

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL POTENCIAL DE LA
MADERA LAMINADA Y EL ACERO ESTRUCTURAL
EN TORNO AL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL
DE LA CONSTRUCCIÓN EN QUITO, 2022**

Juan Manuel Acosta Beltrán



Universidad
Indoamérica

Acosta, J. (2023).

Análisis comparativo del potencial de la madera laminada y el acero estructural en torno al impacto medioambiental de la construcción, Quito, 2022.

Universidad Indoamérica - Quito



Universidad Indoamérica

**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE ARQUITECTURA**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL POTENCIAL DE LA MADERA
LAMINADA Y EL ACERO ESTRUCTURAL EN TORNO AL IMPACTO
MEDIOAMBIENTAL DE LA CONSTRUCCION. QUITO, 2022.**

Trabajo de investigación previo a la obtención del título de
Arquitecto

Autor(a)

Juan Manuel Acosta Beltrán

Tutor(a)

M. Arch. Raúl Marcelo Villacis Ormaza

QUITO - ECUADOR
2023

AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, ACOSTA BELTRÁN JUAN MANUEL, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL POTENCIAL DE LA MADERA LAMINADA Y EL ACERO ESTRUCTURAL EN TORNO AL IMPACTO MEDIO AMBIENTAL DE LA CONSTRUCCIÓN, QUITO, 2022”. como requisito para optar al grado de Arquitecto y autorico al sistema de Biblioteca de la Universidad Indoamerica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deba firmar convenios especificos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización en la ciudad de Quito, a los 06 días del mes de Marzo de 2023, firmo conforme:



.....
ACOSTA BELTRÁN JUAN MANUEL

C.I. 1004459051

Dirección:

Correo: jacosta9@indoamerica.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Arquitecto, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Quito, 06 de Marzo de 2023



.....
ACOSTA BELTRÁN JUAN MANUEL
C.I. 1004459051

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Integración Curricular “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL POTENCIAL DE LA MADERA LAMINADA Y EL ACERO ESTRUCTURAL EN TORNO AL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA CONSTRUCCIÓN, QUITO, 2022” presentado por ACOSTA BELTRÁN JUAN MANUEL para optar por el título de Arquitecto., CERTIFICO Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del Tribunal Examinador que se designe.

Quito, 06 de Marzo de 2023

.....
M. ARCH. RAÚL MARCELO VILLACIS ORMAZA
C.I. 1312200106

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado sobre el Tema: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL POTENCIAL DE LA MADERA LAMINADA Y EL ACERO ESTRUCTURAL EN TORNO AL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA CONSTRUCCIÓN, QUITO, 2022, previo a la obtención del Título de Arquitecto, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de integración curricular.

Quito, 06 de Marzo de 2023

.....
MSc. Arq. José Ramón Leyva Guzmán
C.I. 1756756902

.....
MSc. Ing. Jorge Ponce Tamayo
C.I. 1757008436

DEDICATORIA

Este Trabajo Final de Carrera dedico a mis padres, que supieron motivarme y darme fuerza para nunca rendirme. A demás del esfuerzo económico, mis padres me supieron guiar siempre por el buen camino.

AGRADECIMIENTO

A mis hermanos, que con mucha paciencia, supieron ayudarme siempre con una sonrisa en los momentos más duros de la carrera.

A Dios, por tenerme todavía con vida mediante una sintonía con el cosmos.

A los docentes de la Facultad de Arquitectura y Construcción de la Universidad Indoamérica, por enseñarme bases sólidas de arquitectura.

RESUMEN EJECUTIVO

En los últimos años, nuestro planeta Tierra ha sido fuertemente impactado por el cambio climático.

Se estima que una obra de construcción con acero y hormigón armado, contienen gastos de energía como el dióxido de carbono que incorpora el acero en los hornos donde se funde el material o bien la extracción natural tanto de agua, arena y grava que se necesita para la elaboración del hormigón.

El presente trabajo, analiza y compara el impacto potencial de la madera laminada y el acero estructural desde un punto de vista medio ambiental con variables determinadas a través de revisión literaria relacionada al tema como la huella de carbono, la huella hídrica, el costo, la eficiencia estructural, y la aceptación social que tienen ambos materiales, utilizando calculadoras, software y simulaciones por ordenador.

Finalmente, se encontró que la madera laminada aporta significativamente a la regeneración del medio ambiente, con un impacto mínimo tanto en la huella de carbono, como en la huella hídrica del material.

DESCRIPTORES: Beneficio, calentamiento global, Co2, costo, construcción, eficiencia, energía, huella de carbono, material, medioambiente, sostenibilidad, sustentabilidad.

ABSTRACT

In recent years, planet Earth has been strongly impacted by climate change.

It is estimated that a building with steel and reinforced concrete contain high energy cost such as the carbon footprint that incorporates the steel in the furnaces where the material is melted or the natural extraction of both water, sand, and gravel that is needed for the elaboration of concrete.

This work analyzes and compares the potential impact of glued laminated timber and structural steel from an environmental point of view with variables determined through literature related to the subject, such as carbon and water footprint, cost, structural efficiency, and social acceptance that both materials have, using calculators, software and computer simulations.

Finally, glued laminated timber contributes significantly to the regeneration of the environment, with a minimal impact on the material's carbon and water footprint.

KEYWORDS: Benefit, carbon footprint, Co2, construction, cost, efficiency, energy, environment, global warming, material, sustainability.

ÍNDICE CONTENIDOS

1. ETAPA 1 • Conocimiento Previo

1.1. Introducción al problema.....	1
1.2. Justificación.....	5
1.3. Objetivos.....	6
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos.....	6

2. ETAPA 2 • Aplicación Metodológica

2.1 Fundamentación Teórica.....	7
2.1.2 Estado del Arte.....	7
2.1.3 Marco Conceptual.....	9
2.1.3.1 Variable Huella de Carbono.....	9
Unidades de medición GWP Y GEI.....	9
La huella de carbono en una edificación.....	9
Análisis de ciclo de vida del material.....	9
Modelado 3d BIM.....	9
Software para evaluar la huella de carbono.....	10
Base de datos BIM.....	11
Calculadora EC3 (Conservador y Alcanzable).....	11
Fase conceptual.....	12
Fase de diseño esquemático.....	13

2.1.3.2 Variable Huella Hídrica.....	13
Agua Virtual.....	13
Huella Hídrica.....	13
Agua azul.....	14
Agua verde.....	14
Agua Gris.....	14
Mecanismos de cuantificación de Huella Hídrica Total.....	14
Estimación de Huella Hídrica Por Enfoque de Peso del Material.....	15
2.1.3.3 Variable de Aceptación Social - Encuestas.....	16
Encuestas a consumidores.....	16
Encuestas a empresas de construcción.....	16
2.1.3.4 Variable de Eficiencia Estructural.....	17
Estructura ligera y sencilla.....	17
Beneficio del peso de la madera laminada.....	18
El Pino Radiata.....	18
Parámetros de diseño sísmico.....	18
Parámetros de diseño a la compresión axial.....	18

2.1.3.5 Variable de Costo.....	19
Análisis de precios unitarios.....	20
Características de precios unitarios.....	20
Componentes del análisis de precios unitarios.....	20
Costo.....	20
Costo Indirecto.....	20
Costo Directo.....	20
2.2 Introducción a la Metodología.....	21
2.2.1 Investigación Documental.....	22
2.2.2 Investigación Experimental.....	22
2.2.2.1 Variable Huella de Carbono.....	22
2.2.2.2 Variable Huella Hídrica.....	26
2.2.2.3 Variable de Aceptación Social - Encuestas.....	26
2.2.2.4 Variable Eficiencia Estructural.....	27
2.2.2.5 Variable de Costo	28
3. ETAPA 3 • Difusión de Resultados	
3.1 Variable Huella de Carbono.....	31
3.2 Variable Huella Hídrica.....	36
3.3 Variable de Aceptación Social - Encuestas.....	37
3.4 Variable de Eficiencia Estructural.....	38

3.5 Variable de Costo.....	49
3.6 Reflexiones Finales.....	51
3.7 Recomendaciones.....	51
3.8 Bibliografía.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Huella de Carbono en la ciudad de Quito.....	2
Tabla 2. Porcentaje hídrico de materiales de construcción.....	15
Tabla 3. Factores por peso del material.....	26
Tabla 4. Comparación de fuerza axial según sección del material.....	27
Tabla 5. Propiedades de vigas de acero estructural obtenido en Revit.....	28
Tabla 6. Cantidades de columnas de acero obtenido en Revit.....	29
Tabla 7. Cantidades de vigas de madera laminada obtenido en Revit.....	29
Tabla 8. Cantidades de columnas de madera laminada obtenido en Revit.....	29
Tabla 9. Análisis de precios unitarios para vigas de acero.....	29
Tabla 10. Análisis de precios unitarios para vigas de madera laminada.....	30
Tabla 11. Análisis de precios unitarios para hormigón en zapatas.....	30
Tabla 12. Resultados calculadora EC3 - Prototipo Acero IPN 300.....	41
Tabla 13. Resultados calculadora EC3 - Prototipo Madera laminada.....	42

Tabla 14. Resultados huella hídrica - Prototipo Acero IPN 300.....	43
Tabla 15. Resultados huella hídrica - Prototipo madera laminada.....	43
Tabla 16. Encuesta al Consumidor (Cualidades de la madera laminada).....	45
Tabla 17. Aceptación de la madera laminada como material de construcción...	46
Tabla 18. Encuesta a Empresas (Valoración de la madera laminada).....	47
Tabla 19. Encuesta a Empresas (Tipos de edificación que se utiliza).....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1. Emisiones de gases de efecto invernadero por sector económico.....	1
Fig 2. Actividades económicas en relación a los materiales de construcción.....	2
Fig 3. Síntesis del problema.....	3
Fig 4. Ejemplo de edificio construido con diseño sustentable.....	4
Fig 5. Número de casos de estudio con EC3 en los países del mundo.....	10
Fig 6. Proyecto BIM.....	11
Fig 7. Gráfico de la herramienta EC3.....	12
Fig 8. Huella hídrica de un estudio realizado.....	15
Fig 9. Diferentes variables aplicadas a encuestas y entrevistas.....	17
Fig 10. Capas de la madera laminada.....	19
Fig 11. Capas de la madera laminada.....	19
Fig 12. Flujo de metodología de investigación.....	21

Fig 13. Vista isométrica del Prototipo 1 - Acero estructural IPN 300.....	24
Fig 14. Vista Isométrica del Prototipo 2 - Madera laminada.....	24
Fig 15. Propiedades del plugin Tally para Revit.....	25
Fig 16. Resultados variable Huella de carbono.....	31
Fig 17. Gráfico de resultados (Grupal).....	33
Fig 18. Resultados variable Huella hídrica.....	36
Fig 19. Resultados variable Aceptación social - Encuestas.....	37
Fig 20. Resistencia a la compresión axial.....	38
Fig 21. Resistencia a la rigidez axial.....	38
Fig 22. Resultados variable costos.....	39
Fig 23. Resultados EC3 Prototipo 1 Acero estructural IPN 300.....	41
Fig 24. Resultados EC3 Prototipo 2 Madera laminada.....	42
Fig 25. Resultados de la huella hídrica en ambos prototipos.....	44
Fig 26. Resultado de encuesta al consumidor (Cualidades de la madera).....	45
Fig 27. Resultado de encuesta al consumidor (Aceptación de la madera).....	46
Fig 28. Resultado de encuesta a empresa (Cualidades de la madera).....	47
Fig 29. Resultado de encuesta a empresa (Tipos de edificación que se utiliza)..	48

ETAPA 1
CONOCIMIENTO PREVIO

1.1 Introducción al problema de estudio

Hoy en día, es muy evidente los drásticos cambios y la huella energética que aporta la construcción a través de una serie de implicaciones con relación al impacto medioambiental. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, (2014).

En el quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático, afirma con un 95% de certeza que el calentamiento global se da debido a las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2014).

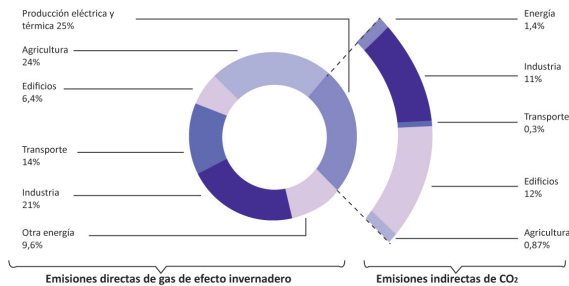


Fig 1. Emisiones de gases de efecto invernadero por sector económico a nivel mundial.

Fuente: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, (2014).

En la Guía de Edificación Sostenible, se determina que una obra de construcción con acero y hormigón armado, contiene una serie considerable de gastos de recursos tales como el agua, además de la extracción de materias

primas. (Eusko Jaurilaritza, Gobierno Vasco, 2009).

En la entrevista realizada por Ingo Niermann, Rem Koolhaas sostiene que la tarea de un arquitecto es fundamentalmente tratar de entender cuál es la condición moderna de la ciudad. (Koolhaas, 2006). En ese sentido, es de suma importancia revivir el derecho a una ciudad más ecológica.

Según la Conferencia sobre construcción Lean, se estima que el sector de la construcción sea el causante del 18% de las emisiones a nivel mundial de CO₂. (Østnor, Faanes, & Lædre, 2018).

Por otro lado, son de suma importancia los estudios del Informe Mundial de la Ciudades de la ONU, donde se prevé que tras el aumento de tasas de natalidad a nivel mundial, la población urbana se incremente del 65% del total global en 2022 hasta el 68% para 2050. (UN-Habitat, 2022).

En Latinoamérica, las condiciones son similares, por ejemplo, según el Censo Nacional Económico del 2010, en el país de Ecuador, se evidencia que existen 14.366 actividades que construyen con acero y hormigón, mientras que las actividades que utilizan la madera como principal material de construcción son apenas 1.312. (INEC, 2010).

Por otro lado, en el Informe de Calidad del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), ciudad capital del Ecuador, se muestra que la estimación de la huella de carbono que generaron las diferentes actividades en la ciudad en el año 2015, dio como resultado que la ciudad emitió 7 598 855 toneladas de CO₂. (Quito Cómo Vamos, 2020).

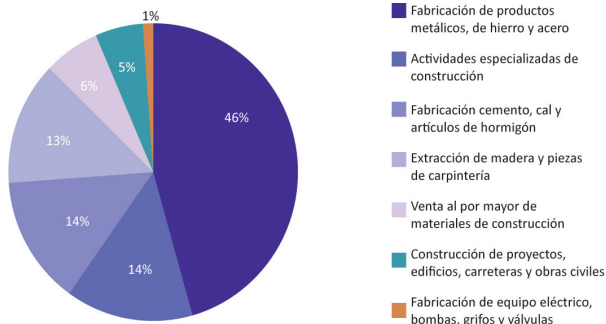


Fig 2. Actividades económicas en relación a los materiales de construcción en el Ecuador.

Fuente: INEC, (2010).

En el artículo sobre ingeniería de estructuras sustentables, estudios indican que, a largo plazo en una construcción, el acero estructural presenta corrosión. (Lee, Jung, & Kim, 2021).

Este problema es clave para entender el ciclo de vida del acero estructural, además de que el constructor deberá considerar mecanismos de mantenimiento e impermeabilización, esto eleva aún más el costo de la construcción. (Lee, Jung, & Kim, 2021).

Según el documento de la conferencia sobre el acero en contraste con la ecología, la mayor porción de huella generada por la industria siderúrgica, procede de la combinación química en hornos entre el carbón y el mineral de hierro, esto es necesario para producir el hierro fundido. (Hosny, Mohammed Ali, & Eldin Ibrahim, 2016).

Estudios sugieren, que la mayor parte de las emisiones generadas por la industria siderúrgica suelen proceder de la interacción química entre el carbón y el mineral de hierro en los hornos utilizados para producir hierro fundido. Por lo tanto, las tecnologías convencionales como la madera son claves para poder reducir las emisiones de CO₂. (Hosny, Mohammed Ali, & Eldin Ibrahim, 2016).

Así mismo, en el Informe de Estrategias de Desarrollo Sostenible, se encuentra la puesta en marcha de la Estrategia a Largo Plazo para la Rehabilitación Energética en el sector de la Edificación (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020 citado en Secretaría de Estado Para la Agenda 2030, 2021).

Este informe funciona como soporte para la regeneración de las construcciones residenciales, cambiándolas a parques habitacionales con una elevada eficiencia energética además de proyectarse al 2050 la total descarbonización de las mismas. (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020 citado en Secretaría de Estado Para la Agenda 2030, 2021).

Tabla 1. Huella de carbono en la ciudad de Quito

ACTIVIDADES	PORCENTAJE DE CONTAMINACIÓN
Transporte	40
Consumo de energía de los sectores residencial, comercial, institucional e industrial	26
Agricultura, uso y cambio de suelo	24
Residuos sólidos	10

Fuente: INEC, (2010).



Fig. 3 Síntesis del problema.

Fuente: Elaboración propia

Para comprender lo que conlleva una construcción con acero, la Especificación Técnica de Edificios de Acero Estructural de Estados Unidos, aclara que es muy importante que los estudios de la estructura den como resultado el rango máximo de momentos y deformaciones, las reacciones en las conexiones, el ciclo de vida y los tamaños de las soldaduras. (AISC, 2014).

Esto permite que el material conocido como escombros, pasa a ser directamente materia prima para otro ciclo de producción, convirtiéndose en un reto a seguir para la regeneración de la construcción y el urbanismo. (Echeverría, 2021).



Fig. 4 Ejemplo de edificio construido con diseño sustentable.

Fuente: Echeverría, (2021).



1.2 Justificación

El presente trabajo investigativo, toma como punto de partida el no retorno climático actual, ya que en estudios acerca del Ciclo de Vida de los Materiales, se llegó a la conclusión de regenerar el estado actual que atraviesa la construcción en torno al medio ambiente a través de la madera laminada y por lo que surge como un material alternativo para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. (Hegeir, Kvande, Stamatopoulos, & Bohne, 2022).

Producto de este análisis de fuentes, se puede ver en estudios, la estimación que un 40% de la contaminación es producida por actividades que están relacionadas a la construcción de obras arquitectónicas, así como también la cantidad de recursos empleados en la obtención de materia prima, el transporte y posterior fabricación de las mismas. Es así que 2 toneladas de materia prima se requieren por cada metro cuadrado de una edificación. (Rodríguez, Gracia, & Moreno, 2020).

Por lo tanto, estudios han demostrado que el uso de la madera como material de construcción en lugar del acero estructural o el hormigón armado puede dar lugar a una reducción de las emisiones de GEI para tener una construcción más respetuosa con el medio ambiente. (Hegeir, Kvande, Stamatopoulos, & Bohne, 2022).



1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar el impacto potencial de la madera y el acero estructural en la construcción de Quito, en torno a la situación medio ambiental.

1.3.2 Objetivos específicos:

Definir las variables que posibiliten el análisis comparativo.

Medir a través de hojas de cálculo, calculadoras en línea y modelaje BIM.

Comparar los resultados a través de tablas, gráficos, infografías y figuras.

ETAPA 2
APLICACIÓN METODOLÓGICA



2.1.2 Estado del Arte

Desde que el sector de la construcción empezó a promover la construcción sostenible en la segunda mitad de la década de 1980. (Institute for Building Environment and Energy Conservation, 2007).

Estudios ponen en evidencia, que hoy en día se han desarrollado varias técnicas para evaluar el rendimiento medioambiental de los edificios. (Institute for Building Environment and Energy Conservation, 2007).

En ese sentido, aparecen certificaciones como el BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) en el Reino Unido, LEEDTM (Leadership in Energy and Environment Design) en Estados Unidos, y la herramienta internacional GB (Green Building Tool). (Institute for Building Environment and Energy Conservation, 2007).

En el Informe Desarrollo Sostenible, se encuentra como prioridad de actuación, la estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación, el cual funciona como soporte para la regeneración de las construcciones residenciales. (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020)

El informe también explica que las construcciones pasan a ser parques habitacionales con una elevada eficiencia energética. (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020).

Es necesario proyectarse al 2050 el objetivo de la total descarbonización de las construcciones. (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020 citado en Secretaría de Estado Para la Agenda 2030, 2021).

En Quito, la empresa tecnificada en madera Madebú utiliza la madera de pino que vienen de bosques cultivados, por lo que la madera guarda CO2 y compensa oxígeno durante su crecimiento. La elaboración de la madera, demanda menor energía que cualquier otro material estructural. (Madebú, 2020).

En paralelo, un estudio reciente de la energía del ciclo de vida en las construcciones, reveló que la energía guardada puede abarcar entre el 5% y el 100% del consumo de energía del ciclo de vida total (lo que constituye al 10-97% de las emisiones de carbono del ciclo de vida completo). (Rodríguez, Gracia, & Moreno, 2020).

En otros estudios, se aprecia que la arquitectura regenerativa depende de la función de la construcción, ubicación, empleo de materiales y suministros de energía. Estos valores tienden a cambiar a medida que la construcción pasa de ser convencional a adaptarse a un diseño pasivo. (Rodríguez, Gracia, & Moreno, 2020).

Estudios defienden que una base de datos multirregional input-output (MRIO), pueden servir para reducir el impacto ambiental, a través de ejes fundamentales como los datos sobre la intensidad del carbono medido en toneladas de CO2, la información sobre las características del material de menor impacto ambiental y los gastos de la demanda final del producto por parte del consumidor que incluye proyectos de construcción. (WWF-UK, 2020).



2.1.3 Marco Conceptual

¿De dónde surgen las variables de investigación?

Se revisan variables de cálculo de valores característicos que aparecen en la mayor cantidad de bibliografía revisada, desde un punto de vista medioambiental con respecto a cada material.

Se definieron: 1. Variable huella de carbono; 2. Variable huella hídrica; 3. Variable de aceptación social; 4. Variable Eficiencia Estructural; 5. Variable Costo.

2.1.3.1 Variable Huella de carbono

Unidades de medición GWP Y GEI

El GWP es una medida del Potencial de Calentamiento Global de las emisiones de efecto invernadero, como el dióxido de carbono y el metano. (Dalla Mora, Peron, & Erika, PLEA 2018 HONG KONG Integration of LCA tools in BIM toward a regenerative design).

Desde la Revolución Industrial, el potencial de calentamiento global (GWP) ha aumentado anualmente. (Thigpen & Masselink, 2020).

La unidad de medición GEI, es el aumento de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero o por sus siglas en inglés GEI, el sector de la construcción percibe un creciente interés por evaluar y reducir su impacto que genera sobre el medio ambiente. (Cai, Wang, Kelly, & Wang, 2021).

La huella de carbono de una edificación

Una construcción, requiere el uso de materiales que fueron previamente fabricados, esto implica que cada material pasa por procesos a lo largo de su vida: 1. Minería, 2. Extracción de recursos naturales, 3. Transporte, 4. El uso y 5. La demolición.

Cada proceso consume grandes cantidades de energía y recursos que contribuyen a las emisiones incorporadas GEI y al uso energético de los edificios. (Cai, Wang, Kelly, & Wang, 2021).

Análisis de ciclo de vida del material

Se define como un análisis sistemático utilizado para medir la huella de carbono de materiales de construcción, mediante el examen del flujo de consumo de energía de Co₂, la cantidad y el costo de los materiales. (Cai, Wang, Kelly, & Wang, 2021).

La demanda de los análisis de ciclo de vida en el sector de la construcción, ha aumentado debido a los esfuerzos por mitigar los efectos del cambio climático. (Chen, 2022).

En general, existen tres métodos análisis de ciclo de vida: 1. El método basado en procesos, 2. El método económico de entrada-salida, 3. El método híbrido. (Chen, 2022).

En los estudios sobre el análisis de ciclo de vida de la madera, se define este método como la evaluación del efecto generado por la huella de carbono del material en relación al medioambiental (KgCo₂). (Liu, Sun, Haibo, & Chang, 2016).

Modelado 3d BIM

Bim es un método relativamente nuevo en el campo del diseño asistido por computador, ya que con herramientas como Revit de Autodesk, permiten generar rápida y automáticamente datos de un proyecto de arquitectura o construcción. (De Wolf, 2017).

Para obtener una certificación internacional de Green Building, se debe alcanzar los objetivos de rendimiento fijados por un edificio de referencia (el diseño propuesto debe reducir su carbono incorporado en comparación a un edificio de referencia de hormigón). (De Wolf, 2017).

Además, las empresas participantes obtendrán acceso a otros datos con los que pueden comparar sus proyectos, protegiendo el anonimato. (De Wolf, 2017).

Software para evaluar la huella de carbono de un edificio

Athena

Este software calcula estimaciones de la huella de carbono a partir de conjuntos de edificios definidos por el usuario. Dependiendo del tipo de ensamblaje que se añade al proyecto, el programa Athena añade automáticamente material suplementario para representar mejor una construcción real. (Phillips, 2021).

Investigadores del Instituto de Materiales Sostenibles Athena realizaron un estudio en el que se comparan los efectos de la renovación y la nueva construcción de un edificio de la Universidad de Columbia Británica. (Hasik, y otros, 2019).

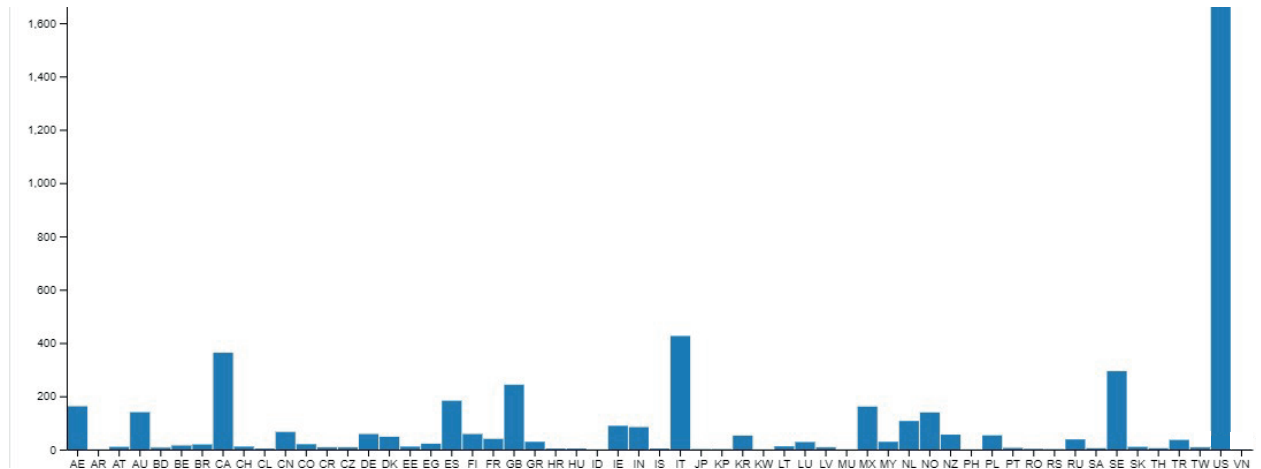


Fig. 5 Número de casos de estudio con software EC3 en los países del mundo.

Fuente: Elaboración propia, basado en (Transparency, 2021).

EC3

El software EC3 (Embodied Carbon Construction Calculator) es una herramienta para informar y comparar el carbono incorporado en los materiales de construcción (Cai, Wang, Kelly, & Wang, 2021).

La herramienta proporciona datos sobre las emisiones de carbono de una serie de materiales de construcción, lo que permite a arquitectos y diseñadores seleccionar materiales con bajas emisiones de carbono y sugerir procesos de especificación y adquisición de materiales. (Cai, Wang, Kelly, & Wang, 2021).

La herramienta informa de las emisiones de carbono incorporadas en la extracción de materias primas, el transporte relacionado y la fabricación de los materiales de construcción.

Una de las principales características de la herramienta EC3, es su capacidad para importar datos muy específicos desde modelos BIM realizados en Revit de Autodesk a través del plugin (Tallycat) de dicho programa. (CLF 2020). (Cai, Wang, Kelly, & Wang, 2021).

Los cálculos de Tally abarcan un edificio “de la cuna a la tumba”, es decir, desde la producción de los materiales hasta el final de la vida útil del edificio, lo que ofrece un amplio espectro del verdadero impacto del carbono. (Phillips, 2021).

Base de datos BIM

Es necesario recopilar datos sobre las cantidades de materiales en los edificios y su impacto ambiental para definir una línea de base, un punto de partida para comparar el carbono incorporado. (De Wolf, 2017).

Las herramientas BIM como Revit (Autodesk) son una oportunidad para generar rápida y automáticamente datos del proyecto. Además, las empresas participantes obtendrán acceso a otros datos con los que pueden comparar sus proyectos, protegiendo el anonimato. (De Wolf, 2017).

Estos datos se analizan por categoría, cimentación, sistema estructural, cantidad, número de plantas, etc. (De Wolf, 2017).



Fig 6. Proyecto BIM. basado en (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2014).

Para obtener una certificación internacional de Green Building, se debe alcanzar los objetivos de rendimiento fijados por un edificio de referencia (el diseño propuesto debe reducir su carbono incorporado en comparación a un edificio de referencia de hormigón). (De Wolf, 2017).

Calculadora EC3-Conservador y Alcanzable

Para cualquier comparación de carbono incorporado en los materiales de construcción, la herramienta establece resultados conservadores (Conservative) o alcanzables (achievement). Esta es una característica clave para poder entender los resultados. (Transparency, 2021).



Fig. 7 Gráfico del simulador EC3

Fuente: Elaboración propia, basado en (Transparency, 2021).

El proceso con el software EC3 empieza con las estimaciones y mediciones (cantidades de obra) realizadas por el equipo de diseño, con el fin de contabilizar el carbono incorporado y el coste. Por lo que se recurre al modelado BIM. A continuación, se explican las fases de este software. (Transparency, 2021).

Fase conceptual

En esta fase, se debe tener ideas para bajar el carbono. Por lo que es importante saber si se el edificio se va a renovar, reutilizar o construir. (Transparency, 2021).

Una vez definida las inspiraciones arquitectónicas, deben considerarse múltiples opciones de materiales y sistemas innovadores. (Transparency, 2021).

Es importante recordar que la elección de la procedencia del material de un proyecto, definirá el resultado final, ya sea Conservativo o Realizable Es decir si el material no tiene una procedencia sustentable, habrá una mayor oscilación en la huella de carbono del edificio. (Transparency, 2021).

Fase de diseño esquemático

En esta fase, se utiliza el plugin Tally, desde un modelo Revit. Es así que con sólo en Revit, se puede simular datos del proyecto para luego proceder a la descarga de tablas, infografías o gráficos como resultados del análisis. (Transparency, 2021).

Por otro lado, también se puede comparar la estructura de dos edificios de cualquier material, a través de una exportación a la calculadora del software EC3. (Transparency, 2021).

La herramienta EC3 también permite observar resultados en cantidades métricas o imperiales. (Transparency, 2021).

Fase de construcción

En esta fase, lo ideal es hacer un seguimiento, verificando las cantidades y las emisiones de carbono incorporado. Esta fase no solo es importante para garantizar que se cumplan los análisis, sino que crea una retroalimentación. (Transparency, 2021).

2.1.3.2 Variable Huella Hídrica

El agua es un elemento fundamental para la supervivencia y la dignidad humanas y la base de la resiliencia de las sociedades y del medio ambiente. A diferencia de otros recursos naturales, el agua no tiene sustituto: el único sustituto del agua es el agua. (Hoekstra, 2008).

La falta de recursos hídricos se considera cada vez más como un problema fundamentalmente político y de seguridad, y ya no es simplemente un problema de desarrollo humano y sostenibilidad ambiental. (Hoekstra, 2008).

El agua dulce representa solo el 2,53 % del agua total del mundo. Más de dos tercios de esta agua (68,7 %) está congelada en capas polares, capas de hielo continental, permafrost y glaciares de montaña. (Hoekstra, 2008).

El agua dulce líquida se encuentra principalmente bajo tierra (más del 90 %). El agua superficial en ríos y lagos (0,26 %) y el agua atmosférica (0,04 %) representan solo un pequeño volumen de agua dulce total. (Hoekstra, 2008).

Agua virtual

El concepto de Agua Virtual (AV) fue inicialmente utilizado por Allan (Allan, 1997. 2011) con el objeto de evaluar los flujos de agua asociados con la importación de productos agroalimentarios. (Fundación de la Universidad de Madrid, 2019).

Es un término relacionado con el comercio internacional que permite estimar el concepto de “ahorro de agua” que se deriva de la importación de una determinada mercancía en lugar de consumir esa agua si dicho bien se produce en el país donde se importa. (Fundación de la Universidad de Madrid, 2019).

Algunos autores prefieren usar el término de AV desde el punto de vista del país consumidor y no del país productor, definiendo el AV como el total de agua que se necesitaría para producir el bien consumido en el propio país consumidor y no en el país productor. (Fundación de la Universidad de Madrid, 2019).

Huella hídrica

La Huella hídrica de un consumidor o grupo de consumidores se define como el volumen total de agua dulce consumido o contaminado para producir todos los

bienes y servicios requeridos por dichos consumidores (Fundación de la Universidad de Madrid, 2019).

De esta forma, es factible cuantificar la HH de un individuo, familia, colectivo, una empresa, etc. (Fundación de la Universidad de Madrid, 2019).

Agua azul

El agua azul, se define como el volumen de agua, ya sea de origen superficial o subterráneo, que es consumida durante el proceso de producción y que necesita de una infraestructura más o menos compleja para su utilización. (Fundación de la Universidad de Madrid, 2019).

Agua verde

El agua verde (HHverde) se define como el agua procedente de la precipitación y que es evaporada de forma directa durante el proceso productivo (Hoekstra et al., 2011).

El uso de agua verde se encuentra por lo general asociado a la agricultura o a la silvicultura y se refiere al volumen total de agua que proviene de la lluvia, es almacenada en el suelo en forma de humedad y posteriormente evapotranspirada por las plantas o acumulada en su estructura vegetal. (Fundación de la Universidad de Madrid, 2019).

Agua gris

Hace referencia a la contaminación que a lo largo de un proceso productivo se genera sobre los recursos hídricos utilizados. (Fundación de la Universidad de Madrid, 2019).

Se define como el volumen total de agua necesario para asimilar la concentración de contaminantes vertidos al

medio receptor, en función de la calidad intrínseca de dicho medio, a partir de un límite ambiental máximo preestablecido. (Fundación de la Universidad de Madrid, 2019).

Mecanismos de cuantificación de Huella Hídrica Total

Las dos dimensiones de cuantificación son: uso directo e indirecto; el primero referido al uso de agua por parte de un consumidor de forma directa, y el segundo referido al consumo de agua incorporada en un producto durante su producción. (Banco de Desarrollo de América Latina, 2016).

La HH total de la MSC es la suma de las HH directa (azul y gris) e indirecta (que incluye los tipos azul, gris y verde). La ecuación utilizada se muestra a continuación. (Banco de Desarrollo de América Latina, 2016).

Hh uso Indirecto

$$HH_{total} = HH_{azul} + HH_{verde}$$

Hh uso directo

$$Hhtotal = Hh_{azul} + Hh_{verde} + Hh_{gris}$$

Nivel	Huella Hídrica Directa			Huella Hídrica Indirecta		
	Volumen de agua facturada (afluente)	Volumen de agua del efluente	Calida (Afluente)	Cantidad de papel	Cantidad de bebidas consumidas	Hh equivalente en productos
Central						
Servicios a la Ciudadanía						
Empresas Descentralizadas						

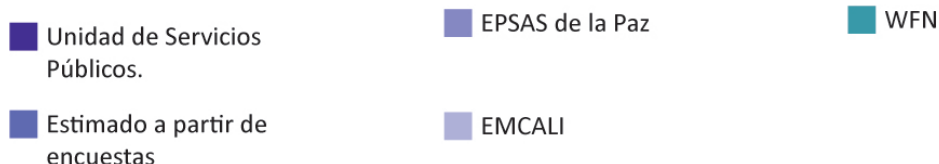


Fig. 8 Huella hídrica de un estudio realizado.

Fuente: Elaboración propia, basado en (Hoekstra, 2008).

Estimación de la huella hídrica por el enfoque de peso

Para poder estimar la huella hídrica, se realiza un inventario detallado de todos los procesos y productos intermedios que intervienen en el proceso de producción de dicho producto, y se utiliza la tabla de a continuación con la información de materias primas. (Hoekstra, 2008).

Se han realizado tales como pintura exterior e interior, paneles de yeso laminado, carpintería metálica, mobiliario y electrodomésticos de cocinas, carpintería de madera, pavimentos laminados, suministro de morteros y de hormigones, etc. (Hoekstra, 2008).

Tabla 2. Porcentaje hídrico de materiales de la construcción

Materiales	Kg	% sobre total
Cemento	3600,551	10,74
Yeso	165,143	0,49
Yeso laminado	542,562	1,62
Hormigón	1033,895	3,09
Acero	929,228	2,77
Arena/grava	19861,275	59,27
Baldosas	256,398	0,77
Ladrillo	1844,69	5,51
Vidrios	63,982	0,19
Madera	169,39	0,51
Agua	4831,754	14,42
Peso total Kg	33298,868	99,38

Fuente: Elaboración propia, basado en (Hoekstra, 2008).

2.1.3.3 Variable Aceptación Social - Encuestas

Influir en las decisiones de los consumidores para hacer una arquitectura regenerativa y más sostenible, se refiere necesariamente a la relación entre constructores y consumidores. En ese sentido esta variable fue realizada a firmas de arquitectura e ingeniería civil y consumidores del material de construcción. (Gold & Rubik , 2008).

Según estudios de los materiales de construcción, se puede también recurrir a entrevistas con los constructores, de 15-20 minutos de duración. (Gold & Rubik , 2008).

Las hipótesis de las encuestas, derivan de la literatura revisada a continuación. Por lo que se formulan preguntas cerradas con categorías de respuesta predefinidas. (Gold & Rubik , 2008).

Encuestas a consumidores

Rendimiento medio ambiental

Numerosos autores han estudiado los beneficios medioambientales de la madera como material de construcción. (Oneil & Lippke, 2010).

Existe un amplio consenso en que, cuando los bosques se gestionan de forma sostenible, la madera es neutra en carbono y actúa como depósito de carbono, ya sea como reserva en crecimiento o como producto de valor añadido (Oneil & Lippke, 2010).

Sencillez de instalación y competitividad de costes

La madera es un sistema basado en paneles ligeros de gran formato que varían en tamaño de un fabricante a otro. (Oneil & Lippke, 2010).

Una de las características más atractivas de la madera como sistema de construcción es la rapidez con la que pueden levantarse los edificios, en gran parte debido a su naturaleza prefabricada. (Evans, 2013; FPInnovations, 2013; Karacabeyli & Douglas, 2013).

Esto permite una gran precisión, una finalización más rápida, una mayor seguridad, una menor perturbación del entorno y una menor generación de residuos (Evans, 2013; FPInnovations, 2013; Karacabeyli & Douglas, 2013).

Innovación

Una noción común a todas las definiciones es la de “novedad” que caracteriza a todas las innovaciones. En el ámbito del marketing, esta “novedad” suele definirse a través de los ojos del consumidor; siendo el consumidor, y no el productor, el que determina si algo (producto o servicio) es nuevo o no. (Rogers, 2003).

Entrevista a empresas de construcción

Ventajas del Rendimiento estructural

Las capas adyacentes de la madera laminada encolada con Pino Radiata actúan como refuerzo de toda una viga, añadiendo estabilidad dimensional y permitiendo que las vigas soporten cargas en ambas direcciones. (Turner, 2010; Van de Kuilen, Ceccotti, Xia, He, & Li, 2010).

Ventajas en cuanto a flexibilidad de diseño

Según algunos autores, la madera laminada aporta flexibilidad en la organización de los espacios sin comprometer la integridad estructural de la estructural. (Bejder, 2012; Kwan, 2013).

En este sentido, Rogers definió la innovación como “una idea, práctica u objeto que es percibido como nuevo por un individuo u otra unidad de adopción.” (Rogers, 2003).

	Rendimiento acústico	Estética	Comportamiento ante el fuego	Flexibilidad en la construcción	Certificación LEED	Confort	Calidad
Encuesta							
Entrevista							

Consumidores

Empresas

Fabricantes

Fig. 9 Diferentes variables aplicadas a encuestas y entrevistas

Fuente: *Elaboración propia, basado en (Hoekstra, 2008).*

La madera laminada del Pino Radiata permite cubrir grandes luces sin soportes intermedios; algo que sería demasiado complejo o imposible de conseguir utilizando madera de forma tradicional. Por ejemplo, un panel de CLT de 7 capas (9 pulgadas de grosor) puede utilizarse para cubrir luces de hasta 25 pies (Malczyk, 2011).

2.1.3.4 Variable Eficiencia estructural

Estructura ligera y sencilla

Los forjados del futuro deben ser: ligeros (con un peso propio de un 20% de la carga total), sencillos de concepción, autoportantes al máximo, industrializados, contruidos con un sistema seco, rígidos (para transmitir acciones horizontales y verticales con poca deformación),

que permitan el paso de instalaciones, reparables, reciclables, duraderos (tanto o más que la propia vida del conjunto del edificio) y de buen mantenimiento. (Arriaga, 2021).

Beneficio del peso de la madera

La madera puede ser uno de estos materiales más eficientes en un sentido estrictamente estructural. En grandes luces y cargas ligeras, una estructura de madera resulta varias veces más ligera que una de acero u hormigón. (Arriaga, 2021).

Probablemente el avance más importante en el campo de los materiales durante los últimos años haya sido el obtenido a través de la mejora genética que produce variedades de crecimiento rápido en maderas comerciales. (Arriaga, 2021).

El pino radiata

Las variedades del *Pinus radiata* (Weymouth pine) pueden, en condiciones favorables, incrementar su diámetro por encima de los 12 centímetros al año y apearse, como árbol maduro, en seis años. (Arriaga, 2021).

Existen, por tanto, buenas perspectivas para conseguir madera procedente de cosechas que crece en ciclos de tiempo breves. Prácticamente toda la energía necesaria para su crecimiento es aportada, gratuitamente, por el sol. (Arriaga, 2021).

Por otro lado, cuando la estructura de madera ha terminado su función, puede utilizarse como combustible recuperando la mayor parte de la energía que precisó para su crecimiento. Esto, desde luego, no ocurre con el acero o el hormigón. (Arriaga, 2021).

Parámetros de diseño sísmico

El sistema de cargas laterales sobre elementos estructurales en los EE. UU, utiliza metodologías de diseño basadas en el rendimiento. Los detalles de esto se proporcionan en el Capítulo 1 de ASCE 7 (2016), que requiere que el diseñador demuestre que el sistema cumplirá con las expectativas mínimas del código de construcción. (Dolan, Wilson, Brandt, Bender, & Wolcott, 2019).

Actualmente, se está realizando un estudio FEMA P-695 (2009) para desarrollar los parámetros de diseño sísmico necesarios para los muros de corte de madera laminada encolada de la plataforma. Una vez que se adopten estos parámetros, los ingenieros ya no necesitarán emplear metodologías basadas en el rendimiento para la construcción de plataformas de madera laminada (Dolan, Wilson, Brandt, Bender, & Wolcott, 2019).

Los parámetros de diseño sísmico utilizados en este estudio fueron definidos por tres principales: resistencia a la compresión axial, rigidez y resistencia máxima. (Dolan, Wilson, Brandt, Bender, & Wolcott, 2019).

Parámetro de diseño a la compresión axial

Este parámetro muestra que la madera es capaz de resistir las cargas necesarias de compresión de columnas y muros. (Skidmore, Owings, & Merrill, 2013).

Las grandes cargas se deben al peso de varios pisos arriba, así como a la compresión de las cargas laterales. Soportar estas cargas es la razón principal por la que los edificios altos requieren más material estructural que los edificios de poca altura. (Skidmore, Owings, & Merrill, 2013).

Las cantidades de material necesarias para soportar las cargas se muestran para cada material en el estudio a continuación. (Skidmore, Owings, & Merrill, 2013).

Parámetro de diseño por rigidez

El movimiento lateral de los edificios altos generalmente se rige por la rigidez axial de los elementos resistentes a la carga lateral. Las cargas laterales crean momentos de vuelco que son resistidos por fuerzas axiales y tensiones en los elementos verticales de un edificio alto. (Skidmore, Owings, & Merrill, 2013).

Parámetro de diseño por altura de construcción

En estos estudios, se selecciona previamente un rango de huellas y alturas (7PP 2018, NEEA 2014). Por otro lado, el 700 KIPS será la carga aplicada para los edificios residenciales multifamiliares en categorías de altura: 1 a 3 y más de 3 pisos (2018). (Dolan, Wilson, Brandt, Bender, & Wolcott, 2019).

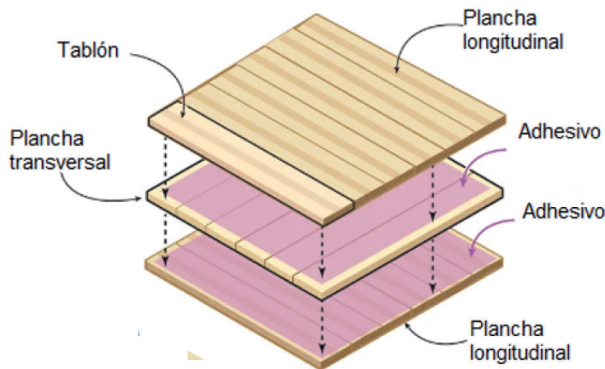


Fig 10. Capas de la madera laminada

Fuente: Elaboración propia, basado en (Long, 2020).



Fig 11. Capas de la madera laminada

Fuente: Elaboración propia, basado en (Long, 2020).

Fabricación de la madera laminada

La madera laminada puede fabricarse en 3, 5, 7 o incluso más capas. (Swedish Forest Industries Federation, 2016).

Es importante mencionar que el uso de un número desigual de capas en la madera laminada cruzada CLT, implica que las capas exteriores están siempre orientadas en la misma dirección, y se obtiene una mayor resistencia. (Swedish Forest Industries Federation, 2016).

2.1.3.5 Variable Costo

Partiendo desde el deseo del constructor de obtener una técnica eficaz para estimar el presupuesto, estudios sugieren la utilización del análisis de precios unitarios, expresado a partir de materiales, costo de mano de obra y costo de maquinaria. (Calero, 2015).

En estudios, el equipo del proyecto calcula el precio de cada partida, estimando el precio unitario y la cantidad. (Ahmed & Arocho, 2020).

Análisis de precios unitarios

Consiste en fragmentar el precio por unidad de medida del total de rubros, localizando rendimientos, precios y cuantificaciones de cada uno de los rubros o materiales del proyecto. Es así que, estos precios se los coloca en base a los siguientes parámetros: 1. Materiales; 2. Mano de obra; 3. Equipos y 4. Costos indirectos. (Calero, 2015).

Características del análisis de precios unitarios

El análisis de precios unitarios es un proceso en el cual se desglosa abarcando múltiples datos, que abarcan condiciones promedio de consumos, insumos y desperdicios. (Calero, 2015).

Tanto la flexibilidad, como el dinamismo, son cualidades del análisis de precio unitario que aportan de manera positiva al proyecto. En otras palabras, el análisis permite estar sujeto al tiempo. En ese sentido, se puede alterar o variar las cantidades analizadas, con el fin de que el proyecto sea cada vez más certero. (Calero, 2015).

Componentes del análisis de precios unitarios

Presupuesto en base a capítulos

Los rubros del proyecto, se enumeran de acuerdo al sistema de construcción. Es así que cada uno dispone de unidades de medida, cantidades de obra y precios unitarios. (Pérez Fuentes, 2019).

Análisis unitarios

Los análisis de precios unitarios deben tener precios actuales de los materiales, transporte, mano de obra y rendimientos. (Pérez Fuentes, 2019).

Costo

Costo significa cuantificar todo lo relacionado a la fabricación de un bien o prestación de cualquier servicio. Se define como los gastos generales empleados, la mano de obra, el transporte y el valor monetario del material. (Rayburn, 1988).

El análisis de precios unitarios está delimitado por una serie de costos indirectos y costos directos. (Calero, 2015).

Costo indirecto

Los costos indirectos son aquellos gastos fijos establecidos para una obra de construcción. Es así que, gastos como la jornada laboral de un peón o bien, los gastos de impuestos que se pueden generar en la obra, representan costos indirectos (Rayburn, 1988).

Costo directo

El costo directo es aquel gasto general que conforman cada uno de los análisis de precios unitarios, donde se puede apreciar tanto los costos de equipos, mano de obra y materiales. (Calero, 2015).

2.2 Introducción a la metodología

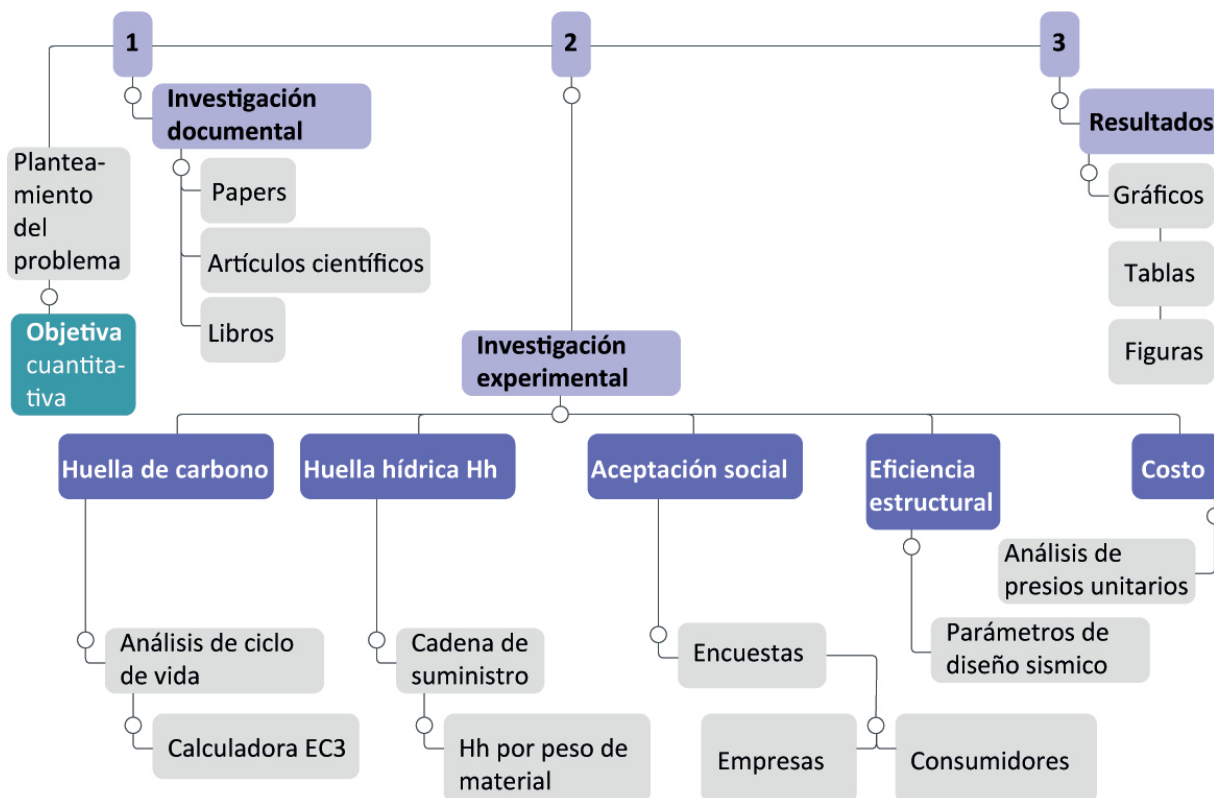


Fig. 12 Flujo de metodología de investigación

Fuente: Elaboración propia.

2.2.1 Investigación documental

En el manual de elaboración de una tesis doctoral, se evidencia que la información documental de una investigación debe ser primero estudiada desde “lo clásico del tema” por ser principales aportaciones en el campo y ser capaz de dar a conocer las vanguardias, valorando las críticas y debilidades de modelos clásicos. (Rivas Tovas, 2017).

Una investigación de tesis tendrá también que analizar hallazgos nuevos, privilegiando aquellos publicados en tesis de doctorado y maestrías. Para concluir, se deben llegar a obtener los modelos que contengan evidencia empírica, en otras palabras que aporten datos en resultados y aporten cuantitativamente al problema. (Rivas Tovas, 2017).

Un trabajo de investigación que se precise de ello, debe estudiar los hallazgos más recientes, privilegiando aquellos publicados en tesis de doctorado y maestrías. Para finalizar, se deben obtener los modelos que contengan lo que se llama evidencia empírica, es en otras palabras, obtener datos cuantitativos más que características del problema. (Rivas Tovas, 2017).

2.2.2 Investigación experimental

2.2.2.1 Variable huella de carbono

Antes de que pudieran comenzar las pruebas, es necesario realizar el pre dimensionamiento, para luego diseñarlo en Revit. Esto requirió una precisión significativamente mayor y se consiguió mediante una fórmula empírica, modelo que servirá concretamente al ensamblaje de vigas y columnas. (Phillips, 2021).

Para preparar cada modelo de la fase de análisis, se establecen dos prototipos estructurales: (Phillips, 2021).

Fase conceptual

Prototipo 1 Acero estructural

La primera variante se basó principalmente en el acero. Los postes y vigas corresponden al perfil IPN 300. El peralte de las vigas se determina mediante una fórmula empírica. El modelo tiene uniones en vigas y columnas y el hormigón en zapatas de los cimientos. (Phillips, 2021).

Prototipo 2 Madera laminada encolada

La segunda variante se compone principalmente de madera laminada encolada Pino Radiata Sur, cuyo peralte de viga se determinó mediante una fórmula empírica. En el modelo se detallan también uniones de acero (vigas y columnas), uniones sobre plintos y el hormigón para las zapatas de los cimientos. (Phillips, 2021).

Fase de diseño esquemático

Predimensionamiento prototipo 1

Se presenta a seguir un ejemplo típico de 36 m² con muros confinados. (MIDUVI, 2014).

Casa de acero estructural IPN 300

Área de construcción: 36 m². (MIDUVI, 2014).

Distancia entre ejes: 6 m

Tipo: Una planta con cubierta inclinada. (MIDUVI, 2014). Estructura sismorresistente de acero estructural IPN 300.

Crecimiento modular: No (MIDUVI, 2014).

Fórmula empírica acero estructural

De acuerdo al Manual de Construcción con Acero de México, la ecuación empírica para el predimensionamiento de vigas empotradas en ambos extremos es igual a la luz dividido para el factor 20. (Altos Hornos de México, 2013).

Peralte de viga = $L/20$

Peralte de viga = 6.00 m/20

Peralte de viga = 0.30 cm

Predimensionamiento prototipo 2

Se presenta a seguir un ejemplo típico DE 36 m² con muros confinados. (MIDUVI, 2014).

Casa de madera laminada encolada Pino Radiata del Sur

Área de construcción: 36 m²

Distancia entre ejes: 6 m

Tipo: Una planta con cubierta inclinada

Estructura sismorresistente madera laminada encolada

Crecimiento modular: No

(MIDUVI, 2014).

Fórmula empírica madera laminada encolada

De acuerdo al Manual chileno de Madera Laminada, la ecuación empírica para el predimensionamiento de viga es igual a la luz dividido para el factor 17. (Corporación de Fomento de la Producción, 1992).

Peralte de viga = $L/17$

Peralte de viga = 6.00 m/17

Peralte de viga = 0.35 cm

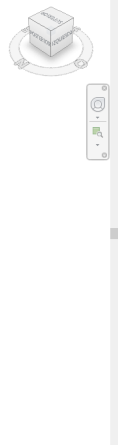
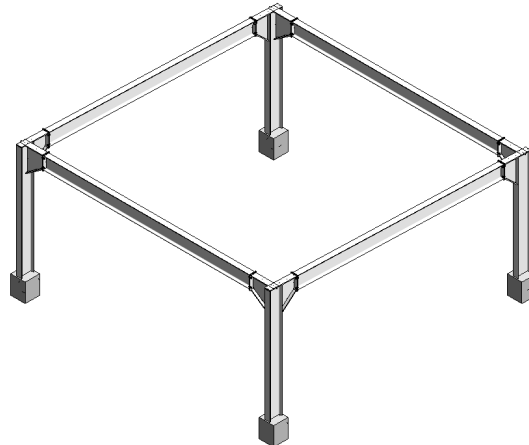
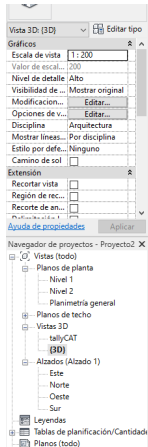


Fig. 13 Vista isométrica del Prototipo 1 - Acero estructural IPN 300

Fuente: Elaboración propia.

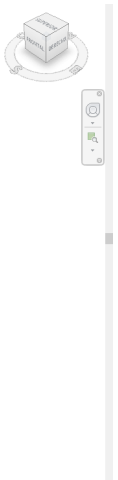
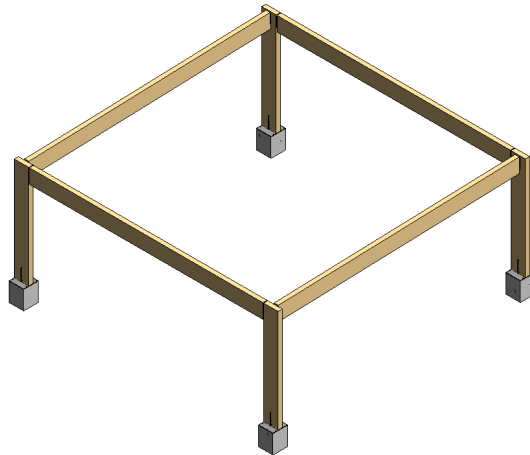
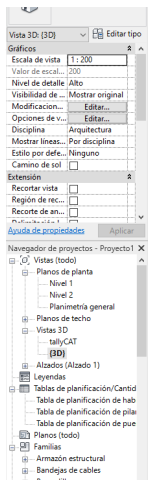


Fig. 14 Vista isométrica del Prototipo 2 - Madera laminada encolada

Fuente: Elaboración propia.

Tally Prototipo 1 acero estructural

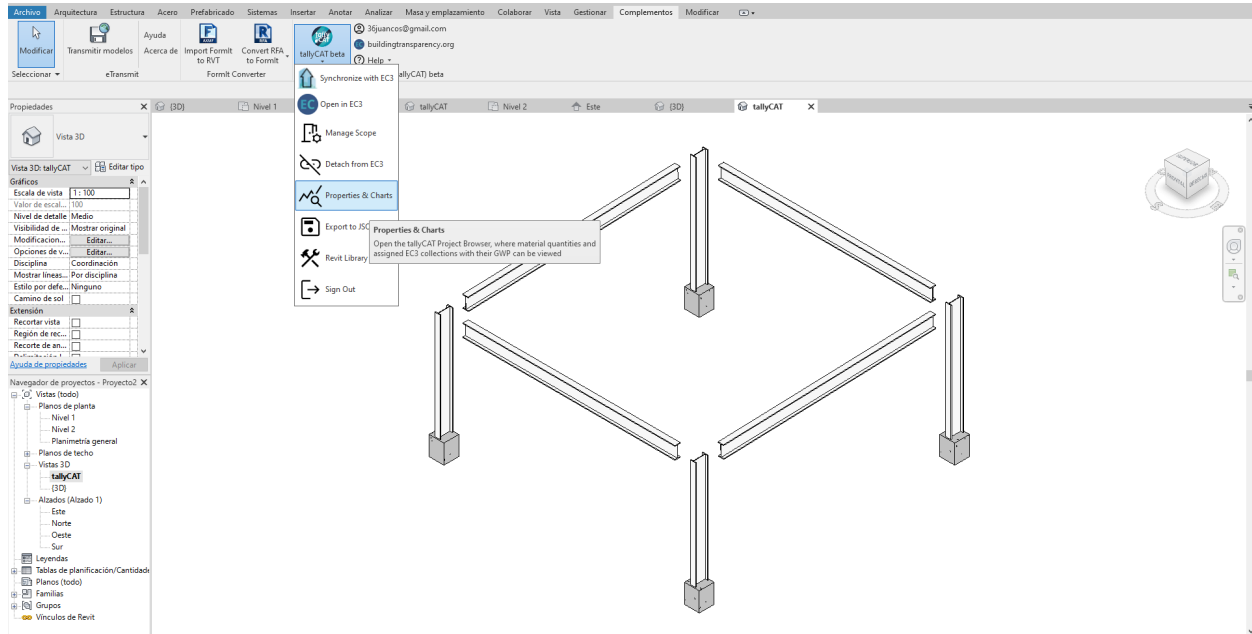


Fig. 15 Propiedades del plugin Tally para Revit

Fuente: Elaboración propia.

Es necesario recopilar datos sobre las cantidades de materiales en los edificios y su impacto ambiental para definir una línea de base, un punto de partida para comparar el carbono incorporado. (De Wolf, 2017).

La escala de medición es según la precedencia del material, por lo que se definirá que el resultado final puede ser conservativo o agresivo. Es decir si el material no tiene una precedencia sustentable, habrá una mayor oscilación en la huella de carbono del edificio. (Transparency, 2021).

Este programa requiere un modelo 3d BIM muy refinado con elecciones de materiales precisas. Por lo que los materiales del interior se tuvieron mínimamente en cuenta para que los datos reflejaran principalmente los cambios en la envolvente del edificio y las variaciones estructurales. (Phillips, 2021).

El plugin Tally, utiliza los datos BIM presentes en un modelo 3d de Revit para realizar una evaluación del ciclo de vida del proyecto basada en las cantidades de materiales utilizados. (Phillips, 2021).

2.2.2.2 Variable Huella Hídrica

En estudios sobre el cálculo de la huella hídrica, se determinó que el uso de agua dulce consta de tres componentes diferentes: el componente verde, el azul y el gris. (Hoekstra, 2008).

Para determinar la huella hídrica, se debe multiplicar el peso del material en kg por el factor k (litros/kg). En ese sentido, el resultado será en litros por cada material comparado. (Hoekstra, 2008).

Tabla 3. Factores por peso del material

Materiales	kg	% / total	litros / kg	Litros por material	% / total	litros / kg	Litros por material	% / total
Cemento	3600,551	10,75	2,17	7813,196	2,23	212,2	763928,912	21,98
Yeso	165,143	0,49	2,17	358,361	0,1	212,2	35038,409	1,01
Yeso laminado	542,562	1,62	27,68	15016,164	4,29	212,2	115115,386	3,31
Prefabricados de hormigón	1033,895	3,09	1,57	1625,076	0,46	41,5	42893,92	1,23
Acero	929,228	2,77	11,83	10992,764	3,14	2281,8	2120339,78	61
Arena/grava	19861,275	59,27	1,38	27408,559	7,84	1,4	27815,772	0,8
Baldosas	256,398	0,77	0,88	225,184	0,06	1,4	370,105	0,01
Ladrillos	1844,691	5,51	0,88	1620,12	0,46	1,4	2662,772	0,08
Vidrios	63,982	0,19	5,89	376,856	0,11	1305,9	83553,82	2,4
Madera	169,39	0,51	0	279475,262	79,91	1649,9	279475,262	8,04
Agua	4831,754	14,42	1	4831,754	1,38	1	4831,754	0,14
Total 11 Mats	33298,869	99,39	10,5	349743,296	99,98	104,4	3476025,892	100

Fuente: Elaboración propia, basado en (Fundación de la Universidad de Madrid, 2018).

2.2.2.3 Variable Aceptación social

Encuesta a consumidores

El fin de esta metodología es que se exploren varios ámbitos de la investigación del mercado, como es el caso del análisis de los deseos de los consumidores. Es así que este análisis permitirá saber al constructor, cómo idear estrategias para posicionarse en el mercado. (Laguarda Mallo & Espinoza, 2018).

Esta encuesta pretende conocer la postura del consumidor de madera a través de un cuestionario de actitudes hacia tres aspectos importantes: 1. Cualidades según importancia de la madera como material de construcción; 2. Aceptación de la madera como material de construcción; 3. Las ventajas de la madera en la construcción. (Laguarda Mallo & Espinoza, 2018).

Encuestas a empresas

Esta encuesta tiene como objetivo aumentar la comprensión de los factores críticos asociados con la adopción de materiales de construcción innovadores basados en la madera por parte de las empresas de ingeniería y construcción de Ecuador. (Laguarda Mallo & Espinoza, 2018).

Es así que, esta encuesta a nivel nacional de empresas de ingeniería y arquitectura, pretende conocer el nivel de concienciación, las percepciones y la voluntad de adoptar la madera laminada por parte de las empresas de construcción ecuatoriana, y también busca encontrar los factores que influyen en la adopción de materiales de construcción innovadores basados en la madera en comparación con materiales como el hormigón y el acero estructural. (Laguarda Mallo & Espinoza, 2018).

La primera versión del cuestionario contiene 7 preguntas y el cuestionario abarcaba los siguientes temas:

1. Fuentes de información utilizadas para investigar sobre los nuevos materiales estructurales, percepción de innovación de la empresa.
2. Tipo de edificios y materiales estructurales con los que trabaja la empresa. (Gold & Rubikz, 2008).
3. Conocimiento de la madera laminada en la comunidad de ingenieros y arquitectos: familiaridad con la madera laminada y cómo conocieron los participantes el sistema.
4. Percepciones sobre la madera laminada: cómo perciben los participantes los beneficios medioambientales, estructurales y económicos del sistema.
5. Disposición a adoptar el sistema de construcción con madera laminada. (Gold & Rubik, 2008).

2.2.2.4 Variable Eficiencia Estructural

Parámetros de diseño sísmico

Esta comparativa entre el acero estructural, el hormigón y la madera laminada, se centra en elementos verticales como columnas y vigas, por lo que se toma como punto de partida, las propiedades como la resistencia a la compresión axial, la rigidez axial al desplazamiento lateral (Δ). (Skidmore, Owings, & Merrill, 2013).

Compresión axial

La compresión axial de las columnas de hormigón, acero y madera ha sido planteado para soportar 700 kilolibras (unidad de utilizada en Estados Unidos), como sería típico en un edificio de baja altura. Se puede ver en la Fig 15, que la madera es capaz de resistir las cargas necesarias con un tamaño de columna razonable. (Skidmore, Owings, & Merrill, 2013).

Rigidez axial

Para la rigidez axial de las columnas, se toma en cuenta el desplazamiento lateral (Δ). En ese sentido, las cargas laterales crean momentos de vuelco que son resistidos por fuerzas axiales y tensiones en los elementos verticales de un edificio de baja altura.

Tabla 4. Comparación de fuerza axial según sección del material

Comparación de la fuerza axial del material			
Material	Hormigón	Acero estructural	Madera laminada
Sección	30cm x 20cm	30cm x 20cm	30cm x 10cm

Fuente: Elaboración propia tomado de (Skidmore, Owings, & Merrill, 2013).

2.2.2.5 Variable Costo

En estudios sobre el análisis de precios unitarios, se evidencia que los precios unitarios pueden desarrollarse a través de un proyecto modelado en BIM. Es así que el constructor puede exportar datos o cuantificaciones de manera exacta. (Ahmed & Arocho, 2020).

A continuación, se detallan las cantidades de los prototipos comparados y modelados con Revit bajo la herramienta BIM:

Tabla 5. Propiedades de viga de acero en Revit

Propiedades de Vigas-Acero estructural							
Material	Sección cm	Longitud m	kg/m	Peso del elemento kg	Costo por kg	Costo total	
Viga IPN 300 e = 10,8 MM	0,30 x 12,5	6,00	54,20	325,20	\$1,14	\$370,73	
Viga IPN 300 e = 10,8 MM	0,30 x 12,5	5,66	54,20	306,77	\$1,14	\$349,72	
Viga IPN 300 e = 10,8 MM	0,30 x 12,5	6,00	54,20	325,20	\$1,14	\$370,73	
Viga IPN 300 e = 10,8 MM	0,30 x 12,5	6,10	54,20	330,62	\$1,14	\$376,91	

Fuente: Elaboración propia tomado de (Skidmore, Owings, & Merrill, 2013).

Tabla 6. Cantidades de columnas de acero obtenido en Revit

Propiedades de Columnas-Acero estructural						
Material	Sección cm	Longitud m	Densidad kg/m	Volumen elemento kg	Costo por kg	Costo total
Columna IPN 300 e = 10,8	0,35 x 0,10	2,75	54,20	149,05	\$1,14	\$169,92
Columna IPN 300 e = 10,8	0,35 x 0,10	2,75	54,20	149,05	\$1,14	\$169,92
Columna IPN 300 e = 10,8	0,35 x 0,10	2,55	54,20	138,21	\$1,14	\$157,56
Columna IPN 300 e = 10,8	0,35 x 0,10	2,55	54,20	138,21	\$1,14	\$157,56

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Cantidades de vigas de madera laminada obtenido en Revit

Propiedades de Vigas-Madera Laminada							
Material	Sección cm	Longitud m	Densidad kg/m3	Volumen m3	Peso del elemento kg	Costo por metro lineal	Costo total
Glulam-pino del sur	0,35 x 0,10	6,00	400,00	0,20	80,00	\$39,00	\$234,00
Glulam-pino del sur	0,35 x 0,10	5,66	400,00	0,21	84,00	\$39,00	\$220,74
Glulam-pino del sur	0,35 x 0,10	6,00	400,00	0,21	84,00	\$39,00	\$234,00
Glulam-pino del sur	0,35 x 0,10	6,10	400,00	0,2	80,00	\$39,00	\$237,90

Fuente: Elaboración propia tomado de (Skidmore, Owings, & Merrill, 2013).

Tabla 8. Cantidades de columnas de madera laminada obtenido en Revit

Propiedades de Columnas-Madera Laminada							
Material	Sección cm	Longitud m	Densidad kg/m3	Volumen m3	Peso del elemento kg	Costo por metro lineal	Costo total
Glulam-pino del sur	0,35 x 0,10	2,75	400,00	0,20	80,00	\$39,00	\$107,25
Glulam-pino del sur	0,35 x 0,10	2,75	400,00	0,21	84,00	\$39,00	\$107,25
Glulam-pino del sur	0,35 x 0,10	2,55	400,00	0,21	84,00	\$39,00	\$99,45
Glulam-pino del sur	0,35 x 0,10	2,55	400,00	0,2	80,00	\$39,00	\$99,45

Fuente: Elaboración propia tomado de (Skidmore, Owings, & Merrill, 2013).

Tabla 9. Análisis de precios unitarios para vigas de acero IPN 300

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
NOMBRE DE PROYECTO:	Modulo Acero Estructural					
RUBRO:	4.1 VIGA IPN 300 (300X125 MM) e = 10,8 MM				UNIDAD:	kg
EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
herramienta menor (5%)					0,11	
SUBTOTAL M					0,11	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	CANTIDAD	Costo Hb	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
Albañil	1,00	3,55	3,55	0,2	0,71	
Peon	2,00	3,51	7,02	0,2	1,40	
SUBTOTAL N					2,11	
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
		A	B	C = A x B		
Viga de acero IPN 300 0,30 x 12,5cm x 6,00m	kg	325,20	1,14	378,73		
Pernos	lb	1,00	2,00	2,00		
SUBTOTAL O				372,73		
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		
		A	B	C = A x B		
				0,00		
SUBTOTAL P				0,00		
				TOTAL COSTO DIRECTO	374,95	
				INDIRECTOS 18%	21,81	
				COSTO TOTAL DEL RUBR	396,76	

Fuente: Elaboración propia, basado en (Kevin Israel Bejarano, 2023).

Tabla 10. Análisis de precios unitarios para vigas de madera laminada encolada

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DE PROYECTO:	Modulo madera laminada				
RUBRO:	4.1 VIGA GLULAM - PINO DEL SUR (0.35x0.10x6 m)		UNIDAD: m		
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HOR	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
HERRAMIENTA MENOR (5%)					0,11
SUBTOTAL M					0,11
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	Costo Hh	COSTO HOR	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Albañil	1,00	3,55	3,55	0,2	0,71
Peon	2,00	3,51	7,02	0,2	1,40
SUBTOTAL N					2,11
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Viga madera laminada de 0,35 x 0,10 x 6,00	u	6,00	39,00	234,00	
Pernos	lb	1,00	2,00	2,00	
SUBTOTAL O				236,00	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C = A x B	
				0,00	
				0,00	
SUBTOTAL P				0,00	
TOTAL COSTO DIRECTO					238,22
INDIRECTOS 18%					21,81
COSTO TOTAL DEL RUBRO					260,03

Fuente: Elaboración propia, basado en (Kevin Israel Bejarano, 2023).

Tabla 11. Análisis de precios unitarios para hormigón premezclado en zapatas

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DE PROYECTO:	Pototipos comparados				
RUBRO:	HORMIGÓN PREMEZCLADO ZAPATA CORRIDA F'c=210		UNIDAD: m		
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HOR	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta Menor 5%Mo				0,00	2,19
				0,00	0,00
SUBTOTAL M					2,19
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HF	COSTO HOR	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peon	6,00	3,62	21,72	1,0000	21,72
Albañil	5,00	3,86	18,30	1,0000	18,30
Maestro de obra	1,00	3,86	3,86	1,0000	3,86
SUBTOTAL N					43,88
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Cemento gris	saos	4,00	11,00	44,00	
Piedra bola de 15 a 30 cm de diametro	m3	0,40	23,49	9,40	
Agregado grueso homogeneizado de tamaño maximo de 2	m3	0,51	10,33	5,27	
Arena cribada	m3	0,29	7,21	2,09	
Agua	m3	0,13	1,61	0,21	
SUBTOTAL O				60,96	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C = A x B	
				0,00	
				0,00	
SUBTOTAL P				0,00	
TOTAL COSTO DIRECTO (N)					107,04
INDIRECTOS %					21,41
COSTO TOTAL DEL RUBRO					128,45
Este precio no incluye IVA					

Fuente: Elaboración propia, basado en (Kevin Israel Bejarano, 2023).

ETAPA 3
DIFUSIÓN DE RESULTADOS



3.1 Resultados variable Huella de carbono

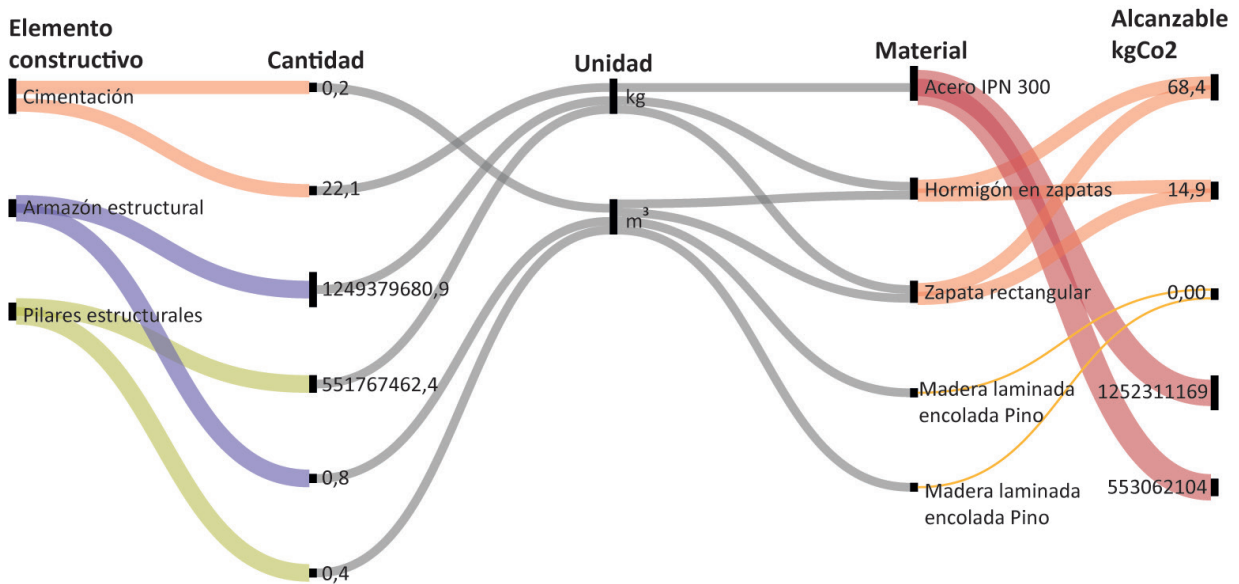
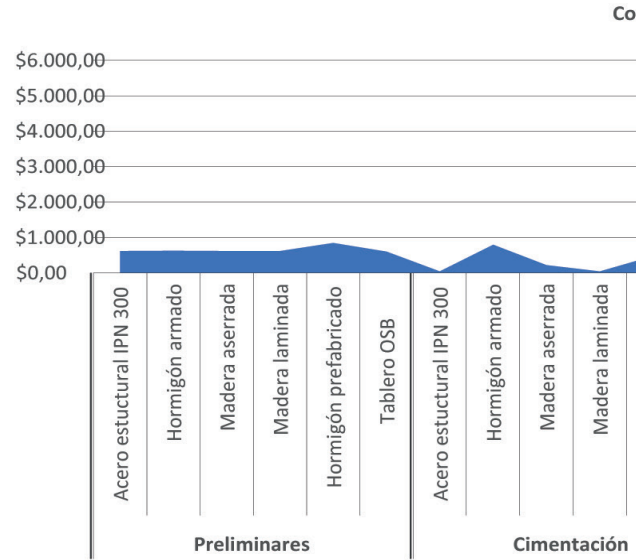
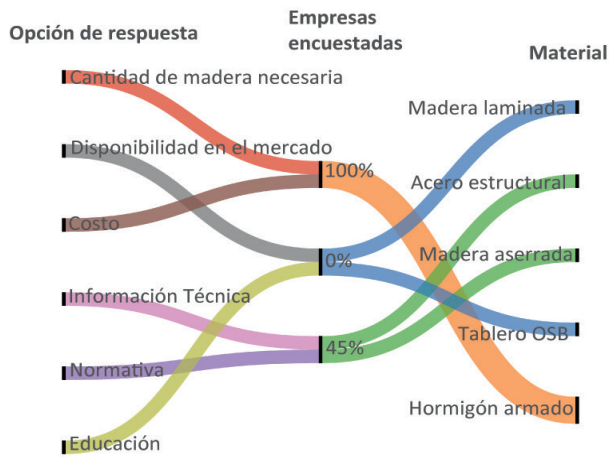


Fig. 16 Resultados variable Huella de carbono (Línea gruesa = altísimo impacto; línea fina = menor impacto).

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la comparación en la variable de huella de carbono, muestran que el material IPN 300 de acero estructural, arroja un valor altísimo, con 12523111689,2 kgCo₂, en comparación los otros materiales estudiados en ambos prototipos.

Por otro lado, estos resultados también indican que el material de la madera laminada encolada, obtienen un menor impacto, con un valor alcanzable de consumo de carbono de 0,00 kgCo₂.



sto

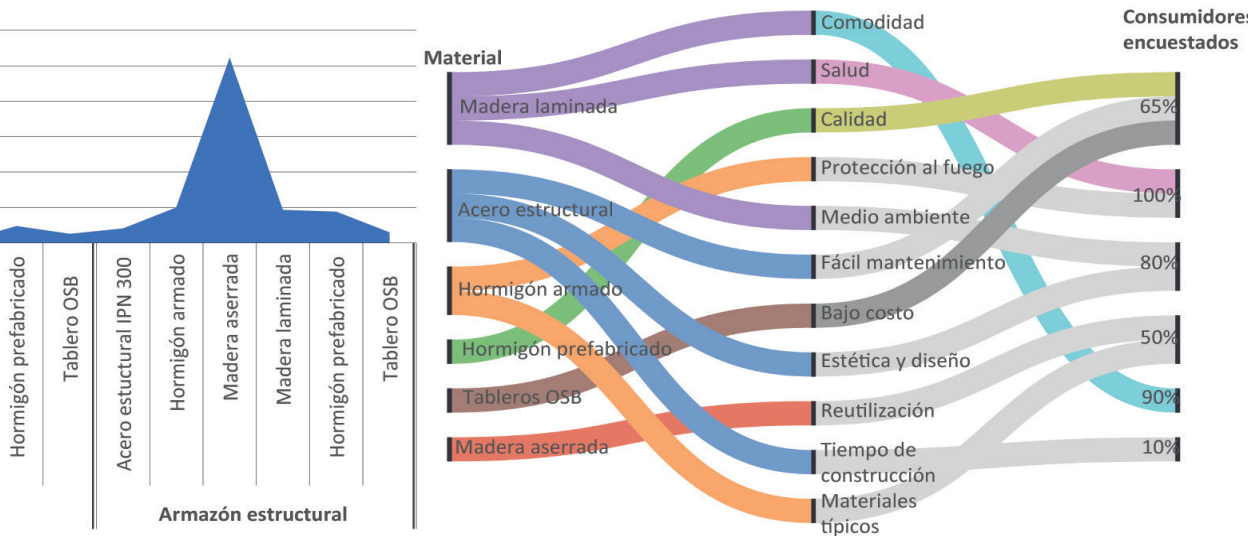


Fig. 17 Gráfico de resultados (Grupal)

Fuente: *Elaboración propia.*

HUELLA DE CARBONO

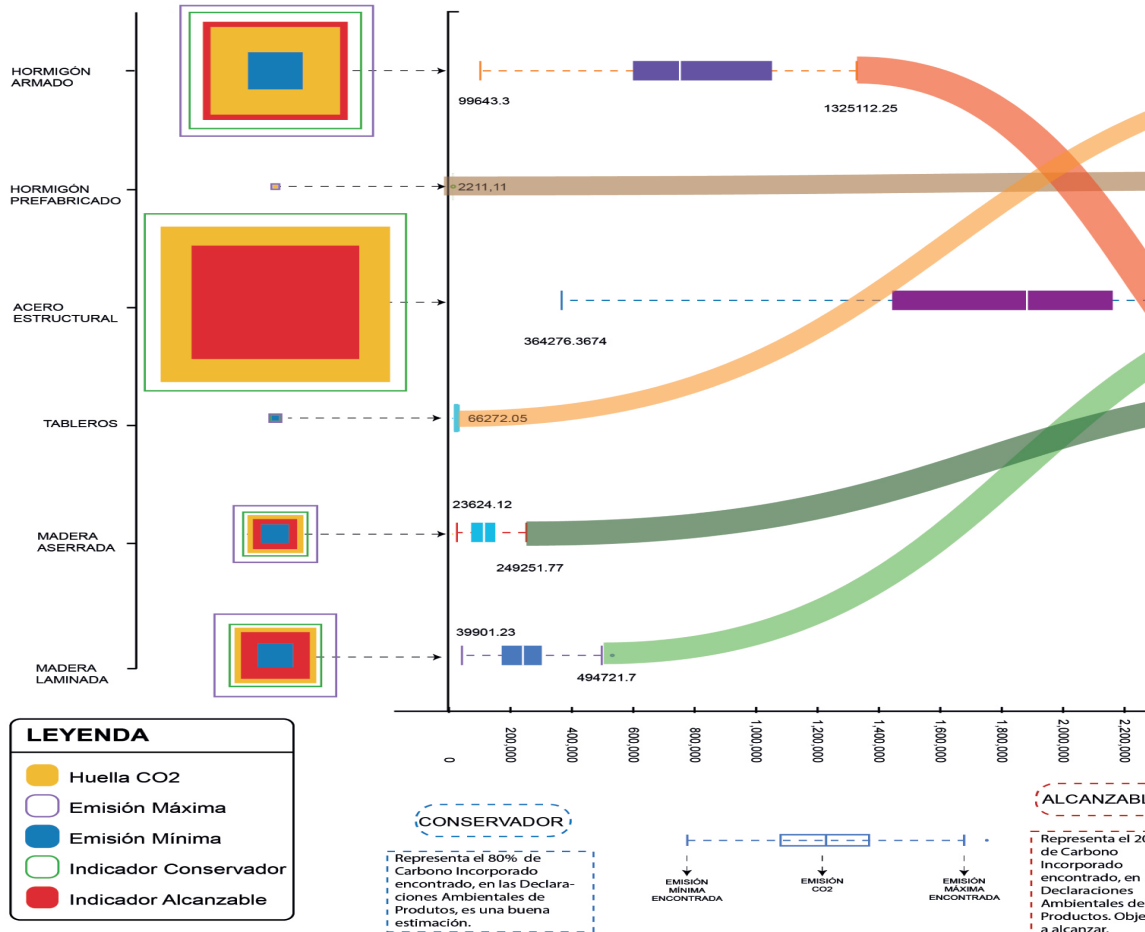
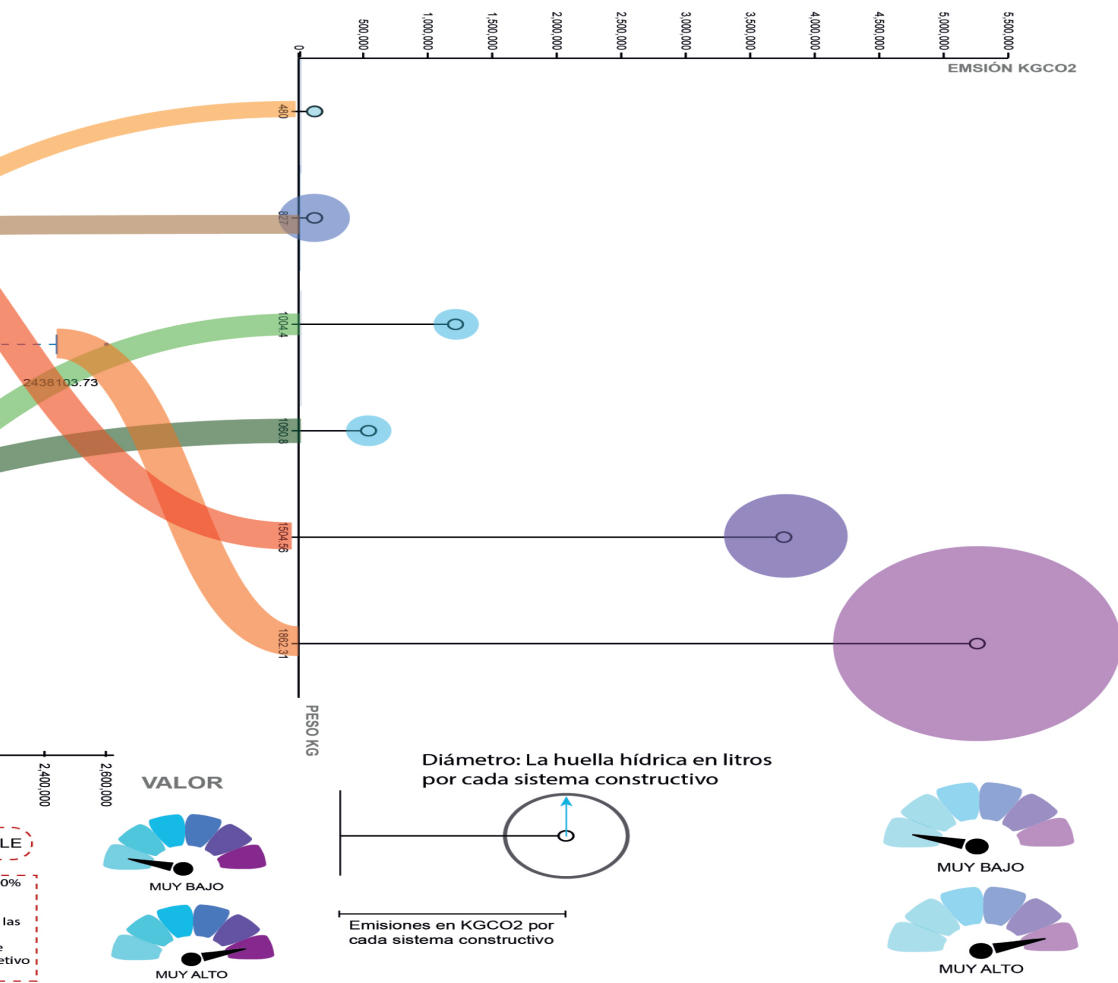


Fig. 17 Gráfico de resultados (Grupal)

Fuente: Elaboración propia, baso en (José Enrique Gutiérrez, 2023).

+ HUELLA HÍDRICA



3.2 Resultados variable Huella hídrica

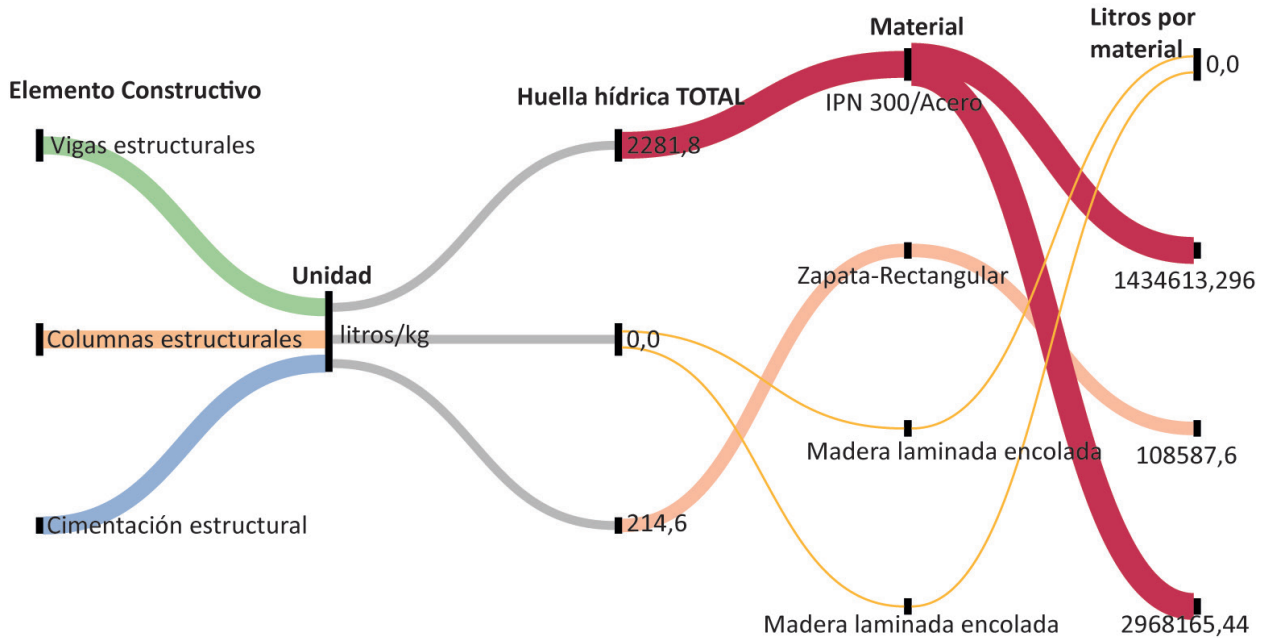


Fig. 18 Resultados variable Huella hídrica (Línea gruesa = mayor impacto; línea fina = mínimo impacto)

Fuente: Elaboración propia.

2968165,44 litros de agua

Los resultados de la variable huella hídrica, arrojan que las vigas estructurales del prototipo de acero IPN 300, es el material que mayor impacto hídrico deja.

Los resultados de la variable de la huella hídrica en el prototipo de madera laminada, corresponden a las columnas estructurales y arrojan el mínimo impacto con 0,00 litros.

3.3 Resultados variable Aceptación social - Encuestas

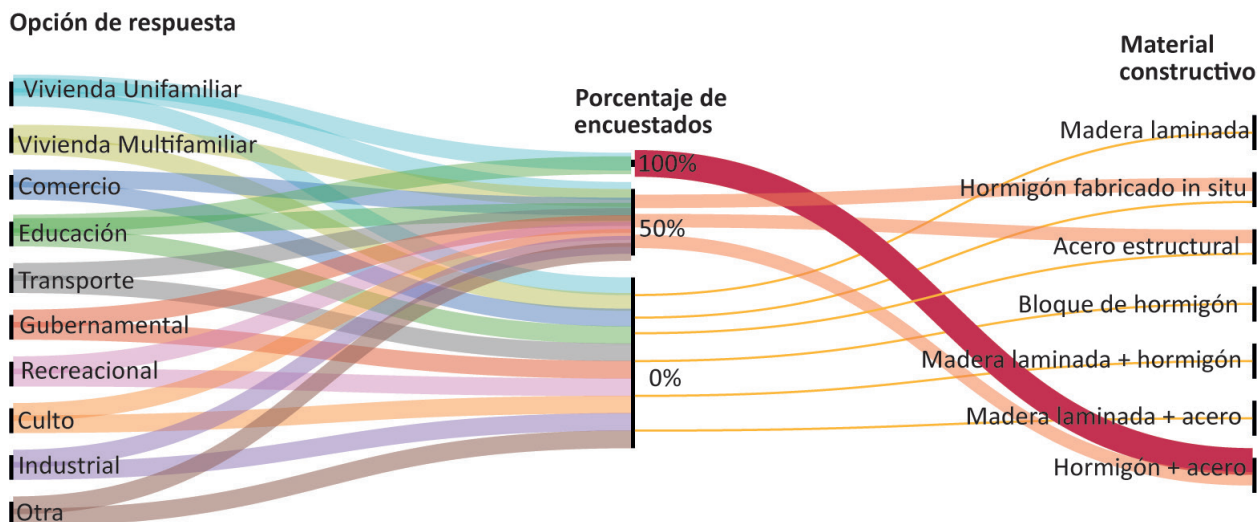


Fig. 19 Resultados de la variable de Aceptación social. (Línea gruesa = mayor porcentaje de encuestados; línea fina = menor porcentaje de encuestados).

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la variable de aceptación social, concluyen que el 100% de empresas encuestados, escogieron al hormigón y al acero como su principal material de construcción.

Por otro lado, los resultados de las encuestas, indican que la madera laminada, no presta atención hacia los encuestados. Es así que, obtiene un 0% de números de encuestados.

3.4 Resultados variable Eficiencia Estructural

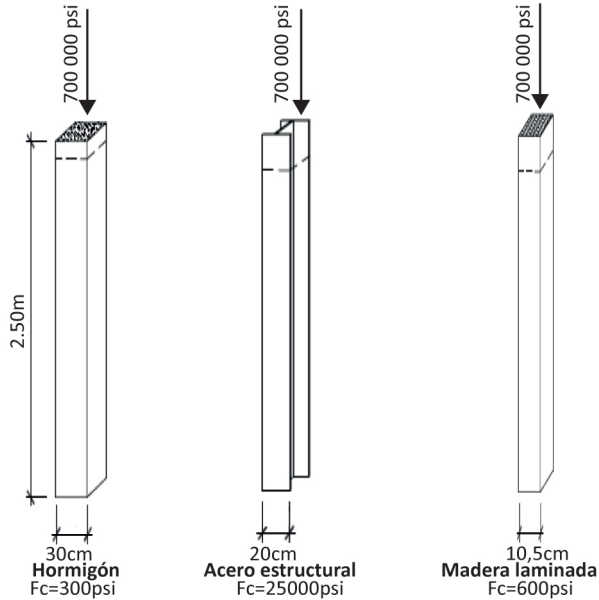


Fig 20. Resistencia a la compresión axial de cada material

Fuente: Elaboración propia, basado en (Skidmore, Owings, & Merrill, 2013).

El resultado de esta comparación, indica que al someter la misma fuerza axial (700kips) en columnas estructurales tanto de acero y madera laminada, la madera laminada de sección de 0.35cm x 10.5cm, obtiene buenas resistencias en comparación al acero estructural.

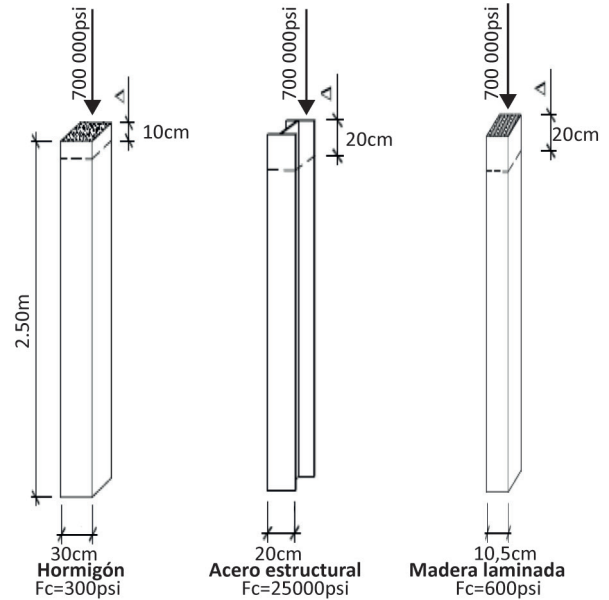


Fig 21. Resistencia a la rigidez axial de cada material

Fuente: Elaboración propia, basado en (Skidmore, Owings, & Merrill, 2013).

Por otro lado, la madera laminada es muy eficiente, desde el punto de vista estructural, se parece bastante a los datos que arroja el hormigón armado.

3.5 Resultados variable Costo

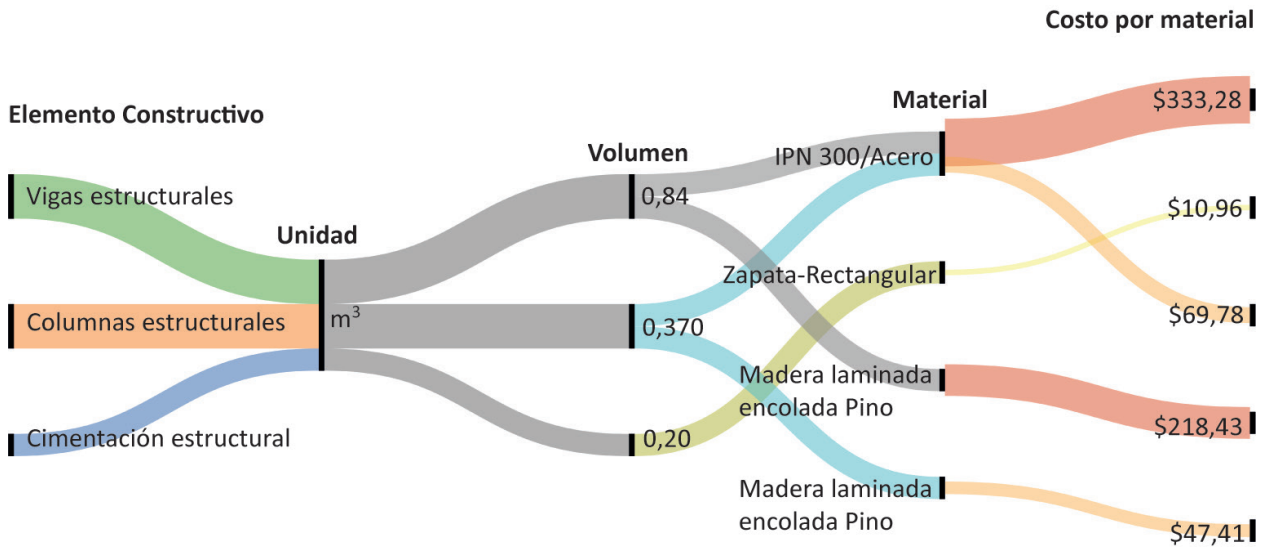


Fig. 22 Resultados variable Costo (Línea gruesa = mayor costo; línea fina = menor costo).

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la variable de costos, indican que el material de acero, tiene un mayor costo.

Tabla 12. Resultados EC3 - Prototipo acero IPN 300

EC3 Building Project		tallyCAT - Proyecto2acero		Date of Report	2023-01-18		Generated from buildingtransparency.org/ec3							
Level of Development				Source of Data	Revit Import									
Area		36 m²						50031880,4 kg/m²	121982880,1	121982880,4	121982880,4	50149259,9 kgCO2e/m²		
Totals		4						1801147694,6 kg	4391383682,4	4391383695,9	4391383695,9	0%	1805373357,2 kgCO2e	
Category	Masterformat	# of Elements	Quantity	unit	Qty / Area	unit	Mass	unit	Baseline (kgCO2e)	Conservative (kgCO2e)	Realized (kgCO2e)	Reduction From Baseline	Achievable (kgCO2e)	GWIP unit
Steel >> Rebar	03 21 00 Reinforcement Bars	1	22.1 kg	kg/m²	0,613	kg	22.1 kg	kg	37.5	28.3	28.3	-24%	14.9	kgCO2e
Concrete >> ReadyMix	03 30 00 Cast-in-Place Concre	1	0.2 m³	m³/m²	0,006	kg	529.2 kg	kg	83.8	106.4	106.4	-27%	68.4	kgCO2e
Steel	05 00 00 Metals	2	1801147143.3 kg	kg/m²	50031865,092	kg	1801147143.3 kg	kg	4391383561,2	4391383561,2	4391383561,2	0%	1805373273,9	kgCO2e

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la variable de carbono con la herramienta EC3, indican que el acero IPN 300, es el material que más impacto de huella de carbono general.

- ▲ Armazón estructural
 - ▲ IPN - Secciones en I con alas cónicas: IPN 300
 - Metal - Acero - 345 MPa
- ▲ Cimentación estructural
 - ▲ Zapata-Rectangular: 4500 x 4500 x 3500mm
 - Hormigón - Hormigón moldeado in situ
 - Reinf. for Hormigón - Hormigón moldeado in situ
- ▲ Pilares estructurales
 - ▲ IPN- Secciones en I con alas cónicas - Pilar: IPN 300
 - Metal - Acero - 345 MPa

Material information

Property name	Property value
Name	Metal - Acero - 345 MPa
Collection	Steel
Quantity	547748046.49 kg
Note	Converted from volume to mass based on 7544.438256 kg/m³ conversion factor for Steel.

Embodied carbon

Embodied carbon	kgCO2e embodied per 547748046.49 kg	kgCO2e embodied per 1.00 kg
Achievable	549033257862175.00	1002346.36
Average	1029680018202310.00	1879842.43
Conservative	1335466553067570.00	2438103.73

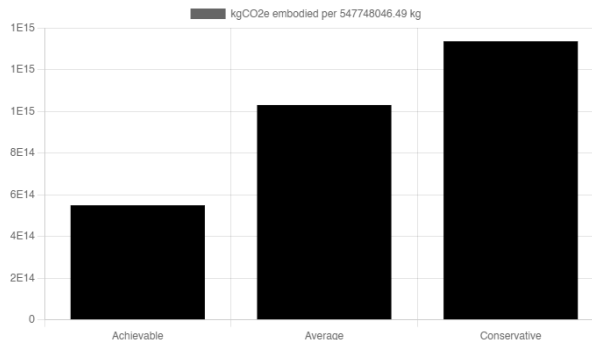


Fig. 23 Resultados EC3 - Prototipo 1 Acero estructural IPN 300

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Resultados EC3 - Prototipo madera laminada encolada

EC3 Building Project		Date of Report		2023-01-18									
Level of Development		Source of Data		Revit Import									
Area		36 m2				3,4		3,7		3,7		2,3 kgCO2e/m2	
Totals		4				121,3		134,7		134,7		-11% 83,3 kgCO2e	

Subassembly	Element	Material	Quantity	unit	Masterformat	Baseline (kgCO2e)	Conservative (kgCO2e)	Realized (kgCO2e)	Reduction from Baseline (%)	Unknowns (kgCO2e)	GWP unit
Armazón estructural	Glulam-Pino del sur: 3500x	Unknown	0,8	1 m3	00 00 00 No Masterformat Code	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0 kgCO2e
Cimentación estructural	Zapata-Rectangular: 4500 x	Ready/Mix	0,2	1 m3	03 30 00 Cast-in-Place Concrete	83,8	106,4	106,4	-27%	0,0	86,4 kgCO2e
Cimentación estructural	Zapata-Rectangular: 4500 x	Rebar/Steel	22,1	1 kg	03 21 00 Reinforcement Bars	37,5	28,3	28,3	-24%	0,0	14,9 kgCO2e
Pilares estructurales	Glulam-Pino del sur-Pilar: 3500 x	1000	0,4	1 m3	00 00 00 No Masterformat Code	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0 kgCO2e

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la huella de carbono, con la herramienta EC3, arrojan un resultado de menor impacto ambiental.

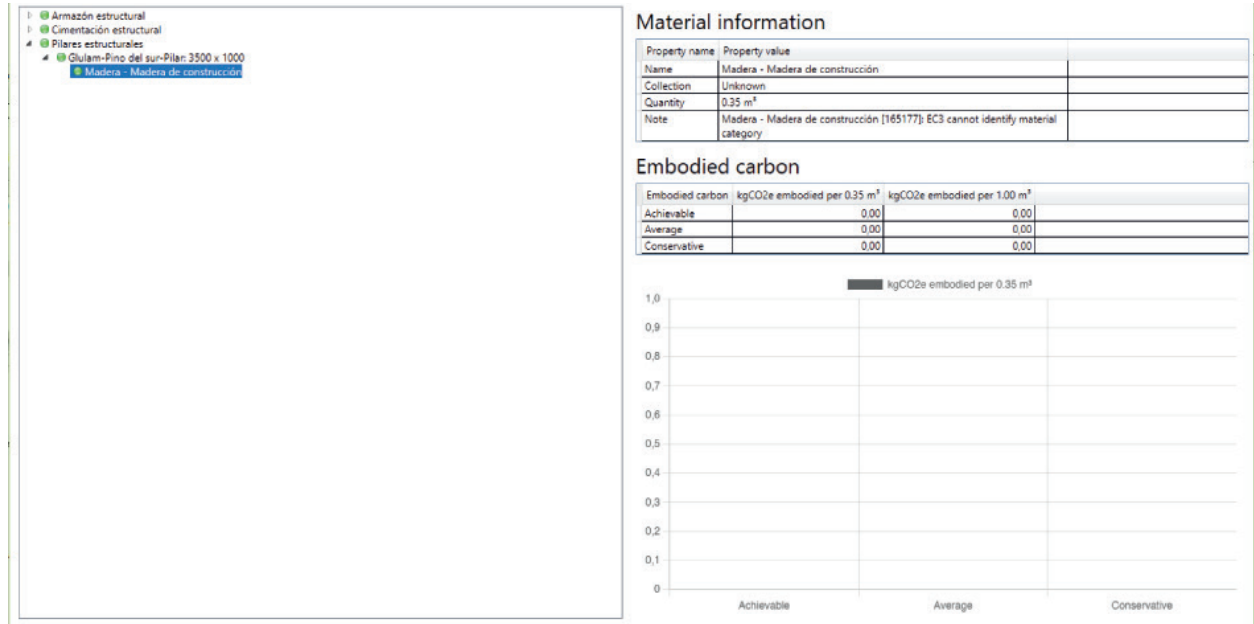


Fig. 24. Resultados EC3 - Prototipo 2 Madera laminada

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Resultados huella hídrica - Prototipo acero IPN 300

PROTOTIPO 1 ACERO ESTRUCTURAL		PESO DE MATERIALES		Huella Hídrica verde + azul		Huella Hídrica total	
Cimentación		Cantidad	Kg	litros/kg	litros por material	litros/kg	litros por material
Plintos		4	506	4,55	2302,3	212,2	107373,2
Cadenas		4	26,4	2,17	57,288	212,2	5602,08
Estructura							
Columnas		4	1300,8	11,83	15388,464	2281,8	2968165,44
Vigas		4	628,72	11,83	7437,7576	2281,8	1434613,296
						TOTAL	4515754,016

Fuente: Elaboración propia, baso en (José Enrique Gutiérrez, 2023).

Los resultados de la variable de la huella hídrica, arrojan que el material del acero IPN 300, es el que más litros de agua consume, en comparación al prototipo de madera laminada.

Los resultados de la variable de la huella hídrica, arrojan que el material de la madera laminada, obtiene un mínimo resultado, por lo que este prototipo consume menos agua.

Tabla 15. Resultados huella hídrica - Prototipo madera laminada encolada.

PROTOTIPO 2 MADERA LAMINADA		PESO DE MATERIALES		Huella Hídrica verde + azul		Huella Hídrica total	
Cimentación		Cantidad	Kg	litros/kg	litros por material	litros/kg	litros por material
Plintos		4	506	4,55	2302,3	214,6	108587,6
Estructura							
Columnas		4	162,4	0	0	0	0
Vigas		4	336	0	0	0	0
						TOTAL	108587,6

Fuente: Elaboración propia, baso en (José Enrique Gutiérrez, 2023).

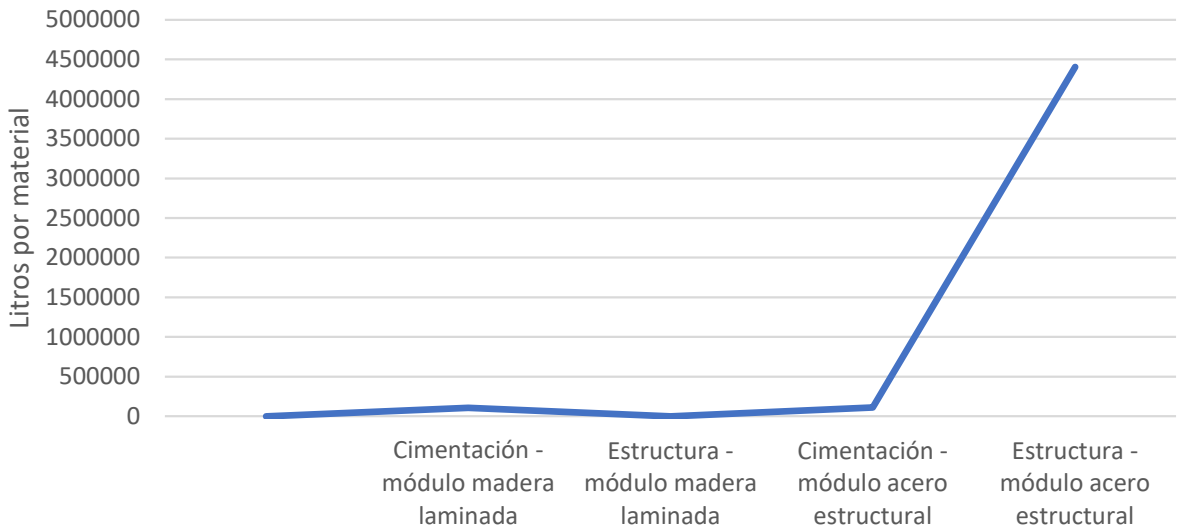


Fig. 25 Resultados huella hídrica de ambos prototipos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Encuesta al consumidor (Cualidades de la madera laminada)

Opciones de respuesta	Muy importante	Medianamente importante	Menos importante	No importa en lo absoluto
Comodidad	6			1
Aspectos de salud (alergias, calidad del aire de la habitación)	7			
Calidad	5	2		
Protección al fuego	7			
Cuestiones medio ambientales (material, ahorro de energía, huella de carbono, aislamiento térmico)	6	1		
Fácil mantenimiento	5	2		
Bajo coste	5	2		
Estética y diseño	6			1
Opción de reutilización	3	4		
Menor tiempo de construcción	1	6		
Construcción típica de la región	3	3		

Fuente: Elaboración propia

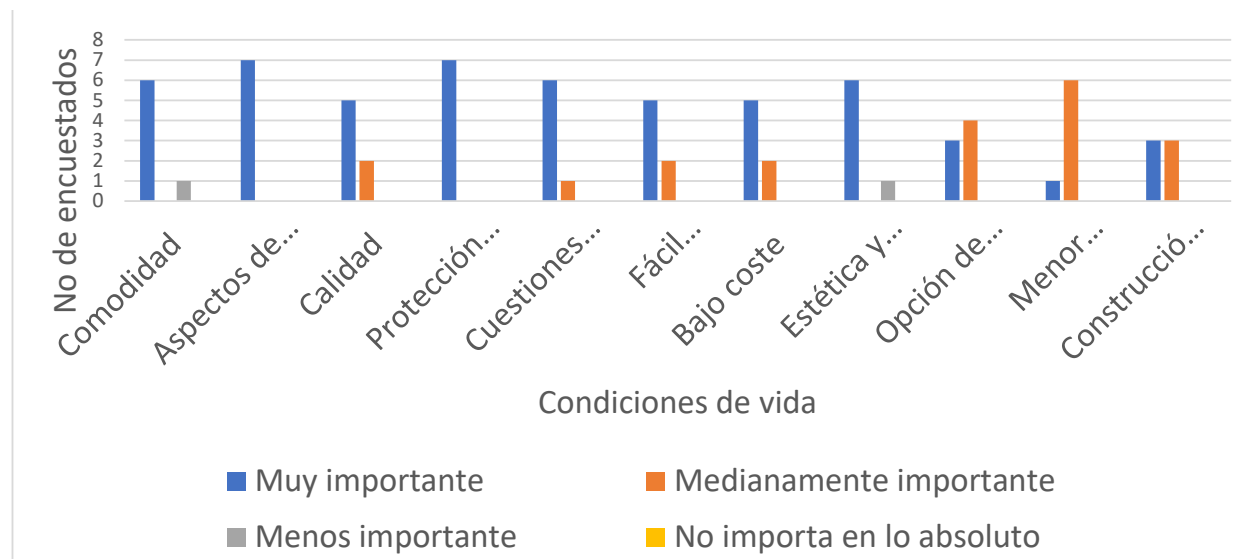


Fig 26. Resultado de encuesta al consumidor (Cualidades de la madera laminada)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Aceptación de la madera como material de construcción

Opciones de respuesta	De acuerdo completamente	Poco de acuerdo	Poco desacuerdo	Desacuerdo en lo absoluto
Natural	7			
Acogedor	7			
Ecológico	6		1	
Estético	6		1	
Saludable	7			
Moderno	5		2	
Duradero	4		3	
Caro	3		3	
Abundante	2		4	
Resistente al fuego	1		3	2

Fuente: Elaboración propia

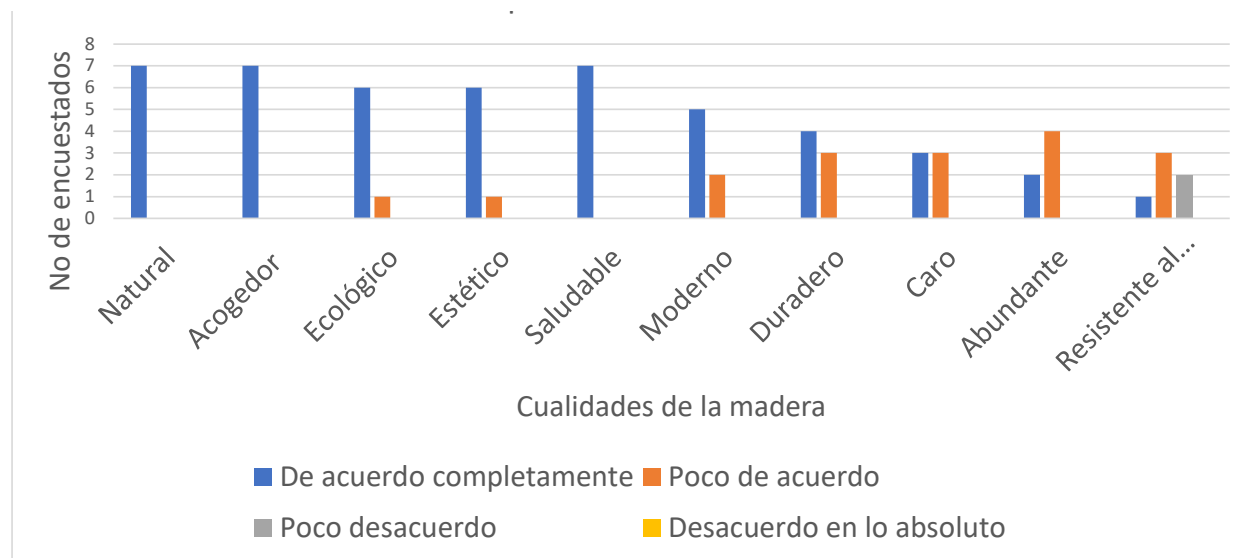


Fig 27. Resultado de encuesta al consumidor (Aceptación de la madera como material de construcción).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Encuesta a empresas (Valoración de la madera laminada en comparación con otros materiales)

Opción de respuesta	Excelente	Bueno	Promedio	Por debajo del promedio	Pobre	No se sabe
Rendimiento medioambiental			4			
Propiedades mecánicas			3	1		
Rendimiento económico				2		2
Estética		2				2
Comportamiento ante el fuego			3	1		
Comportamiento ante sismos			2	1		1
Disponibilidad en el mercado				1	1	2
Rendimiento acústico		1	1			2
Coste de mantenimiento post-construcción				1	1	2
Durabilidad		1		1		1
Certificación LEED			1			2
Comportamiento ante la humedad			1	1		2
Comportamiento ante la vibración				2		2
Complejidad de construcción			1	1		2
Disponibilidad de herramientas de diseño			3			1

Fuente: Elaboración propia

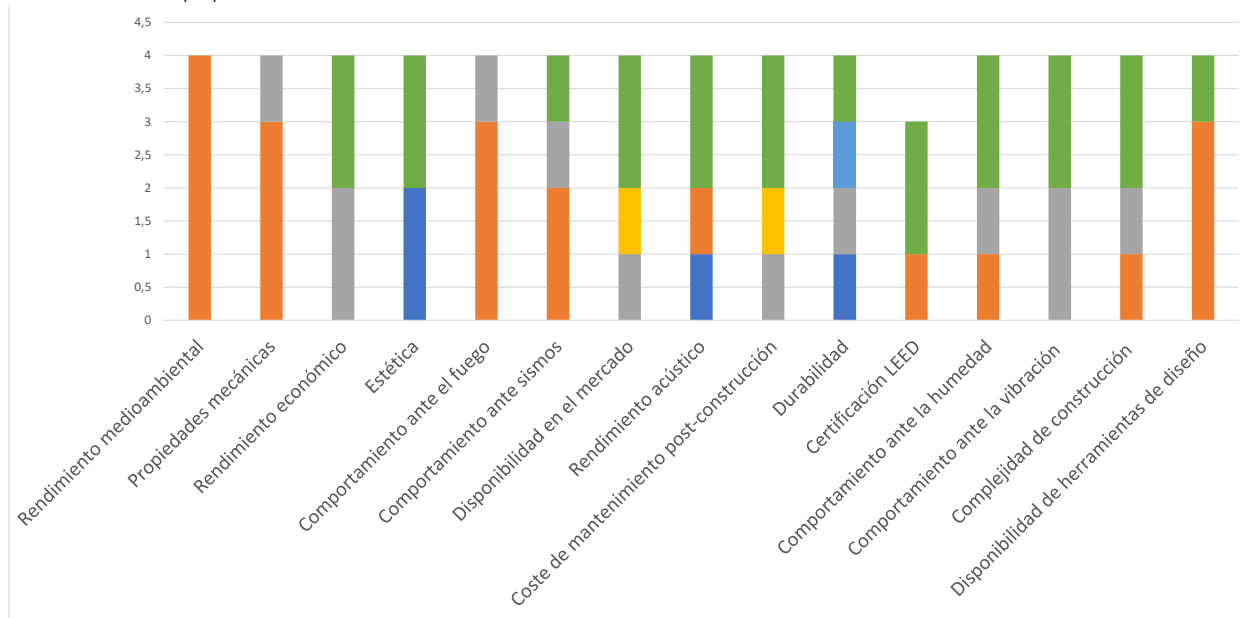


Fig 28. Resultados de encuesta a empresa (Cualidades de la madera laminada)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Encuesta a empresas (Tipos de edificios con los que trabaja su empresa)

Opción de respuesta	Madera laminada	Hormigón fabricado in situ	Acero estructural	Bloque de hormigón	Madera laminada + hormigón	Madera laminada + acero	Hormigón + acero
Vivienda Unifamiliar				1			2
Vivienda Multifamiliar			1	1			1
Comercio				1			1
Educación		1					2
Transporte		1					1
Gubernamental		1					1
Recreacional		1					1
Culto				1			1
Industrial			1				1
Otra			1				1

Fuente: Elaboración propia

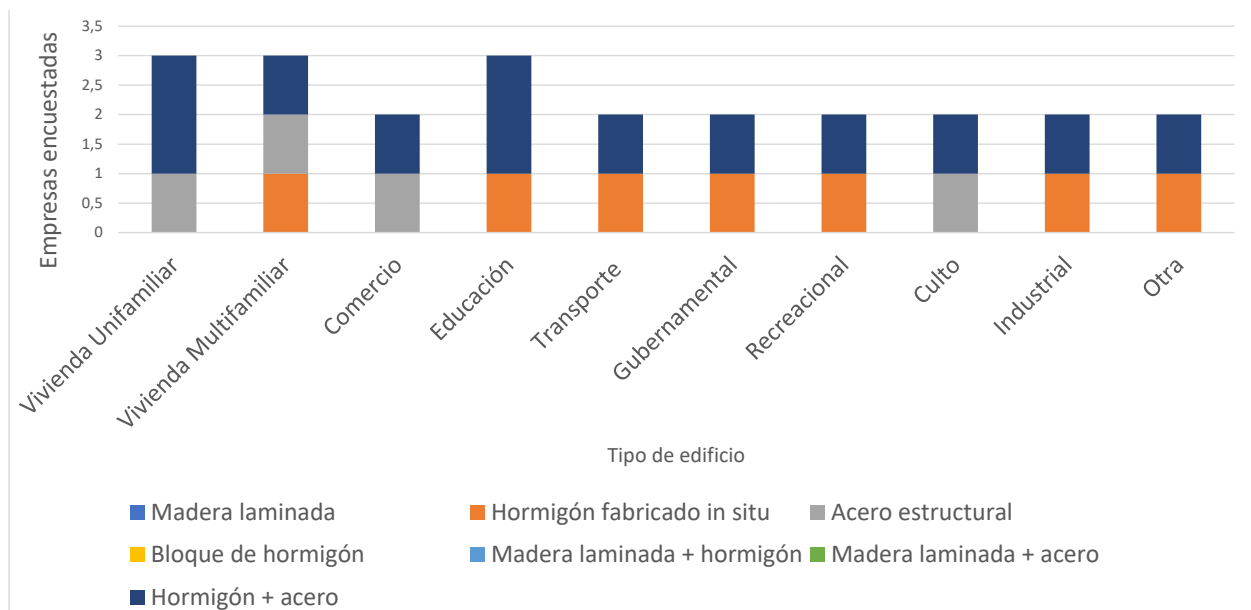


Fig 29. Resultados de encuesta a empresa (Tipos de edificios con los que trabaja su empresa)

Fuente: Elaboración propia

3.5 Resultados Variable Costos

Tabla 20. Resultados de la variable Costo - Prototipo acero IPN 300

FECHA: 29-01-2023				
ÁREA DE CONSTRUCCIÓN M2 : 36				
ESTUDIANTE: JUAN MANUEL ACOSTA BELTRÁN				
IT	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (INCLUIDO IVA)	VOLUMEN DE OBRA	COSTO TOTAL
1. PRELIMINARES				
1.1 LIMPIEZA MANUAL DEL TERRENO	m2	\$6,46	36,00	\$232,56
1.2 REPLANTEO Y NIVELACIÓN CON EQUIPO TOPOGRÁFICO	m2	\$10,75	36,00	\$387,00
2. CIMENTACIÓN				
2.1 EXCAVACIÓN DE PLINTOS	m3	\$54,79	0,20	\$10,96
3. ZAPATAS				
3.1 HORMIGÓN PREMEZCLADO ZAPATA CORRIDA (0.35X0.35X0.45 m) F'C=240 KG/CM2. INC. ACERO DE REFUERZO	m3	\$143,86	0,20	\$28,77
4. ARMAZÓN ESTRUCTURAL				
4.1 VIGA IPN 300 (0,30X12,5cmX6 m) e = 10,8 MM	kg	\$396,76	0,21	\$83,32
4.2 VIGA IPN 300 (0,30X12,5cmX6 m) e = 10,8 MM	kg	\$396,76	0,21	\$83,32
4.3 VIGA IPN 300 (0,30X12,5cmX6 m) e = 10,8 MM	kg	\$396,76	0,21	\$83,32
4.4 VIGA IPN 300 (0,30X12,5cmX6 m) e = 10,8 MM	kg	\$396,76	0,21	\$83,32
4.5 COLUMNA IPN 300 (0,30X12,5cmX2,75 m) e = 10,8 MM	kg	\$194,55	0,096	\$18,68
4.6 COLUMNA IPN 300 (0,30X12,5cmX2,75 m) e = 10,8 MM	kg	\$194,55	0,096	\$18,68
4.7 COLUMNA IPN 300 (0,30X12,5cmX2,55 m) e = 10,8 MM	kg	\$182,19	0,089	\$16,21
4.8 COLUMNA IPN 300 (0,30X12,5cmX2,55 m) e = 10,8 MM	kg	\$182,19	0,089	\$16,21
TOTAL DE PRECIOS UNITARIOS		\$2.340,52		
TOTAL DE VOLUMEN DE OBRA			1,210	
COSTO TOTAL				\$1.062,35
COSTO POR M2 DE CONSTRUCCIÓN				\$29,51 el m2

Fuente: Elaboración propia, basado en (Kevin Israel Bejarano, 2023).

Tabla 21. Resultados de la variable Costo - Prototipo madera laminada encolada

FECHA: 29-01-2023				
ÁREA DE CONSTRUCCIÓN M2 :				
36				
ESTUDIANTE: JUAN MANUEL ACOSTA BELTRÁN				
IT	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (INCLUIDO IVA)	VOLUMEN DE OBRA	COSTO TOTAL
1. PRELIMINARES				
1.1 LIMPIEZA MANUAL DEL TERRENO	m2	\$6,46	36,00	\$232,56
1.2 REPLANTEO Y NIVELACIÓN CON EQUIPO TOPOGRÁFICO	m2	\$10,75	36,00	\$387,00
2. CIMENTACIÓN				
2.1 EXCAVACIÓN DE PLINTOS	m3	\$54,79	0,20	\$10,96
3. ZAPATAS				
3.1 HORMIGÓN PREMEZCLADO ZAPATA CORRIDA (0.35X0.35X0.45 m) F'C=240 KG/CM2. INC. ACERO DE REFUERZO	m3	\$143,86	0,20	\$28,77
4. ARMAZÓN ESTRUCTURAL				
4.1 VIGA GLULAM - PINO DEL SUR (0.35X0.10X6 m)	m	\$260,03	0,21	\$54,61
4.2 VIGA GLULAM - PINO DEL SUR (0.35X0.10X6 m)	m	\$260,03	0,21	\$54,61
4.3 VIGA GLULAM - PINO DEL SUR (0.35X0.10X6 m)	m	\$260,03	0,21	\$54,61
4.4 VIGA GLULAM - PINO DEL SUR (0.35X0.10X6 m)	m	\$260,03	0,21	\$54,61
4.5 COLUMNA GLULAM - PINO DEL SUR (0.35X0.10X2.75 m)	m	\$131,88	0,096	\$12,66
4.6 COLUMNA GLULAM - PINO DEL SUR (0.35X0.10X2.75 m)	m	\$131,88	0,096	\$12,66
4.7 COLUMNA GLULAM - PINO DEL SUR (0.35X0.10X2.55 m)	m	\$124,08	0,089	\$11,04
4.8 COLUMNA GLULAM - PINO DEL SUR (0.35X0.10X2.55 m)	m	\$124,08	0,089	\$11,04
TOTAL DE VOLUMEN DE OBRA			73,610	
COSTO TOTAL				\$925,12
COSTO POR M2 DE CONSTRUCCIÓN				\$25,70 el m2

Fuente: Elaboración propia, basado en (Kevin Israel Bejarano, 2023).



3.6 Reflexiones Finales

El prototipo de acero estructural con perfil IPN 300, es el prototipo que incorpora una mayor huella de carbono.

Se concluye que la madera laminada encolada no deja huella de carbono en lo absoluto.

El sistema estructural del prototipo de madera laminada es mucho más liviano que el prototipo de acero. Esta flexibilidad, ayuda a la logística de una obra, ya que una viga de 6 metros de madera laminada, la puede cargar dos personas.

Los resultados concluyen que el armazón estructural del prototipo de madera laminada encolada, es ligeramente más económico que el prototipo de acero IPN 300.

En cuanto a la aceptación social de la madera laminada, las encuestas concluyen que el material que más se utiliza en el medio de la construcción, es el hormigón y el acero. En cuanto al consumidor, se concluye que se necesita de más promoción o divulgación del material de la madera laminada, sin embargo, aspectos como la salud, el confort y cuestiones ambientales, hacen que el consumidor se deje convencer por la madera laminada.

Tras realizar todas las comparaciones de las variables establecidas, se determina que el material de la madera laminada deja una menor huella en torno al medio ambiente, considerando también su bajo costo, su poca aceptación social y su ventaja con respecto al peso en cuanto a la eficiencia estructural.



3.7 Recomendaciones

La madera laminada, permite a los arquitectos y constructores, generar un menor impacto ambiental.

Por otro lado, vemos que la madera laminada aporta significativamente al medio ambiente, por su bajo consumo hídrico. Es así que la madera laminada aporta significativamente a la eficiencia estructural por su liviano peso. En cuanto a costos, la madera laminada gana en esta variable.

En relación a los cambios climáticos que actualmente está pasando en nuestro planeta y a medida que el sector de la construcción se desarrolla, el diseñador tendrá que aportar de manera significativa. Es así que, se debe impulsar la utilización de la madera laminada en Quito, ya que aporta positivamente, generando en los usuarios confianza, menor impacto ambiental y seguridad. Debido a esto, se realiza este análisis comparativo, logrando como resultado que la madera laminada no llega a ser impacto ambiental, su reconocimiento en cuanto a beneficios estructurales, el costo del material y su aceptación social a través de encuestas a consumidores y empresas de la construcción, por lo que también se recomienda la utilización del material de la madera laminada encolada en estructuras de edificios de baja altura.



Bibliografía

- (UN-Habitat), U. N. (2022). World Cities Report. Nairobi, Kenya.
- Abed, J., Rayburg, S., Rodwell, J., & Neave, M. (5 de Mayo de 2022). A Review of the Performance and Benefits of Mass Timber as an Alternative to Concrete and Steel for Improving the Sustainability of Structures. MDPI, 1.
- Ahmed, S., & Arocho, I. (2020). Evaluating the Feasibility of Mass Timber as a Mainstream Building Material: Industry Perception, Cost Competitiveness, and Environmental Performance. Oregon, Estados Unidos: ResearchGate.
- AISC. (2014). Especificaciones para edificios de acero estructural. Chicago.
- Altos Hornos de México. (2013). Manual de Diseño para la construcción en Acero México . México DF: AHMSA.
- American Institute of Steel construction. (2016). Specification for Structural Steel Buildings. Illinois, Chicago: AISC.
- Amor, risas, sushi: el derecho a la vivienda y el cambio climático (2011). [Película]. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=emdSuaY9npE&t=322s>
- Andersen, J. H., Rasmussen, N. L., & Ryberg, M. W. (2021). Comparative Life Cycle Assessment of Cross Laminated Timber Building and Concrete Building with Special Focus on Biogenic Carbon. ELSEVIER, 2. Obtenido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0378778821008884?token=62B082D4BE996DBCFB8645B14D014A26A8E994FDAB4DDE57765CC9A02A0217BAAAF3ED8665852AEF8CE67A29B5E83AFC&origin-Region=us-east-1&originCreation=20221023060526>
- Arauz, M. M. (2021). SISTEMAS DE ENTRAMADO DE MADERA: CONSTRUCCIÓN CON CLT. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Arriaga, F. (2021). Eficacia estructural y energética de la madera como material de construcción. UPM.
- Banco de Desarrollo de América Latina. (2016). Evaluación de la Huella de Carbono y Huella Hídrica, Municipalidad de Santiago de Cali. Cali, Colombia: Huella de Ciudades.
- Cai, H., Wang, X., Kelly, J., & Wang, M. (2021). Building Life-Cycle Analysis with the GREET Building Module: Methodology, Data, and Case Studies. Argonne, Francia: U.S. Department of Energy.
- Calero, R. (2015). COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS A.P.U. Y COSTEO ABC PARA EL ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS EN LA CONSTRUCCIÓN. Quito: PUCE.
- Chen, S. Y. (2022). A Comparative Framework for Building Life Cycle Embodied Carbon Emissions Databases and Its Application for Public Databases. Harvard, Estados Unidos : Harvard Graduate School of Design.
- Corporación de Fomento de la Producción. (1992). Manual de Madera Laminada (2 ed.). Santiago, Chile: INFOR.
- Crawley, N. (2021). MADERA LAMINA CRUZADA. Londres: RIBA.
- Dalla Mora, T., Peron, F., & Erika, B. (PLEA 2018 HONG

- KONG Integration of LCA tools in BIM toward a regenerative design). Integratio. ResearchGate (pág. 7). Venice: University luav of Venice.
- De Wolf, C. (2017). Low Carbon Pathways for Structural Design: Low Carbon Pathways for Structural Design:. Massachusetts, Estados Unidos : Massachusetts Institute of Technology.
- Dolan, D., Wilson, A., Brandt , K., Bender, D., & Wolcott, M. (2019). Estructural Design Process for Estimating Cross-Laminated Timber Use Factors for Buildings. Washington, Estados Unidos: BioResources.
- Echeverría, I. A. (18 de Mayo de 2021). Cuando la cultura regenerativa se aplica a la arquitectua.
- EGOIN. (2019). Prontuario Técnico para la Construcción con Paneles de Madera Contralaminados EGO CLT.
- Eusko Jaurlaritza, Gobierno Vasco. (2009). Guía para la Edificación Sostenible Para la Vivienda. Vitoria-Gasteiz: Departamento de Vivienda y Obras Públicas del Gobierno Vasco.
- Fouad Fanous, Jeremy May, Terry Wipf, Michael Ritter. (2010). DISTRIBUCIÓN DE CARGA VIVA EN PUENTES DE MADERA LAMINADA. Iowa, Estados Unidos: Universidad del Estado de Iowa.
- Fundación de la Universidad de Madrid. (2019). Estimación de la Huella Hídrica para una promoción Residencial. Madrid: Observatorio UAM-Vía Célere.
- Gold, S., & Rubik , F. (2008). Consumer attitudes towards timber as a construction material and towards timber frame houses. Witzenhausen, Alemania: ELSEVIER.
- Green, M. (2018). THE CASE FOR TALL WOOD BUILDINGS. Blurb.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). Quinto Informe de síntesis sobre el Cambio Climático . Suiza: IPCC.
- Hasik, V., Escott , E., Bates, R., Carlisle, S., Faircloth, B., & M. Bileca, M. (2019). Comparative whole building lyfe cycle assessment and nex construction. Philadelphia : ELSEVIER.
- Hegeir, O. A., Kvande, T., Stamatopoulos, H., & Bohne, R. A. (2022). Comparative Life Cycle Analysis of Timber, Steel and Reinforced. MDPI, 1.
- Hoekstra, A. (2008). Business Water. Enschede, Netherland: University of Twente.
- Hosny, S., Mohammed Ali, A. A., & Eldin Ibrahim, M. G. (2016). Steel as a sustainable choice towards the green building concept. 210, págs. 4-5. Assiut: WIT Transactions on Ecology and The Environment. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/312514573>
- INEC. (2010). Informe del Censo Nacional Económico. Ecuador.
- Institute for Building Environment and Energy Conservation. (2007). Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency. Tokio: CASBEE.
- Koolhaas, R. (Abril de 2006). Dated Talks. (I. Niermann, Entrevistador)
- Laguarda Mallo, M. F., & Espinoza, O. (2018). Awareness, Perceptions and Willingness to Adopt CLT by U.S. Engineering Firms. Minnesota: BioProducts Business.
- Lee, D., Jung, D., & Kim, S. (2021). Toward Sustainable Engineering Structures for Better Safety in. MDPI, 1.

Leiva, M. J., & Barrero, N. (2021). Análisis Comparativo del Impacto de la Huella de Carbono de Concretos Marca CEMEX. Bogotá: Universidad de la Salle.

Li, H., Deng, Q., Zhang, J., Xia, B., & Skitmore, M. (2019). Assessing the life cycle CO2 emissions of reinforced concrete structures: Four cases from China. *Journal of Cleaner Production*, 1496-1506. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618335066>

Liu, Y., Sun, C., Haibo, G., & Chang, W.-S. (2016). Assessing Cross Laminated Timber (CLT) as an Alternative Material for Mid-Rise Residential Buildings in Cold Regions in China—A Life-Cycle Assessment Approach. *ResearchGate*, 6. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/309113824_Assessing_Cross_Laminated_Timber_CLT_as_an_Alternative_Material_for_Mid-Rise_Residential_Buildings_in_Cold_Regions_in_China-A-Life-Cycle_Assessment_Approach

Long, K. A. (28 de Agosto de 2020). A novel building material gets a big Washington state test run. *The Seattle Times*. Obtenido de <https://www.seattletimes.com/business/real-estate/a-novel-building-material-gets-a-big-washington-state-test-run/>

Madedú. (2020). madebu. Obtenido de <https://madebu.ec/maderalaminada/>

María Belén Correa, Luis Alejandro Machado. (2012). Análisis Comparativo Económico Estructural Entre Sistemas Constructivos Tradicionales y un Sistema Constructivo Alternativo Liviano. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

MIDUVI. (2014). NEC SE - VIVIENDA. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.

Miguel Rojas, Jhon Arenas. (2007). COMPARACIÓN TÉCNICO-FINANCIERA DEL ACERO ESTRUCTURAL Y EL HORMIGÓN ARMADO. Medellín: Dyna.

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2020). Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el sector de la Edificación en España. Obtenido de https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/paginabasica/recursos/es_ltrs_2020.pdf

Østnor, T., Faanes, S., & Lædre, O. (2018). Laminated Timber Versus on-Site Cast Concrete: A Comparative Study. 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, (pág. 2). *ResearchGate*.

Parlamento Europeo y El Consejo De La Unión Europea. (19 de Mayo de 2010). Relativa a la eficiencia energética de los edificios.

Pérez Fuentes, D. C. (2019). ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LA ESTACIÓN DE SERVICIOS COTRANSGANADERA UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE HUILA MUNICIPIO PALERMO CENTRO POBLADO DE AMBORCO. Bogotá: Universidad Distrital Francisco Jose De Caldas.

Phillips, J. (2021). Structural System Selection for a Building Design based on Energy Impact. Oklahoma, Estados Unidos: Shareok.org. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11244/335255>

Quito Cómo Vamos. (2020). Informe de Calidad de Vida 2020. Quito: Desireé Yépez.

Rayburn, L. (1988). Contabilidad de Costos I. España: Ediciones Centrum Técnicas.

Reyes, J. C. (02 de Diciembre de 2009). La Ciudad Comprometida. Termas de Vals. Obtenido de <https://grana>

dablogs.com/gr-arquitectos/tag/peter-zumthor/

Rivas Tovas, L. (2017). Elaboración de Tesis Estructura y Metodología. México DF: Trillas.

Robles Villegas, F., & Echenique Manrique, R. (1983). Estructuras de madera. México: Limusa. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/467/46760104.pdf>

Rodriguez, J., Gracia, J., & Moreno, J. (2020). Análisis de la huella de carbono en la construcción y su impacto sobre el ambiente. Universidad Cooperativa de Colombia, 1. Obtenido de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/16031/2/2020_Analisis_huella_carbono.pdf

Rúa, M. (s.f.). Arquitectura autosuficiente. Obtenido de <https://elibro.net/es/lc/utiec/titulos/59730>

Sandoli, A., D'Ambra, C., Ceraldi, C., Calderoni, B., & Prota, A. (2021). Sustainable Cross-Laminated Timber Structures in a Seismic Area: Overview and Future Trends. MDPI, 1.

Secretaría de Estado Para la Agenda 2030. (2021). Informe de Progreso 2021 y estrategias de Desarrollo Sostenible. Obtenido de [sustainabledevelopment: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/279422021_VNR_Report_Spain.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/279422021_VNR_Report_Spain.pdf)

Secretaría de Territorio, H. y. (2016). Resolución No. 13. Quito: STHV. Obtenido de https://www.entedesign.com/blog/matriz_ecoeficiencia/

Sirkka, A., & Pirttinen, V. (2017). CLT - versatile, fast and ecological construction material. rovaniemi: Lapland University of Applied Sciences Publications.

Skidmore, Owings, & Merrill. (2013). Proyecto-Torres de madera.

Swedish Forest Industries Federation. (2016). Design of Timber Structures (2 ed.). (E. Borgström, Ed.) Stockholm.

Thigpen, A., & Masselink, B. (2020). Sustainable Value Creation Through Mass Timber Development in North America. Massachusetts, Estados Unidos : MIT.

Transparency, B. (2021). Manual EC3 para profesionales de la construcción.

Wallace, S. (2022). Integrated Environmental Solution. Obtenido de <https://www.iesve.com/discoveries/cases-tudy/28659/aei-timberlands-center>
worldsteel ASSOCIATION. (1 de Mayo de 2021). worldsteel.org. Recuperado el 2022, de <https://worldsteel.org/steel-topics/life-cycle-thinking/>

WWF-UK. (2020). Carbon Footprint Exploring The Uk's Contribution to Climate Change. UK: Jo Curnow.



Quito, 2023