

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA MADERA LAMINADA
Y EL HORMIGÓN ARMADO EN TORNO AL IMPACTO
MEDIO AMBIENTAL DE LA CONSTRUCCIÓN. QUITO,
2022.**

José Enrique Gutiérrez



Universidad
Indoamérica

Gutiérrez, E. José, E. (2023). Análisis comparativo de la madera laminada y el hormigón armado 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 DE LA MADERA LAMINADA Y EL HOR-
MIGÓN ARMADO EN TORNO AL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL
DE LA CONSTRUCCIÓN. QUITO, 2022.**

Trabajo de investigación previo a la obtención del título de
Arquitecto

Autor(a)

José Enrique Gutiérrez Espinel

Tutor(a)

Arq. Raúl Marcelo Villacís Ormaza M. Arch.

QUITO - ECUADOR
2023

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

Yo, GUTIÉRREZ ESPINEL JOSE ENRIQUE declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA MADERA LAMINADA Y EL HORMIGÓN ARMADO EN TORNO AL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA CONSTRUCCIÓN. QUITO, 2022". como requisito para optar al grado de Arquitecto y autorizo 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 Tecnológica 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 6 días del mes de Marzo de 2023, firmo conforme:



.....
GUTIÉRREZ ESPINEL JOSÉ ENRIQUE
C.I. 1719516765
Dirección: Av. Zaparos y Homero Salas
Correo: jose1enrique@hotmail.com

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



.....
GUTIERREZ ESPINEL JOSE ENRIQUE
C.I. 1719516765

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Integración Curricular “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA MADERA LAMINADA Y EL HORMIGÓN ARMADO EN TORNO AL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA CONSTRUCCIÓN. QUITO, 2022” presentado por GUTIÉRREZ ESPINEL JOSÉ ENRIQUE 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

.....
RAÚL MARCELO VILLACÍS 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 DE LA MADERA LAMINADA Y EL HORMIGÓN ARMADO 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

.....
ARQ. JOSÉ RAMÓN LEYVA GUZMÁN
C.I. 1756756902

.....
ING. JORGE PONCE TAMAYO
C.I. 1757008436

DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación le dedico a Dios por permitirme llevar a cabo cada objetivo sin ningún imposible, por no sentir su desamparo en cada etapa, sin importar la dificultad presentada y por permitirme seguir cumpliendo las metas que me propuse.

A mis padres que nunca dejaron de creer en mí, y por ser ese soporte vital que en varios de los días se sintió como un impulso a no rendirme sin importar la circunstancia presentada, por el apoyo brindado durante todo este trayecto académico y por la motivación hacia un mejor porvenir en mi presente y futuro.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Creador por brindarme la oportunidad de lograr otro objetivo en mi vida, por el entendimiento que me permitió culminar con este proyecto, por sobre todas las cosas agradezco el poder compartir el fin de esta etapa junto a mis padres.

A mis padres por la dedicación y esfuerzo que pusieron en mi formación, por el cariño brindado durante todo el tiempo y por la confianza puesta en mí, en general a todos mis familiares que manifestaron su apoyo durante todo el recorrido de formación académica.

A la Universidad y a la facultad por admitirme y permitirme concluir mi formación académica, en especial al tutor por su paciencia y perseverancia para sacar adelante este proyecto.

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto de investigación tiene como objetivo brindar información sobre la madera laminada como alternativa de sistema constructivo, el cual se determinará si su implementación en la construcción representa un ahorro energético, económico e hídrico sin perder la eficiencia y estabilidad que caracteriza a una estructura. Para evaluar el desempeño entre los dos sistemas constructivos se puntualizó 5 aspectos a comparar: la huella ambiental, la huella hídrica, costos en la construcción, confort en espacios arquitectónicos y eficiencia estructural.

La metodología de estudio aplicada al proyecto se clasificó en 3 fases: La primera la investigación básica documental en la que mediante la revisión de artículos científicos y búsqueda bibliográfica se obtuvieron indicadores, parámetros, guías y antecedentes investigativos que permitieron viabilizar el proyecto; En la segunda fase de la investigación aplicada en cada variable se aplicó la metodología cuantitativa en el caso de la huella ambiental se simuló con la calculadora de carbono incorporado EC3, en el caso de la huella hídrica se estimó el agua consumida en procesos de construcción en base al informe de la UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID, en el aspecto de costos se utilizó el Análisis de Precios Unitarios basado en estimaciones de publicaciones regionales, para determinar el confort en espacios se seleccionó una muestra para realizar encuestas sobre la materialidad y para la eficiencia estructural se concluyó en visitas de campo que el sistema más eficiente se lo determinaría como el más ligero.

Para concluir con la investigación se tabularon los resultados en representaciones figuras y tablas para mejor entendimiento del lector a esta fase se la denomina Tabulación y representación de resultados, el primer gráfico presenta la comparación entre los dos sistemas constructivos, el segundo y tercero gráfico representa la comparación de huellas, tendencias de materialidad y costos durante el proceso constructivo.

El prototipo de los dos sistemas constructivos para el análisis comparativo se estableció de 6m de largo por 6m de ancho y solo de una planta, al ser un módulo de vivienda común en la zona de estudio, en los dos sistemas se clasificó por materialidad utilizada en estructura.

DESCRIPTORES: Confort, Eficiencia Estructural, Huella Ambiental y Madera Laminada.

ABSTRACT

The research project aims to provide information on laminated wood as an alternative construction system, which will determine whether its implementation in construction represents energy, economic and water savings without losing the efficiency and stability that characterizes a structure. To evaluate the performance between the two construction systems, five aspects pointed out to compared: environmental footprint, water footprint, construction costs, comfort in architectural spaces, and structural efficiency.

The study methodology applied to the project was classified into 3 phases: The first one the basic documentary research in which through the review of scientific articles and bibliographic search parameters, guides and research background were obtained that allowed making the project feasible; In the second phase, the applied research in each variable, the quantitative methodology was applied in the case of the environmental footprint, it was simulated with the EC3 incorporated carbon calculator, in the case of the water footprint, the water consumed in construction processes was estimated based on the UAM report, in the cost aspect, the Unit Price Analysis technique was used based on government estimates, to determine the comfort in spaces, a sample was selected to carry out surveys on materiality and for structural efficiency it was concluded in visits of field that the most efficient system would be determined to be the lightest.

To conclude the research, the results were tabulated in graphical representations for better understanding of the reader, this phase is called Tabulation and representation of results, the first graph presents the comparison between the two construction systems, the second and third graph represents the comparison of footprints, materiality trends and costs during the construction process.

The prototype of the two construction systems for the comparative analysis was established 6m long by 6m wide and only one story, being a common housing module in the study area, in the two systems it was classified by materiality used in the structure.

KEYWORDS: Comfort, Structural Efficiency, Environmental Footprint and Laminated Wood.

ÍNDICE CONTENIDOS

1. ETAPA 1 • CONOCIMIENTO PREVIO

1.1. INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA DE ESTUDIO.....	24
1.2. JUSTIFICACIÓN	28
1.3. OBJETIVOS.....	29
Objetivo general.....	29
Objetivos específicos.....	29

2. ETAPA 2 • APLICACIÓN METODOLÓGICA

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	32
2.1.1. MARCO CONCEPTUAL.....	34
2.1.1.1. Huella Ambiental en la construcción.....	34
2.1.1.2. Huella Hídrica en la construcción.....	35
2.1.1.3. Costos en la construcción.....	36
2.1.1.4. Eficiencia estructural.....	36
2.1.1.5. Confort en espacios arquitectónicos.....	37

2.1.2 ESTADO DEL ARTE.....	37
2.1.2.1. Caso de estudio 1.....	38
2.1.2.2. Caso de estudio 2	39
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
2.2.1. HUELLA AMBIENTAL EN LA CONSTRUCCIÓN.....	41
2.2.1.1. Análisis Madera Laminada.....	43
2.2.1.2. Análisis Hormigón Armado.....	44
2.2.2. HUELLA HÍDRICA EN LA CONSTRUCCIÓN.....	45
2.2.2.1. Análisis Madera Laminada.....	46
2.2.2.2. Análisis Hormigón Armado.....	47
2.2.3. COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN.....	48
2.2.1.1. Análisis Madera Laminada.....	48
2.2.1.2. Análisis Hormigón Armado.....	50
2.2.4. EFICIENCIA ESTRUCTURAL.....	52
2.2.5. CONFORT EN ESPACIOS ARQUITECTÓNICOS.....	53
2.2.2.1. Encuestas al Consumidor.....	53
2.2.2.2. Encuestas al sector Constructor.....	55

3. ETAPA 3 • DIFUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. RESULTADOS.....	60
3.1.1. HUELLA DE CARBONO Y HUELLA HÍDRICA.....	60
3.1.2. HUELLA DE CARBONO Y HUELLA HÍDRICA.....	61
3.1.3. CONFORT Y COSTOS.....	63
3.1.4 . TENDENCIAS CONFORT.....	64
3.2. REFLEXIONES FINALES.....	65
3.1. RECOMENDACIONES.....	66

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
5. ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción de residuos no peligrosos, Ecuador.....	25
Tabla 2. Emisiones indirectas de CO2.....	38
Tabla 3. Cálculo de volumen y peso de estructura de madera laminada.....	42
Tabla 4. Cálculo de huella de carbono de estructura de madera laminada.....	43
Tabla 5. Cálculo de huella de carbono de estructura de madera laminada.....	43
Tabla 6. Cálculo de volumen y peso de estructura de hormigón armado.....	44
Tabla 7. Cálculo de huella de carbono de estructura de hormigón armado.....	45
Tabla 8. Cálculo de huella de carbono de estructura de hormigón armado.....	45
Tabla 9. Cálculo de huella de carbono por sistema constructivo.....	45
Tabla 10. Factores de consumo de agua por cada material.....	46
Tabla 11. Cálculo de huella hídrica de estructura de madera laminada.....	47
Tabla 12. Cálculo de huella hídrica de estructura de hormigón armado.....	47
Tabla 13. Lista de rubros de estructura de madera laminada.....	48
Tabla 14. APU Limpieza-Excavaciones-Relleno de madera laminada.....	48
Tabla 15. Cálculo de costos de sistema estructural madera laminada.....	49
Tabla 16. Lista de rubros de estructura de hormigón armado.....	50
Tabla 17. APU de estructura de hormigón armadura.....	50
Tabla 18. Cálculo de costos de sistema estructural hormigón armadura.....	51
Tabla 19. Resultados Rigidez al desplazamiento lateral en columnas.....	52

Tabla 20. Encuesta de cualidades según la importancia de la madera.....	54
Tabla 21. Encuesta aceptación de madera como material constructivo.....	54
Tabla 22. Encuesta de postura de la empresa acerca los nuevos materiales constructivos.....	55
Tabla 23. Encuesta de barreras para la adopción de madera laminada.....	56
Tabla 24. Encuesta de valoración de materiales constructivos.....	56
Tabla 25. Resultados comparativos de huella ambiental y huella hídrica.....	60
Tabla 26. Resultados comparativos de huella ambiental y huella hídrica.....	61
Tabla 27. Resultados análisis de precios unitarios y confort.....	63
Tabla 27. Resultados encuestas aceptación consumidor.....	65
Tabla 27. Resultados encuestas aceptación constructor.....	65

ÍNDICE FIGURAS

Fig. 1. Relación Producción de cemento/ emisiones de CO2 por país.....	24
Fig. 2. Kilotones de CO2 emitidos por país.....	25
Fig. 3. Análisis sectorial, industria de la construcción.....	25
Fig. 4. Ubicación de RNR Y RNNR en Calderón.....	26
Fig. 5 . Pilas de troncos de pino, bosque de coníferas.....	27
Fig. 6. Casa en Nayon.....	27
Fig. 7 . Proceso de fabricación del cemento.....	32
Fig. 8 . Proceso de fabricación de la madera laminada.....	33
Fig. 9 .Análisis de ciclo de vida.....	34
Fig. 10. Porcentaje de huella de carbono por constructores.....	34
Fig. 11 . Huella Hídrica.....	35
Fig. 12 . Ejemplo de Análisis de Precios Unitarios.....	36
Fig. 13 . Tipos de esfuerzos.....	37
Fig. 14 . Madera laminada.....	37
Fig. 15 . Diagrama de proceso de fabricación del hormigón, Planta de Cuenca.....	39

Fig. 16 . Metodología de estudio.....	40
Fig. 17 . Factor de emisión del sistema constructivo madera laminada.....	41
Fig. 18 . Ecuación emisiones de CO2 por materialidad y densidad.....	42
Fig. 19 . Factor de emisión de hormigón armado.....	43
Fig. 20 . Metodología calculo huella hídrica.....	46
Fig. 21 . Resistencia a la rigidez axial de materiales estructurales.....	52
Fig. 22 . Cuestionario editado en Google Docs.....	53

ETAPA 1
CONOCIMIENTO PREVIO



1.1. Introducción al problema de estudio

El efecto ambiental entre los sistemas de madera y de hormigón armado tiene una brecha significativa puesto que cada uno utiliza diferente cantidad de energía tanto como para su elaboración como para su puesta en obra además de otros aspectos como la destrucción de hábitats naturales y la utilización significativa de agua.

Las emisiones de CO₂ y la Huella hídrica dejado en el planeta por los materiales de construcción representa gran parte del problema para el medio ambiente, estos son producidos en su mayoría por medio de la productividad en la construcción.

El hormigón es el primer material de construcción más utilizado en el mundo y el segundo material más utilizado después del agua, su composición necesita de 28% de agua y de otros materiales rocosos naturales, por lo cual representa un desperdicio y efecto de huella hídrica importante al planeta (Vázquez, 2016).

El hormigón no es un material renovable y según los porcentajes de agua que demanda en la construcción se puede afirmar que utiliza una cantidad significativa que por el contrario de la de la madera es un recurso renovable que no requiere cantidades significativas de agua (Vázquez, 2016).

La industria del hormigón utiliza en su gran mayoría cemento, el cual es responsable del 6-8% de las emisiones totales de CO₂ a nivel mundial, (Waisfeld y Sferco, 2019).

Durante el proceso de la fabricación del cemento, se emite CO₂ debido a la calcinación del (CKD) polvo de horno de cemento, el CKD es un subproducto obtenido del horno. Gran parte del CKD se lo incorpora a la elaboración del cemento (Gibbs, 2001).

El CKD que no se utiliza en la industria del cemento, se lo coloca en vertederos o incluso es utilizado para otros fines, sin embargo, existe una porción de CKD perdido en el ambiente que representa emisiones de CO₂ adicionales que nos son tomados en cuenta al realizar las estimaciones de CO₂ a nivel mundial (Gibbs, 2001).

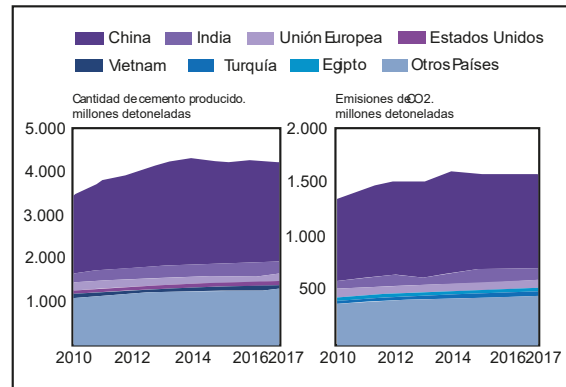


Fig. 1. Relación Producción de cemento/ emisiones de CO₂ por país. Autor: PBL Agencia de Evaluación de los Países Bajos, 2017

Existen 2 factores adicionales que son determinantes dentro del proceso de construcción que contribuyen a la emisión de CO₂ mediante la combustión de combustibles hacia la atmósfera: 1) El transporte de materia

prima: Para su funcionamiento utiliza la quema de combustible, el cual está representando un 34.2% de las emisiones totales de CO₂. 2) La Industria: Se utiliza la quema de combustible fósil el cual abarca la producción y materialización de ciertos minerales que son indispensables para la construcción en los sistemas de hormigón y acero (Vázquez, 2016).

En América del sur y Centroamérica hasta el 2015 las emisiones de CO₂ solo representaban el 10% de las emisiones totales a partir del año 2016 se evidencio un incremento significativo esto debido al aumento de la población y en consecuencia a la expansión de la industria y la necesidad de vivienda residencial y comercial. (CEPAL, 2021).

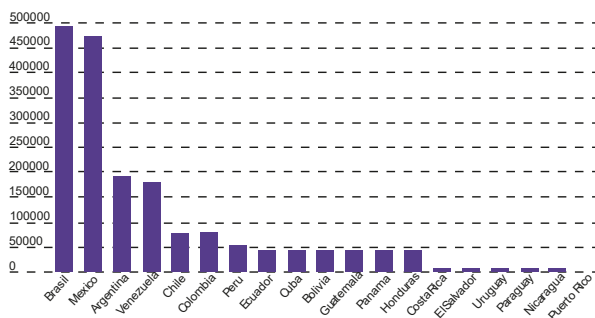


Fig. 2. Kilotones de CO₂ emitidos por país

Autor: PNUMA, 2015

El ganador del premio nobel de la paz Robert Dixon miembro de la IPC (Panel Intergubernamental sobre el cambio climático (2006) afirma: “En cuanto a emisiones por CO₂ la diferencia varía entre 30 y 130 KG/CO₂ por m² de superficie, a favor de los sistemas de construcción con madera. Por lo tanto, se puede obtener una reducción neta de las emisiones de CO₂ aumentando la proporción de materiales de construcción a base de madera, en relación con los sistemas constructivos que utilizan materiales de hormigón.” (Dixon, 2006).

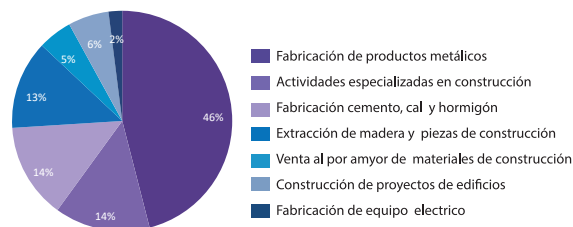


Fig. 3. Análisis sectorial, industria de la construcción

Autor: Dirección de Estadísticas Económicas, INEC, 2012

En el Ecuador existe una decantación por la elección de materiales como el hormigón y el acero, La provincia con mayores números de establecimientos dedicados a la construcción es la de Pichincha con un 27% de los 14.366 establecimientos dedicados a la construcción y de los cuales los sistemas de madera representan apenas

Sector Económico	Cantidad Recolectada (kg/año)
Industria Manufacturera	365.815.273
Construcción	81.558.247
Transporte	5.659.742
Explotación de Minas y Canteras	5.042.500
Actividades de alojamiento	2.141.554
Suministro de Electricidad	677.048
Información	533.495
Atención Salud Humana	431.278
Distribución de Agua	65.406

Tabla 1. Producción de residuos no peligrosos, Ecuador

Autor: Dirección de Estadísticas Económicas, INEC, 2013

el 13% (Censo Nacional Económico, 2010); lo que implica que existe un déficit por prácticas sostenibles en el país. (INEC, 2010).

En consecuencia, existe producción considerable de residuos de construcción y demolición por parte de sistemas con Hormigón en el Ecuador (INEC, 2013).

Es alarmante puesto que Ecuador ocupa el segundo lugar en la lista de producción de residuos no peligrosos con una cifra de 81.588.247 kg/año mientras que en países como Hungría, Grecia y Bulgaria generan un aproximado de 500 kg/año (Tertre y Burriel, 2015).

Esta cifra evidencia que en Ecuador no existen políticas institucionales a nivel nacional de gestión de residuos en la construcción.

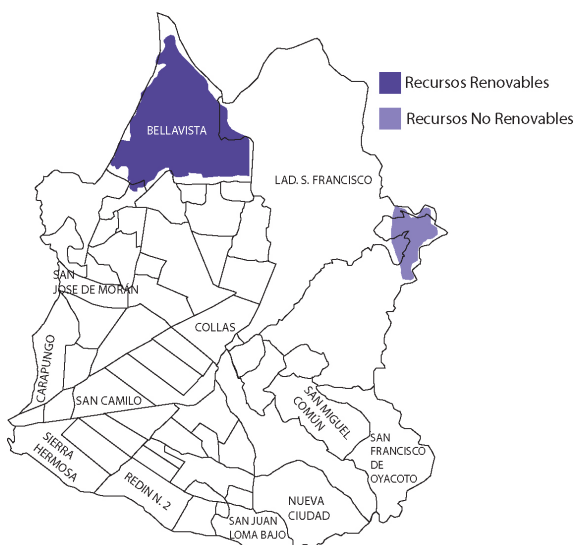


Fig. 4. Ubicación de RNR Y RNNR en Calderón

Autor: Personal de Administración Zonal de Calderón AZCA, 2012

La demanda de la construcción es proporcional al crecimiento urbano por lo que las ciudades que demandan más materiales de construcción son Quito y Guayaquil.

En Quito existe una expansión urbana acelerada por lo que existe una mayor canalización de materialidad orientada a la construcción en la ciudad.

Por consiguiente, la parroquia de Calderón ubicada al norte de la ciudad de Quito presenta 4 canteras ilegales y 1 legal, todas destinadas a la extracción de agregados finos y gruesos para la producción de hormigón premezclado (Reina, 2013).

Al norte de la parroquia de Calderón en el barrio Bellavista se concentran las canteras para la extracción de recursos no renovables el (RNNR), como arena, ripio y grava estos siendo los agregados extraídos más comunes entre las canteras de la zona (Reina, 2013).

A consecuencia de la presencia de las canteras ilegales se determinó que existen dos zonas no urbanizables en la parroquia esto debido a que canteras generan contaminación ambiental por el uso no controlado de explosivos, descuido ambiental al no desechar los residuos de forma responsable, la erosión que generan en el suelo y la contaminación auditiva presente en los barrios cercanos

En la ciudad de Quito, la calidad del aire, agua y suelo son factores que determinan la calidad medioambiental, se evidencia un mal manejo de escombros provenientes de construcción y en algunos casos residuos obtenidos de la demolición de edificaciones antiguas puesto que no arrojan los desechos en sitios destinados a los mismos, estas decisiones afectan la calidad del medio ambiente en la ciudad de Quito, en cambio la utilización de madera



Fig. 5 . Pilas de troncos de pino, bosque de coníferas

Autor: Sohlman Taina, 2019

no deja huella de carbono y se convierte en un material renovable y reciclable el cual genera menos desperdicios.

La elección de la madera en la construcción debe ser responsable, los responsables de la adquisición del material deben cerciorarse que la madera provenga de bosques certificados de lo contrario no estaríamos contribuyendo con el medioambiente y afectaríamos los hábitats naturales y facilitaríamos al cambio de uso de suelo en bosques primarios (Carrasco, 2017).

En nuestro contexto, cuando la madera es procedente sin permisos y certificaciones generalmente proviene de bosques ilegales, en el Ecuador existen certificaciones como FSC el cual regula los bosques ecuatorianos (Carrasco, 2017).

En ciudades del Ecuador se ha evidenciado construcciones de viviendas unifamiliares con sistemas de madera (laminada), mas no es común ver edificios de baja altura construidos con sistemas de madera ya sea por desconocimiento, precio o mantenimiento.

Una cultura y practica responsable ayudaría a disminuir el impacto medioambiental, el cual se lograría con un manejo forestal responsable, se reduciría la perdida de hábitats y se obtendría madera de manera responsable, Lo que garantizaría la permanencia de los bosques los cuales absorben y reducen el CO2.

El desafecto en el ámbito sostenible de la construcción genera una repercusión en el medioambiente en el Ecuador.



Fig. 6. Casa en Nayón

Autor: Lopez Lopez Arquitectos, 2013



Justificación

Los sistemas constructivos de madera laminada evidencian un bajo porcentaje en aspectos de efecto ambiental en comparación con los sistemas constructivos de hormigón armado en el contexto ecuatoriano. Dentro de la Normativa Ecuatoriana de Construcción (2014), menciona el Manual de Diseño para Maderas de Grupo Andino vigente el cual refleja técnicas de construcción con la madera de las regiones Andinas. Por lo que el sector constructivo ecuatoriano puede incorporar estas técnicas y este tipo de material.

La madera laminada es un material derivado de la madera de pino. En el país existen 2220 hectáreas de pino gracias a su rápido crecimiento y facilidad de propagación se encuentran en extensas áreas a lo largo del país de este material renovable, que contribuye al medioambiente (Forest Absorbing Carbon Dioxide Emission, 2014).

Últimamente la demanda por la madera laminada en el país se ha ido incrementando paulatinamente, que si bien no permite construcciones de grandes volúmenes este sistema alternativo brinda extensos beneficios como la baja relación resistencia peso, la obtención de grandes luces, no es un producto inflamable, su costo no sube a gran escala como los otros sistemas, genera retención de carbono, nulo consumo de agua y bajo consumo energético.

En los últimos años ha existido una necesidad de incorporar en la construcción sistemas que sean amigables con el medio ambiente. El interés ha ido en crecimiento

lento por varios motivos uno de ellos el desconocimiento de las propiedades y ventajas de la madera laminada como material de construcción.

La investigación busca aportar e incentivar la elección de la madera laminada en el ámbito de la construcción mediante resultados veraces que ayuden en la toma de decisiones tanto en la etapa de diseño como en la elección de la materialidad en un proyecto y así contribuir con una arquitectura sostenible, natural y respetuosa.



Objetivos

Objetivo general

Analizar el desempeño, rendimiento y eficiencia al comparar la madera laminada y el hormigón armado entorno al impacto medioambiental.

Objetivos específicos:

- Definir las variables que permitan realizar el análisis comparativo.
- Encontrar métodos cuantitativos sustentados que permitan la medición de las variables.
- Comparar e interpretar los resultados mediante tablas, gráficos, figuras e infografías.

ETAPA 2
APLICACIÓN METODOLÓGICA

2.1. Fundamentación Teórica

Hormigón armado como material de construcción.

El hormigón armado es una mezcla que gracias a su composición conserva las propiedades de sus elementos como la resistencia de compresión del hormigón simple y la resistencia a la tracción del acero estructural.

Gracias a sus propiedades de transmisión de fuerzas, garantiza alta resistencia a esfuerzos el cual lo convierte en elemento estructural ideal en las construcciones.

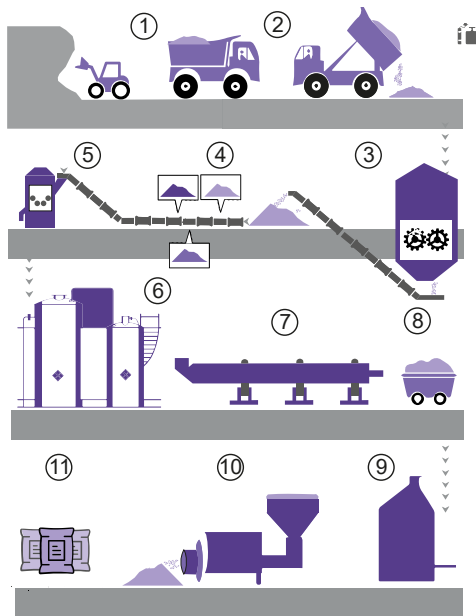


Fig. 7 . Proceso de fabricación del cemento

Autor: Elaboración propia, 2022

Su producción se inicia con la obtención de las materias primas, en este caso sería el trabajo en canteras que inicia con la detonación de dinamita para la obtención de calizas y pizarras, el material que se obtiene es triturado hasta la obtención de una granulometría determinada para posteriormente ser trasladado hasta un molino este último paso se lo realiza para la reducción de su tamaño.

Una vez realizado los procedimientos mencionados se procede a cocer en hornos que alcanzan temperaturas de hasta 1500 c° y el producto es la obtención del ma-

- ① Trabajo en canteras, detonación de dinamita controlada.
- ② Transporte del material extraído.
- ③ Trituración del material.
- ④ Prehomogenización del material.
- ⑤ Se reduce el tamaño mediante un molino.
- ⑥ La materia prima se almacena.
- ⑦ Se traslada al horno donde la temperatura empieza a 1000°C hasta los 1500°C.
- ⑧ El producto salido del horno se lo denomina Clinker.
- ⑨ En un enfriador reduciendo su temperatura a 100°C.
- ⑩ En un molino de rodillos se adiciona el Clinker, el yeso y otros aditivos.
- ⑪ El producto final es un polvo homogéneo denominado cemento.

terial clinker, para la obtención del cemento se mezcla el clinker, yeso y aditivos, una vez obtenido el cemento se lo mezcla con árido fino, árido grueso, agua y aditivos que dan como resultado el hormigón.

Madera laminada como material de construcción

La madera laminada, se lo determina como un material reconfigurado debido a que está conformado por láminas de madera superpuestas y encoladas para posteriormente ser prensado por sus caras y en sentido paralelo a las fibras, las láminas de la madera generalmente son maderas de la misma especie.

Gracias a su ligereza y a sus propiedades mecánicas se la utiliza en estructuras grandes con amplias secciones además se la emplea por su versatilidad y resistencia térmica

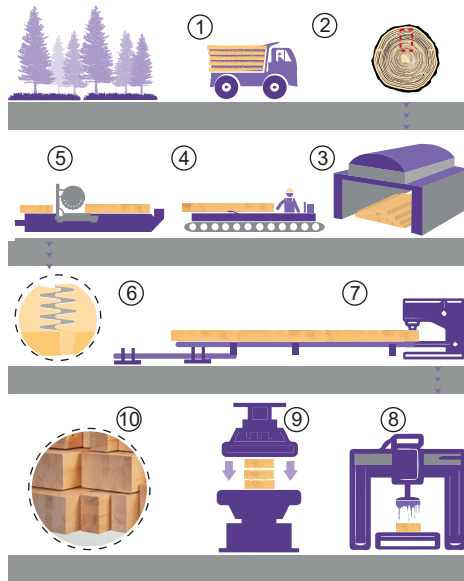


Fig. 8 . Proceso de fabricación de la madera laminada

Autor: Elaboración propia, 2022

el cual genera ambientes cálidos y acogedores el cual determina su rol estético.

García y Benedetti (2021) manifiestan que: “La madera presenta un buen comportamiento frente al fuego, como se indicó anteriormente, ya que posee una muy baja conductividad del calor. Su estructura celular proporciona un excelente aislamiento térmico que resulta 15 veces mejor que el hormigón armado normal, 500 veces mejor que el acero y 2.000 veces mejor que el aluminio” (p. 5) (García y Benedetti, 2021).

Las maderas que se utilizan para la fabricación de la madera laminada suelen ser de Abeto y Pino en su mayoría por sus características esto se debe a que nos son especies frondosas y presentan mayor elasticidad (Galarza, 2015).

- 1 Se selecciona la madera: pino silvestre, abeto, abeto rojo y/o chopo.
- 2 Traslado de madera al aserradero, se corta de forma tangencial por motivo estructural.
- 3 Se la deja secar hasta alcanzar un contenido de humedad del 8 al 15%.
- 4 Las piezas no deben presentar variación de temperatura mayor a 4% con un xilohigrómetro.
- 5 Una cierra de disco elimina los defectos de la madera (nodos, sendas, etc..).
- 6 Se utiliza máquina tratativa para adentar la madera, se le aplica cola para pasar a impresión.
- 7 La madera pasa por un proceso de cepillado.
- 8 Las láminas se encolan en máquinas de rodillos con gramajes de cola entre 400-500 gramos por m².
- 9 Las láminas se arman sobre un bastidor metálico mediante presión.
- 10 Se eliminan los excesos del pegamento y demás suciedad y se encuentra lista para distribución.

Para el análisis comparativo se determinaron cinco variables a considerar, las mismas que fueron obtenidas mediante previa investigación documental se consideraron aspectos que abarcan un análisis completo estas son: Huella Ambiental, Huella Hídrica, Costos, Confort y Eficiencia Estructural.

Huella Ambiental en la construcción.

La huella ambiental es un indicador que nos permite contabilizar en kg o toneladas el total de las emisiones de gases, ya sea de un individuo, país, empresa, producto. En resumen, es la huella que dejamos en el medioambiente con actividades que están generando el efecto invernadero (Pienado, 27).

Interpretando el uso de la Huella Ambiental, Romero (2016) afirma “es una forma de análisis de la naturaleza, de cómo se apropian de los recursos y del espacio,

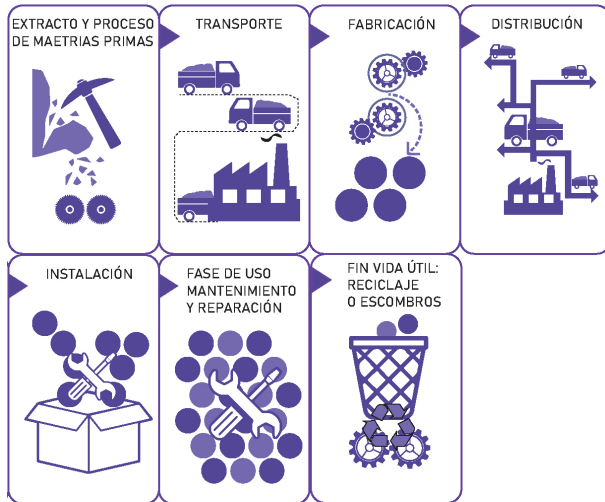


Fig. 9 .Análisis de ciclo de vida

Autor: Josep Bove, 2016

usándolo y modificándolo para obtener los recursos necesarios para alimentar los procesos productivos, y para recibir los desperdicios de esos procesos” (p. 23). Por lo tanto, este indicador es un procedimiento adecuado en el ámbito de la construcción. (Romero, 2016).

El proceso de fabricación de un material de construcción no es el único que emite gases, los transportes indirectos de estos materiales son responsables del 46% esto en cuanto a transporte de materiales áridos que son componentes principales del hormigón (Muñoz y Quiroz, 2014).

La huella ambiental generada por la construcción radica en la extracción y utilización de recursos no renovables (materias primas), en consecuencia, en la obtención de residuos, el cual se ha visto incrementado de una manera acelerada en los últimos años. En el caso del cemento es el componente principal del hormigón se estima que genera unos 900 kg en emisiones de CO2 por tonelada, en promedio global (Habert, G, et. al. 2010)



Fig. 10. Porcentaje de huella de carbono por constructores

Autor: ACR, 2021

Catalá (2014) afirma: “El indicador proporciona una valoración cuantitativa sobre el exceso global y local, el grado en el que la huella humana, o la demanda de recursos naturales, exceden de la biocapacidad” (p.25). Si se reduce la huella de carbono en la construcción existirá un gran aporte al cambio climático debido a que solo el cemento representa del 5 al 8% de emisiones totales de CO2 (Catalá, 2014).

En efecto existen varias publicaciones que permiten una medición cuantitativa más no un factor cualitativo en el cual se podría expresar la pérdida de biodiversidad, afectación del paisaje o la contaminación atmosférica.

Huella Hídrica en la construcción.

La huella hídrica al igual que la huella de carbono es un indicador que mide no solo el uso directo sino el uso indirecto del agua. Se basa en conocer como las actividades de los humanos y en este caso su requerimiento para la elaboración de ciertos productos afecta la disponibilidad de este recurso (Hoekstra, 2010).

El indicador permite realizar un análisis más a profundidad con las tres clasificaciones de agua como el análisis de la Huella de Agua Azul que permite medir la cantidad de agua dulce, el análisis de Agua Verde que dimensiona la pérdida de agua almacenada en suelo y el análisis de Agua Gris que está ligada al volumen de agua alterada por servicios del ser humano (Hoekstra, 2010).

La huella de agua azul hace referencia a las masas de aguas naturales como manantiales o ríos, huella de agua verde se refiere al agua almacenada en la parte superficial del suelo o vegetación y la huella de agua gris es la que se contamina en un proceso de elaboración o fabricación de un producto (Díaz, 2016)

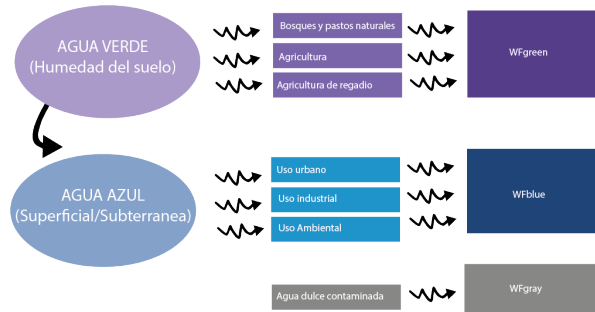


Fig. 11 . Huella Hídrica

Autor: Elaboración propia , 2023

El consumo de agua en procesos constructivos cuantifica la cantidad de agua utilizada en un proyecto de construcción se debe tomar en cuenta los requerimientos hídricos dentro del ciclo de vida de los materiales y la reserva de agua del lugar donde se realiza el análisis (Nieto, 2007).

En Australia se llevaron a cabo 17 estudios de edificaciones verticales, se realizó el análisis de la huella hídrica, los resultados determinaron un valor de 20000 l/m2 de construcción, este resultado es equiparable al volumen del edificio estudiado. (McCormack, 2007).

Los resultados del estudio muestran que la cantidad de agua utilizada en las construcciones no puede ser despreciada y da recomendaciones de una correcta elección de sistema constructivo. Además, aclaran que no hay que preocuparse por el agua que contienen algunos materiales como la madera, que tiene incorporada un porcentaje de humedad que se lo considera despreciable en comparación de otros sistemas constructivos (Nieto, 2007).

La huella de agua azul indica que las fuentes de agua dulce son las más afectada en la construcción, lo que significa que si se mantiene esta sobreexplotación del recurso

y no se cambia por técnicas alternativas como la madera, en un futuro cercano amenazaríamos su continuidad esto debido a que de toda el agua solo 2.5% representa el agua dulce siendo la más utilizada por procesos constructivos húmedos (Díaz, Aguillón y Arista, 2018).

Costos en la construcción

Los costos en un sistema constructivo están determinados por dos factores como el alcance del proyecto y las características del proyecto y un posible riesgo económico y/o físico que se pueda presentar, estos factores denominados como gastos indirectos también el tiempo de ejecución de obra es un factor que prioriza e insta a calcular los costos de una manera precisa (Macchia, 2009).

La variable costos no se mide como un indicador, se debe realizar una estimación de costos de recursos que requieran las actividades del proyecto, hay que tomar en cuenta que durante la ejecución de un proyecto puede variar en rango de $\pm 10\%$ en costos (Perez, 2014).

El cálculo de la variable esta dado por el análisis de precios unitarios, que consiste en enlistar los rubros de la obra orientado a las características del proyecto, en el cual se debe tener claro las cantidades, los materiales, mano de obra y el volumen de obra por cada elemento (Calero, 2015).

Para que el análisis sea lo más fiable en nuestro contexto se recomienda seguir las siguientes características: 1) El análisis debe ser dinámico, ya que conforme avance el proyecto debe estar sujeto cambios esto debido a los imprevistos, 2) El análisis es aproximado debido a que cada proceso está sujeto a un analista con experiencia y conocimiento diferente a otros analistas y 3) El análisis de precios debe tener secuencia a estudios previos e integrar a posteriores (Cámara de la construcción de

Quito, 2001).

La variable costos se reduciría si la eficiencia en la producción aumentara esto se logra con la demanda por el sistema constructivo, en la actualidad el costo de sistemas de madera se ha acercado al del hormigón en edificaciones de baja altura.

DIAGNOSTICO DE PROCESO: 01 UNIDAD DE APRENDIZAJE

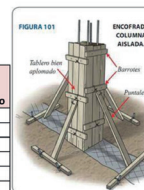
CARRERA: Edificaciones y Obras Civiles
 UNIDAD DIDÁCTICA: Presupuestos, Programación y Administración S:1 / CICLO: I
 EXPOSITOR: Ing. Doris Tinajeros Salcedo FECHA: 22/04/2022
 ESTUDIANTE: ANA LUPE CARI CARI

1.- Elaborar el Análisis de Costos Unitarios para la Partida: Encofrado y Desencofrado de una Columna de 0,40 x 0,60 de sección y 2,40 m de altura. (14 puntos)
 La figura es referencial.

AREA DE ANALISIS: Sección de la Columna de 0,40 x 0,60 de sección y 2.4 m de longitud
 Rendimiento: 10 m²/día
 Cuadrilla: 0.1 Cap + 10p + 10F

Elem.	Descripc.	Sección (Pulg)		Longitud (m) (Pies)		Cant. de Elem.	Pies ²	Desperd. (%)	N° de usos	Pie ³ para uso
		a	b	(m)	(Pies)					
1	Tablones	1,50	8,00	2,50	8,20	10	82,02	87,76	12	7,31
2	Barrotes-A	2,00	3,00	0,50	1,64	4	3,28	3,51	15	0,23
3	Barrotes-B	2,00	3,00	0,70	2,30	4	4,59	4,91	15	0,33
4	Soleras	2,00	3,00	0,80	2,62	4	5,25	5,62	8	0,70
5	Tornapuntas	2,00	3,00	2,40	7,87	4	15,75	16,85	7	2,41
6	Estaticas	2,00	2,00	0,30	0,98	8	2,62	2,81	7	0,40

11.39 P2 AREA DE ANALISIS = 0.576M2 === 11.39/0.48 = 19.77



DESCRIPCIÓN	UND	CUADRILLA	CANT	P.UNIT	PARCIAL	TOTAL
MANO DE OBRA						
Capataz	HH	0.1	0.080	15,21	1,22	21,049
Operario	HH	1	0.800	13,20	10,56	
Oficial	HH	1	0.800	11,59	9,27	
MATERIALES						
Madera Tornillo	p2		19,77	4,50	51,255	
Alambre N° 08	kg		2	4,50	9	
Clavos 3"	kg		0,250	5,00	1,25	
EQUIPO / HERRAMIENTAS						
Herramienta manual		0,05		21,05	1,05	1,05
TOTAL COSTO UNITARIO					S/.	121,31

Fig. 12 . Ejemplo de Análisis de Precios Unitarios

Autor: Ministerio de vivienda Perú , 2022

Eficiencia Estructural

Para realizar un sistema estructural eficiente es necesario optimizar ganancias, velocidad y eficiencia. Es decir, realizar un sistema con un peso mínimo pero que no descuide las condiciones de rigidez, estabilidad y resistente condiciones principales que definen a una estructura. (García, 2011).

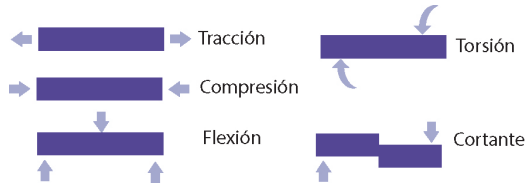


Fig. 13 . Tipos de esfuerzos

Autor: Acadity, 2021

La relación resistencia/peso es la comparativa para medir la eficacia estructural se suele utilizar entre sistemas tradicionales (hormigón armado), sistemas constructivos secos ligeros (madera). Es decir, medimos la eficiencia estructural como búsqueda de lo óptimo. (Arriaga, 2007).

El arquitecto Fruitós Mañá afirma: Existen elementos estructurales que en más de 50% de peso se destina a auto sentar el forjado, explica que realizar elementos estructurales no resuelve el problema de eficiencia, por lo que recomienda la elaboración de sistemas estructurales ligeros.

Confort en espacios arquitectónicos

Es la sensación física y mental de encontrarnos en situación de bienestar por determinadas condiciones el cual nos proporciona una percepción ambiental inmediato (Tavera, 1999).

Existen dos factores que nos permite determinar el confort de un espacio arquitectónico, 1) Nivel térmico que alcanza el material y el 2) Es la temperatura radiante que es la temperatura que interviene en los cuerpos del espacio a estudiar (Riofrio, 2018).

Usualmente este variable se la puede medir en dos tipos de metodología cualitativa y cuantitativa, en cuanto a la parte cualitativa se realizan encuestas relacionadas a la

evaluación de satisfacción visual, efecto luz, integración de color y proporción (Espinoza et al., 2018).

En cuanto al análisis cuantitativo se selecciona el objeto y/o lugar de estudio para realizar el muestreo con toma de pruebas como: estudio climatológico, recorrido solar, toma de temperatura, estudio de humedad y de precipitaciones para posterior colocar sensores en las paredes interiores del lugar de estudio (Riofrio, 2018).

En nuestro contexto ecuatoriano la temperatura en el relieve cordillerano la temperatura media va desde los 6 C° hasta los 27 C°, se evidencia una variación térmica importante. La elección del material de construcción debe seleccionarse con conocimiento previo de propiedades térmicas, como es el caso de la madera (Riofrio, 2018).



Fig. 14 . Madera laminada

Autor: Structurecraft, 2022

El siguiente caso de análisis de estudio fundamentará la investigación presente (Albornoz Juan, 2015) sobre CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO ASOCIADA A LA ELABORACIÓN DE HORMIGONES GEOPOLIMÉRICOS EN CHILE, el cual fue desarrollado en la Universidad de Chile explica detalladamente el proceso de cálculo y el análisis de emisiones de CO2 de cualquier material destinado a la construcción.

El proceso de cálculo utilizado en la investigación consta de una fórmula el cual recopila dos variables: 1) Datos de la actividad que hace referencia a la masa/peso este resultado se obtiene del producto del volumen por la densidad del material analizado.

Una vez obtenido la masa se procede a multiplicar por el factor de emisión, dato que corresponde al material analizado, el autor de la investigación sugiere que estos factores variables se obtengan de fuentes fidedignas puesto que en estos valores es donde se suelen cometer errores al momento de iniciar los cálculos (Albornoz Juan, 2015).

A continuación, se presente un ejemplo para mayor comprensión del análisis de emisiones de CO2 de materialidad, en comparación con los dos sistemas propuestos el de madera laminada y hormigón armado. Se procede el cálculo en base a un módulo porticado de viviendas común en la ciudad de Quito (Vazquez y Guillen, 2016).

Se procede al cálculo ya mencionado una vez consultado las emisiones de CO2 del hormigón puesto que es un material conformado por otros materiales que por sí solos emiten cantidades de CO2, y así poder sumar y obtener el valor en kg/Co2 del hormigón

El valor de la tabla 2636.62095 kg/CO2 aprox. en recuadro morado evidencia la cantidad total de emisiones de CO2 del sistema del módulo construido en hormigón armado, se procede al cálculo del mismo módulo de vivienda con una materialidad diferente en este caso la de madera laminada.

Los resultados con este sistema se evidencian una brecha grande en cuanto a emisiones de CO2 puesto que este sistema emite 687,876 kg/CO2 aprox. una cantidad que representa un 74% que el sistema de hormigón.

La producción de la madera es opuesta a la del hormigón puesto que a diferencia que el hormigón utiliza energía no fósil y renovable esto se explica que para su formación utiliza energía solar, además que en los procesos de puesto en obra también es muy reducida la energía que utiliza gracias a su estructura y densidad por lo que emite baja cantidad de CO2.

El estudio permite cuantificar la huella de producción y fabricación del material no obstante Vazquez, K y Guillen, (2016) sugieren que se pueden cuantificar la energía contenida dentro del transporte directo e indirecto, este último en lo que respecta al traslado hacia la fábrica

TOTAL DE EMISIONES DE CO2 AL AÑO 2015		
EMISIONES DE CO2	t CO2	kg CO2
POR CONSUMO DE COMBUUSTIBLE DE TRANSPORTE	4.483,54	4.483.540,75
POR CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA	115,97	115.967,38
	4.599,51	4.599.508,13
VOLUMEN TOTAL DE HORMIGÓN PRODUCIDO AL 2015 (m3)	107.386,50	
EMISIONES DE CO2 POR METRO CÚBICO DE HORMIGÓN PRODUCIDO	42,83	kg CO2/m3

Tabla 2. Emisiones indirectas de CO2 por metro cúbico de hormigón
Autor: Vazquez y Guillen, 2016

de materias y de regreso de la unidad puesto que regresa vacía.

Los resultados de este artículo se obtienen gracias al cálculo de la huella de carbono en varios aspectos el cual abarca el transporte de la materia prima, fabricación y transporte final. Las variables para tomar en este cálculo son el transporte directo e indirecto, transporte de hormigón, consumo de energía eléctrica.

transporte final. Las variables para tomar en este cálculo son el transporte directo e indirecto, transporte de hormigón, consumo de energía eléctrica.

El aporte de este artículo es el de poder calcular la energía contenida y emisiones de CO2 en los procesos de fabricación del hormigón y en el cual se determinó que el transporte indirecto representa más del 80% del consumo de energía global.

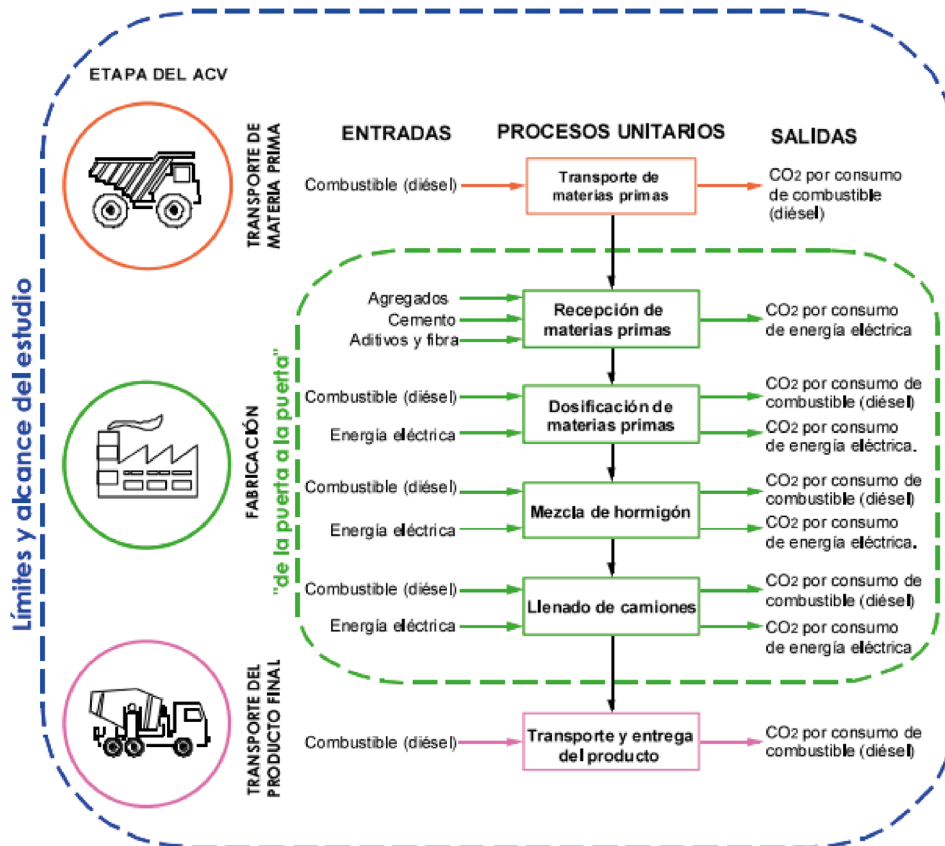


Fig. 15 . Diagrama de proceso de fabricación del hormigón-caso de estudio Planta P de Cuenca

Autor: Vazquez y Guillen, 2016

2.2. Materiales y Métodos

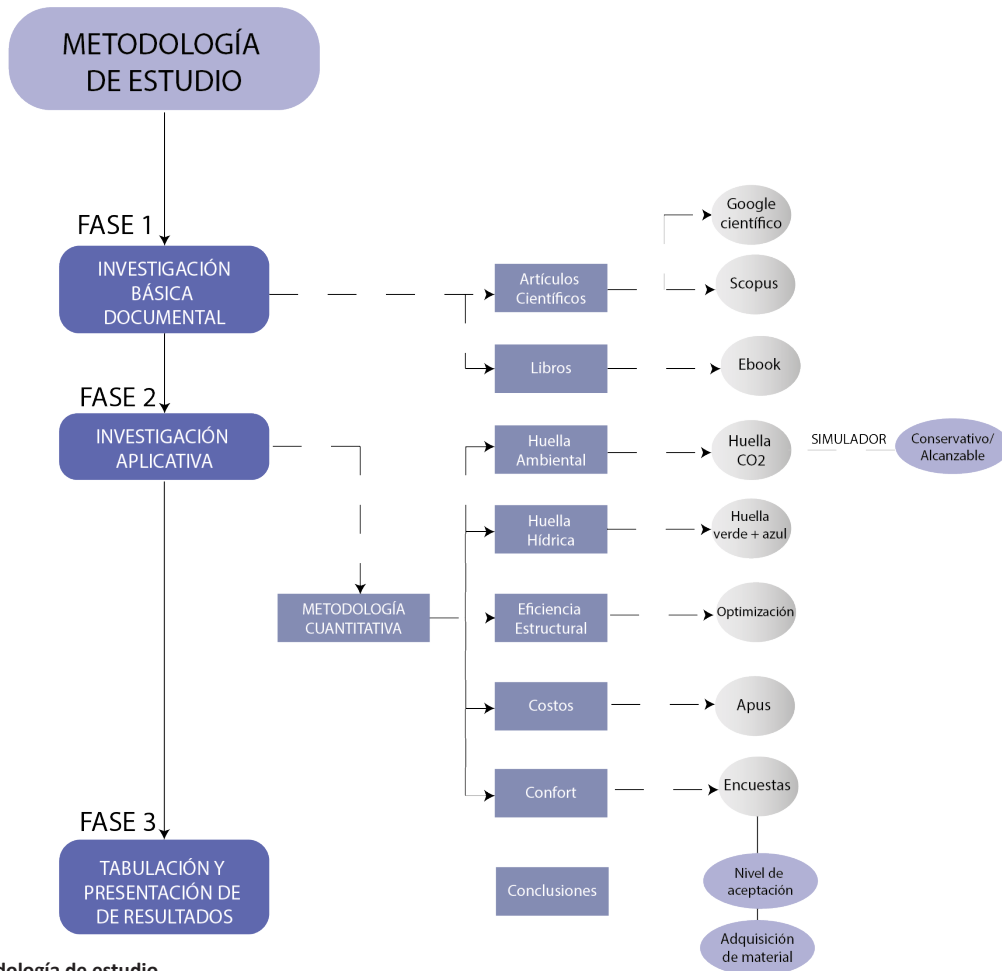


Fig. 16 . Metodología de estudio

Autor: Elaboración propia, 2022

El enfoque seleccionado para la investigación es cuantitativo, puesto que nos permitirá examinar de forma numérica y científica gracias al orden establecido y esquemático el cual constará de definición y delimitación de variables, el punto de partida de toda investigación consiste en determinar qué es lo que se pretende investigar. (Monge, 2011).

Se debe tomar en cuenta que en esta selección se deben abordar temas que sustenten el análisis es decir que sean susceptibles a mayor investigación.

2.2.1. HUELLA AMBIENTAL EN LA CONSTRUCCIÓN

La herramienta gratuita para profesionales que estima el valor de la energía incorporada y el cálculo de huella de carbono en la construcción es el EC3 que se define como cartilla para profesionales AEC (Building t., 2010).

El simulador EC3 arroja datos de Factor de emisión de CO2 por unidad esto según la región, y las características de del material que se quiere obtener el dato (Building t., 2010).

En este caso se selecciona los materiales a comparar dependiendo de su composición como materiales.

2.2.1.1 Análisis Madera Laminada

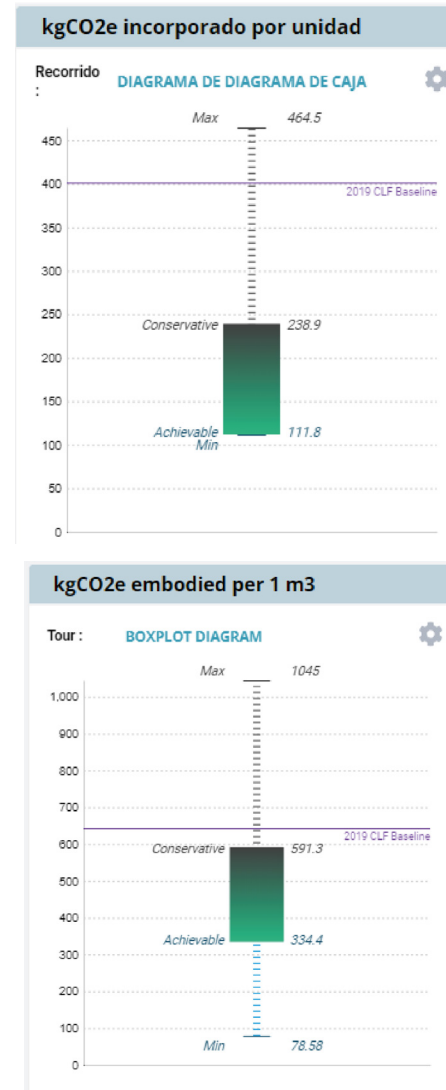


Fig. 17 . Factor de emisión del sistema constructivo madera laminada

Autor: Elaboración propia obtenido en simulación EC3, 2023

En la figura 17 se observan dos gráficos el primero el factor de emisión de madera laminada y el de abajo del hormigón esto debido a que el sistema constructivo de madera laminada utiliza cimentación de hormigón por lo que el cálculo es necesario.

Para continuar es necesario calcular el volumen y el cubicaje del prototipo a medir en este caso una residencia de 36m² de un piso.

El cubicaje del elemento multiplicado por el factor de emisión correspondiente a cada material (cada material posee diferente factor de emisión) (Federico, 2015).

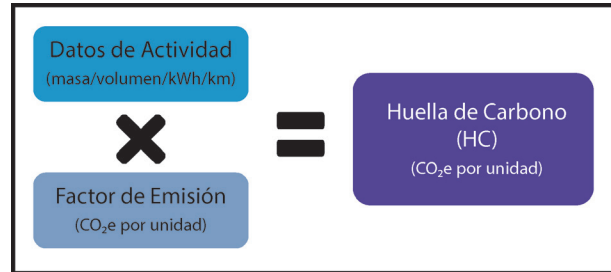


Fig. 18 . Ecuación emisiones de Co2 por materialidad y densidad.

Autor: Delfin Federico, 2015

Una vez obtenidos los dos resultados se procede al cálculo mediante la fórmula presentada en la figura 18.

PESO DE LA ESTRUCTURA DE MADERA LAMINADA							
MATERIAL	ELEMENTO	DIMENSIONES M	VOLUMEN M3	CANTIDAD	VOLUMEN TOTAL M3	DENSIDAD MATERIAL KG/M3	PESO MATERIAL KG
MADERA L.	COLUMNA 1	0,1 X 0,35 X 3	0,11	2	0,21	400	84,00
MADERA L.	COLUMNA 2	0,1 X 0,35 X 2,8	0,10	2	0,20	400	78,40
MADERA L.	VIGA	0,1 X 0,35 X 6	0,21	4	0,84	400	336,00

PESO DE LA ESTRUCTURA DE MADERA LAMINADA							
MATERIAL	ELEMENTO	DIMENSIONES M	VOLUMEN M3	CANTIDAD	VOLUMEN TOTAL M3	DENSIDAD MATERIAL KG/M3	PESO MATERIAL KG
HORMIGÓN	CIMENTACIÓN	0,35 X 0,35 X 0,45	0,06	4	0,22	2300	506,00

PESO POR MATERIAL KG		PESO TOTAL	1004,4
MADERA L.	498,4		
HORMIGÓN	506,00		

Tabla 3. Cálculo de volumen y peso de estructura de madera laminada.

Autor: Elaboración propia, 2023

estructura de madera laminada kg de CO2			
material	m3	máximo	emisiones
madera lam.	1,25	464,5	580,625
hormigón	0,22	1045	229,9
		total	810,525

estructura de madera laminada kg de CO2			
material	m3	mínimo	emisiones
madera lam.	1,25	111,8	139,75
hormigón	0,22	78,58	17,2876
		total	157,0376

Tabla 4. Cálculo de huella de carbono de estructura de madera I.

Autor: Elaboración propia, 2023

estructura de madera laminada kg de CO2 incorporado por unidad			
material	m3	conservador	indicador de desempeño
madera lam.	1,25	238,9	298,625
hormigón	0,22	591,3	130,086
		total	428,711

estructura de madera laminada kg de CO2 incorporado por unidad			
material	m3	alcanzable	indicador de desempeño
madera lam.	1,25	111,8	139,75
hormigón	0,22	334,4	73,568
		total	213,318

Tabla 5. Cálculo de huella de carbono de estructura de madera I.

Autor: Elaboración propia, 2023

Son dos resultados que se obtienen uno conservativo (representa el 80% de carbono incorporado encontrado en las Declaraciones Ambientales de Producto) y otro alcanzable (20% de carbono incorporado encontrado en las Declaraciones Ambientales de Producto, debería ser un objetivo alcanzable), Además de los 2 resultados máximos y mínimos (Building t., 2010).

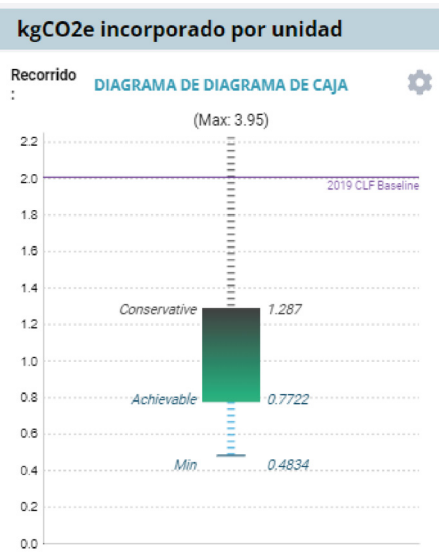
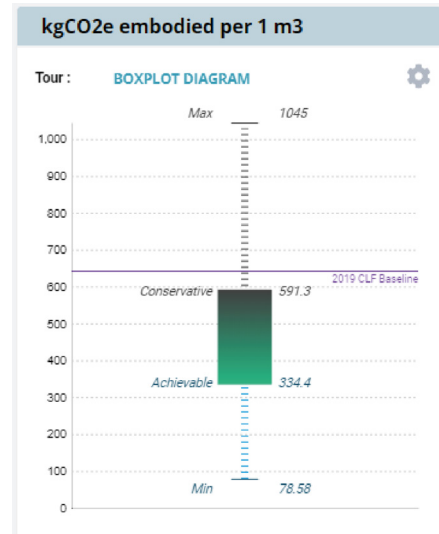


Fig. 19 . Factor de emisión de hormigón armado

Autor: Elaboración propia obtenido en simulación EC3, 2023

2.2.1.2 Análisis Hormigón Armado

Se repite el procedimiento utilizado con la madera laminada, con los datos correspondientes al hormigón armado.

En la figura 19 se observan dos gráficos el de arriba el factor de emisión de hormigón y el de abajo el de acero de refuerzo esto debido a que el sistema constructivo es de hormigón armado.

PESO DE LA ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO / CPE INEN-NEC-SE-VIVIENDA 26-10							
MATERIAL	ELEMENTO	DIMENSIONES M	VOLUMEN M ³	CANTIDAD	VOLUMEN TOTAL M ³	DENSIDAD MATERIAL KG/M ³	PESO MATERIAL KG
HORMIGÓN	COLUMNA 1	2,60 X 0,15 X 0,15	0,06	6	0,36	2300	828
HORMIGÓN	COLUMNA 2	3,30 X 0,20 X 0,15	0,10	3	0,30	2300	690
HORMIGÓN	VIGA 1	3,60 X 0,15 X 0,15	0,80	6	4,80	2300	11040
HORMIGÓN	VIGA 2	2,93 X 0,15 X 0,15	0,07	6	0,42	2300	966
HORMIGÓN	PLINTOS	0,60 X 0,60 X 0,15	0,05	9	0,45	2300	1035
HORMIGÓN	CADENAS 1	3,55 X 0,15 X 0,20	0,11	12	1,32	2300	3036
HORMIGÓN	CADENAS 2	2,88 X 0,15 X 0,20	0,09	12	1,08	2300	2484

VIGAS Y COLUMNAS ELECTROSOLDADAS					
MATERIAL	ELEMENTO	CANTIDAD	LONG. M	PESO UNIT.	PESO MATERIAL KG
ACERO REF.	CADENAS	12	3,55	5,31	63,72
ACERO REF.	COLUMNAS	6	3,75	5,38	32,28
ACERO REF.	COLUMNAS	3	4,2	10,64	31,92
ACERO REF.	VIGAS	6	3,75	5,38	32,28
ACERO REF.	VIGAS	6	4,2	6,06	36,36

VARILLAS CORRUGADAS					
MATERIAL	ELEMENTO	DIMENSIONES Ø	LONG. M	PESO UNIT.	PESO MATERIAL KG
ACERO REF.	CHICOTES	0	16,8	0,1	1,68
ACERO REF.	CHICOTES	0,055	84,75	0,19	16,10
ACERO REF.	CHICOTES	0,08	40,55	0,4	16,22
ACERO REF.	CHICOTES	0,01	9,6	0,62	5,95

PESO POR MATERIAL KG	
HORMIGÓN	20079
ACERO REF.	236,51

PESO TOTAL	20315,51
-------------------	-----------------

Tabla 6. Cálculo de volumen y peso de estructura de hormigón armado

Autor: Elaboración propia, 2023

Se procede al cálculo mediante la fórmula presentada en la figura 18, El cubicaje del elemento multiplicado por el factor de emisión correspondiente a cada material (cada material posee diferente factor de emisión) (Federico, 2015).

estructura de hormigón armado kg de CO2			
material	m3	máximo	emisiones
hormigón	8,73	1045	9122,85
acero	236,51	3,95	934,2145
		total	10057,0645

estructura de hormigón armado kg de CO2			
material	m3	mínimo	emisiones
hormigón	8,73	78,58	686,0034
acero	236,51	0,4834	114,328934
		total	800,332334

Tabla 7. Cálculo de huella de carbono de estructura de hormigón a.

Autor: Elaboración propia, 2023

estructura de hormigón armado kg de CO2 incorporado por unidad			
material	m3	conservador	indicador de desempeño
hormigón	8,73	591,3	5162,049
acero	236,51	1,287	304,38837
		total	5466,43737

estructura de hormigón armado kg de CO2 incorporado por unidad			
material	m3	alcanzable	indicador de desempeño
hormigón	8,73	334,4	2919,312
acero	236,51	0,7722	182,633022
		total	3101,945022

Tabla 8. Cálculo de huella de carbono de estructura de hormigón a.

Autor: Elaboración propia, 2023

Para finalizar la comparación entre sistemas se calcula los valores promedios de emisión, lo que representa la emisión total de CO2.

estructura de madera laminada kg de CO2 promedio			
material	m3	promedio	emisiones
madera lam.	1,25	179	223,75
hormigón	0,22	471	103,62
		total	327,37

estructura de hormigón armado kg de CO2 promedio			
material	m3	máximo	emisiones
hormigón	8,73	471	4111,83
acero	236,51	1,25	295,6375
		total	4407,4675

Tabla 9. Cálculo de huella de carbono por sistema constructivo.

Autor: Elaboración propia, 2023

2.2.2. HUELLA HÍDRICA EN LA CONSTRUCCIÓN

La guía Evaluación de la Huella Hídrica utiliza las actividades para cuantificar y localizar la huella hídrica de un de una zona geográfica específica y evaluar la sostenibilidad ambiental. El objetivo de esta metodología es evaluar las huellas hídricas y analizar cómo las actividades humanas o de Huella hídrica de un productor o consumidor afectan al recurso hídricos.

La herramienta ayuda comprender cómo las actividades y productos se relacionan con la escasez de agua y su contaminación y los impactos asociados y qué se puede hacer para asegurarse que las actividades y productos no contribuyan a un uso insostenible del agua dulce. Al utilizarla como herramienta, la evaluación de la huella hídrica proporcionará una visión más profunda (Hoekstra, 2010).

Los resultados de este cálculo son de estándar global puesto que están basados y desarrollados por www.waterfootprint.org en la cual participaron varias organizaciones que se han dedicado más de 10 años la investigación del cálculo de la huella hídrica. (Hoekstra, 2010).

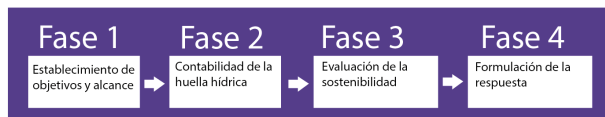


Fig. 20 . Metodología calculo huella hídrica

Autor: Hoekstra, 2010

La metodología es el “cálculo de la huella hídrica de una promoción residencial”, el cual es el primer estudio de la huella hídrica vinculada en un proyecto en ejecución de obra orientado a edificaciones residenciales de baja altura (UAM, 2019).

El enfoque de este estudio es la obtención de dos datos como la huella hídrica verde + azul y la huella hídrica total que contempla la huella hídrica gris (UAM, 2019).

Para la medición de esta variable se consideran dos factores enfocados al material del sistema constructivo a analizar: 1) Volumen de agua que incorporan diferentes materiales este factor se obtiene con el cálculo directo de HH de 11 materiales con mayor peso, para posterior determinar valores unitarios de Huella Hídrica por unidad de peso. 2) Peso de material (UAM, 2019).

	Huella Hídrica v+a	Huella Hídrica total
Material	L/KG	L/KG
Cemento	2,17	212,2
Yeso	2,17	212,2
Yeso lamin.	27,68	212,2
hormigón P.	1,57	41,5
Acero	11,83	2281,8
Arena/Grava	1,38	1,4
Baldosas	0,88	1,4
Ladrillos	0,88	1,4

Tabla 10. Factores de consumo de agua por cada material.

Autor: Elaboración propia según indicaciones de la UAM, 2023

Vidrios	5,89	1305,9
Maderas	1649,9	1649,9
Agua	1	1

Tabla 10. Factores de consumo de agua por cada material.

Autor: Elaboración propia según indicaciones de la UAM, 2023

2.2.2.1 Análisis Madera Laminada

Se multiplica la HH azul y verde de cada material (tabla 6) por dicho peso en kg (columna 1), el peso del material se puede apreciar en la tabla 2 (UAM, 2019).

Según el manual el factor de madera de la tabla 6 debe ser utilizado cuando se seleccione madera seca en rollo de España esto debido a su industrialización (UAM, 2019).

DESCRIPCIÓN DE LA OBRA	PESO DE MATERIALES		Huella Hídrica verde + azul		Huella Hídrica total	
	Cantidad	Kg	litros/kg	litros por material	litros/kg	litros por material
Plintos Madera Laminada	4	2024	4,55	36836,8	214,6	1737401,6
Columnas Madera Laminada	4	162,4	0	0	0	0
Vigas Madera Laminada	4	336	0	0	0	0
			TOTAL	36836,8	TOTAL	1737401,6

Tabla 11. Cálculo de huella hídrica de estructura de madera laminada.

Autor: Elaboración propia, 2023

Para el factor de hormigón se sumó los factores cemento, arena/grava y agua. Esto debido a la cadena de suministro de un producto en la huella hídrica que implica que un producto acumula este factor durante todo el proceso (Hoekstra, 2010).

2.2.2.2 Análisis Hormigón Armado

Se multiplica la HH azul y verde de cada material (tabla 6) por dicho peso en kg (columna 1), el peso del material se puede apreciar en la tabla 2 (UAM, 2019).

DESCRIPCIÓN DE LA OBRA	PESO DE MATERIALES		Huella Hídrica verde + azul		Huella Hídrica total	
	Cantidad	Kg	litros/kg	litros por material	litros/kg	litros por material
Plintos Hormigón Armado	9	1117,8	4,55	45773,91	212,2	2134774,44
Cadenas Hormigón Armado	12	5520	4,55	301392	212,2	14056128
Columnas Hormigón Armado	6	1518	4,55	41441,4	212,2	1932717,6
Vigas Hormigón Armado	6	12006	4,55	327763,8	212,2	15286039,2
V. Electrosoldadas Hormigón Ar	1	196,56	11,83	2325,3048	2281,8	448510,608
Chicotes Hormigón Armado	1	39,95	11,83	472,661735	2282,8	91208,1326
			TOTAL	719169,0765	TOTAL	33949377,98

Tabla 12. Cálculo de huella hídrica de estructura de hormigón a.

Autor: Elaboración propia, 2023

2.2.3. COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN

La metodología a usar es el Control de costos de presupuesto en construcciones verticales. Para iniciar con la variable de costos y presupuestos se debe estudiar ya sea planos arquitectónicos, instalaciones o planos estructurales siendo este último de interés en el cálculo, se procede a identificar las partidas por ítems según el alcance del proyecto. (Jaller, 2016).

2.2.3.1 Análisis Madera Laminada

CODIGO	DETALLE DE (Rubro o Partidas)	UNIDAD
1	LIMPIEZA - EXCAVACIONES - RELLENO (OBRAS PREELIMINARES)	
1.1	LIMPIEZA MANUAL DEL TERRENO	m2
1.1	REPLANTEO Y NIVELACION SIN EQUIPO TOPOGRAFICO	m2
1.2	EXCAVACIÓN MANUAL DE ESTRUCTURAS MENORES	m3
2	CIMENTACIONES	
2.1	EXCAVACION DE PLINTOS	m3
3	ESTRUCTURA	
3.1	COLUMNAS DE MADERA 0,35 x 0,10 x 2,80	ml
3.2	VIGAS DE MADERA 0,35 x 0,10 x 3	ml
3.3	VIGAS DE MADERA 0,35 x 0,10 x 6	ml

Tabla 13. Lista de rubros de estructura de madera laminada.

Autor: Kevin Bejarano, 2023

A continuación, en un archivo de Excel se colocan pestañas que identifiquen cada actividad enlistada, en cada pestaña se coloca el desglose de los precios unitarios (Jaller, 2016).

El desglose puede variar según el costo de los materiales, la mano de obra e incluir el IVA es necesario tomar en cuenta el rendimiento del material según la unidad de medida (Macchia, 2009).

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
RAMIENTA MENOR (5%)					0,05
					0,05
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	Costo Hh	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peon	2,00	3,51	7,02	0,133	0,93
					0,93
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Guantes	u	3,00	1,50	4,50	
				4,50	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C = A x B	
				0,00	
				0,00	
				0,00	
				5,48	
				0,98	
				6,46	
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+)	
				INDIRECTOS 18%	
				COSTO TOTAL DEL RUBRO:	

Tabla 14. APU Limpieza-Excavaciones-Relleno de madera laminada.

Autor: Kevin Bejarano , 2023

Ya completado todos los APUS de las partidas enlistadas para el sistema constructivo se colocan los precios unitarios en el presupuesto para multiplicarse por la cantidad y volumen de la obra, se suman todos los costos y se obtiene el resultado (Jaller, 2016).

PRESUPUESTO MODULO						
AREA DE CONSTRUCCIÓN: 36 m2						
CODIGO	DETALLE DE (Rubro o Partidas)	UNIDAD	PRECIOS UNITARIOS (incluido IVA)	VOLUMEN DE OBRA	CANTIDAD	COSTO TOTAL
1	LIMPIEZA - EXCAVACIONES - RELLENO (OBRAS PREELIMINARES)					
1.1	LIMPIEZA MANUAL DEL TERRENO	m2	6,46		36,00	232,56
1.1	REPLANTEO Y NIVELACION SIN EQUIPO TOPOGRAFICO	m2	10,75		36,00	387,00
1.2	EXCAVACIÓN MANUAL DE ESTRUCTURAS MENORES	m3	0,34		18,00	6,12
2	CIMENTACIONES					
2.1	EXCAVACION DE PLINTOS	m3	54,79	0,055	4	12,05
3	ESTRUCTURA					
3.1	COLUMNAS DE MADERA 0,35 x 0,10 x 2,80	ml	133,83	0,098	2	26,23
3.2	VIGAS DE MADERA 0,35 x 0,10 x 3	ml	143,03	0,105	2	30,04
3.3	VIGAS DE MADERA 0,35 x 0,10 x 6	ml	281,09	0,21	4	236,12
				TOTAL		930,12

Tabla 15. Cálculo de costos de sistema estructural madera laminada .

Autor: Kevin Bejarano, 2023

PRESUPUESTO MODULO HORMIGÓN ARMADO						
AREA DE CONSTRUCCIÓN: 36 m2						
CODIGO	DETALLE DE (Rubro o Partidas)	UNIDAD	PRECIOS UNITARIOS (incluido IVA)	CANTIDAD	OLUMEN DE OBR	COSTO TOTAL
1	LIMPIEZA - EXCAVACIONES - RELLENO (OBRAS PRELIMINARES)					
1.1	LIMPIEZA MANUAL DEL TERRENO	m2	6,46	1	36,00	232,56
1.1	REPLANTEO Y NIVELACION SIN EQUIPO TOPOGRAFICO	m2	10,75	1	36,00	387,00
1.2	EXCAVACIÓN MANUAL DE ESTRUCTURAS MENORES	m3	0,34	1	18,00	6,12
2	CIMENTACIONES					
2,1	PLINTO DE HORMIGON	m2	103,09	9	0,5	463,91
2,2	HORMIGÓN SIMPLE CADENAS F`C= 210 KG/M2.	m3	137,69	12	0,09	148,71
2,3	HORMIGÓN SIMPLE CADENAS F`C= 210 KG/M2.	m3	137,69	12	0,11	181,75
3	ESTRUCTURA					
3,1	HORMIGÓN EN COLUMNAS F`C=210 KG/CM		154,47	6	0,06	55,61
3,2	HORMIGÓN EN COLUMNAS F`C=210 KG/CM	m3	154,47	3	0,1	46,34
3,3	HORMIGÓN EN VIGAS SUPERIORES F`C=210 KG/CM1	m3	196,3	6	0,08	94,22
3,4	HORMIGÓN EN VIGAS SUPERIORES F`C=210 KG/CM2	m3	196,3	6	0,07	82,45
3,5	KIT DE ACERO DE REFUERZO F`Y=4200KG/CM2 DIAMETRO 4	ml	548,52	1	0,1	54,85
3,6	KIT DE ACERO DE REFUERZO F`Y=4200KG/CM2 DIAMETRO 5,5	ml	548,52	1	0,19	104,22
3,7	KIT DE ACERO DE REFUERZO F`Y=4200KG/CM2 DIAMETRO 8	ml	548,52	1	0,4	219,41
3,8	KIT DE ACERO DE REFUERZO F`Y=4200KG/CM2 DIAMETRO 10	ml	548,52	1	0,62	340,08
				TOTAL		2417,22

Tabla 18. Cálculo de costos de sistema estructural hormigón a .

Autor: Elaboración propia, 2023

2.2.4. EFICIENCIA ESTRUCTURAL

En base a las salidas de campo y entrevista con ingenieros civiles del colegio de arquitectos e ingenieros civiles de Pichincha se determinó que la estructura que presente menor peso en la misma cantidad de volumen, se la denominaría como la más eficiente.

En cuanto a peso calculado en un módulo de 36 m² tanto para madera laminada como para hormigón armado, la madera laminada se ubicó como la más liviana.

La madera en estructura puede llegar a ser uno de los uno de los más eficientes gracias a que tiene la capacidad de generar grandes luces y cargas ligeras en la mayoría de los casos resulta que la madera laminada en estructura resulta ser varias veces más liviana que otros sistemas estructurales como el hormigón armado (Arriaga, 2007).

No obstante, se realizó una investigación en cuanto al soporte de cargas axiales en elementos verticales. Esta comparativa entre el acero estructural, el hormigón y la madera laminada, 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).

La compresión axial de las columnas de hormigón, acero y madera ha sido planteado para soportar 700 kilo libras (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.

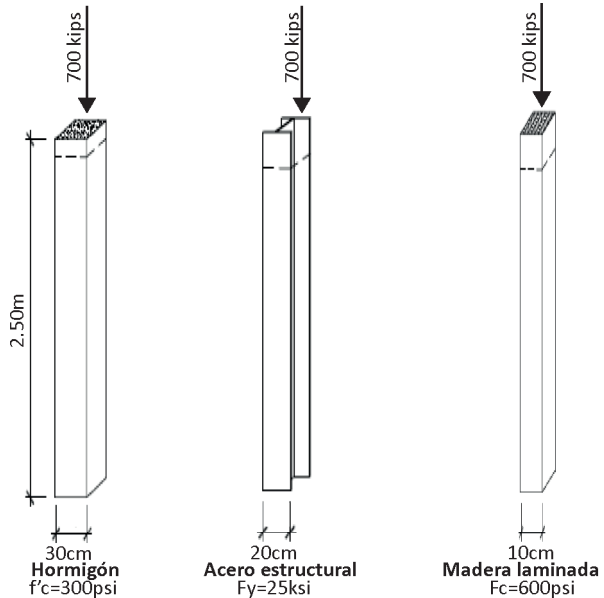


Fig. 21 . Resistencia a la rigidez axial de materiales estructurales
Autor: Skidmore, Owings & Merrill, 2013

El estudio muestra que, con una sección menor a los otros sistemas, la madera laminada tiene la capacidad de mantener sus uniones al aplicar cargas axiales.

Análisis comparativo de la rigidez al desplazamiento lateral en columnas			
Material	Hormigón	Acero Estructural	Madera laminada
Sección	30cm x 20cm	30cm x 20cm	30cm x 10cm
Rigidez Axial	7800 k/ in	3500 k/ in	3350 k/ in
Desplazamiento	1 mm	2 mm	2,2 mm

Tabla 19. Resultados Rigidez al desplazamiento lateral en columnas.
Autor: Elaboración propia, 2023

2.2.5. CONFORT EN ESPACIOS ARQUITECTÓNICOS

La herramienta de esta variable es el cuestionario el cual abarca varios sistemas y materiales de construcción para tener una idea clara del mercado y la aceptación de los materiales tanto del constructor como de las tendencias del consumidor.

La medición de esta variable debe abarcar aspectos amplios como el estado actual del conocimiento de los sistemas y materiales que usan en la propia empresa y la practica sobre la construcción tanto del hormigón armado como la madera laminada (Schenk, et al, 2022).

Para iniciar con las encuestas se procede a editar un formulario de Google, con las preguntas ya establecidas sobre la materialidad, tendencias del mercado, aceptación y conocimiento.

Se determinó que la población para la encuesta a empresas, para posterior realizar la entrevista. Una vez finalizado se procedió se exportar a Excel para tabular los resultados de la encuesta.

Los cuestionarios están divididos en dos etapas.

2.2.5.1 Encuestas al Consumidor

Preguntas Respuestas Configuración

Sección 1 de 3

Cualidades según la importancia de la madera como material de construcción.

Descripción del formulario

Comodidad

- Muy importante
- Medianamente importante
- Menos importante
- No me importa en lo absoluto

Aspectos de alergias

- Muy importante
- Medianamente importante
- Menos importante
- No me importa en lo absoluto

Opciones de respuesta	Muy importante	Medianamente importante	Menos importante	No importa en lo absoluto
Comodidad	6	0	1	0
Aspectos de salud (alergias, calidad del aire de la habitación)	7	0	0	0
Calidad	5	2	0	0
Protección al fuego	7	0	0	0
Cuestiones medio ambientales (material, ahorro de energía, huella de carbono, aislamiento térmico)	6	1	0	0
Fácil mantenimiento	5	2	0	0
Bajo coste	5	2	0	0
Estética y diseño	6	0	1	0
Opción de reutilización	3	4	0	0
Menor tiempo de construcción	1	6	0	0
Construcción típica de la región	3	3	0	0

Tabla 20. Encuesta de cualidades según la importancia de la madera como material constructivo.

Autor: Elaboración propia a partir de parámetros de Juan Acosta, 2023

Opciones de respuesta	De acuerdo completamente	Poco de acuerdo	Poco desacuerdo	Desacuerdo en lo absoluto
Natural	7	0	0	0
Acogedor	7	0	0	0
Ecológico	6	1	0	0
Estético	6	1	0	0
Saludable	7	0	0	0
Moderno	5	2	0	0
Duradero	4	3	0	0
Caro	3	3	0	0
Abundante	2	4	0	0
Resistente al fuego	1	3	2	0

Tabla 21. Encuesta aceptación de madera como material constructivo.

Autor: Elaboración propia a partir de parámetros de Juan Acosta, 2023

2.2.5.2 Encuestas al Sector Constructor

La segunda etapa está dirigida a la empresa constructora acerca de su postura de la madera laminada como ma-

terial constructivo, las dificultades que tienen al implementarla en el contexto ecuatoriano y su valoración en comparación con los materiales más usados.

Opción de respuesta	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	De acuerdo	Muy de acuerdo
¿Se incentiva a los empleados de su empresa a investigar nuevos materiales?	0	1	2	2
¿Su empresa colabora con otras empresas para investigar nuevos materiales?	0	4	1	
¿Su empresa colabora con universidades para investigar nuevos materiales?	4	1	0	0
¿Su empresa colabora con centros de investigación y agencias gubernamentales?	3	2	0	0
¿Su empresa está abierta a encontrar soluciones innovadoras colaborando con proveedores de materiales (fabricantes)?	0	0	2	3
¿Su empresa invierte en la formación y el desarrollo de sus empleados?	1	3	1	
¿La innovación se incorpora a la estrategia corporativa de su empresa?	0	2	2	1
¿Su empresa cuenta con un procedimiento sistemático para revisar y reflexionar sobre proyectos anteriores?	0	3	1	1

Tabla 22. Encuesta de postura de la empresa acerca los nuevos materiales constructivos.

Autor: Elaboración propia a partir de parametros de Juan Acosta, 2023

Opción de respuesta	Grán barrera	Leve barrera	No es barrera
Cantidad de madera necesaria	1	4	0
Disponibilidad en el mercado	0	5	1
Costo en construcción	4	1	0
Disponibilidad de información técnica	1	2	2
Compatibilidad con el código de la construcción	2	2	1
Promoción/educación	0	2	3
Rendimiento como sistema de construcción	0	1	4
Costo de mantenimiento	3	2	0

Tabla 23. Encuesta de barreras para la adopción de madera laminada.

Autor: Elaboración propia a partir de parametros de Juan Acosta, 2023

Opción de respuesta	Excelente	Bueno	Promedio	Por debajo del promedio	Pobre	No se sabe
Rendimiento medioambiental	1	4	0	0	0	0
Propiedades mecánicas	0	3	2	0	0	0
Rendimiento económico	0	0	2	0	0	3
Estética	2	1	0	0	0	2
Comportamiento ante el fuego	0	3	1	0	0	1
Comportamiento ante sismos	0	2	1	0	0	2
Disponibilidad en el mercado	0		1	1	0	3
Rendimiento acústico	1	1	0	0	0	3
Coste de mantenimiento post-construcción	0	0	1	2	0	2
Durabilidad	1	0	1	0	1	2
Certificación LEED	0	2	0	0	0	2
Comportamiento ante la humedad	0	1	1	0	0	3
Comportamiento ante la vibración	0	0	2	0	0	3
Complejidad de construcción	0	1	2	0	0	2
Disponibilidad de herramientas de diseño	0	4	0	0	0	1

Tabla 24. Encuesta de valoración de madera laminda en comparación de otros materiales constructivos.

Autor: Elaboración propia a partir de parametros de Juan Acosta, 2023

ETAPA 3
DIFUSIÓN DE RESULTADOS



3.1. Resultados

3.1.1. HUELLA AMBIENTAL + HUELLA HÍDRICA DE HORMIGÓN ARMADO Y MADERA LAMINADA

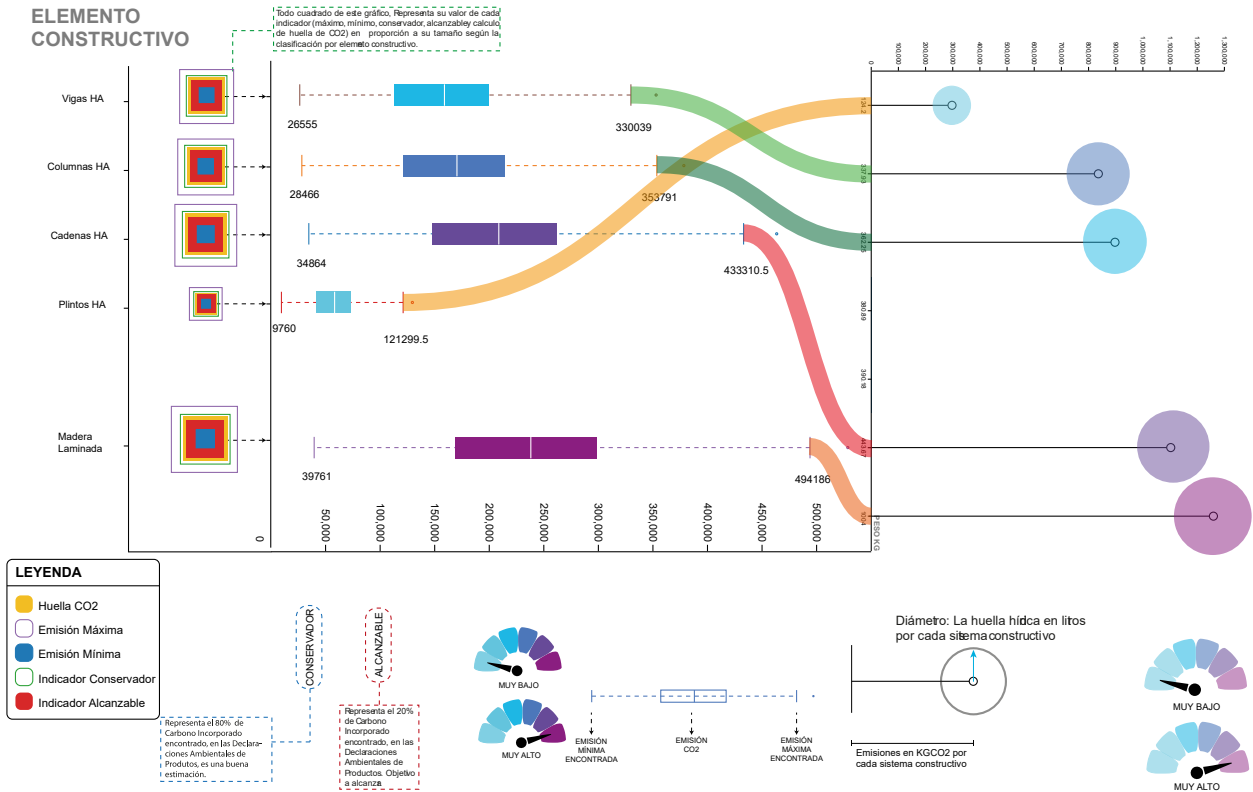


Tabla 25. Resultados comparativos de huella ambiental y huella hídrica

Autor: Elaboración propia, 2023

3.1.2. HUELLA AMBIENTAL + HUELLA HÍDRICA ENTRE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

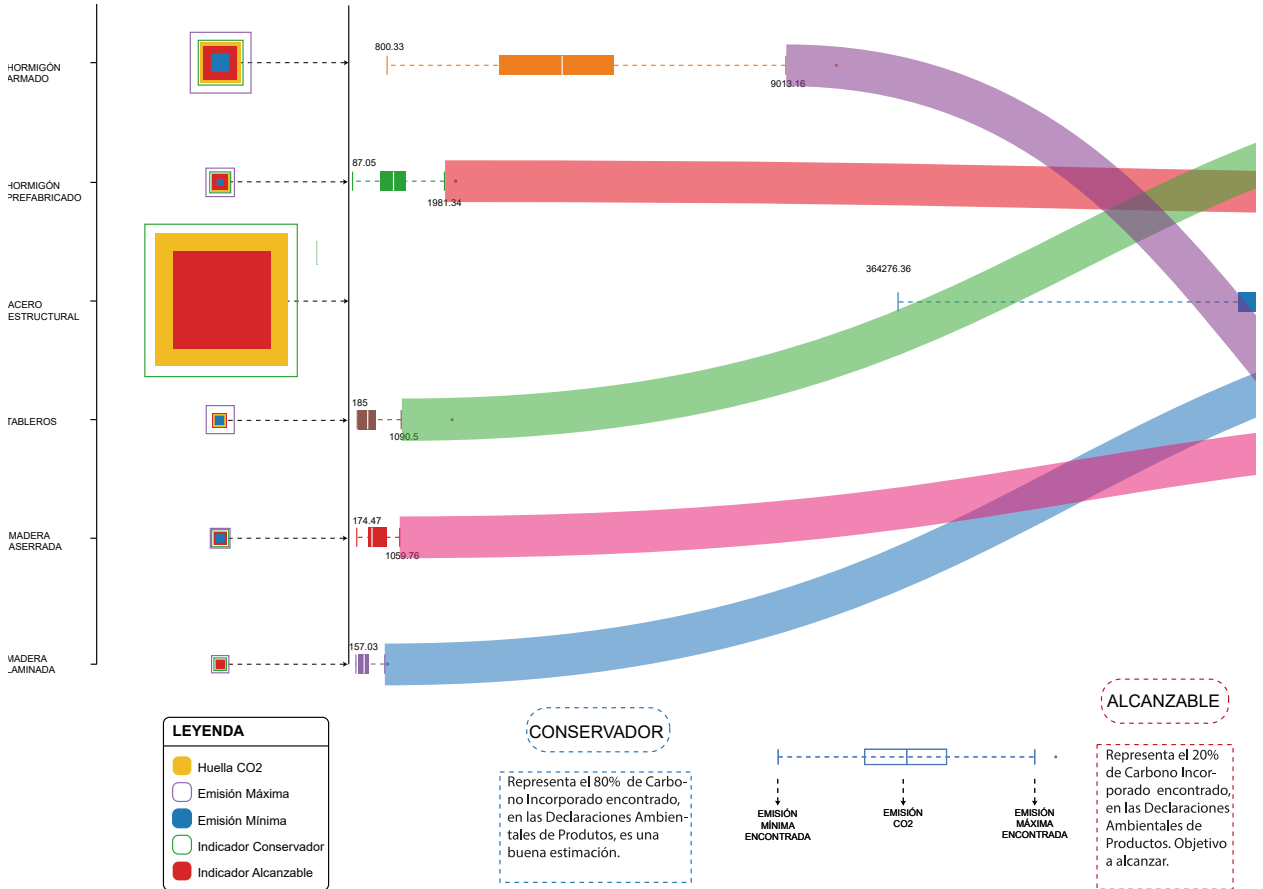
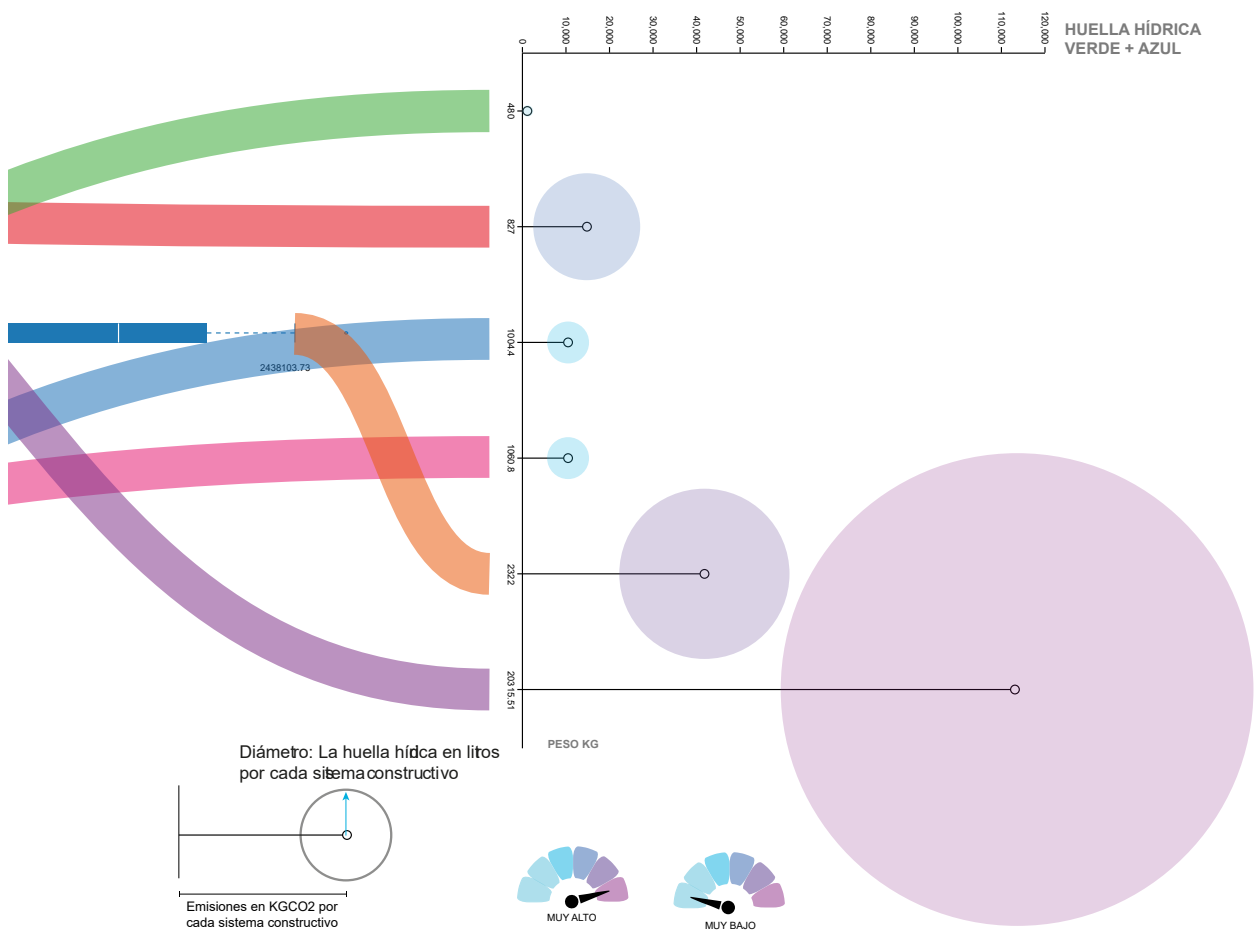


Tabla 26. Resultados comparativos de huella ambiental y huella hídrica

Autor: Elaboración propia, 2023



3.1.3. CONFORT INDUSTRIA + COSTOS + CONFORT CONSUMIDOR ENTRE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

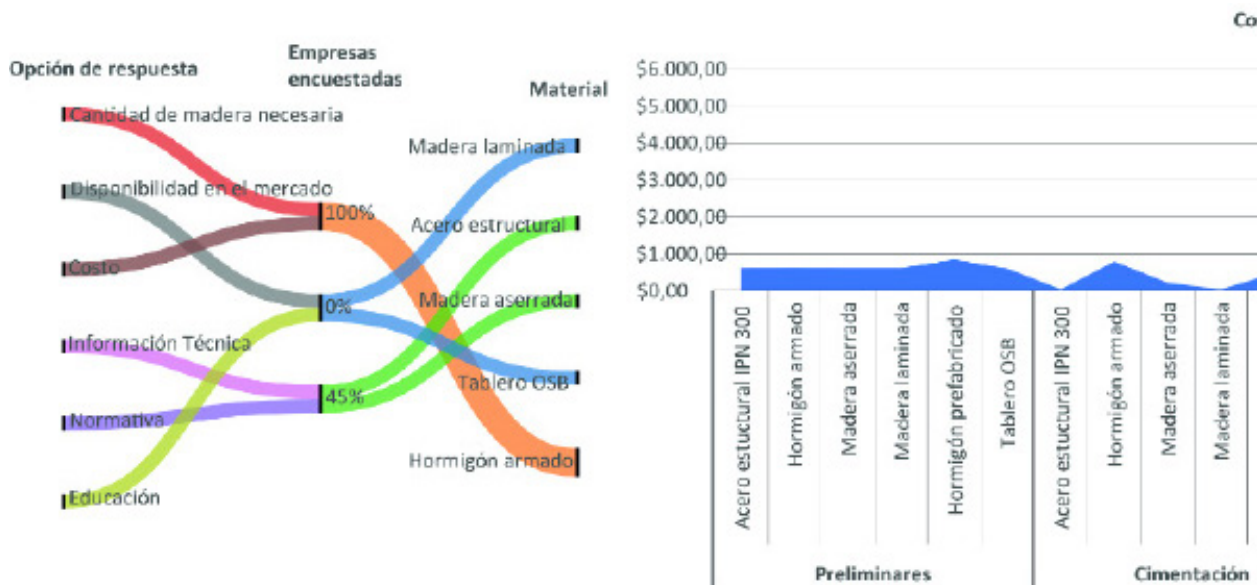
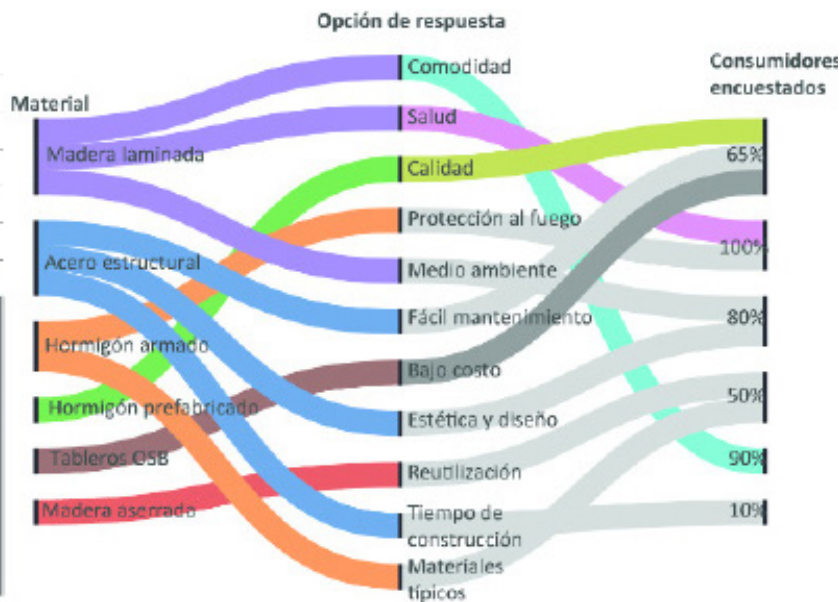
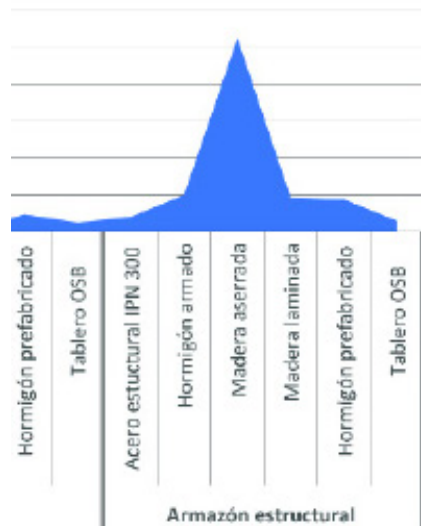


Tabla 27. Resultados encuestas aceptación y confort .

Autor: Elaboración propia en base a los análisis de J. Acosta, 2023

sto



3.1.4. TENDENCIAS DE LAS ENCUESTAS DE CONFORT

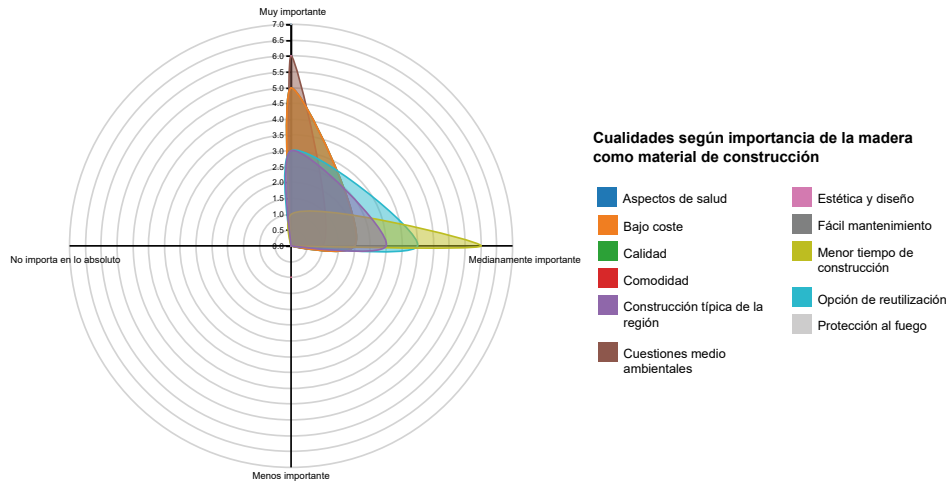


Tabla 28. Resultados encuestas aceptación consumidor.

Autor: Elaboración propia, 2023

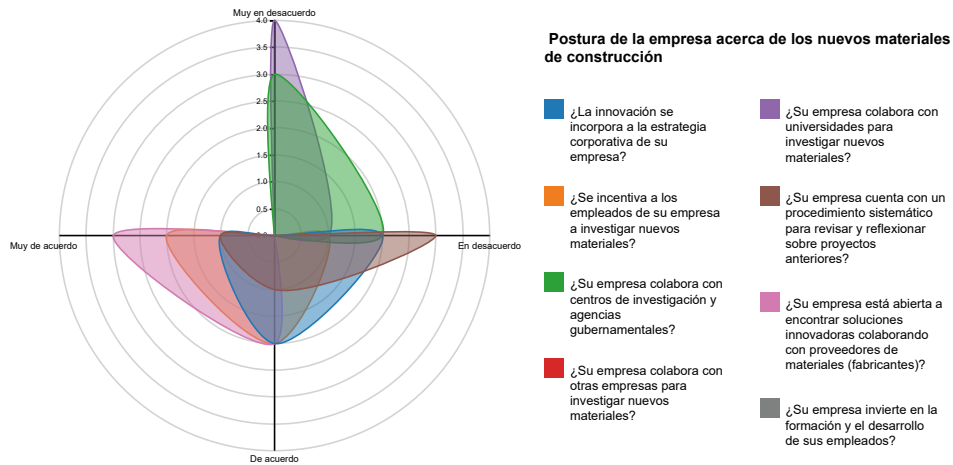


Tabla 29. Resultados encuestas aceptación constructor .

Autor: Elaboración propia, 2023



3.2. Reflexiones Finales

3.2.1 HUELLA AMBIENTAL

En los resultados obtenidos en la tabla 25 se muestra que dentro de la obtención y la fabricación de elementos de los sistemas constructivos existe una brecha significativa en cuanto a carbono incorporado por materiales, el sistema constructivo de hormigón armado supera ampliamente al de madera laminada.

En cuanto a los análisis de elementos constructivos de cada sistema en las tablas 24 que representa el análisis de emisiones de carbono conservativo y alcanzable se aprecia claramente que el acero de refuerzo y el hormigón emiten cantidades más amplias de CO₂.

3.2.2 HUELLA HÍDRICA

En los resultados obtenidos en la tabla 24 se muestra que durante la fabricación de los materiales y su puesta en obra se acumula el consumo hídrico denominado cadena de suministro (explicado en la fundamentación teórica), esto explica el consumo de huella hídrica azul + verde y la huella hídrica total, los resultados muestran que el sistema que genera más consumo hídrico azul + verde es claramente el sistema constructivo de hormigón armado esto se explica debido a que durante todo su proceso se utiliza agua.

En cuanto a los análisis de elementos constructivos de cada sistema en las tablas 24 y 25 que representa el análisis de consumo hídrico, se evidencia que en la tabla 24

el consumo hídrico de la madera es mayor al de la cimentación hay tomar en cuenta el volumen y peso de la madera utilizada por lo que el consumo no se considera elevado, en cuanto a la tabla 25 se evidencia un claro aumento en consumo de recurso hídrico durante todo el proceso.

3.2.3 COSTOS

En la tabla 28 se muestran los resultados finales del análisis de los precios unitarios por cada material de los sistemas constructivos analizados, Se evidencia que en cuanto a la construcción de la estructura de madera laminada para la construcción de un prototipo de vivienda de 36 m² los costos pueden disminuirse.

En la tabla 26 que muestra la proporción de los costos en cuanto al costo final, se evidencia que dentro del sistema constructivo de hormigón armado las cimentaciones y estructura tienen los rubros más elevados entre la comparativos de los sistemas analizados.

3.2.4 CONFORT

Los análisis muestran que la madera laminada aún no es material que dispute una primera elección de material de construcción, aunque la mayoría de los constructores conoce las capacidades y propiedades de la madera laminada tienen dudas al contestar sobre el precio en este momento e incluso en un futuro cercano.



3.3. Recomendaciones

Para la elección de materialidad en proyectos de vivienda de baja altura se tomar en consideración la elección de sistema constructivo de madera esto debido a un significativo comportamiento de eficiencia, confort y menor efecto de huella ambiental.

Para futuras estimaciones en el aspecto estructural se recomienda realizar ensayos de esfuerzos en laboratorios , con los distribuidores de material de la zona debido a que la madera es un material que se forma con diferentes aspectos ambientales.

En cuanto a la variable huella ambiental, en futuros proyectos se debería considerar la contabilidad de afectación del transporte de materiales constructivos, este factor denominada indirecto se lo puede obtener conociendo el sistema de transporte directamente con los proveedores.

Las variables que se desarrollaron en el proyecto tuvieron un camino cuantitativo sin embargo no se extendió a una medición cualitativa siendo un factor muy afectado a causa de la industria de la construcción, como la pérdida de diversidad, afectación al paisaje,...etc.



4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albornoz, J. (2015). Cálculo de la huella de carbono asociada a la elaboración de hormigones geopoliméricos en Chile. Publicado por la Universidad de Chile. Santiago, Chile. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/134660/Calculo-de-la-huella-de-carbono-asociada-a-la-elaboracion-de-hormigones....pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Alvarado, M. S. (2021). Determinación del consumo energético y emisión de CO₂ en los procesos de fabricación del adobe. Azuay, Ecuador. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10926>

Arriaga, F. (2007). Eficacia estructural y energética de la madera como material de construcción. Artículo científico Asociación de Investigación de Industrias de madera. Madrid, España. https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_2649_10095.pdf

Binderholtz. (2013). TAGS madera laminada encolada elementos binderholz resistencia elevada gracias valores grandes habitissimo. 2-3.

Carrasco, A., Cárdenas, C. Crespo, E. (2012). Catálogo de productos maderables y empresas certificadas en el Ecuador: un apoyo para las compras públicas responsables. Quito, Ecuador. 5-11. <https://www.traffic.org/site/assets/files/6449/catalogo-de-productos-maderables.pdf>

Catalá, J. (2014). Diseño y validación de un procedimiento de cálculo de la huella de carbono en una administración local. Universidad Miguel Hernández De Elche. Alicante, España. <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/1755/1/Tesis%20J%20Catala%20Goyanes.pdf>

Dixon, R. (2006). Revista de respuesta científica Estrategias de mitigación y adaptación para el cambio climático y los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas. 667-691.

Espinoza, C & Beatriz, M. (2018). Impacto en el confort visual y bienestar: integración de revestimientos en madera. Artículo científico. Universidad Austral de Chile. Puerto Montt, Chile <http://revistas.uach.cl/index.php/aus/article/view/6028/7139>

Galarza, M. (2015). Aplicación de la teoría Zig-Zag Refinada para el análisis de vigas laminadas de Madera. Tesis de Postgrado en ingeniería estructural. Escola de Camins. Barcelona, España. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/>

handle/2117/80099/TFM_mikel.puy.pdf

García, M & Benedetti S. (2021). La madera como material para la construcción: mitos, realidades y oportunidades. Artículo de divulgación. Instituto Forestal. 5. Santiago, Chile. <https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/31358/31358.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gibbs Michael J, Soyka Peter, & Conneely David. (2001). CO2 Emissions from Cement Production. In Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Grupo Intergubernamental de expertos sobre cambio climático IPCC. Ginebra, Suiza. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/3_1_Cement_Production.pdf

Habbert, G, et. al. (2010). Cement production technology improvement compared to factor 4 objectives. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. París, Francia. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884609003408>

Hoekstra, A (2010). Manual de evaluación de la huella hídrica Establecimiento del estándar mundial. Water Footprint Network. Madrid, España. https://waterfootprint.org/media/downloads/Water_Footprint_Assessment_Manual_Spanish.pdf

INEC. (2012). INFOECONOMÍA. La Industria de la Construcción es el mayor empleador del mundo. Quito, Ecuador. 1-2. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wpcontent/descargas/Infoeconomia/info10.pdf>

Lilian, E. (2015). El hormigón como fuente de captación de dióxido de carbono. Artículo Científico de la Unidad de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Civil (UIDIC). La Plata, Argentina. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/47487/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Macchia, J (2009). Computos, costos y presupuestos. Nobuko. Buenos Aires, Argentina. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=qLszEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=costos+en+la+construcci%C3%B3n&ots=5zp4MorDr3&sig=u2mHZ7uUvo_RfrHgLM_nj7DXIXQ#v=onepage&q=costos%20en%20la%20construcci%C3%B3n&f=false

MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, Dirección General de Planificación, “Plan de Uso y Ocupación del Suelo (PUOS) del Distrito Metropolitano de Quito”.

Vazques, J. (2007). Afectación socio - ambiental por procesos de urbanización en la parroquia de Calderón. 54. Escuela Politécnica del Ejército ESPE. Sangolquí, Ecuador. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/2339?locale-attribute=en>

Muñoz & Quiroz. (2014). Análisis de ciclo de vida en la determinación de la energía contenida y la huella de carbono

en el proceso de fabricación del hormigón premezclado. Caso de estudio planta productora Región del Bio Bio Chile. Concepción, Chile. <https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/447/410>

NORMATIVA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, NEC. (2014). Estructura de Madera. Ministerio de Desarrollo Urbano de vivienda. Quito, Ecuador. <https://online.portoviejo.gob.ec/docs/nec8.pdf>

Peinado, M. (2018). Población, cambio climático y huella ambiental. Colaboración de la Universidad Alcalá. Madrid, España. <https://ecozona.eu/article/view/2172/2579>

Reina, L. (2013). Diagnóstico ambiental de la actividad minera de materiales petreos en las canteras del sector de Calderón, Provincia de Pichincha. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6169>

Romero, J. (2016). Cálculo de la huella ecológica institucional de la Universidad Técnica del Norte campus El Olivo en el periodo enero-diciembre de 2015, en la ciudad de Ibarra Ecuador. Universidad Internacional SEK. Quito, Ecuador. <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2560/3/TESIS.pdf>

Tetré, J. & Burriel, A. (2018). Hormigón con árido reciclado monografía. Cementos Portland Monterrey CEMEX. Madrid, España.8. https://www.hormigonespecial.com/~pdfs/MONOGRAFIA_RECICLADO.pdf

UAM. (2019). Estimación de la huella hídrica de una promoción residencial. Informe de estudio de caso vinculada a la construcción. Fundación de la Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España. https://eventos.uam.es/_files/_event/_33229/_editorFiles/file/Informe_UAM-ViaCelere_WEB.pdf

Vazquez, K. (2016). Análisis de inventario del ciclo de vida en la determinación de la energía contenida y las emisiones de CO2 en el proceso de fabricación del hormigón premezclado: caso de estudio: PLANTA PREMEZCLADORA DE LA CIUDAD DE CUENCA. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador. file:///C:/Users/jose1/Downloads/MC3-KGVC-NOV%202016%20JBV.pdf

Waisfeld, B & Sferco, E. Revista científica de Centro de Investigaciones de Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/cicterranea/article/download/32101/32938/106589>

Wiche, P., Rodríguez, B., Granato, D. Estado del Arte de Huella de Carbono para Edificaciones: Resumen para Tomadores de Decisiones. Publicado por Instituto de la Construcción, 2020. Santiago, Chile. <https://www.certificacionsustentable.cl/wp-content/uploads/2021/01/Producto-4-Resumen-para-tomadores-de-decisiones-FINAL.pdf>

5. ANEXOS

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
NOMBRE DE Modulo hormigon prefabricado					
GRUPO : General					
RUBRO:	LIMPIEZA DEL TERRENO			UNIDAD: m2	
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
HERRAMIENTA MENOR (5%)					0,05
SUBTOTAL M					0,05
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	Costo Hh	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peon	2,00	3,51	7,02	0,133	0,93
SUBTOTAL N					0,93
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Guantes	u	3,00	1,50	4,50	
SUBTOTAL O				4,50	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C = A x B	
				0,00	
				0,00	
SUBTOTAL P				0,00	
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N)	
				5,48	
				INDIRECTOS 18%	
				0,98	
				COSTO TOTAL DEL RUBRO:	
				6,46	

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
NOMBRE DE Modulo hormigon prefabricado						
GRUPO :	General					
RUBRO:	REPLANTEO Y NIVELACION SIN EQUIPO TOPOGRAFICO			UNIDAD:	m2	
EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
HERRAMIENTA MENOR (5%)					0.05	
SUBTOTAL M					0.05	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	CANTIDAD	Costo Hh	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A x B	R	D = C x R	
Albañil	1,00	3,55	3,55	0,1	0,36	
Peon	2,00	3,51	7,02	0,1	0,70	
SUBTOTAL N					1.06	
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
		A	B	C = A x B		
Estaca	u	4,00	1,00	4.00		
Flota	u	1,00	1,00	1.00		
Clavos	kg	1,00	1,50	1.50		
Cementina	funda	1,00	1,50	1.50		
SUBTOTAL O				8.00		
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		
		A	B	C = A x B		
				0.00		
				0.00		
SUBTOTAL P				0.00		
TOTAL COSTO DIRECTO (M+)					9.11	
INDIRECTOS 18%					1.64	
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					10.75	

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: Replanteo de Hormigón simple fc = 180				UNIDAD: m3	
DETALLE:					
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HOR	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Concretera 1 saco	1	3,750	3,750	1,000	3,75
Herramienta menor 5% MO	0,05	4,508	0,225	1,000	0,23
SUBTOTAL M					3,98
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEG)	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HOR	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peón I		3,180	0,000	2,000	0,00
Albañil III	1	3,220	3,220	1,400	4,51
SUBTOTAL N					4,51
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Cemento	sac	6,180	7,520	46,47	
Agua	m3	0,240	1,000	0,24	
Arena	m3	0,650	14,000	9,10	
Ripio	m3	0,950	14,000	13,30	
SUBTOTAL O				69,11	
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL P				0,00	
OBSERVACIONES:	TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				77,60
	INDIRECTOS Y UTILIDADES %				11,64
	COSTO TOTAL DEL RUBRO				89,24
	VALOR OFERTADO				89,24



Quito, 2023