resultados con el fin de determinar en qué temática se han obtenido los puntos plus y si son de diseño o aplicaciones.

2.5 Marco conceptual para el cálculo de la huella de carbono

Como herramientas complementarias para el desarrollo de la investigación, se utilizan dos recursos importantes para el cálculo de la huella de carbono del proyecto. La primera es Build Carbon Neutral, una calculadora en línea que permite un cálculo aproximado a partir de consideraciones básicas del proyecto. La segunda, son las tablas de Inventory of Carbon & Energy, las cuales permiten un cálculo mucho más preciso a partir de un inventario de materiales y su energía embebida. Los detalles técnicos de los cálculos se pueden encontrar en los enlaces a continuación:

- <http://www.buildcarbonneutral.org/about.php#how>

- <https://perigordvacance.typepad.com/files/inventoryofcarbonandenergy.pdf>

2.5.1 Build Carbon Neutral

Build Carbon Neutral¹³, (BCN), es una calculadora en línea que permite determinar un aproximado de la huella de carbono de una construcción, partiendo de parámetros como el área, la cantidad de niveles, sistema constructivo primario y el contexto inmediato. Esta herramienta se utilizó como herramienta complementaria de cálculo.

2.5.2 Inventory of Carbon & Energy (ICE) V2.0

Inventory of Carbon & Energy¹⁴, (ICE), es una base de datos de energía y carbono embebido en materiales de construcción, es de acceso libre y fue publicada por la Universidad de Bath, en Reino Unido. Esta herramienta fue empleada en el último módulo de la maestría con el fin de tener un insumo adicional para el cálculo de la huella de carbono. *(Para detalle de los alcances y resultados de las herramientas de cálculo, referirse al Anexo 5 de este documento)*

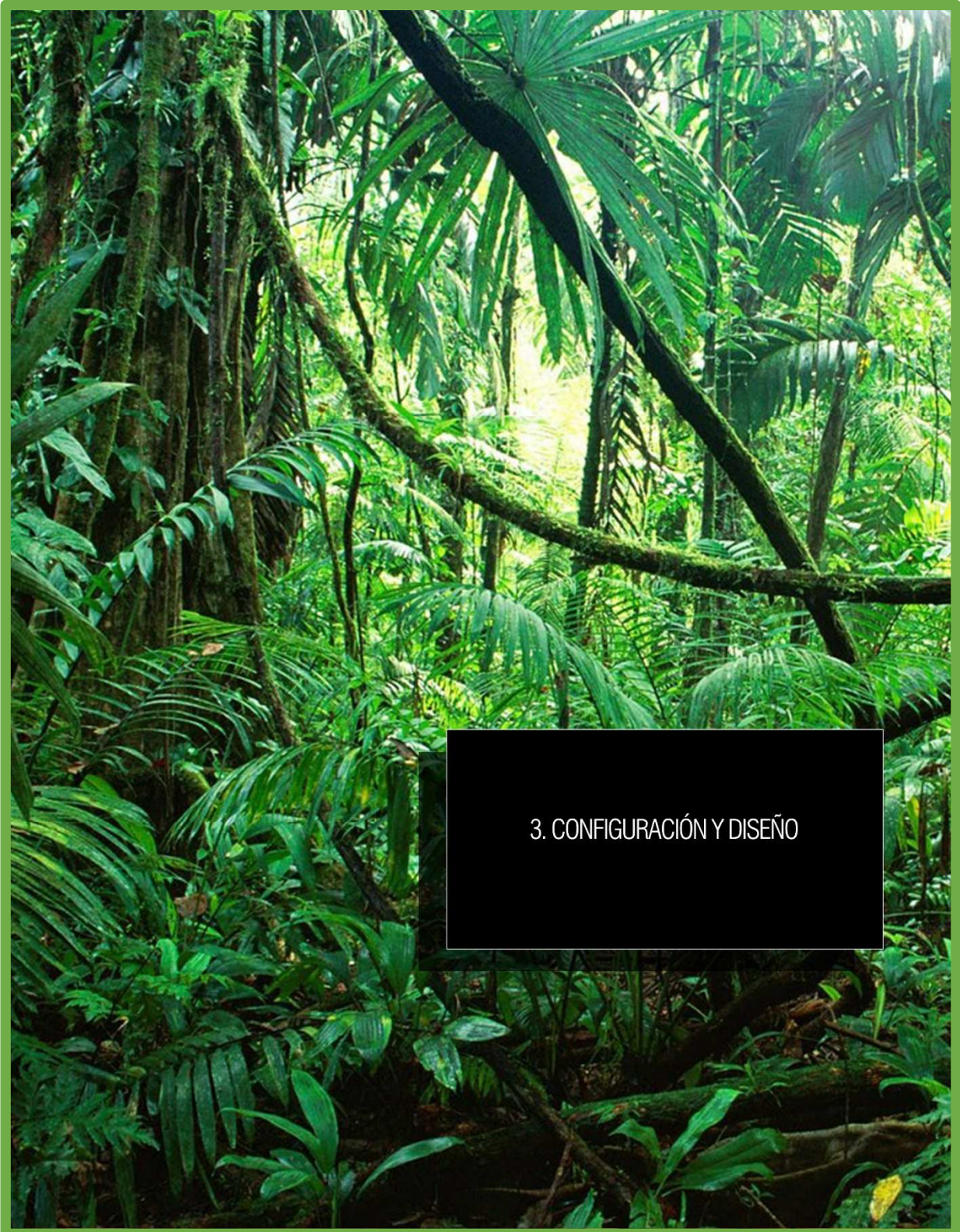
2.5.3 Importancia para la investigación

El análisis de los sistemas de acreditación, permite entender cuáles son las consideraciones principales que debería contemplar el diseño para alcanzar algún grado de éxito en términos de sostenibilidad, lo que a la larga contribuye también con el ahorro potencial en cuanto a consumo y materiales.

Los criterios de evaluación y las líneas base, pretenden servir de marco de referencia para la evaluación final de las estructuras de acero y bambú.

¹³ Traducido al español como Construya Carbono Neutral

¹⁴ Traducido como Inventario de Carbono y Energía



3. CONFIGURACIÓN Y DISEÑO

3. Configuración y diseño

Este apartado se refiere inicialmente a algunas referencias constructivas, así como a los aspectos arquitectónicos de la investigación, luego, se hará un análisis detallado del contexto del proyecto en estudio.

3.1 Estudio de casos

Como estudio de casos, se analizan a continuación algunos pequeños proyectos locales, los cuales han sido total o parcialmente resueltos a partir del uso de bambú como sistema constructivo o como materia prima para la construcción de cerramientos, cielos, elementos de protección, entre otras muchas posibilidades que ofrece el material.

Si bien es cierto, existen alrededor del mundo grandes obras de arquitectura y construcción que integran de buena manera el bambú, se hará un repaso por algunos proyectos locales, como un intento por exponer las iniciativas locales, que profesionales de la arquitectura e ingeniería, de la mano con instituciones públicas y privadas han logrado llevar a cabo.

Como se expuso anteriormente, la construcción en bambú en el país se mantiene todavía a un nivel experimental, puesto que por motivos que se han expuesto constantemente a lo largo de la investigación, su popularización y aceptación en la industria aún es incipiente.

Proyecto referencia:

- Torre de observación de aves: Luna Nueva Lodge, La Fortuna, San Carlos
- Escuela de Carate, Península de Osa.
- Un bosque para una admiradora de la luna, Guanacaste.

Otros proyectos de interés no incluidos:

- Mirador Nacaome del Parque Nacional Barra Honda, Nicoya, Guanacaste.
- Centro de Educación Ambiental y Social, (CEAS), Península de Osa.

3.1.1 Torre de observación de aves: Luna Nueva Lodge, La Fortuna, San Carlos



Imagen 3 - Torre de observación de aves Luna Nueva Lodge. Fuente: Recuperado de: https://www.tripadvisor.es/AttractionProductReview-g1453880-d19991118-Exotic_bird_watching_from_the_ONLY_bamboo_observation_tower_in_Arenal-Chachagua_A.html#/media-attf/19991118/-2:p

Síntesis del proyecto

La Torre de Observación de aves, es el resultado de un taller de 4 días, realizado en Luna Nueva Lodge, llamado “Clase Maestra sobre Diseño en Bambú”, que se llevó a cabo entre el 25 y el 29 de junio del año 2019. El taller, fue impartido el experto Jorg Stamm, reconocido

experto en bambú, a quién se le atribuye la construcción de los puentes de bambú más largos del mundo, así como de otras estructuras y edificios en bambú.

El taller consistió en la construcción de una torre de observación de aves, para lo que los participantes encontrarían un sitio listo para construir y piezas de bambú curadas y listas para su utilización en la estructura.

Dinámica del taller

El taller incluyó charlas sobre las cualidades del bambú, así como un repaso por construcciones y proyectos referentes. Por medio de modelos a escala, se explica la metodología constructiva a emplear. Una vez repasados los conocimientos básicos se procedió a la construcción de la estructural repasando los diferentes tipos de uniones posibles, después se procedió a la instalación de entrepisos y cielos, utilizando subproductos de las cañas de bambú, elaborados en sitio para su instalación en cielos y cerramientos.

Importancia para la investigación

Este pequeño proyecto se ubica en la misma zona donde se ubica el proyecto en análisis, por lo que su construcción refleja la adaptabilidad e idoneidad de las estructuras en bambú para proyectos turísticos de bajo impacto ambiental.

Además, demuestra la capacidad de un profesional con conocimientos en el tema, para instruir un equipo de trabajo en la elaboración de estructuras arquitectónicas de alto valor estético, utilizando herramientas y equipo rudimentario. Otro factor interesante, es el hecho de que, al trabajarse con piezas livianas, en comparación con otros materiales como acero, permite la diversificación del equipo, abriendo posibilidad de mujeres integrando equipos de construcción, actividad que usualmente ha sido ocupada por hombres.

Esta diversificación de los equipos de construcción, podría suponer una posibilidad de enseñanza y capacitación de mujeres para la generación de empleo y el empoderamiento para la creación de emprendimientos relacionados a la construcción en bambú.

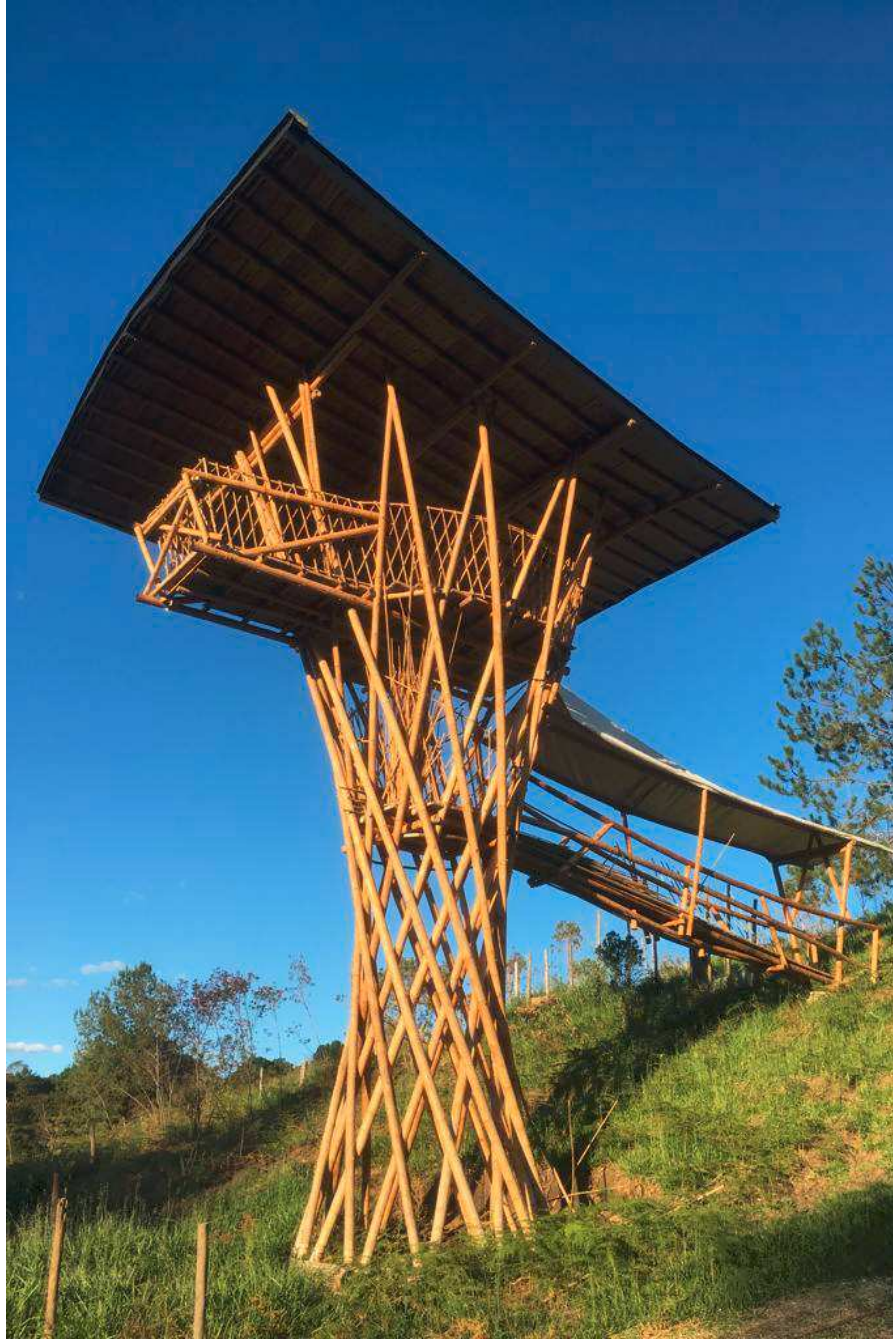


Imagen 4 - Torre de observación de aves Luna Nueva Lodge. Fuente: Recuperado de:
https://www.tripadvisor.es/AttractionProductReview-g1453880-d19991118-Exotic_bird_watching_from_the_ONLY_bamboo_observation_tower_in_Arenal-Chachagua_A.html#/media-atf/19991118/-2:p

3.1.2 Escuela de Carate, Península de Osa.



Imagen 5 - Vista aérea Escuela de Carate, Península de Osa. Fuente: Recuperado de: <https://www.inder.go.cr/noticias/comunicados/2017/N44-escuela-autosostenible-salon-ecocultural.aspx>

Síntesis del proyecto

La Escuela de Carate es un proyecto impulsado por la Asociación de Desarrollo Integral Corcovado-Carate, a través de su gestión de recursos para el diseño y la construcción de esta escuela para la comunidad de Carate. El proyecto se construye en 2017 con fondos del Instituto Nacional de Desarrollo Rural, (INDER), y tuvo un costo aproximado de ₡148.000.000.

Este proyecto, construido en su totalidad con bambú cosechado en la zona, incluye en su programa aulas, baños, comedor, y otros servicios. Se caracteriza por su enfoque hacia la sostenibilidad y la conservación, incluyendo estrategias como la captación de energía solar a través de un sistema de paneles fotovoltaicos, con el cual se logrará satisfacer sus necesidades de consumo. El manejo de aguas residuales, se lleva a cabo de manera amigable con al ambiente, de igual manera que se implementa un sistema de captación de aguas pluviales, las cuales se usarían en diferentes tareas como limpieza.

Arquitectura como potenciador de desarrollo

Este proyecto demuestra ser un ejemplo de la implementación del bambú en obra pública, a través de la gestión de la Asociación de Desarrollo Carate- Corcovado y el apoyo del gobierno a través del Instituto de Desarrollo Rural, (INDER). Dados los esfuerzos de conservación aplicados en el proyecto, se ha incluido la escuela como parte de las visitas guiadas a la zona, dinamizando la economía a través de la actividad turística, y brindando a la comunidad un espacio físico para reuniones, talleres, presentaciones y el desarrollo de actividades que permitan a los pobladores desvincularse de actividades ilegales como la extracción de oro y la caza, que han constituido un problema en ascenso en los últimos años.

Importancia para la investigación

La importancia de este proyecto radica en su enfoque de sostenibilidad, a través de la implementación de un sistema constructivo en bambú, y tomando en cuenta estrategias para la captación de energía solar y aguas pluviales. Este enfoque de sostenibilidad, es a la vez el atractivo que le convierte en un hito social y arquitectónico, que brinda a la comunidad un espacio para la interacción social, el aprendizaje y el desarrollo.



Imagen 6 - Acto de inauguración de la Escuela de Carate, Península de Osa. Fuente: Recuperado de: <https://www.inder.go.cr/noticias/comunicados/2017/N44-escuela-autosostenible-salon-ecocultural.aspx>

3.1.3 Un Bosque para una Admiradora de la Luna



Imagen 7 - Fachada principal de la casa, donde se muestra la aplicación del bambú como parte de los paneles. Fuente: Imagen cortesía de Studio Saxe (2010).

Síntesis del proyecto

Este proyecto desarrollado por la firma de arquitectura costarricense Studio Saxe, consiste en una casa de habitación ubicada en Guanacaste, por lo que las condiciones del clima son de especial cuidado para garantizar el confort de la residencia. El programa arquitectónico, se desarrolla a través de dos módulos funcionales, conectados a través de un patio central, uno dedicado a la actividad social y otro la actividad privada.

Integración del bambú con otros sistemas constructivos y la aplicación innovadora del material

Los cerramientos perimetrales se construyeron a partir de un interesante tejido hecho a partir de cabos de caña de bambú, cielos y otros elementos decorativos integran también el uso del material, lo que permite diferentes tamizajes para el control del soleamiento y la privacidad. Las cubiertas, son dos amplios techos en forma de cono abiertos en su punto más alto, lo que supone una conexión directa con el exterior, a la vez que funcionan como chimeneas naturales para la extracción del aire y el control de la iluminación natural.

Esta construcción se caracteriza por ser una solución arquitectónica innovadora, que si bien es cierto no utiliza el bambú como sistema constructivo, plantea una variedad de aplicaciones que van desde cerramientos y tamices hasta elementos decorativos y de protección.

Importancia para la investigación

La importancia del proyecto para la investigación, reside en la integración que permite el bambú con otros sistemas constructivos, el potencial para tomar presencia en proyectos de arquitectura contemporánea. Es un ejemplo de cómo la práctica profesional puede explorar formas innovadoras para la utilización del material, en este caso, aprovechando las cualidades estéticas y morfológicas del bambú para crear interesantes tamices y paneles móviles como cerramiento perimetral, a través de una solución simple y de bajo costo.

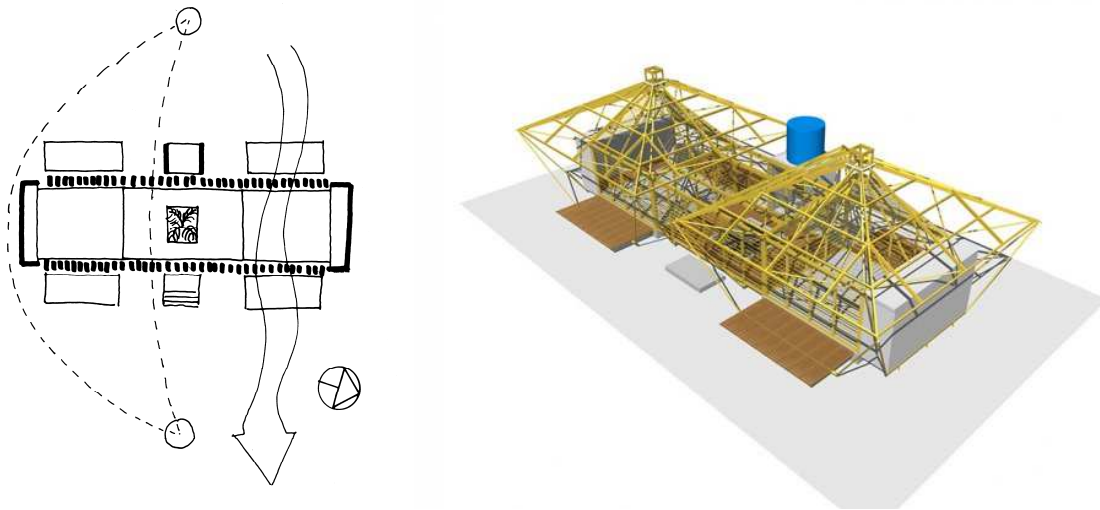


Imagen 8 - Diagrama de conceptualización del diseño. Fuente: Imagen cortesía de Studio Saxe (2010).

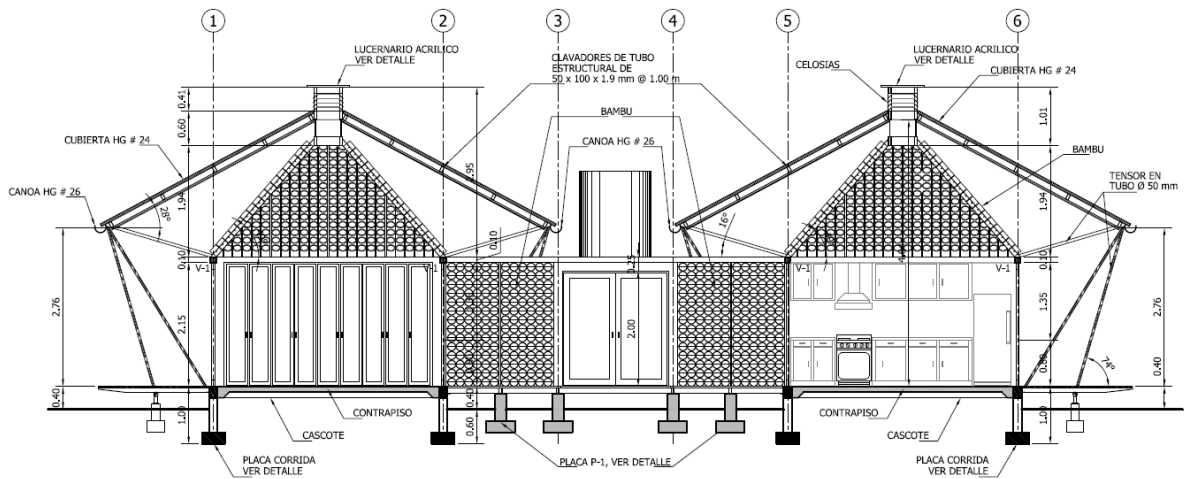


Imagen 9 - Sección longitudinal. Se aprecia la aplicación del bambú en cerramientos y cielos. Fuente: Imagen cortesía de Studio Saxe (2010).



Imagen 10 - Detalle del cerramiento con piezas de bambú. Fuente: Imagen cortesía de Studio Saxe (2010).

3.2 Contexto del proyecto de análisis

El contexto geográfico inmediato donde se localiza el proyecto es la zona norte del país, específicamente en la localidad de Bajos de Tabacón, en La Fortuna de San Carlos.

Como parte de esta investigación, se lleva a cabo un análisis de variables climatológicas, los cuales derivan en una serie de tablas y gráficos que permiten entender las condiciones particulares del clima de la zona las cuales suponen altos índices de humedad relativa, así como altas temperaturas y altos índices de precipitación. Los resultados e interpretación de dichas tablas y gráficos, serán analizadas con detalle más adelante en este documento y se complementan con el Anexo 4.

Además, se analizan condiciones como la vulnerabilidad y riesgo de amenazas naturales, indicadores socioeconómicos y la disponibilidad de materiales de construcción y mano de obra local.

3.2.1 Vulnerabilidad y riesgo¹⁵

El proyecto se localiza en una zona de riesgo, de acuerdo al Mapa de Amenazas Naturales del Cantón de San Carlos. A continuación, se citan algunos de los riesgos que podría correr el proyecto al ubicarse en una zona de alta vulnerabilidad:

- Amenazas sísmicas.
- Amenazas volcánicas
- Emanación de gases
- Deslizamientos

3.2.2 Ubicación y localización

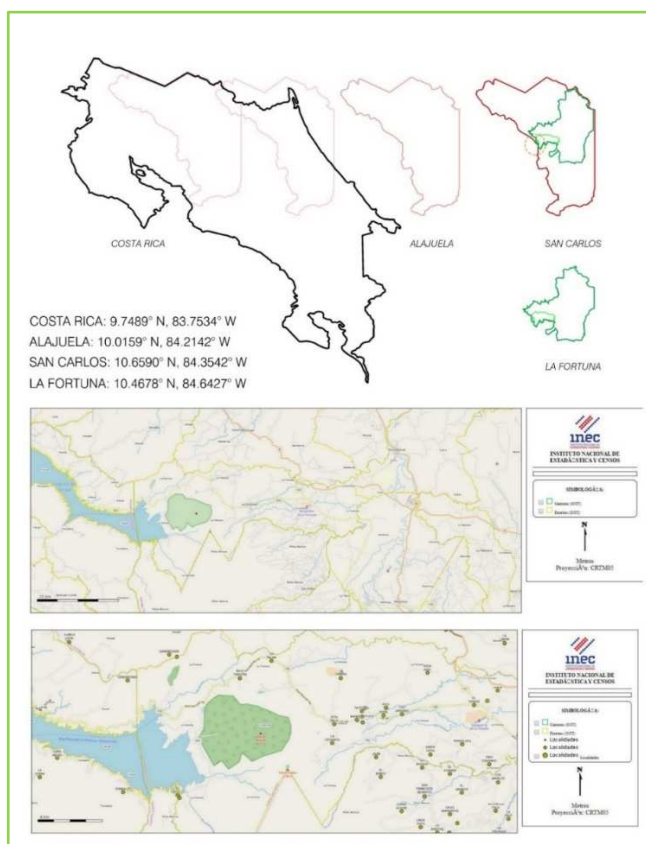


Imagen 11 - Mapa de localización - Bajos de Tabacón. Fuente: <http://mapassociales.inec.cr/mapnew.php>

¹⁵ AMENAZAS DE ORIGEN NATURAL CANTON DE SAN CARLOS:

https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/mapas_amenazas/mapas_de_amaneza/alajuela/San%20Carlos%20-%20descripcion%20de%20amenazas.pdf

Como se muestra en la imagen anterior, el proyecto se ubica en la provincia de Alajuela, en La Fortuna de San Carlos, Zona Norte del país. Existe una relación directa de la zona del proyecto con el Volcán Arenal, uno de los focos turísticos más importantes de la región Huetar Norte.

El proyecto se ubica en La Fortuna, Bajos de Tabacón, San Carlos, Alajuela, tiene un área de intervención de 2641 m², y un área de construcción (áreas techadas y no techadas), de 2556 m².

3.2.3 Disponibilidad y oferta de insumos materiales para la construcción con una estructura primaria de acero en la zona, (lugares de compra y distribución).

El acero, demuestra según el mapeo contar con facilidades en términos de abastecimiento, sin embargo, al ser un material importado desde largas distancias, e involucrar grandes cantidades de energía para su producción, su impacto es mucho mayor al que podría representar el bambú. Materiales complementarios como concreto, agregados, e incluso madera, se pueden considerar factibles en términos de abastecimiento y transporte, dada la cercanía con los centros de abasto y producción.

3.2.4 Disponibilidad y oferta de insumos y materiales para construcción con base en estructuras de bambú en la zona

A continuación, se muestra un mapeo general con el fin de determinar el acceso y disponibilidad de materiales e insumos de construcción en el área. Como parámetro de referencia para el mapeo, se utiliza un radio de 500 millas (804.672 km), según lo establece el crédito MR 5, Materiales y Recursos del sistema de acreditación LEED¹⁶, el cual evalúa los procesos de extracción y manufactura de materiales a utilizar en los proyectos de construcción y las distancias que estos deben viajar hasta la obra.

Materiales como el bambú, el cual implica ciertas condiciones de cultivo y producción, podrían significar algunas limitantes para el abastecimiento de materia prima para

¹⁶ Regional Materials, Materials and resources. <https://www.usgbc.org/credits/new-construction-schools/v2009/mrc5?return=/credits/new-construction/v2009>

construcción, sobre todo porque su cultivo y manufactura se limita a ciertas áreas productoras.

La mayor parte de las siembras de bambú se localizan en la región Huetar Caribe y la Brunca o Pacífico Sur. La Región Brunca, ha destacado en años recientes por su dinamismo y el interés creciente de productores de bambú *guadua angustifolia*, especie ideal para la construcción. (FUNDEBAMBÚ 2017)¹⁷.

¹⁷ FUNDEBAMBÚ (2017)

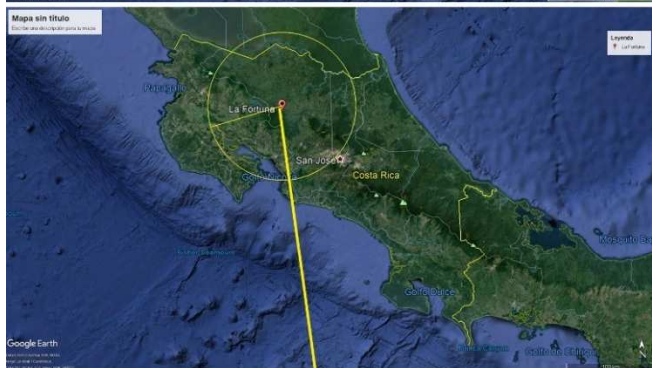


Radio de 500 millas (804.672 km)
Criterio de LEED como distancia máxima para la adquisición de un mínimo del 10% de los materiales totales de la obra.

La norma RESET, no define ningún radio específico, pero si reconoce el uso de materiales locales.



Radio de 210 millas (338 km)
podría cubrirse la totalidad del territorio nacional



Radio de 50 millas (80 km)
se cuenta con gran cantidad de depósitos de materiales de construcción.

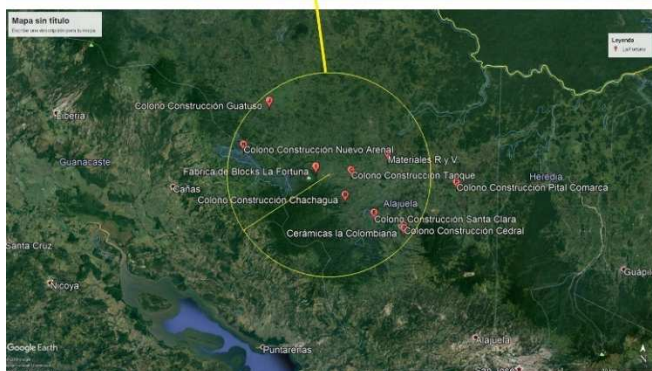


Imagen 12 - Mapeo de la disponibilidad de materiales de construcción a diferentes radios de distancia del proyecto. Fuente: Google Earth. Modificada por el autor.



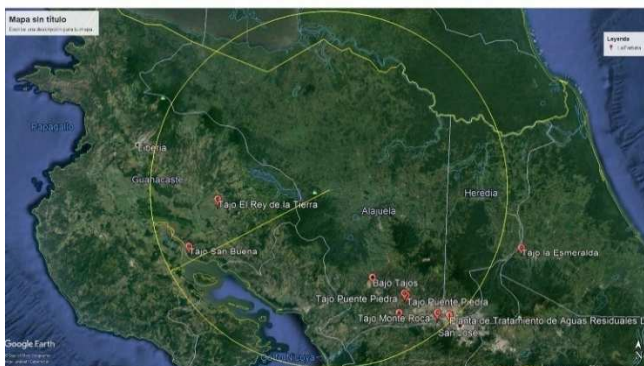
Radio de 6,5 millas (10 km_Concreto)

Disponibilidad de concreto y agregados en un radio de 10 Km.



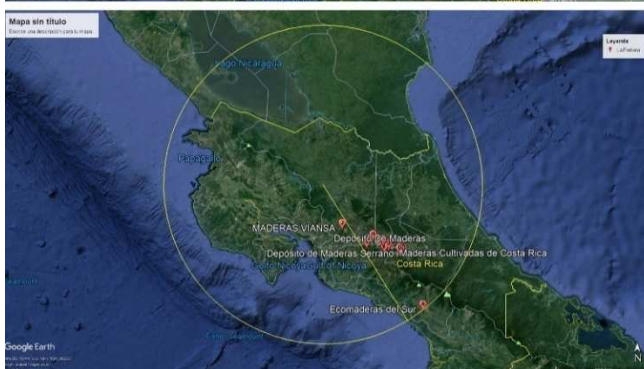
Radio de 20 millas (32 km_Acero)

Disponibilidad de productos de acero en un radio de 32 Km.



Radio de 50 millas(80 km_Tajos)

Disponibilidad de agregados para el concreto en un radio de 80 Km, con una oferta amplia de tajos.



Radio de 100 millas (161 km_Madera)

Disponibilidad de maderas para construcción en un radio de 100 millas, con amplia oferta de depósitos y productores

Imagen 13 - Disponibilidad de concreto a diferentes radios del proyecto. Fuente: Google Earth. Modificada por el autor.

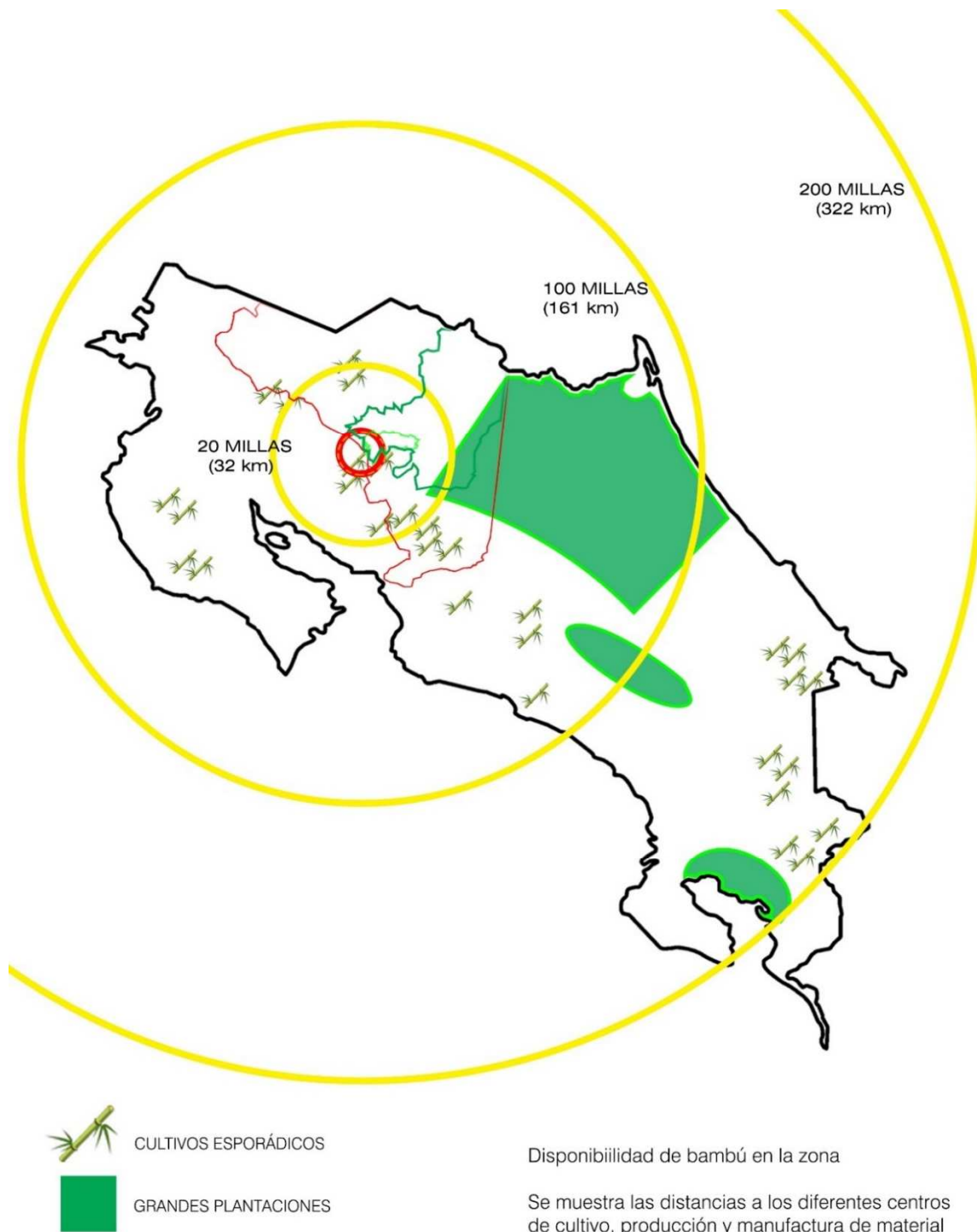


Imagen 14 - Disponibilidad de bambú a diferentes radios del proyecto. Fuente: Elaborada por el autor a partir de la información contenida en el artículo El desarrollo del bambú en Costa Rica, (Revista Ambientico)

En síntesis, se refleja que las distancias a centros de producción y venta de materia prima para la construcción en bambú serían relativamente cortas, en función de los parámetros de medición determinados para considerar el impacto que tiene un material por concepto de transporte. Incluso, podría considerarse el potencial para abastecerse en la zona, tal y como lo muestra el Mapa Virtual de la Cadena Productiva del Bambú en Costa Rica¹⁸, el cual refleja la localización de empresas o actores involucrados directamente con la cadena productiva del bambú de su producción, investigación, comercialización, entre otros.

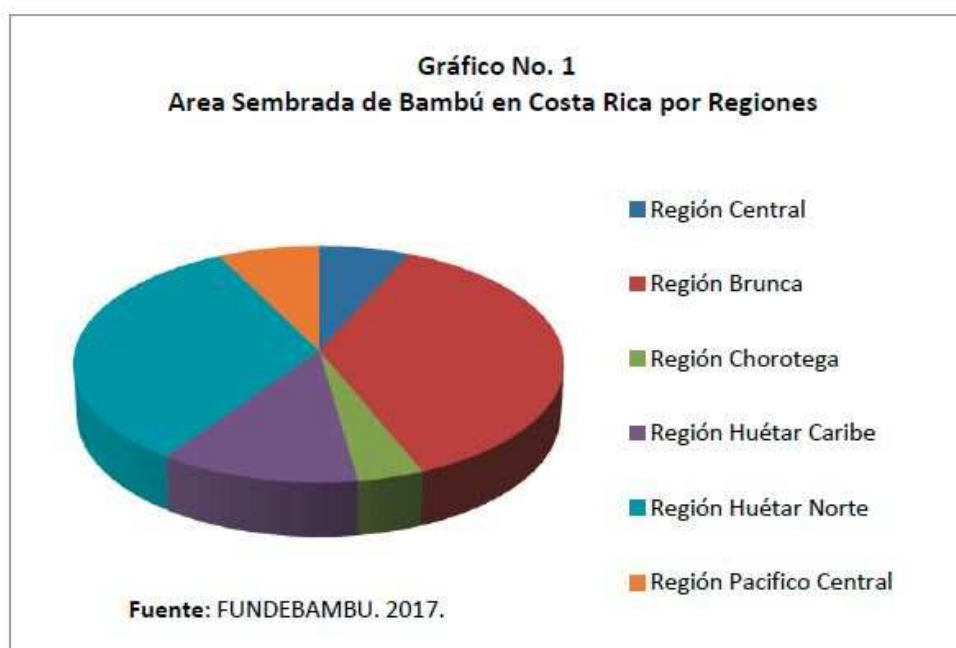


Imagen 15 - Gráfico área sembrada de bambú en Costa Rica por regiones. Fuente: FUNDEBAMBU.

¹⁸ Proyecto Bambú, Universidad Nacional de Costa Rica.

Costa Rica: áreas sembradas de bambú por cantón, 2017 (hectáreas)



Imagen 16 - Áreas sembradas de bambú por cantón. Fuente: PROCOMER, Evaluaciones de valor agregado para rambután y bambú.

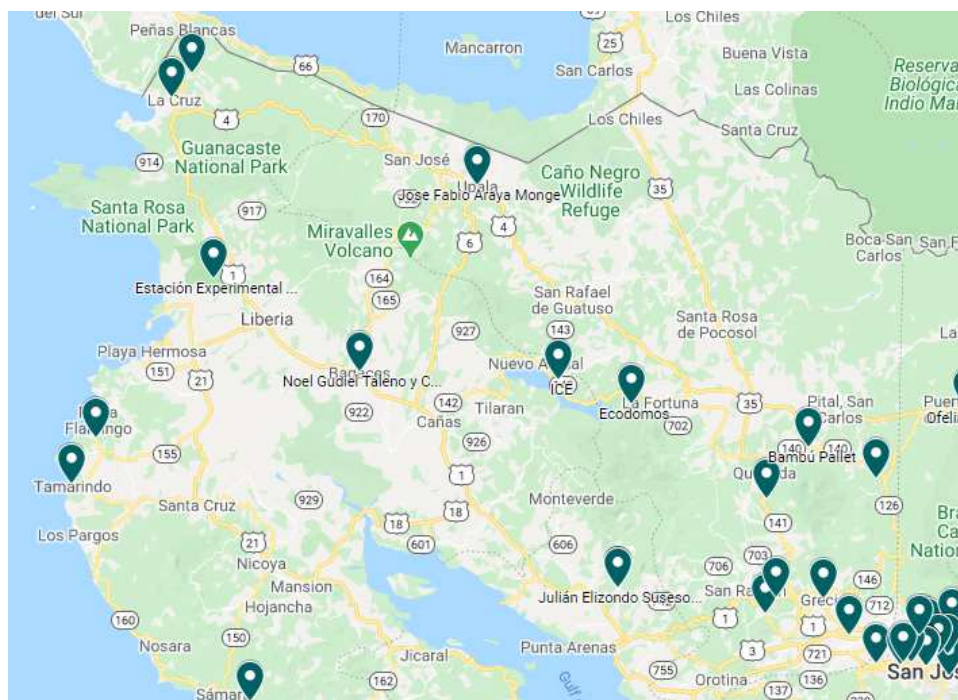




Imagen 17 - Mapa Virtual de la Cadena Productiva del Bambú en Costa Rica. Fuente: Proyecto Bambú, Universidad Nacional. Tomado de: https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=16Cyifbe5-E0En3fO_Q-f6vq1JU4BVFxM&ll=10.514145034656341%2C-84.94528046741765&z=9

3.2.5 Disponibilidad de mano de obra calificada en la zona

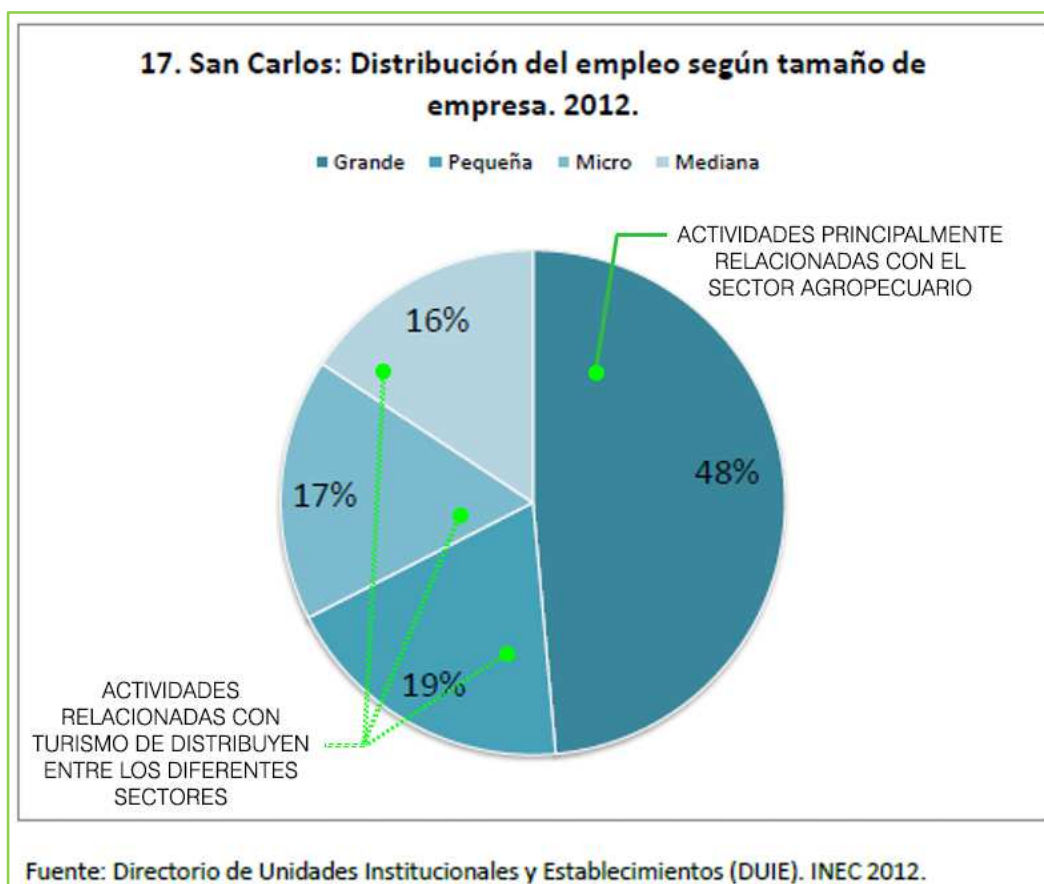


Gráfico 1 - Distribución de empleo según tamaño de empresa. Fuente: Oferta Productiva e Indicadores Socioeconómicos, (MEIC, 2012), modificada por el autor.

Un aspecto importante a considerar, el cual podría condicionar o afectar en alguna medida el desarrollo de proyectos de construcción en la zona, es el tema de la disponibilidad de mano de obra local. El sector construcción a nivel cantonal suma tan solo un 2,27 % de participación de las actividades económicas de la zona, siendo la actividad agropecuaria, en manos de grandes empresas, la principal actividad económica de la zona.

Por último, cabe destacar que las actividades relacionadas con alojamiento y servicios de comida, (actividades que contempla el proyecto en análisis), representan un 15% del total de la generación de empleo local, por lo que, si bien es cierto no es la principal actividad

económica, existe un importante grupo que dependen directamente del desarrollo y subsistencia de este tipo de proyectos.

3.3 Antecedentes del bambú en Costa Rica como material de construcción, y oportunidades para el desarrollo de emprendimientos e innovación.

A continuación, se hace un breve repaso por los antecedentes históricos del material en el medio local, así como sus cualidades constructivas y el estimado de costos según el producto.

3.3.1 Antecedentes históricos:

Rodríguez y Omari, (como se citó en Cano, M. C; López, C. & Stamm, J.2004) remontan el uso del bambú como sistema constructivo a más de 9000 años atrás, cuando los primeros pueblos amerindios utilizaron la especie "*Guadua angustifolia*", especie endémica de América Latina, cultivada y empleada para la construcción de casas y centenares de otros usos en la caza y la agricultura. A nivel local, Costa Rica cuenta con una diversidad de 8 géneros y 39 especies reportadas. Sus usos se remontan a la época del enclave bananero, y posteriormente se popularizó su uso en la creación de cercas, cultivos, andamios y otras estructuras livianas.

El uso del bambú en arquitectura y construcción, se puede remontar a 1979, cuando el arquitecto Rafael "Felo" García, incursiona en la construcción en bambú con su proyecto de diseño de viviendas en bambú, presentado en la Universidad de Costa Rica. Para el año 1985, se inauguró la primera casa construida totalmente en bambú, ubicada en Buenos Aires de Puntarenas, iniciativa que despertó el interés de instituciones públicas para el desarrollo de viviendas de interés social. (González, 2017).

Entre 1983 y 1998, la Universidad de Costa Rica realiza proyectos de cultivo y utilización en Guanacaste, es entre 1985 y 2002 que la Misión Técnica de Taiwán, brinda apoyo mediante capacitación, principalmente para la elaboración de muebles y artesanías. Entre 1986 y el año 1995, se crea en el Ministerio de Vivienda el Programa Nacional de Vivienda de Interés Social con bambú, para 1995 habían sembradas en Guápiles 200 hectáreas de bambú y

700 casas construidas. En 1996 se crea la Fundación Costarricense del Bambú, (FUNBAMBU), que asume las riendas del Programa Nacional, sin embargo, en 2003 se ve obligado a cerrar por falta de recursos.

Un evento importante para retomar la organización del sector y promover el diseño y construcción con bambú, surge entre el 2008 y 2014, a través la Asociación Costarricense del Bambú, (ACOMBAMBU). En la última década, destaca la creación de la Gerencia Nacional del Bambú, integrada por entes públicos y privados, la cual concluye labores en el año 2014. Es en este año 2014, que se crea la cooperativa Bambucoop con 65 productores que continúan vigentes hasta la fecha.

En años más recientes, (2016-2018), la Universidad Nacional lleva a cabo el proyecto “Desarrollo productivo del bambú en Costa Rica”, y ya para 2018 se realizaba el primer Simposio Internacional del Bambú en Costa Rica. En el año 2017, se crea la Fundación para el Desarrollo del Bambú en Costa Rica, (FUNDEBAMBU), con el objetivo de promover el cultivo, la industrialización, la comercialización y la construcción en bambú.

Actualmente, se encuentran varios proyectos en ejecución, llevados a cabo a través de diferentes instituciones como la Universidad de Costa Rica, la Universidad Nacional y el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. (INTA). (PROCOMER, 2019).

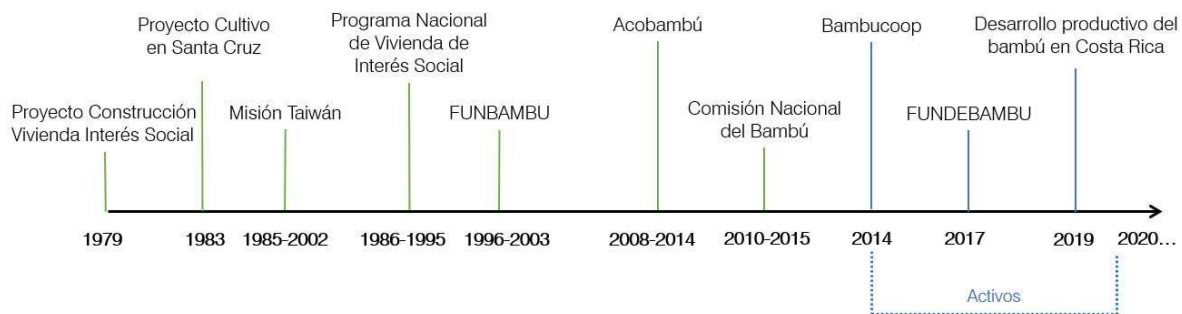


Imagen 18 - Línea de tiempo de la historia del bambú en Costa Rica. Fuente: Elaborada por el autor.

3.3.2 Oportunidades de desarrollo

En torno al bambú, se desarrollan una serie de actividades económicas a través de emprendimientos de valor agregado, que satisfacen la demanda de productos de calidad obtenidos de manera responsable y sostenible. En Costa Rica, el interés por la producción y el uso de bambú en diversas aplicaciones, se promueve a través del Plan de Acción FUNDEBAMBU 2017-2022, el cual contempla cuatro áreas de acción:

- Construcción Sostenible
- Transformación industrial
- Procesamiento alimentario y de salud
- Producción de muebles y artesanía

Construcción con materiales de bambú

En esta investigación, se hará énfasis en esta área en particular, debido al enfoque de la investigación, sin embargo, es importante mencionar el valor que tienen las restantes áreas de acción como posibilidades de desarrollo para la consolidación de emprendimientos, así como por sus beneficios en términos de servicios ambientales y la creación de oportunidades y habilidades técnicas, que podrían significar oportunidades de empleo y desarrollo comunal.

Los avances actuales en emprendimientos relacionados con la construcción y agregados son aún incipientes, pero de gran importancia, debido a su capacidad de satisfacer la demanda de materia prima para construcción de residencias de lujo, así como instalaciones turísticas y recreativas, y en menor medida, en obras de carácter público como escuelas.

Existe en Costa Rica un grupo de profesionales en Arquitectura e Ingeniería con formación en diferentes técnicas de construcción sostenible con bambú, quienes, en conjunto con profesionales extranjeros, han promovido el impulso de proyectos como la Escuela de Carate, en Península de Osa, edificio que será expuesto como estudio de caso más adelante en esta investigación

Como principales retos, se visualiza la incorporación de más profesionales a la práctica del bambú, el establecimiento de empresas constructoras y el aporte a la innovación producto de la investigación y experimentación que implica la construcción con bambú. Otros retos implican la industrialización y apertura del mercado, el impulso y la asistencia técnica, financiamiento, investigación y capacitación. (FUNDEBAMBU, 2019). Paralelo a estos desafíos, y como se explicó anteriormente en la investigación, se debe promover desde la práctica profesional el cumplimiento de las políticas nacionales establecidas, relacionadas con los objetivos de descarbonización del país.

3.3.3 Especies locales de bambú utilizadas en la construcción

Variedades

En el mercado local, las especies de bambú más utilizadas en la construcción, son Guadua Angustifolia y Dendrocalamus Asper, sin embargo, existen otras especies menos comunes adecuadas también para aplicaciones en construcción.

El bambú como material de construcción, ha venido logrando aceptación por sus cualidades estéticas y estructurales, así como por las reducciones potenciales de la huella de carbono, sin embargo, el cultivo y la producción del bambú como materia prima para construcción, se ha centrado en algunos pocos productores. Actualmente existen en el país 5 pequeñas empresas que brindan servicios de procesado y venta de caña seca, siendo Bambutico la empresa de mayor capacidad y experiencia en producción.

En el Anexo 2 de este documento, se muestra una tabla para la clasificación de las especies de bambú que se encuentran en el país, además del catálogo de materiales disponibles actualmente en el mercado nacional. Se destacan las especies con potencial para desarrollo en la construcción.

Como se muestra en la tabla, el 70 % de las especies que se encuentran en el país tienen potencial para servir como material de construcción, aunque, como se dijo anteriormente, existe un mayor desarrollo del sector construcción especialmente con las variedades Angustifolia Guadua y la Dendrocalamus Asper.

3.3.4 Catálogo de materiales disponibles en el mercado local

Existe en el mercado local una amplia gama de productos para construcción en bambú, como se pudo comprobar a través de un sondeo de catálogos de productos de diferentes proveedores. (Ver Anexo 2 de este documento para el detalle de las variedades).

Esta variedad, permite diseñar variedad de elementos arquitectónicos y estructurales, como lo plantea la reconversión de la estructura de acero a bambú.

3.3.5 Técnicas para el tratamiento, curado y acabado del bambú

Es de suma importancia que las piezas de bambú para construcción hayan llevado un proceso adecuado de secado y curado, así como una adecuada impermeabilización para evitar la humedad, sin que selle los poros de las cañas impidiendo la liberación de humedad desde el interior. (Para detalle del tratamiento y los métodos de curado, ver el Anexo 2 de este documento.)

3.4 Costos estimado del m² de construcción en bambú según tipología constructiva de referencia

Respecto a los costos del material y del m² de construcción es difícil brindar datos precisos, dado que la cantidad de variables que podrían incidir determinarían el precio final del m² de construcción, sin embargo, se utilizan como referencia el *Manual de Valores Base Unitarios por Tipología Constructiva, del Ministerio de Hacienda 2017*.

Esta tabla, (Ver Anexo 2), pretende ilustrar de manera comparativa, los precios referencia que existen para estructuras en acero y bambú, según su tipología constructiva. Se seleccionaron como referencia las tipologías que se asemejan más a las características del proyecto en análisis.

Como se muestra en la tabla mencionada, los valores de referencia, especialmente para la construcción en bambú, podrían distar significativamente de la realidad del proyecto, dado que la tipología constructiva que se encuentra como referencia en el Manual de Valores Base, no coincide exactamente con las características tipológicas del proyecto.

Para la construcción en acero, se consideran características tipológicas y constructivas bastante más similares a las del proyecto en análisis, por lo que los valores de referencia podrían estar cercanos a la realidad del proyecto.

3.5 Descripción, localización y configuración del proyecto

El proyecto en análisis es un pequeño desarrollo turístico de bajo impacto ambiental, localizado en una finca de 2600 m², dedicada principalmente a la conservación del Bosque Pluvial Premontano, (bp-P) y Bosque Muy Húmedo Tropical, (bmh-T). La finca es atravesada por el Río Tabacón, fuente de aguas termales muy populares por su belleza natural.

En este proyecto se plantea una arquitectura simple, modular, de bajo impacto ambiental, y que permita el desarrollo de la actividad turística sostenible, además del aprovechamiento de los recursos naturales de la zona de una manera responsable. Su programa arquitectónico incluye terrazas y pasarelas a través de la densa vegetación, áreas de estar, vestidores, baños, cafetería y acceso al río Tabacón desde la propiedad.

Las aguas servidas del proyecto serán dirigidas a una planta de tratamiento ubicada dentro de la propiedad, además, se llevará a cabo la separación de residuos para reciclaje. Se evitará cortar árboles a menos que sea estrictamente necesario, así como modificar las condiciones naturales del terreno. El proyecto permite la accesibilidad a personas con discapacidad, por lo que dispone de recorridos amigables y espacios adecuados para circulación.



Imagen 19 - Fotografía tomada desde el sitio de intervención. Al fondo, el Volcán Arenal. Fuente: Tomada por el autor.



Imagen 20 - Mapa de localización del proyecto. Fuente: Google Maps, intervenida por el autor.

Tabla 2 - Datos generales del proyecto en estudio. Fuente: Elaborada por el autor.

Datos generales del proyecto en estudio
Localización
La Fortuna, Bajos de Tabacón, San Carlos, Alajuela.
Área zona de intervención
Total: 2641 m ²
Área construcción (áreas techadas y no techadas)
Total: 2556 m ²

Las siguientes imágenes muestran la inserción del proyecto en su entorno, así como la descripción de los componentes arquitectónicos y estructurales que lo componen. También se muestra la condición topográfica, la densa vegetación y la relación con el río.

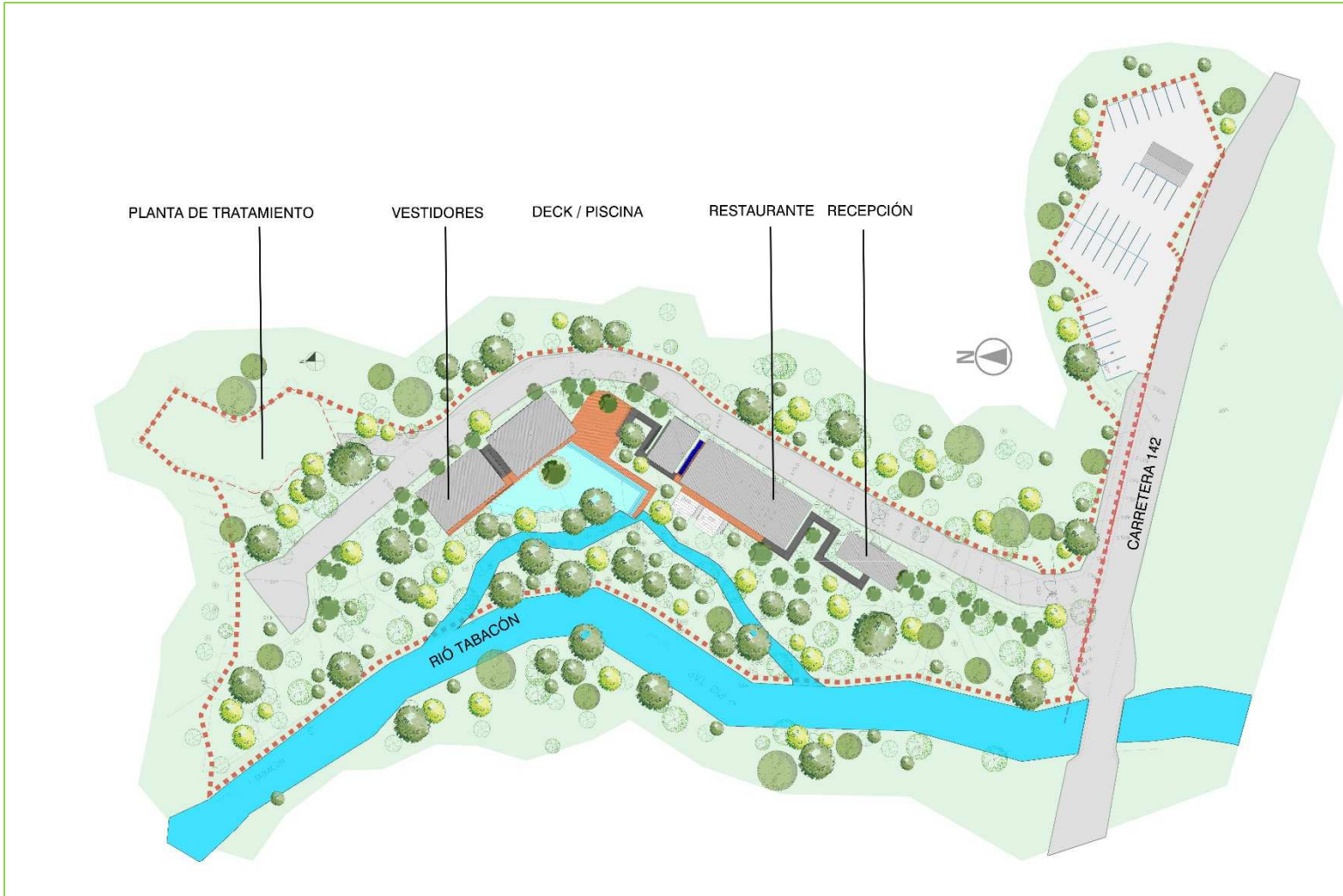


Imagen 21 - Planta de sitio del proyecto. Fuente: Elaborada por el autor.

El conjunto de edificios se dispone a lo largo de la sección mas plana del terreno, lo que permite el aprovechamiento del río así como reducir el impacto sobre el terreno a nivel de fundaciones. Alrededor del proyecto existe una densa vegetación, la topografía sube dramáticamente del otro lado del río, lo mismo que en la parte posterior del proyecto.



Imagen 22 - Planta de conjunto 3D. Fuente: Elaborada por el autor.

En esta planta de conjunto arquitectónico, se muestra la distribución interna de los edificios del complejo. Más adelante se presentará el detalle de cada uno de los edificios del conjunto.

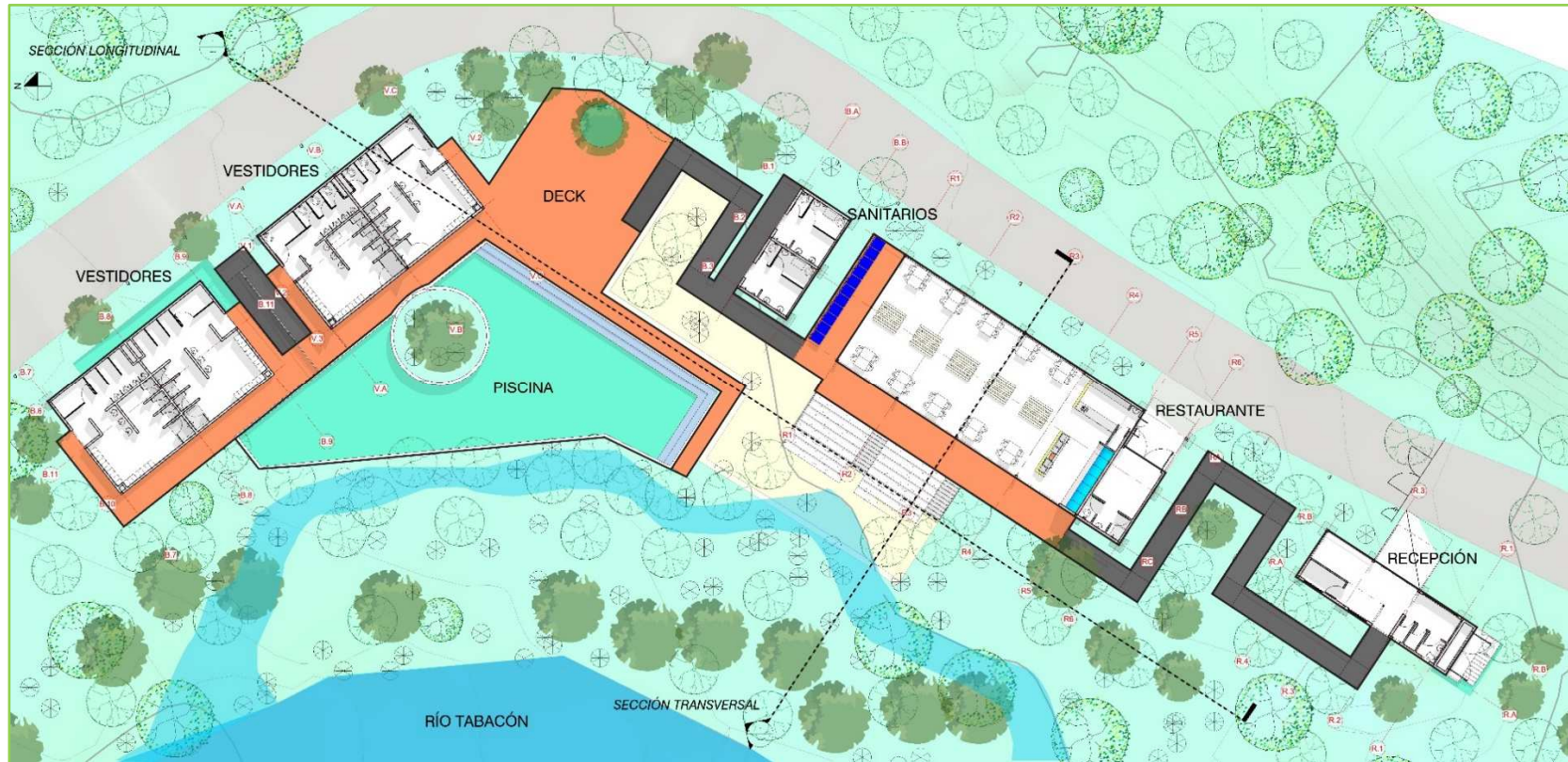


Imagen 23 - Planta del conjunto arquitectónico. Fuente: Elaborada por el autor.



Imagen 24 - Sección longitudinal del proyecto. Fuente: Elaborada por el autor.



Imagen 25 - Sección transversal del proyecto. Fuente: Elaborada por el autor.

3.5.1 Configuración del proyecto en análisis

El proyecto se compone de 4 edificios, que albergan un programa arquitectónico que incluye recepción, pasarelas panorámicas, cafetería, baños., vestidores, área de terraza, piscina y acceso directo al río. A continuación, se detallan los edificios del complejo.



Imagen 26 - Vista del conjunto. Fuente: Elaborada por el autor.



Imagen 27 - Vista conceptual del proyecto. Fuente: Elaborada por el autor.

Edificio de recepción:



Imagen 28 - Edificio de recepción. Fuente: Elaborada por el autor.

Tabla 3 - Resumen de áreas edificio de recepción. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE ÁREAS _ EDIFICIO DE RECEPCIÓN

Aposento	Área
Seguridad	6 m ²
Servidor	1 m ²
Sanitario seguridad	3 m ²
Bodega	1 m ²
Boletos	4 m ²
Bodega reciclaje	4 m ²
Área de vestíbulo	18 m ²
Tableros	10 m ²
AREA TOTAL = 47 m²	

Edificio de restaurante-cafetería:



Imagen 29 - Edificio de restaurante. Fuente; Elaborada por el autor.

Tabla 4 - Áreas de edificio de restaurante. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA DE RESUMEN DE ÁREAS _ EDIFICIO DE RESTAURANTE

Aposento	Área
Bodega	14 m ²
Sanitario	3 m ²
Ducha	3 m ²
Caja	9 m ²
Autoservicio	29 m ²
Mesas	127 m ²
Aseo	1 m ²
AREA TOTAL = 186 m²	

Edificio de baños:

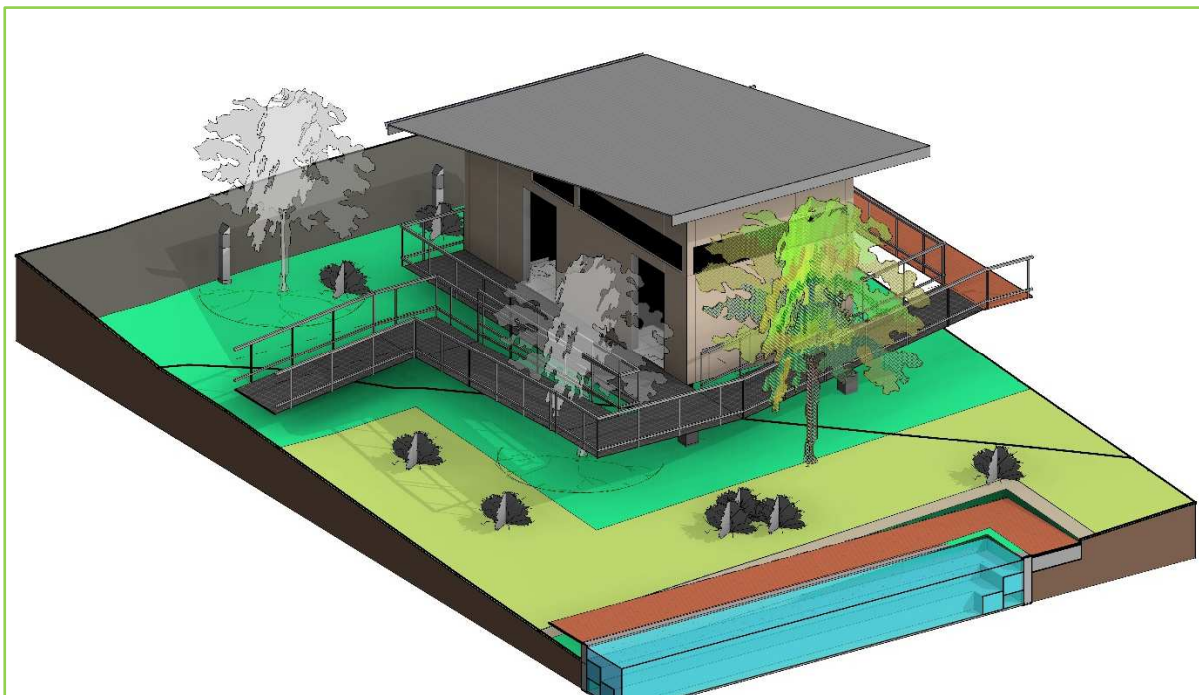


Imagen 30 - Edificio de servicios sanitarios. Fuente: Elaborada por el autor.

Tabla 5 - Áreas de edificio de baños. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE ÁREAS _ SERVICIOS SANITARIOS

Aposento	Área
Baño de mujeres	16 m ²
Baño de hombres	16m ²
AREA TOTAL = 32 m²	

Edificios de vestidores:

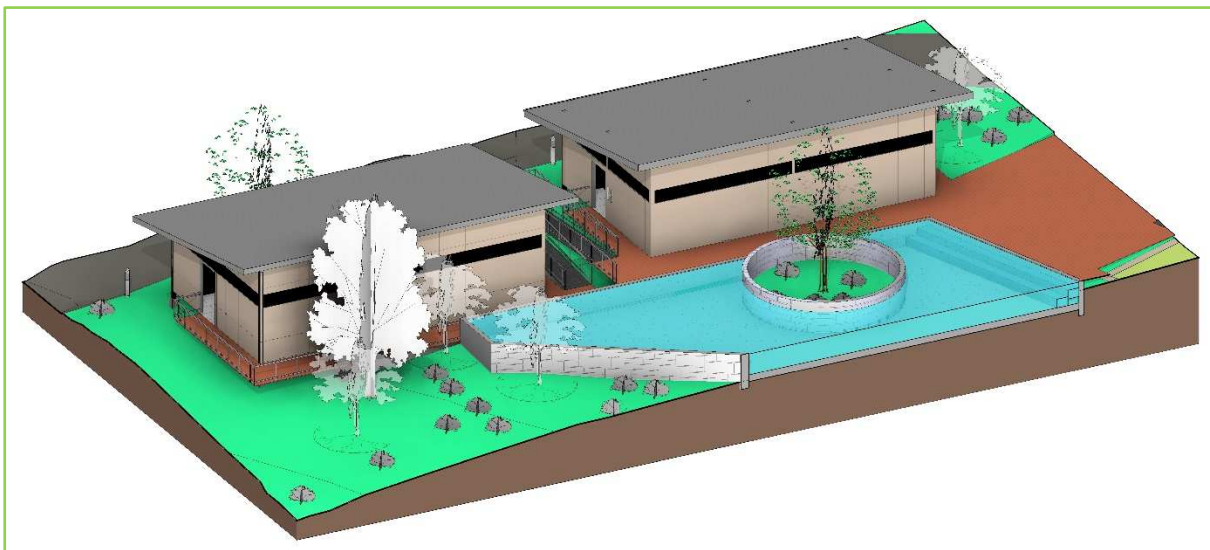


Imagen 31 - Edificios de vestidores. Fuente: Elaborada por el autor.

Tabla 6 – Áreas de edificio de vestidores. Elaborada por el autor.

TABLA DE ÁREA DE VESTIDORES

Aposento	Área
Vestidores de mujeres	109 m ²
Vestidores de hombres	109 m ²
AREA TOTAL = 118 m²	

Áreas exteriores complementarias:

Adicionalmente al conjunto de edificios, se incluyen también áreas complementarias como terraza y pasarelas, se incluye también la piscina, el parqueo y otras áreas de soporte.



Imagen 32 - Áreas complementarias. Fuente: Elaborada por el autor.

Tabla 7 - Áreas complementarias del proyecto. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA DE ÁREAS COMPLEMENTARIAS DEL PROYECTO

Aposento	Área
Área de deck y terrazas	242 m ²
Rampas	191 m ²
Piscina	285 m ²
Gradería	52 m ²
Gramilla	133 m ²
Parqueo	1164 m ²
AREA TOTAL = 2067 m²	

Resumen de áreas

A continuación, se muestra una tabla resumen de área construida. Se muestra además el desglose de áreas para cada uno de los edificios y áreas complementarias del edificio.

Tabla 8 - Resumen general áreas del proyecto. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN GENERAL DE ÁREAS DEL PROYECTO

Edificio o área complementaria	Área (m2)
Bodega y restaurante	21
Deck y terrazas	242
Edificio de Recepción	47
Edificio de Restaurante	171
Edificio de Servicios Sanitarios	33
Edificio de Vestidores A	109
Edificio de Vestidores B	109
Gradería	52
Gramilla	133
Parqueo Existente	1164
Piscina aguas termales	285
Rampas y pasarelas	191
AREA TOTAL	2557

La sumatoria total de área construida de edificios será de 490 m² y las áreas complementarias 2067 m².

3.6 Componentes arquitectónicos y estructurales del proyecto

A continuación, se hace un repaso de los principales componentes arquitectónicos y estructurales del proyecto en análisis, con el fin de comprender sus características funcionales y estéticas.

El diagrama que se muestra a continuación, pretende ilustrar la condición típica del proyecto, donde prevalece la interacción del usuario con el exterior. El concepto de intervención, consistió en generar el mínimo impacto sobre el terreno y sobre la vegetación existente, Las pasarelas, generan recorridos paisajísticos que se complementan con el sonido de las aguas del río y las múltiples formas de fauna que habitan la zona.

La arquitectura pretende brindar espacios para actividades complementarias, siempre con la consigna de generar el mínimo impacto e intentar pasar de cierta manera desapercibida, de manera que la naturaleza misma se convierta en el gran protagonista.

Se señala también en este diagrama, las características típicas de los componentes arquitectónicos estructurales del proyecto, tales como fundaciones, sistema de estructura portante y otros elementos arquitectónicos relacionados con protección de soleamiento y aprovechamiento de las zonas exteriores.



Imagen 33 - Diagrama de componentes arquitectónicos del proyecto. Fuente: Elaborada por el autor.

Arquitectura:

El diseño busca agilizar la construcción y minimizar el impacto ambiental a través de componentes modulares, mano de obra local y materiales duraderos para las duras condiciones climatológicas que afectan el sitio. Se plantea además la aplicación de estrategias pasivas para el control del soleamiento, la lluvia, humedad y ventilación.

Sistema estructural:

Se busca que el sistema constructivo permita una óptima constructibilidad. El tipo de fundaciones, (placas aisladas), se determinó a través de un estudio de suelos para determinar la condición y composición, así como la capacidad de carga del terreno.

Se plantea de manera inicial, la construcción de estructuras metálicas livianas levantadas del suelo para reducir el impacto sobre la condición topográfica existente, así como para facilitar el recorrido de instalaciones mecánicas.

Materiales:

Se proponen materiales constructivos de fácil instalación, de bajo mantenimiento y alta resistencia a la condición de humedad.

Pisos: Pisos de cerámica y/o concreto lavado. (Según edificio)

Paredes: Paredes y particiones interiores livianas con láminas de fibroyeso, según la necesidad de específica. Perfilera y accesorios de aluminio, según sistema constructivo.

Fachadas: Tablilla de fibrocemento. Rejillas de aluminio anodizado color negro.

Cielos y cubierta: Cielos de caña brava o láminas de fibroyeso, cubiertas de lámina tipo bandeja con aislamiento.

Terrazas y pasarelas: Madera o tablilla de fibrocemento, estructura de hierro galvanizado con malla de metal expandido.

(Para detalle de la estructura de acero, así como la cuantificación de materiales, referirse al Anexo 3 de este documento)

3.6.1 Detallado estructural de la propuesta en acero

Las siguientes imágenes muestran el diseño estructural del proyecto. Los materiales y componentes estructurales, fueron previamente enumerados y cuantificados en las tablas de datos (Ver Anexo 3). La cuantificación de materiales y componentes de la estructura primaria de acero, servirá como referencia posterior para el cálculo de la huella de carbono, además, servirá como punto de partida para la conversión de la estructura de acero en bambú.

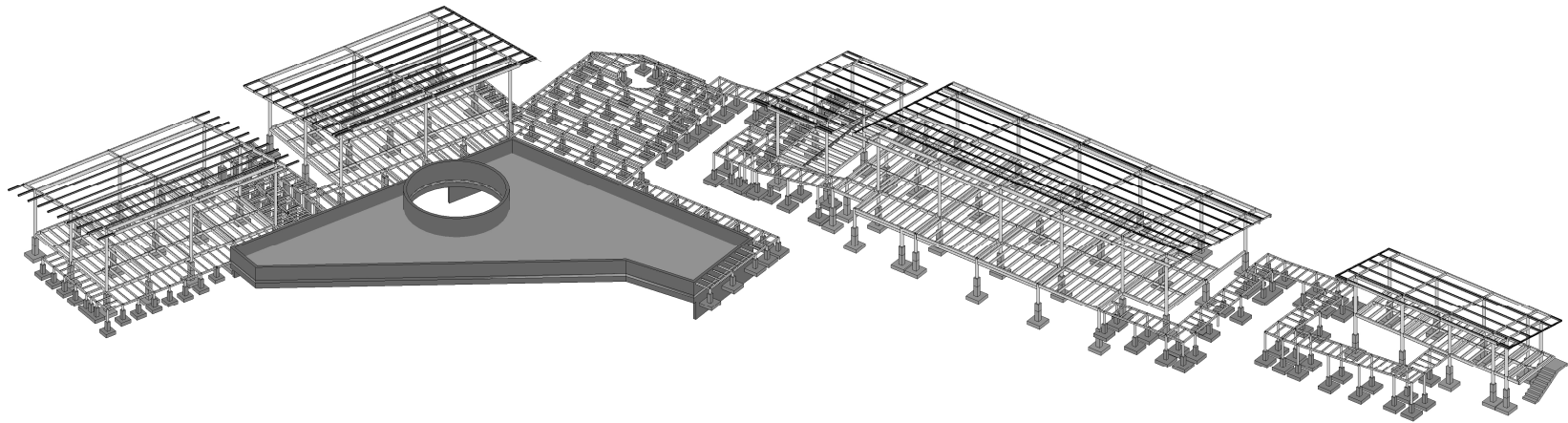


Imagen 34 - Esquema estructural de la propuesta en acero, conjunto. Fuente: Elaborada por el autor.

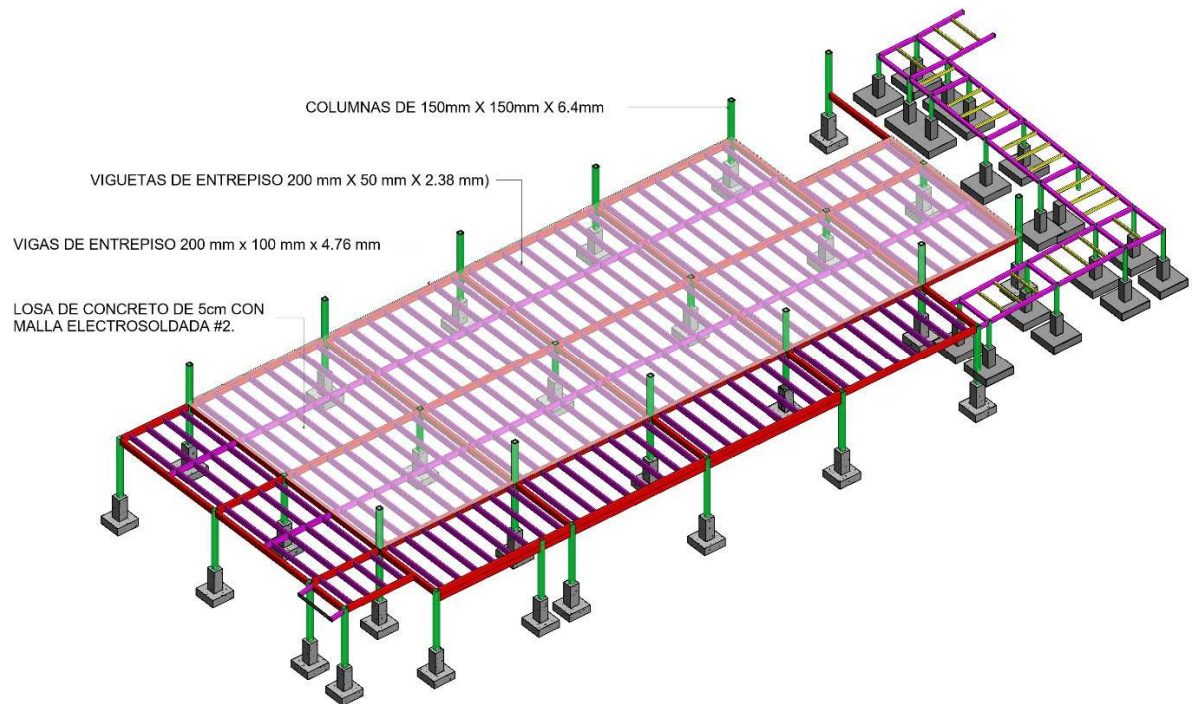


Imagen 35 - Esquema estructural de entrepiso en acero. Fuente: Elaborada por el autor.

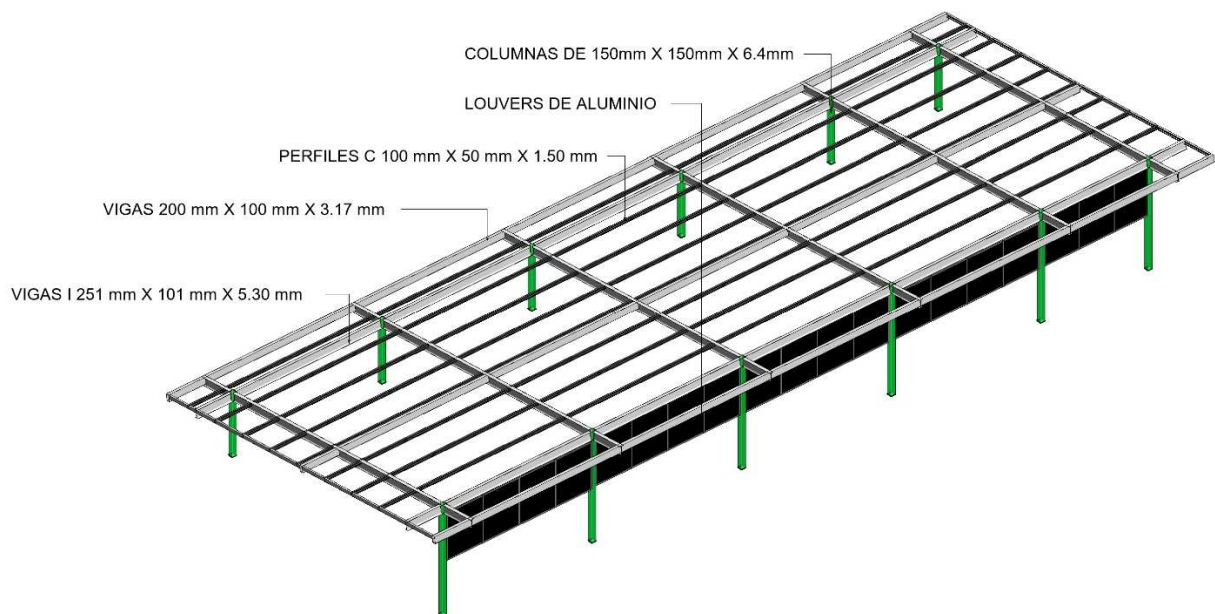


Imagen 36 - Esquema estructural cubierta en acero. Fuente: Elaborada por el autor.

3.6.2 Propuesta de anteproyecto en bambú: Replanteamiento del sistema constructivo

Como parte de la investigación, se plantea el cambio de sistema constructivo en acero a un sistema constructivo en bambú, con el fin de generar un escenario que permita comparar el desempeño entre un sistema constructivo y otro. El bambú es un material abundante en el trópico, que ha demostrado gran versatilidad como material de construcción, dadas sus cualidades estructurales y estéticas. A nivel arquitectónico, permite crear una gran variedad de acabados y ensambles por medio de amarres de alambre, estacas de bambú, soportes metálicos y otras técnicas simples.

El ejercicio de reconversión del modelo original a un modelo alternativo esquemático, se llevó a cabo a través de la investigación realizada sobre las posibilidades estructurales del bambú, así como de diferentes manuales de construcción e investigaciones relacionadas con la construcción en este material. Es importante mencionar que el replanteamiento estructural no fue sometido a cálculos, sin embargo, se basa en la aplicación de la biografía revisada como parte de esta investigación.

En este apartado, se hará un repaso por los resultados del replanteamiento a nivel de sistema constructivo, cerramientos, elementos de protección, entre otros.

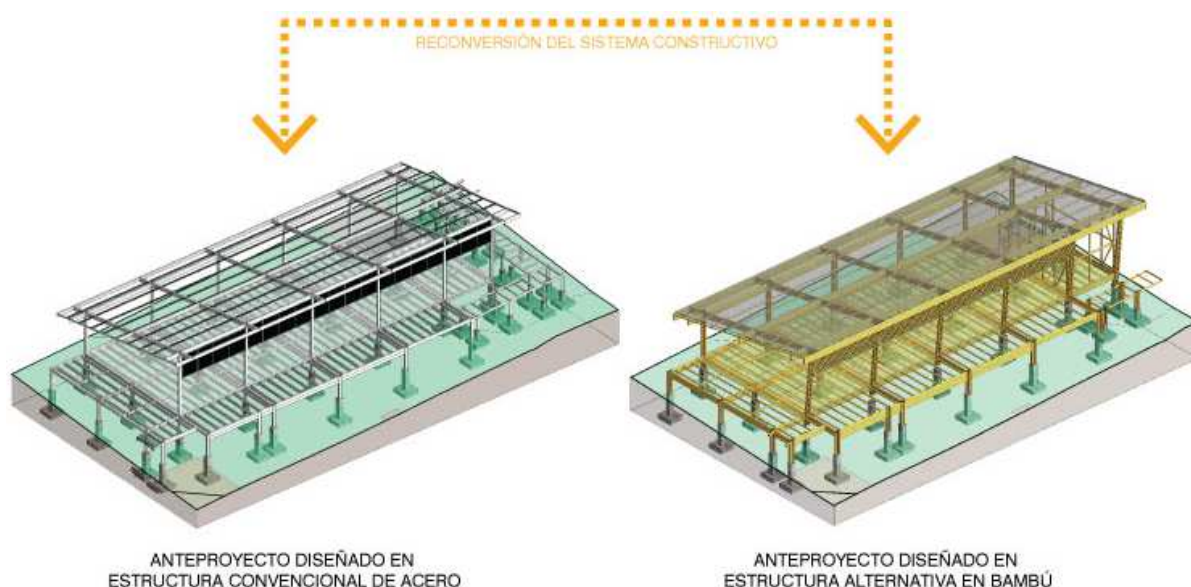


Imagen 37 - Diagrama de replanteamiento del sistema constructivo. Fuente: Elaborada por el autor.

Reconfiguración de los componentes estructurales

Para poder llevar a cabo la conversión de la estructura de acero a una estructura en bambú, fue necesario investigar diferentes estudios, manuales y otros documentos que permitieron comprender la naturaleza del material en función de sus cualidades estructurales, de manera que se pudieran replantear elementos como fundaciones, columnas, vigas, entre otros elementos estructurales y arquitectónicos. A continuación, se hace un repaso de algunos conceptos que permitieron el planteamiento de la estructura conceptual de bambú.

Uniones

A continuación, se repasan los conceptos teóricos y técnicos que dieron paso al replanteamiento estructural. En los diagramas posteriores, se muestran las variaciones planteadas al diseño estructural y sus componentes.

Uniones de tornillo axial y transversal

Herrera, (2008), afirma al respecto, que este tipo de uniones están diseñadas para responder esfuerzos de tracción y compresión, además de ser empleadas para empalmes con otros materiales de construcción. Para construir este tipo de unión, se utiliza un tornillo de media pulgada, el cual atraviesa los entrenudos o canutos necesarios para formar la unión.

Este perno, embebido en el mortero, forma el pistón en cada entrenudo que atraviesan. Para aumentar la superficie de contacto entre el perno y el mortero, se coloca una tuerca en cada entrenudo. (p. 13-14).¹⁹

Las uniones de pasadores transversales:

Herrera (2008) dice que este tipo de uniones responden muy bien ante esfuerzos de tracción, bien sea como empalme o como ensamble. Los pasadores se apoyan sobre una pequeña superficie de las paredes de la guadua y se encuentran embebidos en el mortero que funciona como pistón en el interior del entrenudo. Estos pasadores son lo suficientemente largos para que sobre ellos se pongan las platinas y tuercas. Las platinas son la conexión entre la guadua y los demás elementos.

Estas platinas transmiten el esfuerzo a los pasadores y al mortero, y estos al tabique y a la pared de la guadua (p.14).

¹⁹ Herrera C. (2008). Evaluación y diseño estructural de una vivienda construida a base de bambú (Tesis de grado). Universidad de Costa Rica, San José

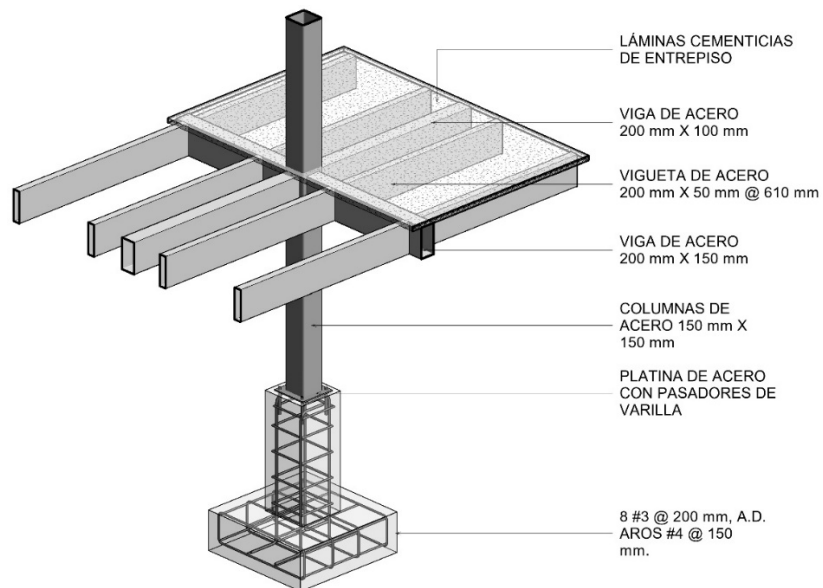


Imagen 38 - Detalle de cimentaciones y componentes estructurales del anteproyecto en estructura de acero.
Fuente: Elaborada por el autor.

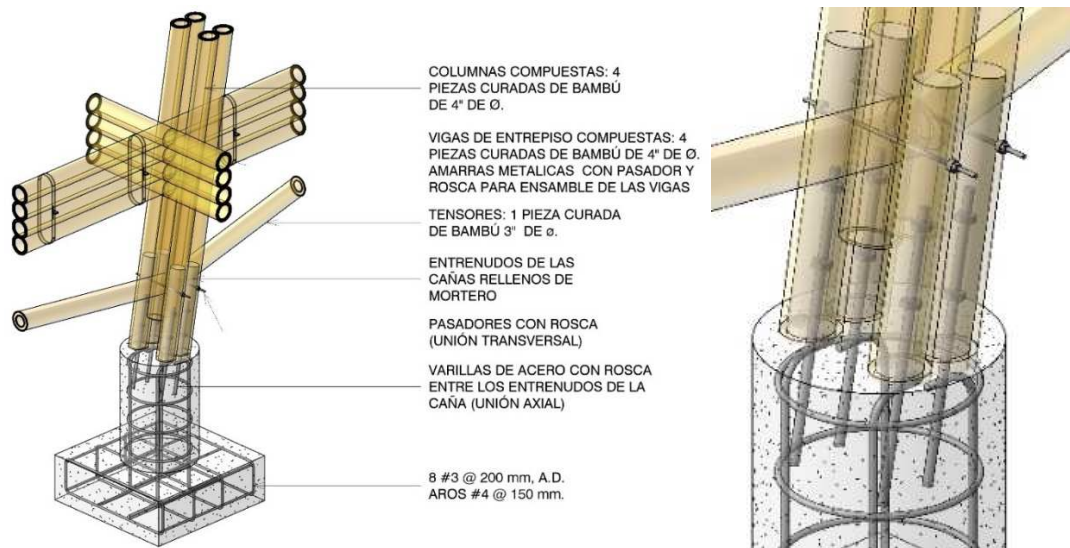
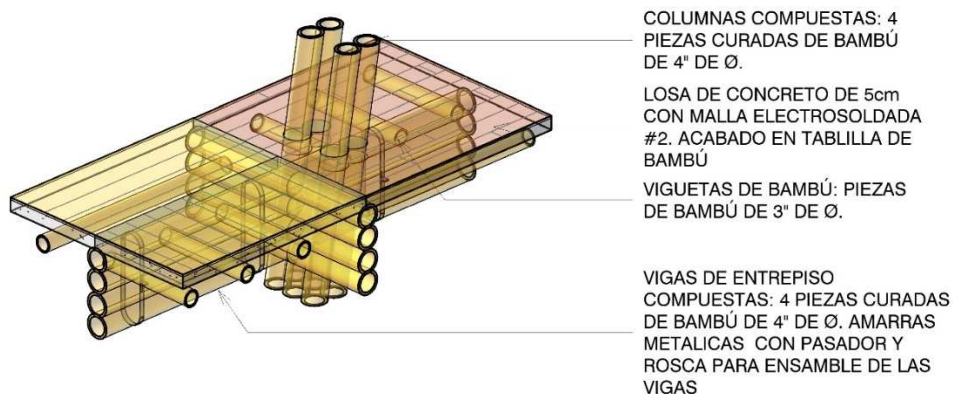


Imagen 39 - Detalle de cimentaciones y componentes estructurales del anteproyecto esquemático de estructura en bambú. Fuente: Elaborada por el autor.

Columnas, vigas y viguetas de entrepiso

El diseño de columnas, vigas, vigas de entrepiso y viguetas de entrepiso, se puede llevar a cabo utilizando bambú, su diseño dependerá de las necesidades constructivas y arquitectónicas. Columnas y elementos estructurales deben estar adecuadamente conectados, las configuraciones de columnas, vigas y viguetas podrán incluir varias cañas funcionando en conjunto, según las necesidades estructurales.



*Imagen 40 - Detalle de entrepiso y componentes estructurales del anteproyecto refinado de estructura en bambú.
Fuente: Elaborada por el autor.*

Muros y paredes no estructurales en bambú

El diseño de los muros y paredes de bambú, dependerá estrictamente de las cargas a las que se pretenda someter la estructura.

Herrera, (2009), define tres tipos principales de muros:

Muros estructurales arriostrados en bambú

Son los compuestos por solera inferior, pie derecho, elementos arriostradores inclinados y recubrimiento con base en mortero de cemento, con o sin esterilla de guadua, colocado sobre malla de alambre. Reciben cargas verticales, fuerzas horizontales de sismo o viento. Las esquinas de la casa y los extremos de cada muro deben estar constituidos por muros estructurales arriostrados en ambas direcciones

Muros estructurales no arriostrados en bambú

Compuestos por solera inferior, pie derecho y recubrimiento con base en mortero de cemento o sin esterilla de guadua, colocado sobre malla de alambre. Carece de elementos inclinados de arriostre. Deben utilizarse solo para resistir cargas verticales. Deben de tener continuidad hasta la cimentación. (p. 9-10)

Muros no estructurales en bambú

Los muros que no deben soportar otra carga más allá de su propio peso, se conocen con el nombre de muros no estructurales. No tienen otra función que separar espacios dentro de la vivienda, deben vincularse con los muros perpendiculares a su plano y con los diafragmas. (p 9-10)

Instalaciones electromecánicas en paredes y particiones de bambú

El Manual de Construcción con Bambú (Morán, 2015), define algunas consideraciones importantes a tener presentes a la hora de la construcción de las instalaciones eléctricas:

- Las instalaciones eléctricas pueden ser empotradas dentro de los muros estructurales de bambú. En caso de requerirse perforaciones éstas no deberán exceder de 1/5 del diámetro de la pieza de bambú.
- Los conductores eléctricos deben ser entubados o de tipo blindado, con terminación en cajas de pases metálicos o de otro material incombustible.
- Los empalmes y derivaciones serán debidamente aisladas y hechas en las cajas de pase.
- La instalación eléctrica no debe ser perforada o interrumpida por los clavos que unen los elementos estructurales

3.6.3 Proceso constructivo en bambú

Como se ha mencionado anteriormente, el bambú como sistema constructivo en el país, no cuenta aún con la popularidad y aceptación que merece, por motivos diversos, como la falta de políticas públicas para el fortalecimiento de la cadena productiva y el desarrollo técnico y profesional en el tema. Dicho esto, vale rescatar las cualidades que convierten al

bambú en un material óptimo para el desarrollo de proyectos de construcción de bajo impacto ambiental. A pesar que en el país, el uso del bambú se limitó inicialmente a la construcción de estructuras temporales, casas de interés social y otras obras menores, hoy en día se cuenta con una gran variedad de proyectos construidos en diferentes usos y tipologías, abarcando no únicamente proyectos privados, sino que se ha abierto paso en proyectos de carácter público, como es el caso de la Escuela de Carate, en Península de Osa.

Oportunidades de desarrollo a través de la construcción en bambú

La construcción en bambú ha logrado fortalecer la economía no solo de pequeños productores en zonas rurales, sino también la de pequeños constructores, quienes han podido a través de esta práctica, diversificar su oferta laboral.

Otro aspecto importante de la construcción del bambú, dentro de su capacidad para contribuir con la economía de familias vulnerables en zonas rurales, es la posibilidad de incluir la participación de mujeres dentro de las cuadrillas de trabajo, dado lo liviano del material y la posibilidad de construir con herramientas sencillas y sin equipo especializado.



Imagen 41 - Diversificación de cuadrillas de trabajo gracias a la construcción en bambú. Fuente: Recuperado de: <https://www.bambuksa.com/proyectos?pgid=j9pb0hz0-5a2b0b48-42fa-477a-83fc-fd8d018dc632>

Mano de obra, equipo y herramientas de construcción en bambú

Si bien es cierto, la construcción tradicional en bambú implica el uso de algunas herramientas básicas, que han llevado a constructores artesanos a desarrollar grandes técnicas y habilidades, existen actualmente algunas herramientas complementarias que facilitan la construcción y permiten mejores tiempos, calidad y precisión, por consiguiente, mejores rendimientos que lo que se podría lograr de la manera tradicional (Martínez y Redón, 2015).

Diferentes etapas del proceso, suponen el uso de las diferentes herramientas. A continuación, se expone una lista de actividades básicas generales para un proyecto de construcción en bambú.

Tabla 9 - Etapas y herramientas básicas para el proceso de construcción de una estructura en bambú. Fuente: Elaborada por el autor a partir de Construir con Bambú, Manual de Construcción, INBAR.

TABLA DE ETAPAS Y HERRAMIENTAS BÁSICAS PARA EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA EN BAMBÚ	
ETAPA	HERRAMIENTAS
FUNDACIONES	
Demarcación de cimientos y plantilla	<ul style="list-style-type: none"> - Estacas de madera o cabos de varilla - Martillos y mazos - Cuerdas para trazado de plantilla - Cinta métrica de 25 m - Nivel de manguera para nivelación de estructura. - Picos y palas para excavación de fundaciones
PREPARACIÓN MATERIAL DE CORTE	
Selección y preparación para el corte de las cañas	<ul style="list-style-type: none"> - Cinta métrica para dimensionamiento de piezas - Lápiz para marcar - Para el corte se puede utilizar segueta, serrucho, motosierra o sierra de disco - Limas para refinado de piezas - Sierras de copa para cortes precisos de uniones

PREPARACIÓN DE VIGAS Y COLUMNAS

Preparación elementos estructurales para su posterior ensamblaje	- Cuerda de 15mm a 18mm de grosor para nivelación
	- Taladro eléctrico 1200 kw, 800 rpm, con extensión de cable de 20m y brocas de 10 mm, 12 mm, de 20 cm a 30 cm de longitud.
	- Martillos de diversos tamaños. Incluyendo de goma y madera, para el uso de pasadores de bambú
	- Pasadores de bambú, o metálicos de varilla roscada con arandela y tuerca
	- Esmeriladora para cortar excedente de varilla y pulir bordes

ENSAMBLE DE CERCHAS Y COLUMNAS

Se unen los diferentes elementos estructurales a través de la variedad de uniones posibles	- Elaboración de las uniones por medio de estacas, amarres o pasadores, nunca se utilizan clavos para unir piezas o elementos estructurales
	- Sierras de copa para perforaciones a ser rellenas con mortero
	- Preparación del mortero de relleno

- Vertido de la mezcla

ELEVACIÓN DE CERCHAS Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES

	- Andamios
Se ensambla la estructura y se procede a la construcción de cubiertas y cerramientos	- Escaleras
	- Polipasto
	- Puntales o apoyos temporales en bambú
	- Nivel de manguera y plomo para nivelación de estructura

Mantenimiento de estructuras de bambú

Tabla 10 - Recomendaciones para acabado y mantenimiento de estructuras en bambú. Fuente: Elaborada por el autor a partir de Construir con Bambú, Manual de Construcción, INBAR.

TABLA DE RECOMENDACIONES PARA ACABADO Y MANTENIMIENTO DE ESTRUCTURAS DE BAMBÚ

SELLAR CAVIDADES EN EXTREMOS DE CAÑAS

Se llena la cavidad de la caña con malla y luego se recubre con mortero. También, se puede utilizar yeso o una mezcla de aserrín y cola. Opcionalmente, se puede pintar.

TRATAMIENTO DE PIEZAS EXPUESTAS

Las cañas ubicadas hacia el exterior deben ser protegidas y mediante mantenimiento periódico, se recomienda pinturas con óleo o cualquier tipo de laca para exteriores.

Las piezas expuestas a la intemperie requieren mantenimiento mínimo cada 6 meses.

TRATAMIENTO DE PIEZAS INTERIORES

Las piezas interiores deben ser tratadas con sellador, barniz o similar. Se recomienda su mantenimiento cada 2 años.

CORTAR SOBANTES PASADORES PARA PROTEGER DE LA CORROSIÓN

Los sobrantes de pernos y varillas que sobresalen de las tuercas, deben ser cortados para evitar accidentes. Se recomienda pintar los pernos con anticorrosivo, a menos que sean inoxidable.

RECOMENDACIONES POSTCONSTRUCCIÓN

- Se deberá reajustar los elementos que por vibración u otra razón se hayan desajustado.
 - Si se encuentran roturas, deformaciones excesivas, podredumbres o insectos, se deberán sustituir las piezas y tomar las medidas pertinentes para resolver el problema.
-

Las edificaciones en bambú requieren de un buen acabado para aumentar su valor estético y su durabilidad. Como acabado, se puede utilizar ceras, lacas, barnices o pinturas. La periodicidad del mantenimiento, dependerá del uso y exposición a la que se sometan las piezas.

Gestión de residuos y subproductos del bambú

Una vez llevada a cabo la construcción, el material sobrante y los residuos. Puede utilizarse para la fabricación de todo tipo de objetos utilitarios como servilleteros, vasos, macetas, lámparas, instrumentos musicales y mobiliario. Además, puede servir para la fabricación de elementos arquitectónicos decorativos y de cerramiento.

También, se puede aprovechar para la fabricación de otros subproductos como esterilla, cuerda, entre otros materiales. La fibra de bambú se ha utilizado en otros materiales de construcción como en concretos y mezclas asfálticas, por lo que el potencial para su reutilización es muy alto y con mucho valor comercial.

El papel del profesional como promotor de la innovación, la construcción sostenible y la generación de conocimiento.

Sin duda alguna, y a pesar de la gran cantidad de material de referencia que existe en cuanto a la construcción en bambú, existen todavía algunos vacíos en cuanto a formación profesional en diseño y construcción en bambú. Estos vacíos, impiden el acceso a cierta información específica, principalmente de tipo financiera, pero también en lo que se refiere a métricas, cuantificaciones, rendimientos y otros estudios que se han llevado a cabo desde la industria misma para otros sistemas constructivos como el concreto o el acero. Dichas condiciones, han limitado el acceso a registros públicos de valores de construcción, y las empresas constructoras dedicadas a la actividad, mantienen esta información para sus registros privados.

Sin embargo, es importante señalar que existe en el país grupos de profesionales en construcción quienes han orientado sus esfuerzos hacia el aprendizaje y la enseñanza de técnicas de construcción en bambú. Además, existen varias empresas que ofrecen materia prima para construcción, así como asesoría técnica en el desarrollo de proyectos de toda escala.

Por consiguiente, el desarrollo de la construcción en bambú en nuestro país, tiene un *alto componente experimental*, y el compromiso para el desarrollo del bambú dependerá en gran medida de los esfuerzos realizados desde el gremio profesional a través de los proyectos que desarrollan, no solamente para la implementación del material, sino para la enseñanza, difusión y documentación, que permita la incursión gradual en la industria actual de la construcción.

Capacitación y aprendizaje

Si bien es cierto, desde la industria, la Cámara de Construcción, el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, (CFIA), el Instituto Nacional de Aprendizaje, (INA), y otras instituciones relacionadas con la actividad constructiva no existen programas de capacitación para la construcción en bambú, destacan algunos esfuerzos puntuales como los llevados a cabo por FUNDEBAMBU y el proyecto de Desarrollo productivo del bambú

en Costa Rica, de la Universidad Nacional, los cuales se han dado a la tarea de promover la difusión, industrialización, comercialización y enseñanza de la construcción en bambú a través de simposios, talleres, conferencias virtuales y otra serie de actividades complementarias.

Desde el sector privado, también se han llevado a cabo talleres de construcción y algunas iniciativas para el desarrollo local del bambú. Un ejemplo, es el taller de construcción en bambú llevado a cabo en La Fortuna en 2019, “*Clase Maestra sobre Diseño en Bambú*”, que se llevó a cabo entre el 25 y el 29 de junio, impartido el experto Jorg Stamm. Otro ejemplo, son los talleres ofrecidos por Bamboo School Costa Rica, enfocados a la construcción sostenible en bambú y bahareque, además de técnicas de artesanía y construcción de muebles.²⁰

Las posibilidades de capacitación en bambú implican un costo económico además de un esfuerzo profesional personal por aprender y enseñar la técnica constructiva, por lo que, de nuevo, la motivación en el uso del material deberá venir en gran parte de los profesionales comprometidos con la sostenibilidad y la innovación.

²⁰ Bamboo School Costa Rica: <https://www.facebook.com/BambooSchoolCostaRica/>



I SIMPOSIO INTERNACIONAL DE BAMBÚ EN COSTA RICA

LUGAR Y FECHA
6, 7 y 8 de Noviembre del 2018
Universidad Nacional de Costa Rica (UNA), Heredia

EJES TEMÁTICOS

- Agronomía, desarrollo y cultivo
- Aprovechamiento y procesamiento industrial
- Cambio climático y servicios ecosistémicos
- Ingeniería, arquitectura y diseño

INSCRIPCIÓN
\$200 (USD) participantes
\$150 ponentes
\$75 estudiantes

CONTACTO
 simposiobambu@una.cr
www.sibambu.cr
 (506) 2277 3291 / 8783 6685

ORGANIZAN:







Imagen 42 - I Simposio Internacional de Bambú en Costa Rica. Fuente: Recuperado de: <https://www.facebook.com/sibambu.cr/photos/a.450036198768815/451995351906233>

Preguntas frecuentes sobre el uso del bambú

Es común, que, ante el desconocimiento generalizado en la industria, surjan algunos cuestionamientos que se realizan tanto profesionales y constructores como clientes interesados en el material, respecto a su capacidad estructural, sus cualidades sismorresistentes, su mantenimiento, durabilidad y costo. Morán, (2015).

A continuación, se muestran algunos de estos cuestionamientos:

¿Puede remplazar el bambú a la madera?

Las estructuras en bambú permiten realizar cualquier construcción que se quiera llevar a cabo en madera, el bambú es adaptable a todo tipo de proyecto de construcción.

¿Se considera el bambú un material sismorresistente?

Por ser un material liviano, además de su forma cilíndrica hueca es un material con capacidad de resistir sismos, además es idóneo para construcción en suelos de baja capacidad portante. Su diseño sismorresistente esta normado por la Norma E.100 Bambú.²¹

¿Las edificaciones en bambú requieren mayor mantenimiento?

Al igual que todo edificio, se requieren acciones de mantenimiento para mantener su integridad estética y estructural. Parte de las acciones implica la revisión y sustitución de piezas según sea necesario, sin embargo, con el mantenimiento apropiado una construcción en bambú puede durar más de 50 años.

¿Es más barato construir en bambú?

La respuesta a este cuestionamiento radicará en gran parte en el diseño, la ubicación y disponibilidad de material. En el caso de las viviendas, gran parte del presupuesto se destina a instalaciones, acabados y mobiliario, por lo que el ahorro no sería muy

²¹ La Norma E.100 bambú, es una norma de construcción en bambú peruana, aprobada mediante Decreto Supremo Nro. 011-2012-VIVIENDA, del 03 de marzo de 2012 que establece los lineamientos técnicos que se deben seguir obligatoriamente para el diseño y construcción de edificaciones sismo resistentes con bambú en el Perú.

significativo en comparación con otros sistemas constructivos, sin embargo, para el caso de proyectos que requieren grandes espacios abiertos con techo liviano, el bambú resulta ser una opción muy económica. (Podría ser el caso de este ejercicio)

Arquitectura en bambú:

La propuesta en bambú, plantea una mejor relación del edificio con el entorno, a través de un material de origen vegetal, como lo es el bambú. Este material, como se ha mencionado anteriormente, tiene un importante arraigo con la zona donde se ubica el proyecto, dada la cercanía con zonas de producción y con edificios y estructuras referentes como hitos turísticos que han demostrado un claro enfoque hacia la sostenibilidad.

En términos de construcción, el bambú requiere de herramientas simples, y por ser un material liviano, permite una fácil y rápida instalación. Los subproductos de la construcción en bambú, tienen también potencial de reutilización, para la creación de barandas, muebles, lámparas y otros componentes arquitectónicos y decorativos.

Sistema estructural en bambú:

En términos estructurales, se mantiene el concepto existente en la propuesta original, donde se levanta el edificio del suelo con apoyos estructurales sobre placas de fundaciones aisladas, y se transforman los componentes adaptándolos a las condiciones del material. Por ejemplo, las vigas y columnas, se plantean como elementos estructurales compuestos de varias cañas, lo que incrementa su capacidad de carga.

Las uniones entre piezas y componentes, se plantea desde la teoría estudiada, sin realizarse cálculos estructurales sobre el diseño en bambú.

Materiales:

Se proponen materiales constructivos derivados del bambú, de fácil instalación y con una muy baja huella de carbono, apuntando hacia los objetivos de carbono neutralidad en que la práctica constructiva debe dirigir sus esfuerzos.

Pisos: Pisos de tablilla de bambú.

Paredes: Paredes de estructura de bambú, con cerramientos de panel de bambú tipo plybamboo²² o cañas de bambú de 1”.

Fachadas: Paneles de tejido de esterilla de bambú, elementos de protección fabricados de estructura de bambú y cabos de caña.

Cielos y cubierta: Cielos de caña de 1” o de panelería de bambú tipo plybamboo

Terrazas y pasarelas: Deckbambú, estructura de pasarelas y barandas en bambú.

²² Los paneles de plybamboo son láminas de plywood con bambú curado, abierto y pegado sobre la lámina.

3.7 Detallado estructural esquemático de la propuesta alternativa en bambú

Las siguientes imágenes muestran el resultado del replanteamiento estructural del proyecto, donde se aprecia la sustitución de los componentes de acero por los componentes de la propuesta estructural en bambú. Los materiales y componentes estructurales, fueron previamente enumerados y cuantificados en las tablas de datos, en la sección anterior de este documento.

La intervención pretende replantear no únicamente el sistema constructivo, sino, además, analizar y valorar el aporte del bambú a la estética general del proyecto, así como su valor añadido en términos de impacto ambiental y retribución social. Un proyecto de esta naturaleza tiene el potencial para transformar su entorno desde la práctica de una arquitectura responsable y comprometida con la sostenibilidad y el desarrollo social.

Los diagramas mostrados a continuación, señalan en detalle los componentes y su interrelación como sistema constructivo. El detallado y cuantificación de la estructura de bambú, se encuentra en el Anexo 3 de este documento.

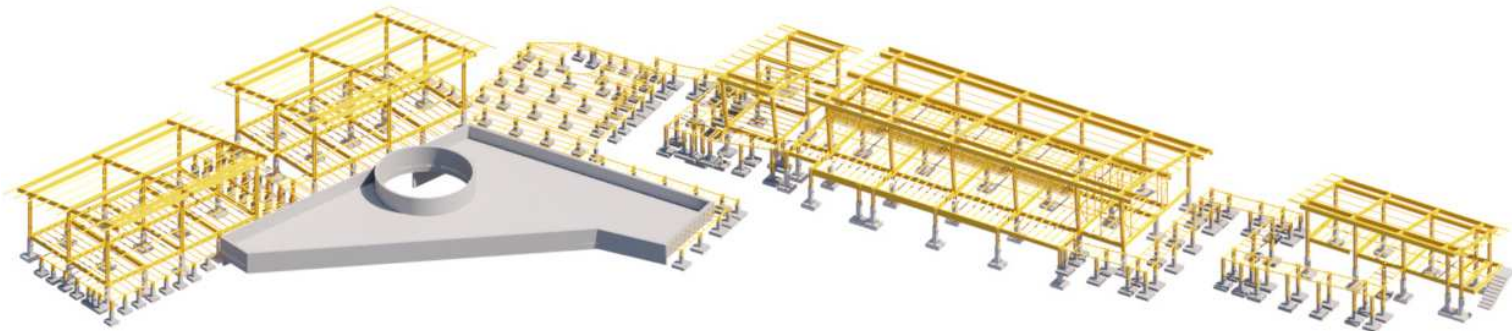


Imagen 43 - Esquema estructural de la propuesta en bambú, conjunto. Fuente: Elaborada por el autor.

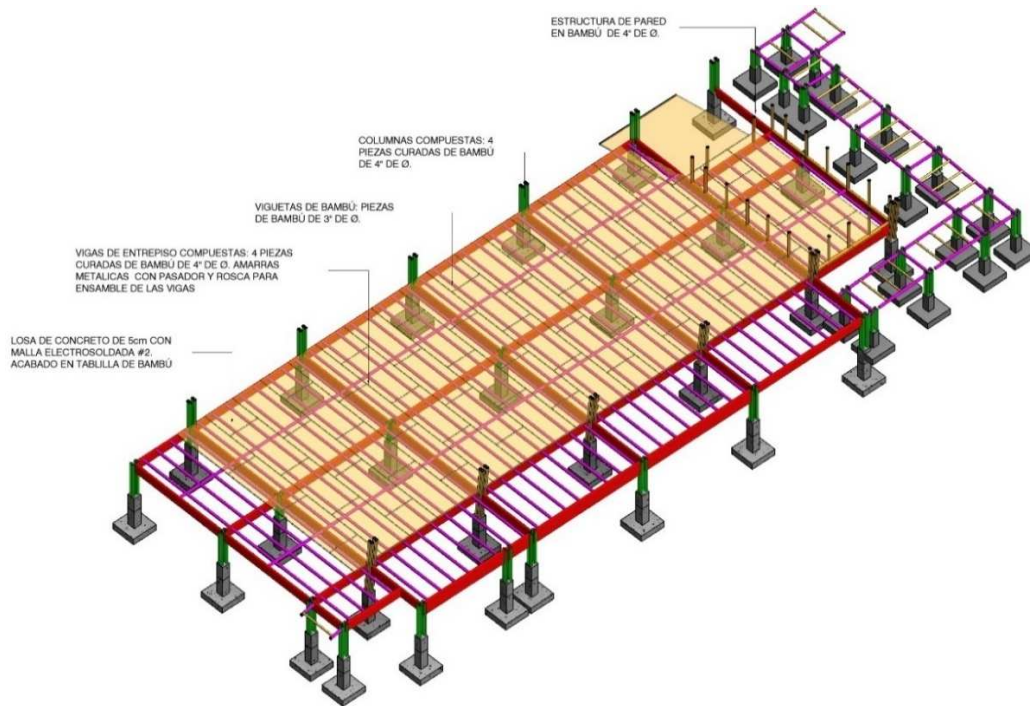


Imagen 44 - Esquema estructural de entresido en bambú. Fuente: Elaborada por el autor.

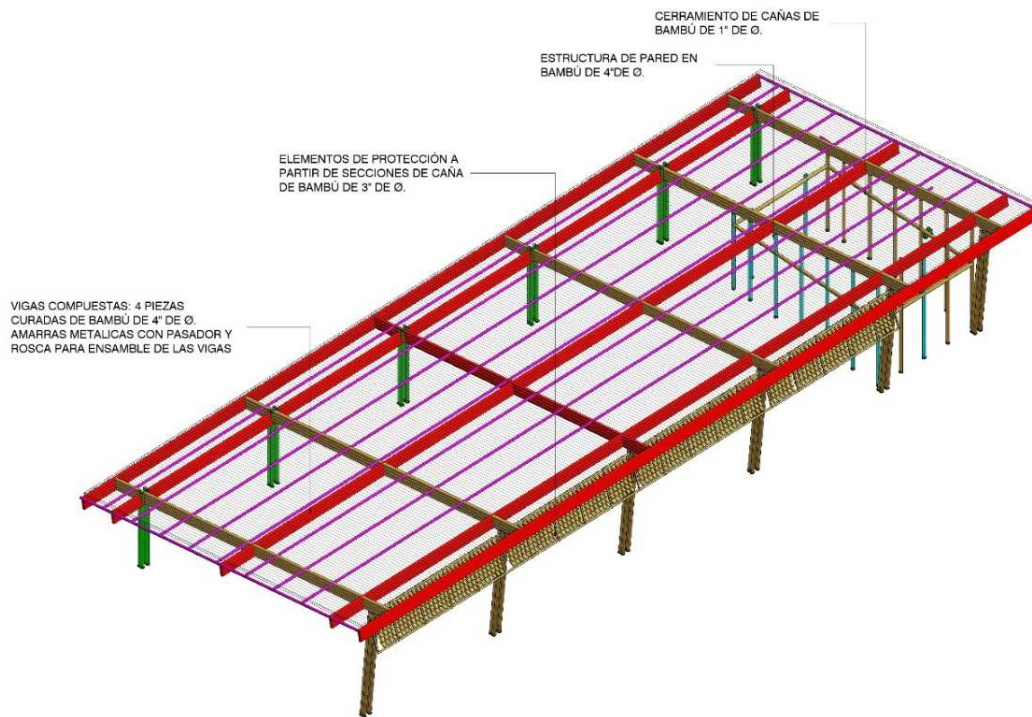


Imagen 45 - Esquema estructural cubierta en bambú. Fuente: Elaborada por el autor.

Visualizaciones conceptuales de la propuesta en bambú

Las siguientes visualizaciones, pretenden ilustrar el resultado de la transformación de la estructura de acero por una estructura de bambú. Se puede apreciar la estructura funcionando como marcos estructurales a partir de columnas y vigas compuestas de bambú, así como la creación de un entrepiso elevado del suelo para prevenir la humedad y tener una mejor facilidad para la construcción de las instalaciones electromecánicas.



Imagen 46 - Visualización conceptual de la estructura en bambú, se aprecian algunos de los edificios del conjunto. Fuente: Elaborada por el autor.

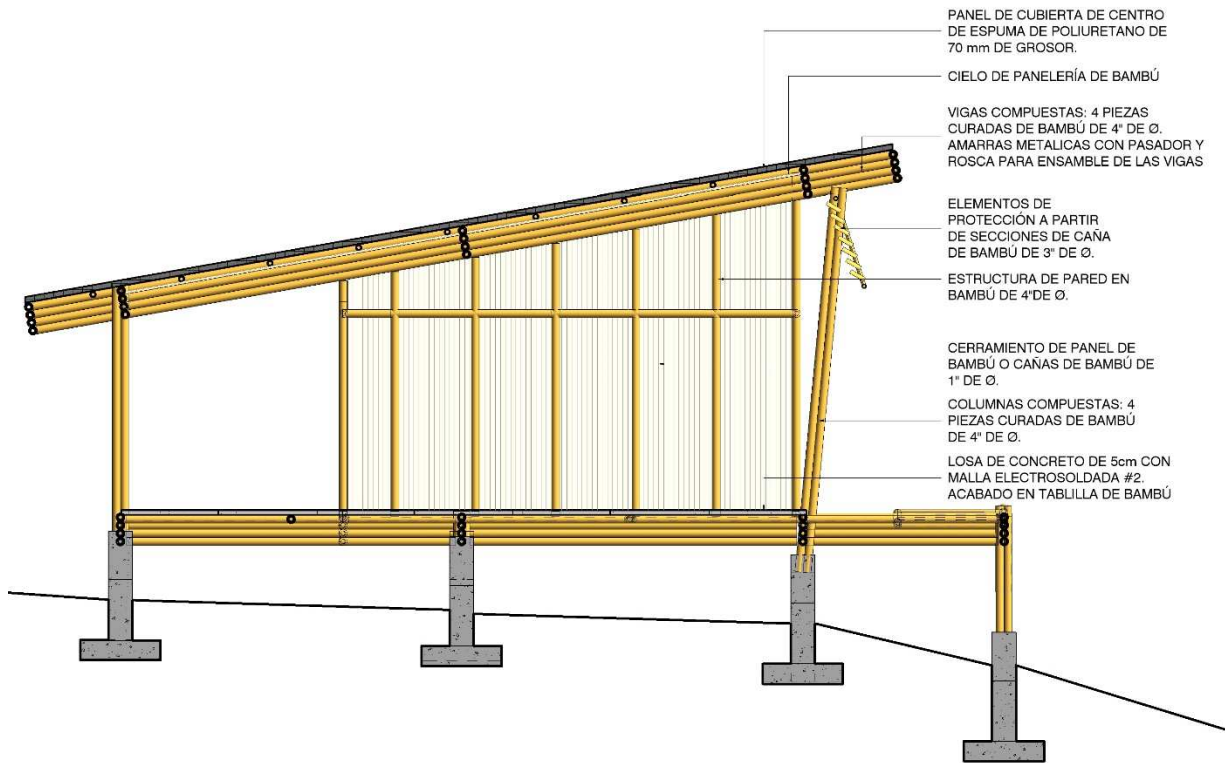


Imagen 47 - Sección esquemática de la propuesta en bambú. Fuente: Elaborada por el autor.

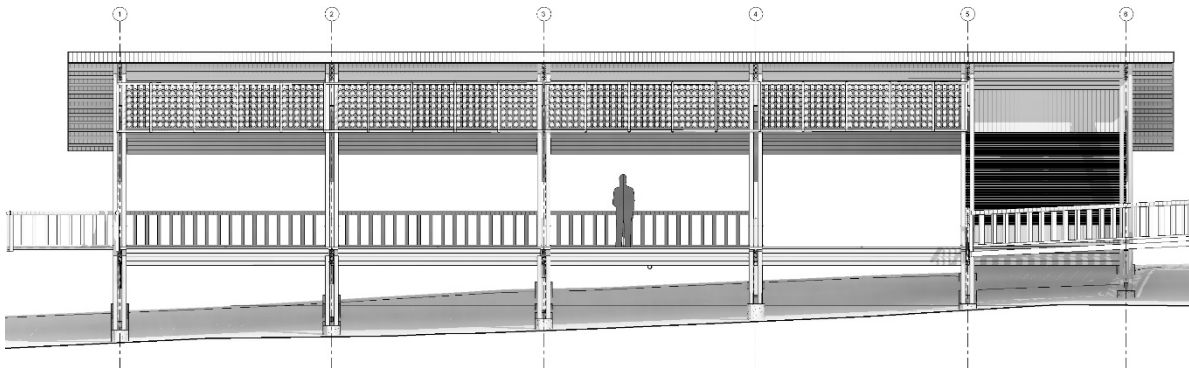


Imagen 48 - Elevación frontal de uno de los edificios del conjunto. Fuente: Elaborada por el autor.



Imagen 49 - Vista exterior del conjunto de edificios.

La utilización del bambú podría mejorar la forma en que el conjunto arquitectónico se inserta en el sitio, adoptando una especie de mimesis con la vegetación circundante. En la visualización, se muestra la utilización del bambú como respuesta a diferentes componentes estructurales y arquitectónicos, como en el caso notable las vigas y columnas, cerramientos, rejillas de ventilación, elementos de protección como parasoles, entre otras posibilidades.

Según los hallazgos enumerados a lo largo de la investigación, la zona donde se localiza el proyecto tiene el potencial no solo para el abasto de materia prima, sino para la implementación de proyectos en bambú partiendo de algunos hallazgos importantes como la existencia de cultivos en zonas cercanas al proyecto, la existencia de proyectos turísticos enfocados a la sostenibilidad y el potencial ahorro en la estructura primaria de proyectos con estas características.

A nivel de interiores, también podría existir un potencial beneficio a partir de mejoras en temas como la transmisión de calor a través de cubiertas y cerramientos, donde el bambú parece ser una opción viable. En cuanto a las condiciones estéticas y funcionales, se podría lograr una integración más armoniosa con su entorno, condición que contribuye con la percepción general del espacio al integrar interiores y exteriores mediante el uso del material.



Imagen 50 - Visualización interior de la propuesta en bambú, donde se aprecia el uso del bambú en diferentes formas de aplicación. Fuente: Elaborada por el autor.

3.8 Hallazgos y conclusiones de la transformación de la estructura de acero a bambú.

En esta sección de la investigación, se profundizó en las posibilidades constructivas del bambú, además, sobre la utilización y la experimentación desarrollada a nivel local a través de diferentes estudios de casos, así como de manuales de construcción, normas técnicas y otros instrumentos para el replanteamiento del proyecto.

Los análisis llevados a cabo, permitieron la configuración de una estructura en bambú, la cual permitirá como punto comparativo de partida para el análisis de rendimiento en términos de sostenibilidad que una estructura de bambú podría ofrecer vs una estructura similar, pero con un diseño en acero.

Para poder comprender mejor el impacto que podría traer la transformación del proyecto a una estructura de bambú, se dividen los hallazgos y conclusiones según su área de impacto, como se muestra la tabla resumen a continuación.

Tabla 11 - Hallazgos y conclusiones preliminares de la transformación de la estructura de acero a bambú.

TABLA DE HALLAZGOS Y CONCLUSIONES DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE ACERO A BAMBÚ
Hallazgos
Físico-ambientales:
<ul style="list-style-type: none"> - El proyecto se localiza en una zona con antecedentes y facilidades para el cultivo y abastecimiento de materia prima y materiales de construcción. - Existen antecedentes en la zona de la implementación de proyectos turísticos desarrollados en bambú. Este material ha demostrado su adaptabilidad a proyectos de diferentes escalas y de diferentes usos y tipologías. - La construcción sostenible permite el desarrollo de una actividad turística segura y responsable con en el medio ambiente, garantizando la disminución del impacto ambiental de una manera sostenida en el tiempo.

Sociales:

-La utilización del bambú en el proyecto podría generar nuevas posibilidades de desarrollo a través del encadenamiento de actividades relacionadas con turismo, mejorando la economía local y promoviendo el desarrollo.

-Ante la carencia de fuentes de empleo, la construcción en bambú ofrece posibilidades para el aprendizaje de nuevas técnicas constructivas, que permitiría a los constructores locales ampliar su oferta de servicios especializados.

- Uno de los potenciales de la construcción del bambú es la inclusión de cuadrillas de trabajo conformadas por hombres y mujeres, a diferencia de otros equipos de trabajo integrados únicamente por hombres. Esta posibilidad, abre nuevas oportunidades de aprendizaje y empleo para mujeres en condición de vulnerabilidad, además del empoderamiento para asumir roles comúnmente asignados al sexo masculino.

- Producto del aprendizaje del bambú y sus técnicas de construcción, existe la posibilidad de generar empleo a través de actividades complementarias a la construcción, como fabricación de muebles y objetos utilitarios y decorativos.

- El cultivo y producción de bambú aportan una serie de servicios ecosistémicos que ayudan a la conservación del medio ambiente a través de secuestro de carbono y la conservación de los suelos y la biodiversidad. El uso del bambú en proyectos de construcción minimiza el impacto ambiental y su huella de carbono.

- A pesar del potencial del bambú como material viable para la construcción sostenible, la carencia de políticas públicas que incentiven la producción y el uso del material en la construcción, sigue siendo un reto para la práctica de la construcción en bambú, por lo que existe un compromiso intrínseco que deberán asumir los profesionales que intenten acercarse al desarrollo de proyectos de construcción en bambú.

Técnico-Constructivos:

-
- Existen antecedentes en nuestro país sobre la implementación de proyectos de construcción en bambú, incluso, en años recientes, se ha visto el auge del bambú en proyectos de toda escala, incluso incursionando en proyectos de obra pública, donde el aporte del bambú en términos de sostenibilidad y retribución social es notable.
 - A pesar que el Código Sísmico de Costa Rica no incluye referencias en cuanto a la construcción en bambú, existen a nivel local e internacional estudios, manuales e incluso normas técnicas que permiten el diseño de los componentes estructurales de un proyecto de construcción en bambú. Dichas normas y manuales se han citado numerosas veces anteriormente en este documento y respaldan el diseño esquemático-conceptual de la propuesta de reconversión.
 - La trabajabilidad y facilidades constructivas del material, permiten la construcción con herramientas y equipo simple, lo que supondría mejores rendimientos en la construcción una vez se supere la curva de aprendizaje. Esta curva de aprendizaje, tiende a ser relativamente corta, y estará determinada por la complejidad de la estructura.
 - Existen en el mercado local una amplia variedad de materiales de construcción derivados del bambú, los cuales permiten el planteamiento de un proyecto que emplea el material en sus diferentes posibilidades y aplicaciones, no únicamente a nivel estructural, sino también a nivel arquitectónico.
 - Las condiciones estéticas del bambú, podrían aportar de manera significativa al proyecto como estrategia para la reducción de la huella de carbono, a través del uso de materiales locales.
 - Existen todavía algunos vacíos que imposibilitan el acceso a información puntual en temas como rendimientos y costos de construcción, datos que se encuentran actualmente en manos de empresas productoras y constructores.

Conclusiones

Físico-ambientales:

-
- Desde la esfera físico ambiental, resulta interesante la utilización del bambú debido a los beneficios implícitos en su producción, como lo es el caso de los servicios ecosistémicos y el aporte significativo en la huella de carbono de la construcción.
 - Existen en el país una gran variedad de especies de bambú, las cuales tienen no sólo diferentes cualidades estructurales, sino que además ofrece diferentes cualidades estéticas, convirtiéndole en un material de gran versatilidad.
 - Existen proyectos referentes ubicados en la misma zona del proyecto, condición que demuestra el uso del bambú incluso bajo rigurosas condiciones de temperatura y humedad, condición que supone ciertos cuidados, pero que no limita o impide el desarrollo de un proyecto en bambú.
 - La construcción en bambú se puede convertir una solución interesante de explorar en miras al alineamiento de los objetivos de descarbonización planteados a nivel país, y con la colaboración de diferentes sectores como el sector construcción.

Sociales:

-
- El auge de la construcción en bambú, podría significar el detonador y generador de una serie de actividades económicas complementarias, que vendrían a fortalecer la economía local de los grupos más vulnerables.
 - A diferencia de otros proyectos, un proyecto de construcción en bambú genera valor agregado a través de la inclusión social y la educación sobre sostenibilidad como generador de oportunidades de desarrollo.
 - Aunque existen algunas instituciones y grupos de profesionales abriendo camino en la construcción en bambú, falta aún el apoyo del estado y las instituciones gubernamentales para la industrialización y la apertura del mercado, así como en temas de capacitación, asistencia técnica e investigación.

Técnico-Constructivas:

-
- El diseño y construcción en bambú supone la creatividad y compromiso de los profesionales en arquitectura e ingeniería, con el fin de demostrar y dar continuidad a los esfuerzos que, desde el sector, algunos han impulsado a través de la investigación y la práctica profesional.
 - Las cualidades sismorresistentes del bambú, le convierten en un material adecuado para el diseño y construcción de estructuras en el país. Como se menciona anteriormente, no se encuentran referencias del sistema constructivo en el Código Sísmico de Costa Rica, sin embargo, tampoco se impide su utilización. Bastará con que un profesional presente los cálculos respectivos para demostrar su efectividad como estructura sismorresistente.
 - La arquitectura en bambú tiene el potencial para convertirse en una solución constructiva mucho más aceptada en el mercado local, no sólo por profesionales y constructores, sino por el público en general, en la medida que cuente con el apoyo y los incentivos necesarios para su desarrollo.
 - La arquitectura simple y modular que plantea el diseño original, permite un replanteo completo del sistema constructivo, a través de la sustitución de los elementos constructivos y arquitectónicos por los de la propuesta alternativa en bambú.
 - El tema del mantenimiento, un tema que se vuelve muy importante cuando la estructura se expone a duras condiciones de soleamiento y humedad, demanda ciertas consideraciones en cuanto a la periodicidad del mantenimiento, que no debería ser mayor al que requiere todo tipo de edificio expuesto a dichas condiciones climáticas.
 - Una de las ventajas potenciales del bambú es también su bajo impacto ambiental postocupación, pues una vez cumple su vida útil su desmantelación no implica la utilización de maquinaria pesada. Alguna parte del material tendría potencial para su reutilización, y los residuos restantes serían producto de amarres y anclajes, reduciendo notoriamente el volumen de escombros y otros materiales sin potencial de reciclaje o reutilización.

- La selección de materiales puede favorecer las condiciones generales de confort, es importante analizar las condiciones de soleamiento y la capacidad de aislamiento que ofrecen diferentes combinaciones de materiales en cubiertas, cielos y cerramientos. En este sentido, el bambú podría favorecer la transferencia de calor a través de las superficies y estructura de las paredes mismas.

3.9 Análisis de las variables climatológicas que afectan el proyecto

El análisis de variables climatológicas realizado para investigación, se divide en dos subsecciones, una de carácter teórico y otra de carácter práctico. En la primera subsección se exponen los criterios técnicos y las herramientas utilizadas para llevar a cabo el análisis, posteriormente, se muestran los resultados obtenidos.

Las herramientas y estrategias utilizadas son las estudiadas en el curso de Técnicas Bioclimáticas, las cuales permiten comprender y visualizar de manera muy completa las condiciones climatológicas de un lugar específico. Entre estas herramientas, se encuentra el software Climate Consultant²³, el cuál interpreta archivos de datos meteorológicos EPW²⁴ los cuales derivan en una serie de gráficas sobre variables climatológicas, además de algunas estrategias y recomendaciones para la toma de decisiones en cuanto a diseño.

Una vez obtenidos estos datos climatológicos, se toman como referencia para hacer estudios de soleamiento y radiación, afectación por vientos, transferencia de calor, entre otras.

Como objetivos de este análisis, se plantea:

- Comprender y analizar la dinámica del clima local.
- Utilizar la data generada para el análisis y la toma de decisiones.

²³ Visualización interior de la propuesta en bambú, donde se aprecia el uso del bambú en diferentes formas de aplicación. Fuente: Elaborada por el autor

²⁴ EPW son archivos de datos climatológicos que obtienen sus datos de las estaciones climatológicas locales más cercanas al punto de análisis. Para este proyecto, se creó un archivo específico para las condiciones propias de Barrio Escalante, por lo que se puede estimar datos precisos.

Los gráficos, tablas y datos técnicos de estos análisis, se pueden encontrar en el Anexo 4 de esta investigación. Este anexo ahonda en cada una de las secciones; el resumen de los datos se muestra a continuación.

Resumen de los resultados del análisis de variables climatológicas: Zona de confort y recomendaciones generales.

El análisis de variables climatológicas, demuestra las condiciones de alta humedad y temperatura a las que se enfrenta el proyecto. Ante estas condiciones, es pertinente evaluar si el diseño arquitectónico responde de buena manera a estas condiciones, con el fin de observar si las estrategias de diseño son eficientes, y si no lo fueran, permitiría saber en qué puntos específicos se podría dar algún tipo de mejora.

Dado el modelo de confort aplicado para este análisis, se considera que los usuarios, deberán modificar su vestimenta para lograr satisfacer las necesidades de confort, además, se asume que las aperturas para la circulación de aire al interior de los edificios, así como para buscar la ventilación cruzada permitirán mejorar las condiciones. Otra estrategia que permite este modelo, es la utilización de abanicos eléctricos de bajo consumo, para mejorar aún más la ventilación y la sensación térmica de los ocupantes.

Complementariamente, el software Climate Consultant plantea algunas recomendaciones de diseño generales que se observan también en el Anexo 4.

Resultados del análisis de soleamiento

Las simulaciones permiten apreciar como el soleamiento afecta parcialmente las áreas expuestas, sin embargo, se aprecia también como los aleros y parasoles brindan protección de manera efectiva, impidiendo que la luz directa del sol ingrese a los recintos de mayor ocupación, ubicados en el edificio de restaurante.

La densa vegetación, viene también a convertirse en un elemento a considerar como barrera de protección natural en pasarelas y terrazas, igual que para el resto del conjunto de edificios.

En términos generales, se evidencia que, para una fecha crítica de soleamiento y altas temperaturas, el proyecto muestra un rendimiento adecuado en términos de protección contra la incidencia del sol. Se debe considerar también, como se ha dicho anteriormente, las condiciones de densa vegetación, que brindan al conjunto una barrera de protección natural.

Resultados del análisis de radiación acumulada

Del análisis de radiación acumulada, se puede determinar algunos aspectos importantes, los cuales se citan a continuación:

- Como se había determinado en el análisis de soleamiento, los aleros y parasoles permiten que recintos abiertos, como el restaurante, ingresen poca radiación directa al interior.
- Las envolventes como tales, sufrirán de altos promedios de radiación acumulada durante las épocas críticas del año, por lo que se debe tener especial cuidado con la selección de materiales a sustituir en la propuesta de diseño alternativa.
- Las terrazas y áreas abiertas reciben de igual manera altos índices de radiación, que podrían verse disminuidos por factores como la abundante y densa vegetación que rodea el proyecto.

Análisis de los resultados de transferencia de calor por cubierta y cerramientos

Si bien es cierto los datos no arrojan resultados en términos de temperatura, sino en términos de calor, podemos determinar la eficiencia de un material a través de este tipo de análisis comparativo.

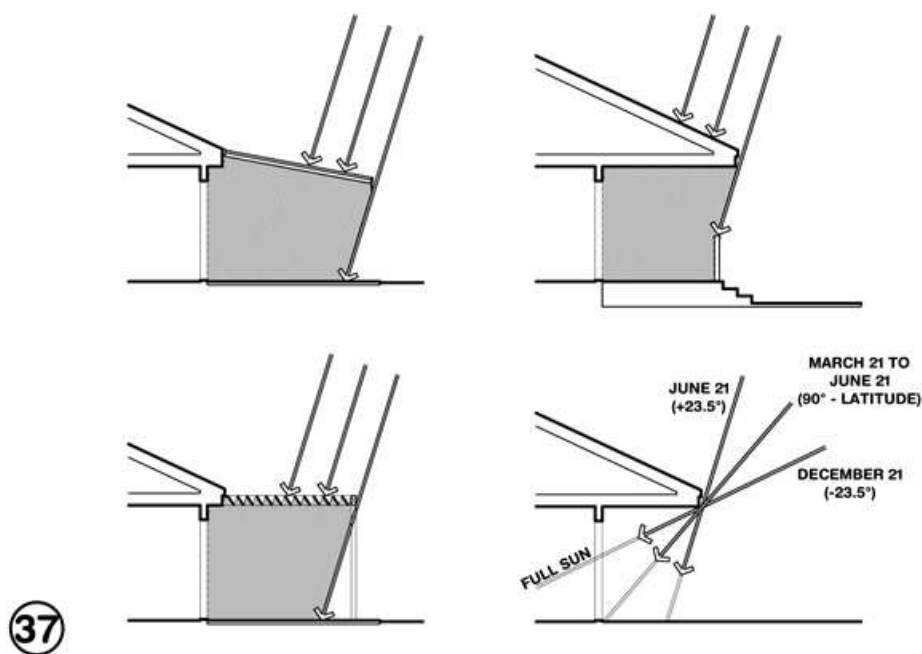
En este caso particular, se aprecia que la transferencia de calor para el material propuesto, (lámina con centro de espuma de poliestireno), es muy alta comparada con los otros dos escenarios. De esta manera, podemos concluir que una posible solución para obtener mejores rendimientos, sería optar por un panel con un núcleo de espuma de mayor espesor, caso contrario, optar por una cubierta de lámina esmaltada con un cielo liviano, ó, una cubierta de lámina esmaltada con cielo de panelería de bambú.

En este análisis, se demuestra además la mejora significativa en términos de transferencia de calor por cubiertas que podría significar el uso de cielos de bambú en combinación con otro tipo de materiales de cubierta.

Dada la baja conductancia térmica del bambú, la transferencia de calor al interior de los edificios podría verse en alguna medida minimizada, mejorando de esta manera las condiciones de confort. El análisis de los ensambles de paredes de cerramiento, también revela una disminución significativa de la transferencia de calor.

El replanteamiento en la configuración de ensambles de cubierta y paredes de cerramiento, podría significar aportes importantes al rendimiento general del edificio, así como en la reducción de la huella de carbono, al limitar el uso de aluminio y fibroyeso, sustituyéndolo estructura y cerramientos en bambú.

El detalle de los datos y los cálculos se encuentran en el Anexo 4 de este documento.



Window overhangs (designed for this latitude) or operable sunshades (awnings that extend in summer) can reduce or eliminate air conditioning

Imagen 51 -Ejemplo de diagrama de recomendaciones de diseño generado desde el software Climate Consultant.

Resultados del análisis de vientos.

Las condiciones de topografía y vegetación obligan a tomar ciertas consideraciones para favorecer la circulación de aire a los recintos de mayor ocupación. Estrategias como ventilación cruzada, aperturas y ventilación mecánica de bajo consumo, serán requeridos para satisfacer las necesidades de confort.

Sumado a la densa vegetación, se encuentra una topografía irregular que rodea el terreno. Los edificios se construirán en la terraza paralela al cauce del río, por lo que los edificios quedarán en una especie de “valle” que impide en alguna medida el paso de vientos por velocidades por encima de los 3 m/s. Esta condición no es del todo desfavorable, el análisis demuestra que si existiría circulación de masas de viento que permitan mejorar las condiciones de confort al interior de los edificios.

Hallazgos y conclusiones preliminares de las variables climatológicas y las herramientas de análisis climático

Después de este extensivo análisis de variables climatológicas y de la utilización de las herramientas de análisis, se pueden enumerar algunos apuntes importantes al respecto, lo cuales se resumen a modo de conclusiones preliminares. Estos análisis, sumado al marco conceptual de referencia, al análisis socioeconómico de la zona, las cuantificaciones de material y evaluaciones previas, permitirán la elaboración de un primer Modelo Multicriterio.

- En términos socioeconómicos, la zona muestra cierto rezago en temas como educación y oportunidades de empleo. Un proyecto de esta naturaleza podría significar la dinamización de la economía local y posibilidades de empleo y desarrollo.
- La zona donde se localiza el proyecto enfrenta duras condiciones de humedad y altas temperaturas, lo que supone consideraciones especiales para el diseño.
- El análisis a través de las diferentes herramientas empleadas, demuestra que el proyecto satisface en buena medida los requerimientos de protección contra soleamiento, así como las recomendaciones para favorecer la ventilación. La

topografía y la vegetación también juegan un papel importante en la afectación que sufran las estructuras.

- Existe posibilidad de mejorar el rendimiento del edificio, replanteando algunos componentes puntuales como cubiertas y cerramientos.
- Para lograr niveles óptimos de confort, según el modelo establecido, será necesario mantener aperturas, aleros amplios, ventilación asistida por abanicos de bajo consumo, entre otra serie de estrategias pasivas de diseño. Esta condición supone que el uso final del proyecto permitirá que el usuario modifique su vestimenta para alcanzar el nivel de satisfacción deseado.



4. EVALUACIÓN

4. Evaluación

4.1 Análisis comparativo entre las características de desempeño en sostenibilidad de un sistema constructivo en acero y un sistema constructivo en bambú

En este capítulo, se expondrán una serie de tablas, gráficos, imágenes y todo tipo de recursos gráficos para establecer una serie de comparaciones entre ambos sistemas constructivos, y finalmente, poder determinar su rendimiento a partir de los resultados de estos análisis.

El primer análisis que se lleva a cabo, pretende evaluar consideraciones generales entre un sistema constructivo y otro, suponiendo algunos criterios básicos retomados de otras herramientas utilizadas anteriormente, así como recursos bibliográficos relacionados con la construcción sostenible y los diferentes hallazgos y conclusiones de las fases anteriores. Esta valoración plantea una evaluación a partir de la disponibilidad del material, su relación con el entorno, costos, entre otras variables importantes para el análisis preliminar.

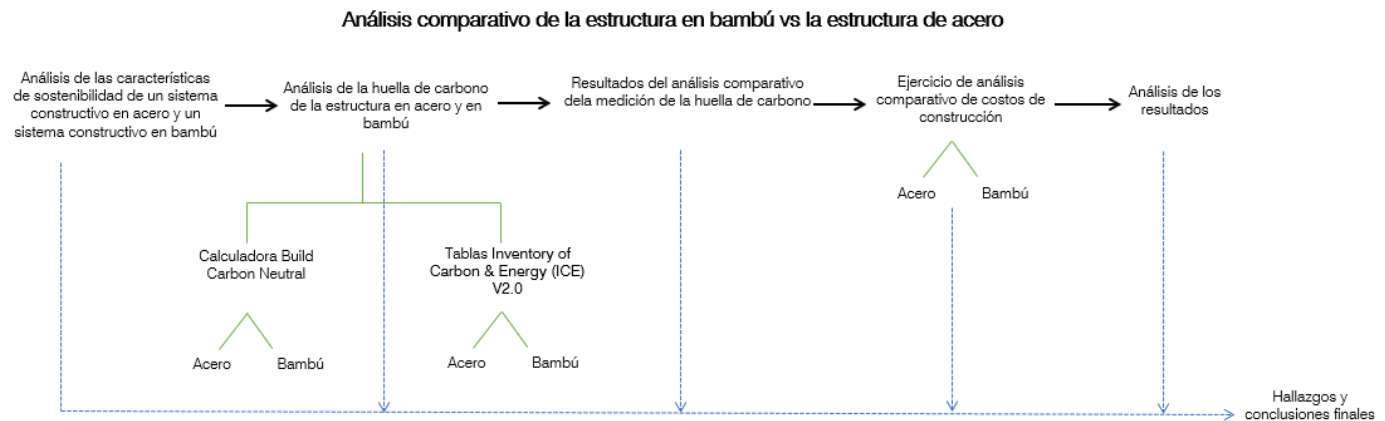


Imagen 52 - Diagrama del análisis comparativo de la estructura en bambú vs la estructura en acero. Fuente: Elaborada por el autor.

Estructura en acero, ventajas y desventajas evidenciadas en los análisis anteriores

La estructura de acero, plantea un diseño modular simple, lo que sin duda alguna favorece en temas como constructibilidad, ahorro de material y tiempos de ejecución de la obra.

Siendo acero el material primario de esta estructura, supone facilidades para la compra de material, (tal y como se muestra en el análisis de sitio y disponibilidad de material), sin embargo, algunos de los perfiles estructurales utilizados podrían ser escasos, según se comprobó en un sondeo entre diferentes depósitos de materiales de construcción de la zona. Otra desventaja del material, es su energía embebida, la cual significa una alta huella de carbón producto de los procesos de fabricación y transporte de los perfiles de acero. Sumado a esto, si los perfiles son galvanizados, sumaría de manera considerable su huella de impacto ambiental al ser la galvanización uno de los tratamientos más nocivos debido a sus necesidades energéticas y emisiones contaminantes. (Baño y Vigil, 2005)²⁵.

La alta humedad de la zona, así como la densa vegetación implican un alto costo de mantenimiento, lo que sin duda acelera también el desgaste natural de los materiales. La transformación del complejo de edificios, o su desmantelación total, supondría algún aprovechamiento de la estructura, sin embargo, el proceso podría alterar en alguna medida el entorno natural al requerir de maquinaria y equipo pesado para su demolición.

Estructura en bambú, ventajas y desventajas evidenciadas en los análisis anteriores.

La estructura en bambú, pretende retomar el diseño modular de la estructura en acero y adaptarlo a las necesidades constructivas del bambú. Como se explicó anteriormente en la investigación, el bambú es un material liviano y flexible que permite la articulación de elementos estructurales compuestos de una o varias cañas de bambú. Para la construcción en bambú se requieren herramientas simples y no es necesario equipo pesado o altamente especializado, además los equipos de trabajo suelen ser pequeños comparado con las necesidades de recurso humano y mano de obra que implican otros sistemas constructivos.

²⁵ Baño, A., y Vigil, A. (2005). Guía de construcción sostenible. España: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS).

Por otro lado, las posibles ventajas que tendría el proyecto si su estructura primaria fuera en bambú estaría directamente en relación con su capacidad de integración al entorno y facilidad para la implementación de múltiples aplicaciones arquitectónicas. Las ventajas que implica el uso del bambú, van desde una posible disminución significativa de la huella de carbono del proyecto, su costo significativamente menor en materia prima para la estructura, hasta un rápido y limpio proceso de construcción y desmantelación postocupación.

En cuanto a las características del tratamiento de las piezas de bambú, podrían considerarse tratamientos similares a los que reciben las maderas, materiales que incluyen componentes aceites y resinas naturales, se trata de tratamientos a poro abierto que requieren mayor mantenimiento que los barnices tradicionales.

Algunas de sus desventajas, radicarían principalmente en los requerimientos de inspección y mantenimiento constante de la estructura, aunque se ha dicho anteriormente que este mantenimiento no significaría un incremento en costos muy diferente al que implicaría una estructura en otro sistema constructivo, dadas las condiciones climatológicas del sitio.

Tabla 12 - Matriz comparativa de las características de cada sistema constructivo. Fuente: Elaborada por el autor.

MATRIZ COMPARATIVA DE LAS PRINCIPALES CUALIDADES DE CADA SISTEMA CONSTRUCTIVO DESDE LA PERSPECTIVA DE LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE										
	ACERO					BAMBU				
PUNTUACIÓN	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
A- Disponibilidad de materia prima					x				x	
B- Disponibilidad de mano de obra				x				x		

C- Reducción del costo de la materia prima	x	x
D- Reducción impacto ambiental producto del tratamiento de materia prima	x	x
E- Mantenimiento y durabilidad	x	x
F- Relación con el entorno	x	x
G-Reducción impacto ambiental producto del proceso constructivo	x	x
H- Demolición y postocupación	x	x
I- Posibilidades de reciclaje o reutilización	x	x
J- Retribución social y medioambiental	x	x
PUNTAJE MÁXIMO TOTAL: 50 PTS.		
PUNTAJE TOTAL	30 PUNTOS	41 PUNTOS

4.2 Hallazgos y conclusiones preliminares del análisis comparativo entre las características de sostenibilidad de un sistema constructivo en acero y un sistema constructivo en bambú.

En el primer análisis comparativo, se busca comparar las ventajas esenciales de cada uno de los sistemas constructivos, con el fin de determinar mediante 10 criterios de evaluación su potencial como sistema constructivo en términos de sostenibilidad. Estos criterios se basan en la bibliografía analizada como parte de esta investigación, principalmente en los sistemas de evaluación como LEED.

A continuación, se exponen a manera de resumen los hallazgos y conclusiones:

A- Disponibilidad de materia prima: Como se ha mencionado y detallado anteriormente, existen para ambos materiales capacidad de abastecimiento y disponibilidad, por lo que este aspecto ambos materiales reciben una buena calificación.

B- Disponibilidad de mano de obra: Los datos sobre empleo y diversificación de la oferta laboral de la zona, muestran que el turismo y la actividad agropecuaria siguen siendo las principales fuentes de empleo, por lo que la disponibilidad del recurso humano podría depender en alguna medida de mano de obra de otras áreas del país. El acero podría tener alguna ventaja en este aspecto debido a la familiaridad de constructores con las técnicas básicas para construcción en este material, por su lado el bambú requiere una supervisión más estricta durante la curva de aprendizaje.

C- Costo de la materia prima: El costo aproximado de la materia prima según los análisis de costos, (más adelante en este capítulo), suponen un precio mucho mayor en la estructura de acero comparado con una estructura en bambú. El tema de costos estimados es un tema complicado de analizar desde la perspectiva de la sostenibilidad dado que hay que evaluar el impacto desde una amplia gama de puntos de vista.

D- Impacto ambiental producto del tratamiento de materia prima: Anteriormente se expusieron algunos datos importantes sobre el tratamiento de la materia prima, que, en el caso del acero, al ser perfiles galvanizados, tendrían un impacto muy por encima de lo que

podrían tener piezas curadas de bambú con las técnicas y materiales que se expusieron anteriormente.

E- Mantenimiento y durabilidad: En este aspecto, ambas estructuras estarían expuestas a condiciones adversas de clima y requerirán el mantenimiento continuo de la estructura. La durabilidad del material está en función en el cumplimiento de dichas acciones preventivas.

F- Relación con el entorno: En términos de relación con el entorno es indiscutible las diferencias significativas que representa una estructura en acero si le comparamos con una estructura en bambú.

G- Impacto ambiental producto del proceso constructivo: Partiendo de la premisa de la simplificación de los equipos de trabajo y las herramientas, ya podría desde ahí existir una tendencia hacia procesos de construcción menos invasivos y contaminantes cuando se trabaja con bambú. La reducción en los tiempos de construcción podría ser otra variable que interviene con la calificación en este aspecto puntual.

H- Demolición y postocupación: En ambos escenarios el tema de la demolición, transformación y postocupación, no significaría un problema debido al diseño modular y a la simpleza de la estructura. Sin embargo, en términos de sostenibilidad, de nuevo el bambú presenta algunas ventajas, principalmente por su ligereza y facilidad para ensamblar y desensamblar con la utilización de herramientas y equipo simple.

I- Posibilidades de reciclaje o reutilización: Ambos materiales sugieren la posibilidad de reciclaje y reutilización. El acero, ha sido históricamente reciclado para la fabricación de nuevos productos y perfilería de acero su producción implica altos costos e impacto ambiental. Por su lado, el bambú puede ser reutilizado en la creación de todo tipo de subproductos, aprovechando al máximo el sobrante de material de construcción en bambú.

J- Retribución social y medioambiental: En términos de retribución ambiental, existe una diferencia abismal entre los beneficios que podría significar el uso de un material y otro, partiendo del potencial del bambú para transformar comunidades a través del aporte a las economías locales y sus aportes en la esfera de la sostenibilidad.

A continuación, se llevará a cabo un análisis para cálculo aproximado de la huella de carbono, utilizando las herramientas descritas para estos efectos anteriormente en la investigación.

4.3 Análisis de la huella de carbono de la estructura en acero y en bambú.

(Para detalle de los alcances y resultados de las herramientas de cálculo, referirse al Anexo 5 de este documento)

Para el cálculo comparativo de la huella de carbono del proyecto, se utilizaron las herramientas estudiadas a lo largo de la maestría, así como la bibliografía seleccionada para el curso y la investigación individual sobre el tema.

Dos herramientas en particular fueron de mucho interés. La primera, es la herramienta en línea para el cálculo de la huella de carbono de proyectos de construcción, llamada Build Carbon Neutral, la cual brinda un cálculo básico muy preliminar, la segunda, consta de una serie de tablas creadas a partir de las bases de datos de Inventory of Carbon & Energy (ICE) V2.0 de la Universidad de Bath, en Reino Unido, las cuales contienen una amplia librería de materiales e información sobre energía embebida y otros aspectos importantes para el cálculo. El detalle de los cálculos se puede ver en el anexo 2 de este documento.

Seguidamente, se muestra los resultados de la aplicación de la herramienta tanto para la propuesta estructural en acero como en bambú.

4.3.1 Cálculos realizados a través de la calculadora Build Carbon Neutral

La calculadora de huella de carbono Build Carbon Neutral, es una herramienta gratuita que permite estimaciones iniciales del impacto del edificio. La aplicación asume algunos datos, y no toma en cuenta algunos aspectos específicos del proyecto sometido a evaluación, por lo que su grado de precisión ronda el 25 %.²⁶ La calculadora toma en cuenta variables como excavación, sistema estructural, electromecánico y envolventes.

²⁶ Más información sobre los datos y las asumpciones, visitar el sitio web:

<http://www.buildcarbonneutral.org/assumptions.php>

La idea de esta iniciativa, es poder determinar la carga inicial de manera que se puedan encontrar estrategias para su balance. Esta herramienta estima la energía embebida y las cantidades de carbono liberada durante los procesos constructivos.

Es importante destacar que las regiones ecológicas que contempla la calculadora, pertenecen a Norteamérica, por lo que la región más similar a nuestro contexto sería los bosques tropicales del sur de México, por ser una región de clima tropical.

4.3.2 Hallazgos y conclusiones preliminares de los resultados de los análisis de la huella de carbono de la estructura en acero y bambú con la calculadora Build Carbon Neutral.

Hallazgos

Si bien es cierto, la herramienta de cálculo tiene sus limitantes, permite tener una idea clara del impacto potencial que podría tener el proyecto en sus diferentes propuestas, al mismo tiempo que permite establecer una métrica comparativa a partir de las modificaciones que se podrían hacer al diseño, como por ejemplo sustituir una estructura de acero por una estructura de madera o incluso una estructura mixta, que permita disminuir la huella de carbono, a partir de un caso base.

Este cálculo inicial, permite una estimación aproximada de la huella de carbono que implicaría la construcción de ambas estructuras. La información obtenida, es importante para la toma de decisiones en la búsqueda de estrategias para la reducción de la huella de carbono producto de la ejecución de un proyecto de construcción.

Otra variable a considerar, es el hecho de que se realiza el cálculo a partir del escenario supuesto de una estructura en madera y no en bambú, dadas las limitaciones de la

Las fuentes de referencia empleadas para la creación de la calculadora, en el siguiente sitio web:

<http://www.buildcarbonneutral.org/references.php>

aplicación, por lo que la huella de carbono calculada podría sobrepasar los datos que arrojaría el cálculo considerando bambú como material estructural primario.

Como un escenario adicional de referencia, se realiza el cálculo para una estructura mixta, con el fin de presentar como una posible estrategia para la reducción del impacto producto de la huella de carbono, el diseño y construcción de estructuras híbridas, que permitan algún grado de amortiguamiento en caso de no poder llevarse a cabo la opción con mejor rendimiento por cuestiones de abastecimiento de material u otras circunstancias.

Tabla 13 - Resumen de los resultados del cálculo de la huella de carbono para una estructura de acero, bambú y una estructura mixta a través de la calculadora Build Carbon Neutral. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO PARA UNA ESTRUCTURA DE ACERO, BAMBÚ Y UNA ESTRUCTURA MIXTA – BUILD CARBON NEUTRAL	
TIPO DE ESTRUCTURA	TOTAL TONELADAS DE CO₂
ACERO	912
ESTRUCTURA MIXTA (CASO SUPUESTO)	819
MADERA (BAMBÚ)	742

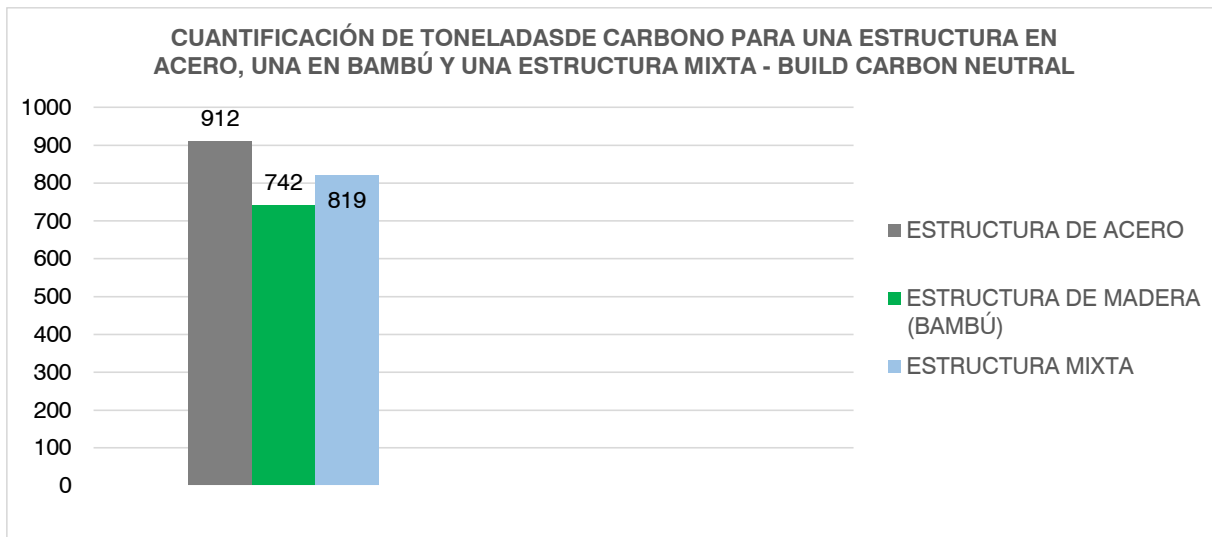


Gráfico 2 - Cuantificación de toneladas de carbono para una estructura en acero, una en bambú y una mixta.

Conclusiones

El gráfico anterior, muestra el peso que tiene cada uno de los sistemas constructivos en cuanto a la cantidad de toneladas de CO₂ emitidas según los cálculos realizados con la calculadora Build Carbon Neutral.

Este ejercicio, permite demostrar la reducción de la huella de carbono que implica el uso de materiales como bambú y madera, los cuales revelan índices de impacto mucho menores que soluciones en acero, concreto o soluciones mixtas. Algunas de las acciones puntuales que se podrían llevar a cabo como estrategia para la reducción la huella de carbono del proyecto en análisis, podría ser, como ejemplo, pasar de una estructura completamente en acero a una estructura en bambú, lo que, según la calculadora, significaría reducciones porcentuales de alrededor de hasta un 19,70 %, o de alrededor de un 10 % si se sustituye por una estructura mixta. (Para un detalle de los cálculos basados a partir de las tablas de Inventory of Carbon & Energy (ICE) V2.0, ver anexo 2)

4.4 Resumen del cálculo de la huella de carbono para ambas estructuras a través de las tablas ICE V2.0

A través de la medición de la huella de carbono para ambos escenarios, se puede determinar las diferencias en el impacto entre un sistema constructivo y otro. La diferencia entre la huella de carbono de una estructura en acero y una en bambú, es significativa. Los gráficos a continuación, comparan el desempeño de cada uno de los componentes, donde se puede apreciar como los elementos estructurales de acero y aluminio contribuyen al mayor peso de emisiones. El aluminio, principalmente, es un material que tiene una alta cantidad de energía embebida, asociada directamente a los procesos de fabricación de los perfiles livianos para paredes y cielos.

Esta herramienta permite determinar las áreas sensibles de los proyectos en términos de huella carbono y energía embebida en los materiales, y generar un plan para la selección o remplazo de los materiales con huella más alta, en miras a lograr índices de sostenibilidad más altos.

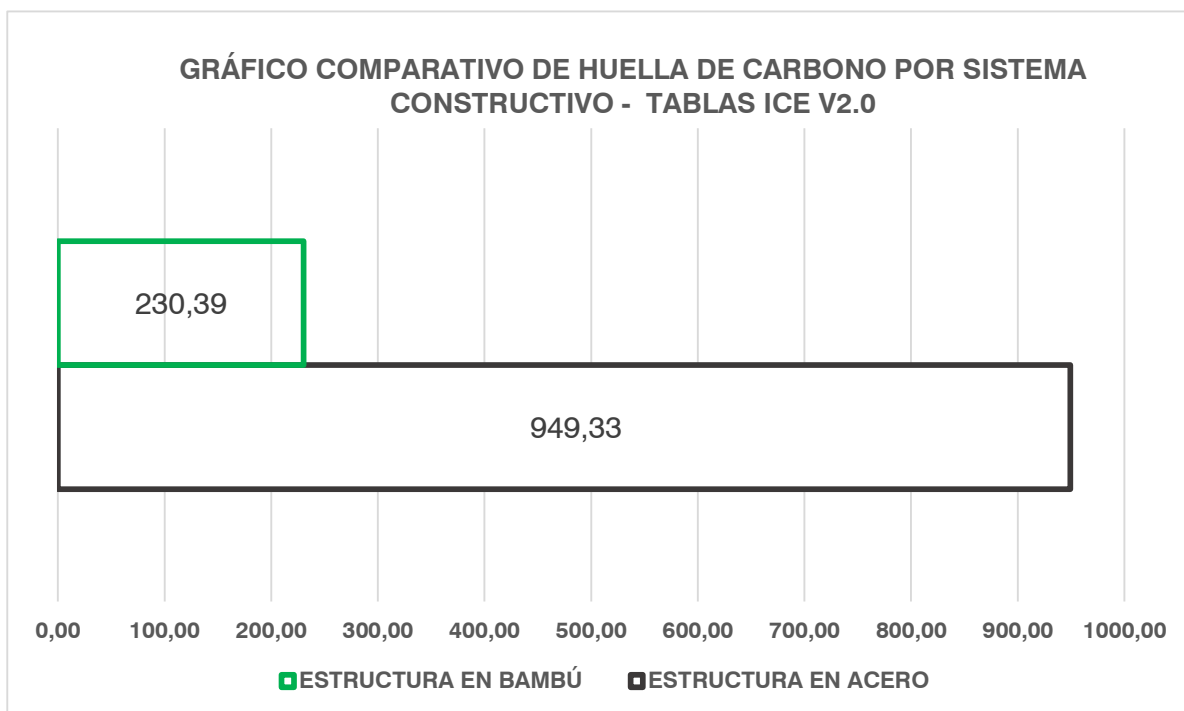


Gráfico 3 - Comparativo de la huella de carbono según sistema constructivo. Fuente: Elaborado por el autor.

A manera de resumen, se enumeran a continuación los datos más relevantes producto de la evaluación.

Tabla 14 - Resumen de las mediciones de la huella de carbono para ambas estructuras a partir de las tablas ICE V2.0. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO PARA LAS ESTRUCTURAS DE ACERO Y BAMBÚ, A PARTIR DE LAS TABLAS ICE V2.0	
TIPO DE ESTRUCTURA	CANTIDAD DE TONELADAS DE CO₂
ACERO	949,33
BAMBÚ	230,39
COMPONENTES ESTRUCTURALES CON LA MAYOR HUELLA DE CARBONO	

VIGAS Y VIGUETAS DE ENTREPISO	488,03
ESTRUCTURA DE PAREDES LIVIANAS EN ALUMINIO	173,82
PANEL DE CUBIERTA	102,54
LOUVERS DE ALUMINIO	52,28
PRINCIPALES DIFERENCIAS POR LA SUSTITUCIÓN DEL SISTEMA A BAMBÚ	
VIGAS Y VIGUETAS DE ACERO A SISTEMA EN BAMBÚ	421,65 toneladas de diferencia para una reducción del 74 %
PERFILERÍA DE ALUMINIO A ESTRUCTURA DE BAMBÚ	169,65 toneladas de diferencia, para una reducción de un 42 %.
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN PRODUCTO DE LA TRANSFORMACIÓN	75 % de reducción de la huella de carbono del proyecto.

La tabla anterior, muestra un resumen de los datos más importantes obtenidos de los cálculos, en gráfico que se muestra a continuación, pretende una visualización más clara de estos resultados. Se muestra el desglose de las mediciones por componentes.

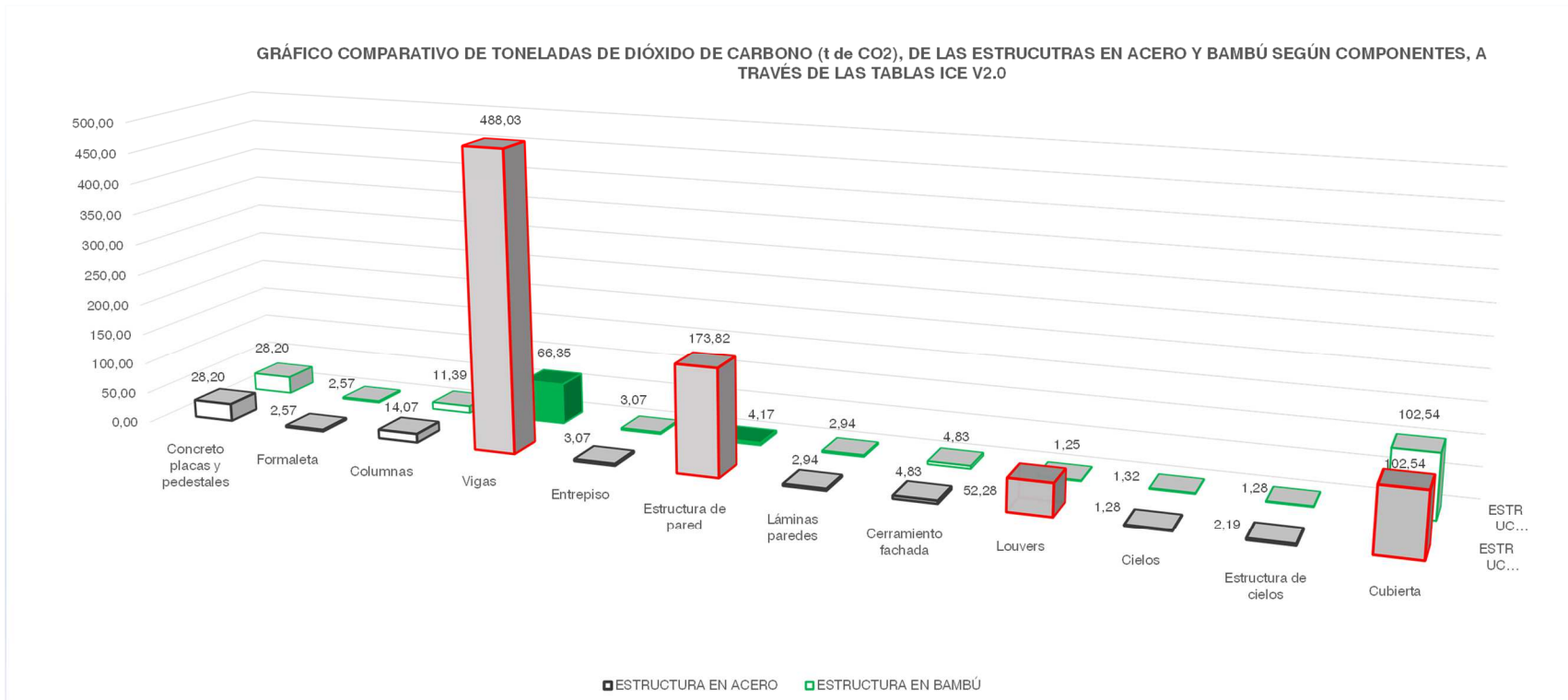


Gráfico 4 - Comparativo de toneladas de carbón liberadas de las estructuras en acero y bambú según componentes. Fuente: Elaborada por el autor.

4.5 Hallazgos y conclusiones de los resultados de la evaluación de huella de carbono para las estructuras de acero y bambú mediante las tablas ICE 2.0.

Una vez llevado a cabo el cálculo para ambas estructuras, se procede a la enumeración y explicación de los principales hallazgos y conclusiones respecto a la huella de carbono para las estructuras analizadas.

Hallazgos

En primera instancia, se podría asumir que la huella de carbono de un proyecto de construcción en bambú sería significativamente más baja que una estructura en acero, por las razones que se han venido explicando a lo largo de este documento.

Sin embargo, este tipo de análisis permite no únicamente demostrar con datos estos supuestos, sino que permite determinar cuáles de los componentes de un sistema constructivo esquemático son los que cargan con la mayor cantidad de energía embebida, y, por lo tanto, contribuyen de manera más significativa al peso total de la huella de carbono de un proyecto.

Las tablas y gráficos generados revelan las diferencias en cuanto al peso de la huella de carbono de una estructura de acero y una estructura de bambú. Es importante destacar algunos hallazgos puntuales en cuanto a reducciones en componentes estructurales de hasta un 70 % en elementos estructurales de entrepiso, y reducciones de hasta un 42 % por sustitución de la perfiles de aluminio por bambú como estructura de pared, además, un 75 % de reducción total de la huella de carbono.

Conclusiones

El ejercicio revela una disminución importante de la huella de carbono del proyecto cuando se sustituyó la estructura de acero por una estructura en bambú, principalmente en lo que tiene que ver con la estructura primaria, como en vigas y columnas, y en elementos estructurales secundarios hechos a partir de materiales como aluminio, los cuales implican una alta energía embebida y derivan en una alta huella de carbono.

4.6 Ejercicio de análisis comparativo de costos

A través de un cálculo muy general, se busca estimar el costo que podría implicar cada una de las propuestas. Para el ejercicio, se calcula el costo de los perfiles de acero, así como el de las cañas de bambú, el mantenimiento y otras variables generales. La vida útil de la estructura de bambú se calcula a 25 años, aunque, según la información presentada anteriormente este período de tiempo podría ser de hasta 50 años con las condiciones de mantenimiento adecuadas.

El ejercicio, consiste en calcular el valor presente neto, (VPN o también VAN). Dado que el cálculo contempla sólo los gastos, el mejor rendimiento se obtendría por el sistema que demuestre un VPN más bajo, es decir, un gasto total menor.

Para llevar a cabo este ejercicio, se plantean algunos supuestos para ambos escenarios, evaluando específicamente la estructura primaria de acero y bambú. Para este ejercicio se contó con un presupuesto inicial realizado para la estructura de acero, el cual se expone a continuación.

Tabla 15 - Presupuesto inicial real del anteproyecto, con estos datos se hizo el cálculo aproximado del costo de la estructura de acero

RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/UNIT	TOTAL	%
1	CONSTRUCCION DE PISCINA	UN	1	\$104.000	\$104.000	7,07%
2	SISTEMA ELECTRICO CONJUNTO	UN	1	\$136.500	\$136.500	9,28%
3	EXCAVACION, SUSTITUCION	UN	1	\$25.650	\$25.650	1,74%
4	PLACAS Y PEDESTALES	UN	1	\$72.900	\$72.900	4,96%
5	ESTRUCTURA METALICA ENTREPISOS	UN	1	\$268.200	\$268.200	18,23%
6	ESTRUCTURA METALICA DE TECHOS	UN	1	\$194.950	\$194.950	13,25%
7	INSTALACIONES MECANICAS	UN	1	\$38.200	\$38.200	2,60%
8	INSTALACIONES ELECTRICAS	UN	1	\$51.300	\$51.300	3,49%
9	LOZA SANITARIA Y GRIFERIA	UN	1	\$19.156	\$19.156	1,30%
10	PARTICIONES LIVIANAS DE BAÑOS	UN	1	\$16.706	\$16.706	1,14%
11	PISOS FIBROLIT 25 MM	UN	1	\$20.000	\$20.000	1,36%
12	PAREDES LIVIANAS	UN	1	\$44.800	\$44.800	3,05%
13	CUBIERTAS DE TECHO	UN	1	\$45.100	\$45.100	3,07%
14	PISOS	UN	1	\$12.500	\$12.500	0,85%
15	PUERTAS Y CERRAJERIA	UN	1	\$7.500	\$7.500	0,51%
16	VENTANERIA Y LOUVERS	UN	1	\$25.000	\$25.000	1,70%
17	CIELOS	UN	1	\$27.800	\$27.800	1,89%
18	BARANDAS RAMPAS Y TERRAZAS	UN	1	\$60.000	\$60.000	4,08%
19	PINTURA GENERAL	UN	1	\$15.000	\$15.000	1,02%
20	ENCHAPES GENERALES	UN	1	\$25.000	\$25.000	1,70%
21	LIMPIEZA DIARIA Y FINAL	UN	1	\$8.000	\$8.000	0,54%
23	IMPREVISTOS GENERALES	%	5,0%	\$1.218.262	\$60.913	4,14%
24	ADMINISTRACION Y UTILIDAD	%	15,00%	\$1.279.175	\$191.876	13,04%
	TOTAL GENERAL				\$1.471.051	100,00%

Tabla 16 - Variables y costos aproximados de la inversión inicial de la estructura de acero. Fuente: Elaborada por el autor.

VARIABLE	COSTO SUPUESTO APROXIMADO
ESTRUCTURA DE ACERO	₡ 345,709.000
TRANSPORTE	₡ 3,500.000
ALMACENAJE	₡ 2,500.000
ANTICORROSIVO	₡ 2,500.000
PINTURA	₡ 3,500.000
MANTENIMIENTO ²⁷	₡ 500,000
TOTAL APROXIMADO	₡ 358,209.000

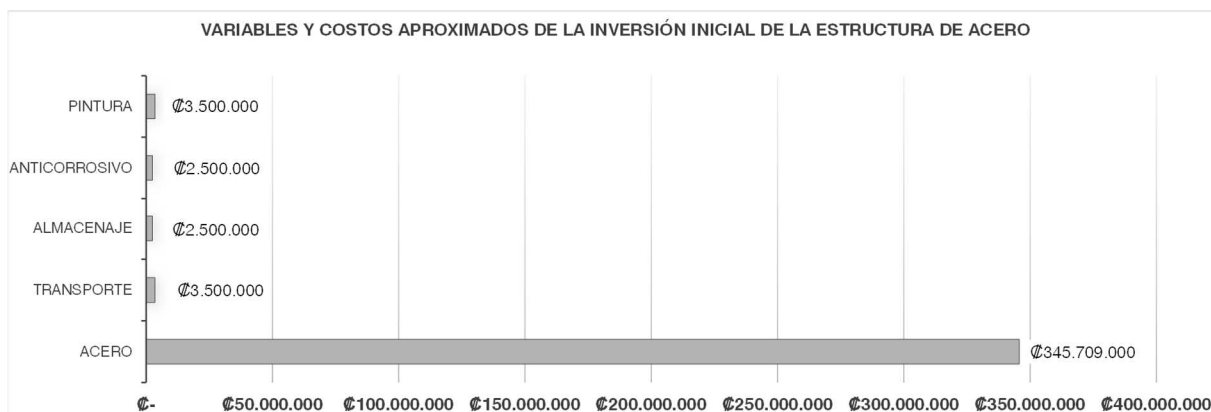


Gráfico 5 - Inversión inicial en acero. Fuente: Elaborado por el autor.

El gráfico de la inversión inicial en acero, demuestra un alto costo de la materia prima. El material, supone, además, la necesidad de construir un espacio para el óptimo almacenaje.

²⁷ Los costos de mantenimiento, asumen un costo por remplazo de algún perfil de acero, así como por pintura o anticorrosivo.

En cuanto al transporte y abastecimiento de material, el uso de perfiles estructurales específicos podría generar algunas dificultades para encontrarlos en el mercado local.

Por su lado, la inversión inicial en bambú, supone un costo muchísimo menor al acero, incluso incluyendo transporte desde diferentes zonas de producción. El almacenaje, supone condiciones iguales de la estructura de acero, y similares en cuanto a impermeabilizado y acabado de las cañas de bambú.

Tabla 17 - Variables y costos aproximados de la inversión inicial de la estructura de bambú. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA DE VARIABLES Y COSTOS APROXIMADOS DE LA INVERSIÓN INICIAL DE LA ESTRUCTURA DE BAMBÚ	
VARIABLE	COSTO SUPUESTO APROXIMADO
ESTRUCTURA DE BAMBÚ	₡ 300,000.000
TRANSPORTE	₡ 3,500.000
ALMACENAJE	₡ 2,500.000
ANTICORROSIVO	₡ 2,500.000
PINTURA	₡ 3,500.000
MANTENIMIENTO ²⁸	₡ 250,000
TOTAL APROXIMADO	₡ 309,750.000

²⁸ Los costos de mantenimiento, asumen un costo por remplazo de algún perfil de bambú, así como por pintura o anticorrosivo.

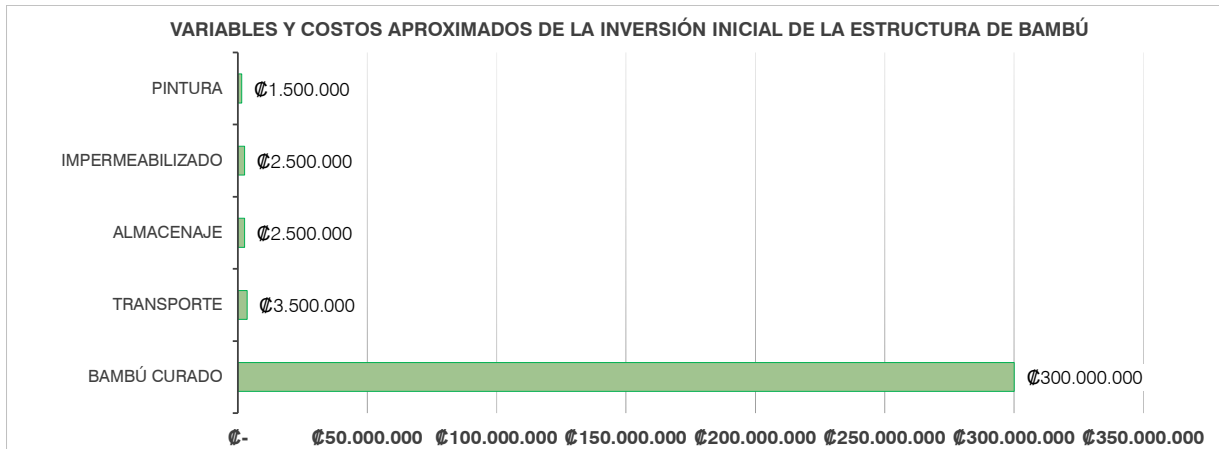


Gráfico 6 - Inversión inicial en bambú. Fuente: Elaborado por el autor.

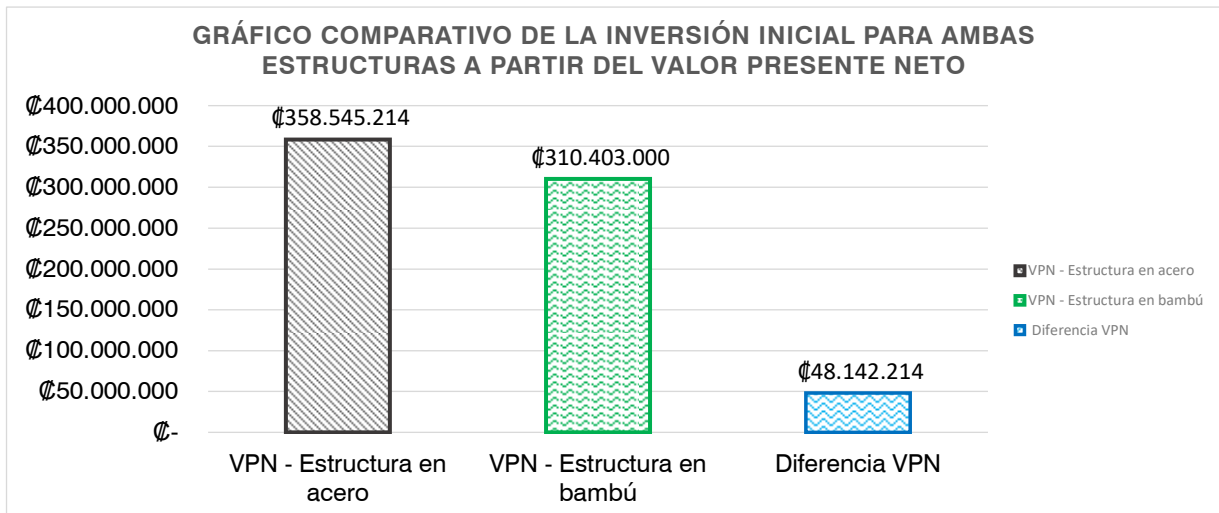


Gráfico 6 - Diferencia de costos a través de la fórmula de Valor Presente Neto. Fuente: Elaborada por el autor.

4.7 Hallazgos y conclusiones del análisis de costos entre las estructuras en acero y bambú.

Hallazgos

El Valor Presente Neto, o VPN, es una fórmula que considera los flujos de la empresa, actuales y futuros actualizados al costo del capital. En el caso de este ejercicio, no existen ingresos, sino que se elabora una tabla de costos iniciales, además se define un costo de

mantenimiento proyectado a un plazo de análisis de 25 años. El ejercicio no considera depreciación ni incrementos en los costos de mantenimiento.

Habiendo llevado a cabo el ejercicio, se observa una diferencia de $\text{C}\$48,142.214$, lo que representa alrededor de un 14 % de reducción de costos entre la estructura de acero la estructura de bambú.

Conclusiones

El análisis pretende un acercamiento al tema de costos de materiales desde una óptica comparativa, contemplando algunas variables importantes para su determinación. Sin embargo, cabe destacar que el costo económico, no es el único costo asociado al proyecto, pues habría que considerar aspectos como el costo ambiental y social que implica la construcción de proyectos en acero cuando se le compara con proyectos de construcción desarrollados en bambú.

Dicho esto, podemos de igual manera destacar la reducción de costos de al menos un 14 % que podría significar la construcción en bambú, por lo que existe un ahorro considerable en materiales al mismo tiempo que contribuye notoriamente a la reducción de la huella de carbono y aporta otra serie de beneficios adicionales que han sido expuestos de manera recurrente a lo largo de esta investigación.

Según el rango de posibilidades de éxito del proyecto, definido al inicio del ejercicio, el proyecto una vez llevado a cabo el replanteamiento de su sistema estructural, supone una mejora en algunos de los aspectos que involucran la esfera medioambiental, social y económica del proyecto.

4.6.2. Hallazgos y conclusiones de los análisis de evaluación

La siguiente tabla, resume los principales hallazgos y conclusiones de la fase de evaluación. Al igual que se hizo en otros capítulos, se divide los hallazgos y conclusiones en diferentes temas puntuales, asociados a los análisis y herramientas llevados a cabo en este capítulo. En esta tabla se resumen los datos comparativos, de manera que se pueda visualizar de manera integral los alcances de la reconfiguración de la estructura de acero a una estructura de bambú.

Tabla 18 - Hallazgos y conclusiones de la fase de Evaluación. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA DE HALLAZGOS Y CONCLUSIONES DE LA FASE DE EVALUACIÓN
Análisis comparativo entre las características de sostenibilidad de un sistema constructivo en acero y un sistema constructivo en bambú
Hallazgos y conclusiones
<p>Esta evaluación se basa en las cualidades de cada sistema constructivo desde la óptica de la sostenibilidad. El objetivo es determinar las ventajas potenciales de cada uno de los sistemas constructivos. En este primer análisis, el bambú se coloca como la opción más viable debido a sus aportes significativos en términos de retribución social y medioambiental, así como a nivel de costos y relación con su entorno natural.</p> <p>Se puede concluir que el bambú es una opción a considerar cuando se quieran lograr altos niveles de desempeño en términos de sostenibilidad.</p>
Cálculos de huella de carbono para las estructuras de acero y bambú
Build Carbon Neutral
Hallazgos y conclusiones
<p>El análisis comparativo de la huella de carbono a través de la calculadora en línea Build Carbon Neutral, permitió determinar de manera preliminar los datos de huella de carbono asociados a ambas estructuras, datos que posteriormente se refinarían con el cálculo a través de las tablas ICE V2.0.</p> <p>Como conclusiones respecto a este análisis básico para el cálculo de la huella de carbono, se puede mencionar las reducciones importantes de hasta un 19,70 % de las emisiones de gases de efecto invernadero, o se podrían tomar soluciones alternativas, como la creación de estructuras híbridas, lo que podría reducir el impacto en hasta un 10% con respecto a la estructura de acero.</p>

Es importante mencionar que los datos de este análisis se calcularon a partir de una estructura de madera, por lo que podría existir niveles aún más altos de reducción versus la estructura de acero.

TIPO DE ESTRUCTURA	TOTAL TONELADAS DE CO ₂
ACERO	912
ESTRUCTURA MIXTA	819
MADERA (BAMBÚ)	742

Tablas Inventory of Carbon & Energy, ICE V2.0

Hallazgos y conclusiones

Para este análisis, se consideraron los componentes estructurales y arquitectónicos más importantes del proyecto, con el fin de determinar con mayor grado de precisión la huella de carbono de cada una de las estructuras. Se utilizó como referencia las tablas para determinar los coeficientes de los materiales, y así, poder hacer una sumatoria de datos para cada uno de los sistemas constructivos.

Se concluye que gran parte de la carga de la huella de carbono, radica en los metales, principalmente el aluminio, debido a sus procesos de manufactura, igual que el acero. Estas reducciones son evidentes cuando se sustituye sistemas de columnas, vigas y entrepiso por elementos en bambú, tal como lo muestran los gráficos generados en esta sección del análisis. La reducción total de la huella de carbono, producto de la transformación a una estructura de bambú, es de alrededor del 75%.

TIPO DE ESTRUCTURA	CANTIDAD DE TONELADAS DE CO ₂
ACERO	949,33
BAMBÚ	230,39

PRINCIPALES DIFERENCIAS POR LA SUSTITUCIÓN DEL SISTEMA A BAMBÚ

VIGAS Y VIGUETAS DE ACERO A SISTEMA EN BAMBÚ	421,65 toneladas de CO₂ de diferencia, para una reducción del 74 %
---	--

PERFILERÍA DE ALUMINIO A ESTRUCTURA DE BAMBÚ	169,65 toneladas de CO₂ de diferencia, para una reducción de un 42 %.
---	---

REDUCCIÓN TOTAL PRODUCTO DE LA TRANSFORMACIÓN DE ACERO A BAMBÚ	En términos generales, se aprecia una reducción aproximada del 75% de la huella de carbono.
---	--

Ejercicio de análisis comparativo de costos

Hallazgos y conclusiones

El análisis comparativo de costos, pretende abordar un tema sobre el cual existen aún algunos vacíos, el tema de costos de construcción en bambú. El ejercicio basa en algunos supuestos, además de una estimación de costos a partir de la cuantificación de material para las estructuras de acero y bambú. En este caso, se proyecta a futuro el costo de ambas estructuras considerando factores como el mantenimiento y los insumos necesarios para llevarlo a cabo de manera periódica.

A través de este análisis esquemático se puede obtener una comparación de costos, donde se aprecia una diferencia de alrededor de ₡48.000.000, lo que significaría un ahorro potencial de hasta un 14 %, importante para proyectos de esta naturaleza que apunten hacia la construcción sostenible.

COSTO APROXIMADO DE LA ESTRUCTURA DE ACERO	COSTO APROXIMADO DE LA ESTRUCTURA DE BAMBÚ
₡ 358,209.000	₡ 309,750.000

AHORRO POTENCIAL DE HASTA UN 14 % EN COMPARACIÓN CON
LA ESTRUCTURA DE ACERO

A continuación, se muestra un gráfico que permite visualizar de manera completa el alcance y los resultados del análisis comparativo.

Gráfico 7 - Resumen de los resultados del análisis comparativo. Fuente: Elaborada por el autor.

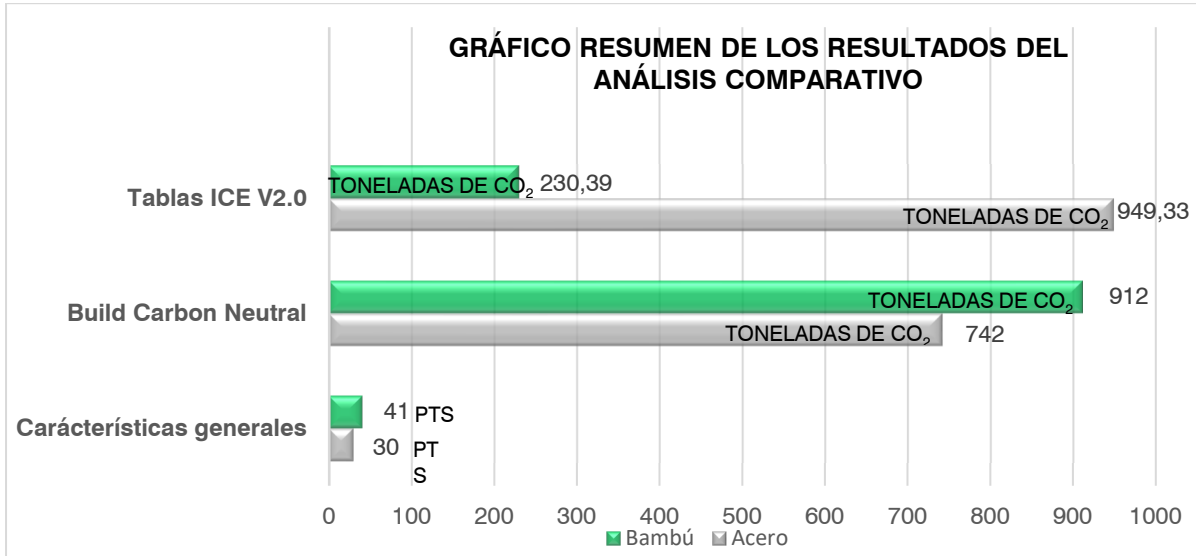
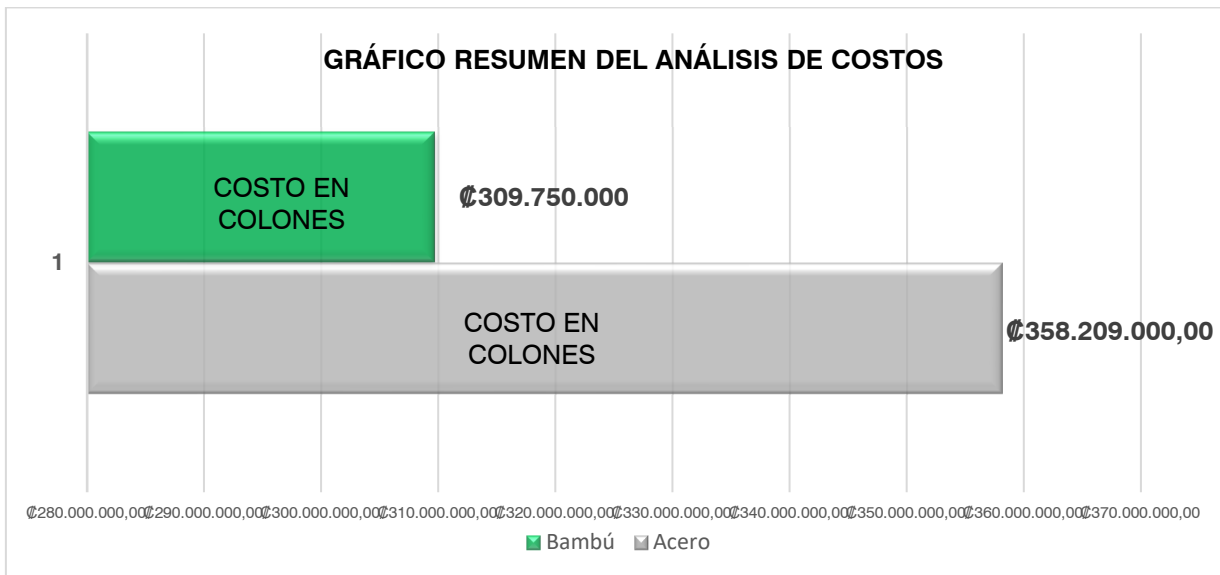


Gráfico 8 - Resumen del análisis de costos. Fuente: Elaborada por el autor.





5. HALLAZGOS Y CONCLUSIONES DE CIERRE
DE LA INVESTIGACIÓN

5. Hallazgos y conclusiones de cierre de la investigación

5.1 Cierre de la investigación

A lo largo de cada apartado de este documento, se han venido realizando una serie de análisis, conclusiones y hallazgos preliminares, los cuales han servido a la vez, como base para el desarrollo de las conclusiones finales de esta investigación.

Como estrategia para delimitar y entender el resultado, se plantean las conclusiones finales de manera que permitan demostrar los niveles de éxito, ó, por otro lado, las dificultades y desventajas que implicaría el uso de un material como el bambú para un proyecto de esta naturaleza.

Las conclusiones, se realizan analizando los resultados desde tres diferentes puntos de vista, con el fin de determinar con mayor detalle el alcance logrado en la investigación. La división de los hallazgos y conclusiones desde diferentes aproximaciones, ha sido una constante a lo largo del trabajo, la cual se mantiene para el cierre de este documento.

Finalmente, se presenta un gráfico resumen, el cual muestra la calificación obtenida para cada uno de los sistemas constructivos en cada uno de los análisis realizados como parte del desarrollo del trabajo. Este gráfico, busca generar una lectura rápida y detallada de los análisis y ejercicios realizados a lo largo de toda la investigación, de manera que pueda observarse de manera comparativa el desempeño mostrado por cada una de las estructuras.

5.1.1 Hallazgos y conclusiones en el ámbito medioambiental, socioeconómico y cultural en relación con la modificación de la propuesta de acero a bambú.

A pesar de la carencia de incentivos y políticas públicas para el desarrollo de construcciones sostenibles, es importante destacar la consciencia medioambiental que ha venido en crecimiento durante los últimos años, situación que se refleja en la sociedad, en la industria y en la formación de profesionales involucrados en el ejercicio de la arquitectura y construcción.

Como se mencionó en el desarrollo del marco de referencia de esta investigación, múltiples autores han abordado el tema de la sostenibilidad desde diferentes perspectivas, que incluyen la esfera ambiental, social y económica. Dentro de los retos que vive la sociedad actual, se encuentra el de satisfacer sus necesidades básicas elementales desde una visión de sostenibilidad, que desacelere en alguna medida el agotamiento de los recursos naturales, es en esta línea donde la arquitectura puede jugar un papel importante como escenario posibilitador del cambio.

El reto de los profesionales, en esta dirección, será el de proponer soluciones que mejoren el rendimiento y eficacia del diseño y construcción de edificios. Las estrategias a desarrollar, implican acciones en la reducción del consumo de energía, así como la selección y el uso de materiales con bajos niveles de energía embebida, además de materiales regionales, tratados de manera segura y responsable, con el objetivo de reducir el desperdicio y minimizar la huella de carbono.

El desarrollo de proyectos de construcción sostenible, implica retribuciones directas sobre la esfera ambiental, social, y económica. En el caso del bambú, encontramos un material que comparativamente con otros materiales como el acero, demuestra, a partir de los resultados de esta investigación, un gran potencial para la conservación de los recursos naturales a través de los servicios ecosistémicos regenerativos, así como de sus posibilidades para la creación de emprendimientos relacionados con el cultivo, la producción de materia prima, la industria alimentaria y macrobiótica, turismo, educación medioambiental, y el uso del bambú para la generación de otras actividades económicas paralelas como la artesanía y la construcción de muebles.

Dentro de esta dinámica de reactivación de las economías locales a través de proyectos de construcción en bambú, se hallaron ejemplos locales de suma importancia, como el caso de la escuela de Carate en Península de Osa, cuya construcción, trajo consigo la creación de un nuevo hito turístico debido a sus buenas prácticas de operación, su baja huella de carbono, y la reducción del impacto ambiental a través de estrategias como la captación, reutilización y tratamiento de aguas, así como el abastecimiento de energía a través de la instalación de paneles fotovoltaicos.

Estos esfuerzos, demuestran el poder de la arquitectura para transformar de manera positiva las economías y comunidades locales, y del bambú como material de construcción que favorece las acciones en torno a la sostenibilidad y el cambio climático. *Se concluye que comparativamente el bambú, supera por mucho el rendimiento del acero en términos de sostenibilidad, desde sus procesos de extracción y fabricación, hasta los beneficios de valor agregado que le convierten en un material viable y de mucha importancia para el diseño y construcción de edificios enfocados en la sostenibilidad y la reducción del impacto ambiental.*

Por lo tanto, la conversión de la estructura de acero a bambú se considera viable, sobre todo si se analiza la naturaleza tipológica del proyecto, que se enfoca principalmente en la actividad turística. *Según los hallazgos de esta investigación, para el tipo de estructura propuesta podría haber incluso algunos ahorros significativos producto de la transformación.*

5.1.2 Antecedentes, disponibilidad de materia prima, capacitación y mano de obra para el desarrollo de proyectos en acero y bambú.

Si bien es cierto, la construcción en bambú en el país comienza a incrementar no solo en cantidad, sino también en cuanto a la diversidad y complejidad de proyectos que se llevan a cabo, el crecimiento y la popularidad del material en cuanto a sus capacidades ambientales y técnico constructivas no ha crecido de una manera tan acelerada como debería. Sin embargo, en el país existen actualmente importantes centros de producción de bambú y materia prima para construcción, ubicados principalmente en la zona sur del país, pero con focos de producción en crecimiento en las diferentes regiones del territorio. Esta condición, favorece en alguna medida el abastecimiento potencial de recursos a nivel local, y supone el

desarrollo de algunos emprendimientos relacionados con el tema del bambú. En términos de disponibilidad de mano de obra, la construcción en acero se asume como una de las técnicas más conocidas y difundidas entre los constructores del país, por lo que el acceso a mano de obra calificada no significaría alguna dificultad.

El bambú, dadas sus cualidades estructurales, como resistencia, peso y flexibilidad, requiere el uso de herramientas simples, y no se condiciona exclusivamente a equipos de trabajo con mano de obra especializada, pues bajo la guía de profesionales con conocimiento de las técnicas es posible llevar a cabo el desarrollo y ensamble de los componentes estructurales y arquitectónicos. Para el dominio de estas habilidades, se llevan a cabo talleres, seminarios entre otras actividades complementarias, además, se publican boletines, revistas, análisis, reportes, trabajos de investigación, normas técnicas, manuales de construcción y todo tipo de recursos que permiten el diseño y el cálculo, (realizado por un profesional en ingeniería estructural), de estructuras en bambú de todo tipo y escala.

Otra posibilidad interesante del material, es la *inclusión de mano de obra femenina en cuadrillas de trabajo, que usualmente, han sido conformadas por trabajadores hombres. esta posibilidad se abre debido a las cualidades del material y a la trabajabilidad que permite el corte y armado de estructuras sin realizar grandes esfuerzos físicos, a diferencia de materiales como el acero o el concreto.*

Como se mencionó anteriormente en la investigación, el desarrollo y difusión de la construcción de bambú a nivel local, dependerá en gran medida del *compromiso de los profesionales en arquitectura y construcción, así como de las mejoras en las políticas públicas para el impulso de la industrialización del bambú, la asistencia técnica, el financiamiento, la investigación y la capacitación, así como facilidades para la colocación de productos en el mercado local e internacional, de manera que el negocio se vuelva atractivo y económicamente viable para emprendedores y sectores involucrados en el tema.*

En términos de desempeño medioambiental, que es en esencia el interés de este análisis comparativo, materiales como el acero se ven muy por debajo de los rendimientos obtenidos por materiales para construcción de producción local, como es el caso de las maderas y el

bambú. Como se ha mencionado anteriormente, la producción del acero implica el consumo de grandes cantidades de energía, así como también agresivas modificaciones a los ecosistemas producto de la actividad minera para la extracción de metales.

Se concluye que, a pesar de algunas limitaciones, *existen antecedentes que demuestran el desarrollo de la construcción en bambú en el país, tanto en el sector público como privado, por lo que el acceso a mano de obra calificada para la construcción en este material se encuentra en alguna medida disponible. Se hallaron también gran cantidad de recursos para el aprendizaje y la formación en el tema, además, grupos de profesionales apasionados por el bambú, quienes llevan a cabo grandes esfuerzos por la difusión del conocimiento y los beneficios que trae consigo su integración a los proyectos de construcción sostenible.*

5.1.3 Servicios ambientales y reducción del peso de la huella de carbono, producto de la transformación de acero a bambú.

Según los hallazgos encontrados en lo referente a la contribución medioambiental que ofrece el bambú, se encuentra el tema de los servicios ambientales. *El bambú, permite la preservación de las cuencas hidrográficas, previene la erosión y facilita la recuperación de nacientes y zonas deforestadas, además, la actividad del bambú se alinea con los esfuerzos y el compromiso asumido por el país para la desaceleración del cambio climático, dada su alta capacidad para la captura de carbono, calculada en 260,6 toneladas por hectárea.*²⁹

Estos beneficios y oportunidades que muestra el bambú, no son comparables ni alcanzables por un material como el acero, por lo que analizándolos de manera comparativa *el bambú demuestra un altísimo desempeño en cuestiones de sostenibilidad y reducción del impacto ambiental.* El bambú, se cultiva y manufactura a nivel local, lo que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a procesos de manufactura y transporte, en este aspecto el bambú muestra también mucho mejores resultados, dado que el acero se produce e importa en su gran mayoría desde China y otros grandes mercados.

²⁹ Fallas, L (2017). Reflexiones sobre el cultivo y la transformación del bambú en Costa Rica. FUNDEBAMBU.

Se concluye respecto al cálculo de la huella de carbono del proyecto en análisis, que *existe un aporte significativo del bambú, dadas sus cualidades como material de baja energía embebida, lo que al final deriva en una baja muy considerable en la huella de carbono del proyecto en comparación con la estructura de acero, con reducciones porcentuales de hasta un 75 %, pasando de una huella de 949,33 toneladas de CO₂ a 230,39 toneladas de CO₂.*

5.1.4 Implicaciones comparativas del acero y del bambú en el ámbito constructivo-arquitectónico

El desarrollo de esta investigación, ha permitido determinar algunos aportes importantes del bambú en términos de sostenibilidad, además, demostró ser una solución arquitectónica que permite infinitas posibilidades de innovación y aprovechamiento del material a través de la construcción de elementos estructurales, así como paredes, cerramientos y cielos.

Inicialmente, el bambú estuvo vinculado a la construcción de viviendas de interés social, así como de estructuras menores, sin embargo, *en la actualidad proyectos de toda escala y tipología se construyen con bambú como material primario de construcción.* En el mercado local, existen varias especies utilizables para la construcción, con diferentes cualidades estéticas y de aplicación, lo que le convierten en un material muy versátil y con alto valor estético.

Comparativamente con el acero, existen algunos hallazgos interesantes de señalar. Por ejemplo, en cuanto al mantenimiento, se entiende que las condiciones del clima donde se ubica el proyecto, implican un mantenimiento constante, independientemente del sistema constructivo en que se lleve a cabo, y que los costos podrían ser similares o incluso menores para la estructura de bambú.

En cuanto al aprovechamiento de materiales postconstrucción y la gestión de residuos, *el bambú muestra múltiples opciones de aprovechamiento, mientras que el acero únicamente se reutiliza o se recicla exclusivamente para producción de nuevos perfiles y piezas metálicas.* Como se comentó anteriormente, existen actualmente múltiples posibilidades para el aprendizaje de las técnicas de construcción en bambú, por lo tanto, será parte del compromiso de cada profesional la capacitación y la puesta en práctica del material de una

manera ingeniosa e innovadora, con el fin de lograr construcciones con un menor impacto al de las estructuras tradicionales en acero y otros sistemas constructivos.

En cuanto los costos, se ha mencionado anteriormente que se debe analizar esta variable desde una visión integral, que valore no únicamente costos económicos, sino también sociales y ambientales. En este sentido, el bambú mostró un buen desempeño, *logrando una reducción importante del costo económico de la estructura, de alrededor del 14 % del costo total de la estructura de acero.*

5.1.5 Acreditaciones y Normas Técnicas que respaldan el diseño y construcción con bambú.

Siendo la sostenibilidad y la reducción del impacto sobre el medio ambiente uno de los paradigmas de la arquitectura contemporánea, toma gran validez e importancia el conocimiento de los sistemas de certificación para edificaciones y construcción sostenible, como es el caso de RESET, para el ámbito local, y múltiples certificaciones internacionales como LEED, EDGE, entre otras.

Es importante destacar, que más allá de orientar los esfuerzos en busca de una certificación, se debería tomar como norma todas aquellas buenas prácticas que mejoren el entorno y la calidad de vida de las personas a las que afecta directamente el proyecto.

Como hallazgos interesantes, se menciona, además de la norma RESET, la norma INTE B5:2016, Norma para demostrar la Carbono Neutralidad. Esta norma puede utilizarse para declaraciones de Carbono Neutralidad, así como criterio de evaluación para declaraciones de tercera parte por organismos de verificación y validación internacionales.

Si bien es cierto en cuanto a la construcción no existe una norma técnica local para el uso del bambú, sin embargo, se podría citar como referencia la Norma E.100, de origen peruano, así como los diversos manuales e investigaciones a nivel local y regional, principalmente de países con gran experiencia en el desarrollo de proyectos de construcción en bambú, como Colombia y Ecuador.

5.1.7 Establecimiento de beneficios ambientales y económicos

La tabla que se muestra a continuación, resume los rendimientos generales de los análisis a los que se sometieron las estructuras en acero y bambú, de manera que se pueda visualizar de manera sintetizada los alcances y resultados recopilados a lo largo de la investigación.

Según los hallazgos encontrados en lo referente a la contribución medioambiental que ofrece el bambú, se encuentra el tema de los servicios ambientales. El bambú, permite la preservación de las cuencas hidrográficas, previene la erosión y facilita la recuperación de nacientes y zonas deforestadas, además, la actividad del bambú se alinea con los esfuerzos y el compromiso asumido por el país para la desaceleración del cambio climático, dada su alta capacidad para la captura de carbono, calculada en 260,6 toneladas por hectárea. (Fallas, 2017)

Estos beneficios y oportunidades que muestra el bambú, no son comparables ni alcanzables por un material como el acero, por lo que analizándolos de manera comparativa el bambú demuestra un altísimo desempeño en cuestiones de sostenibilidad y reducción del impacto ambiental. El bambú, se cultiva y manufactura a nivel local, lo que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a procesos de manufactura y transporte, en este aspecto el bambú muestra también mucho mejores resultados, dado que el acero se produce e importa en su gran mayoría desde China y otros grandes mercados.

Tabla 19 - Comparativa resumen de los rendimientos obtenidos para la estructura de acero y bambú a lo largo de la investigación. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA COMPARATIVA RESUMEN DE LOS RENDIMIENTOS OBTENIDOS PARA LA ESTRUCTURA DE ACERO Y BAMBÚ A LO LARGO DE LA INVESTIGACIÓN		
	Estructura de acero	Estructura de bambú
ANÁLISIS, OBJETIVO O HALLAZGO		

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	El acero no demuestra aportes importantes. Al ser, por el contrario, uno de los materiales, junto con la perfilería de aluminio y el concreto, que más suma al cálculo de la huella de carbono.	El bambú demuestra alinearse con los objetivos y estrategias para la reducción de la huella de carbono y el cambio climático.
Desarrollo de la construcción sostenible	Una estructura en acero no condiciona el factor sostenibilidad por sí misma, sin embargo, queda demostrado el impacto de la producción y manufactura del acero. Sumado a esta condición, se suma el impacto producto de la construcción misma, impacto que podría afectar el ambiente de diferentes maneras, por medio de procesos de construcción que involucran maquinaria pesada o equipo de alto consumo de energía, requerido usualmente	El bambú ha demostrado un importante aporte en la reforestación, regeneración de cuencas hidrográficas y otros servicios ambientales como la fijación de carbono. Definitivamente el bambú es un material referente de la construcción sostenible

	para cortar y ensamblar la estructura.	
Aportes importantes en las evaluaciones de los diferentes sistemas de certificación en construcción sostenible	Para el acero, los potenciales ahorros y reconocimiento, estarían asociados con el diseño inteligente de sistemas estructurales que minimicen el desperdicio y la cantidad de acero requerido, sin embargo, el material como tal no aporta ningún valor agregado dentro de las evaluaciones de sostenibilidad.	Por su lado, el bambú, es un material versátil que puede utilizarse como materia prima para construcción, o procesado para la obtención de materiales como paneles contrachapados, pisos, y otra serie de aplicaciones. Por ser considerado un material amigable con el ambiente, y el cual puede incluso tratarse con métodos y productos naturales, es un material que se califica mucho mejor por las características expuestas anteriormente.
	La industria del acero supone un alto impacto ambiental. Su producción, no dinamiza las economías locales,	Por su parte, el bambú permite el aprovechamiento en diferentes formas, y a través de algunos programas de apoyo e incentivos, es posible emprender en cualquiera de las diferentes posibilidades que ofrece el bambú, lo que

Desarrollo socioeconómico de las comunidades	sobre todo en las zonas rurales, tampoco promueve el emprendedurismo ni aporta beneficios directos a la comunidad.	se traduce en nuevas oportunidades de empleo y actividades económicas complementarias. Sin embargo, los esfuerzos gubernamentales no alcanzan todavía para la subsistencia y la permanencia en el negocio, además de las limitaciones para la inserción en el mercado local e internacional.
Disponibilidad del producto y análisis de precios en el mercado local.	El acero, es un material con un alto costo ambiental y económico. Si bien es cierto es un material abundantemente disponible en el mercado, sus precios varían según las variaciones en los mercados internacionales, lo que genera al mismo tiempo variaciones en los costos de finales construcción.	En el país, existen al menos 5 empresas que brindan servicio de procesado y venta de materia prima, existen además una gran cantidad de variedades, de las cuales algunas son ideales para la construcción. El bambú, es un material cuya disponibilidad viene en aumento, debido al incremento de la siembra de bambú en diferentes regiones del país, sin embargo, la calidad de los

**Disponibilidad del producto
y análisis de precios en el
mercado local.**

procesos requeridos para tratamiento es uno de los principales problemas que se podría encontrar.

Aunque las distancias para abastecimiento de materia prima podrían considerarse algo lejanas a nivel local, algunas certificaciones consideran las distancias encontradas en el análisis dentro de los rangos permitidos para ser considerado como material de procedencia local. En lo que se refiere al precio, se demostró que pueden lograrse ahorros económicos importantes.

<p>Rendimiento bioclimático</p>	<p>En términos de rendimiento bioclimático, el acero no genera grandes aportes por sí solo, dado su alta capacidad para la transferencia de calor. Para el proyecto en análisis, se limita el uso a su estructura, dado que las características del clima requieren el uso de materiales con alta capacidad de aislamiento.</p>	<p>El bambú demostró ser un material que permite una menor transferencia de calor al interior de los recintos.</p> <p>Se puede aplicar de manera integral en estructuras, interiores, cielos y cerramientos, por lo que se convierte en un material muy recomendable para proyectos que apunten hacia la construcción sostenible y la climatización de edificios a través de estrategias pasivas.</p>
	<p>La construcción en acero requiere de algunas herramientas y equipo especializado, además, según la estructura, será necesario el uso de equipo para el</p>	<p>La construcción en bambú, permite la diversificación de las cuadrillas de trabajo y la reducción de los tiempos de construcción debido a la rápida curva de aprendizaje,</p>

<p>Equipos de trabajo y tiempos de construcción</p>	<p>levantamiento y colocación de los perfiles estructurales. Usualmente los costos de las estructuras en acero son elevados y requieren tiempos de construcción considerables comparados con materiales como el bambú.</p>	<p>al uso de herramientas y equipo simple.</p> <p>Como se ha reiterado, es de vital importancia la incursión y el compromiso del profesional para la promoción y educación del material como solución constructiva viable y amigable con el ambiente.</p>
<p>Posibilidades de capacitación técnica y aprendizaje</p>	<p>Debido a las condiciones del mercado actual de la construcción y al apoyo institucional para la formación de profesionales en el tema de la construcción en acero, es más fácil encontrar mano de obra calificada. En este aspecto podría el bambú tener cierta desventaja.</p>	<p>Aunque no se cuenta con el mismo apoyo, existen en el país profesionales comprometidos con la realización de actividades académicas y extracurriculares para el aprendizaje de la cultura del bambú. Este grupo de profesionales apasionados está logrando tomar notoriedad a partir de su actividad y puesta en práctica de actividades relacionadas a la difusión del conocimiento sobre el cultivo y producción de</p>

		bambú para la construcción y otras aplicaciones.
Reducción de la huella de carbono	Los análisis llevados a cabo demuestran un rendimiento deficiente de las estructuras de acero y aluminio, debido principalmente a la alta cantidad de energía embebida en los materiales, y sus procesos de producción.	La estructura de bambú demostró un gran rendimiento, con una gran reducción de la huella de carbono comparado con su contraparte en acero.
Aplicabilidad de las herramientas de análisis y cálculo digitales	En el caso de la estructura de acero, las herramientas permitieron confirmar el alto impacto en términos medioambientales y económicos, sin embargo, otros análisis como el de vientos y radiación permiten también estimar el impacto de materiales de envolventes y cubierta.	Para la estructura de bambú se logra confirmar el aporte significativo en rendimiento medioambiental, además permite también evaluar la capacidad de los materiales propuestos para la envolvente del edificio, los flujos de vientos, soleamiento, entre otras consideraciones importantes para la evaluación.
	Estructura de acero	Estructura de bambú

**Principales ventajas y
desventajas de los sistemas
constructivos analizados en
términos generales**

Ventajas:

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Alta disponibilidad para abastecimiento. - Eficiencia en la construcción. - Alta capacidad para reciclaje o transformación. - Mantenimiento en función de la exposición del material a la intemperie. - Facilidades para la contratación de mano de obra | <ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidad en el mercado en diferentes presentaciones. - Eficiencia en la construcción. - Diversificación de los equipos de trabajo. - Alta capacidad para reciclaje o transformación. - Mantenimiento en función de la exposición del material a la intemperie. - Aportes significativos en término de servicios ambientales como regeneración de las nacientes, estabilización de suelos y fijación de carbono, entre otros beneficios relacionados con la regeneración de ecosistemas. - Reducciones en los costos de construcción, según el tipo de proyecto. |
|--|---|
-

**Principales ventajas y
desventajas de los sistemas
constructivos analizados en
términos generales**

- Alta eficiencia como aislante térmico.
 - Procesos de construcción limpios y de bajo impacto.
 - Posibilidad de tratamiento con barnices, lacas y selladores naturales.
 - Alta relación con su entorno a través de su materialidad.
 - Posibilidades de emprendimiento y desarrollo económico para las comunidades.
 - Baja cuantificación en las evaluaciones de la huella de carbono.
 - Aportes importantes en las evaluaciones y cuantificaciones para procesos de certificaciones en construcción sostenible.
-

Principales ventajas y desventajas de los sistemas constructivos en términos generales

Desventajas:

- Altos costos ambientales asociados a su extracción, producción y transporte.
- Altos costos económicos.
- Baja eficiencia como aislante de calor y humedad.
- Procesos de construcción de mayor impacto, debido al uso de maquinaria y químicos como pinturas y solventes.
- Baja relación con su entorno directo.
- Incapacidad para generar actividades económicas asociadas con su utilización, más allá del reciclaje,
- Mediana capacidad de disponibilidad de materia prima
- Vulnerabilidad a la humedad e insectos, si las piezas no tienen el tratamiento y mantenimiento adecuado.
- Falta de incentivos para producción y construcción en bambú.
- Desconocimiento de las cualidades estéticas y estructurales del bambú en el gremio profesional y el mercado local.

-
- Alta cuantificación de huella de carbono.
 - No se reconoce o se le da valor agregado como material con aporte significativo en la calificación cuando se persigue una certificación en sostenibilidad.
-

5.2 Comentario de cierre

Esta investigación es el resultado de un proceso académico donde se ha motivado al estudiante a explorar diferentes herramientas de análisis con el fin de realizar una comparativa entre dos modelos estructurales esquemáticos. Este análisis permitió abordar la investigación más allá de un ejercicio académico, poniendo de manifiesto las interrogantes que enfrenta un profesional de diseño y construcción cuando se da a la tarea de resolver sus proyectos, teniendo siempre presente la esfera de la sostenibilidad.

Además, este ejercicio sirvió como herramienta explorativa para comprender las implicaciones sociales, económicas y espaciales que implica el ejercicio profesional de la arquitectura y construcción. El entendimiento y la puesta en ejecución de un material como el bambú, plantea retos importantes en términos de legislación y apoyo gubernamental para los encadenamientos productivos y, finalmente, el desarrollo de una arquitectura sostenible y responsable.

6. Referencias

Aguilar, L. (2016). *Manual para la construcción en bambú*. UMBAL, México.

Alpizar, M. (2018). *Construcción Sostenible: Internacionalización de servicios*. PROCOMER.

American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).

(2010). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Recuperado de:

<http://arco-hvac.ir/wp-content/uploads/2015/11/ASHRAE-55-2010.pdf>

Bambuksa. (s.f.). Nicaragua. Grupo Bambuksa. <https://www.bambuksa.com/> (URL).

Bambuplus. (2020). BAMBUPPLUS COSTA RICA S.A. <http://bambuplus.com/> (URL).

Bamboo School Costa Rica. (s.f). *Home* [página de Facebook]. Facebook. Consultado el 22 de octubre de 2020. www.facebook.com/BambooSchoolCostaRica/

BambuTico. (2019). Costa Rica. Construcción con bambú. <https://www.bambutico.com/> (URL).

Baño, A., y Vigil, A. (2005). *Guía de construcción sostenible*. España: Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS). Paralelo Edición.

Build Carbon Neutral. (2007). Assumptions.

<http://www.buildcarbonneutral.org/assumptions.php> (URL).

Build Carbon Neutral. (2007). *Construction Carbon Calculator*.

<http://www.buildcarbonneutral.org/> (URL).

Comisión Nacional de Emergencias. (2019). Costa Rica: Mapas de amenazas.

https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/mapas_amenzas/mapas_de_ameanza/alajuela/San%20Carlos%20-%20descripcion%20de%20amenazas.pdf (URL).

Energy Design Tools (2020). Climate Consultant. University of California, Los Angeles.

<http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>

Esquivel, E., Guevara, M., y Arias, D. (2018). Innovación en desarrollo y manejo de

plantaciones de bambú (*Guadua angustifolia* y otras) dentro del ámbito bioenergético y de servicios ambientales en cooperación la Red nacional de Electricidad. Cartago: TEC.

Fallas, L. (2017). REFLEXIONES SOBRE EL CULTIVO Y LA TRANSFORMACIÓN DEL

BAMBÚ EN COSTA RICA. Fundación para el Desarrollo Del Bambú en Costa Rica (FUNDEBAMBU). San José, Costa Rica.

FAO. (2018). Promueven el uso y desarrollo del bambú para lograr un futuro más sostenible

en Costa Rica. <https://www.fao.org/costarica/noticias/detail-events/es/c/1165344/>

Fallas, L. (En prensa). USO DEL BAMBÚ EN COSTA RICA: oportunidades de

emprendimientos e innovación. Fundación para el Desarrollo Del Bambú en Costa Rica (FUNDEBAMBU). San José, Costa Rica.

González, A. (2017). Artículo I, El desarrollo del bambú en Costa Rica. *Ambientico*, (262), pp-4-9.

Green Building Council Costa Rica. (2016). Costa Rica: GBCCR. <https://www.gbCCR.org/> (URL).

Green Building Information Gateway. (2020). Washington: GBIG. <http://www.gbig.org/> (URL).

Guerrero, A. (2019). Mapa virtual de la Cadena Productiva del Bambú, Costa Rica. Proyecto Bambú. Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia.

Herrera C. (2008). Evaluación y diseño estructural de una vivienda construida a base de bambú (Tesis de grado). Universidad de Costa Rica, San José

Hidalgo, O (1981). *Manual de construcción con bambú*. Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Centro de Investigación de Bambú y Madera CIBAM: Editorial Estudios Técnicos Colombianos Ltda.

Instituto de Desarrollo Rural (INDER). (2020). En la Península de Osa Escuela autosostenible y salón ecocultural hechos con bambú fueron entregados a las comunidades. <https://www.inder.go.cr/noticias/comunicados/2017/N44-escuela-autosostenible-salon-ecocultural.aspx> (URL).

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2020). Costa Rica: Mapas Sociales. <http://mapassociales.inec.cr/mapnew.php> (URL).

Martínez, S., y Redón, M. (2018). Bambú como material estructural: generalidades, aplicaciones y modelización de una estructura tipo. Trabajo de fon de grado en Ingeniería Agronómica. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/55983/MARTINEZ%20->

%20Bamb%C3%BA%20como%20material%20estructural%3A%20Generalidades%2C%20aplicaciones%20y%20modelizaci%C3%B3n%20de%20una%20est....pdf?sequence=1

Ministerio de Economía, Industria y Comercio. (MEIC). (2012). Oferta Productiva e

Indicadores Socioeconómicos. Recuperado de:

<https://www.meic.go.cr/meic/documentos/kc9ncd6g2/RHN%20Oferta%20Productiva.pdf>

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN). (2017). Índice de

Desarrollo Social 2017. Recuperado de:

<https://documentos.mideplan.go.cr/share/s/LOGWBZnfRceDJjpxwm7zFQ>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2012). Norma E.100. Recuperado de:

<https://ww3.vivienda.gob.pe/DGPRVU/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20III%20Edificaciones/58%20E.100%20BAMB%C3%9A%20DS%20N%C2%B0%20011-2012.pdf>

Morán (2015). *Construir con Bambú, Manual de Construcción*. INBAR, Perú.

Municipalidad de San Carlos. (2014). Plan de Desarrollo Distrital, Fortuna 2014-2024.

Recuperado de:

<https://www.munisc.go.cr/Documentos/NuestraMunicipalidad/Plan%20desarrollo%20Distrital%20de%20Fortuna.pdf>

Organización de las Naciones Unidas. (1987). Nuestro Futuro Común. Recuperado de:

<https://undocs.org/pdf?symbol=es/A/42/PV.42>

Organización de las Naciones Unidas. (2015). Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

Recuperado de: <https://undocs.org/pdf?symbol=es/A/42/PV.42>

Promotora de Comercio Exterior (PROCOMER). (2019). Evaluaciones de valor agregado para rambután y bambú. Dirección de Inteligencia Comercial. Recuperado de:

<http://sistemas.procomer.go.cr/DocsSEM/6A910023-65E0-4517-A92F-A8604413BC97.pdf>

Ramírez, J. (2011). Modelo Multicriterio – Arquitectura y Pedagogía. Escuela de Arquitectura, Programa de Investigación. Universidad de Costa Rica, San Pedro.

Ramírez, J. (2011). Modelo Multicriterio – Arquitectura y Pedagogía. Escuela de Arquitectura, Programa de Investigación. Universidad de Costa Rica, San Pedro.

Redacción Construir. (2019). El mercado costarricense de la construcción continúa avanzando hacia la sostenibilidad. *Construir*. Recuperado de:

<https://revistaconstruir.com/mercado-costarricense-la-construccion-continua-avanzando-hacia-la-sostenibilidad/>

Rivera, J., Blanco, G., Alcántara, N., Pascal, E. & Pérez, J. (2017). ¿Desarrollo sostenible o sustentable? La controversia de un concepto. Revista Posgrado y Sociedad. Sistema de Estudios de Posgrado. Universidad Estatal a Distancia. Recuperado de <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/posgrado/article/view/1825/2067>

Rodríguez N, Omari W. (2005). *VALORAR LA UTILIZACIÓN DEL BAMBÚ “Guadua angustifolia” EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN LA ZONA ATLÁNTICA DE COSTA RICA* (Tesis de grado). Universidad EARTH, Guácimo, Costa Rica.

- Rojas, M. y Arenas, J. (2008). Comparación técnico-financiera del acero estructural y el hormigón armado. *Dyna*, Año 75, Nro. 155, pp. 47-56. Medellín.
<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v75n155/a05v75n155.pdf>
- Simposio Internacional del Bambú en Costa Rica. (s.f). *Home* [página de Facebook].
Facebook. Consultado el 18 de octubre de 2020.
<https://www.facebook.com/sibambucr/>
- Stamm, J. (2019, 25-29 de junio). *Clase Maestra sobre Diseño en Bambú* [taller]. Finca Luna Nueva Lodge, San Carlos, Costa Rica. <http://fincalunanuevalodge.com/wp-content/uploads/2019/04/Bamboo-Masterclass-information-Segunda-Clase-Espa%C3%B1ol-1.pdf>
- United States Green Building Council (USGBC). (2020). Estados Unidos: Regional Materials. <https://www.usgbc.org/credits/new-construction-schools/v2009/mrc5?return=/credits/new-construction/v2009> (URL).
- Vanegas, J. (2006). ¿Cómo incorporar los criterios y principios de la sostenibilidad en el diseño, construcción y gestión de las infraestructuras? *Economías. Volumen* (63), 88-111.
- Vargas, L. (2014). Sistema de Gestión para alcanzar la C-Neutralidad del Colegio de Ingenieros Agrónomos de Costa Rica, Sede Central. Magister en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción. Cartago: TEC.
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3293/sistema_gestion_alcanzar_neutralidad_colegio_ingenieros.pdf?sequence=1&isAllowed=y

7. Anexos

Anexo 1

Características de las certificaciones LEED, EDGE y RESET

Tabla 20 - Características de las certificaciones LEED, EDGE y RESET. Fuente: Elaborado por el autor.

Tabla resumen de los sistemas de certificación		
Certificación	Tipo de evaluación	Características
<p>LEED³⁰</p> 	<p>Multi indicador</p> <p>Sistema de prerrequisitos y créditos</p>	<p>Presencia alrededor del mundo.</p> <p>Se enfoca en materiales y energía.</p> <p>Evalúa el desempeño durante la ocupación y el mantenimiento.</p> <p>Enfoque de mitigación del cambio climático.</p> <p>Las certificaciones se llevan a cabo a través de un proceso de siete etapas, desde la viabilidad hasta la certificación.</p>
		<p>Presencia alrededor del mundo.</p> <p>Su línea base de consumo responde a un estándar propio de la IFC.</p>

³⁰ LEED®, y su logotipo, es una marca comercial propiedad del U.S. Green Building Council® y se utiliza con permiso.



EDGE³¹

Ahorros potenciales
vs Línea Base

Se enfoca en reducción en el consumo de agua y energía.

Enfoque de mitigación del cambio climático.

Las evaluaciones se llevan a cabo de forma gratuita desde la aplicación en línea que aplica únicamente para estructuras nuevas.

Se emiten pre certificaciones y el proceso de certificación se lleva a través de 11 etapas, llevado a cabo por el auditor del proyecto, seleccionado por el interesado.

³¹ La marca registrada EDGE es propiedad de IFC y se utiliza con permiso.

RESET

Multi indicador

Sistema de requisitos y puntos plus

Es una norma técnica nacional destinada a la construcción de edificios en el trópico.

Es aplicable tanto a conjuntos de edificios como a construcciones individuales.

Evalúa desde las etapas de diseño hasta los procesos relacionados con el ciclo de vida del proyecto.

Los evaluadores no deben estar certificados como tales, pero deben tener experiencia en el campo.

La evaluación implica un juicio de valor por parte del panel de evaluadores, por lo que la evaluación final podría volverse muy subjetiva.

Se respalda en otras normas técnicas locales.

Tabla 21 - Normas y líneas base de consumo. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA DE NORMAS Y LÍNEAS BASE DE CONSUMO			
Certificación	Energía	Agua	Otras
LEED	ASHRAE 90,2010	Código Internacion al de Fontanería	
EDGE	Líneas base IFC	Línea base IFC	
RESET			<p>INTE/ISO 15392:2011, “Sostenibilidad en la construcción de edificaciones – Principios generales”;</p> <p>- INTE/ISO 21929-:2012, “Sostenibilidad en la construcción de edificaciones. Indicadores de sostenibilidad. Parte 1: Marco de referencia para el desarrollo de indicadores para edificaciones”;</p> <p>- INTE/ISO 21930:2012, “Sostenibilidad en la construcción de edificación. Declaración ambiental de productos de construcción”;</p> <p>- ISO/TR 21932: 2013, “Edificaciones y activos construidos. Sostenibilidad en</p>

la construcción de edificaciones.

Terminología”;

- INTE 31-08-06:2014, “Niveles de iluminancia y condiciones de iluminación en los centros de trabajo en interiores”;

- IEC 61000-3-2:2009, “Limits - Limits for Harmonic Current Emissions” (equipment input current up to and including 16 A per phase) (Tablas 1, 2, 3)

NIVELES DE CERTIFICACIÓN

LEED	Certificado, Plata, Oro, Platino.
EDGE	Certificado.
RESET	Sol Reset, Sol Reset + 1 Sol Plus, Sol RESET + 2 Soles plus

Anexo 2

Principales especies de bambú en Costa Rica, catálogo de materiales y precios referencia

Tabla 22 - Variedades de bambú con potencial de siembra y transformación. Fuente: Fallas, L (2017). Reflexiones sobre el cultivo y la transformación del bambú en Costa Rica. FUNDEBAMBU.

PRINCIPALES ESPECIES DE BAMBÚ CON POTENCIAL DE SIEMBRA Y TRANSFORMACIÓN EN COSTA RICA		
NOMBRE	ORIGEN	POSIBLES USOS
Angustifolia guadua	Sur América	Es muy apreciada en la construcción, muebles, control de erosión es comestible
Dendrocalamus Asper, conocido, como bamboo betung	Indonesia	Muy apreciada en la construcción, muebles, es comestible, utilizada para el control de la erosión.
Guadua Chacoensis, conocida como Guadua Atlántica	Brasil y Valle del Chaco	Construcción, muebles, control de erosión y reforestación.
Dendrocalamus Asper, clon Tailandia	Tailandia	Muy apreciado en la construcción, muebles, paisajismo por su exuberante follaje, es

		comestible e ideal para el control de aguas.
Phyllostachys Aurea conocida como bambú golden bamboo	China	Comestible, construcción, producción de muebles y como control de erosión.
Dendrocalamus Latiflorus, conocida como bambú gigante de Taiwán.	Taiwán y Sur de China	Comestible, ornamental, construcción y en producción de papel.
Bambusa vulgaris vittata, conocida como painted bamboo	Asia	Jardinería, control de erosión, carbón e industria del papel.
Bambusa tuldoides	Guangdong en China	Ornamental y bonsái
Gigantochloa atrovioacea, conocida como Java Black Bamboo	Java e Indonesia	Construcción, mueblería, artesanía e instrumentos musicales

Chusquea Serrulata

América del Sur

Ornamental para jardinería

Tabla de catálogo de materiales y productos para construcción en bambú.*Tabla 23 - Catálogo de productos para construcción y derivados de bambú. Fuente: Elaborada por el autor.*

TABLA DE CATÁLOGO DE MATERIALES Y PRODUCTOS PARA CONSTRUCCIÓN DERIVADOS DE BAMBÚ				
PRODUCTO	ESPECIE	CARACTERÍSTICAS	PRECIO	
			REFERENCIA	UNIDAD
		-Color caramelo uniforme a lo largo de la pieza, producto del horneado.		
Cañas de bambú 1" a 1- 1/4"	Phyllostachys Aurea	- Uso recomendado para cielo rasos, paneles livianos y detallado. - Disponible en presentaciones de 3, 4 y 5 metros.	Q8.815	m ²
		-Utilizada en la construcción de paredes y confección de cielo rasos, gracias a su capacidad		
Esterilla de bambú	Dendrocalamus Asper		Q6.610 m ²	m ²

		térmico aislante, flexibilidad y sencilla instalación. - Cada pieza mide 3 m de largo y su ancho oscila entre 35 y 45 cm.		
			2": ₡6.346	
Cañas de bambú 2" a 6 1/2"	Especie Guadua Angustifolia y Dendrocalamus Asper.	- Utilizado para construcción gracias a su capacidad sismo- resistente, así como por su resistencia y flexibilidad. - Disponible en piezas estándar de 6 m de largo.	3": ₡11.320 4": ₡16.300 5": ₡17.000 6": ₡33.900	Unidad de 6 m
Deckbambú	Dendrocalamus Asper.	- Utilizado como piso para deck, por su forma, impide la acumulación de agua. - Disponible en presentaciones de 2m de largo, 30 cm de ancho y 3 cm de espesor.	₡1.915	Unidad

Plybamboo		Panes de madera plywood con bambú curado, abierto y pegado sobre la lámina. 1.22 m x 2.44 m.		Unidad
Tiras de bambú	Gigantocloa Attar	- Utilizado para construcción de cercas e infraestructuras como invernaderos, dada su extraordinaria flexibilidad. - Disponible en presentaciones de 10 m de largo y 2" de ancho.	Ø3.108	Tiras de 10 m y 2" de ancho

Tabla de resumen de tratamiento de las piezas de bambú.

Tabla 24 - Resumen de tratamiento de las piezas de bambú. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN TRATAMIENTO DE LAS PIEZAS DE BAMBÚ	
MÉTODO DE CURADO O ACABADO	CARACTERÍSTICAS
Método de curado Boucherie	Consiste en un método de inmunización química por inyección. Consiste es la sustitución de la sabia presente en el bambú por sales de bórax y sulfato de cobre, logrando la

	<p>inmunización contra insectos taladradores y hongos.</p> <p>Este método es el más eficaz y especializado para la inmunización.</p>
Protectolack Hi-0500 (Acabado brillante transparente)	- Producto que evita el deterioro del material producto del contacto con los rayos ultravioleta y las condiciones de humedad y hongos presentes en el medio ambiente.
Protectolack Hi-0600 (Acabado mate transparente)	

Tabla comparativa de precios de referencia para la construcción en acero y bambú.

Tabla 25 - Comparativa de precios de referencia para la construcción en acero y bambú. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA COMPARATIVA DE PRECIOS DE REFERENCIA PARA LA CONSTRUCCIÓN EN ACERO Y BAMBÚ	
CONSTRUCCIÓN EN ACERO	
Características	Precio referencia del m ²
<ul style="list-style-type: none"> - Vida útil: 50 años. - Estructura: Mampostería integral y/o perfiles metálicos. - Paredes: Bloques de concreto con repello quemado. - Cubierta: Cerchas de perfiles metálicos. Láminas onduladas de hierro galvanizado, con canoas y bajantes de hierro galvanizado. Canoas y bajantes de hierro galvanizado. 	Valor: ₡610.000 m²

Hoteles – Tipo HT01³²	<p>- Cielos: Láminas de cartón, madera laminada, madera aglomerada.</p> <p>- Entrepisos: Prefabricados de concreto armado.</p> <p>- Pisos: Mosaico, terrazo o similar.</p> <p>- Baños: Cuartos de baños tipo económicos de uso común en cada piso.</p> <p>- Otros: Edificios de diseño sencillo, con una recepción y el resto en dormitorios.</p> <p>Generalmente, el primer piso se destina a uso comercial. Edificios de una o dos plantas.</p>	Valor: ₡610.000 m²
Hoteles – Tipo HT01		

CONSTRUCCIÓN EN BAMBÚ ‘

Características

Precio referencia del m²

³² Se utiliza la tipología de hotel al ser el uso más aproximado al proyecto en análisis.

-
- **Vida útil:** 40 años
 - **Estructura:** Bambú, zócalo de bloques de concreto, entramado de bambú con estructura de madera de 10 cm x 15 cm.
 - **Paredes:** Bambú recubierto con mortero.
 - **Cubierta:** Cerchas de bambú. Láminas onduladas de hierro galvanizado con canoas y bajantes.
 - **Cielos:** Sin cielos
 - **Pisos:** Concretos lujados, cerámica económica.
 - **Baños:** Un cuarto de baño tipo económico.
 - **Otros:** Puerta principal y posterior en madera laminada, cerrajería económica. Cocina tipo económica. Ventanas con marcos de madera o bambú, pila posterior. Acabados muy sencillos, fachadas planas o con un corredor con una o dos ventanas. Una planta.

Valor: ₡125.000 m²

**Vivienda de bambú –
Tipo VB01³³**

³³ Se utiliza esta tipología como referencia, al ser la única del manual que involucra la construcción en bambú.

Anexo 3

Descripción y cuantificación de materiales y componentes con base en una estructura primaria de acero

A continuación, se muestran las tablas para la cuantificación y calificación de los elementos arquitectónicos y estructurales del proyecto. Esta información, servirá como referencia posterior para el cálculo de la huella y de carbono, además, servirá como punto de partida para la conversión de la estructura de acero por una estructura en bambú.

Tabla 26 - Cuantificación de componentes estructurales (Fundaciones). Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA DE DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE MATERIALES SEGÚN COMPONENTES ESTRUCTURALES (FUNDACIONES)		
Material o componente	m – m ² – m ³	Comentarios
Fundaciones		
<p>Fundaciones Tipo 1:</p> <p>Cantidad: 75</p> <p>Placa aislada de concreto 250 mm x 1000 mm x 1000 mm, 8 varillas #3 @ 200 mm, 4 aros #4 en ambas direcciones.</p> <p>Pedestal: 1000 mm x 400 mm, 4 varillas #4, Aros #3@200 mm.</p>	<p>27,56 m³ de concreto</p>	<p>Estas placas de fundación tendrán una altura variable, la cual estará determinada por las condiciones del terreno.</p> <p>Se especifica cemento tipo MP/A-AR</p> <p>El recubrimiento mínimo para placas de fundaciones será de 50 mm.</p> <p>Estas placas de fundación tendrán una altura variable, la</p>
<p>Fundaciones Tipo 2:</p>		

Cantidad:138

Placa aislada de concreto 250 mm x 750 mm x 750 mm, 6

varillas #3 @ 200 mm, 4 aros #4 en ambas direcciones.

Pedestal: 400 mm x altura variable, 4 varillas #3, 3 Aros #3 @200 mm.

Fundaciones Tipo 3:**Cantidad: 21**

Pedestal de concreto de 1000 mm x 400 mm x 400 mm, 4 varillas #3, aros #3 @ 200 mm.

Losa de cimentación (Piscina):**Cantidad: 1**

Losa de cimentación de 150 mm, doble malla #4 en ambas direcciones.

33.07 m³ de concreto

3.36 m³ de concreto

59 m³ de concreto

cual estará determinada por las condiciones del terreno.

Se especifica cemento tipo MP/A-AR

El recubrimiento mínimo para placas de fundaciones será de 50 mm.

Tabla 27 - Cuantificación de componentes estructurales (Columnas). Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA DE DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE MATERIALES SEGÚN COMPONENTES ESTRUCTURALES (COLUMNAS)		
Material o componente	m – m ² – m ³	Comentarios
Columnas		
		El acero a utilizar en elementos estructurales laminados en caliente debe cumplir con las siguientes normas: -En vigas o columnas tipo "W" deberá utilizarse aceros que cumplan con la norma
Columnas de acero estructural Tipo 1	0,615 m ³ .	A 572 grado 50, (fy=3500 kg / cm.
Cantidad: 72		En vigas o columnas de tubo tipo "HSS" deberá utilizarse aceros que cumplan con la norma
Tubo de 150 mm x 150 mm x 6.40 mm		A 500 grado b, (fy=3228 kg/cm ²). -En placas para conexiones o para armar secciones soldadas en taller "Hechizas", deberá utilizarse aceros que cumplan con la norma A 36 (fy=2526 kg/cm ²)
Columnas de acero estructural Tipo 2		
Cantidad: 18	0,138 m ³ .	

Cantidad:126	un volumen total	A 572 grado 50, (fy=3500
200 mm x 50 mm x 2.38 mm	de	kg/cm.
Perfil Tipo VA4	4.52 m ³	En vigas o columnas de tubo
Cantidad: 35		tipo "HSS" deberá utilizarse
150 mm x 100 mm x 3.17 mm		aceros que cumplan con la
Perfil Tipo VA5		norma
Cantidad: 275		A 500 grado b, (fy=3228
100 mm x 100 mm x 3.17 mm		kg/cm ²).
Perfil Tipo VA6		
Cantidad: 323		
96 mm x 48 mm x 2.36 mm		
Perfil Tipo VA7 (Viga I)		-En placas para conexiones o
Cantidad:14		para armar secciones
251 mm x 101 mm, alma 4.8 mm		soldadas en taller "Hechizas",
patín 5.3 mm		deberá utilizarse aceros que
Perfil L1 (Perfil C)		cumplan con la norma A 36
Cantidad: 202		(fy=2526 kg/cm ²)
100 mm x 50 mm x 20 mm, 1.6		
mm		
Perfil L2 (Perfil C)		
Cantidad: 202		

150 mm x 50 mm x 20 mm, 1.6
mm

Tabla 29 - Cuantificación de materiales según componentes estructurales. Fuente: Elaborada por el autor.

**TABLA DE DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE MATERIALES SEGÚN
COMPONENTES ESTRUCTURALES (CERRAMIENTOS Y FACHADA)**

Material o componente	m – m ² – m ³	Comentarios
Cerramientos fachada		
		Plycem.
Lámina de Tablatek de 1.22 m x 2.44 m x 11 mm, como superficie de cerramiento exterior.	Área: 606 m ² de superficie de fachada. Volumen: 11.53 m ³	Producto: Tablatek, lámina cementicia para exteriores.
Particiones de gypsum		
Lámina de gypsum de 5/8", aplicación interior/ exterior / zonas húmedas	Área: 1081 m ² de superficie de láminas. Volumen: 15.088 m ³	
Muros de concreto y mampostería		
Muros de concreto 200 mm de espesor.	Área Concreto: 169 m ² de superficie. Volumen: 33.42 m ³	
	Área mampostería: 38 m ²	

Pared de mampostería de 15 mm de espesor Volumen: 5.57 m³

Louvers de aluminio

Rejillas de aluminio para protección de soleamiento y lluvia. Área: 61 m² de superficie en fachada.

Volumen: 1.51 m³

TABLA DE DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE MATERIALES SEGÚN COMPONENTES ESTRUCTURALES (ENTREPISOS, CIELOS, CUBIERTA Y PASARELAS)

Material o componente	m – m ² – m ³	Comentarios
Láminas de entrepiso		
		Plycem.
Láminas cementicias de entrepiso Plystone de 2.44 m x 1.22 m x 25 mm	Área: 521 m ² Volumen: 7.29 m ³	Producto: Plystone, lámina cementicia para exteriores.
Cielos y cubierta		
		Macopa
Todos con lámina resistente a la humedad, dado las condiciones del clima local.	Área: 517 m ² de cielos interiores y exteriores. Volumen: 6.56 m ³	National: Láminas de Gypsum XP

Panel de cubierta	Área: 811 m ² de cubierta.	Construpanel
Construpanel	Volumen: 24.3 m ³	Cubierta de lámina metálica con centro de espuma rígida de poliestireno de 30mm

Terrazas y pasarela

Terrazas	Área: 292 m ² de deck	Plycem.
Losetas de fibrocemento Plydeck de 3.66 m x 0,15 m.	Volumen: 7.0 m ³	Producto: Plydeck, lámina cementicia
Pasarelas		para exteriores de 3. 66 m x 0. 15 m, 11 mm de grosor.
Lámina de metal expandido tipo Jordomex	Área: 134 m ² Volumen: 1.34 m ³	

Resumen de cuantificación de materiales y componentes del proyecto

Tabla 30 - Resumen fundaciones. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE ÁREA Y VOLUMEN DE CONCRETO EN FUNDACIONES			
Tipo de placa	Área	Volumen de concreto	Cantidad
Losa de fundación (Piscina)	252.96m ²	50.59 m ³	1
Pedestales		3.36 m ³	21
Placas Tipo 1		27.56 m ³	75

Placas Tipo 2	33.07 m ³	138
TOTAL	114,58 m³	235

Tabla 31 - Resumen columnas de acero. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE ÁREA Y VOLUMEN COLUMNAS DE ACERO

Tipo de columna	Vol. Acero	Cantidad
A1(150mm X 150mm X 6.4mm)	0.615 m ³	72
A2(150mm X 150mm X 4.8mm)	0.138m ³	21
A3(100mm X 100mm X 3.2mm)	0.158 m ³	157
TOTAL	0,911 m³	250

Tabla 32 - Resumen de tipos de vigas y viguetas. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE ÁREA Y VOLUMEN DE TIPOS DE VIGAS Y VIGUETAS

Material	Área / Volumen	Cantidad
Tubo de acero estructural:		
VA1 (200 mm X 100 mm X 4.76 mm)	0,62 m ³	52
VA2 (200 mm X 100 mm X 3.17 mm)	0,66 m ³	50
VA3 (200 mm X 50 mm X 2.38 mm)	1,15 m ³	126
VA4 (150 mm X 100 mm X 3.17mm)	0,22 m ³	35
VA5 (100 mm X 100 mm X 3.17mm)	0,60 m ³	288
VA6 (96 mm X 48 mm X 2.38 mm)	0,32 m ³	328
Vigas		
VA7 (251 mm X 101 mm X 5.30 mm)	0,41 m ³	14

Largueros		
L1(100 mm X 50 mm X 1.50 mm)	0,46 m ³	210
L2 (150 mm X 50 mm X 1.50 mm)	0,11 m ³	28
TOTAL	31,59 m³	2212

Tabla 33 - Resumen de tipos de pared. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE ÁREAS DE TIPOS DE PARED Y ENSAMBLE	
Material	Área
Pared de bloque de mampostería	38 m ²
Enchape (Baños y restaurante)	464 m ²
Estructura liviana de pared	822 m ²
Láminas de Fibroyeso	1081 m ²
Lámina Tablatek	606 m ²
TOTAL	3011 m²

Tabla 34 -Resumen de cubiertas. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE ÁREA DE CUBIERTAS	
Material	Área
Cubierta de lámina metálica con centro de espuma rígida de poliestireno de 30mm	810 m ²

Tabla 35 - Resumen de cuantificación de los principales componentes del proyecto. Fuente: Elaborado por el autor.

TABLA RESUMEN DE CUANTIFICACIÓN DE ÁREAS Y VOLUMEN DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DEL PROYECTO	
Componente	Cantidad Área / Volumen (m ² – m ³)
Fundaciones	114,58 m ³
Columnas	0,911 m ³
Vigas y viguetas	31,59 m ³
Particiones	3011 m ²
Cubiertas	810 m ²

Descripción y cuantificación de materiales y componentes con base en una estructura primaria de bambú

Tabla 36 - Cuantificación de componentes estructurales de la propuesta en bambú (Fundaciones). Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA DE DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE MATERIALES SEGÚN COMPONENTES ESTRUCTURALES EN BAMBÚ (FUNDACIONES)		
Material o componente	m – m ² – m ³	Comentarios
Fundaciones		

Fundaciones Tipo 1:

Cantidad: 75

Se mantiene la cantidad de placas, así como el diseño, adaptando el acople de las

Estas placas de fundación tendrán una altura variable, la cual estará determinada por las condiciones del terreno.

columnas de bambú a la placa de fundación, tal como se indicó anteriormente.	27,56 m ³ de concreto	Se especifica cemento tipo MP/A-AR El recubrimiento mínimo para placas de fundaciones será de 50 mm.
--	----------------------------------	---

Fundaciones Tipo 2:

Cantidad:138

Se mantiene la cantidad de placas, así como el diseño, adaptando el acople de las columnas de bambú a la placa de fundación, tal como se indicó anteriormente.	33.07 m ³ de concreto	Se especifica cemento tipo MP/A-AR El recubrimiento mínimo para placas de fundaciones será de 50 mm
--	----------------------------------	--

Fundaciones Tipo 3:

Cantidad: 21

Se mantiene la cantidad de placas, así como el diseño, adaptando el acople de las columnas de bambú a la placa de fundación, tal como se indicó anteriormente.	3.36 m ³ de concreto
--	---------------------------------

Losa de cimentación (Piscina):**Cantidad:** 1 59 m³ de concreto

Losa de cimentación de 150 mm,
doble malla #4 en ambas
direcciones.

*Tabla 37 - Cuantificación de componentes estructurales de la propuesta en bambú (Columnas). Fuente:
Elaborada por el autor.*

**TABLA DE DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE MATERIALES SEGÚN
COMPONENTES ESTRUCTURALES EN BAMBÚ (COLUMNAS)**

Material o componente	m – m² – m³	Comentarios
Columnas		
Columnas compuestas de bambú		
Cantidad: 260 4 cañas de bambú de 4" de Ø	4,71 m ³	Columnas compuestas de bambú, a partir de 4 cañas curadas de bambú de 4" de Ø.

Tabla 38 - Cuantificación de materiales según componentes estructurales de la propuesta en bambú. (Entrepisos, techos, terrazas y pasarelas). Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA DE DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE MATERIALES SEGÚN COMPONENTES ESTRUCTURALES EN BAMBÚ (ENTREPISOS, TECHOS, TERRAZAS Y PASARELAS)		
Material o componente	m – m² – m³	Comentarios
Vigas compuestas de bambú Cantidad: 151 4 cañas de bambú de 4" de Ø	151 vigas compuestas de bambú, para un volumen total de 18.27 m ³	Vigas compuestas de bambú, a partir de 4 cañas curadas de bambú de 4" de Ø
Vigas de entrepiso tipo tabique Cantidad: 399 1 caña de bambú de 4" de Ø	399 vigas de caña de bambú de 4" de Ø, para un volumen total de 7.35 m ³	Tabiques de bambú de caña de bambú de 4" de Ø
Viguetas de entrepiso tipo Cantidad: 552 1 caña de bambú de 3" de Ø	399 vigas de caña de bambú de 3" de Ø, para un volumen total de 1.58 m ³	Viguetas de bambú de caña de bambú de 3" de Ø

Tabla 39 - Cuantificación de materiales según componentes estructurales de la propuesta en bambú (Cerramientos y fachada). Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA DE DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE MATERIALES SEGÚN COMPONENTES ESTRUCTURALES EN BAMBÚ (CERRAMIENTOS Y FACHADA)		
Material o componente	m – m² – m³	Comentarios
Cerramientos fachada		
Panel de bambú abierto sobre lámina de plywood de 18 mm, dimensiones, 1.22 m x 2.44 m	Área: 606 m ² de superficie de fachada. Volumen: 11. 53 m ³	Panelería de bambú similar a la que ofrece la empresa Bambuplus.
Particiones de gypsum (Se conservan para áreas húmedas).		
Lámina de gypsum de 5 / 8", aplicación interior/ exterior / zonas húmedas	Área: 1081 m ² de superficie de láminas. Volumen: 15.088 m ³	
Muros de concreto y mampostería, (Se conservan según diseño)		
Muros de concreto 200 mm de espesor.	Área Concreto: 169 m ² de superficie. Volumen: 33.42 m ³	
Pared de mampostería de 15 mm de espesor	Área mampostería: 38 m ²	

Volumen: 5.57 m³

Parasoles y rejillas de ventilación

Rejillas de aluminio para protección de soleamiento y lluvia.

Área: 61 m² de superficie en fachada.

Volumen: 1.51 m³

Tabla 40 - Cuantificación de materiales según componentes estructurales de la propuesta en bambú, (entrepisos, cielos, cubierta y pasarelas).

TABLA DE DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE MATERIALES SEGÚN COMPONENTES ESTRUCTURALES EN BAMBÚ (ENTREPISOS, CIELOS, CUBIERTA Y PASARELAS)

Material o componente	m – m² – m³	Comentarios
Pisos		
Piso de tablilla de bambú, abierto y cepillado por ambas caras.	Área: 521 m ² Volumen: 7.29 m ³	Piso de tablilla de bambú similar al que ofrece la empresa Bambuplus.
Cielos y cubierta		
Cielos interiores y exteriores Panel de bambú para cielos	Área: 517 m ² de cielos interiores y exteriores. Volumen: 6.56 m ³	Panelería de bambú similar a la que ofrece la empresa Bambuplus.

Panel de cubierta (Se conserva según diseño)		Construpanel
Construpanel.	Área: 811 m ² de cubierta. Volumen: 24.3 m ³	Cubierta de lámina metálica con centro de espuma rígida de poliestireno de 30 mm

Terrazas y pasarela

Terrazas		Producto similar al que ofrece la empresa Bambutico.
Bambudeck, tablilla de bambú fabricada de tabletas de bambú.	Área: 292 m ² de deck Volumen: 7.0 m ³	

Pasarelas (Se conserva según diseño)

Lámina de metal expandido tipo Jordomex	Área: 134 m ² Volumen: 1.34 m ³	
---	--	--

Resumen de cuantificación de materiales y componentes de la propuesta en bambú.

Tabla 41 - Resumen área y volumen en fundaciones, propuesta en bambú. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE ÁREA Y VOLUMEN DE CONCRETO EN FUNDACIONES DE LA PROPUESTA EN BAMBÚ (SE CONSERVA EL DISEÑO DE LA PROPUESTA ORIGINAL)

Tipo de placa	Área	Volumen de concreto	Cantidad
Losa de fundación (Piscina)	252.96 m ²	50.59 m ³	1

Pedestales	3.36 m³	21
Placas Tipo 1	27.56 m³	75
Placas Tipo 2	33.07 m³	138
TOTAL	114.58 m³	235

Tabla 42 - Resumen área y volumen de columnas de bambú. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE ÁREA Y VOLUMEN COLUMNAS DE BAMBÚ		
Tipo de columna	Vol. bambú	Cantidad
Columnas compuestas de bambú	4.67 m ³	260
TOTAL	4.67 m³	260

Tabla 43 - Resumen de tipos de vigas y viguetas de bambú. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE ÁREA Y VOLUMEN DE TIPOS DE VIGAS Y VIGUETAS DE BAMBÚ		
Material	Área / Volumen	Cantidad
Viga compuesta		
4 cañas de bambú de 4" de Ø	18.27 m ³	151
Vigas de entepiso tipo tabique		
1 caña de bambú de 4" de Ø	7.35 m ³	399
Viguetas		
1 caña de bambú de 3" de Ø	1.58 m ³	210
TOTAL	27,2 m³	760

Tabla 44 - Resumen de tipos de pared de la propuesta en bambú. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE ÁREAS DE TIPOS DE PARED Y ENSAMBLE EN BAMBÚ	
Material	Área
Pared de bloque de mampostería	38 m ²
Enchape (Baños y restaurante)	464 m ²
Estructura liviana de pared	822 m ²
Láminas de panelería de bambú	1081 m ²
Láminas de panelería de bambú tipo plywood, ó, caña de bambú de 1" Ø	606 m ²
TOTAL	3011 m²

Tabla 45 - Resumen de cubiertas de la propuesta en bambú. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE ÁREA DE CUBIERTAS DE LA PROPUESTA EN BAMBÚ (SE CONSERVA EL DISEÑO DE LA PROPUESTA ORIGINAL)	
Material	Área
Cubierta de lámina metálica con centro de espuma rígida de poliestireno de 30mm.	810 m ²

Tabla 46 - Resumen de cuantificación de los principales componentes de la propuesta en bambú. Fuente: Elaborado por el autor.

TABLA RESUMEN DE CUANTIFICACIÓN DE ÁREAS Y VOLUMEN DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE LA PROPUESTA EN BAMBÚ	
---	--

Componente	Cantidad Área / Volumen (m ² – m ³)
Fundaciones	114.58 m ³
Columnas	4.67 m ³
Vigas y viguetas	27.2 m ³
Particiones y cerramientos	3011 m ³
Cubiertas	810 m ³

Anexo 4

En este anexo se aborda el detalle de los parámetros de evaluación, así como los cálculos de desempeño climático del proyecto.

Fundamentos teóricos y Modelo de Confort Adaptativo ASHRAE34 Standard 55-2010, gráficos de climatología local.

La selección de un modelo de confort, permite establecer los rangos de tolerancia a determinadas condiciones climatológicas en función del rango de confort que experimentan los usuarios de un espacio.

Este modelo de análisis será el que determine las variables consideradas en las gráficas, y finalmente, mostrará la zona de confort, y los factores que intervienen.

El modelo de confort adaptativo, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*³⁵, que se encuentra en ASHRAE 55-2010, es un estándar estadounidense publicado por ASHRAE, el cual establece la gama de condiciones ambientales interiores para lograr un confort térmico aceptable para los ocupantes de edificios.

³⁴ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (Sociedad Estadounidense de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado)

³⁵

Condiciones ambientales térmicas para la ocupación humana.

El modelo establece una dinámica de ocupación en donde sus ocupantes pueden manipular puertas y ventanas, donde su respuesta térmica dependerá en gran medida del clima externo. Este modelo, asume que los ocupantes podrán adaptar su vestimenta a las condiciones climatológicas, además de encontrarse en estado sedentario, (1.0 a 1.3 met³⁶).

Como se mostrará más adelante en este documento, el proyecto en análisis cumple con gran parte de estas condiciones establecidas por este modelo de análisis, el cual, se determina mediante los criterios mostrados en la siguiente imagen:

7. ADAPTIVE COMFORT USING NATURAL VENTILATION:	
90.0	% Acceptability Limits (80% or 90%)
22.5	Minimum Mean Monthly Outdoor DB Temp (10° C or less)
25.3	Maximum Mean Monthly Outdoor DB Temp (33.5° C or less)
22.3	Comfort Low - Min Operative Temp in this Climate (°C)
28.2	Comfort High - Max Operative Temp in this Climate (°C) (Air Velocity is controlled by opening and closing windows)

Imagen 53- Criterios de evaluación del Modelo de Confort Adaptativo. Fuente: Climate Consultant

Para este modelo se muestra un límite de aceptabilidad del 90%, es decir, determina un rango de condiciones en las que 9 de cada 10 usuarios podrían sentirse cómodos, muestra también valores de temperaturas promedio mínimas y máximas mensuales, además de las temperaturas mínimas y máximas operativas establecidas dentro de la zona de confort del modelo. Además, se asume que la ventilación será controlada por la apertura y cierre de puertas y ventanas.

Gráficos de variables climatológicas.

A continuación, las tablas resumen y los gráficos detallados de los datos obtenidos a través del software.

³⁶ Unidad Metabólica de Reposo

Gráfico de temperaturas promedio

Se muestran las temperaturas mensuales mínima, máxima y promedio a lo largo del año, también se muestra la zona de confort en función de dichas temperaturas. Se registran las temperaturas más altas para el mes de marzo y abril, y las más bajas en agosto.

Es importante destacar como la zona de confort promedio mensual, tiende a ubicarse en los límites inferiores, lo que supone unas condiciones de temperaturas elevadas que pueden intervenir en el confort general. Esta misma condición se muestra en el promedio anual de temperaturas.



Gráfico 9 - Promedio de vientos. Fuente: Climate Consultant.

Tabla 47 - Resumen de rangos promedio de temperatura. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE RANGOS DE TEMPERATURA	
Temperatura promedio mínima (°C)	19
Temperatura promedio máxima (°C)	27
Temperatura promedio (°C)	23
Importancia para el análisis	<p>Este gráfico resumen de temperaturas, permite comprender el rango de temperaturas que se mantiene en la zona a lo largo del año. Es importante comprender el comportamiento de la temperatura de bulbo seco con el fin generar respuestas arquitectónicas que se vinculen a su entorno a través de estrategias de climatización pasiva.</p>

Gráfico de cobertura de nubosidad

El gráfico muestra coberturas promedio máximas de nubosidad de hasta 90 % para el mes de Julio. Para el mes de marzo se registran las coberturas promedio mínimas, con un porcentaje de 25 % de cobertura. La cobertura anual, promedia valores de alrededor del 67 %.

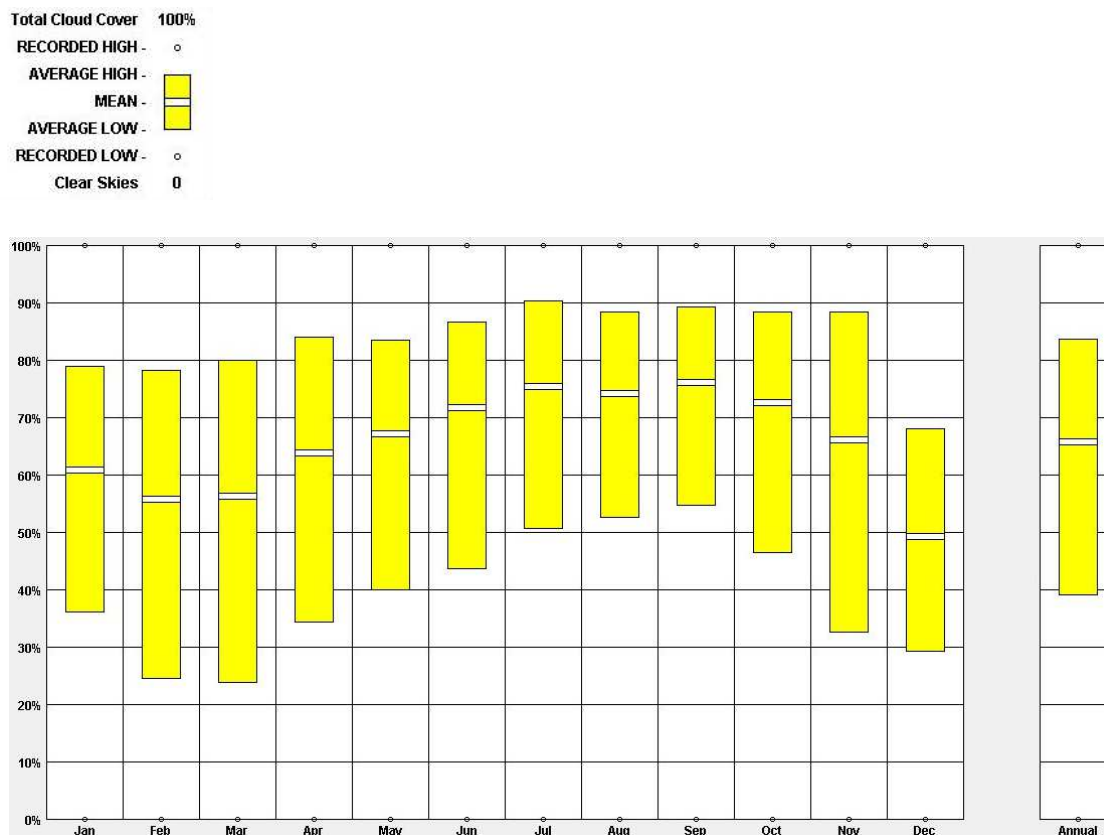


Gráfico 10 - Cobertura de nubosidad. Fuente: Climate Consultant.

Tabla 48 - Resumen de cobertura de nubosidad. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE COBERTURA DE NUBOSIDAD

Cobertura promedio anual mínima (%)	39
Temperatura promedio anual máxima (%)	84
Cobertura promedio anual (%)	67

Importancia para el análisis y conclusiones:

Es importante comprender el comportamiento de la cobertura de nubes, sobre todo cuando se pretende la captación de energía solar a través de paneles fotovoltaicos. Esta información permite determinar cuáles son los meses en los que habría mejores condiciones para sacar el máximo provecho.

Velocidad promedio de los vientos

Se muestra la velocidad mensual promedio y se grafican los picos más altos registrados durante cada mes, así como el promedio de velocidad promedio anual y la velocidad promedio de los picos. Las velocidades promedio anuales son bajas, alrededor de los 4 m/s.

El mes que muestra las velocidades de viento promedio más altas es marzo, con valores que podrían alcanzar los 9,5 m / s. Los meses con las velocidades promedio más bajas son los meses de septiembre y octubre, con velocidades por debajo de los 2 m / s.

Es importante mencionar que factores como la topografía y la vegetación pueden modificar drásticamente dichos valores, por lo que habría que analizar las condiciones propias del sitio para poder determinar las condiciones reales de afectación.

Se adjunta además un gráfico complementario que permite determinar las horas de mayor incidencia a lo largo del día y del año.

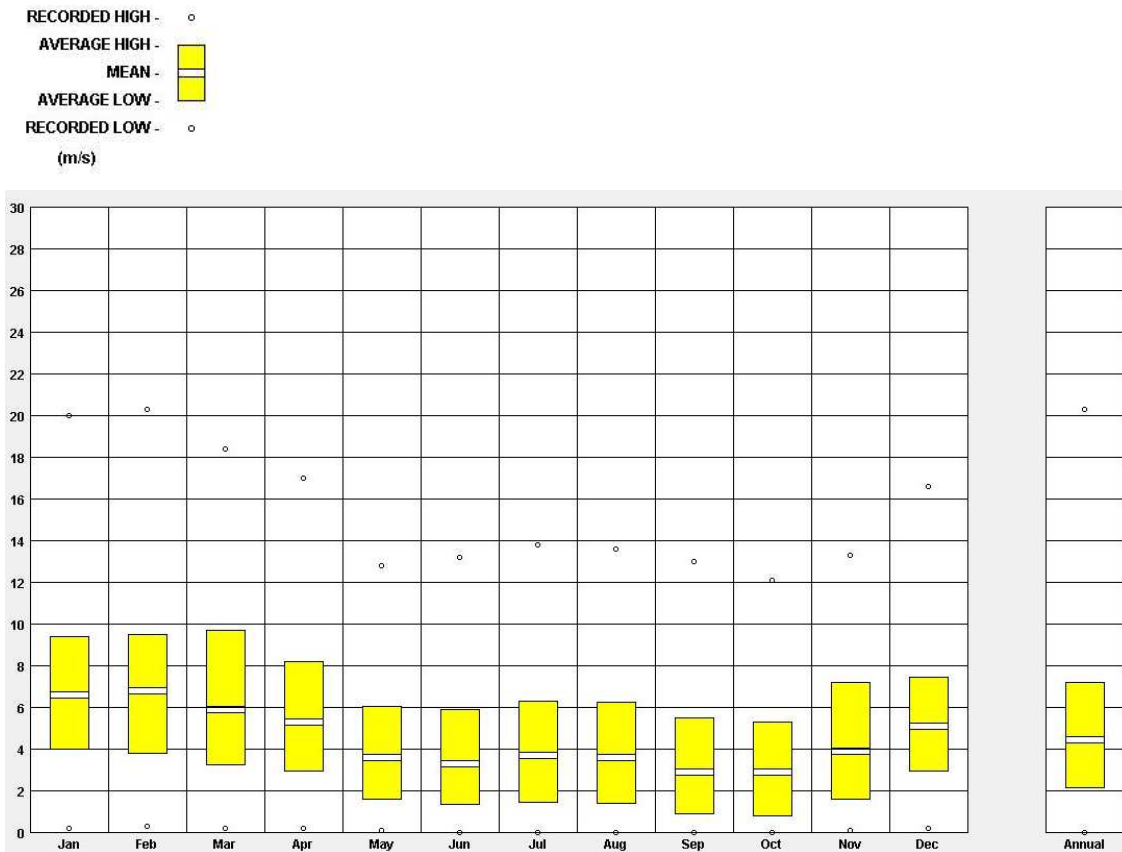


Gráfico 11 - Velocidad promedio de vientos. Fuente: Climate Consultant.

Tabla 49 - Resumen de velocidad promedio de vientos. Fuente: Elaborada por el autor.

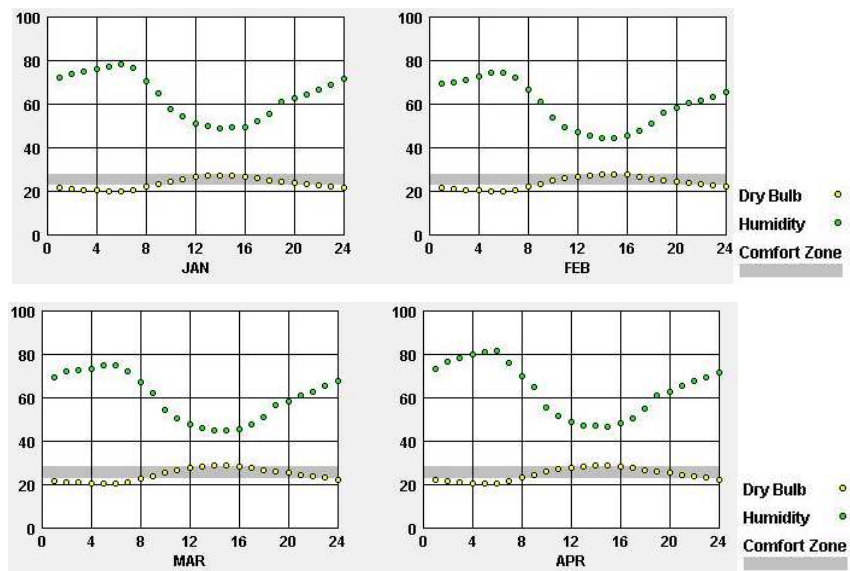
TABLA RESUMEN DE VELOCIDAD PROMEDIO DE VIENTOS	
Velocidad promedio anual mínima (m / s)	2,2
Velocidad promedio anual máxima (m / s)	9
Velocidad promedio anual (m / s)	4,3

Importancia para el análisis y conclusiones

Por medio de este gráfico se puede determinar la factibilidad de la implementación de microturbinas para generación de energía eólica, así como las condiciones de viento a las que se deberá enfrentar un proyecto en la zona de estudio.

Gráfico de temperatura de bulbo seco vs. humedad relativa

Este gráfico muestra la relación proporcionalmente inversa entre humedad relativa y temperatura de bulbo seco. Además, muestra que independientemente la época del año, los niveles de humedad se mantienen altos, sin embargo, es claramente en época lluviosa cuando se incrementa significativamente esta variable. Incluso, hasta un 33 % del tiempo podrían encontrarse valores de humedad por encima del 80 %.



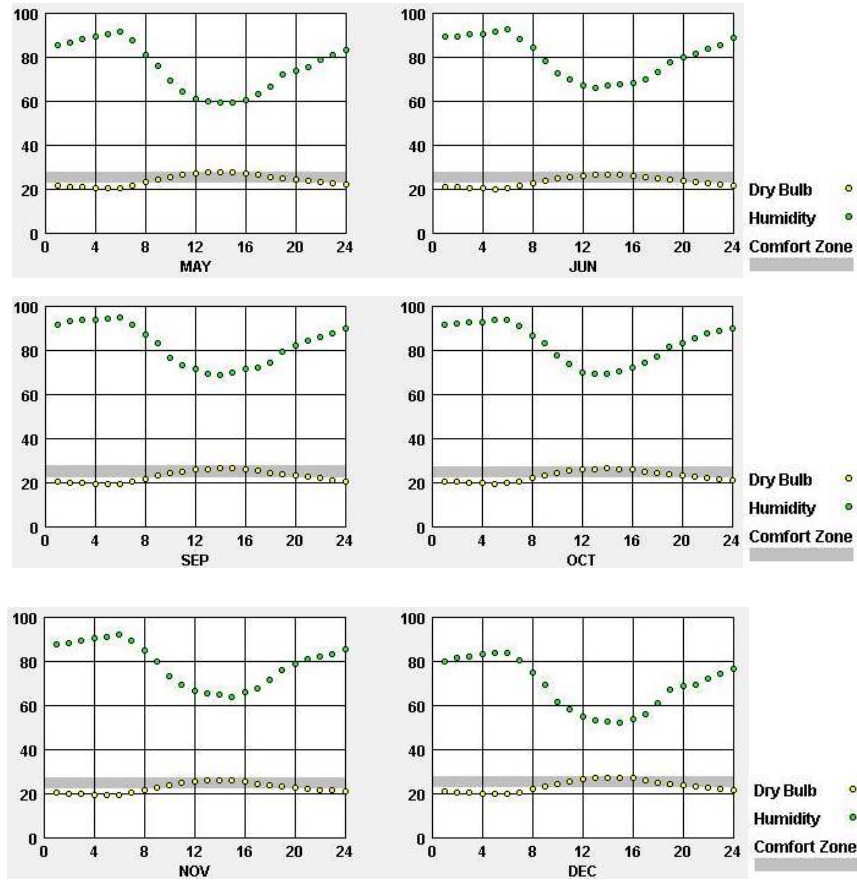


Gráfico 12 - Temperatura de bulbo seco vs. humedad relativa. Fuente: Climate Consultant.

Tabla 50 - Resumen de temperatura de bulbo seco vs humedad relativa. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE TEMPERATURA DE BULBO SECO VS HUMEDAD RELATIVA	
<p>Importancia para el análisis y conclusiones</p>	<p>El gráfico permite comprender la relación proporcionalmente inversa entre temperatura y humedad, así como determinar los períodos críticos, con cuales se establecen los parámetros de diseño bioclimático.</p>

Rangos de humedad relativa

Entre 20 % - 40 %: No se registra.
Entre 40 % - 60 %: 17 % del tiempo.
Entre 60 % - 80 %: 50 % del tiempo.
Más del 80 %: 33 % del tiempo

Gráfico promedio de humedad relativa

El gráfico promedio de humedad relativa, revela como más de la mitad del tiempo las condiciones de humedad se encuentran entre el 60% y el 80%. El gráfico permite comprender el comportamiento de la humedad relativa a lo largo del día, evidenciando como existe un incremento de la humedad antes del amanecer y durante las noches.

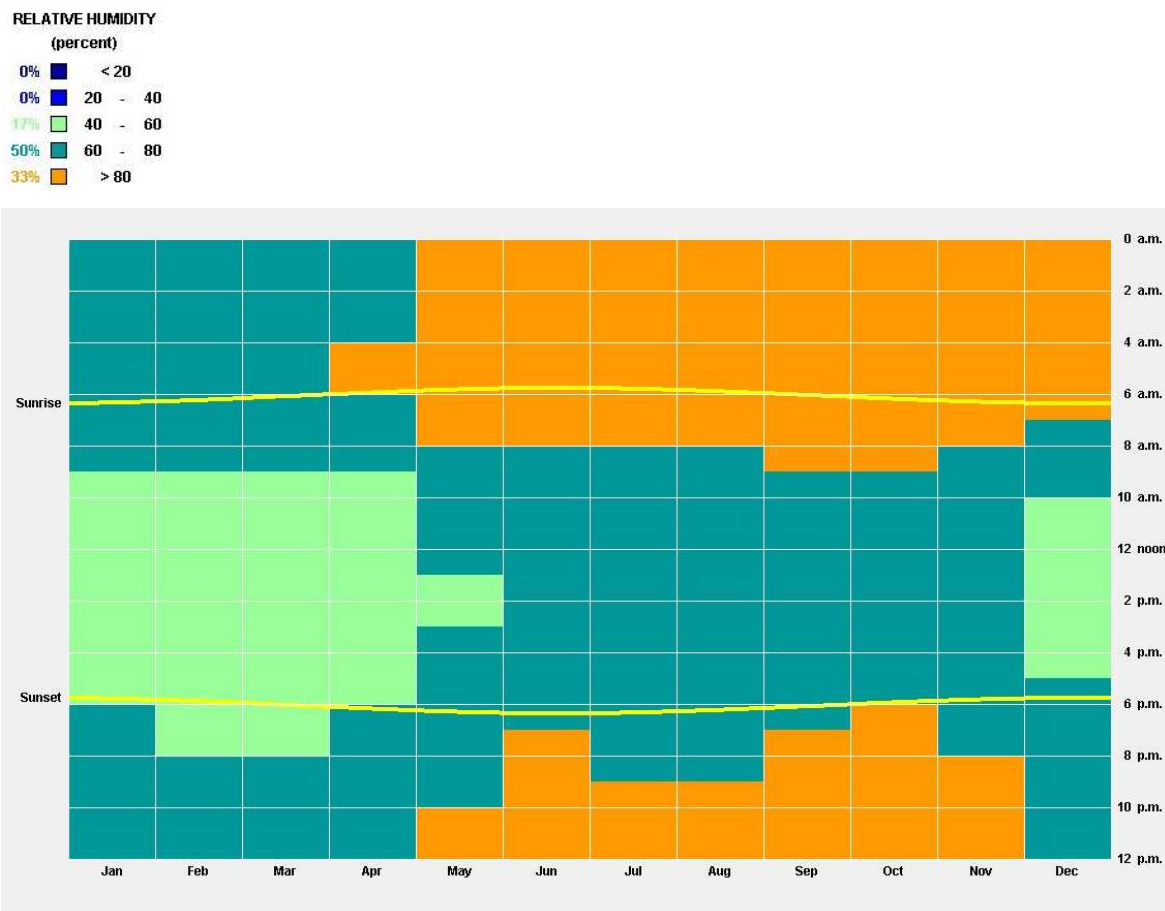


Gráfico 13 -Promedio de humedad relativa. Fuente: Climate Consultant

Tabla 51 - Resumen de rangos promedio de humedad relativo. Fuente: Elaborada por el autor.

RESUMEN DE RANGOS PROMEDIO DE HUMEDAD RELATIVA

Humedad relativa más de 80 %

33 % del tiempo

Humedad relativa entre 60-80 %

50 % del tiempo

Humedad relativa entre 40-60 %

17 % del tiempo

Importancia para el análisis y conclusiones

Es importante entender los niveles de humedad relativa y su comportamiento a través del día y del año. Esta variable complementa el análisis que debe hacer

para poder establecer las estrategias de diseño a implementar.

Gráfico de rosa de los vientos

El gráfico de Rosa de los Vientos, permite determinar la dirección predominante, las velocidades promedio y la cantidad de horas diarias de afectación. Se muestran gráficos de la rosa de los vientos para la estación seca y lluviosa, dado que las condiciones de viento tienen diferente comportamiento, según la época.

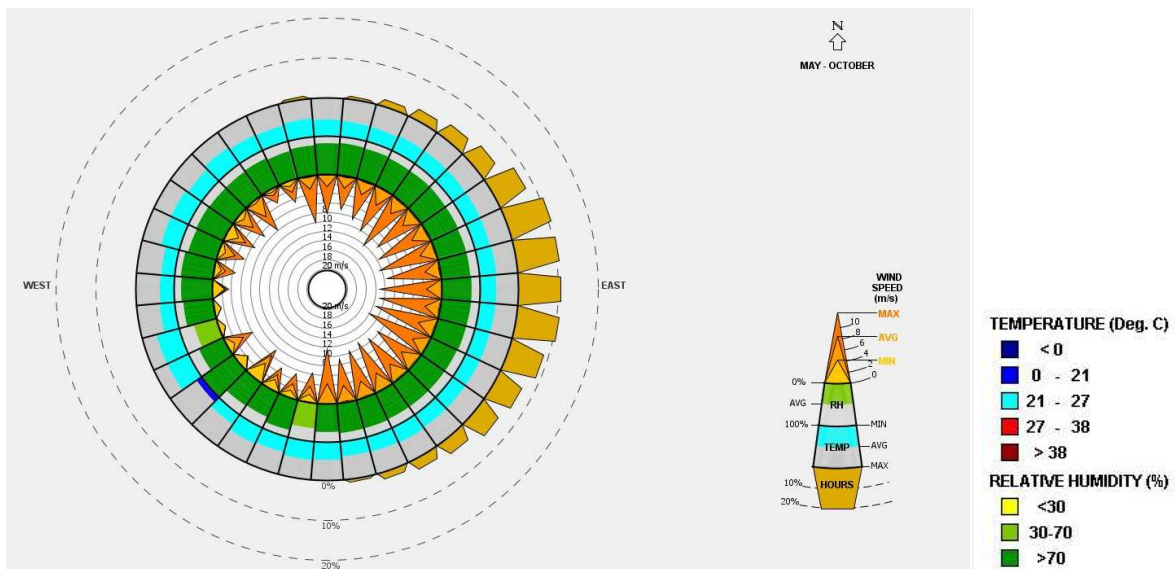


Gráfico 14 - Rosa de los vientos - Estación lluviosa. Fuente: Climate Consultant.

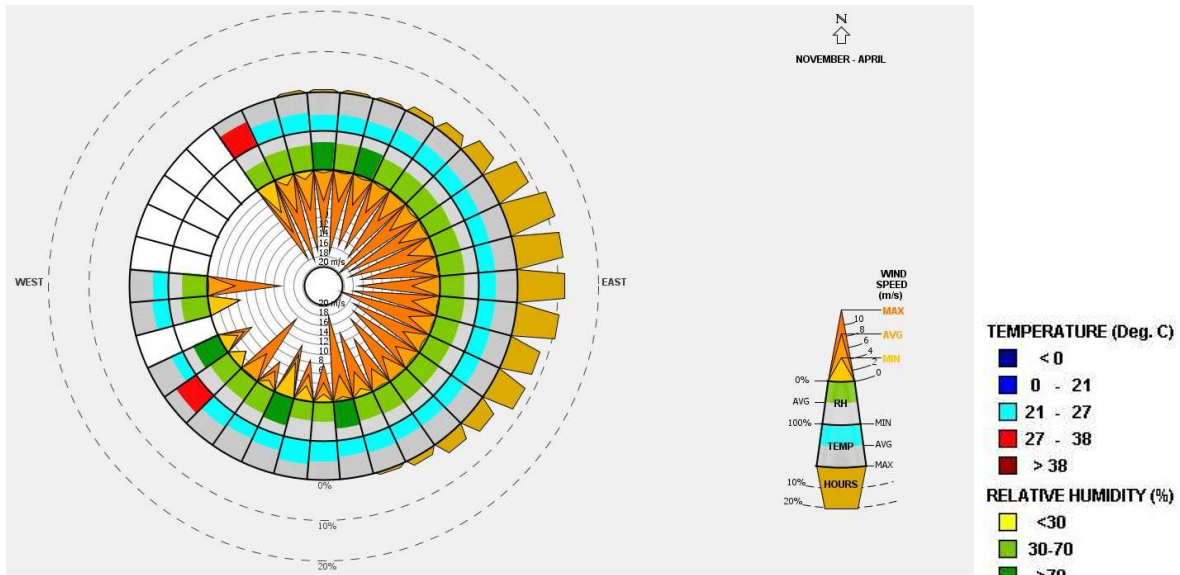


Gráfico 15 - Rosa de los vientos - Estación seca. Fuente: Climate Consultant.

Tabla 52 - Resumen de datos de dirección de viento. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE DATOS DIRECCIÓN DEL VIENTO

Estación seca: Noviembre - Abril

Velocidad promedio máxima y dirección (m/s)	20, NE
Velocidad promedio mínima y dirección (m/s)	2, S

Estación lluviosa: Mayo - Octubre

Velocidad promedio máxima y dirección (m/s)	14, SE
Velocidad promedio mínima y dirección (m/s)	1, NO

Importancia para el análisis y conclusiones

Es importante comprender la dinámica de los vientos de la zona con el fin de determinar aspectos como la orientación del edificio, buscando una adecuada ventilación por medio de estrategias de climatización pasiva.

Cuadro psicrométrico: Confort en interiores. (Estación seca)

Muestra las condiciones de confort durante los meses de estación seca. El incremento de las temperaturas promedio durante esta época del año, suponen una disminución en la humedad relativa, sin embargo, estas condiciones de temperaturas elevadas, significa que sólo el 45% del tiempo de ocupación de estos edificios estaría dentro de las condiciones de confort mínimas, y un 55% del tiempo se encontrarían condiciones de confort menos favorables.

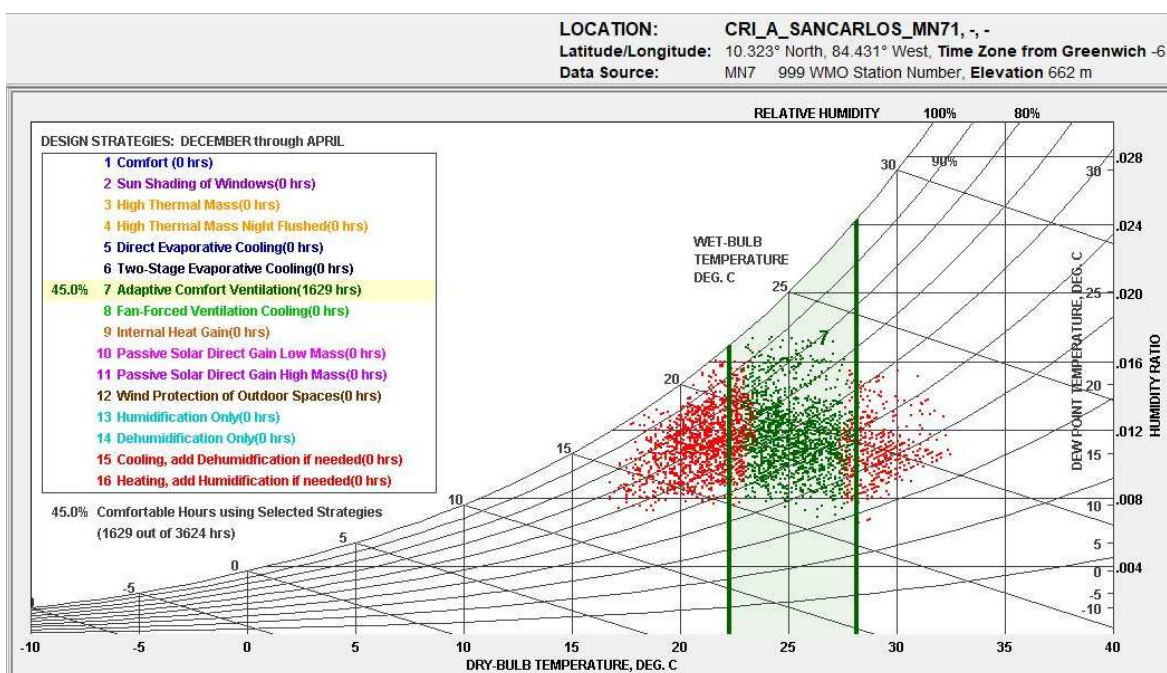


Gráfico 16 - Cuadro psicrométrico de estación seca. Fuente: Climate Consultant.

Tabla 53 - Resumen de cuadro psicrométrico de estación seca. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE CUADRO PSICROMÉTRICO DE ESTACIÓN SECA

Importancia para el análisis y conclusiones

El análisis y comprensión de estos datos, permite entender las condiciones de confort que se dan en un período específico, con el fin de determinar las mejores estrategias para lograr niveles óptimos de confort

Rango de temperaturas

22 °C - 28 °C

Rango de humedad relativa	40 % - 90 %
Zona de confort	45 % del tiempo durante esta época del año

Cuadro psicrométrico: Confort en interiores. (Estación lluviosa)

Muestra las condiciones del confort durante los meses de estación lluviosa. En este gráfico se observa claramente como existen condiciones de humedad mucho más drásticas que en la época seca, lo que incide de manera directa sobre la capacidad natural del cuerpo humano para regular su temperatura.

Para esta época, y debido a la alta humedad, se alcanzan condiciones de confort sólo el 47.6% del tiempo dando paso a un 52.4% de tiempo de ocupación donde se apreciarán condiciones menos confortables.

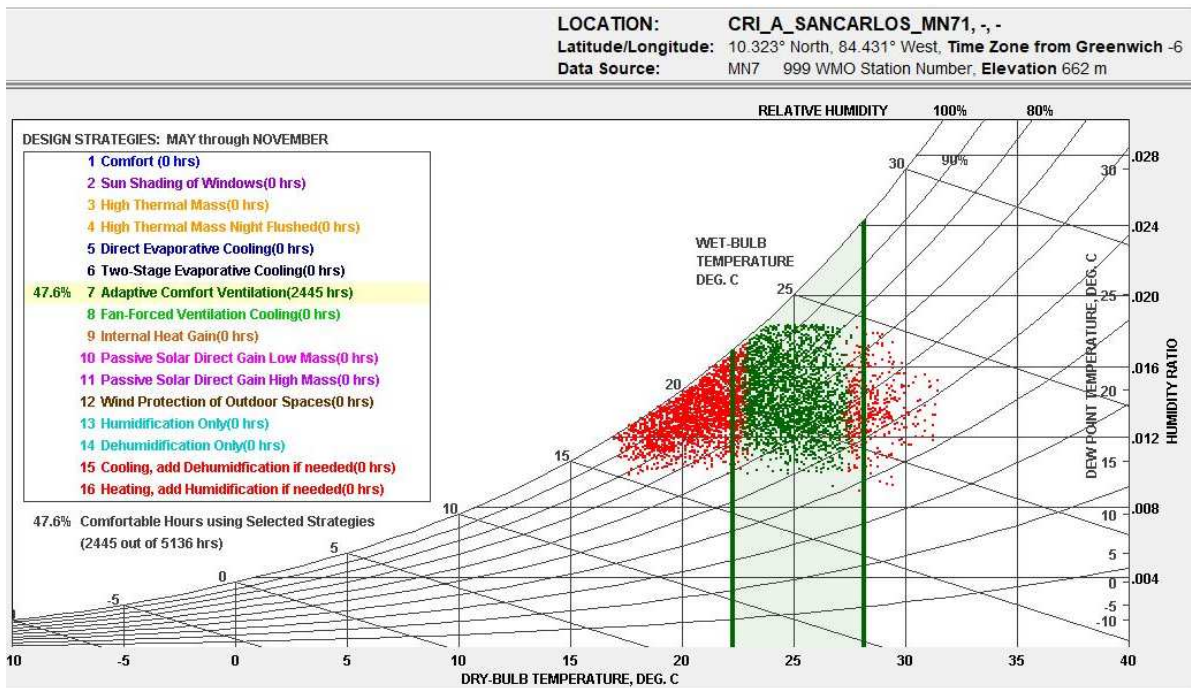


Gráfico 17 - Cuadro psicrométrico de estación lluviosa. Fuente: Climate Consultant.

Tabla 54 - Resumen de cuadro psicrométrico de estación lluviosa. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE CUADRO PSICROMÉTRICO ESTACIÓN LLUVIOSA

Importancia para el análisis y conclusiones	El análisis y comprensión de estos datos, permite entender las condiciones climatológicas que se dan en un período específico, con el fin de determinar las mejores estrategias para lograr niveles óptimos de confort. Es importante mencionar, que la alta humedad también afecta la capacidad corporal regular su temperatura, condición que podría crear una sensación mucho más incómoda durante estos meses de altísima humedad.
Rango de temperaturas	22 °C - 28 °C
Rango de humedad relativa	50 % - 100 %
Zona de confort	48 % del tiempo durante esta época del año

Resumen de los resultados parciales del análisis de variables climatológicas: Zona de confort y recomendaciones generales

Ventilación

Se recomienda el uso de planta libre y aperturas para generar una mejor circulación de aire, así como la utilización de louvers en puntos estratégicos de los edificios. En este caso. El proyecto cumple con estas condiciones, por lo que se podría considerar como una condición deseable a mantener.

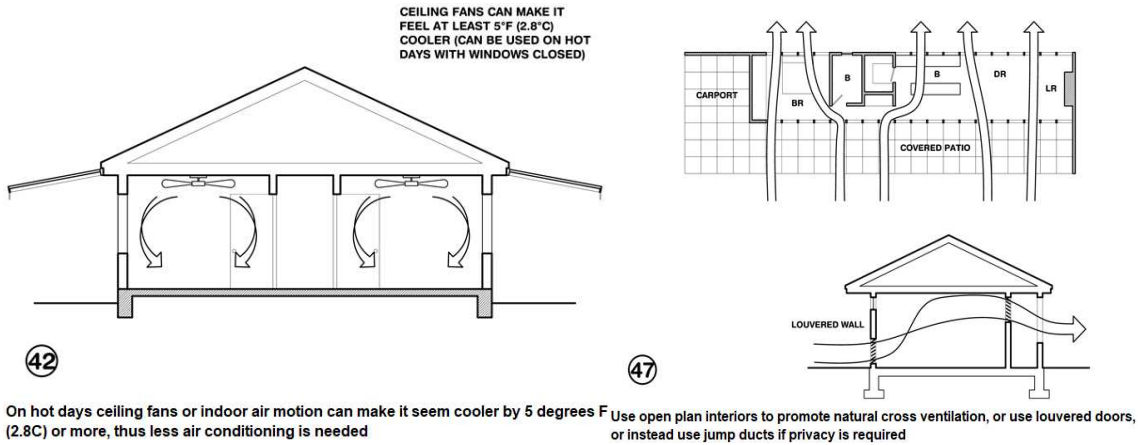


Imagen 54 - Diagramas de estrategias de ventilación. Fuente: Climate Consultant.

Diseño arquitectónico

El siguiente diagrama, refleja la arquitectura típica de zonas húmedas y calientes, donde se plantea la utilización de corredores, monitores, aleros largos y cielos altos, así como levantar la estructura del piso sobre pilotes, por temas de humedad y circulación de aire. Algunas de estas recomendaciones se ven aplicadas al diseño de los edificios del proyecto.

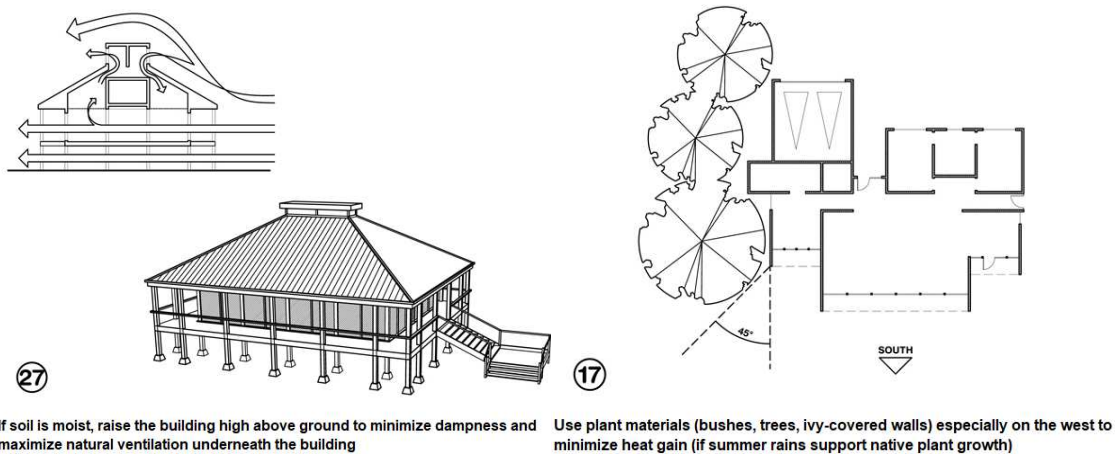


Imagen 55 - Diagrama de diseño de arquitectura tradicional para el climas húmedos y cálidos y aprovechamiento de la vegetación para la reducción de la ganancia térmica. Fuente: Climate Consultant.

Segunda sección: Herramientas para el análisis de soleamiento, radiación, transferencia de calor y vientos.

La segunda sección del análisis climatológico expondrá los resultados de las diferentes herramientas de análisis que se emplearon para determinar la afectación del proyecto por causa de soleamiento, radiación acumulada en cubiertas y terrazas, así como la transferencia de calor por cerramientos y el estudio de vientos para determinar la posible afectación sobre el conjunto de edificios.

Para este análisis, se emplearon las herramientas incluidas en la versión 2020 de Autodesk Revit Architecture, específicamente la extensión Autodesk Insight.³⁷

Análisis de soleamiento

Para evaluar las condiciones de soleamiento y la incidencia solar en los diferentes edificios del conjunto, se realiza un análisis en épocas críticas del año. Es importante decir que, dadas las condiciones de la topografía y la densa vegetación, difícilmente el proyecto se ve severamente afectado por el soleamiento directo durante períodos de tiempo muy prolongados, considerando además la cobertura de nubosidad. Se toma como fecha crítica para el análisis de soleamiento, el equinoccio de primavera en el hemisferio norte, (21 de marzo), dado que coincide con la época de mayores temperaturas, según los registros del análisis de variables climatológicas.

Los análisis de soleamiento se llevan a cabo sobre fechas y horas críticas, equinoccio de primavera, (21 de marzo) y solsticio de verano, (21 de junio). los resultados deberían idealmente satisfacer las necesidades de protección, sin embargo, este tipo de análisis permite evaluar y hacer modificaciones necesarias al diseño en caso de demostrar alguna debilidad en su rendimiento. Las horas en que se analiza el modelo, tiene que ver con el rango de horas donde existe un mayor incremento en las temperaturas, (10: a.m. hasta las 2:00 p.m.). Algunos análisis de soleamiento incluyen horas al final de la tarde, cuando los rayos solares podrían incidir desde una dirección más horizontal, en este caso se omite

³⁷ Autodesk Revit Architecture 2020 es uno de los softwares más populares en la industria de la arquitectura, el diseño y la construcción.

debido a las condiciones topográficas y de vegetación que impedirían una afectación directa para el atardecer.

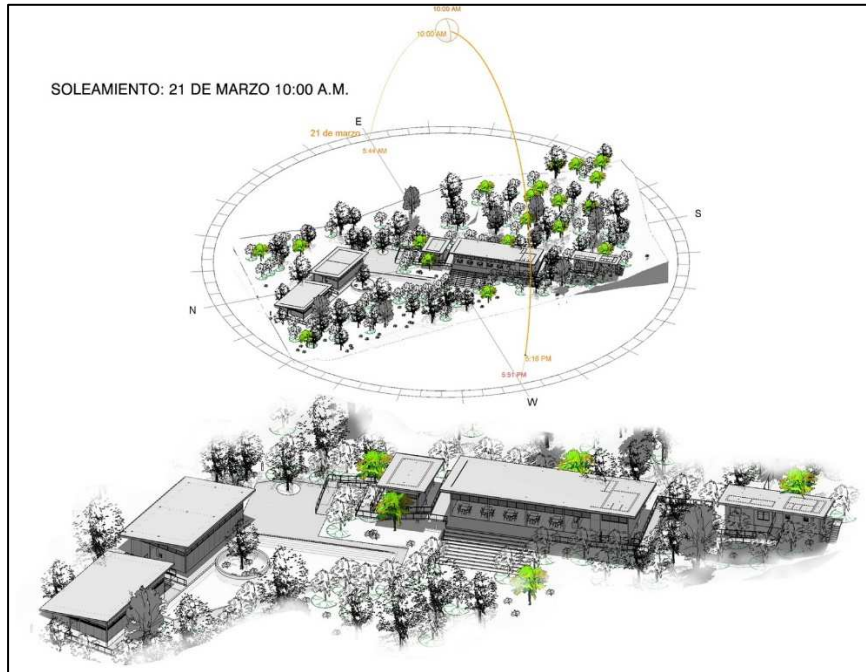


Imagen 56- Modelo arquitectónico sometido al análisis – 21 de marzo, 10:00 a.m. Fuente: Elaborada por el autor.

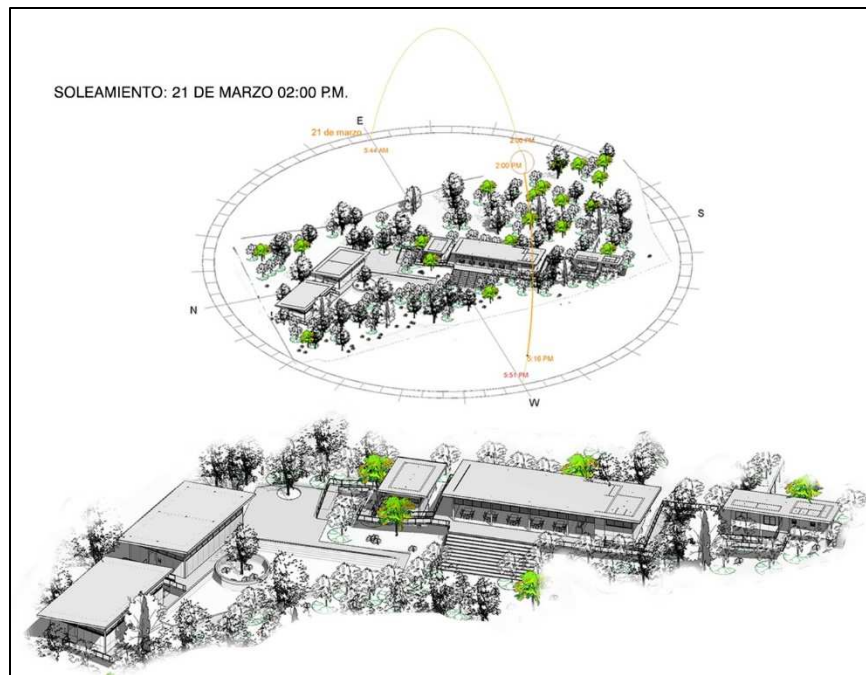


Imagen 57 - Imagen 33- Modelo arquitectónico sometido al análisis – 21 de marzo, 2:00 p.m. Fuente: Elaborada por el autor.

Análisis de radiación solar acumulada en la envolvente del conjunto de edificios

Para el análisis de radiación acumulada, se llevó a cabo un estudio sobre las envolventes del conjunto de edificios, utilizando las herramientas de Autodesk Insight 2020³⁸, con el fin de determinar los puntos vulnerables, así como determinar las áreas con mejor potencial para una eventual implementación de sistemas de captación solar por medio de paneles fotovoltaicos. Se toman como fechas de análisis los solsticios y equinoccios, por ser fechas donde la ubicación específica del sol afecta de manera particular la incidencia solar y las temperaturas.

La radiación acumulada supone la radiación máxima que puede acumular una superficie a lo largo del día, por lo que no se utilizan horas específicas para el análisis, sino rangos de

³⁸ Autodesk Insight es un conjunto de herramientas de análisis integradas en el software Revit Architecture, que permite a arquitectos y diseñadores generar simulaciones de radiación sobre las envolventes de edificios, entre otra serie de herramientas y reportes disponibles en la plataforma.

horas en función de las horas de sol a las que esté expuesta la superficie. Para efectos de este análisis, se calculó en un rango de tiempo desde el amanecer hasta el atardecer, coincidente con el horario de ocupación del complejo de edificios.

Para calcular como esa radiación acumulada puede afectar diferentes superficies de la envolvente del edificio, se utiliza como referencia la tabla de Energy Model,³⁹ que se muestra a continuación, la cual muestra diferentes relaciones entre hora del día, temperatura y radiación. Se logra apreciar como para las primeras horas de la mañana y las últimas horas de la tarde, se obtienen valores de radiación de entre un rango 208 W / m^2 y 276 W / m^2 , valores que sugieren un rango de temperaturas del aire confortables, de entre los $21 \text{ }^\circ\text{C}$ y los 26°C . Sin embargo, para el final de la tarde las temperaturas promedio tienden a ser más elevadas debido a la ganancia térmica.

A partir de este promedio de 200 W/m^2 , se podría calcular la cantidad de radiación máxima recomendable que podría exponerse una superficie, como resultado de multiplicar 200W/m^2 por la cantidad de horas a las que estará expuesta a radiación directa la envolvente. Con un rango promedio de 12 horas diarias de radiación acumulada, multiplicada por 200 W / m^2 , se obtiene un promedio de 2400 W / m^2 . Las superficies expuestas que acumulen valores muy por encima de 2400 W / m^2 , podrían verse afectadas por la radiación solar, condición que implicaría ciertas consideraciones principalmente en cuanto a los materiales propuestos para cerramientos y cubiertas.

Variables indicadas en la tabla

Hora del día

Temperatura

Radiación

³⁹ energy-models.com es un sitio para modeladores energéticos, simuladores de edificios, arquitectos e ingenieros que quieren aprender desde conceptos básicos hasta avanzados sobre modelado energético.

Tabla 55 - Factores de ganancia térmica solar. Fuente: Tomada de Energy Models.<http://energy-models.com/heat-transfer>.

Solar Heat Gain Factors (SHGF) 40°N Latitude						$T_{sol-air} = T_o + a * SHGF / f$						f = outside film conduct = 5.88					
T	OA	Direct	Wall	Sol-air-T		Wall	Sol-air-T		Wall	Sol-air-T		Wall	Sol-air-T		Roof	Sol-air-T	
AM	Temp	Rad.	N	absrb fctr (a)		E	absrb fctr (a)		S	absrb fctr (a)		W	absrb fctr (a)		R	absrb fctr (a)	
PM	°F	Id	shgf	0.8	0.2	shgf	0.8	0.2	shgf	0.8	0.2	shgf	0.8	0.2	shgf	0.8	0.2
5	73.3	2	1	73.4	73.3	2	73.5	73.3	0	73.3	73.3	0	73.3	73.3	0	73.3	73.3
6	76.5	138	37	81.5	77.7	137	95.1	81.1	11	78.0	76.8	11	78.0	76.8	32	80.8	77.6
7	79.6	208	30	83.6	80.6	204	107.3	86.5	21	82.4	80.3	20	82.3	80.2	88	91.5	82.6
8	82.5	241	28	86.3	83.5	216	111.9	89.8	30	86.6	83.5	26	86.0	83.4	145	102.2	87.4
9	85.2	259	32	89.6	86.3	193	111.5	91.8	52	92.3	87.0	31	89.4	86.3	194	111.6	91.8
10	87.7	269	35	92.4	88.9	146	107.5	92.6	81	98.7	90.4	35	92.4	88.9	231	119.1	95.5
11	89.8	275	37	94.9	91.1	81	100.9	92.6	102	103.7	93.3	37	94.9	91.1	254	124.4	98.5
12	91.7	276	38	96.8	92.9	41	97.2	93.0	109	106.5	95.4	41	97.2	93.0	262	127.3	100.6
13	93.1	275	37	98.1	94.4	37	98.1	94.4	102	107.0	96.6	81	104.1	95.9	254	127.7	101.7
14	94.1	269	35	98.9	95.3	35	98.9	95.3	81	105.2	96.9	146	114.0	99.1	231	125.6	102.0
15	94.8	259	32	99.1	95.9	31	99.0	95.8	52	101.9	96.6	193	121.0	101.4	194	121.2	101.4
16	95.0	241	28	98.8	96.0	26	98.5	95.9	30	99.1	96.0	216	124.4	102.3	145	114.7	99.9
17	94.8	208	30	98.9	95.8	20	97.5	95.5	21	97.6	95.5	204	122.5	101.7	88	106.8	97.8
18	94.1	138	37	99.2	95.4	11	95.6	94.5	11	95.6	94.5	137	112.8	98.8	32	98.5	95.2
19	93.1	2	1	93.2	93.1	0	93.1	93.1	0	93.1	93.1	2	93.4	93.2	0	93.1	93.1
$T_{sol-air} (24-hour-avg) =$				85.2	83.3	$T_s =$	89.5	84.4	$T_s =$	86.7	83.7	$T_s =$	89.4	84.4	$T_s =$	94.9	85.7

A continuación, se muestra la escala de colores utilizada para el modelo de análisis. Los colores amarillos, representan los valores más altos de la escala, mientras que los azules los valores más bajos de la escala.

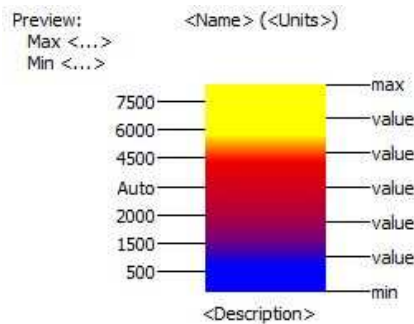


Imagen 58 - Escala de colores para determinar los valores de radiación. Tomada de Autodesk Insight 2020

Análisis de radiación en cubiertas – 21 de marzo, Equinoccio de primavera

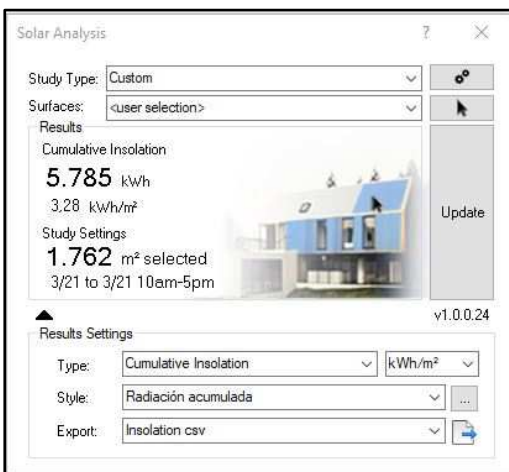
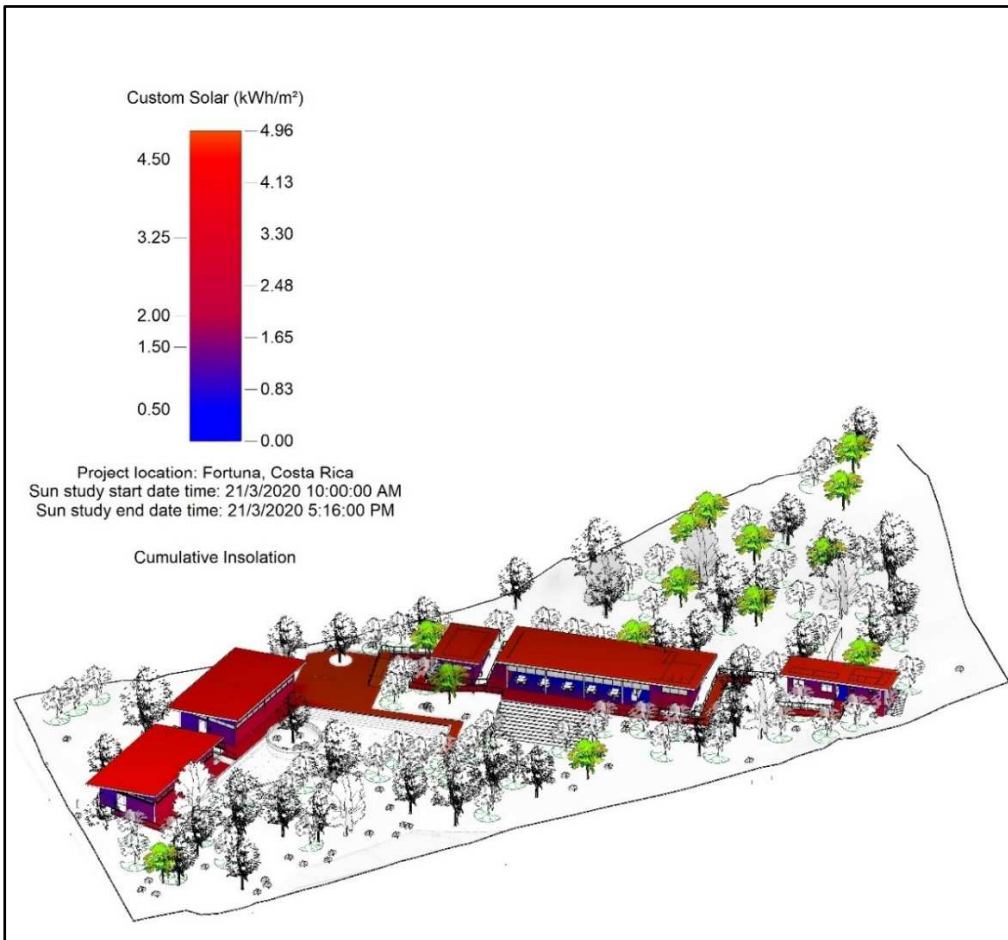
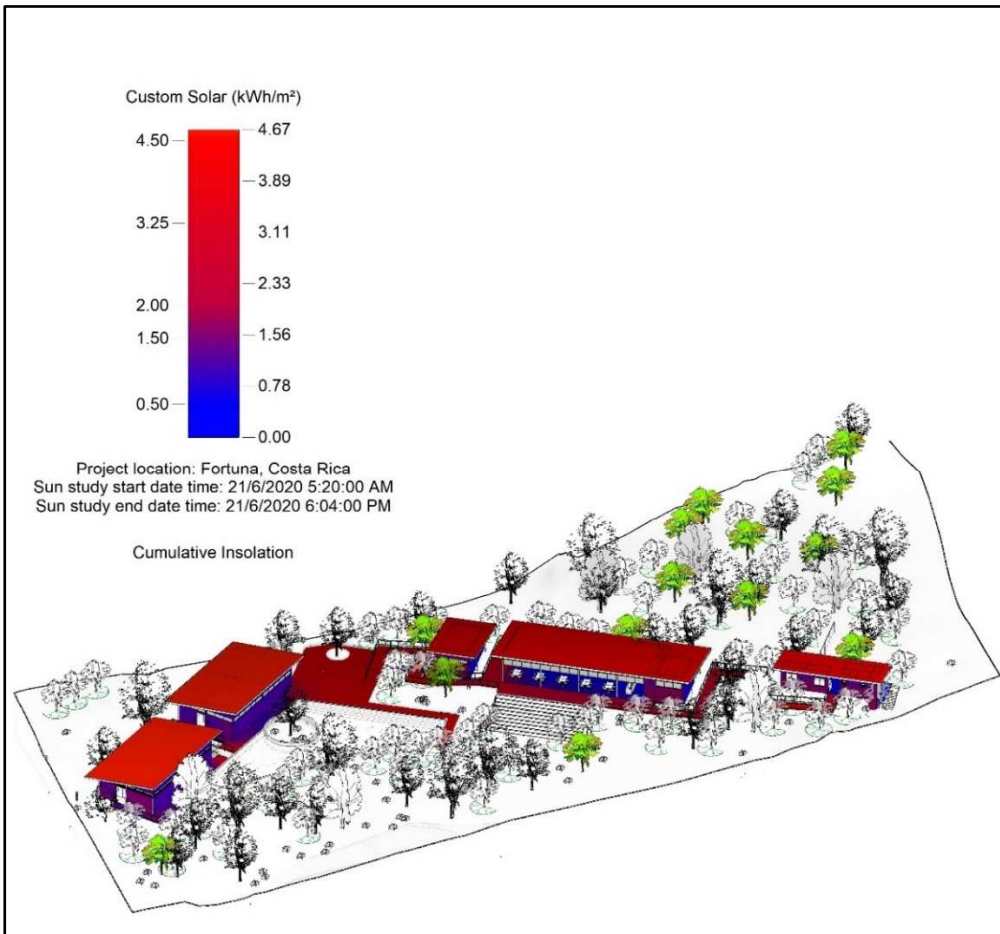


Imagen 59 - Análisis de radiación sobre las envolventes de los edificios del conjunto, (marzo 21). Fuente: Elaborada por el autor.

Análisis de radiación en cubiertas – 21 de junio, Solsticio de Verano



Solar Analysis: ? x

Study Type: Custom

Surfaces: <user selection>

Results

Cumulative Insolation

5.297 kWh

3.01 kWh/m²

Study Settings

1.762 m² selected

6/21 to 6/21 sunrise to sunset

Update

v1.0.0.24

Results Settings

Type: Cumulative Insolation kWh/m²

Style: Radiación acumulada

Export: Insolation csv

Imagen 60 - Análisis de radiación sobre las envolventes de los edificios del conjunto, (junio 21). Fuente: Elaborada por el autor.

Análisis de radiación en cubiertas – 21 de setiembre, Equinoccio de Otoño

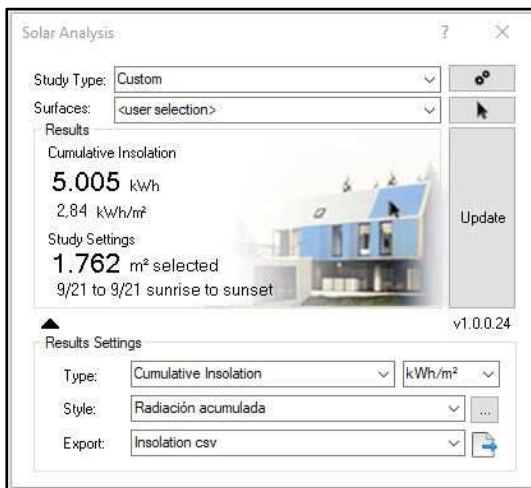
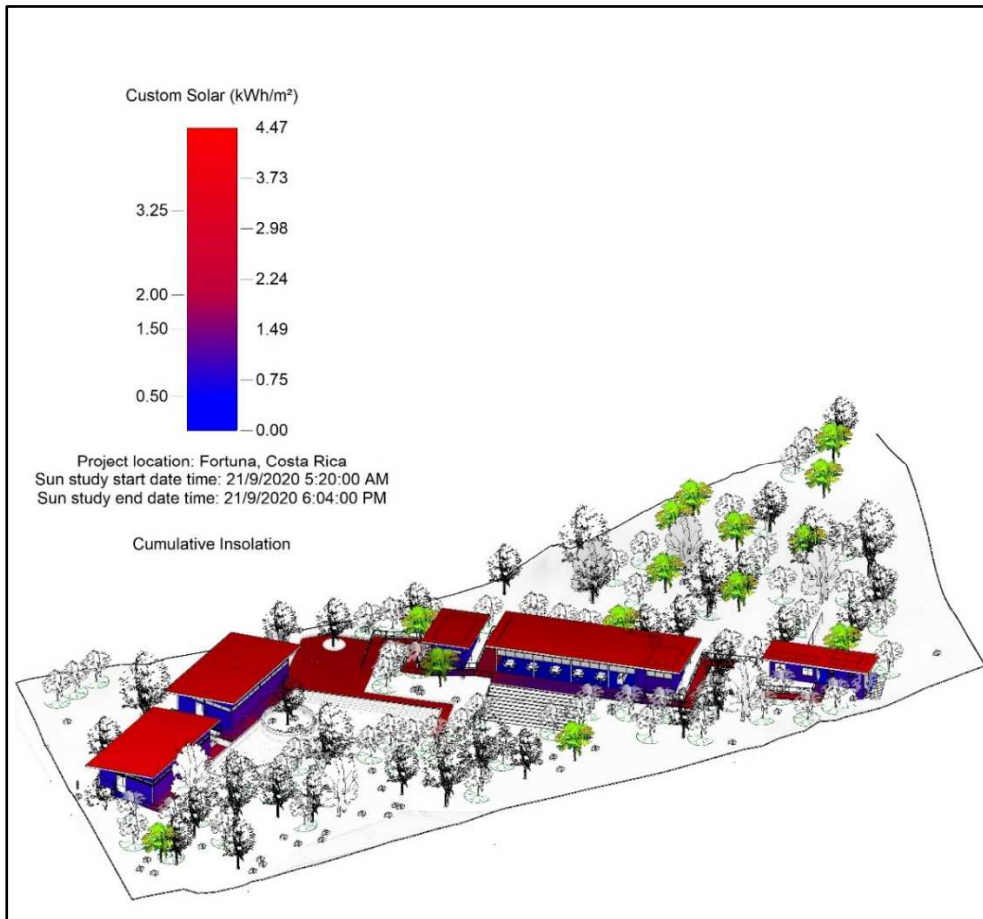


Imagen 61 - Análisis de radiación sobre las envolventes de los edificios del conjunto, (setiembre 21). Fuente: Elaborada por el autor.

Análisis de radiación en cubiertas – 21 de diciembre, Solsticio de Invierno

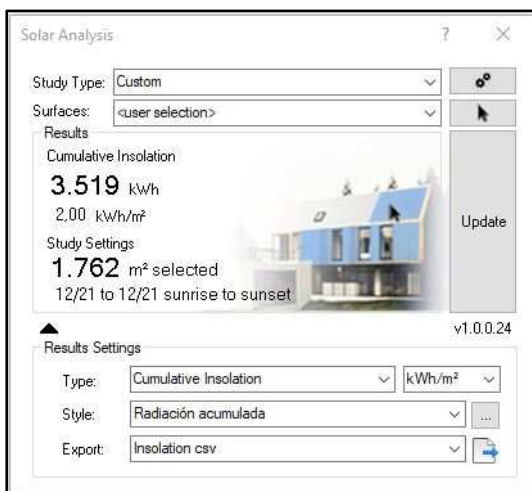
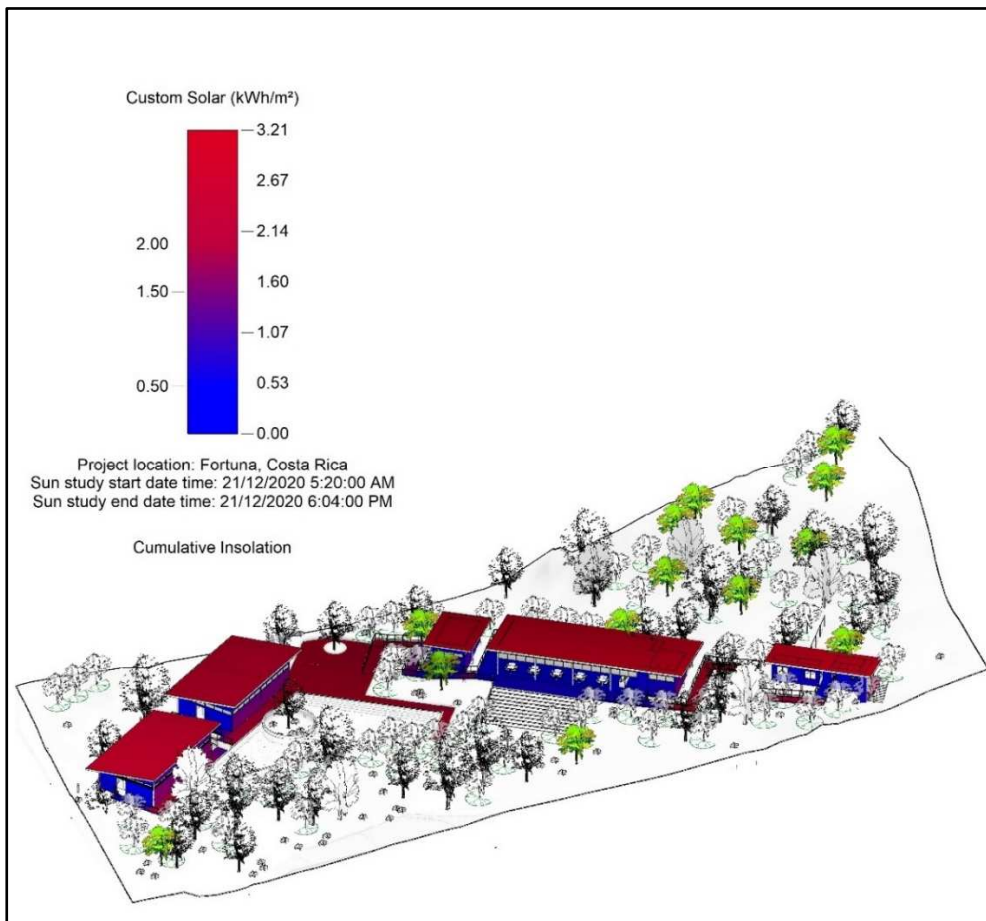


Imagen 62 - Análisis de radiación sobre las envolventes de los edificios del conjunto, (diciembre 21). Fuente: Elaborada por el autor.

Resultados del análisis de radiación

Seguidamente, se muestra una tabla resumen de radiación acumulada para diferentes épocas críticas del año. Como revela el ejercicio, se presentan valores acumulados de radiación importantes sobre todo para el equinoccio de primavera, (marzo 21), así como para el solsticio de verano, (junio 21). Es importante considerar que aspectos como la nubosidad y vegetación podrían variar los valores promedio de radiación acumulada.

Tabla 56 - Resumen de radiación acumulada en cubiertas y terrazas. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA RESUMEN DE RADIACIÓN ACUMULADA	
MARZO 21 – RADIACIÓN MÁS ALTA	
Horas de exposición	12 h
Área de la superficie	1762 m ²
Valor acumulado máximo	5785 W
Valor promedio	3.28 KWh / m²
JUNIO 21 – RADIACIÓN ALTA	
Horas de exposición	12 h
Área de la superficie	1762 m ²
Valor acumulado máximo	5297 W
Valor promedio	3.01 KWh / m²
SETIEMBRE 21 – RADIACIÓN MÁS BAJA	
Horas de exposición	12 h
Área de la superficie	1762 m ²
Valor acumulado máximo	5005 W
Valor promedio	2.84 KWh / m²
DICIEMBRE 21 – RADIACIÓN BAJA	
Horas de exposición	12 h
Área de la superficie	1762 m ²
Valor acumulado máximo	3519 W
Valor promedio	2.0 KWh / m²

Análisis de transferencia de calor de los materiales propuestos en cubierta y cerramientos

Como complemento del análisis climatológico, se exponen los resultados del análisis de transferencia de calor en cerramientos, ejercicio que se llevó a cabo como parte del curso de Aislamiento Térmico y Acústico de la maestría. En el ejercicio, se plantean algunos escenarios posibles generados a partir de la información climática del sitio y las especificaciones técnicas de los materiales propuestos para el proyecto.

Los escenarios planteados, buscan determinar las condiciones de transferencia de calor a través de cubierta y cerramientos. El cálculo, se basa en el manual 2017 ASHRAE Handbook -Fundamentals (SI), así como de la teoría estudiada en clase y los laboratorios prácticos a lo largo del curso.

Transferencia de calor por conducción unidireccional estacionaria en cubiertas y cerramientos

El diseño original del proyecto, plantea la utilización de láminas cubierta con centro de espuma de poliestireno. El análisis que se llevó a cabo, pretende calcular la idoneidad del material especificado versus otras posibles soluciones, con el fin de obtener de manera comparativa datos que permitan tomar una decisión respecto al material a utilizar en cubierta, sobre todo cuando las condiciones del clima de la zona exigen un excelente manejo del uso de materiales, así como de estrategias de climatización pasiva.

Tabla 57 - Datos para el cálculo de transferencia de calor. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CUBIERTA

- Panel de cubierta de centro de espuma de poliuretano de 30 mm de grosor.
- El área de la cubierta es de 280 m²
- Temperaturas ($\Delta T = 5.5 \text{ }^\circ\text{C}$)
- La conductancia térmica del panel de cubierta según la ficha técnica del producto es de 0.6 W/m²°C

- Para el cálculo se utiliza un coeficiente global de transferencia de calor: (Tabla 1 Cap. 26 y Tabla 3 Cap. 33. 2017 ASHRAE Handbook -Fundamentals (SI))

Tabla 58 - Cálculo de transferencia de calor por cubierta para diferentes tipos de ensamble. Fuente: Elaborada por el autor.

**TABLA DE CÁLCULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CUBIERTA
PARA DIFERENTES TIPOS DE ENSAMBLE**

Escenario 1_Especificaciones originales del proyecto (Panel espuma de poliuretano)

$$Q_{\text{COND.}} = K. A (\Delta T)$$

$$Q_{\text{COND.}} = 0,68 \text{ W / m}^2\text{°C} \times 280 \text{ m}^2 (5.5 \text{ °C})$$

$$Q_{\text{COND.}} = \mathbf{1047 \text{ W}}$$

Escenario 2_Especificaciones supuestas (Lámina convencional de techo con cielo de fibroyeso)

Se plantea a continuación, un escenario supuesto en el que se utilizaría un material poco eficiente para aislar el calor, como es la lámina de aluminio con recubrimiento de zinc, (Metalum de METALCO), pero incluyendo un cielo de lámina de fibroyeso.

$$1 / U = R_{\text{ZINC}} + R_{\text{GYP}}$$

$$1 / U = (1 / 110 \text{ W / m }^{\circ}\text{C} + 1 / 0,16 \text{ W / m }^2\text{°C})^{-1}$$

$$1 / U = (6.26 \text{ W / m}^2\text{°C})^{-1}$$

$$U = 0,1598$$

$$Q_{\text{COND.}} = U. A (\Delta T)$$

$$Q_{\text{COND.}} = 0,1598 \text{ W/m}^2\text{°C} \times 280 \text{ m}^2 (5.5 \text{ °C})$$

$$Q_{\text{COND.}} = \mathbf{246,09 \text{ W}}$$

Escenario 3_Especificaciones alternativas (Lámina esmaltada y cielo de panel de bambú)

Un tercer escenario sería la sustitución del panel de centro de poliuretano por una lámina esmaltada con un cielo de panelería de bambú, configuración para la que tenemos el siguiente escenario:

$$U = R_{\text{ESM}} + R_{\text{BAMBÚ 13 mm}} \text{ (Se utiliza lámina de acero como referencia)}$$

$$1 / U = (1 / 45,3 \text{ W / m } ^\circ\text{C} + 1/0,056 \text{ W / m } ^\circ\text{C})^{-1}$$

$$1 / U = (17,9 \text{ W/m}^2\text{C})^{-1}$$

$$U = 0,056$$

$$Q_{\text{COND.}} = U \cdot A \cdot (\Delta T)$$

$$Q_{\text{COND.}} = 0,056 \text{ W / m}^2\text{C} \times 280 \text{ m}^2 (5.5 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{COND.}} = \mathbf{15,68 \text{ W}}$$

Tabla 59 - Datos para el cálculo de transferencia de calor. Fuente: Elaborada por el autor.

**TABLA DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR
POR CERRAMIENTOS**

- Área de fachada afectada por soleamiento (Fachada restaurante) = 50 m²
 - Temperatura exterior interna promedio = 28 °C (Datos bioclimáticos)
 - Temperatura interior promedio = 26 °C (Aproximado de la diferencia de temperaturas por sombreadamiento)
 - Velocidad promedio del viento que afecta la pared = 3 m/s
 - Para el cálculo se utiliza un coeficiente global de transferencia de calor: (Tabla 1 Cap. 26 y Tabla 3 Cap. 33)
-

Tabla 60 - Cálculo de transferencia de calor por cerramientos para diferentes tipos de ensamble. Fuente:
Elaborada por el autor.

**TABLA DE CÁLCULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CERRAMIENTOS
PARA DIFERENTES TIPOS DE ENSAMBLE**

Escenario 1_Especificaciones originales del proyecto (Cerramientos livianos en estructura de aluminio y paneles de fibrocemento)

$$U = R_{\text{FIBRO}} + R_{\text{ALUM}} + R_{\text{GYP}}$$

$$1 / U = (1/0,25 \text{ W / m } ^\circ\text{C} + 1/221 \text{ W / m}^2\text{ } ^\circ\text{C} + 1/0,16 \text{ W / m}^2\text{ } ^\circ\text{C})^{-1}$$

$$1 / U = (10,25 \text{ W / m } ^\circ\text{C})^{-1}$$

$$U = 0.0975 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{COND.}} = U \cdot A (\Delta T)$$

$$Q_{\text{COND.}} = 0.098 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C} \times 50 \text{ m}^2 (28 \text{ } ^\circ\text{C} - 26\text{ } ^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{COND.}} = \mathbf{9.8 \text{ W}}$$

Escenario 2_Especificaciones originales del proyecto (Cerramientos livianos en estructura de bambú y paneles de bambú)

$$U = R_{\text{BAMBU 13MM}} + R_{\text{BAMBÚ}} + R_{\text{BAMBU 250mm}}$$

$$1 / U = (1 / 0,056 \text{ W / m } ^\circ\text{C} + 1/0,056\text{W/m } ^\circ\text{C} + 1/0,16 \text{ W / m } ^\circ\text{C})^{-1}$$

$$1 / U = (41,6\text{W / m } ^\circ\text{C})^{-1}$$

$$U = 0,023 \text{ W / m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{COND.}} = U \cdot A (\Delta T)$$

$$Q_{\text{COND.}} = 0,023 \text{ W / m}^2\text{ } ^\circ\text{C} \times 50 \text{ m}^2 (28 \text{ } ^\circ\text{C} - 26\text{ } ^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{COND.}} = \mathbf{2,3 \text{ W}}$$

Análisis de vientos

La zona donde se ubica el proyecto, registra las velocidades promedio de viento más significativas para los meses de la estación seca, para los meses de la estación lluviosa las velocidades descienden drásticamente, por lo que se hace necesario tomar medidas para lograr la circulación de aire al interior de los espacios. (tales como estrategias de ventilación cruzada y la instalación de abanicos de bajo consumo, que incluso, podrían abastecer una parte de su consumo a partir de energía solar).

La afectación del proyecto producto del viento podría verse minimizada por la densa vegetación, y otros factores como la topografía, aspectos que se reflejan en las gráficas generadas a partir del software Autodesk Flow Design⁴⁰, un simulador de túnel de viento que permite visualizar el comportamiento de los vientos sobre el conjunto arquitectónico.

Este análisis consistió en someter a una simulación de túnel de viento, considerando la dirección dominante de los vientos y los promedios de velocidades de vientos, sometiendo el modelo a velocidades bajas, (2 m/s), moderadas, (5 m/s), y altas, (10 m/s), para ver la posible afectación en tres diferentes escenarios.

⁴⁰ Autodesk Flow Design es un software de Autodesk que permite la simulación de túnel de viento y una serie de herramientas para determinar el comportamiento de vientos sobre estructuras, así como la presión

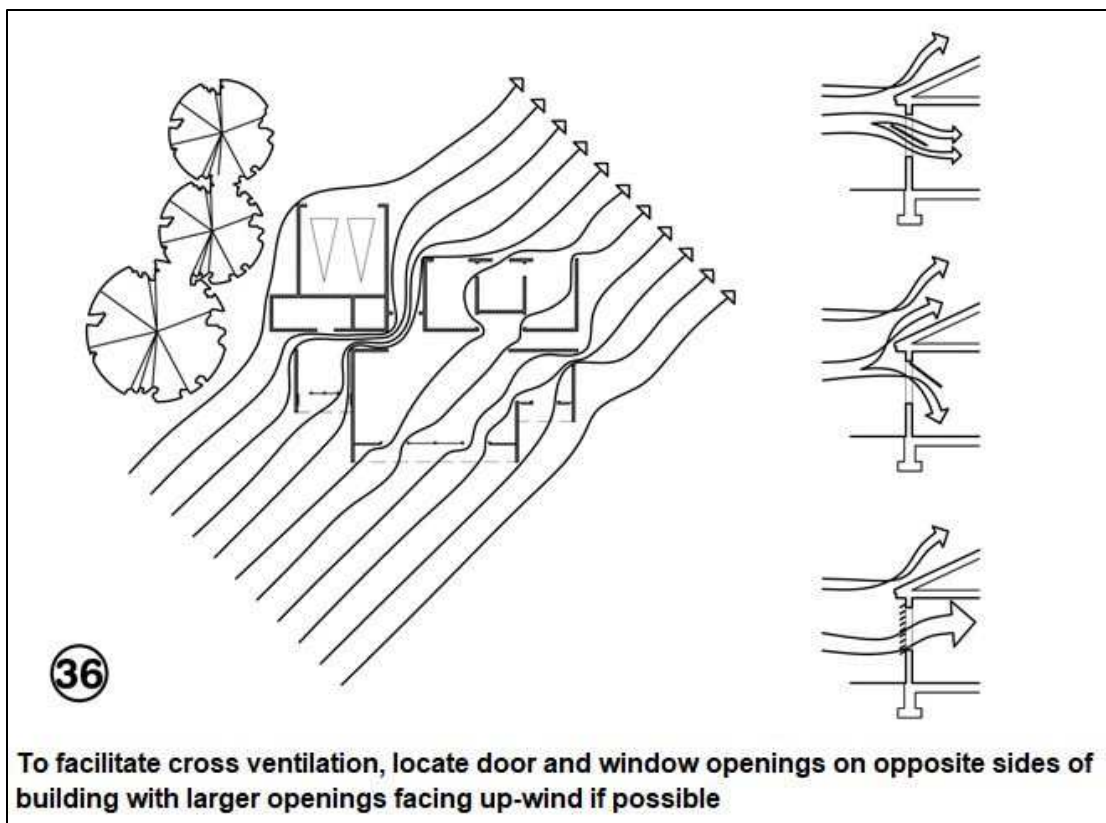


Imagen 63 - Diagrama de estrategia de diseño contemplando la dirección y velocidad del viento. Fuente: Climate Consultant.



Imagen 64 - Escala cromática de velocidad del viento y tabla de datos del análisis. Estos parámetros varían según la velocidad del túnel de viento. Fuente: Autodesk Flow Design.

Simulación de vientos en el plano vertical

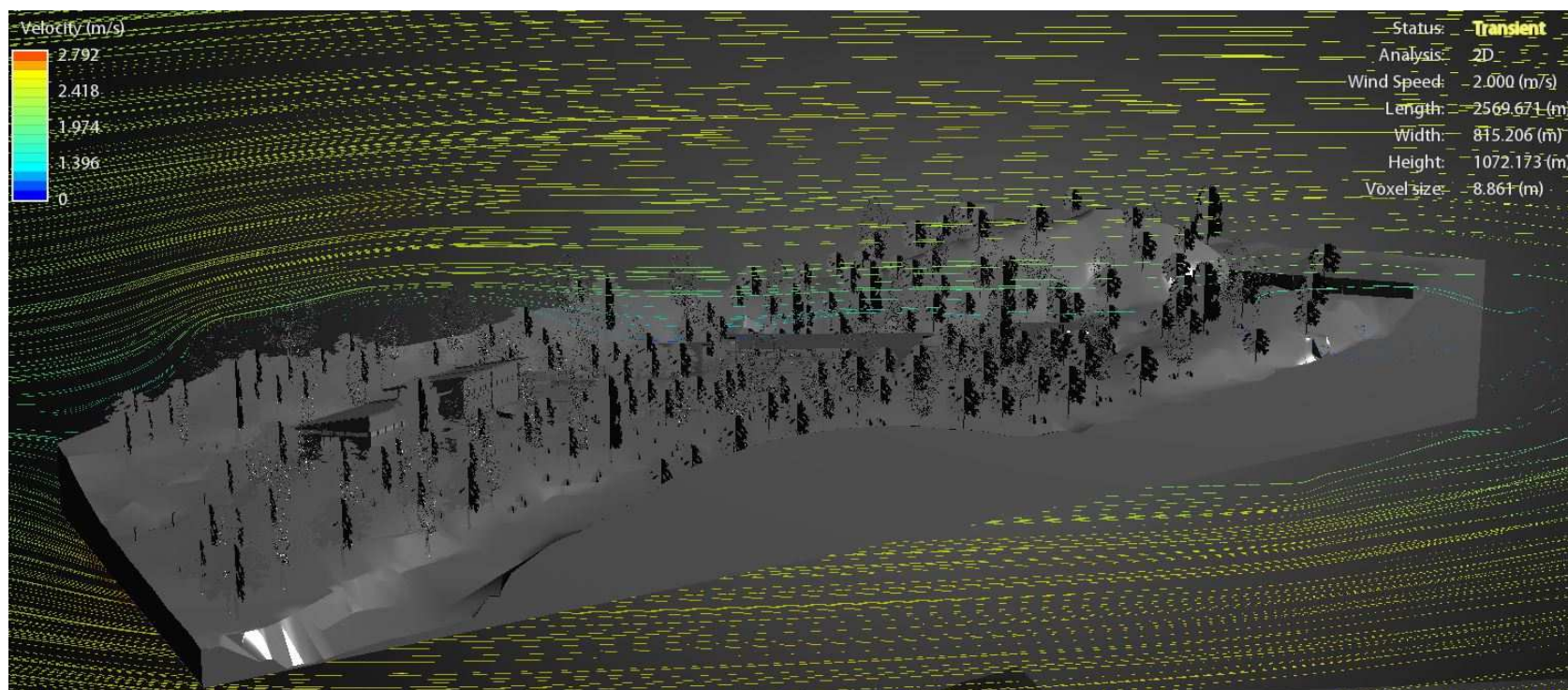


Imagen 65 - Simulación de vientos en plan vertical, (2 m/s). Fuente: Elaborada por el autor.

El análisis de viento en velocidades bajas, muestra una afectación prácticamente nula de los edificios del complejo arquitectónico. Esta velocidad de 2 m/s, será la velocidad promedio anual mínima. Condiciones como estas son las que requieren soluciones de diseño que permitan el flujo de aire, como aperturas e instalación de abanicos de bajo consumo.

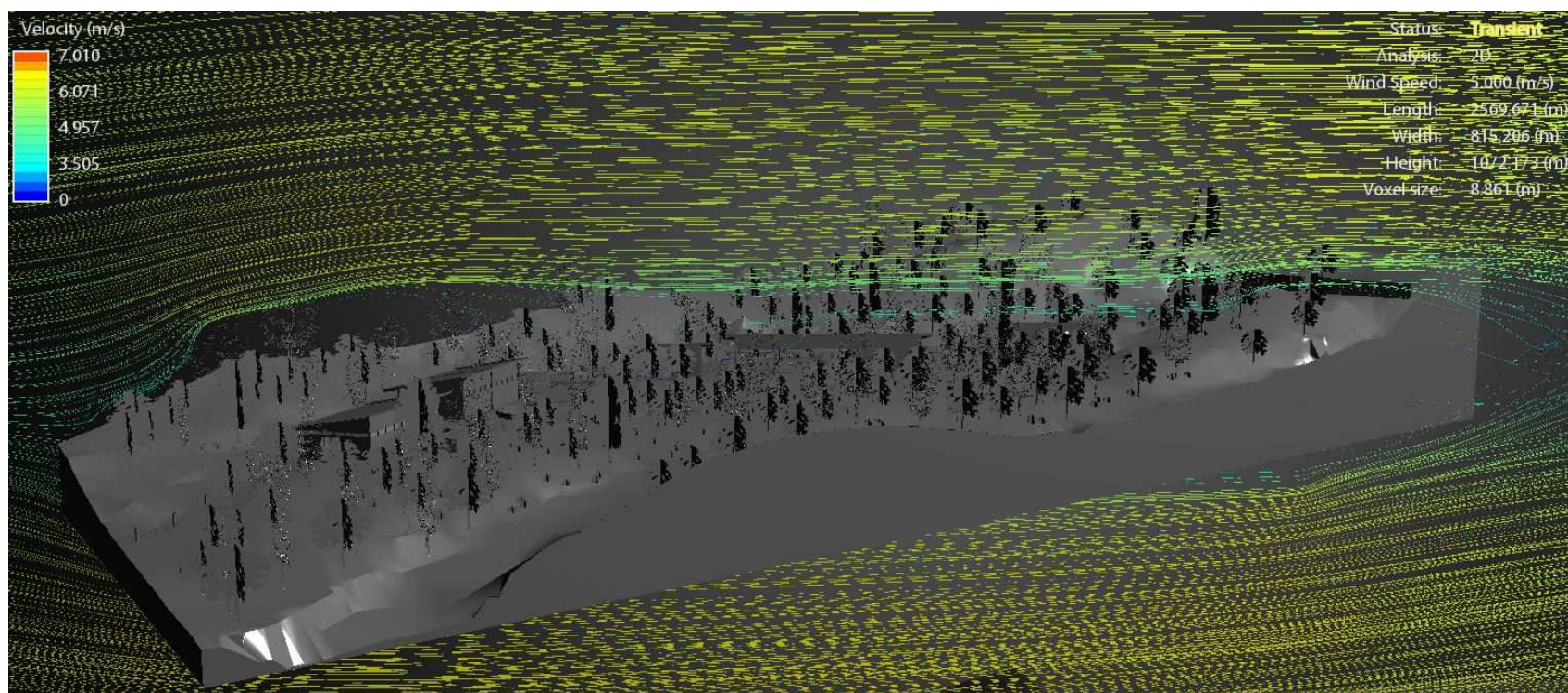


Imagen 66-- Simulación de vientos en plan vertical, (5 m/s). Fuente: Elaborada por el autor.

Esta velocidad de 5 m/s, representa el promedio anual de velocidad del viento, donde de nuevo se aprecia una baja afectación, sobre todo por condiciones como topografía y vegetación. Sin embargo, se aprecian dentro del conjunto algunas líneas entre la gama de azules y verdes, lo que sugiera el movimiento de masas de aire entre los edificios.

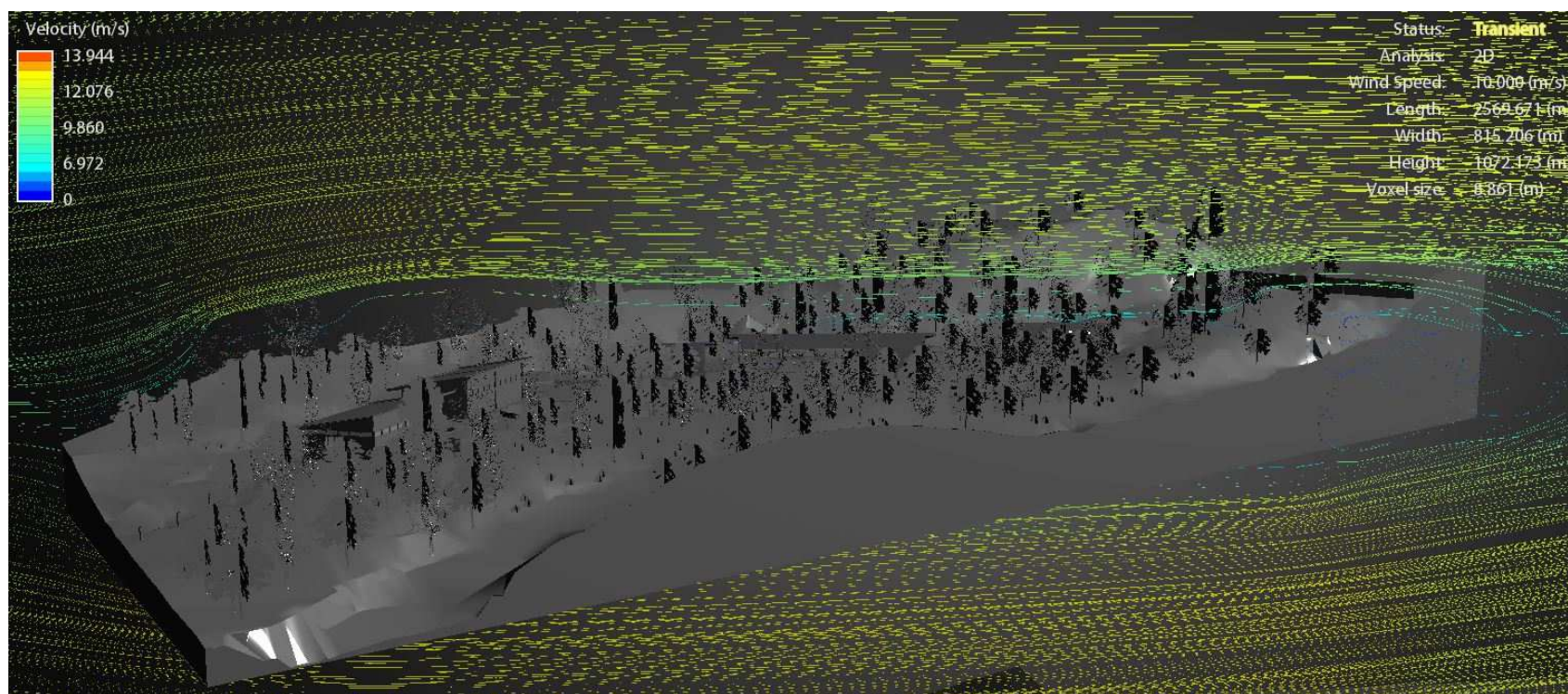


Imagen 67- - Simulación de vientos en plan vertical, (10 m/s). Fuente: Elaborada por el autor.

Un tercer escenario donde se dieran velocidades altas de viento, (10 m/s), generaría corrientes aceleradas por encima de la vegetación y con alguna afectación directa sobre los edificios.

Anexo 5

Cálculo de emisiones de CO2 para la estructura de acero:

Seguidamente, se enumeran los datos ingresados a la calculadora para evaluar la estructura de acero.

Tabla 61 - Datos para el cálculo de la huella de carbono de la estructura de acero con la calculadora Build Carbon Neutral. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE HUELLA DE CARBONO DE LA ESTRUCTURA DE ACERO - BUILD CARBON NEUTRAL	
ÁREA DEL EDIFICIO	2557 m ² (27523.32 ft ²)
NIVELES	1
SISTEMA CONSTRUCTIVO	ACERO
SITIO	
ECOREGIÓN	BOSQUE TROPICAL HÚMEDO
VEGETACIÓN PREDOMINANTE	BOSQUE
ÁREA DEL TERRENO INTERVENIDO	2641 m ² (28427.49 ft ²)
TONELADAS DE CO2:	912



Construction Carbon Calculator Results

Approximate net embodied CO2 for this project is
912 metric tons.

Your Entries

Total Square Feet	27,523
Stories Above Grade	1
Stories Below Grade	0
System Type	steel
Ecoregion	Tropical wet forests
Existing Vegetation Type	Forest
Installed Vegetation Type	Forest
Landscape Disturbed (SF)	28,427
Landscape Installed (SF)	0

Construction Carbon Calculator formula version 0.03.5, last updated 2007.10.11. These results are an approximation. Your actual carbon footprint may vary. See [assumptions](#) for more information.

Imagen 68 - Resultado del cálculo de la huella de carbono de la estructura de acero mediante la calculadora Build Carbon Neutral. Fuente: Recuperado de: <http://www.buildcarbonneutral.org/calculated.php>

Cálculo de emisiones de CO2 para la estructura de bambú:

Seguidamente, se enumeran los datos ingresados a la calculadora para evaluar la estructura de bambú. Se utiliza madera como sistema constructivo de referencia, al no existir datos para estructuras de bambú.

Tabla 62 - Datos para el cálculo de la huella de carbono de la estructura de bambú con la calculadora Build Carbon Neutral. Fuente: Elaborada por el autor.

TABLA DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE HUELLA DE CARBNO DE LA ESTRUCTURA DE BAMBÚ - BUILD CARBON NEUTRAL

ÁREA DEL EDIFICIO	2557 m ² (27523.32 ft ²)
NIVELES	1

SISTEMA CONSTRUCTIVO	MADERA ⁴¹
SITIO	
ECOREGIÓN	BOSQUE TROPICAL HÚMEDO
VEGETACIÓN PREDOMINANTE	BOSQUE
ÁREA DEL TERRENO INTERVENIDO	2641 m ² (28427.49 ft ²)
TONELADAS DE CO₂:	742

buildcarbonneutral beta

Construction Carbon Calculator Results

Approximate net embodied CO₂ for this project is
742 metric tons.

Your Entries

Total Square Feet	27,523
Stories Above Grade	1
Stories Below Grade	0
System Type	wood
Ecoregion	Tropical wet forests
Existing Vegetation Type	Forest
Installed Vegetation Type	Forest
Landscape Disturbed (SF)	28,427
Landscape Installed (SF)	0

Construction Carbon Calculator formula version 0.03.5, last updated 2007.10.11. These results are an approximation. Your actual carbon footprint may vary. See [assumptions](#) for more information.

Imagen 69 - Resultado del cálculo de la huella de carbono de la estructura de bambú mediante la calculadora Build Carbon Neutral. Fuente: Recuperado de: <http://www.buildcarbonneutral.org/calculated.php>

⁴¹ Se toma madera como el criterio de evaluación más cercano a bambú.

Cálculos a partir de las tablas de Inventory of Carbon & Energy (ICE) V2.0, Universidad de Bath, Reino Unido.

Para la estimación de la huella de carbono por medio de las tablas de datos de *Inventory of Carbon & Energy (ICE) V2.0*, se consideraron los elementos más importantes de la estructura para cuantificar la cantidad de toneladas de dióxido de carbono que cada componente aporta a la huella de carbono global del proyecto.

El ejercicio se llevó a cabo tabulando los datos para cada uno de los sistemas estructurales a partir de una cuantificación estimada del peso en kg de los diferentes componentes, y utilizando los factores de cálculo de las bases de datos de materiales.

El trabajo de cuantificación de áreas y volumen de material, permitió la elaboración de las tablas para cada uno de los escenarios, (estructura en acero y estructura de bambú), de manera que se pueda establecer un análisis comparativo entre los resultados obtenidos. Este método de cálculo, a diferencia de la calculadora Build Carbon Neutral, involucra un cálculo más preciso, ya que permite descomponer el proyecto y observar los elementos constructivos que generan el mayor impacto en la huella de carbono del edificio.

Tabla 63 - Ejemplo de las tablas de ICE V2.0. Fuente: ICE V2.0.

INVENTORY OF CARBON & ENERGY (ICE) SUMMARY				
Materials	Embodied Energy & Carbon Coefficients			Comments
	EE - MJ/kg	EC - kgCO2/kg	EC - kgCO2e/kg	
Aggregate				
General (Gravel or Crushed Rock)	0,083	0,0048	0,0052	Estimated from measured UK industrial fuel consumption data
Aluminium				
Main data source: International Aluminium Institute (IAI) LCA studies (www.world-aluminium.org)				
General	155	8,24	9,16	Assumed (UK) ratio of 25.6% extrusions, 55.7% Rolled & 18.7% castings. Worldwide average recycled content of 33%.
Virgin	218	11,46	12,79	
Recycled	29,0	1,69	1,81	
Cast Products	159	8,28	9,22	Worldwide average recycled content of 33%.
Virgin	226	11,70	13,10	
Recycled	25,0	1,35	1,45	
Extruded	154	8,16	9,08	Worldwide average recycled content of 33%.
Virgin	214	11,20	12,50	
Recycled	34,0	1,98	2,12	
Rolled	155	8,26	9,18	Worldwide average recycled content of 33%.
Virgin	217	11,50	12,80	
Recycled	28	1,67	1,79	

Imagen 70 - Presentación tablas ICE V2.0. Fuente: ICE V2.0.

Tabla 64 - Ejemplo de la clasificación de concretos según la tabla ICE V2.0. Fuente: ICE V2.0.

Concrete										
General	0,75			0,100			0,107			It is strongly recommended to avoid selecting a 'general' value for concrete. Selecting data for a specific concrete type (often a ready mix concrete) will give greater accuracy, please see material profile. Assumed cement content 12% by mass. Using UK weighted average cement (more representative of 'typical' concrete mixtures).
16/20 Mpa	0,70			0,093			0,100			
20/25 MPa	0,74			0,100			0,107			
25/30 MPa	0,78			0,106			0,113			
28/35 MPa	0,82			0,112			0,120			
32/40 MPa	0,88			0,123			0,132			
40/50 MPa	1,00			0,141			0,151			
% Cement Replacement - Fly Ash	0%	15%	30%	0%	15%	30%	0%	15%	30%	Note 0% is a concrete using a CEM I cement (not typical)
GEN 0 (6/8 MPa)	0,55	0,52	0,47	0,071	0,065	0,057	0,076	0,069	0,061	Compressive strength designation C6/8 Mpa. 28 day compressive strength under British cube method of 8 MPa, under European cylinder method 6 MPa. Possible uses: Kerb bedding and backing. Data is only cradle to factory gate but beyond this the average delivery distance of ready mix concrete is 8.3 km by road (see Ref. 244).
GEN 1 (8/10 MPa)	0,70	0,65	0,59	0,097	0,088	0,077	0,104	0,094	0,082	Possible uses: mass concrete, mass fill, mass foundations, trench foundations, blinding, strip footing.

Algunas consideraciones para el cálculo:

- Se considera un replanteo total de la estructura de acero a una estructura de bambú para efectos comparativos.
- No se replantea la cubierta debido a las condiciones de precipitación y soleamiento de la zona, por lo que se considera para ambos casos el panel que especifica el proyecto en análisis.
- Se consideran los mismos volúmenes de concreto para losa, placas y pedestales de fundaciones en ambos escenarios. No se contempla el transporte de materiales.
- Los valores utilizados fueron tomados de las tablas de cuantificación de materiales para ambas propuestas y las tablas de cuantificación elaboradas en el software de modelado

Cálculo de huella de carbono estructura de acero _ICE V2.0

Tabla 65 - Cálculo de huella de carbono para la estructura de acero a través de las tablas ICE V 2.0. Fuente: Elaborada por el autor.

CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DEL PROYECTO BASADO EN LAS TABLAS ICE V2.0_ESTRUCTURA EN ACERO									
Material	Cantidad	Unidad	Peso (kg)	Descripción	Factor CO2e (kg CO2e/kg)	Factor de energía	Huella de carbono (kg de CO2)	Huella de carbono (t de CO2)	Energía embecida (MJ/kg)
CIMENTACIONES									
1) Placas aisladas de concreto									
Concreto placas y pedestales	114,58	m3	263534,00	Concreto reforzado	0,107	0,7	28198,14	28,20	184473,80
Formaleta	10	m3	4350	Madera formaleta	0,59	7,4	2566,50	2,57	32190,00
COLUMNAS									
2) Columnas de acero									
Columnas de acero de estructural	0,911	m3	7407,341	Acero estructural	1,9	25,8	14073,95	14,07	191109,40
ENTREPISO									
3) Estructura de acero (Vigas, viguetas y clavadores)									
Vigas, y viguetas de acero estructural	31,59	m3	256858,29	Acero estructural	1,9	25,8	488030,75	488,03	6626943,88
4) Laminas de entepiso liviano									
Plystone, lámina cementicia de entepiso	7,3	m3	10220	Fibrocemento	0,3	10,4	3066,00	3,07	106288,00
PAREDES									
5) Paredes livianas de gypsum									
Perfilería de aluminio en paredes	5,02	m3	13905,4	Perfil de aluminio extruido	12,5	34	173817,50	173,82	472783,60
Lámina de fibroyeso	15,06	m3	9789	Laminas de yeso	0,3	10,4	2936,70	2,94	101805,60
6) Cerramientos									
Tablatek, lámina cementicia para exteriores	11,49	m3	16086	Laminas de yeso	0,3	10,4	4825,80	4,83	167294,40
Louvers de aluminio	1,51	m3	4182,7	Louvers de aluminio	12,5	34	52283,75	52,28	142211,80
CIELOS									
7) Cielo de fibroyeso									
Láminas de fibroyeso para zonas húmedas	6,56	m3	4264	Laminas de yeso	0,3	10,4	1279,20	1,28	44345,60
Perfilería de aluminio en cielos	2,186667	m3	6057,066667	Perfil de aluminio extruido	12,5	34	75713,33	75,71	205940,27
CUBIERTAS									
8) Panel de cubierta									
Cubierta de lámina metálica con centro de espuma rígida de poliuretano	24,3	m3	66582	Panel de cubierta tipo sandwich	1,54	22,6	102536,28	102,54	1504753,20
SUMATORIA TONELADAS DE CO2								949,33	9780139,55

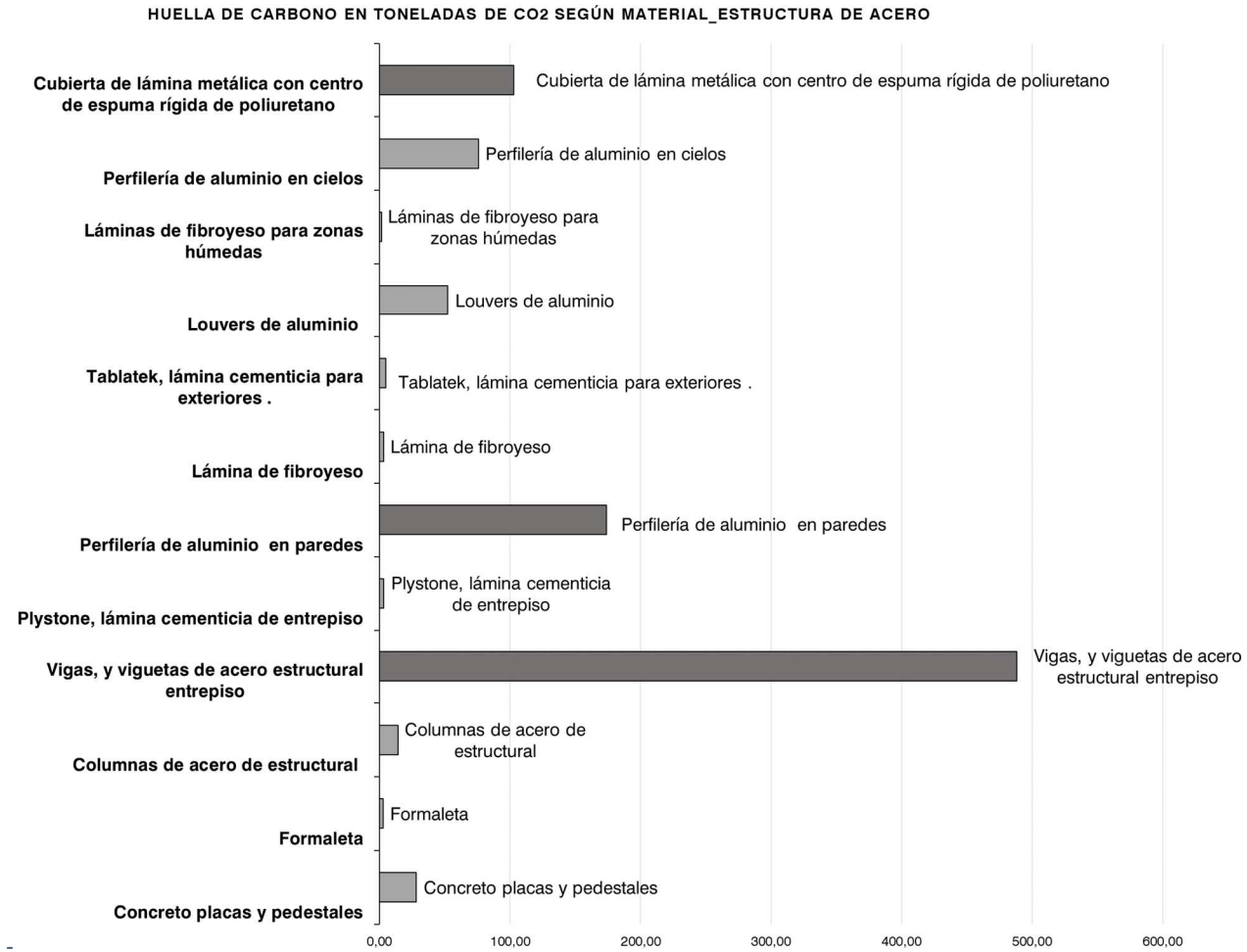


Gráfico 18 - Toneladas métricas de CO2 producto de las emisiones de los diferentes materiales en la estructura de acero. Fuente: Elaborada por el autor.

Cálculo de huella de carbono estructura de bambú _ICE V2.0

Tabla 66 - Cálculo de huella de carbono para la estructura de bambú a través de las tablas ICE V 2.0. Fuente: Elaborada por el autor.

CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DEL PROYECTO _ESTRUCTURA EN BAMBÚ									
Material	Cantidad	Unidad	Peso (kg)	Descripción	Factor CO2e (kg CO2e/kg)	Factor de energía	Huella de carbono (kg de CO2)	Huella de carbono (t de CO2)	Energía embebida (MJ/kg)
CIMENTACIONES									
1) Placas aisladas de concreto									
Concreto placas y pedestales	114,58	m3	263534,00	Concreto reforzado	0,107	0,75	28198,14	28,20	197650,50
Formaleta	10	m3	4350	Madera formaleta	0,59	7,4	2566,50	2,57	32190,00
COLUMNAS									
2) Columnas de bambú									
Columna compuesta de bambú	4,67	m3	37971,77	Bambú	0,3	10	11391,53	11,39	379717,70
ENTREPISO									
3) Estructura de acero (Vigas, viguetas y clavadores)									
Vigas compuestas de bambú	27,2	m3	221163,2	Bambú	0,3	10	66348,96	66,35	2211632,00
4) Laminas de entrepiso liviano									
Lamina de bambú contrachapado en entrepiso	7,3	m3	10220	Bambú	0,3	10	3066,00	3,07	102200,00
PAREDES									
5) Paredes livianas de bambú									
Estructura de pared en bambú de 4"	5,02	m3	13905,4	Bambú	0,3	10	4171,62	4,17	139054,00
Lamina de bambú contrachapado en paredes	15,06	m3	9789	Bambú	0,3	10	2936,70	2,94	97890,00
6) Cerramientos de caña de bambú									
Cañas de bambú de 1"	11,49	m3	16086	Bambú	0,3	10	4825,80	4,83	160860,00
Parasoles de bambú	1,51	m3	4182,7	Parasoles de bambú	0,3	10	1254,81	1,25	41827,00
CIELOS									
7) Cielo de Panel de bambú									
Lamina de bambú contrachapado en cielos	6,56	m3	4264	Bambú	0,3	10	1279,20	1,28	42640,00
Estructura de cielos en bambú de 2"	2,186667	m3	6057,066667	Bambú	0,3	10	1817,12	1,82	60570,67
CUBIERTAS									
8) Panel de cubierta									
Cubierta de lámina metálica con centro de espuma rígida de poliuretano	24,3	m3	66582	Panel de cubierta tipo sandwich	1,54	22,6	102536,28	102,54	1504753,20
SUMATORIA TONELADAS DE CO2								230,39	



Gráfico 19 - Toneladas métricas de CO2 producto de las emisiones de los diferentes materiales en la estructura de bambú. Fuente: Elaborada por el autor

