

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

**FACULTAD DE CIENCIAS DEL TRABAJO Y
DEL COMPORTAMIENTO HUMANO**

**Trabajo de Titulación Previo a la Obtención del Título de
INGENIERO CIVIL**

**COMPARATIVO DE COSTOS Y DISEÑO AL CONSTRUIR UNA VIVIENDA DE
56M2 CON BAMBU Y HORMIGON ARMADO.**

BRYAN STEVEN VIZCAINO DAVILA

Quito, 26 Junio del 2023

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, BRYAN STEVEN VIZCAINO DAVILA, con cédula de identidad # 172072988-6, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual que correspondan relacionados a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

D. M. Quito, Junio del 2023

BRYAN STEVEN VIZCAINO DAVILA

Correo electrónico: bryan.vizcaino@uisek.com.ec

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“Comparativo de costos y diseño al construir una vivienda de 56m² con bambú y hormigón armado.”

Realizado por:

BRYAN VIZCAINO

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

ha sido dirigido por el profesor

ING.LUIS SORIA

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

FIRMA

Comparativo de costos y diseño al construir una vivienda de 56m2 con bambú y
hormigón armado.

Por

BRYAN STEVEN VIZCAINO DAVILA

Junio 2023

Aprobado:

Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial, Tutor
Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial, Presidente del Tribunal
Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial, Miembro del Tribunal
Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial, Miembro del Tribunal

Aceptado y Firmado: _____ día, mes, año
Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial.

Aceptado y Firmado: _____ día, mes, año
Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial.

Aceptado y Firmado: _____ día, mes, año
Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial.

_____ día, mes, año

Primer Nombre, Inicial, Primer Apellido, Inicial.
Presidente(a) del Tribunal
Universidad Internacional SEK

Dedicatoria

No más de una página

Dkfj adsf asd;dlfkja dkfa dkfj d;lfjasldk foadlf asdkjasd kdjfh kd kasjdfk kjf kahfdkf

kjdf kajdhfa kjff

Agradecimiento

No más de una página

Dkjfhakjsdf akdf dkfackf a asldskf kdfasdkfhdkhasdsdiufoasuf a asdoifasd oa adiofu

asodadoiiias dfoiasfio ad

Este trabajo de tesis fue realizado bajo el Programa de Investigación:

Nombre de Programa

FACULTAD DE INGENIERIA

Y con el financiamiento de

(colocar el que aplique)

Proyecto de Investigación de la Dirección de Investigación e Innovación

DII-UISEK-PXXXXX_X.X

Resumen

El presente estudio de postgrado se enfoca en comparar los costos y el diseño de viviendas de 56m² construidas con bambú y hormigón armado en Ecuador. El objetivo es evaluar la viabilidad económica y las implicaciones estructurales y ambientales de ambos sistemas constructivos. Se utilizó un enfoque de estudio de casos, analizando proyectos representativos en diversas ubicaciones del país. Se aplicaron normativas de construcción y métodos de diseño sismorresistente. Los resultados indican que el sistema constructivo mixto de bambú es un 6% más económico y más rápido en términos de ejecución de obra. Además, presenta una menor carga reactiva y un menor impacto ambiental en comparación con el sistema convencional de hormigón armado. Se concluye que el uso de bambú en la construcción ofrece ventajas económicas y ambientales significativas, destacando su potencial para promover la sostenibilidad en el sector de la construcción en Ecuador

Palabras clave: Hormigón, Bambú, Costos, Construcción, Comparación, Diseño.

Abstract

The present postgraduate study focuses on comparing the costs and design of 56m² homes built with bamboo and reinforced concrete in Ecuador. The objective is to evaluate the economic viability and the structural and environmental implications of both construction systems. A case study approach was used, analyzing representative projects in various locations across the country. Construction regulations and earthquake-resistant design methods were applied. The results indicate that the mixed bamboo construction system is 6% cheaper and faster in terms of work execution. In addition, it has a lower reactive load and a lower environmental impact compared to the conventional reinforced concrete system. It is concluded that the use of bamboo in construction offers significant economic and environmental advantages, highlighting its potential to promote sustainability in the construction sector in Ecuador.

Keywords: Concrete, Bamboo, Costs, Construction, Comparison, Design.

Tabla de Contenidos

Lista de Tablas	xiii
Capítulo 1: Introducción	1
1.1. Análisis de la Perspectiva de Crecimiento del Sector de la Construcción con Bambú y Hormigón Armado	2
1.2 Aporte del Sector de la Construcción con Bambú y Hormigón Armado a la Economía del Ecuador	4
Capítulo 2: Marco Teórico	7
2.1. Materiales de Construcción	7
2.2. Técnicas de Construcción con Bambú	9
2.3 Técnicas de Construcción con Hormigón Armado.	47
2.4. Criterios de diseño del Hormigón	87
2.4.1. Seguridad en el diseño	87
2.4.2. Las cargas y las combinaciones de carga para el diseño de estructuras de hormigón armado	89
2.4.3. Los factores de reducción de la capacidad resistente:	90
2.5 Impacto Ambiental y Sostenibilidad en la Construcción con Bambú y Hormigón Armado	93
2.6 Evaluación de Riesgos y Beneficios en la Construcción con Bambú y Hormigón Armado.	97
2.7. Diferencias entre el bambú y el hormigón armado.	99
2.8. Comparación entre Bambú y Hormigón Armado para la Promoción de Viviendas de Interés Social	103
	10

2.10. Análisis estructural del bambú y del hormigón armado	107
2.11. Diferencias físicas y mecánicas entre el bambú y el hormigón armado	110
Capítulo 3: Metodología de Investigación y Materiales	113
3.1. Diseño Muestral/Experimental	114
3.2. Técnica de Recopilación de Datos:	114
3.3. Análisis Estadísticos y Comparativos	114
3.4. Impacto Ambiental y Económico	115
3.5. Diseño y proceso de industrialización de la caña guadúa.	115
Cimentación y levantamiento de columnas de caña:	115
Propuestas Alternativas.	116
Cimiento y Sobrecimiento:	116
Columnas pre - fabricadas:	116
Paredes y tabiques:	117
Paredes y divisores para espacios interiores:	118
Cortes y tipos de anclaje para columnas y vigas de estructuración.	118
Juntas permanentes de bambú:	118
Tableros de fibras trituradas de caña guadúa:	118
Láminas de control acústico y control de temperatura	120
Experimentación:	120
MODELO ARQUITECTÓNICO DE HORMIGÓN ARMADO Y BAMBU PARA UNA VIVIENDA DE 56M2.	122
3.6 Diseño y proceso de industrialización del hormigón armado.	124
Ahorro Energético:	125
Aislamiento:	125

Producto Local y Transporte:	125
Durabilidad:	125
Reciclabilidad:	126
PROCESO DE CONSTRUCCIÓN:	126
Es posible maximizar el rendimiento productivo de la composición tradicional del hormigón	
127	
Los procedimientos de hormigonado no son uniformes para todos los tipos de hormigones.	
128	
Es posible prevenir los fallos constructivos y las anomalías en el hormigón.	130
Lograr un ritmo constante en el proceso de hormigonado tiene un impacto significativo en la velocidad y eficiencia de todo el procedimiento.	131
Los moldajes pueden convertirse en un valioso aliado para optimizar un diseño arquitectónico en hormigón.	132
Capítulo 4: análisis de resultados	134
Análisis de Costos en la Construcción	134
Diseño estructural hormigón armado	145
Diseño estructural Bambú	147
Capítulo 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	152
Bibliografía	157

Lista de Tablas

Tabla 1	Conicidad admisible del GaK	19
Tabla 2	Límites de fisuras en la Gak	19
Tabla 3	Bases para el diseño estructural	21
Tabla 4	Esfuerzos admisibles y módulos de Elasticidad	25
Tabla 5	Esfuerzos Admisibles	25
Tabla 6	Módulo de elasticidad del material	26
Tabla 7	Factores de reducción de resistencia	28
Tabla 8	Duración de cargas diferentes	29
Tabla 9	Por contenido de humedad	30
Tabla 10	Por Temperatura	31
Tabla 11	Fórmulas para el cálculo de deflexiones	34
Tabla 12	Deflexiones admisibles	34
Tabla 13	Módulo de elasticidad	35
Tabla 14	Módulos de elasticidad	62
Tabla 15	Índice de ductilidad por deformación	64
Tabla 16	Resistencia de la tracción del hormigón.	65
Tabla 17	Área transversal y peso por metro lineal de barras de acero.	73
Tabla 18	Área transversal de múltiples barras de acero.	73
Tabla 19	Comportamiento del hormigón armado	82
Tabla 20	Comparación entre bambú y hormigón armado	103
Tabla 21	Propiedades físicas y mecánicas	110
Tabla 22	Tratamiento del bambú y del hormigón armado	112

Ilustración 1	Falla de compresión	20
Ilustración 2	Espesor real	24
Ilustración 3	Protección por diseño	38
Ilustración 4	Protección por diseño	39
Ilustración 5	Cimentación y Sobrecimiento	41
Ilustración 6	Cimentación o Sobrecimiento	41
Ilustración 7	Elementos constructivos	44
Ilustración 8	Vigas	45
Ilustración 9	Vigas	46
Ilustración 10	Vigas	46
Ilustración 11	Técnicas de Hormigón Armado	51
Ilustración 12	Proceso de elaboración de cemento Portland	53
Ilustración 13	Áridos del Hormigón	55
Ilustración 14	Combinación con agregado grueso	56
Ilustración 15	Combinación de pasta de cemento	57
Ilustración 16	Combinación de agregado grueso y agregado fino	57
Ilustración 17	Combinación de cristales adhesivos, porosidades y cemento no hidratado	57
Ilustración 18	Curva técnica Resistencia - Relación a/c	58
Ilustración 19	Tipo de revestimiento	59
Ilustración 20	Resistencia en diferentes tipos de hormigón	59
Ilustración 21	Frecuencia - Resistencia	60
Ilustración 22	Curva esfuerzo-deformación de hormigón de diferentes resistencias	61

Ilustración 23 Rango elástico (tramo 1) e inelástico (tramo 2) de hormigones de diferentes resistencias.	61
Ilustración 24 Representación del módulo de la elasticidad del hormigón.	62
Ilustración 25 Deformaciones unitarias máximas de rango elástico e inelástico.	63
Ilustración 26 Prueba directa de tracción	64
Ilustración 27 Deformaciones en el hormigón bajo cargas axiales a largo plazo	65
Ilustración 28 Cargas axiales en el hormigón bajo deformaciones axiales a largo plazo	66
Ilustración 29 Trabajabilidad	66
Ilustración 30 Densidad	67
Ilustración 31 Hormigón Impermeable	67
Ilustración 32 Pavimento Rígido de hormigón resistente a la abrasión	68
Ilustración 33 Corrugado en las varillas de acero	72
Ilustración 34 Curvas esfuerzo – deformación de los aceros estructurales	75
Ilustración 35 Rango elástico del acero estructural.	75
Ilustración 36 Zona de fluencia del acero estructural.	76
Ilustración 37 Esfuerzo de fluencia en aceros según ACI	77
Ilustración 38 Resistencia a la Rotura del acero de refuerzo	77
Ilustración 39 Deformaciones unitarias de fluencia y última.	79
Ilustración 40 Energía de deformación elástica	80
Ilustración 41 Energía de deformación última.	80
Ilustración 42 Comportamiento del hormigón armado a compresión, hasta el rango elástico del acero y dentro del rango inelástico del hormigón.	83
Ilustración 43 Esfuerzos en el hormigón y el acero, hasta la rotura del hormigón y dentro del rango plástico del acero.	83

Capítulo 1: Introducción

La industria de la construcción se encuentra en un punto de inflexión en el siglo XXI, enfrentando desafíos sin precedentes y oportunidades transformadoras, en este contexto dinámico, la búsqueda de soluciones sostenibles, eficientes y resilientes se ha convertido en un imperativo esencial. El presente estudio se adentra en lo principal de esta evolución, explorando las innovaciones actuales y las futuras tendencias en la construcción con dos materiales destacados, como son el bambú y el hormigón armado.

Históricamente, la construcción ha sido una disciplina arraigada en tradiciones y materiales convencionales, sin embargo, el aumento de la urbanización, la creciente conciencia ambiental y los desafíos climáticos han generado un cambio de paradigma; por lo que la necesidad de edificaciones más sustentables, capaces de resistir desastres naturales y reducir la huella de carbono, ha impulsado una carrera hacia la innovación.

En este sentido, el bambú, un recurso natural ampliamente disponible en diversas partes del mundo, ha experimentado una resurrección impresionante en la construcción contemporánea; tradicionalmente utilizado en muchas culturas, el bambú ha demostrado su resistencia y versatilidad, pero la percepción de sus limitaciones técnicas ha frenado su adopción generalizada, no obstante, la investigación y la ingeniería moderna han catalizado una revolución en la forma en que el bambú se utiliza en la construcción (Vilela y otros, 2020).

Por otro lado, el hormigón armado, un pilar fundamental en la construcción moderna, también está experimentando transformaciones profundas, aunque ha demostrado su confiabilidad en una variedad de aplicaciones, el desafío de la huella ambiental del cemento y las demandas de eficiencia energética han llevado a la búsqueda de variantes más sostenibles,

así como innovaciones en el diseño, la mezcla de concreto y la incorporación de refuerzos avanzados están redefiniendo la naturaleza misma del hormigón (Carles, 2014).

En esta búsqueda de mejorar la construcción, las innovaciones y tendencias emergentes se convierten en oportunidades claras. Por lo tanto, la combinación de bambú y hormigón armado con la tecnología digital está dando lugar a sistemas constructivos híbridos y personalizables; la prefabricación y la impresión 3D están revolucionando la velocidad y eficiencia de los proyectos y la sostenibilidad se convierte en un eje central, con enfoques como la economía circular y el diseño regenerativo influyendo en la toma de decisiones (López y otros, 2021).

En este contexto, la construcción con bambú y hormigón armado personifica esta dualidad, fusionando conocimientos ancestrales con tecnologías vanguardistas, a medida que se avanza hacia un futuro de resiliencia y sostenibilidad, la exploración y adopción de estas innovaciones y tendencias determinarán la forma de nuestro entorno construido y, en última instancia, de nuestra calidad de vida.

1.1. Análisis de la Perspectiva de Crecimiento del Sector de la Construcción con Bambú y Hormigón Armado

El sector de la construcción con bambú y hormigón armado se encuentra en un encuentro importante, donde la convergencia de la innovación y la sostenibilidad está dando forma a su perspectiva de crecimiento, por lo que esta evolución es impulsada por una serie de factores interconectados que configuran el panorama actual y futuro de esta industria en constante transformación.

La creciente conciencia ambiental y la búsqueda de soluciones construidas más amigables con el entorno han colocado la sostenibilidad en el centro de atención; tanto el bambú como el hormigón armado ofrecen oportunidades significativas para reducir la huella

de carbono de la construcción, la rápida regeneración del bambú y su capacidad para almacenar carbono lo convierten en una alternativa atractiva a materiales tradicionales, mientras que las innovaciones en la producción de cemento y el diseño del hormigón buscan minimizar su impacto ambiental (López y otros, 2021).

Por lo tanto, se destaca la importancia de la sostenibilidad en la construcción y presenta el bambú y el hormigón armado como dos alternativas con ventajas ambientales, mientras que el bambú se beneficia de su regeneración rápida y su capacidad de almacenar carbono, el hormigón armado busca reducir su impacto ambiental a través de innovaciones en su producción y diseño; esta comparación subraya la evolución hacia prácticas constructivas más amigables con el entorno.

La tecnología está revolucionando la industria de la construcción. El uso de avanzadas técnicas de modelado, simulación, fabricación aditiva (como la impresión 3D) y realidad virtual y aumentada está impulsando la precisión, la eficiencia y la innovación en todos los aspectos del ciclo de vida de un proyecto de construcción. Esta convergencia tecnológica está transformando la forma en que se planifican, diseñan y construyen estructuras, lo que promete un futuro emocionante para la industria de la construcción.

Una de las fortalezas clave de la construcción con bambú y hormigón armado es su adaptabilidad a diversos contextos geográficos y culturales, el bambú, por ejemplo, es una solución especialmente atractiva en áreas donde es abundante, brindando una opción de construcción sostenible y de bajo costo. Por otro lado, el hormigón armado, con su resistencia y durabilidad, es valioso en zonas propensas a desastres naturales.

De tal manera que la creciente urbanización y la necesidad de edificaciones más eficientes y resistentes impulsan la demanda de soluciones constructivas innovadoras. La construcción con bambú y hormigón armado responde a esta demanda al proporcionar estructuras robustas y duraderas, la flexibilidad del bambú y la resistencia del hormigón

armado son atributos esenciales en un entorno donde las edificaciones deben enfrentar desafíos cada vez más diversos (Bello & Villacres, 2021).

El crecimiento del sector también está intrínsecamente vinculado a la educación y la conciencia pública. A medida que más profesionales de la construcción, arquitectos y diseñadores comprendan las ventajas y aplicaciones de estos materiales, es probable que aumente su adopción. La divulgación de las ventajas económicas, ambientales y técnicas de la construcción con bambú y hormigón armado es fundamental para su crecimiento sostenido.

Por lo tanto, la perspectiva de crecimiento del sector de la construcción con bambú y hormigón armado es prometedora y emocionante, es decir, la sinergia entre la sostenibilidad, la innovación tecnológica y la adaptabilidad a diferentes contextos impulsa este crecimiento; a medida que la demanda de edificaciones eficientes y resistentes aumenta, estos materiales emergen como soluciones versátiles y atractivas.

1.2 Aporte del Sector de la Construcción con Bambú y Hormigón Armado a la Economía del Ecuador

El sector de la construcción en el Ecuador despliega un papel crucial en la economía del país, generando empleo, contribuyendo al Producto Interno Bruto (PIB) y catalizando el desarrollo infraestructural, por lo que la adopción y promoción de técnicas de construcción con materiales sostenibles como el bambú y el hormigón armado no solo pueden revolucionar la industria, sino también fortalecer la economía ecuatoriana a múltiples niveles.

La construcción es un sector intensivo en mano de obra, y la adopción de técnicas de construcción con bambú y hormigón armado podría aumentar significativamente la demanda de trabajadores calificados y no calificados, que se traduce en un mayor empleo y un impacto directo en la reducción de la tasa de desempleo del país, además, la expansión del sector impulsaría la demanda de servicios auxiliares como transporte, logística y manufactura de

materiales, estimulando así la economía a través de una cadena de suministro ampliada (CEPAL, 2022).

Es decir, se resalta un importante aspecto económico y social de la construcción con bambú y hormigón armado, el aumento en la demanda de mano de obra y servicios auxiliares que esta transición podría generar tiene el potencial de tener un impacto positivo en la economía del país. La creación de empleo en el sector de la construcción, tanto para trabajadores calificados como no calificados, podría contribuir a reducir las tasas de desempleo y mejorar las condiciones económicas de la población, la expansión de la industria de la construcción impulsaría otras áreas relacionadas, como el transporte, la logística y la manufactura de materiales, lo que podría tener efectos positivos en la cadena de suministro y, en última instancia, en la economía en su conjunto.

La inversión en investigación y desarrollo, así como en capacitación especializada, es esencial para aprovechar al máximo el potencial de los materiales sostenibles como el bambú y el hormigón armado. Al fortalecer la industria local y convertirse en un líder regional en construcción sostenible, el país puede atraer inversión extranjera y establecer colaboraciones internacionales que beneficiarán la economía y fomentarán la innovación en el sector de la construcción. Esta inversión en conocimiento y tecnología no solo es ventajosa desde una perspectiva económica, sino que también contribuye significativamente a la mitigación del impacto ambiental de la construcción.

El Ecuador actualmente depende en gran medida de la importación de materiales de construcción convencionales, la promoción de técnicas de construcción con bambú y hormigón armado permitiría reducir esta dependencia al aprovechar recursos locales disponibles en abundancia y la producción local de estos materiales sostenibles no solo

contribuiría a la autosuficiencia, sino que también reduciría la factura de importación y fortalecería la balanza comercial (CEPAL, 2022).

Al promover y adoptar estas técnicas, no solo se avanza hacia la sostenibilidad local, sino que también se alinean con los objetivos de sostenibilidad a nivel nacional y global. La posibilidad de obtener certificaciones de edificaciones verdes podría posicionar al Ecuador como un referente en construcción sostenible, lo que a su vez atraería inversión y reconocimiento internacional. La reducción de la huella de carbono en la construcción es una contribución significativa a los compromisos internacionales de mitigación del cambio climático, lo que subraya aún más la importancia de estas prácticas en el contexto actual.

La inversión en el desarrollo de un sector de construcción sostenible diversificaría la economía ecuatoriana, reduciendo su dependencia de industrias tradicionales, que incrementa la resiliencia económica y disminuiría la vulnerabilidad a las fluctuaciones de precios en los mercados globales de materias primas. La diversificación también permitiría al Ecuador aprovechar nuevas oportunidades de exportación de tecnologías y conocimientos en construcción sostenible.

En este sentido, la construcción con bambú y hormigón armado podría impulsar programas de vivienda asequible y mejorar la calidad de vida de la población, la adopción de estas técnicas permitiría construir viviendas más accesibles en términos de costos y más sostenibles en términos de recursos, que tendría un impacto directo en la reducción del déficit habitacional y en la mejora de las condiciones de vida de las comunidades más vulnerables, el aporte a la generación de empleo, la innovación, la sostenibilidad ambiental y la diversificación de la economía son solo algunos de los beneficios que podrían derivarse de esta transformación. Como país comprometido con la sostenibilidad y el desarrollo, el Ecuador tiene la oportunidad de liderar la adopción de prácticas constructivas innovadoras y sentar las bases para un futuro más resiliente y próspero.

Capítulo 2: Marco Teórico

2.1. Materiales de Construcción

La selección adecuada de materiales de construcción es esencial para el éxito de cualquier proyecto arquitectónico o de ingeniería, los avances en la tecnología de materiales han llevado a la diversificación y la mejora de las opciones disponibles para la construcción, en concreto este análisis se centra en la comparación de dos materiales particulares: el bambú y el hormigón armado, a través de la exploración detallada de sus propiedades y características, se busca proporcionar una base sólida para la toma de decisiones informadas en la selección de materiales para proyectos constructivos

El bambú, a menudo subestimado, ha demostrado ser un material sorprendentemente resistente y versátil, su resistencia a la compresión, tracción y flexión puede competir con materiales tradicionales como el acero, sin embargo, su respuesta mecánica puede variar significativamente según la especie y el proceso de tratamiento, por otro lado, el hormigón armado, una combinación de concreto y acero, ha sido ampliamente utilizado en construcción debido a su alta resistencia a la compresión y su capacidad para resistir cargas pesadas, la interacción sinérgica entre el concreto y el acero proporciona una capacidad excepcional para soportar fuerzas (Poveda, 2011).

En este contexto, el bambú presenta ciertas ventajas y desafíos. Aunque puede tener una vida útil significativa si se le da un tratamiento adecuado y se encuentra en condiciones de baja humedad, su susceptibilidad a la humedad y a los insectos implica la necesidad de medidas de preservación. En contraste, el hormigón armado se destaca por su durabilidad probada en diversas condiciones ambientales. Su resistencia al fuego, al agua y a la intemperie lo convierte en una elección fiable para estructuras destinadas a perdurar en el tiempo. Esta consideración resalta la importancia de evaluar las condiciones específicas del

entorno antes de seleccionar el material de construcción más apropiado para un proyecto determinado.

La sostenibilidad en la construcción es una consideración esencial en la actualidad, y el bambú emerge como una elección altamente sostenible, su rápido crecimiento y capacidad de regeneración lo convierten en una opción respetuosa con el medio ambiente, es decir, se requiere menos recursos para su cultivo y emite menos carbono en comparación con los materiales convencionales, además, el bambú funciona como un sumidero de carbono, contribuyendo activamente a la mitigación del cambio climático.

Por otro lado, la producción de hormigón armado implica la extracción intensiva de recursos naturales y la emisión de gases de efecto invernadero, lo que puede generar un impacto ambiental significativo, es evidente que la elección entre bambú y hormigón armado debe basarse en una evaluación cuidadosa de los objetivos de sostenibilidad y las condiciones específicas del proyecto, por lo que resulta importante encontrar un equilibrio entre la durabilidad y la sostenibilidad al seleccionar el material de construcción más adecuado.

En complemento, la versatilidad en el diseño y la construcción es esencial para la adaptación a diferentes necesidades y contextos. El bambú ofrece una flexibilidad excepcional en el diseño arquitectónico, su capacidad de curvatura y su ligereza permiten la creación de estructuras únicas y creativas, el bambú es utilizado en una variedad de aplicaciones, desde viviendas hasta puentes y muebles, por otro lado, el hormigón armado también es altamente versátil y puede moldearse en diversas formas y tamaños, lo que permite la construcción de estructuras de gran envergadura (SISMO, 2021).

La consideración del mantenimiento es fundamental en la elección de materiales de construcción; en el caso del bambú, es necesario un tratamiento adecuado para protegerlo de la humedad y los insectos. A pesar de esto, el mantenimiento del bambú puede ser manejable con un enfoque adecuado y seguimiento regular.

Por otro lado, el hormigón armado generalmente requiere menos mantenimiento en comparación con el bambú, sin embargo, es importante tener en cuenta que la corrosión del acero, especialmente en áreas húmedas, puede ser un problema potencial en estructuras de hormigón armado. La decisión entre estos dos materiales debe considerar la disponibilidad de recursos para el mantenimiento y las condiciones ambientales específicas del proyecto, en última instancia, un mantenimiento adecuado es esencial para garantizar la durabilidad y el rendimiento a largo plazo de cualquier estructura construida.

2.2. Técnicas de Construcción con Bambú

El bambú es una planta de rápido crecimiento que se caracteriza por su resistencia, flexibilidad y ligereza. Su uso en la construcción se remonta a miles de años, particularmente en Asia, donde se ha utilizado para crear estructuras duraderas y sostenibles. El bambú se considera un material renovable y respetuoso con el medio ambiente debido a su capacidad de crecimiento rápido y su contribución a la captura de carbono (Gonzalo, 2017).

El bambú posee una combinación única de propiedades que lo hacen atractivo para el diseño estructural. Estas propiedades incluyen una alta resistencia a la tracción y la compresión, una excelente relación resistencia-peso, una buena durabilidad y una capacidad de deformación antes de la falla. Comprender estas propiedades es fundamental para el diseño eficiente y seguro de estructuras de bambú.

El diseño estructural del bambú implica la aplicación de principios y teorías de ingeniería para garantizar la estabilidad y la resistencia de las estructuras. Esto incluye consideraciones como las cargas aplicadas, la distribución de esfuerzos, la conexión de elementos, la flexibilidad y la deformación. El diseño del bambú puede basarse en métodos tradicionales, así como en enfoques modernos y tecnologías avanzadas.

A medida que el interés en el uso del bambú en la construcción ha crecido, también lo ha hecho la necesidad de normativas y códigos de diseño específicos para garantizar la seguridad y la calidad de las estructuras de bambú. Algunos países han desarrollado normativas y códigos específicos, mientras que otros se basan en normativas existentes para la madera u otros materiales. Es importante comprender y aplicar estas normativas al diseño de estructuras de bambú.

El bambú se utiliza en una amplia gama de aplicaciones en la construcción, desde estructuras ligeras como viviendas y puentes peatonales, hasta elementos decorativos y revestimientos. La versatilidad del bambú permite su uso en diferentes contextos arquitectónicos y ofrece oportunidades para la innovación en el diseño sostenible.

Las técnicas de construcción con bambú han experimentado un renacimiento en los últimos años, impulsadas por la búsqueda de alternativas sostenibles y la necesidad de aprovechar recursos naturales renovables. El bambú, con su resistencia, versatilidad y capacidad de crecimiento rápido, se ha convertido en una opción atractiva para la edificación, este análisis profundiza en las diversas técnicas de construcción con bambú, explorando su aplicabilidad, ventajas y desafíos en la industria de la construcción.

Abarcan una amplia gama de enfoques, desde los métodos tradicionales utilizados por comunidades locales hasta las innovadoras técnicas modernas que incorporan tecnología y diseño avanzados, entre las técnicas tradicionales se incluyen el entrelazado, la atadura y el amarre, donde los tallos de bambú se unen para formar estructuras resistentes, en contraste, las técnicas modernas involucran tratamientos químicos, laminación, compresión y combinaciones con otros materiales (Gonzalo, 2017).

La consideración del mantenimiento es fundamental en la elección de materiales de construcción. En el caso del bambú, es necesario un tratamiento adecuado para protegerlo de

la humedad y los insectos, sin embargo, el mantenimiento del bambú puede ser manejable con un enfoque adecuado y seguimiento regular, por otro lado, el hormigón armado generalmente requiere menos mantenimiento en comparación con el bambú, es importante tener en cuenta que la corrosión del acero, especialmente en áreas húmedas, puede ser un problema potencial en estructuras de hormigón armado.

La durabilidad del bambú en la construcción depende en gran medida de los tratamientos y técnicas de preservación empleados, los tratamientos químicos, como la inmersión en soluciones protectoras, pueden mejorar la resistencia al agua y la protección contra insectos y hongos, la laminación y la compresión también se utilizan para aumentar la densidad y la durabilidad del bambú, por lo que es fundamental considerar el impacto ambiental de los tratamientos y optar por enfoques más sostenibles (Carles, 2014).

Una de las mayores ventajas de las técnicas de construcción con bambú es su contribución a la sostenibilidad, el bambú es un recurso renovable que puede cosecharse en un corto período de tiempo, lo que reduce la presión sobre los recursos naturales. Además, su capacidad para absorber carbono y su bajo consumo de energía en el procesamiento lo convierten en una opción ecológica, al elegir técnicas de construcción con bambú, se promueve la conservación de los bosques y la reducción de la huella de carbono en la industria de la construcción.

La *Guadua angustifolia* Kunth (GaK) es una variedad de bambú que se encuentra entre las más de mil doscientas especies de bambú identificadas en todo el mundo. Este bambú leñoso prospera en regiones tropicales y puede alcanzar alturas de hasta 30 metros aproximadamente, pertenece a la subfamilia de las gramíneas llamada bambusoideae y se diferencia de la madera por su rápido crecimiento y su capacidad para propagarse sin

necesidad de ser replantado tras su uso adecuado. Esto conlleva ventajas Fuentebles en términos de productividad y economía.

Las variedades de bambú del género Guadúa son originarias de Centro y Sudamérica, con alrededor de 32 especies en total. La *Guadua angustifolia* Kunth, sin embargo, es originaria de Colombia, Ecuador y Perú. A pesar de esto, otros países han comenzado a cultivarla debido a su potencial en diversos usos, como construcción, artesanías, muebles, laminados, entre otros, que se debe a sus propiedades físicas y mecánicas Fuentebles.

Desde la época precolombina, la GaK ha sido un material de elección para la construcción de diversas estructuras. Incluso hoy en día, existen edificaciones que han resistido la prueba del tiempo y fueron construidas hace más de un siglo en regiones como el Eje Cafetero de Colombia, así como en ciudades ecuatorianas como Guayaquil, Jipijapa y Montecristi. La costa norte de Perú, en ciudades como Piura y Tumbes, también tiene una rica tradición en la utilización de la caña guadúa como material principal para la construcción de viviendas.

La caña guadúa se distingue de otras especies por las excepcionales propiedades estructurales de sus tallos, como su impresionante relación entre peso y resistencia, que incluso se compara con la de algunas maderas, e incluso se menciona en relación con el acero y algunas fibras de alta tecnología, que se debe a su capacidad para absorber energía y resistir flexiones, lo que la convierte en un material ideal para la construcción de edificaciones resistentes a los terremotos, además, es importante tener en cuenta que, como materia prima local y recurso renovable, la GaK tiene el potencial de reducir la huella ecológica de las construcciones. Esto es especialmente relevante en un sector industrial que figura entre los más contaminantes del planeta.

Norma Ecuatoriana de la Construcción

- NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas).
- NEC-SE-DS: Peligro sísmico y requisitos de diseño sismorresistente.
- NEC-SE-RE: Riesgo sísmico, evaluación, y rehabilitación de estructuras.
- NEC-SE-GC: Geotecnia y diseño de cimentaciones.
- NEC-SE-HM: Estructuras de hormigón armado.
- NEC-SE-AC: Estructuras de acero.
- NEC-SE-MP: Estructuras de mampostería estructural.
- NEC-SE-MD: Estructuras de madera.
- NEC-SE-VIVIENDA: Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5m.
- NEC-DR-BE: Viviendas de bahareque encementado de uno y dos pisos.

Identificación de la caña guadúa estructural o bambú

Para identificar los tallos de caña guadúa (GaK) adecuados para su uso en la construcción en una plantación, es fundamental tener en cuenta ciertas características y aspectos morfológicos que la distinguen de otras especies de bambú:

- a) Cuando son jóvenes, los tallos de GaK presentan un color verde claro y muestran franjas blancas cerca de los nudos.
- b) La GaK se caracteriza por tener espinas en sus ramas.
- c) Las hojas en los tallos de GaK tienen una forma triangular, con líneas rectas que se asemejan a la punta de una lanza. Además, en la parte cercana al vértice de la hoja, se observa un triángulo de textura y color que es diferente al resto de la hoja.

Selección en la plantación.

Los productores de caña guadúa (GaK) deben mantener un registro de la edad de cada tallo en sus plantaciones. La combinación ideal de tallos en un bosque de bambú es de aproximadamente un 10% de brotes, un 30% de tallos jóvenes y un 60% de tallos maduros.

Además, para determinar si un culmo tiene entre 4 y 6 años y está maduro, se deben considerar los siguientes signos visibles:

a) Los culmos maduros tienen un color verde oscuro, con bandas blancas apenas perceptibles en los nudos.

b) Estos tallos presentan manchas esporádicas de líquenes en forma de pequeñas motas de color blanquecino, lo que indica que son adecuados para la construcción. Si carecen de estas manchas, no están maduros y no son apropiados para la construcción.

c) Si un culmo está completamente cubierto de líquenes y tiene un color blanquecino-amarillento, esto indica que está sobre maduro y no es adecuado para su uso en construcción debido a que no tiene la misma resistencia física y mecánica que un culmo en su estado óptimo de madurez.

d) Los tallos que presenten agujeros causados por aves e insectos o que muestren signos de muerte descendente, donde la planta comienza a secarse desde la parte superior hacia abajo, deben ser descartados.

Corte de culmos y de ramas

Una vez que se han elegido los culmos de caña guadúa (GaK) que son aptos para la construcción, es fundamental tener en cuenta los siguientes aspectos para realizar un corte eficiente y maximizar el uso de este recurso:

a) Los culmos maduros seleccionados deben ser cortados nivelados con el primer nudo inferior. Esto se hace para prevenir la acumulación de agua en el toco de la planta y así evitar la descomposición de su sistema radicular.

b) Luego del corte, es necesario llevar a cabo el proceso de apeo o derribo del culmo, asegurándose de que no se rompa, fisure o se dañe durante su caída. Se recomienda el uso de un horcón o horqueta, que permitirá que el culmo caiga de manera controlada si las condiciones lo requieren.

c) La poda de las ramas se llevará a cabo utilizando un machete o una sierra, cortando desde el punto inferior donde cada rama se une al culmo y avanzando hacia la parte superior.

Esto se hace para evitar que las fibras del culmo se desgarran durante el proceso de corte.

d) Al extraer los culmos, es esencial tener cuidado de que sus extremos no sufran daños durante el transporte.

e) El corte y la selección de los culmos se realizarán siguiendo los estándares comerciales o las especificaciones técnicas requeridas por el constructor, tanto en términos de longitud como de diámetro, siempre que se cumplan los criterios mencionados anteriormente.

Preservación de la caña guadua

La preservación es el proceso mediante el cual se busca proteger y conservar los culmos de caña guadúa (GaK) para evitar que sufran daños causados por factores bióticos, como insectos xilófagos, que puedan afectar las propiedades físicas y mecánicas de los elementos de construcción de GaK.

a) La GaK es un material orgánico compuesto por celulosa, lignina y sílice. Si no se maneja adecuadamente en términos de tratamiento y aplicación para la preservación, puede degradarse debido a factores como la acción de hongos e insectos. Por lo tanto, es esencial aplicar un proceso de inmunización antes de utilizar elementos estructurales de GaK.

b) El tratamiento de la GaK se lleva a cabo mediante la impregnación de sustancias preservantes. Estas sustancias se seleccionan considerando su eficacia para proteger la GaK, su impacto ambiental reducido y su baja toxicidad para los seres humanos.

c) Siempre es importante seguir las recomendaciones proporcionadas por los proveedores de los productos de preservación con respecto a la manipulación, los niveles de toxicidad y las posibles reacciones químicas en caso de accidentes durante el proceso de aplicación.

Tipos de preservantes: La inmunización de los culmos de GaK se puede realizar utilizando los mismos preservantes recomendados para las estructuras de madera con baja durabilidad natural, como se describe en el capítulo NEC-SE-MD, sección 3.5.4. Estos preservantes pueden ser de dos tipos:

- a) Preservantes hidrosolubles.
- b) Preservantes óleos solubles.

La eficacia de los preservantes seleccionados debe garantizar la durabilidad del material tratado.

Métodos de preservación:

Los siguientes métodos son los más comunes, y la elección del método a utilizar depende del proveedor de la materia prima o del constructor.

Preservación por Avinagrado: Este método natural se lleva a cabo después del corte en la plantación. Los culmos se mantienen con sus ramas y hojas durante aproximadamente tres semanas antes de ser derribados, aunque es ecológico y no requiere inversión adicional, se recomienda complementarlo con otros métodos de preservación, los preservantes pueden aplicarse a los culmos de GaK utilizando al menos uno de los métodos descritos en esta sección.

Preservación por Inmersión

Este método, uno de los más utilizados, incluye la perforación longitudinal de los diafragmas interiores de los culmos, el lavado exterior de los culmos y la inmersión en un tanque de preservación con una solución preservante, los culmos son luego extraídos, escurridos y colocados en posición inclinada para permitir el drenaje del exceso de líquido preservante antes del secado, para que los culmos absorban el preservante de manera efectiva, deben tener un contenido de humedad de al menos el 30%.

Preservación por Presión (Boucherie)

Este método requiere un equipo de compresión o tanque de presión que inyecta el líquido preservante en los culmos, es importante utilizar culmos recién cortados antes de que el secado natural obstruya los poros, la efectividad de este método se verifica midiendo el líquido desplazado y el líquido que entra, cualquier exceso de preservante debe ser recolectado y tratado adecuadamente para prevenir la contaminación ambiental.

Preservación por Difusión Vertical

En este método, se perforan los diafragmas interiores de los culmos, a excepción del último, y se llenan de líquido preservante, los culmos se mantienen en posición vertical durante tres semanas, y luego se perfora el último diafragma para permitir que el líquido sobrante salga. Cualquier exceso de preservante se recolecta y se maneja para evitar la contaminación del ambiente y proteger la salud de quienes lo manipulan.

Identificación de la GaK Idónea para la Construcción

La caña guadúa (GaK) empleada como componente estructural en diversas formas, como columnas, vigas, viguetas, montantes, entramados, entrepisos, etc., debe cumplir con los siguientes estándares de calidad:

a) La guadúa debe estar completamente seca, lo que significa que su contenido de humedad no debe exceder el nivel de humedad de equilibrio del entorno en el que se utiliza, para asegurarse de esto, los culmos deben permanecer en el lugar de construcción durante al menos 15 días antes de su utilización.

b) Los culmos de GaK deben someterse a los procesos de preservación y secado previamente descritos, como se detalla en las secciones 3.5 y 3.6.

c) Los culmos de GaK no deben presentar deformaciones significativas en su eje longitudinal. Esto se verifica colocando la pieza en una superficie plana (o usando cuerdas) y observando si existe separación entre la superficie de apoyo (o la cuerda) y la pieza. Esta evaluación debe llevarse a cabo al menos en cada tercio de la circunferencia del culmo.

d) Es importante tener en cuenta que la GaK es un material natural y, como tal, su diámetro disminuye de manera constante a lo largo del tallo debido a su conicidad inherente. Sin embargo, es necesario establecer límites para esta diferencia entre diámetros. La tabla presenta los máximos permitidos para cada una de las partes comerciales de la GaK, y estos valores se obtienen en función del porcentaje de diferencia entre el diámetro superior e inferior dividido por la longitud del culmo, de acuerdo con la Ecuación 1.

Ecuación 1:

$$\%con = \frac{(D_+ - D_-)}{L} * 100$$

Dónde:

$\%con$

Porcentaje de conicidad de

la pieza D_+

Diámetro mayor en mm

D_- Diámetro menor en mm

L Longitud de la pieza de GaK en mm

Tabla 1
Conicidad admisible del GaK

Parte de la Guadúa	Conicidad
Cepa	0.17 %
Basa	0.33 %
Sobrebasa	0.50%

Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016).

e) La GaK es un material que tiende a agrietarse naturalmente debido a la diferencia en la densidad de sus paredes, no obstante, se deben establecer algunos límites para el tamaño y la localización de las grietas, como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2
Límites de fisuras en la GaK

Tipo	Se permite	Límites	Recomendación
Grieta longitudinal	Sí	La grieta debe estar contenida entre dos nudos, si la grieta pasa al canuto siguiente no debe tener una longitud superior al 20% del culmo.	Si los culmos presentan fisuras después de instalados, estos pueden ser tratados por medio de abrazaderas o zunchos metálicos.

Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)

f) Los culmos estructurales no pueden presentar arrugas perimetrales que evidencien una falla debida a compresión durante la vida de la GaK (Ver Figura 1), si se presenta este tipo de falla se deberá cortar la parte defectuosa del culmo, pero el resto podrá ser usado si cumple con los demás requisitos descritos en el punto 3.8 Identificación de la GaK idónea para la construcción.

Ilustración 1
Falla de compresión



Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016).

- g) Los culmos de GaK no deben presentar perforaciones causadas por ataque de insectos xilófagos o aves antes de ser utilizadas.
- h) No son aptos para la construcción los culmos que presenten algún grado de pudrición causada por hongos.

Bases para el diseño estructural

Cuando se diseña una estructura con materiales de caña guadúa (GaK), es fundamental considerar las particularidades de los materiales auxiliares, como tornillos, conexiones, adhesivos, soportes y paneles, siguiendo las indicaciones proporcionadas por los fabricantes, es esencial aplicar todas las medidas necesarias para proteger estos materiales contra la humedad, la corrosión o cualquier otro factor que pueda afectar su integridad estructural.

Cuando se planea y ejecuta una estructura utilizando caña guadúa (GaK), es esencial que todos los componentes de GaK en dicha estructura sean diseñados, contruidos y ensamblados de manera que puedan soportar las fuerzas generadas por las diversas

combinaciones de cargas de servicio que se detallan en los capítulos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y se especifican en la siguiente tabla.

Tabla 3

Bases para el diseño estructural

1	D
2	D + L
3	D + 0.75 L + 0.525 Ex
4	D + 0.75 L - 0.525 Ex
5	D + 0.75 L + 0.525 Ey
6	D + 0.75 L - 0.525 Ey
7	D + 0.7 Ex
8	D - 0.7 Ex
9	D + 0.7 Ey
10	D - 0.7 Ey
11	D + 0.75 L + 0.525 EQx
12	D + 0.75 L - 0.525 EQx
13	D + 0.75 L + 0.525 EQy
14	D + 0.75 L - 0.525 EQy
15	D + 0.7 EQx
16	D - 0.7 EQx
17	D + 0.7 EQy
18	D - 0.7 EQy

Dónde:

D Carga muerta.

L Carga viva.

Ex Carga estática
de sismo en sentido X.

Ey Carga estática
de sismo en sentido Y.

EQx Carga del espectro
de aceleraciones en sentido X.

EQy Carga del espectro
de aceleraciones en sentido Y.

Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016).

b) Cada estructura construida con caña guadúa (GaK) debe incorporar un sistema estructural que cumpla con los requisitos de resistencia sísmica establecidos en la sección 3.2 del capítulo sobre Viviendas de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-VIVIENDA). Este sistema estructural debe corresponder a uno de los siguientes tipos:

Pórticos con diagonales, que pueden ser parte de un sistema de entramado o de un sistema de poste y viga. Para este caso, se utilizará un coeficiente de reducción R igual a 2 y se limitará el número de pisos a 2.

Uso de muros de bahareque o quincha como elementos estructurales resistentes, de acuerdo con lo establecido en la sección 6.7.3 del capítulo NEC-SE-VIVIENDA, siguiendo las pautas de la Tabla 3 de dicha sección.

Empleo de sistemas de armaduras para cubiertas, siempre y cuando este sistema no represente un peso excesivo en comparación con el resto de la estructura.

c) En el proceso de diseño estructural, se debe considerar la influencia de todas las posibles cargas que afectarán la estructura durante las fases de construcción y uso. Esto incluye condiciones ambientales que podrían modificar las suposiciones originales de diseño o tener un impacto en la integridad de otros componentes estructurales.

d) El diseño y análisis de las estructuras de GaK deben basarse en los principios de la mecánica estructural y cumplir con los requisitos definidos en el capítulo correspondiente de la NEC-SE-DS, que se enfoca en la determinación de las cargas laterales para resistir sismos. Además, se deben satisfacer los requisitos específicos relacionados en el presente capítulo sobre Estructuras de Guadúa.

e) Se considerará que los elementos de GaK son homogéneos, pero no se deben tratar como elementos lineales al calcular los esfuerzos resultantes de las cargas aplicadas. Para este

cálculo, se debe tomar en cuenta un parámetro geométrico característico que representa una imperfección vertical natural del 1.298% en relación con la longitud del culmo.

f) El coeficiente de capacidad de disipación de energía básico para las estructuras de GaK que empleen un sistema de pórticos con diagonales será de $R_0 = 2.0$. Si la resistencia sísmica se logra mediante muros de madera laminada o muros de bahareque revestido de cemento, se utilizará el valor correspondiente de $R_0 = 1.5$.

Requisitos de calidad

Para asegurar el funcionamiento adecuado de las estructuras construidas con GaK a lo largo de su vida útil, se deben considerar los siguientes aspectos:

a) La edificación debe ser construida por personal debidamente capacitado y supervisada por un profesional con conocimiento de las normativas aplicables y los principios constructivos específicos para GaK.

b) Los materiales y productos utilizados en la construcción deben seguir las indicaciones proporcionadas en este documento y las especificaciones de uso proporcionadas por los proveedores de la materia prima y los fabricantes.

c) Debido a que las estructuras de GaK están hechas de material natural, es esencial llevar a cabo un mantenimiento preventivo adecuado para prevenir posibles ataques de insectos o hongos a lo largo de su vida útil, tal como se describe en la sección 3.5.

d) La estructura debe mantener el mismo uso para el cual fue diseñada durante toda su vida útil.

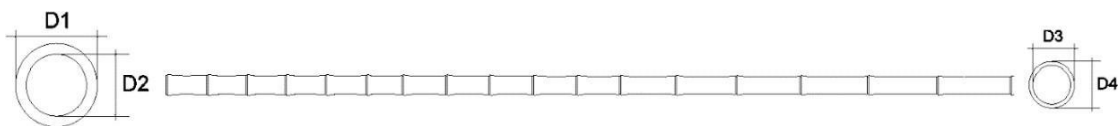
e) En el caso de que la estructura de GaK se utilice en cubiertas de piscinas que emplean cloro, es necesario garantizar en el diseño y la construcción que no se producirá deterioro de la GaK debido al cloro y que se han tomado precauciones para evitar cualquier disminución de su resistencia estructural por esta razón.

f) Para determinar el diámetro y el espesor real de la pared del culmo, se deben seguir los siguientes procedimientos:

Diámetro: Medir el diámetro en ambos extremos de cada segmento del culmo y en dos direcciones perpendiculares entre sí. El diámetro real corresponde al promedio de estas cuatro mediciones.

Espesor: Realizar cuatro mediciones en cada sección transversal del culmo y medir el espesor en los mismos puntos donde se midió el diámetro, el espesor real corresponde al promedio de estas ocho mediciones, como se ilustra en la siguiente figura.

Ilustración 2
Espesor real



Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)

g) En ningún caso se debe utilizar estructuras de GaK cuando la temperatura a la cual van a estar sometidas exceda los 65 grados centígrados.

Método de diseño estructural

Para garantizar el rendimiento adecuado de las construcciones, es fundamental que el diseño estructural siga los siguientes criterios:

a) Todos los elementos deben ser diseñados utilizando el método de esfuerzos admisibles, teniendo en cuenta las cargas especificadas en el capítulo NEC-SE-CG y las cargas sísmicas indicadas en el capítulo NEC-SE-DS.

b) Se considera que todas las uniones de la estructura son articuladas, lo que implica que no habrá transmisión de momentos entre los distintos elementos de una unión, a menos que uno de los elementos sea continuo. En ese caso, la transmisión de momentos solo ocurrirá en el elemento continuo.

Esfuerzos Admisibles y Módulos de Elasticidad Cualquier elemento de GaK que cumpla con los requisitos de calidad establecidos para la guadúa estructural, se debe utilizar los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad.

Tabla 4
Esfuerzos admisibles y módulos de Elasticidad

	Fb Flexión	Ft Tracción	Fc Compresión	Fv Corte	
datos	45	117	37	7	Fuente: obtenidos

de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016).

Esfuerzos admisibles, F_i (MPa), CH=12%

Tabla 5
Esfuerzos Admisibles

Fb Flexión	Ft Tracción	Fc Compresión	F _p * Compresión ⊥	Fv Corte
1 5	19	14	1.4	1. 2

Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016).

Dónde:

|| Compresión paralela al eje longitudinal.

⊥ Compresión perpendicular al eje longitudinal.

*La resistencia a la compresión perpendicular está calculada para entrenudos rellenos con mortero de cemento.

En la siguiente tabla, se encuentran los esfuerzos últimos de resistencia a la falla de la GaK ante las diferentes sollicitaciones de carga.

Esfuerzos últimos, F_u (MPa), CH=12%

Dónde:

|| Compresión paralela al eje longitudinal.

Módulos de elasticidad, E_i (MPa), CH=12%

Tabla 6

Módulo de elasticidad del material

Módulo percentil 5 E0.5	Módulo percentil 5 E0.05	Módulo mínimo E _{min}
12.000	7.500	4.000

Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016).

Cuando se analicen elementos estructurales, se debe emplear el valor E0.5 como el módulo de elasticidad del material. El valor E_{min} se reserva para el cálculo de los coeficientes de estabilidad de vigas (CL) y de columnas (C_p). El valor E se utilizará para el cálculo de las deflexiones en situaciones en las que las condiciones de servicio sean críticas o requieran un nivel de seguridad superior al estándar. La elección del módulo de elasticidad específico dependerá del juicio y criterio del ingeniero encargado de los cálculos.

Los valores de esfuerzos admisibles se determinan a partir del valor característico, el cual se obtiene con la siguiente fórmula:

Ecuación 2:

$$f_{ki} = f_{0.05i} \left[1 - \frac{2.7 \frac{s}{m}}{\sqrt{n}} \right]$$

Dónde:

f_{ki}

Valor característico en la sollicitación i

$f_{0.05i}$

Valor correspondiente al percentil 5 de los datos de las pruebas de laboratorio en la sollicitación i.

m

Valor promedio de los datos de las pruebas de laboratorio

s	Desviación estándar de los datos de las pruebas de laboratorio
n	Número de ensayos (por lo menos 20)
i	Subíndice que depende del tipo de sollicitación (b para flexión, t para tracción paralela a las fibras, c para compresión paralela a las fibras, p para compresión perpendicular a las fibras, v para cortante paralelo a las fibras)

En la memoria de cálculo estructural presentada al solicitar una licencia de construcción, se debe incluir información detallada sobre los valores experimentales utilizados en el diseño, que debe abarcar aspectos como el nombre del laboratorio, la fecha en que se llevaron a cabo los ensayos, la descripción de los equipos empleados, el número de pruebas realizadas y la identificación del profesional responsable de supervisar los ensayos.

Una vez que se haya determinado el valor característico para cada tipo de carga, se procederá al cálculo de los esfuerzos admisibles utilizando la fórmula que se presenta a continuación.

Ecuación 3:

$$F_i = \frac{FC}{F_s \cdot FDC} f_{ki}$$

Dónde:

F_i	Esfuerzo admisible en la sollicitación i
f_{ki}	Valor característico del esfuerzo en la sollicitación i
FC	Factor de reducción por calidad tomando en cuenta las diferencias entre las condiciones de los ensayos en el laboratorio y las condiciones reales de las cargas aplicadas a la estructura.
F_s	Factor de servicio y seguridad tomando en cuenta varias incertidumbres como los defectos no detectados, posibles variaciones en las propiedades del material, etc.
FDC	Factor de duración de la carga tomando en cuenta los esfuerzos de rotura de la GaK.

Factores de reducción de resistencia

Tabla 7
Factores de reducción de resistencia

Factor	Flexión	Tracción	Compresión	Compresión ⊥	Corte
FC	-	0.5	-	-	0.6
Fs	2.0	2.0	1.5	1.8	1.8
FDC	1.5	1.5	1.2	1.2	1.1

Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016).

Coefficientes de modificación

Con base en los valores de esfuerzos admisibles proporcionados en los módulos de elasticidad, se calculan las solicitaciones admisibles para cada componente estructural. Estos valores se ven afectados por diversos coeficientes de modificación, que consideran factores como el tamaño, la presencia de nudos, grietas, el contenido de humedad, la duración de la carga, la esbeltez y cualquier otra condición que pueda influir en la resistencia del material, estos coeficientes de modificación se aplican a los esfuerzos admisibles según lo establecido en las siguientes secciones, y se obtienen los esfuerzos admisibles modificados utilizando la fórmula que se presenta a continuación.

Ecuación 4:

$$F'_i = F_i C_D C_m C_t C_L C_F C_r C_p C_c$$

Dónde:

i Subíndice que depende del tipo de solicitación (b para flexión, t para tracción paralela a las fibras, c para compresión paralela a las fibras, p para compresión perpendicular a las fibras, v para cortante paralelo a las fibras)

C_D Coeficiente de modificación por duración de carga

C_m Coeficiente de modificación por contenido de humedad

C_t Coeficiente de modificación por temperatura

C_L Coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas

C_F	Coefficiente de modificación por forma
C_r	Coefficiente de modificación por redistribución de cargas, acción conjunta
C_p	Coefficiente de modificación por estabilidad de columnas
C_c	Coefficiente de modificación por cortante
F_i	Esfuerzo admisible en la sollicitación i
F'_i	Esfuerzo admisible modificado para la sollicitación i

Los coeficientes de modificación, que varían según el tipo de carga aplicada, se encuentran especificados en las secciones respectivas de este capítulo, dependiendo del escenario particular considerado. Además, se proporcionan coeficientes de modificación de aplicación general en los siguientes apartados.

Por duración de la carga (C_D)

Se considera que la duración normal de una carga son diez años, cuando un elemento estructural está sometido a duraciones de carga diferentes

Tabla 8
Duración de cargas diferentes

Duración de carga	Flexión	Tracción	Compresión 	Compresión ⊥	Corte	Carga de diseño
Permanente	0.90	0.90	0.9	0.9	0.90	Muerta
Diez años	1.00	1.00	1.0	0.9	1.00	Viva
Dos meses	1.15	1.15	1.15	0.9	1.15	Construcción
Siete días	1.25	1.25	1.25	0.9	1.25	
Diez minutos	1.60	1.60	1.6	0.9	1.60	Viento y Sismo
Impacto	2.00	2.00	2.0	0.9	2.00	Impacto

Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016).

Por contenido de humedad (C_m)

Los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad se determinaron considerando que la Guadúa Angustifolia Kunth (GaK) tiene un contenido de humedad del 12%. Si, debido a las condiciones ambientales del lugar de construcción, el contenido de humedad de la GaK excede el 12%, se debe tener en cuenta que tanto la resistencia como la rigidez del material pueden disminuir, lo que podría afectar su desempeño estructural.

Tabla 9
Por contenido de humedad

Esfuerzos		CH ≤ 12 %	CH = 13 %	CH = 14 %	CH = 15 %	CH = 16 %	CH = 17 %	CH = 18 %	CH ≥ 19 %
Flexión	F _b	1.0	0.96	0.9 1	0.8 7	0.83	0.79	0.74	0.70
Tracción	F _t	1.0	0.97	0.9 4	0.9 1	0.89	0.86	0.83	0.80
Compresión ∥	F _c	1.0	0.96	0.9 1	0.8 7	0.83	0.79	0.74	0.70
Compresión ⊥	F _p	1.0	0.97	0.9 4	0.9 1	0.89	0.86	0.83	0.80
Corte	F _y	1.0	0.97	0.9 4	0.9 1	0.89	0.86	0.83	0.80
Módulo de elasticidad	E _{0.5}	1.0	0.99	0.97	0.96	0.94	0.93	0.91	0.90
	E _{0.05}								
	E _{min}								

Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016).

Después de la cosecha, la Guadúa Angustifolia Kunth (GaK) tiende a secarse gradualmente hasta que su contenido de humedad se iguala al nivel de humedad presente en el lugar donde se encuentra, si se utiliza un proceso de secado mecánico y se reduce el contenido de humedad de la GaK por debajo del 12%, es importante tener en cuenta que si la ubicación final de la construcción tiene una alta humedad relativa en el ambiente y una baja temperatura, la GaK podría absorber humedad nuevamente.

Por lo tanto, es esencial considerar la humedad de equilibrio del lugar donde se encuentra la GaK. Para obtener información específica sobre la humedad de equilibrio en diferentes localidades de Ecuador.

Por temperatura (Ct)

Cuando los componentes estructurales hechos de Guadúa Angustifolia Kunth (GaK) estén expuestos a temperaturas elevadas, se deben ajustar los valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad, esto se logra multiplicando estos valores por los factores proporcionados en la siguiente tabla, correspondientes a la temperatura de exposición.

Tabla 10
Por Temperatura

Esfuerzos		Condiciones de servicio	C t		
			$T \leq 37C$	$37C \leq T \leq 52C$	$52C \leq T \leq 65C$
Flexión	Fb	Húmedo	1.0	0.60	0.40
		Seco		0.85	0.60
Tracción	Ft	Húmedo		0.85	0.80
		Seco		0.90	
Compresión paralela	Fc	Húmedo		0.65	0.40
		Seco		0.80	0.60
Compresión perpendicular	Fp	Húmedo		0.80	0.50
		Seco		0.90	0.70
Corte	Fy	Húmedo		0.65	0.40
		Seco		0.80	0.60
Módulo de elasticidad	E	Húmedo		0.80	0.80
		Seco		0.90	

Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)

Diseño de elementos sometidos a flexión

El diseño de elementos hechos de Guadúa Angustifolia Kunth (GaK) para resistir fuerzas de flexión sigue los procedimientos básicos utilizados en el diseño de vigas con otros materiales estructurales. Sin embargo, se deben tener en cuenta ciertas consideraciones importantes:

a) Debido a que la GaK es altamente flexible debido a su alta relación entre la resistencia a la flexión (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE), el análisis de flexión se centra en controlar las deflexiones admisibles. Sin embargo, se debe comprobar siempre la resistencia a la flexión, corte y aplastamiento.

b) En el diseño de elementos de GaK sometidos a flexión, se deben verificar varios efectos, como deflexiones, flexión (incluyendo estabilidad lateral en vigas compuestas), corte paralelo a la fibra y aplastamiento (compresión perpendicular a la fibra). Los esfuerzos no deben exceder los valores de esfuerzos admisibles modificados para cada sollicitación.

c) Es fundamental garantizar que los soportes de un elemento de GaK sometido a flexión no fallen debido al aplastamiento (compresión perpendicular). Cuando sea posible, los soportes deben terminar en nudos; si esto no es factible o los nudos no brindan la resistencia suficiente, se deben rellenar los entrenudos o canutos de los soportes con mortero de cemento.

d) Cuando una carga puntual se aplica sobre un elemento, esta carga debe estar ubicada en un nudo. En todos los casos, se deben tomar precauciones para evitar fallas por corte paralelo a la fibra y/o aplastamiento en el punto de aplicación. Se recomienda rellenar los entrenudos o canutos adyacentes a la carga con mortero de cemento en estos casos.

e) En la construcción de vigas que involucran más de un culmo (vigas compuestas), se deben unir entre sí utilizando pernos, varillas roscadas y cintas metálicas (zunchos) para

asegurar su funcionamiento conjunto. Estos conectores deben ser diseñados para resistir las fuerzas generadas en la unión.

Perforaciones

En la medida de lo posible, se debe evitar realizar agujeros o perforaciones en las vigas. Sin embargo, si es necesario llevar a cabo perforaciones, se deben seguir ciertas restricciones detalladas en los planos de construcción y cumplir con las siguientes limitaciones:

a) No se permiten perforaciones a la altura del eje neutro en secciones donde existan cargas puntuales o cerca de los puntos de apoyo.

b) En situaciones distintas a las mencionadas en el punto anterior, las perforaciones deben estar ubicadas a la altura del eje neutro y, en ningún caso, se permiten en la zona de tensión de los elementos.

c) El diámetro máximo de las perforaciones no debe exceder los 32 mm.

d) En los puntos de apoyo y en los lugares donde se apliquen cargas puntuales, se permiten perforaciones, siempre y cuando se realicen para rellenar los entrenudos con mortero de cemento.

Deflexiones

La alta relación entre la resistencia a la flexión (MOR) y el módulo de elasticidad (MOE) de la GaK hace que el diseño de elementos sometidos a flexión esté principalmente orientado a controlar las deflexiones admisibles. En esta sección, se establecen los requisitos y limitaciones relacionados con las deflexiones admisibles, así como la determinación de la sección requerida y las deflexiones inmediatas y diferidas.

a) Las deflexiones en elementos de GaK se deben calcular siguiendo las fórmulas de la teoría elástica convencional. Es importante tener en cuenta la deflexión resultante de la

flexión y, si el análisis lo requiere, aplicar una corrección al módulo de elasticidad $E_{0.05}$ debido al corte.

b) En el caso del cálculo de las deflexiones en vigas simplemente apoyadas, se emplearán las fórmulas indicadas en la siguiente tabla.

Tabla 11
Fórmulas para el cálculo de deflexiones

Condición de carga	Deflexión
Carga concentrada en el centro de la longitud	$\Delta = \frac{PL^3}{48EI}$
Carga uniformemente distribuida	$\Delta = \frac{5qL^4}{384EI}$

Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016).

c) Cuando se enfrenten a condiciones de carga diferentes, se deberán aplicar fórmulas de la teoría de la elasticidad.

d) Las deflexiones permisibles estarán restringidas a los valores establecidos en la siguiente tabla.

Tabla 12
Deflexiones admisibles

Condición de servicio	Cargas vivas (l/k)	Viento o Granizo (l/k)	Cargas totales (l/k) Fuente 2
Elementos de Techo / Cubiertas			
Cubiertas inclinadas			
Cielo rasos de pañete o yeso	1/360	1/360	1/240
Otros cielo rasos	1/240	1/240	1/180
Sin cielo raso	1/240	1/240	1/180
Techos planos	Fuente 1	Fuente 1	1/300
Techos industriales	-	-	1/200

Entrepisos			
Elementos de entepiso	1/360	-	1/240
Entrepisos rígidos	-	-	1/360
Muros exteriores			
Con acabados frágiles	-	1/240	-
Con acabados flexibles	-	1/120	-

Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016).

e) Las deflexiones en vigas, viguetas, entrepisos, y pies derechos se calcularán utilizando el módulo de elasticidad $E_{0.05}$ o, alternativamente, el módulo de elasticidad mínimo, E_{min} . La elección del módulo a utilizar dependerá de la decisión del ingeniero estructural.

f) En lo que respecta al efecto del cortante, para elementos con una relación $l/De \leq 15$, se requerirá una corrección por cortante (C_c). En la siguiente tabla se presentan los valores correspondientes de C_c para el módulo de elasticidad $E_{0.05}$.

Tabla 13
Módulo de elasticidad

l/De	C_c
5	0.70
7	0.75
9	0.81
11	0.86
13	0.91
15	0.93

Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)

Diseño y Construcción con GaK

Cada tipo de material de construcción tiene sus propias especificaciones de aplicación y uso, y la Guadúa Angustifolia Kunth (GaK) no es una excepción. Para proyectos que

involucran GaK, es esencial seguir principios de diseño específicos que garanticen la estabilidad, seguridad y durabilidad de la construcción, si se decide emplear un proceso constructivo con GaK que difiera de los métodos detallados en esta norma, es fundamental respaldar dicha elección con cálculos técnicos y resultados de laboratorio adecuados. Además, un profesional competente y responsable debe supervisar la ejecución de la obra, todas las fases relacionadas con la preparación del material, fabricación, construcción, montaje y mantenimiento de estructuras de GaK deben cumplir con las prácticas establecidas y ampliamente reconocidas en los campos de la ingeniería y la arquitectura.

Consideraciones Iniciales

Antes de comenzar la construcción, el supervisor del proyecto debe contar con los planos arquitectónicos, estructurales y de instalaciones, el presupuesto, el análisis de costos unitarios, el estudio de mecánica de suelos, planos detallados de construcción y especificaciones técnicas, de acuerdo con los requisitos establecidos por las autoridades municipales. Como en cualquier obra de construcción, se inicia con actividades como la inspección del lugar, limpieza del terreno, aseguramiento de las estructuras vecinas, instalación de almacenes temporales, provisiones provisionales de electricidad y agua, y el suministro de materiales y mano de obra cualificada.

Adquisición de Culmos de GaK

Antes de adquirir los culmos de GaK, es esencial tener en cuenta lo siguiente:

a) El constructor debe adquirir los culmos de GaK con las dimensiones y la calidad requeridas para el proyecto con al menos dos meses de anticipación al inicio de la obra. Se sugiere comprar un 20% más de culmos de los necesarios, ya que algunos pueden presentar imperfecciones, curvaturas o rajaduras que solo se evidencian durante la construcción y no deben utilizarse para soporte estructural.

b) El constructor debe solicitar al proveedor una garantía de calidad que especifique no solo la cantidad, longitud, diámetro y fecha de corte de los culmos, sino también las características del material, el contenido de humedad en el lugar de la obra, el tipo de tratamiento preservativo y el método de inmunización y secado.

c) El constructor verificará las características de calidad según se describe en la sección 3.8 de esta norma, como la prueba de cúrcuma y el contenido de humedad en el lugar de la obra.

d) En el lugar de construcción, los culmos deben almacenarse de acuerdo a las indicaciones de la sección 3.7 de este documento normativo.

e) Es recomendable que los culmos en la obra se almacenen bajo cubierta provisional.

Protección por Diseño

La GaK, como material poroso y higroscópico, es susceptible a la acumulación de humedad en su interior, lo que afecta sus propiedades físico-mecánicas y la hace propensa al ataque de hongos y la putrefacción, similar a la madera. Para prevenir esto, es crucial proteger los elementos estructurales de la humedad.

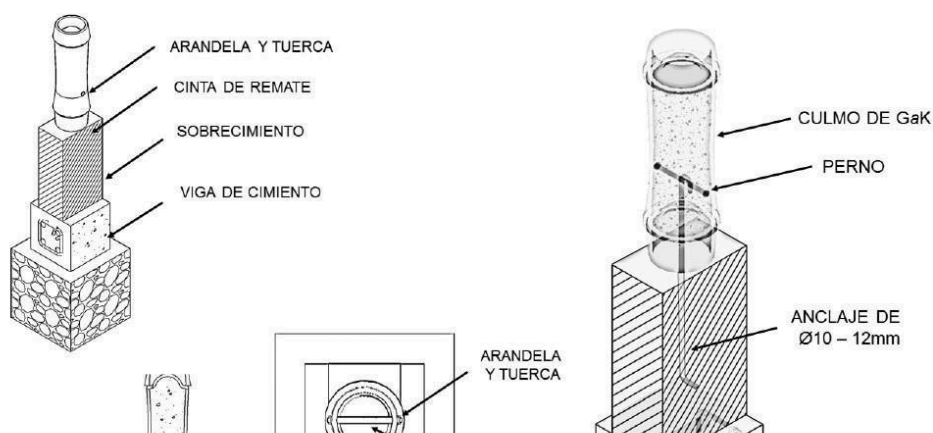
En una construcción, la humedad puede ingresar principalmente por capilaridad, lluvias o condensación. Por lo tanto, es necesario proteger la estructura de GaK de la siguiente manera:

a) Las columnas de GaK no deben estar en contacto directo con el suelo natural.

Deben apoyarse sobre un sobrecimiento, como zócalos o pedestales, que esté adecuadamente impermeabilizado en la superficie de contacto con los culmos.

Ilustración 3

Protección por diseño

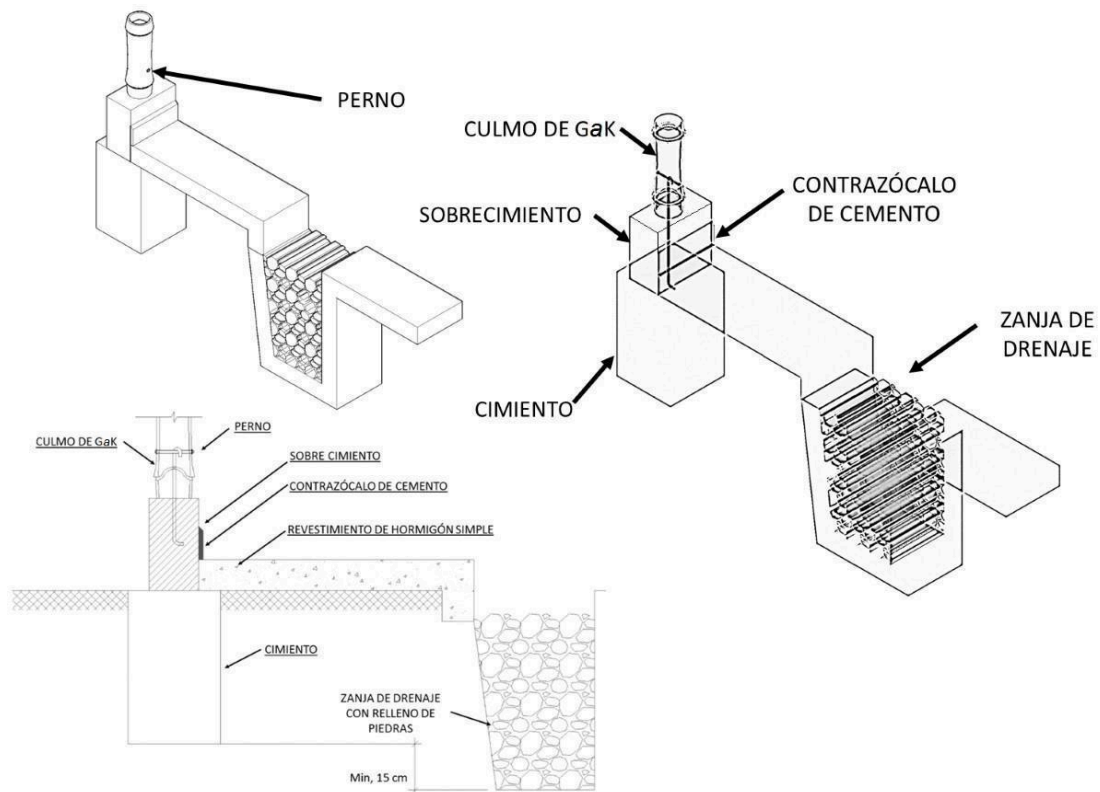


Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)

b) Los culmos no deben ser sepultados ni sumergidos en la cimentación o en cualquier otro componente de concreto.

c) Se debe garantizar la protección de las construcciones contra el agua de lluvia mediante la implementación de drenajes, canaletas, desagües, nivelación de superficies u otros métodos.

Ilustración 4
Protección por diseño



Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)

d) En el diseño, se debe evitar que los elementos estructurales de GaK queden expuestos a las condiciones climáticas del lugar, como la lluvia, el sol o la salinidad, se recomienda emplear aleros amplios y sistemas de recolección de agua de lluvia, en casos en los que esta protección no sea factible, se debe considerar la aplicación de revestimientos impermeables o sustancias hidrofóbicas en cada elemento estructural.

e) Para prevenir la condensación, se debe promover la ventilación en espacios interiores. En áreas donde se espera la exposición a la humedad, como baños y cocinas, además de la ventilación, se deben aplicar recubrimientos impermeables en los elementos estructurales.

f) Cuando exista la posibilidad de infestación de termitas, se sugiere colocar una lámina de metal de 2 mm de espesor sobre la capa impermeable. Esta lámina debe cubrir la parte superior del sobrecimiento y extenderse 2 mm más allá de sus bordes. Para entornos con

alta salinidad o cercanos al mar, se puede reemplazar la lámina de metal por láminas de neopreno de 6 u 8 mm de grosor.

g) Las aberturas en la estructura, como entrepisos y cubiertas, deben ser selladas con elementos de cierre para evitar la entrada de roedores, insectos u otros agentes que puedan dañar la estructura o afectar la habitabilidad.

h) Los andamios no deben anclarse ni conectarse a la estructura de la edificación.

i) Las instalaciones hidrosanitarias, eléctricas, electrónicas y mecánicas no deben atravesar ni comprometer los culmos del sistema estructural en ningún caso. j) Antes de utilizar los culmos, deben ser limpiados minuciosamente con materiales apropiados que no dañen la superficie del culmo, como telas, esponjas o cepillos no abrasivos, entre otros.

k) Se deben evitar impactos, aplastamientos o caídas que puedan afectar las propiedades físico-mecánicas de los culmos durante el proceso de construcción.

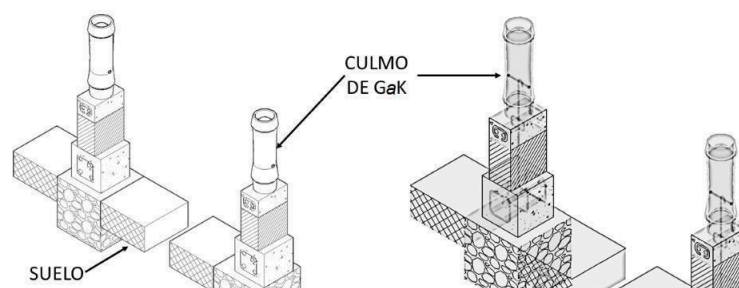
l) Los culmos destinados a uso estructural no deben ser utilizados previamente en la construcción de andamios u otros elementos que puedan comprometer su integridad.

Cimentación y sobrecimiento

Una vez completado el trazado y las excavaciones, las obras de cimentación se llevarán a cabo siguiendo las pautas establecidas en los capítulos correspondientes del sistema constructivo NEC, de acuerdo a los planos estructurales y detalles constructivos específicos.

Es esencial construir un sobrecimiento con una altura mínima de 200 mm por encima del nivel del terreno natural. Este sobrecimiento servirá como base para todos los elementos estructurales verticales hechos de GaK, ya sean columnas o muros estructurales.

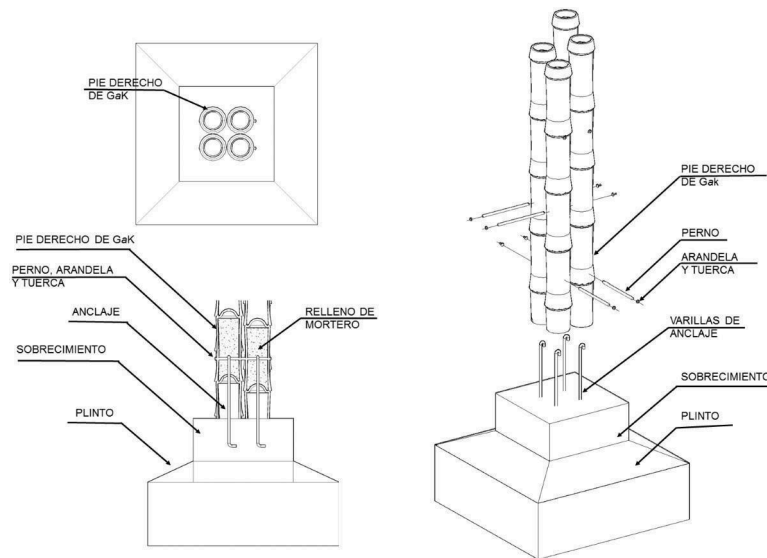
Ilustración 5
Cimentación y Sobrecimiento



Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)

Ilustración 6

Cimentación o Sobrecimiento



Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)

Anclaje de los culmos a los sobrecimientos

Anclaje mediante varillas de acero

Para este método de anclaje, es importante tener en cuenta lo siguiente:

- a) Las varillas comienzan en el cimiento y sobresalen en la parte superior del sobrecimiento para servir como elementos de anclaje entre el sobrecimiento y los culmos, como se muestra en la Figura 8.
- b) Este sistema permite el soporte de uno o varios culmos en la parte superior del sobrecimiento.
- c) El o los culmos deben apoyarse aproximadamente a 20 o 30 mm por debajo del nudo.
- d) Antes de introducir el o los culmos en las varillas, es necesario retirar el diafragma interno de los dos nudos más cercanos y eliminar cualquier residuo del diafragma.
- e) Utilizando una sierra de copa o una herramienta adecuada, se debe crear una abertura de 25 mm de diámetro en el entrenudo del culmo, ubicada a unos 300 mm del sobrecimiento.
- f) El diámetro de los anclajes que penetran en los culmos de GaK debe ajustarse en función de la altura de las columnas, sin embargo, no deben ser inferiores a 10

mm (3/8") ni superiores a 18 mm (3/4"). g) Las partes sobresalientes de los anclajes desde el zócalo o pedestal deben tener una longitud de al menos 300 mm. h) Recomendaciones adicionales:

Colocar el culmo en la misma posición que se encuentra en la naturaleza, con la parte basal sobre el zócalo o pedestal.

No proceder al relleno del mortero o la mezcla de arena-cemento hasta que se hayan completado todos los soportes. La proporción recomendada para la mezcla arena/cemento es de 1:3, y se prefiere usar un aditivo plastificante para asegurar la fluidez de la mezcla. Sin embargo, para lograr una mayor resistencia del mortero, se puede sustituir una parte de arena por una parte de cisco (residuo de piedra triturada) en la proporción mencionada.

Golpear el culmo con un mazo de goma para que el mortero penetre y se distribuya uniformemente en el interior del culmo, pero no es necesario aplicar una fuerza excesiva.

Elementos constructivos de GaK

Columnas

Las columnas se pueden componer de un solo culmo o de la unión de dos o más piezas de GaK dispuestas verticalmente con sus bases hacia abajo.

a) En el caso de columnas compuestas por varias piezas de bambú, es necesario unir las utilizando zunchos o pernos, asegurando que los espacios entre las uniones no superen un tercio de la altura total de la columna.

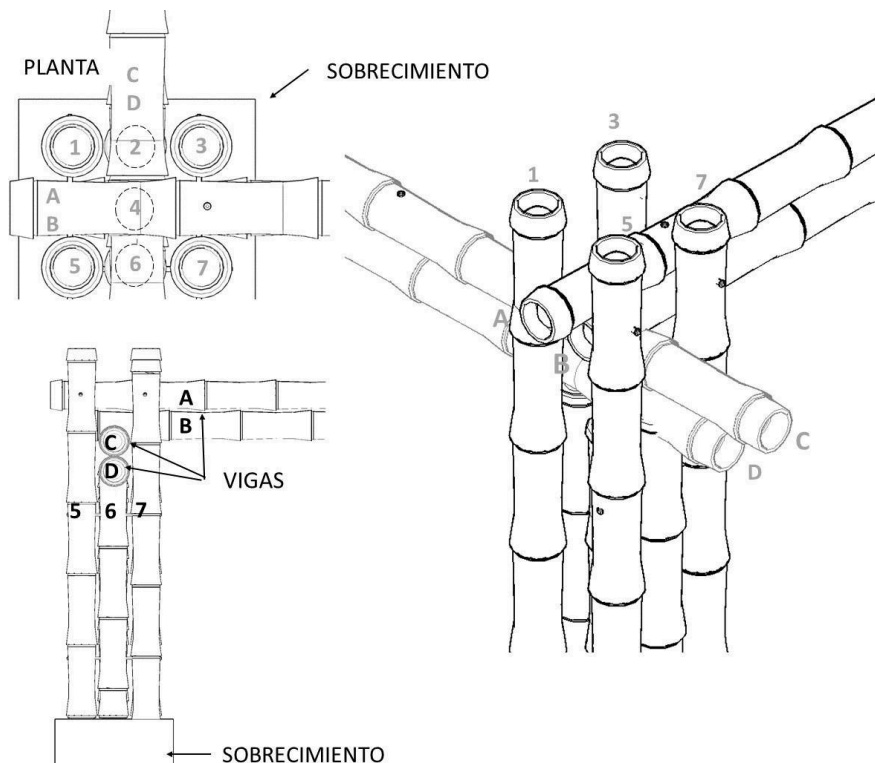
b) La construcción de columnas implica que deben descansar sobre zócalos, pedestales o columnas de hormigón armado, cuyo diseño y anclaje de los culmos se rigen por las normas específicas.

c) La altura de las columnas y la carga axial que deben soportar requieren un análisis estructural para evaluar su esbeltez y prevenir posibles deformaciones o pandeos. Una

estrategia para reducir la esbeltez de las columnas es aumentar su sección añadiendo dos o más culmos adicionales, lo que contribuye a evitar desviaciones laterales o pandeos no deseados.

d) La inclusión de culmos con alturas diferentes permite reforzar las vigas superiores transversales, ya sean dobles o triples, evitando así cualquier flexión no deseada en las columnas.

Ilustración 7
Elementos constructivos



Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)

Vigas

Las vigas deben estar compuestas por uno o varios culmos, y su diseño debe estar respaldado por el diseño estructural.

a) Cuando las vigas estén conformadas por varios culmos, se requiere unirlos entre sí mediante zunchos, tarugos de madera tratada de tipo A o pernos, con una separación mínima igual a un cuarto de la longitud de la viga.

b) Si es necesario obtener vigas de longitudes superiores a las piezas de GaK disponibles, se pueden unir dos culmos de forma longitudinal, de acuerdo a lo descrito en la sección 5.7.2.1.

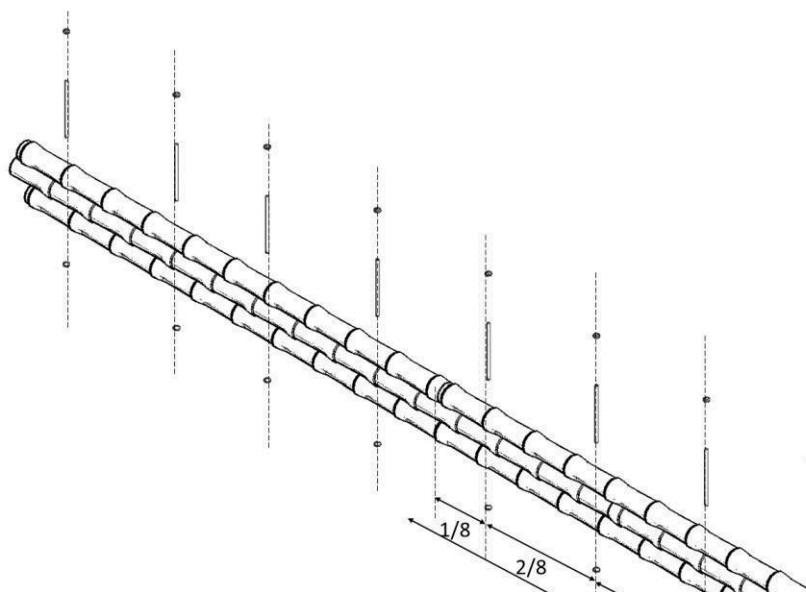
c) Las uniones de los culmos en las vigas compuestas deben organizarse de manera alterna para que se superpongan.

d) En las uniones de vigas compuestas, no se deben alinear con los entrenudos de los culmos.

e) Se recomienda que los pernos utilizados tengan un diámetro de 10 mm y estén ubicados a una distancia de 30 mm de los nudos.

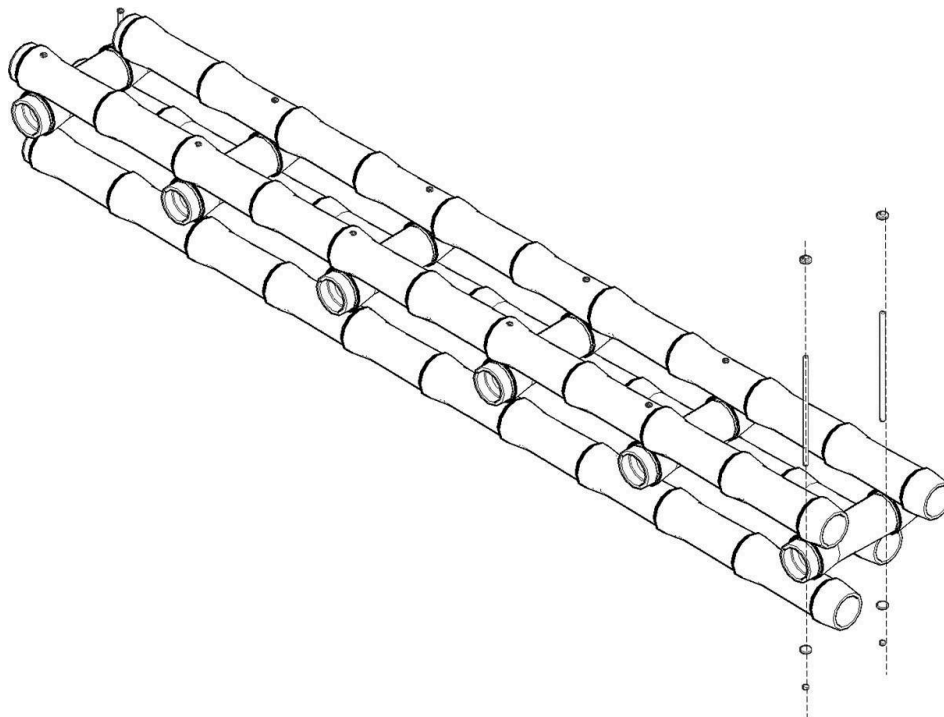
f) Es esencial rellenar las puntas de los culmos que queden expuestas con materiales como mortero, yeso, poliuretano, masilla de madera (aserrín mezclado con cola blanca), u otros apropiados para evitar la entrada de insectos y animales que puedan dañar los culmos.

Ilustración 8
Vigas



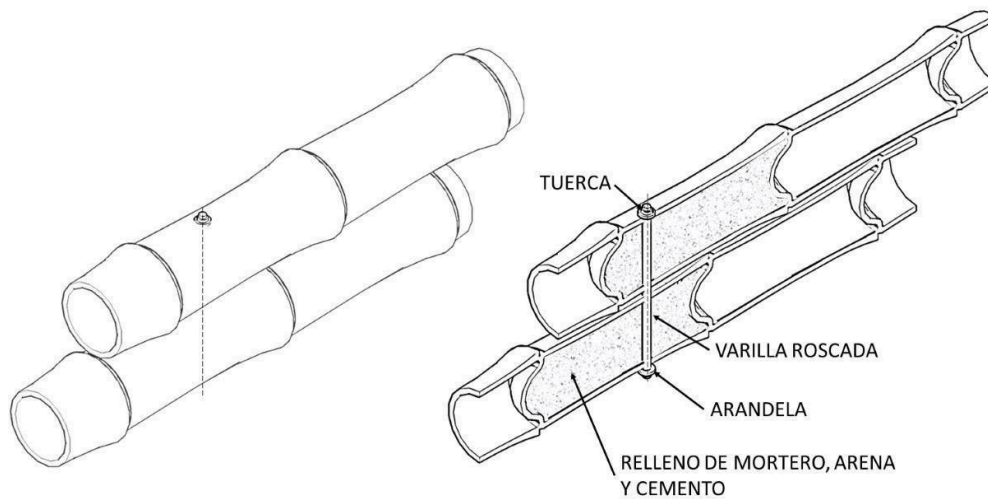
Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)

Ilustración 9
Vigas



Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016).

Ilustración 10
Vigas



Fuente: datos obtenidos de (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)

2.3 Técnicas de Construcción con Hormigón Armado.

Las características del hormigón están estrechamente relacionadas con la calidad y las proporciones de los materiales que componen la mezcla, así como con las condiciones ambientales, como la humedad y la temperatura, durante su fabricación y proceso de fraguado. Para lograr propiedades específicas en el hormigón, como una mayor manejabilidad, resistencia superior o una menor densidad, es posible incorporar componentes adicionales, como aditivos químicos, microsílíce o partículas de hierro, o sustituir los componentes básicos por materiales especiales, como agregados ligeros, agregados de alta densidad o tipos particulares de cemento de fraguado lento (Romo, 2020).

A pesar de que el hormigón es excepcionalmente fuerte cuando se somete a fuerzas de compresión, es fuertemente frágil y vulnerable a las tensiones. Para aprovechar sus ventajas y contrarrestar sus debilidades en estructuras, se utiliza una combinación de hormigón con barras de acero altamente resistentes a la tracción, lo que se conoce como hormigón armado, o se refuerza con cables de acero de alta resistencia sometidos a tensión, lo que se denomina hormigón pre esforzado.

Los materiales aglomerantes son esenciales para unir fragmentos minerales y formar una masa sólida continua con propiedades de resistencia y durabilidad adecuadas, los cementos hidráulicos, como el ampliamente utilizado cemento Portland, son cruciales en la fabricación de hormigón estructural, ya que reaccionan químicamente con el agua durante el

endurecimiento inicial y el fraguado, estos cementos, compuestos principalmente por silicatos de calcio y aluminio, se originan a partir de calizas, arcillas o pizarras y yeso mediante procesos específicos. Los cementos hidráulicos se dividen en varios tipos, como el Tipo I, el más común, utilizado en hormigones normales que no se exponen a sulfatos, existen tipos específicos como el Tipo II, con menor generación de calor de fraguado y resistencia moderada a los sulfatos, el Tipo III, de fraguado rápido utilizado en construcción en contacto con flujos de agua, el Tipo IV, de fraguado lento, ideal para grandes volúmenes de hormigón como presas, y el Tipo V, resistente a sulfatos presentes en el ambiente o agregados (Romo, 2020).

Los áridos, que ocupan la mayoría del volumen total del hormigón, son cruciales para su resistencia y economía, la granulometría y características mecánicas de los áridos son fundamentales para el éxito del hormigón, la dosificación, que implica las proporciones de los componentes y el proceso de mezclado, afecta las propiedades del hormigón endurecido; durante el fraguado, la pasta de cemento crea cristales hidratados que unen las partículas de los áridos. Además, los aditivos químicos, como los plastificantes y superplastificantes, pueden mejorar las características del hormigón fresco y endurecido, permitiendo una mejor trabajabilidad, reducción de la relación agua/cemento y adaptabilidad a diferentes aplicaciones, como en hormigones bombeados o con alta densidad de armadura de hierro (Romo, 2020).

En relación con la resistencia a la Compresión, mide la capacidad del hormigón para soportar cargas que tienden a aplastarlo, se expresa en unidades de fuerza por área, como megapascuales (MPa) o psi (libras por pulgada cuadrada), es fundamental en el diseño estructural, ya que determina la capacidad de un elemento de hormigón para resistir cargas verticales (Romo, 2020).

El módulo de Young, este parámetro cuantifica la rigidez del hormigón. Representa cómo responde el material a las deformaciones elásticas bajo carga. Cuanto mayor sea el módulo de elasticidad, más rígido será el hormigón (Lifeder, 2021).

La ductilidad se refiere a la capacidad del hormigón de deformarse plásticamente antes de sufrir una falla. Es crucial en el diseño sísmico, ya que permite que una estructura absorba la energía del terremoto sin colapsar de manera catastrófica, el hormigón es relativamente débil en tracción. La resistencia a la tracción se utiliza en el diseño de refuerzos de hormigón armado, donde el acero proporciona la resistencia a la tracción necesaria, la resistencia al Corte, que mide la capacidad del hormigón para resistir fuerzas de corte que intentan deslizar las capas internas del material, es importante en elementos donde se produce el corte, como vigas y losas (Romo, 2020). El flujo plástico se refiere a la capacidad del hormigón de deformarse plásticamente bajo carga constante, sin que se rompa ni falle.

La teoría de la elasticidad comienza por describir cómo los materiales se deforman cuando se les aplica una carga, la deformación se mide en términos de cambios relativos en la longitud, el área o el volumen del material; la tensión es la fuerza aplicada por unidad de área y se relaciona con la deformación (Pereira , 2019).

En este contexto, la ley de Hooke es fundamental en la teoría de la elasticidad, por cuanto establece que, dentro del rango elástico de un material, la deformación es proporcional a la tensión aplicada, esta relación se puede expresar como una ecuación lineal: $\sigma = E\varepsilon$, donde σ es el esfuerzo (tensión), E es el módulo de elasticidad (que caracteriza la rigidez del material), y ε es la deformación (Sanger, 2020).

Los materiales tienen un rango elástico, donde siguen la ley de Hooke y pueden volver a su forma original después de la carga, si se supera este rango, el material entra en la

zona plástica, donde la deformación es permanente. En la teoría de la elasticidad, se resuelven ecuaciones diferenciales parciales conocidas como ecuaciones de equilibrio para encontrar el estado de tensión y deformación en un material, estas ecuaciones se aplican en condiciones de contorno que describen cómo se sostiene o carga la estructura en sus bordes.

La teoría de la elasticidad es esencial en la ingeniería estructural para el diseño de edificios, puentes, presas y otros elementos, permite predecir cómo responderá una estructura a cargas y deformaciones específicas, lo que es fundamental para garantizar su seguridad y eficiencia

Se utilizan diferentes modelos de material para representar el comportamiento elástico de sustancias específicas, como el acero, el concreto o los polímeros. Estos modelos se basan en ensayos de laboratorio y pruebas de materiales reales. El hormigón es excepcionalmente fuerte cuando se trata de cargas de compresión. Esto significa que puede soportar grandes fuerzas que tienden a comprimir o aplastar un elemento estructural, como una columna o una losa, el comportamiento bajo carga de compresión es fundamental para la resistencia de elementos como columnas y pilares. La capacidad de carga en compresión se calcula utilizando la resistencia característica del hormigón y la superficie efectiva de la sección transversal (Romo, 2020).

El hormigón, por sí solo, tiene una resistencia a la tracción relativamente baja, sin embargo, cuando se refuerza con barras de acero, se convierte en un material altamente eficiente para resistir fuerzas de tracción, el acero absorbe las tensiones y evita la fisuración y el colapso del hormigón, el comportamiento bajo carga de tracción es esencial en elementos como vigas y losas, donde las fuerzas de flexión generan tensiones de tracción en la parte inferior de la sección transversal.

En elementos de hormigón armado, es común observar fisuras en la superficie, especialmente en zonas sometidas a tracción, estas fisuras son parte del comportamiento

esperado del hormigón. No obstante, el diseño debe asegurar que estas fisuras sean controladas y no comprometan la integridad estructural, la presencia de las barras de acero de refuerzo evita que las fisuras se abran demasiado y que el hormigón se desplace, manteniendo la resistencia y la estabilidad.

El comportamiento del hormigón armado no solo involucra resistencia, sino también deformación. Cuando se aplica una carga, el hormigón y el acero se deforman elásticamente hasta cierto punto, lo que significa que pueden volver a su forma original cuando se elimina la carga, más allá de cierto punto, se pueden producir deformaciones permanentes. Comprender las características de deformación y resiliencia es vital para evaluar la seguridad y la capacidad de servicio de las estructuras (Romo, 2020).

El comportamiento del hormigón armado a lo largo del tiempo es esencial. La durabilidad es un factor crítico, y el hormigón debe resistir la exposición a condiciones ambientales, como la humedad y la corrosión. La protección adecuada de las barras de acero y la calidad del hormigón son factores clave para garantizar la durabilidad a largo plazo.

Es importante mencionar que el hormigón es un compuesto artificial que se forma mediante la adecuada combinación de cuatro elementos fundamentales: cemento, arena, grava y agua, cuyas propiedades están intrínsecamente vinculadas a la calidad y las proporciones de estos componentes, así como a las condiciones de humedad y temperatura durante el proceso de fabricación y fraguado.

Para conferir características específicas al hormigón, como mayor manejabilidad, resistencia superior o menor densidad, es posible incorporar otros elementos, tales como aditivos químicos, microsílíce, limallas de hierro, o incluso reemplazar los componentes básicos con materiales especiales, como áridos ligeros, áridos pesados o cementos de fraguado lento.

Ilustración 11
Técnicas de Hormigón Armado



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

El hormigón ha ganado relevancia como material estructural debido a su versatilidad para adaptarse a una amplia variedad de formas y dimensiones gracias a su comportamiento plástico en estado fresco, lo que permite crear geometrías diversas en el hormigón endurecido.

No obstante, similar a las piedras naturales no alteradas, el hormigón posee una resistencia significativa a la compresión, pero es frágil y débil ante las fuerzas de tracción. Para superar esta limitación, se combina el hormigón con barras de acero resistentes a la tracción, lo que da origen al hormigón armado, o se utiliza en conjunción con cables de acero de alta resistencia, creando así el hormigón preesforzado.

En cuanto a los materiales cementantes, se trata de sustancias aglomerantes con la capacidad de adherir y cohesionar fragmentos minerales, formando una masa sólida continua de resistencia y durabilidad adecuadas. Entre estos materiales se encuentran los cementos, las calles, los asfaltos y los alquitranes, aunque en la fabricación de hormigón estructural se emplean exclusivamente los cementos hidráulicos, que reaccionan químicamente con el agua durante el endurecimiento inicial y fraguado. El cemento Portland es uno de los cementos hidráulicos más utilizados y se obtiene a partir de la combinación de calizas, arcillas o

pizarras, y yeso a altas temperaturas. Diferentes tipos de cemento Portland se emplean según las necesidades específicas de las aplicaciones, como el tipo I, tipo II, tipo III, tipo IV y tipo V, cada uno con sus propias características y ventajas particulares.

Ilustración 12

Proceso de elaboración de cemento Portland



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Cemento Portland Tipo I: Este es el cemento Portland ordinario y el más comúnmente utilizado en la construcción. Se emplea en hormigones normales que no estarán expuestos a sulfatos en el ambiente, en el suelo o en el agua del subsuelo. Ofrece una buena resistencia inicial y es adecuado para una amplia variedad de aplicaciones de construcción.

Cemento Portland Tipo IA: Similar al Tipo I, pero con la adición de burbujas de aire de diámetro controlado en el hormigón. Esto mejora la resistencia al congelamiento y deshielo, lo que lo hace adecuado para climas fríos.

Cemento Portland Tipo IP: Este cemento contiene un porcentaje de puzolana que oscila entre el 15% y el 40%. La puzolana es un material mineral que mejora la durabilidad y reduce la cantidad de calor generado durante el proceso de hidratación. Esto modifica la curva de crecimiento de la resistencia a una edad temprana.

Cemento Portland Tipo II: Este tipo de cemento genera menos calor de hidratación y fragua a una velocidad más lenta en comparación con el Tipo I. Su característica más importante es que presenta una resistencia moderada a los sulfatos, lo que lo hace adecuado para su uso en obras marinas y en elementos enterrados, donde existe exposición a sulfatos.

Cemento Portland Tipo IIA: Similar al Tipo II, pero con la introducción de burbujas de aire en el hormigón, lo que mejora la resistencia a la congelación y deshielo. Esto lo hace útil en regiones con climas fríos.

Cemento Portland Tipo III: Este tipo de cemento se conoce como "cemento de fraguado rápido". Se utiliza en obras de hormigón que estarán en contacto con flujos de agua durante su construcción o en estructuras que necesitan adquirir resistencia rápidamente. Sin embargo, un desafío con este cemento es que emite calor de fraguado más rápidamente, por lo que requiere un proceso de curado cuidadoso.

Cemento Portland Tipo IIIA: Similar al Tipo III, pero con la introducción de aire en el hormigón para mejorar su resistencia al congelamiento y deshielo.

Cemento Portland Tipo IV: Este tipo de cemento es conocido por su fraguado lento y la producción de un calor de hidratación mínimo durante un período prolongado. Se utiliza en obras que contienen grandes volúmenes continuos de hormigón, como presas, donde se necesita controlar el calor generado durante el proceso de fraguado. Requiere más tiempo para alcanzar la resistencia especificada (generalmente 56 días o 84 días).

Cemento Portland Tipo V: Estos cementos son resistentes a los sulfatos que pueden estar presentes en los agregados del hormigón o en el entorno. La presencia de sulfatos en combinación con otros tipos de cemento puede provocar la desintegración gradual del hormigón y la degradación de su estructura interna. Por lo tanto, el Tipo V se utiliza en situaciones donde se espera exposición a sulfatos y se requiere una mayor resistencia a este tipo de agresión química.

Cada tipo de cemento Portland se selecciona según las necesidades específicas de un proyecto, considerando factores como la exposición ambiental, la velocidad de fraguado, la resistencia requerida y otras consideraciones de diseño. La elección del tipo de cemento es

esencial para garantizar la durabilidad y el rendimiento óptimo de las estructuras de hormigón en diferentes condiciones y aplicaciones.

Los Áridos en el Hormigón

En el contexto de hormigones estructurales, los áridos, o agregados, constituyen aproximadamente tres cuartos del volumen total del hormigón, mientras que el cuarto restante incluye la pasta endurecida de cemento, agua no reaccionada y burbujas de aire. La compactación efectiva de un hormigón tiene un impacto directo en su resistencia y en la eficiencia de su fabricación. En este sentido, la granulometría de los áridos, es decir, el tamaño de las partículas y su distribución estadística, desempeña un papel fundamental. Además, es esencial que los áridos cumplan con requisitos mecánicos adecuados y estén libres de impurezas.

Los áridos naturales se dividen en dos categorías: áridos finos y áridos gruesos. Los áridos finos, también conocidos como arenas, pasan a través del tamiz número 4, mientras que los áridos gruesos, llamados gravas o ripio en algunos lugares, no pasan a través de dicho tamiz. Los áridos gruesos presentan una mayor capacidad de adherencia con la pasta de cemento cuando se trituran, lo que les proporciona aristas. Sin embargo, las gravas de río, en particular, suelen tener una resistencia interna más sólida.

Ilustración 13

Áridos del Hormigón



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

La dosificación del hormigón se refiere a las proporciones en las que se combinan sus componentes básicos y complementarios. Las propiedades del hormigón endurecido dependen de esta dosificación inicial, del proceso de mezclado y del proceso de curado. En términos generales, los agregados contribuyen a la estructura interna del hormigón, donde los áridos más finos llenan los espacios entre los áridos más gruesos.

La pasta de cemento, compuesta por cemento y agua, llena los espacios vacíos entre las partículas de áridos en el hormigón fresco y las envuelve por completo. Durante el proceso de fraguado, la pasta de cemento da origen a cristales hidratados que unen químicamente las partículas de los agregados. Esta reacción química es exotérmica y genera calor, siendo más intensa en las primeras etapas después de la fabricación del hormigón. En ocasiones, una parte del cemento no se combina con el agua y permanece no hidratado, lo que no contribuye a la resistencia y, en cambio, debilita la estructura interna.

Para asegurar que las reacciones de fraguado continúen, se requiere un suministro constante de agua de curado después del endurecimiento inicial del hormigón. Esta agua de curado repone la humedad que se pierde debido al calor liberado durante las reacciones químicas. La falta de agua de curado puede tener efectos negativos en la resistencia final del hormigón, ya que las partículas de cemento no reaccionan completamente y la cohesión se ve afectada.

Ilustración 14

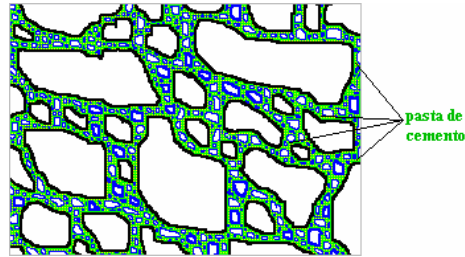
Combinación con agregado grueso



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Ilustración 15

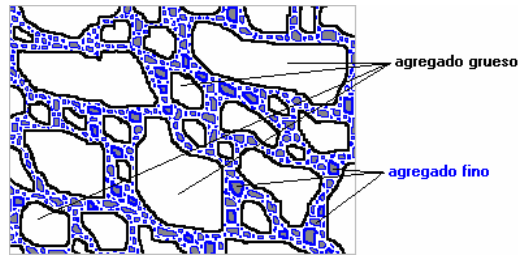
Combinación de pasta de cemento



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Ilustración 16

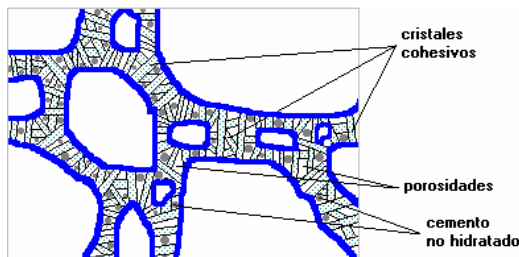
Combinación de agregado grueso y agregado fino



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Ilustración 17

Combinación de cristales adhesivos, porosidades y cemento no hidratado



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Los aditivos químicos desempeñan un papel esencial en la mejora de las propiedades del hormigón en su estado fresco, endurecido y durante el proceso de fraguado. Los aditivos plastificantes son ampliamente utilizados y mejoran significativamente la trabajabilidad del

hormigón fresco, lo que los hace ideales para hormigones que se bombean o en zonas con una alta concentración de refuerzo de acero.

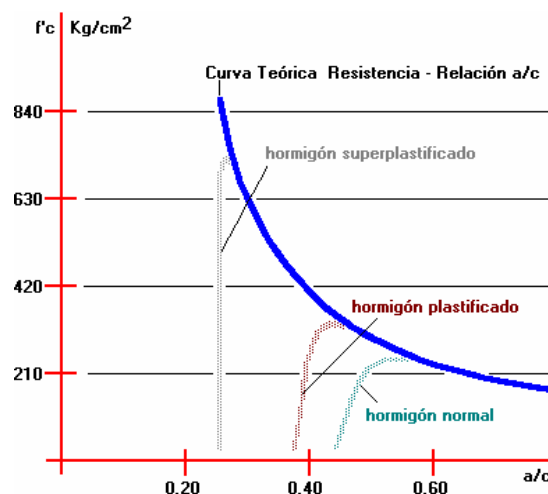
Estos mismos aditivos pueden reducir la cantidad de agua de amasado, lo que mejora la resistencia del hormigón sin comprometer la trabajabilidad. Los aditivos plastificantes reducen la tensión superficial del agua, lo que facilita la manipulación del hormigón fresco.

Existen aditivos superplastificantes que transforman un hormigón normal en un hormigón fluido, que no necesita vibración para llenar los espacios de las molduras, incluso en áreas de difícil acceso. Esto permite reducir la relación agua/cemento, logrando hormigones de mediana y alta resistencia.

Hormigones de mediana resistencia (entre 350 Kg/cm² y 420 Kg/cm²) y hormigones de alta resistencia (mayores a 420 Kg/cm²).

Ilustración 18

Curva técnica Resistencia - Relación a/c



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Otros tipos de aditivos, como los acelerantes, retardantes y los impermeabilizantes, se utilizan para modificar la velocidad de fraguado y mejorar la durabilidad y resistencia del hormigón en diferentes condiciones. También existen aditivos que introducen aire en el hormigón, mejorando su resistencia al congelamiento y descongelamiento.

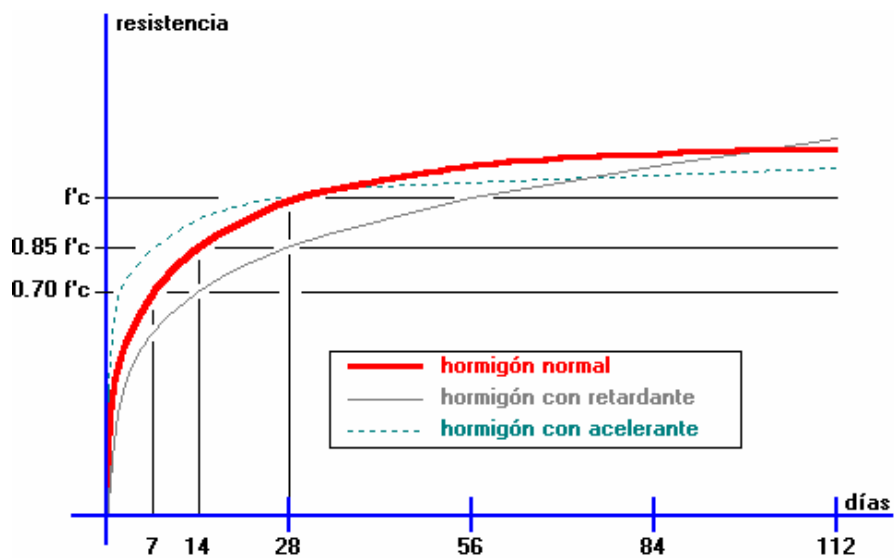
Ilustración 19
Tipo de revestimiento



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

La elección y aplicación de aditivos requiere pruebas previas en laboratorio u obra, ya que su interacción con el cemento y otros aditivos puede variar. El uso adecuado de aditivos es fundamental para mejorar las propiedades del hormigón y garantizar su desempeño óptimo en diversas aplicaciones de ingeniería civil.

Ilustración 20
Resistencia en diferentes tipos de hormigón

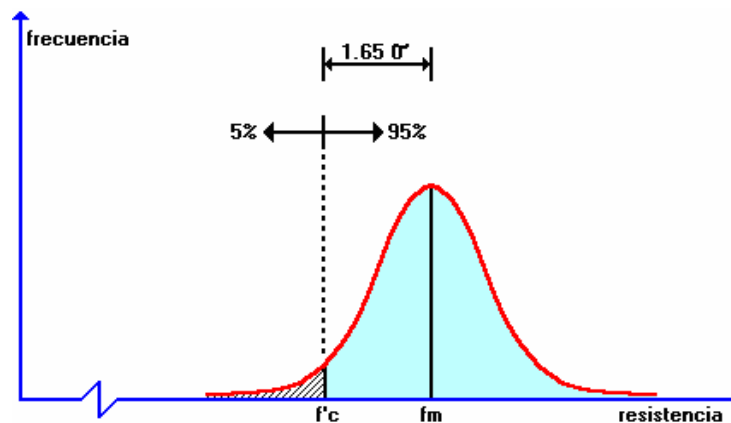


Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Las propiedades mecánicas del hormigón son fundamentales en el diseño de diversas estructuras, como las de hormigón simple, armado, preesforzado o aquellas que involucran perfiles laminados y soldados de acero. Entre las propiedades clave se encuentran la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad, la ductilidad, la resistencia a la tracción, la resistencia al corte y el flujo plástico.

La resistencia a la compresión se determina mediante pruebas en cilindros estandarizados después de 28 días de curado controlado. Se establece una resistencia característica que tiene en cuenta una probabilidad de falla del 5%, asegurando que la resistencia media de las muestras sea mayor que la especificada.

Ilustración 21
Frecuencia - Resistencia

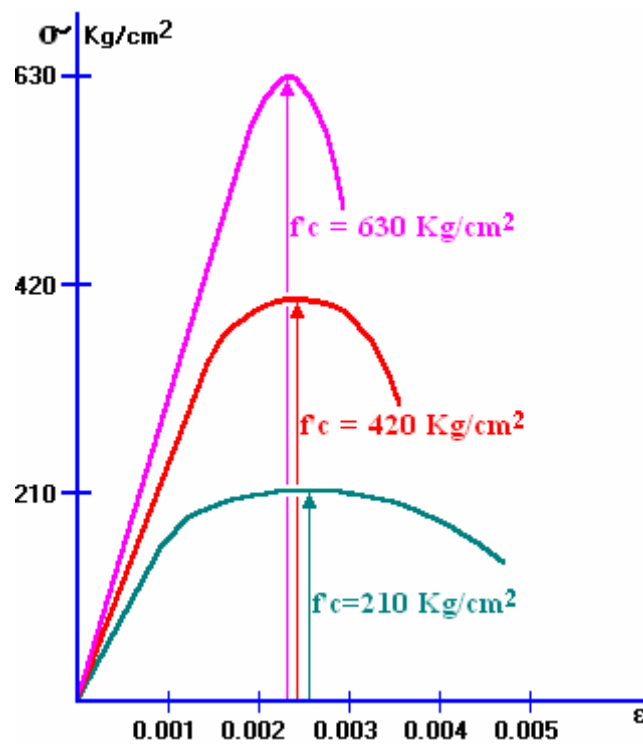


Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Factores como la relación agua/cemento, la compactación, la cantidad de cemento y la granulometría de los agregados influyen en la resistencia a la compresión. Los hormigones de alta resistencia están limitados por la resistencia de los agregados.

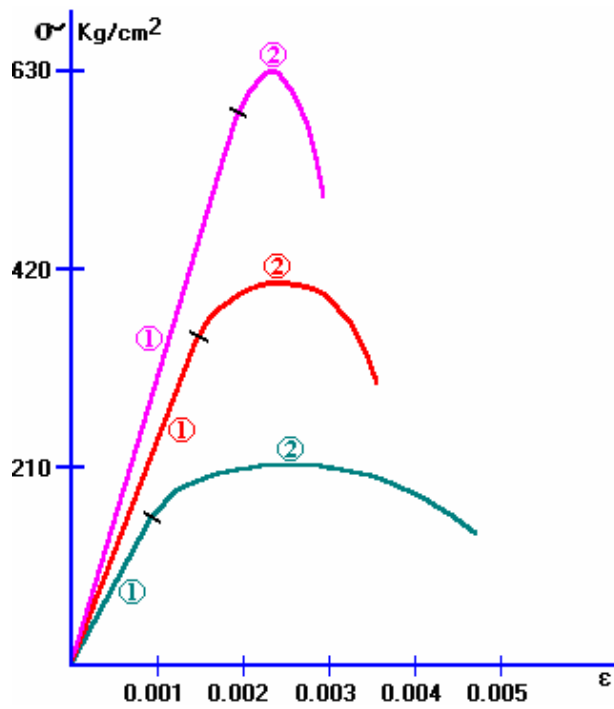
El módulo de elasticidad, representado por " E_c ", es la pendiente de la curva esfuerzo-deformación en el rango elástico y aumenta con la resistencia del hormigón. Se relaciona con la resistencia a la compresión a través de una fórmula aproximada.

Ilustración 22
Curva esfuerzo-deformación de hormigón de diferentes resistencias



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

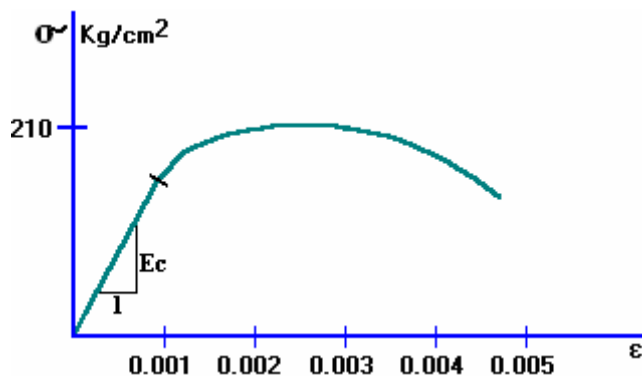
Ilustración 23
Rango elástico (tramo 1) e inelástico (tramo 2) de hormigones de diferentes resistencias.



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Ilustración 24

Representación del módulo de la elasticidad del hormigón.



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

El Módulo de Elasticidad puede calcularse mediante la siguiente expresión

$$E_c = \frac{\sigma_{c,l}}{\epsilon_{c,l}}$$

Tabla 14

Módulos de elasticidad

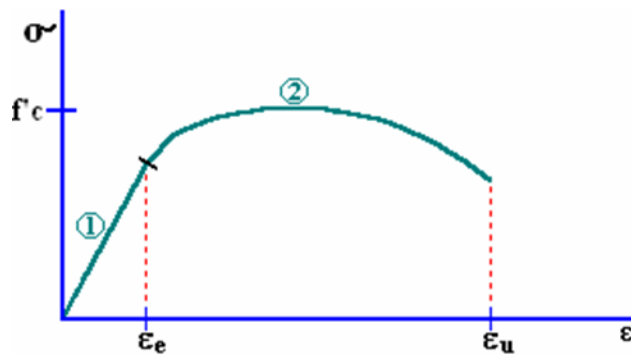
Resistencia (Kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²)
210	217000
280	251000
350	281000
420	307000

Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

La ductilidad se puede medir en función de la deformación unitaria de rotura en comparación con la deformación máxima en el rango elástico. La ductilidad disminuye a medida que aumenta la resistencia del hormigón.

Ilustración 25

Deformaciones unitarias máximas de rango elástico e inelástico.



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

$$D_d = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_e} \quad \text{Ecuación (1.4)}$$

- D_d : Índice de ductilidad por deformación
- ϵ_u : Deformación unitaria de rotura
- ϵ_e : Deformación unitaria elástica máxima

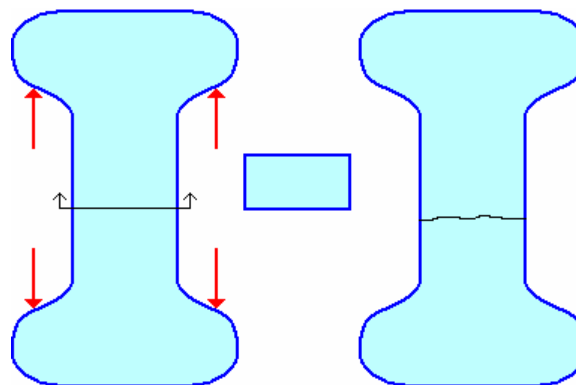
Tabla 15
Índice de ductilidad por deformación

Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)	Índice de Ductilidad por Deformación
2 1 0	4.5 – 6.0
2 8 0	3.5 – 4.5
3 5 0	3.0 – 3.5
4 2 0	2.5 – 3.0
6 3 0	2.0 – 2.5
8 4 0	1.5 – 2.0

Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008).

La resistencia a la tracción del hormigón es baja, alrededor del 10% de su resistencia a la compresión. Por lo tanto, en estructuras de hormigón armado, el acero de refuerzo maneja los esfuerzos de tracción.

Ilustración 26
Prueba directa de tracción



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

$$f_t = 1.5 \sqrt{f'_c}$$

Ecuación (1.6)

f_t : Resistencia a la tracción del hormigón medida en Kg/cm².

f'_c : Resistencia a la compresión del hormigón medida en Kg/cm².

Tabla 16

Resistencia de la tracción del hormigón.

Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia a la Tracción (Kg/cm ²)
210	22
280	25
350	28
420	31
630	38
840	43

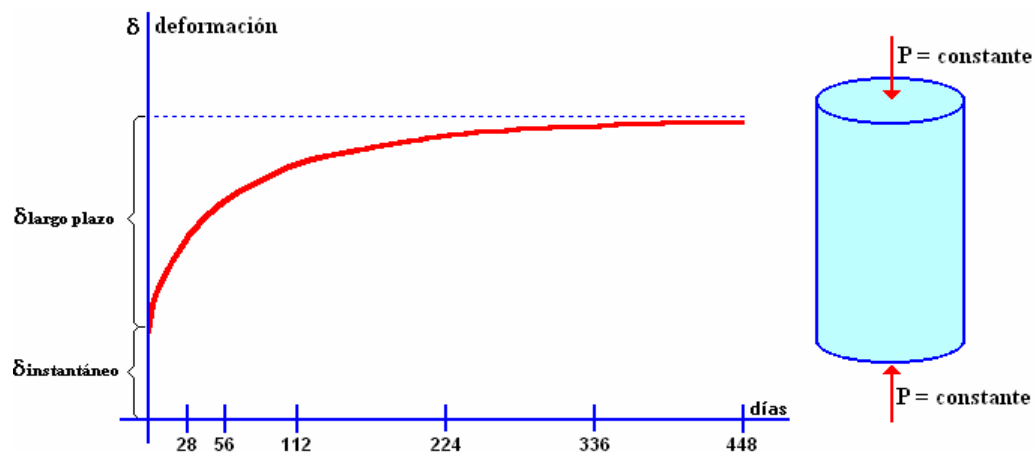
Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

El ensayo de corte directo evalúa la resistencia al corte del hormigón, que sigue un comportamiento similar al de la tracción.

Finalmente, el flujo plástico se refiere a la deformación a largo plazo bajo cargas sostenidas y depende de la resistencia del hormigón. Las partículas de agua migran a través del material debido a la alta presión, lo que contribuye a este fenómeno.

Ilustración 27

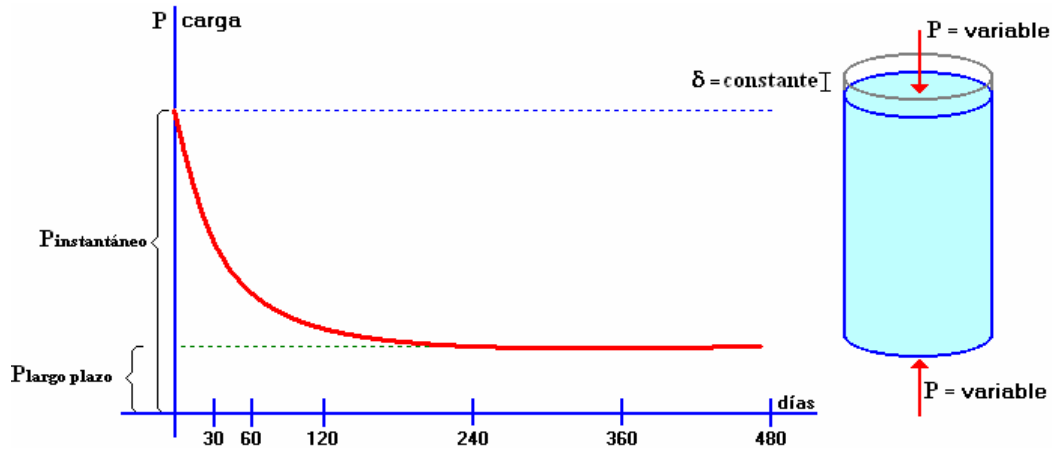
Deformaciones en el hormigón bajo cargas axiales a largo plazo



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Ilustración 28

Cargas axiales en el hormigón bajo deformaciones axiales a largo plazo



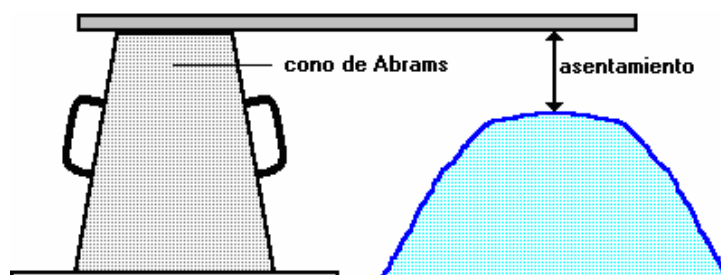
Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Propiedades adicionales del hormigón

Trabajabilidad: La trabajabilidad de un hormigón fresco se relaciona con su capacidad para adaptarse fácilmente a diversas formas de encofrado sin requerir un esfuerzo mecánico excesivo, como la vibración. Se mide cuantitativamente mediante pruebas como el Asentamiento del Cono de Abrams o el diámetro de Dispersión en la Mesa de Flujo. Cuanto mayor sea el asentamiento o el diámetro de dispersión, más trabajable será el hormigón.

Ilustración 29

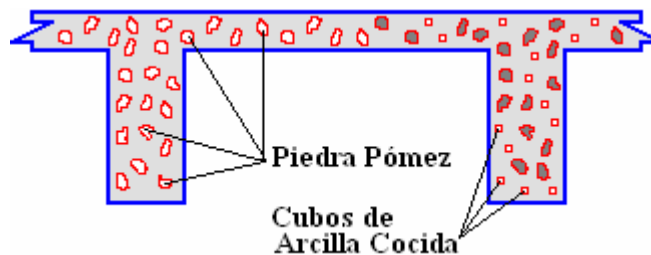
Trabajabilidad



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Densidad: La densidad del hormigón endurecido típico oscila entre 2200 y 2300 Kg/m³, mientras que el hormigón fresco varía entre 2250 y 2350 Kg/m³. En situaciones que requieren mayor densidad, como entornos con componentes radioactivos, se utilizan agregados más densos y composiciones químicas específicas, alcanzando densidades de hasta 2800 Kg/m³. En edificios altos, a menudo se opta por hormigones menos densos, logrados mediante la incorporación de materiales como la piedra pómez o cubos de arcilla cocida, lo que puede reducir la densidad a aproximadamente 1900 Kg/m³.

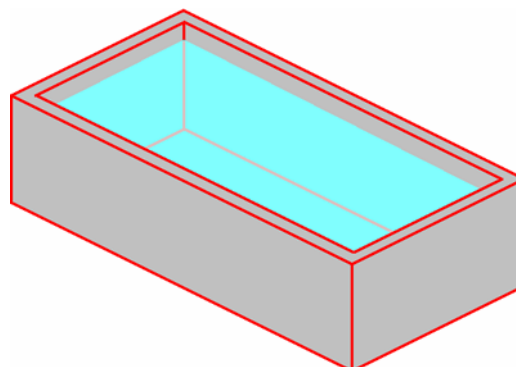
Ilustración 30
Densidad



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Impermeabilidad: La impermeabilidad del hormigón es esencial en aplicaciones como presas y tanques de almacenamiento. Se logra mediante la adición de aditivos químicos adecuados que mejoran la resistencia del hormigón a la penetración de agua y líquidos.

Ilustración 31
Hormigón Impermeable



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Resistencia a la Abrasión: Para estructuras sometidas a un intenso tráfico vehicular, como pavimentos en carreteras o estacionamientos, se requiere la utilización de hormigones resistentes a la abrasión. Estos hormigones incorporan aditivos químicos para resistir el desgaste y la fricción provocados por el tráfico.

Ilustración 32

Pavimento Rígido de hormigón resistente a la abrasión



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

En cuanto a las tareas complementarias:

a. **Recopilación de información sobre aditivos:** Se debe reunir información sobre aditivos disponibles en el mercado local y organizarla en una tabla que incluya detalles como la categoría del aditivo, su efecto en el hormigón y casos de uso específicos. Por ejemplo, los plastificantes pueden mejorar la trabajabilidad y la resistencia, y se utilizan en zonas con alta concentración de armadura o en elementos estructurales delgados. Los acelerantes de fraguado se emplean cuando se necesita una obtención rápida de la resistencia, como en edificios que requieren desencofrado temprano o en elementos en contacto con agua corriente.

b. Análisis granulométrico de agregados: Se realizará un análisis granulométrico de dos muestras de agregado fino (arena de mina y polvo de piedra) y dos muestras de grava claramente diferenciadas en origen y color. Este análisis ayudará a comprender cómo se comportan estos agregados en la fabricación de hormigón y permitirá formular hipótesis sobre su idoneidad para aplicaciones específicas.

c. Prueba de la Máquina de Los Ángeles en gravas: Se someterán dos muestras de grava de diferente origen y color a la prueba de la Máquina de Los Ángeles, que mide la abrasión de los agregados. Posteriormente, se analizará el efecto de estas pruebas en el comportamiento de los hormigones fabricados con estas gravas. Esto proporcionará información crucial sobre la resistencia a la abrasión de los agregados y su idoneidad para aplicaciones específicas de construcción.

Diseño y Fabricación de Hormigones

El propósito fundamental del diseño de mezclas de hormigón es lograr una composición que cumpla con ciertas propiedades tanto en su estado fresco como endurecido, al mismo tiempo que se minimiza el costo de producción.

Características de los Materiales:

a. Cemento: El cemento desempeña un papel crucial como agente de unión en el hormigón. En aplicaciones de construcción, se requiere generalmente el uso de cemento Portland, que se presenta en varios tipos como el Tipo I (de fraguado normal), Tipo II (de propiedades modificadas), Tipo III (de fraguado rápido), Tipo IV (de fraguado lento) y Tipo V (resistente a sulfatos). En general, el cemento Portland Tipo I es ampliamente disponible, mientras que otros tipos pueden requerir importación. Es vital mantener el cemento seco y libre de aglomeraciones prematuras. Un almacenamiento adecuado incluye un sitio cubierto, seco y bien ventilado, evitando pilas excesivamente altas de sacos de cemento para prevenir

fraguado bajo presión. La rotación adecuada de inventario dentro del lugar de almacenamiento es esencial.

b. Agregados: Los agregados constituyen más del 75% del volumen del hormigón, y su calidad influye significativamente en el comportamiento del hormigón. Se distinguen entre agregados gruesos (con partículas mayores a 5 mm) y agregados finos (con partículas de tamaño entre 0.07 mm y 5 mm). La combinación de diferentes tamaños de partículas en los agregados gruesos y finos es esencial para lograr una granulometría adecuada en la mezcla de hormigón. El uso de agregados triturados tiende a mejorar la adherencia y la resistencia en comparación con los agregados naturales. La ausencia de partículas orgánicas, sales, limos y arcillas perjudiciales es esencial.

c. Agua: El agua utilizada en la elaboración del hormigón debe ser preferiblemente potable y libre de impurezas. Se debe evitar el uso de agua de mar debido a su salinidad, que puede dañar el acero en las estructuras de hormigón armado.

d. Aditivos: Los aditivos son compuestos químicos que se añaden en pequeñas cantidades para modificar propiedades del hormigón. Los aditivos comunes incluyen acelerantes, retardantes y plastificantes. Se recomienda probar los aditivos antes de su uso, ya que su efectividad puede variar según la calidad del cemento disponible en la región y cuando se combinan con otros aditivos.

2.3 Especificaciones Técnicas del Hormigón en la Obra:

Las especificaciones técnicas son la base del proceso de diseño de hormigón y abordan propiedades clave del material, como resistencia a la compresión, trabajabilidad del hormigón fresco, velocidad de fraguado y peso específico. En condiciones climáticas con ciclos de congelación y descongelación, también es necesario especificar la cantidad de aire incluido.

a. Resistencia del Hormigón: La resistencia a la compresión se evalúa comúnmente a los 28 días después de la fabricación del hormigón, aunque en proyectos especiales, como túneles y presas, se pueden establecer plazos diferentes.

b. Trabajabilidad del Hormigón Fresco: La trabajabilidad se refiere a la facilidad con la que el hormigón fresco se puede colocar y compactar en moldes. Los niveles de trabajabilidad se miden mediante pruebas como el asentamiento del Cono de Abrams. En algunos casos, para mejorar la trabajabilidad, es posible añadir agua o utilizar plastificantes sin comprometer la resistencia final del hormigón.

c. Velocidad de Fraguado: En función de los requisitos del proyecto y la estructura, puede ser necesario acelerar o retrasar el proceso de fraguado del hormigón. Esto se logra mediante el uso de cementos especiales o aditivos acelerantes y retardantes.

d. Peso Específico: La necesidad de utilizar hormigón ligero o pesado depende del tipo de proyecto. Los agregados ligeros y pesados se emplean para cumplir con estos requerimientos. El hormigón ligero se usa en aplicaciones como la construcción de losas en edificios altos, mientras que el hormigón pesado es adecuado para estructuras como anclajes de puentes colgantes o bunkers de materiales radioactivos.

Control en Obra:

El control en la obra durante la fabricación del hormigón es fundamental y debe cumplir con varios aspectos clave. Esto incluye respetar las proporciones del diseño inicial, controlar la humedad de los agregados, evitar el uso de agregados con impurezas, asegurar que el cemento no esté iniciando el proceso de fraguado, supervisar el asentamiento en el cono de Abrams, realizar pruebas de mezclas con aditivos, evitar la segregación del hormigón y tomar muestras para ensayos a diferentes edades, como 7, 14, 28 y 56 días.

Tareas Complementarias:

Las tareas complementarias en el proceso de diseño de mezclas incluyen realizar ensayos de laboratorio a los agregados y cemento disponibles en la zona para afinar el diseño del hormigón. Además, se pueden llevar a cabo diseños al peso de hormigones específicos y probar los resultados en laboratorio. Si es necesario, se pueden realizar ajustes en el diseño. Para realizar un diseño basado en volúmenes, se requiere determinar la densidad aparente del agregado grueso y del cemento mediante ensayos de laboratorio.

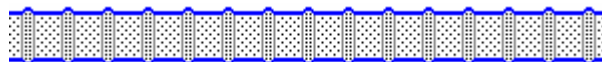
El Acero estructural en el Hormigón Armado

El acero es una aleación basada en hierro que contiene carbono y pequeñas cantidades de otros elementos metálicos. Normalmente, el carbono representa entre el 0.5% y el 1.5% de la aleación. El acero utilizado en estructuras, como barras y cables, es adecuado para resistir fuerzas de tracción, lo que lo convierte en el material ideal para combinarse con el hormigón simple en la formación de hormigón armado y preesforzado.

Además, las barras de acero son capaces de resistir eficazmente fuerzas de corte y torsión, aunque su costo sea mucho más alto que el del hormigón simple. Por lo tanto, el porcentaje volumétrico de acero en el hormigón armado y preesforzado suele ser relativamente pequeño (generalmente entre 0.5% y 3%, dependiendo del elemento estructural).

Ilustración 33

Corrugado en las varillas de acero



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Cuando se confina o refuerza adecuadamente, las barras de acero también pueden resistir fuerzas de compresión, aunque económicamente esta no sea la solución más adecuada.

El acero utilizado en el hormigón armado generalmente tiene deformaciones (barras corrugadas) [ACI 3.5.1], a excepción del acero utilizado en los anillos en espiral, que puede ser liso. Comercialmente, el acero se distribuye en barras con diferentes diámetros nominales.

Tabla 17

Área transversal y peso por metro lineal de barras de acero.

Diámetro Nominal (mm)	Sección Transversal (cm²)	Peso por Metro Lineal (Kg/m)
8	0,50	0,39
10	0,79	0,61
12	1,13	0,88
14	1,54	1,20
16	2,01	1,57
18	2,54	1,98
20	3,14	2,45
22	3,80	2,97
25	4,91	3,83
28	6,16	4,80
30	7,07	5,51
35	9,62	7,50

Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Las barras de acero con diámetros de 10 a 25 mm suelen estar disponibles directamente en el mercado en longitudes de 6, 9 y 12 metros, y a partir de ese diámetro, se fabrican bajo pedido. Las barras de acero con diámetros inferiores a 10 mm generalmente se venden en rollos.

En el diseño, generalmente se seleccionan varias barras del mismo diámetro o combinaciones de diámetros para obtener las áreas transversales requeridas.

Tabla 18*Área transversal de múltiples barras de acero.*

Diám. mm	Número de Varillas														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
8	0,50	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03	5,53	6,03	6,53	7,04	7,54
10	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85	8,64	9,42	10,21	11,00	11,78
12	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31	12,44	13,57	14,70	15,83	16,96
14	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,32	13,85	15,39	16,93	18,47	20,01	21,55	23,09
16	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11	22,12	24,13	26,14	28,15	30,16
18	2,54	5,09	7,63	10,18	12,72	15,27	17,81	20,36	22,90	25,45	27,99	30,54	33,08	35,63	38,17
20	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27	31,42	34,56	37,70	40,84	43,98	47,12
22	3,80	7,60	11,40	15,21	19,01	22,81	26,61	30,41	34,21	38,01	41,81	45,62	49,42	53,22	57,02
25	4,91	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18	49,09	54,00	58,90	63,81	68,72	73,63
28	6,16	12,32	18,47	24,63	30,79	36,95	43,10	49,26	55,42	61,58	67,73	73,89	80,05	86,21	92,36
30	7,07	14,14	21,21	28,27	35,34	42,41	49,48	56,55	63,62	70,69	77,75	84,82	91,89	98,96	106,03
35	9,62	19,24	28,86	38,48	48,11	57,73	67,35	76,97	86,59	96,21	105,83	115,45	125,07	134,70	144,32

Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Área Transversal de Barras de Acero (cm²) Diám. mm Número de Barras 8 1 2

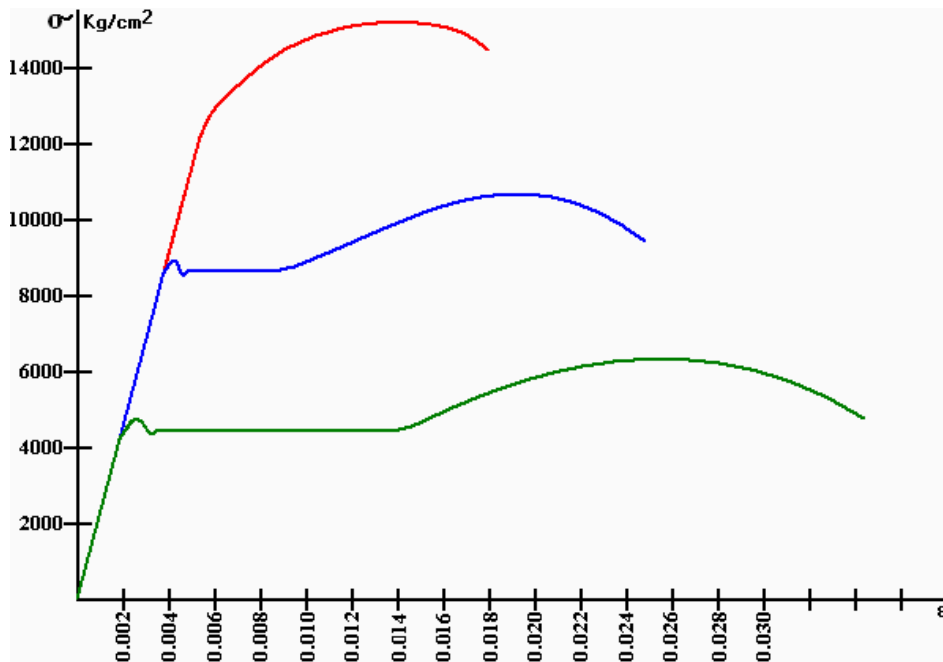
En el hormigón preesforzado, se utilizan cables de acero con diámetros relativamente pequeños (3, 4, 5 y 6 mm).

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO:

La descripción más completa de las propiedades mecánicas de los aceros (propiedades utilizadas en el diseño estructural) se logra a través de sus curvas de esfuerzo-deformación bajo cargas de tracción. Estas propiedades varían según la composición química del material y sus procesos de fabricación. En el siguiente diagrama, se presentan algunas curvas de esfuerzo-deformación características de los aceros.

Ilustración 34

Curvas esfuerzo – deformación de los aceros estructurales



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

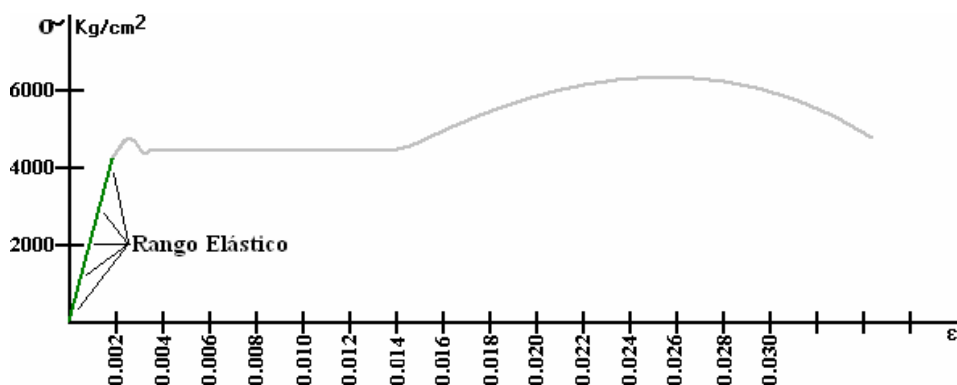
Algunos de los elementos que aparecen en las curvas de esfuerzo-deformación los analizaremos de manera individual

a. RANGO DE COMPORTAMIENTO ELÁSTICO:

Este rango comprende esfuerzos a partir de la carga nula en los que el acero se deforma bajo cargas de tracción, pero al retirar la carga, recupera su geometría inicial. En la curva esfuerzo-deformación, este rango coincide con la recta que parte desde el punto de esfuerzo y deformación nulos.

Ilustración 35

Rango elástico del acero estructural.



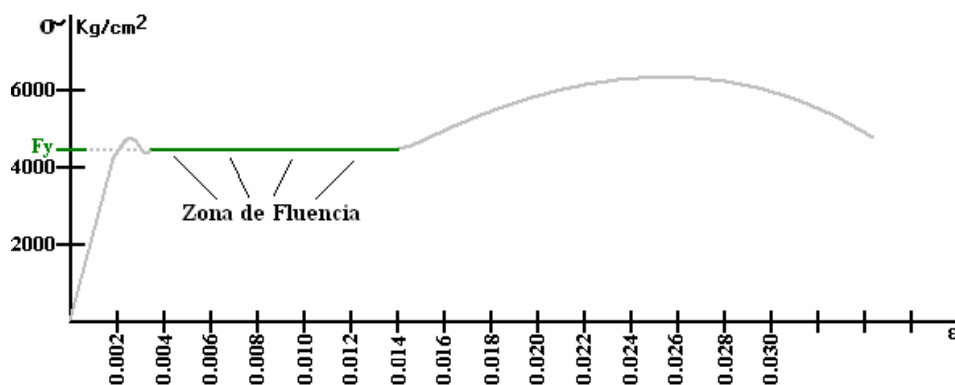
Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

b. ESFUERZO DE FLUENCIA:

Se define como el esfuerzo bajo el cual el acero continúa deformándose sin necesidad de aumentar las cargas de tracción. En el diagrama esfuerzo-deformación de los aceros tradicionales, la fluencia coincide con una recta horizontal, o casi horizontal, después del rango elástico y un pequeño tramo de transición. El esfuerzo asociado se identifica como "Fy".

Ilustración 36

Zona de fluencia del acero estructural.



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

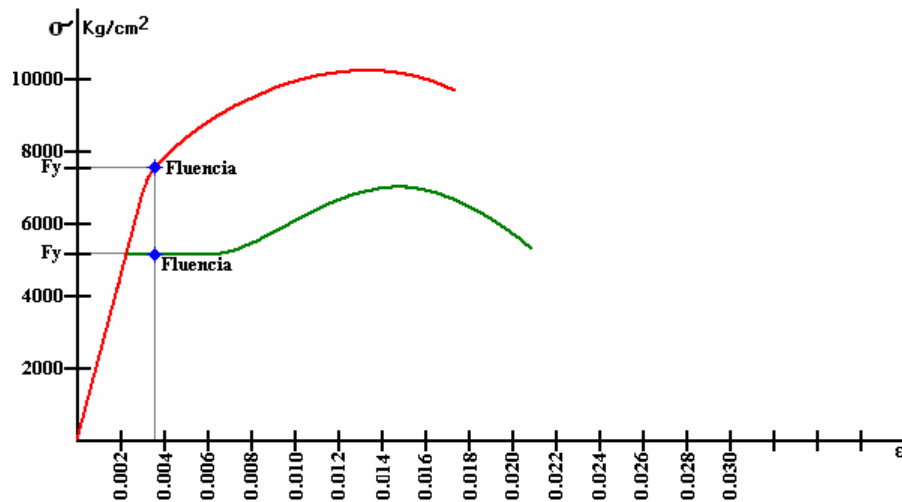
Existen aceros estructurales trabajados en frío para lograr una mayor resistencia que no muestran una zona de fluencia. En tales casos, ASTM recomienda trazar una recta paralela a la de comportamiento elástico que comienza en el eje de las deformaciones unitarias con una deformación de 0.002. El punto en que esa recta cruza la curva esfuerzo-deformación define el esfuerzo teórico de fluencia del material.

ACI, por su parte, especifica que si el esfuerzo de fluencia observado gráficamente supera los 4200 Kg/cm², el esfuerzo de fluencia debe obtenerse de la curva esfuerzo-deformación para una deformación unitaria de 0.0035 [ACI 3.5.3.2]. No se permite

utilizar un esfuerzo de fluencia en el diseño superior a 5500 Kg/cm² [ACI 9.4], excepto para el refuerzo en espiral, que puede llegar hasta 7000 Kg/cm² [ACI 10.9.3], y el acero de preesfuerzo.

Ilustración 37

Esfuerzo de fluencia en aceros según ACI



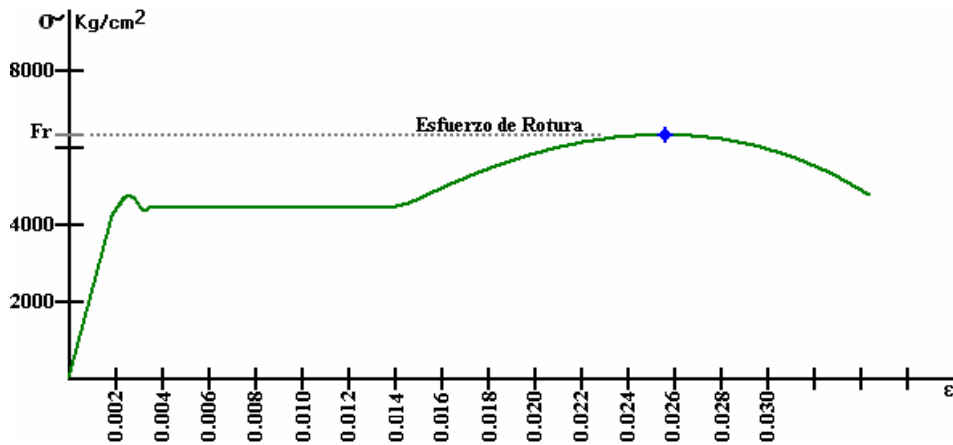
Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

c. RESISTENCIA A LA ROTURA:

Es el esfuerzo máximo que el acero puede soportar antes de experimentar una falla del material. En el diagrama esfuerzo-deformación del material, el inicio de la falla se identifica mediante el punto con la ordenada más alta, que se representa como "Fr".

Ilustración 38

Resistencia a la Rotura del acero de refuerzo



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

La resistencia a la rotura siempre es mayor que el esfuerzo de fluencia para cualquier tipo de acero estructural. En el hormigón armado, la diferencia entre la resistencia a la rotura y el esfuerzo de fluencia no se utiliza directamente en el diseño debido a las grandes deformaciones que se requerirían para alcanzar ese mayor esfuerzo, por lo que se utiliza exclusivamente el esfuerzo de fluencia en el diseño. En el hormigón pretensado, donde se utilizan aceros de alta resistencia, se emplea el esfuerzo de fluencia en el diseño y el esfuerzo de rotura en la verificación a carga última, ya que las deformaciones cercanas al colapso del material compuesto son considerablemente menores que en el hormigón armado.

d. MÓDULO DE ELASTICIDAD:

Es la pendiente de la recta que identifica el rango de comportamiento elástico de los materiales, y en el caso del acero, se representa como "Es".

Numéricamente, el módulo de elasticidad es el cociente entre el esfuerzo y la deformación unitaria dentro del rango elástico.

$$E_s = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

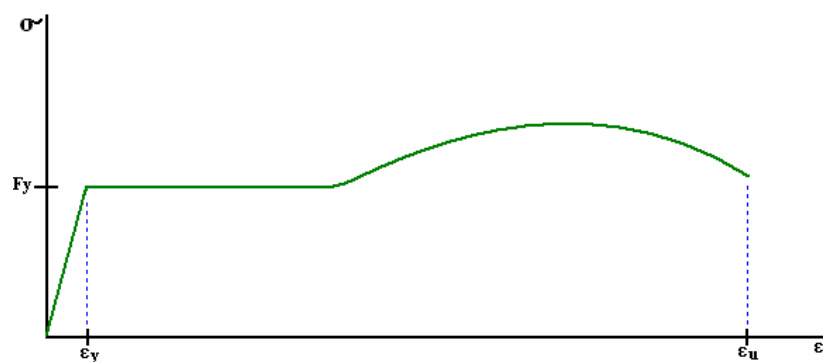
En los aceros estructurales sólidos en barra o perfil, utilizados en el hormigón armado, prácticamente siempre se tiene un único módulo de elasticidad, lo que se refleja en las pendientes únicas de las curvas de esfuerzo-deformación para aceros con diferentes propiedades.

e. DUCTILIDAD:

Al igual que en el caso del hormigón, existen dos maneras básicas de medir la ductilidad: a través de la deformación y a través de la energía de deformación. La ductilidad por deformación de los aceros estructurales utilizados en el hormigón armado generalmente supera a diez. Los aceros de alta resistencia utilizados en el hormigón preesforzado tienen una ductilidad limitada, del orden de tres a cinco.

Ilustración 39

Deformaciones unitarias de fluencia y última.



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

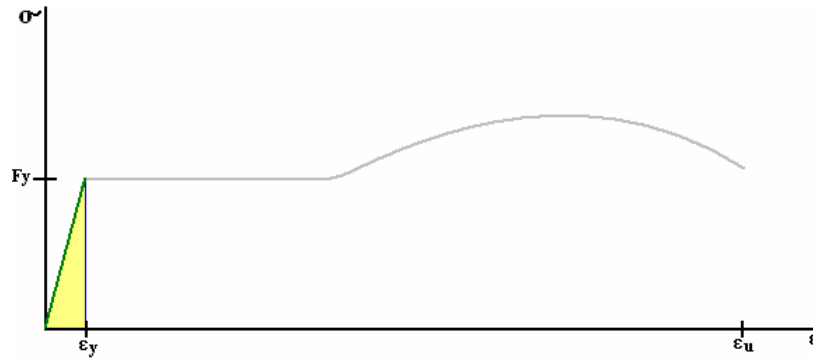
$$D_d = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_y} \quad \text{Ecuación (3.2)}$$

Dd: Índice de ductilidad por deformación

εu: Deformación unitaria de rotura

εy: Deformación unitaria de inicio de fluencia

Para especificar el inicio de la fluencia, se simplifica el diagrama de esfuerzo-deformación eliminando la zona de transición entre el rango de comportamiento elástico y la zona de fluencia. La ductilidad por energía de deformación de los aceros

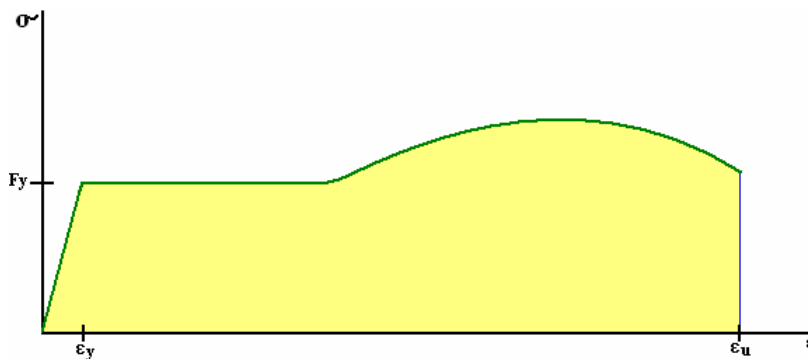


empleados en el hormigón armado generalmente supera a veinte.

Ilustración 40
Energía de deformación elástica

Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Ilustración 41
Energía de deformación última.



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

$$D_{ed} = \frac{A_u}{A_y}$$

Ecuación (3.3)

Ded: Índice de ductilidad por energía de deformación

Au: Energía de deformación unitaria de rotura

Ay: Energía de deformación unitaria de inicio de fluencia

OTRAS PROPIEDADES DEL ACERO:

DENSIDAD:

La densidad del acero sólido es de 7850 Kg/m³. Los cables de acero utilizados en el hormigón preesforzado tienen una densidad menor debido a la presencia de espacios vacíos. La variación de la densidad depende del diámetro exterior de los cables, el diámetro y el número de hilos que forman parte del cable, y el proceso de fabricación.

RESISTENCIA A LA CORROSIÓN:

Muchos aceros utilizados en estructuras requieren resistencia a la corrosión cuando están expuestos a ambientes agresivos. Para lograr esto, es necesario incluir componentes adicionales, especialmente níquel, en el proceso de fabricación de la aleación, con una proporción entre 2 y 4%. Estos aceros resistentes a la corrosión no se encuentran comúnmente en forma de barras en ciertas áreas, pero se pueden adquirir en forma de perfiles importados laminados en caliente.

También existen aceros resistentes al desgaste, que se utilizan en estructuras con elementos móviles, como puentes grúa metálicos. Estos aceros contienen manganeso en una proporción de entre el 10 y el 18% en la aleación. La presencia de níquel y cromo en la aleación permite obtener aceros con propiedades combinadas como inoxidable y resistentes a ataques químicos, o de gran resistencia, dureza y elasticidad.

COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN ARMADO

En el campo de la ingeniería civil, al analizar el comportamiento del hormigón armado sometido a cargas de flexión, se realizan evaluaciones en fases para comprender cómo este material responde a diferentes niveles de sollicitaciones. Imaginemos una viga con refuerzo de tracción bajo cargas crecientes; a medida que se incrementan las cargas, los momentos flectores en la viga también aumentan gradualmente, generando deformaciones en las áreas de compresión y tracción, tanto en el hormigón como en el acero.

En el primer rango de deformaciones, cuando las cargas se incrementan progresivamente, el hormigón y el acero responden de manera lineal y proporcionada a las deformaciones internas, manteniendo el equilibrio. Sin embargo, este rango es limitado por la capacidad de tracción del hormigón, y en este punto, se produce la fisuración en la zona de tracción, debilitando momentáneamente la sección transversal. Para restablecer el equilibrio, el acero comienza a asumir un papel más significativo en la resistencia estructural.

Tabla 19
Comportamiento del hormigón armado

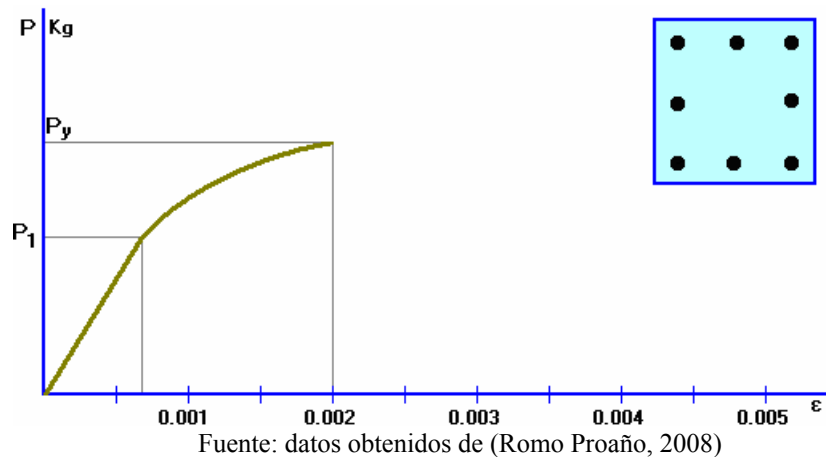
f'c (Kg/cm²)	Máxima deformación elástica (ϵ_c)	Máximo esfuerzo elástico aproximado (Kg/cm²)
210	0.00070	152
280	0.00085	213
350	0.00100	281
420	0.00115	354

Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

En el segundo rango de deformaciones, una vez que el hormigón se ha fisurado por tracción en una sección específica, el eje neutro se desplaza hacia la zona donde se encuentra el refuerzo de tracción. La fisuración del hormigón es violenta y lo deja sin capacidad de soportar cargas a tracción. En este punto, se produce una reducción inmediata en la capacidad de la sección para resistir momentos flectores, lo que resulta en un comportamiento desequilibrado.

Ilustración 42

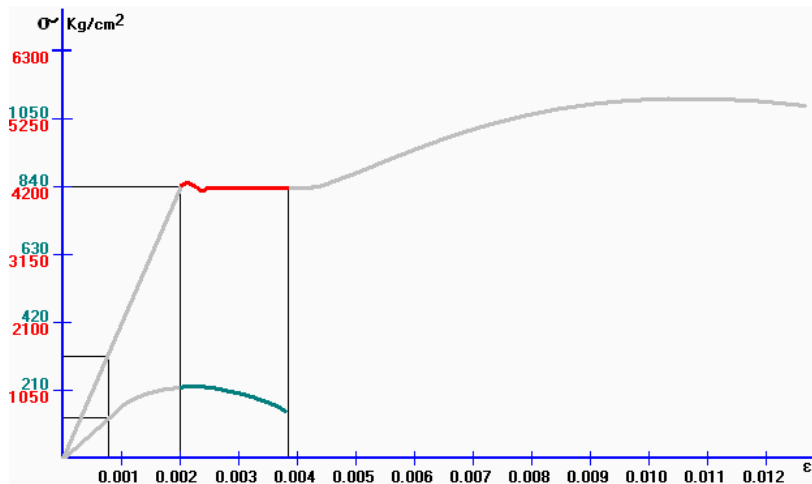
Comportamiento del hormigón armado a compresión, hasta el rango elástico del acero y dentro del rango inelástico del hormigón.



En el tercer rango de deformaciones, el hormigón a compresión comienza a ingresar en su rango inelástico, mientras que el acero a tracción permanece en el rango elástico. Esta fase se caracteriza por un aumento gradual de las deformaciones internas y esfuerzos en ambas partes, lo que lleva a una redistribución de cargas en la estructura.

Ilustración 43

Esfuerzos en el hormigón y el acero, hasta la rotura del hormigón y dentro del rango plástico del acero.

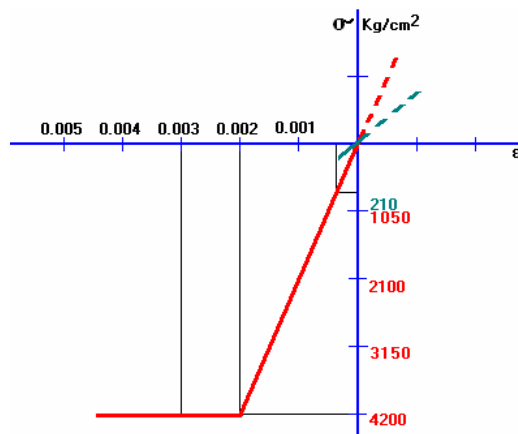


Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Finalmente, en el cuarto rango de deformaciones, el hormigón a compresión ha ingresado en su rango inelástico, y el acero comienza a fluir. La viga se acerca al colapso a medida que disminuye su capacidad de resistencia. Durante todo este proceso, el eje neutro continúa desplazándose hacia la zona comprimida.

Ilustración 44

Esfuerzos en el hormigón y el acero a tracción hasta la deformación unitaria de 0.003



Fuente: datos obtenidos de (Romo Proaño, 2008)

Principios Fundamentales del Diseño

El diseño debe garantizar que la estructura sea segura y capaz de resistir todas las cargas previstas durante su vida útil sin peligro para la vida humana o la propiedad, la estructura debe ser capaz de cumplir su función prevista de manera eficaz y sin fallas

significativas, el diseño debe ser lo más eficiente económicamente posible, minimizando el uso de materiales y recursos sin comprometer la seguridad y la funcionalidad, las estructuras deben ser diseñadas para resistir condiciones ambientales y desgaste durante su vida útil esperada.

Las técnicas de construcción con hormigón armado han revolucionado la industria de la construcción al proporcionar una combinación única de resistencia, durabilidad y versatilidad, este análisis explora en detalle las técnicas de construcción con hormigón armado, destacando su importancia, aplicaciones y beneficios en la edificación moderna.

El hormigón armado se compone de una mezcla de cemento, agregados (como arena y grava) y agua, reforzada con barras o mallas de acero, el proceso constructivo implica la colocación del encofrado para dar forma a la estructura deseada, seguido de la colocación del acero de refuerzo y el vertido del hormigón; a medida que el hormigón fragua y endurece, se forma una estructura monolítica que combina la resistencia a la compresión del hormigón con la resistencia a la tracción del acero (Coronel, 2016).

En este contexto, el hormigón armado es un material de construcción ampliamente utilizado y por buenas razones, su versatilidad es una de sus principales ventajas, ya que se puede aplicar en una amplia gama de proyectos de construcción, desde edificios residenciales hasta infraestructuras críticas como puentes y presas; esta capacidad para adaptarse a diferentes necesidades estéticas y funcionales lo convierte en un recurso valioso para arquitectos e ingenieros, es importante entonces, mencionar que una de las características destacadas del hormigón armado es su capacidad para soportar cargas pesadas y resistir condiciones ambientales adversas, que lo hace ideal para estructuras que deben ser duraderas y confiables a lo largo del tiempo, además, su resistencia al fuego y la corrosión lo convierten en un material confiable en situaciones de alto riesgo.

Otra de las características más destacadas del hormigón armado es su capacidad para resistir cargas sísmicas, los elementos de refuerzo de acero proporcionan ductilidad y flexibilidad a la estructura, permitiendo que absorba y disipe la energía generada por un terremoto, por lo que se utilizan técnicas de diseño sísmico avanzado para garantizar que las estructuras de hormigón armado sean capaces de resistir fuerzas sísmicas y proteger la vida de las personas que las ocupan (SISMO, 2021).

La evolución de las técnicas de construcción con hormigón armado hacia prácticas más respetuosas con el medio ambiente es una respuesta esencial a la creciente conciencia sobre la sostenibilidad en la industria de la construcción, uno de los enfoques clave para lograr esto es la reducción de las emisiones de carbono asociadas al cemento, que es uno de los principales componentes del hormigón, la adopción de cemento con bajas emisiones de carbono es un paso positivo en esta dirección, ya que disminuye el impacto ambiental de la construcción sin comprometer la integridad del hormigón, además, la incorporación de materiales reciclados en la mezcla de hormigón es otro avance importante hacia la sostenibilidad, que reduce la cantidad de desechos que van a parar a vertederos, sino que también disminuye la demanda de recursos naturales, ya que se reutilizan materiales existentes.

En este contexto, las técnicas de construcción con hormigón armado han dejado una marca significativa en la industria de la construcción moderna al proporcionar estructuras resistentes, duraderas y adaptables, su aplicación en una amplia gama de proyectos demuestra su versatilidad y su capacidad para satisfacer diversas necesidades arquitectónicas y funcionales, a medida que la tecnología y la sostenibilidad continúan avanzando, el hormigón armado sigue siendo un pilar fundamental en la edificación moderna, asegurando la seguridad y la calidad de las estructuras en todo el mundo.

2.4. Criterios de diseño del Hormigón

2.4.1. Seguridad en el diseño

Cuando se diseña una estructura, es fundamental realizar una evaluación comparativa entre las fuerzas externas que actúan sobre ella y su capacidad para resistirlas. En términos generales, se busca que la capacidad de la estructura para resistir estas fuerzas sea significativamente mayor que la magnitud de las solicitaciones, que asegura un nivel adecuado de confiabilidad en el comportamiento de la estructura frente a las cargas reales para las que se está diseñando.

La diferencia entre las fuerzas externas (solicitaciones) y la resistencia interna de la estructura establece diversos niveles de seguridad para la misma. En este sentido, los estados de carga que se presentan de manera constante o frecuente, como las cargas gravitacionales, requieren un margen de seguridad mayor en comparación con los estados de carga que ocurren de manera poco frecuente, como los sismos o vientos.

Existen dos enfoques de diseño estructural que se utilizan en la ingeniería y que los códigos normativos emplean para gestionar esta diferencia esencial entre las solicitaciones y la capacidad de resistencia:

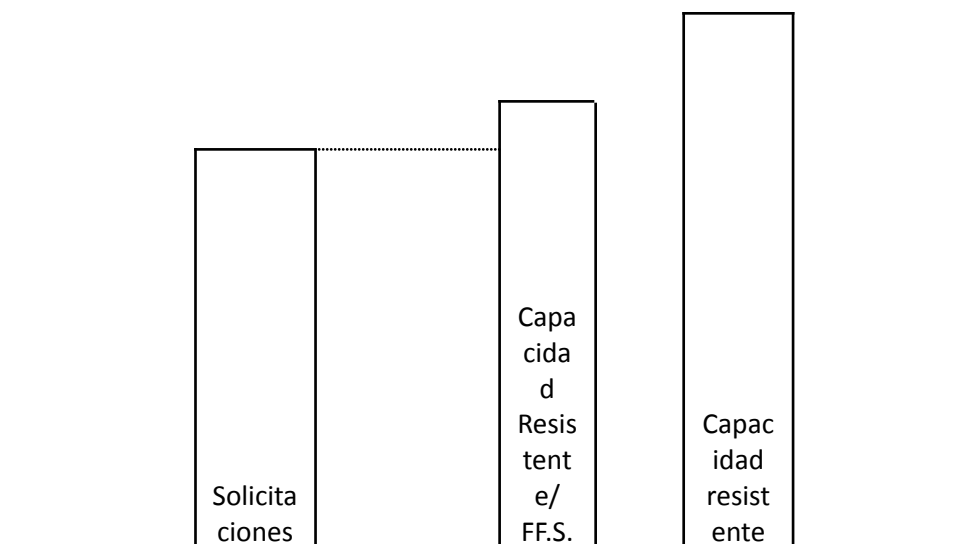
Diseño por Esfuerzos Admisibles: En este enfoque, se diseñan las estructuras de manera que los esfuerzos generados por las cargas aplicadas no superen un límite predefinido, conocido como esfuerzo admisible, el diseño se realiza considerando el peor escenario de carga y asegurando que los esfuerzos no excedan los valores admisibles.

Diseño por Capacidad Resistente: En este modelo, el diseño se enfoca en garantizar que la estructura sea capaz de resistir las cargas sin importar el nivel de esfuerzo al que esté sometida. En lugar de limitar los esfuerzos, se busca fortalecer la estructura para que pueda soportar cualquier carga que pueda enfrentar.

Diseño por Esfuerzos Admisibles

En el enfoque de diseño por esfuerzos admisibles o diseño para cargas de servicio, se busca que la resistencia máxima del material, que puede llevar a la ruptura o deformaciones significativas, sea dividida por un factor de seguridad adecuado, esta división se realiza para hacer que la resistencia sea comparable con las fuerzas externas generadas por las cargas de servicio, un diseño apropiado se logra cuando las sollicitaciones, es decir, las fuerzas aplicadas a la estructura, no exceden la capacidad resistente dividida por el factor de seguridad (FS).

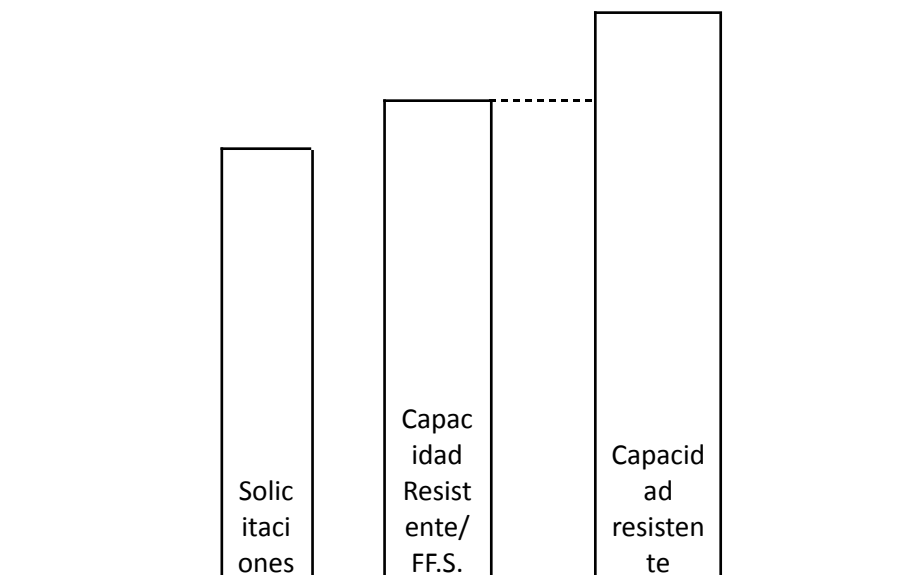
En este método de diseño, se aplica comúnmente a estructuras hechas de hormigón preesforzado y madera, la idea principal es asegurarse de que la estructura pueda soportar las cargas de servicio sin superar la capacidad de resistencia del material, garantizando un nivel adecuado de seguridad mediante el uso del factor de seguridad.



Diseño por Capacidad Resistente

En el método de diseño por capacidad resistente, se emplean factores adecuados para aumentar las solicitaciones que actúan sobre la estructura que se hace con el propósito de que las fuerzas externas aplicadas a la estructura sean comparables con la capacidad resistente de la misma, ya sea a nivel de toda la estructura, un componente estructural o una sección específica. Un diseño adecuado se logra cuando la magnitud de las Solicitaciones Mayoradas no supera la Capacidad Resistente.

Este enfoque de diseño suele utilizarse en la planificación de estructuras de hormigón armado, acero laminado en caliente y puentes. El objetivo es garantizar que la estructura pueda resistir las cargas de servicio sin exceder su capacidad de resistencia, lo que proporciona un nivel de seguridad adecuado al proyecto.



2.4.2. Las cargas y las combinaciones de carga para el diseño de estructuras de hormigón armado

Combinaciones básicas Cuando sea apropiado, se deberá investigar cada estado límite de resistencia. Los efectos más desfavorables, tanto de viento como de sismo, no necesitan ser

considerados simultáneamente. Las estructuras, componentes y cimentaciones, deberán ser diseñadas de tal manera que la resistencia de diseño iguale o exceda los efectos de las cargas incrementadas, de acuerdo a las siguientes combinaciones:

Combinación 1

1.4 D

Combinación 2 $1.2 D + 1.6 L + 0.5 \max[L_r ; S ; R]$

Combinación 3* $1.2 D + 1.6 \max[L_r ; S ; R] + \max[L ; 0.5W]$ Combinación 4* $1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 \max[L_r ; S ; R]$

Combinación 5* $1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S$

Combinación 6 $0.9 D + 1.0 W$

Combinación 7 $0.9 D + 1.0 E$

2.4.3. Los factores de reducción de la capacidad resistente:

El diseño de estructuras implica asegurar que la magnitud de las solicitaciones a las que estarán expuestas no supere la capacidad resistente de los materiales. Para lograr esto, se aplican factores reductores a la capacidad nominal de los elementos estructurales, lo que se conoce como capacidad última. La reducción de capacidad se basa en dos consideraciones fundamentales:

La construcción de elementos estructurales en la obra puede no ser tan precisa como en un laboratorio, lo que reduce ligeramente la capacidad real de la estructura. Esto se traduce en un factor de reducción conservador, generalmente alrededor del 10% ($\phi \approx 0.90$).

Diferentes tipos de fallas estructurales tienen diferentes comportamientos. Por ejemplo, las fallas por flexión son dúctiles, mientras que las fallas por cortante, carga axial y aplastamiento son frágiles. Se busca que, en caso de falla, esta sea dúctil y progresiva, lo que

significa que la estructura da señales visibles de debilitamiento. Para lograr esto, se aplican diferentes factores de reducción de capacidad. El primer tipo de falla es por flexión ($\phi = 0.90$), seguido de fallas por corte ($\phi = 0.85$) y fallas por compresión axial ($\phi = 0.70$ o $\phi = 0.75$). Estos factores de seguridad diferenciados garantizan una respuesta dúctil y progresiva de la estructura ante distintos tipos de falla. Por ejemplo, en zonas sísmicas, las vigas y columnas se diseñan para resistir los cortantes generados por la formación de articulaciones plásticas de flexión, lo que proporciona un margen de seguridad adicional. Este enfoque de diseño establece un orden de secuencia para las fallas, priorizando las fallas dúctiles en flexión y asegurando que las fallas frágiles por corte o compresión axial solo ocurran en situaciones excepcionales.

2.5. Comparación de Costos entre Construcción con Bambú y Hormigón Armado.

La comparación de costos entre la construcción con bambú y el hormigón armado es un aspecto crítico en la toma de decisiones en proyectos de ingeniería civil, ambos materiales presentan ventajas y desafíos únicos en términos de costos, y comprender su impacto económico es esencial para la planificación y ejecución exitosa de proyectos de construcción sostenible y eficiente.

En lo que tiene que ver con los costos iniciales en la construcción con bambú suelen ser más bajos en comparación con el hormigón armado; el bambú es un material abundante y de bajo costo en muchas regiones, lo que puede reducir significativamente los gastos en la adquisición de materiales, por otro lado, el hormigón armado involucra mayores costos en la compra de cemento, agregados y acero de refuerzo. Sin embargo, es fundamental considerar que el rendimiento estructural y la durabilidad del hormigón armado a largo plazo pueden justificar estos costos iniciales adicionales (Coronel, 2016).

Por lo tanto, la elección entre bambú y hormigón armado debe basarse en una evaluación integral que considere no solo los costos iniciales, sino también factores como la durabilidad, el rendimiento estructural, las condiciones ambientales locales y las preferencias estéticas. Cada material tiene sus ventajas y desventajas, y la decisión final dependerá de las necesidades y objetivos específicos del proyecto de construcción.

La necesidad de habilidades artesanales y mano de obra especializada en la construcción con bambú es un punto importante a considerar, aunque esta técnica puede requerir un mayor nivel de destreza y experiencia, especialmente para garantizar la seguridad y la precisión en la construcción, es importante destacar que la inversión en capacitación y formación de trabajadores en estas técnicas puede tener beneficios significativos a largo plazo.

Si bien los costos laborales pueden ser inicialmente más altos y el tiempo de construcción puede ser más prolongado en proyectos de bambú en comparación con el hormigón armado, la inversión en la capacitación de trabajadores puede ayudar a reducir estos costos laborales a medida que adquieren experiencia y habilidades especializadas. Además, a medida que los equipos de construcción se vuelven más eficientes en el manejo del bambú, la velocidad de ejecución puede mejorar, lo que a su vez puede reducir los costos generales del proyecto.

Uno de los factores críticos en la comparación de costos es la durabilidad y el mantenimiento a lo largo del tiempo, la construcción con bambú puede tener costos iniciales más bajos, su vida útil y resistencia a condiciones ambientales adversas pueden ser menores en comparación con el hormigón armado, el hormigón armado, debido a su capacidad para resistir la corrosión y la degradación, puede requerir menos mantenimiento a largo plazo, lo que puede resultar en costos reducidos en reparaciones y renovaciones (Poveda, 2011).

Es esencial tener en cuenta los impactos ambientales al comparar los costos entre los dos materiales; la construcción con bambú es inherentemente más sostenible debido a su renovabilidad y capacidad para capturar carbono, que puede generar beneficios económicos a largo plazo al reducir costos relacionados con regulaciones ambientales y mitigación de impactos, el hormigón armado puede requerir medidas adicionales para abordar su huella de carbono, lo que podría afectar los costos a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

De acuerdo a lo investigado, la comparación de costos entre la construcción con bambú y el hormigón armado es un proceso multifacético que debe considerar tanto los aspectos económicos iniciales como los impactos a largo plazo, si bien la construcción con bambú puede ofrecer beneficios económicos en términos de costos iniciales y sostenibilidad, el hormigón armado aporta durabilidad, resistencia estructural y menor necesidad de mantenimiento; la elección entre estos materiales dependerá de las prioridades del proyecto, las condiciones locales y las metas de sostenibilidad, lo que requiere un enfoque holístico y bien informado para lograr una construcción eficiente y rentable.

2.5 Impacto Ambiental y Sostenibilidad en la Construcción con Bambú y Hormigón

Armado

El impacto ambiental en la construcción se refiere a las consecuencias, positivas o negativas, que la actividad de construcción de estructuras tiene en el entorno natural y social. Incluye una serie de aspectos, como el consumo de recursos naturales, la generación de residuos, la emisión de contaminantes atmosféricos y la alteración de los ecosistemas locales, la sostenibilidad en la construcción busca minimizar los impactos ambientales negativos y maximizar los beneficios sociales y ambientales a lo largo del ciclo de vida de una estructura. En el contexto de la construcción con bambú y hormigón armado, se evalúa cómo estos materiales y las técnicas asociadas afectan el entorno natural y cómo contribuyen a la

sostenibilidad en términos de recursos, emisiones de carbono y otros aspectos ambientales (Bello & Villacres, 2021).

La construcción sostenible se ha convertido en un imperativo en la industria de la ingeniería civil, impulsada por la creciente conciencia sobre los impactos ambientales de las actividades humanas, la elección de materiales de construcción desempeña un papel crucial en la determinación del impacto ambiental de un proyecto. En este contexto, la comparación del impacto ambiental y la sostenibilidad entre la construcción con bambú y el hormigón armado emerge como un tema de alta relevancia.

El análisis del ciclo de vida es fundamental para comprender el impacto ambiental de ambos materiales desde la etapa de extracción de recursos hasta su disposición final; la construcción con bambú se destaca por su baja huella de carbono durante la producción y el procesamiento, ya que es un recurso renovable y captura carbono a medida que crece. En contraste, el hormigón armado tiene una huella de carbono significativamente mayor debido a la emisión de dióxido de carbono durante la producción de cemento, por lo que es importante considerar que el hormigón armado puede tener una vida útil más larga y resistente, lo que puede influir en su impacto global (Guerra, 2021).

La construcción con bambú presenta ventajas en el uso eficiente de recursos, ya que el bambú crece rápidamente y requiere menos energía para su procesamiento en comparación con la fabricación de cemento, por lo que el bambú puede ser cosechado de manera sostenible, evitando la sobreexplotación de recursos naturales, por otro lado, el hormigón armado requiere grandes cantidades de recursos naturales como arena, grava y agua, lo que puede tener impactos negativos en la calidad del suelo y el agua, así como en la biodiversidad.

La sostenibilidad en la construcción va más allá del aspecto ambiental y se extiende a la resiliencia y adaptabilidad de las estructuras. El bambú ha demostrado ser un material

resiliente en ciertos contextos climáticos y sísmicos debido a su flexibilidad y capacidad para absorber energía, lo que lo hace valioso en áreas propensas a terremotos. Por otro lado, el hormigón armado destaca por su resistencia y durabilidad en situaciones de carga pesada, siendo preferible en escenarios donde la seguridad estructural es fundamental, la selección entre ambos materiales dependerá de las condiciones específicas del proyecto y las prioridades en términos de sostenibilidad y seguridad.

La construcción con bambú se alinea con los principios de la economía circular, ya que es un material renovable que puede ser regenerado y reutilizado; los desechos de bambú pueden ser convertidos en biomasa o materiales compuestos, reduciendo la generación de residuos, en cambio, el hormigón armado puede generar desechos significativos durante su demolición y requiere procesos intensivos en energía para su reciclaje (Guerra, 2021).

La evaluación del impacto ambiental y la sostenibilidad en la construcción con bambú y hormigón armado es un proceso complejo que involucra una serie de factores interrelacionados, si bien la construcción con bambú se destaca por su baja huella de carbono, uso eficiente de recursos y capacidad de regeneración, el hormigón armado ofrece durabilidad y resiliencia; la elección entre estos materiales debe considerar las condiciones locales, los objetivos de sostenibilidad del proyecto y el ciclo de vida completo de las estructuras, es decir, un enfoque holístico que abarque aspectos ambientales, económicos y sociales es esencial para tomar decisiones informadas y lograr una construcción verdaderamente sostenible y resiliente en un mundo en constante evolución.

En este contexto, es importante determinar que es la huella de carbono, es una medida que se utiliza para evaluar el impacto ambiental de una actividad, producto o proceso en términos de las emisiones de gases de efecto invernadero que genera, especialmente el dióxido de carbono (CO₂) y otros gases como el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), esta

medida se expresa generalmente en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) para poder comparar diferentes tipos de emisiones (CEPAL, 2022).

La huella de carbono abarca todas las etapas del ciclo de vida de un producto o actividad, desde la extracción de materias primas, la fabricación, el transporte, el uso y, finalmente, la disposición, se calcula sumando todas las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con cada una de estas etapas.

El objetivo principal de medir la huella de carbono es evaluar y comprender el impacto ambiental de una entidad o proceso y, a partir de ese conocimiento, tomar medidas para reducir estas emisiones y, por lo tanto, minimizar el calentamiento global y el cambio climático. Esto es esencial en un momento en que la sostenibilidad y la reducción de la contaminación son preocupaciones globales. Es importante destacar que la huella de carbono puede ser calculada para individuos, empresas, productos, eventos y prácticamente cualquier actividad que tenga una contribución significativa a las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta medida también puede ser utilizada para establecer objetivos de reducción de emisiones y para comunicar de manera transparente el impacto ambiental de una entidad o producto a los consumidores y partes interesadas.

En el contexto de la construcción, la "huella de carbono" se refiere a la cantidad total de gases de efecto invernadero, principalmente dióxido de carbono (CO₂), liberados a la atmósfera como resultado de todas las actividades relacionadas con la construcción de un edificio, infraestructura o proyecto de construcción en particular. Esta medida evalúa el impacto ambiental de la construcción y se expresa en términos de emisiones de CO₂ equivalente (CO₂e), que también incluyen otros gases de efecto invernadero como el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), convertidos en su equivalente en CO₂ (CEPAL, 2022).

La huella de carbono de la construcción abarca todas las etapas del ciclo de vida del proyecto, desde la extracción de materias primas para la fabricación de materiales de

construcción, el transporte de estos materiales al sitio de construcción, el proceso de construcción en sí, el uso y mantenimiento del edificio o la infraestructura una vez terminados, hasta su eventual demolición y disposición final, por lo tanto, medir la huella de carbono en la construcción es fundamental para evaluar el impacto ambiental de un proyecto y determinar áreas en las que se pueden implementar prácticas más sostenibles para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, que incluye la elección de materiales de construcción más eco amigables, la mejora de la eficiencia energética del edificio, la gestión de residuos de construcción y demolición, y la reducción de la emisión de gases contaminantes durante el proceso de construcción.

2.6 Evaluación de Riesgos y Beneficios en la Construcción con Bambú y Hormigón

Armado.

Es importante entender tanto los riesgos potenciales como los beneficios asociados con cada material y técnica de construcción, el riesgo más crítico en la construcción es la seguridad de las estructuras, se evalúa si la estructura es capaz de soportar las cargas y fuerzas que actuarán sobre ella durante su vida útil, incluyendo eventos sísmicos, vientos fuertes y cargas de uso.

Otro tema importante es la durabilidad, se considera la vida útil esperada de la estructura y si es resistente a factores como la humedad, la corrosión y los insectos. En el caso del bambú, su durabilidad puede verse afectada si no se trata adecuadamente,

La construcción de alta calidad depende de la habilidad de los trabajadores, evaluar la competencia y formación del equipo de construcción es esencial para minimizar errores y defectos.

Cumplir con los códigos de construcción y regulaciones locales es fundamental para evitar problemas legales y asegurar la seguridad de la estructura.

La construcción es un proceso que implica una serie de decisiones críticas que afectan la seguridad, la eficiencia y la viabilidad de un proyecto, en este sentido, la evaluación de riesgos y beneficios desempeña un papel fundamental en la toma de decisiones informadas, especialmente cuando se trata de seleccionar materiales de construcción, por lo que la comparación de riesgos y beneficios entre la construcción con bambú y el hormigón armado se convierte en un aspecto esencial para garantizar la seguridad, la durabilidad y el éxito de las estructuras.

Por un lado, la construcción con bambú, aunque presenta numerosos beneficios, también conlleva ciertos riesgos que deben ser abordados de manera cuidadosa; uno de los principales riesgos es la durabilidad y resistencia ante condiciones climáticas extremas y plagas. El bambú es susceptible a la humedad y al ataque de insectos y hongos, lo que podría afectar su integridad estructural a largo plazo y la falta de normativas y estándares específicos en algunos lugares puede dificultar la correcta construcción y seguridad de las estructuras de bambú (López y otros, 2021).

La capacidad del bambú para capturar carbono y su rápida regeneración lo convierten en una opción altamente sostenible, lo que contribuye positivamente a la reducción de la huella ecológica en proyectos constructivos, su combinación única de ligereza y resistencia lo hace particularmente valioso en áreas propensas a terremotos, donde su flexibilidad puede desempeñar un papel crucial en la absorción de energía durante movimientos sísmicos, por lo tanto, estos atributos hacen del bambú una alternativa atractiva y ecológica en la construcción, a pesar de los desafíos que presenta.

El hormigón armado es ampliamente utilizado y conocido por su resistencia, también presenta riesgos importantes. Uno de los principales riesgos es su alta huella de carbono debido a la producción de cemento, que contribuye a las emisiones de gases de efecto

invernadero, la falta de flexibilidad del hormigón armado lo hace susceptible a grietas y agrietamientos en situaciones sísmicas, lo que puede comprometer la integridad de la estructura (Bello & Villacres, 2021).

Es decir que la resistencia excepcional y durabilidad del hormigón, lo convierten en un material seguro y confiable, especialmente en aplicaciones que requieren soportar cargas significativas o enfrentar condiciones ambientales extremas. Además, su capacidad para resistir el fuego lo hace aún más atractivo en términos de seguridad, lo que hacen que el hormigón armado sea una elección sólida para proyectos de construcción a largo plazo, a pesar de los desafíos que puedan surgir.

La evaluación de riesgos y beneficios en la construcción con bambú y hormigón armado requiere un enfoque integral que considere aspectos técnicos, ambientales y económicos, por lo que los constructores deben sopesar cuidadosamente los riesgos potenciales, como la durabilidad y la vulnerabilidad ante ciertas condiciones, con los beneficios, como la sostenibilidad y la resistencia; la selección del material adecuado dependerá de factores contextuales, como la ubicación geográfica, el tipo de proyecto y los objetivos de sostenibilidad.

La evaluación de riesgos y beneficios es esencial para garantizar la seguridad y el éxito de los proyectos de construcción, tanto la construcción con bambú como el hormigón armado presentan oportunidades y desafíos únicos que deben ser evaluados cuidadosamente, la toma de decisiones informadas requerirá una comprensión profunda de los riesgos potenciales y los beneficios asociados con cada material, así como una consideración holística de los objetivos del proyecto y las condiciones locales. En última instancia, la búsqueda de la construcción sostenible y segura exige un análisis detallado y equilibrado de los riesgos y beneficios involucrados en la elección de materiales de construcción.

2.7. Diferencias entre el bambú y el hormigón armado.

Característica	Bambú	Hormigón Armado
Materiales y Origen	Natural, renovable, rápido crecimiento	Principalmente cemento, agregados, acero
Peso y Resistencia	Ligero y resistente en comparación con su peso	Pesado y puede soportar cargas grandes
Durabilidad	Requiere tratamiento, durabilidad variable	Durabilidad generalmente alta, bajo mantenimiento
Velocidad de Construcción	Requiere habilidades artesanales, puede tomar más tiempo	Proceso de vertido más eficiente
Impacto Ambiental	Menor huella de carbono, sostenible	Mayor impacto ambiental debido a la producción de cemento
Flexibilidad y Resiliencia	Flexible, puede absorber energía	Ofrece resistencia, adecuado para seguridad estructural

Fuente: datos obtenidos de (Poveda, 2011).

La calidad en la construcción de edificaciones utilizando bambú está intrínsecamente ligada a la selección adecuada de las cañas, es esencial elegir cañas maduras, ya que en esta etapa sus fibras adquieren la máxima resistencia. La madurez de las cañas se alcanza aproximadamente a los 4 años de crecimiento, y un método fiable para determinarla es marcarlas desde su nacimiento. Al utilizar bambú en proyectos constructivos, es imperativo asegurarse de que las cañas no estén excesivamente maduras, presenten deformaciones, fisuras, conicidad alta, o muestras de pudrición o enfermedad específica del bambú (Morán, 2015).

Para asegurar la calidad de las edificaciones de bambú y cumplir con las especificaciones técnicas establecidas en la normativa de construcción en caña guadúa, es necesario utilizar GaK, que es el bambú normatizado en Ecuador para edificaciones y respaldado por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), esta norma no solo se dirige a productores, proveedores y vendedores de bambú, sino también a profesionales involucrados en el diseño y la construcción con GaK, detalla las pautas a seguir desde la plantación hasta la comercialización, con el objetivo de asegurar la calidad, también

proporciona directrices para que las cañas cumplan los requisitos necesarios antes de ser utilizadas como material de construcción (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014).

Por lo tanto, la selección adecuada de cañas maduras, la aplicación de métodos de conservación, el uso de especies adecuadas como la caña *Guadúa angustifolia* Kunth y el cumplimiento de la normativa son fundamentales para garantizar la calidad y eficacia de las edificaciones construidas con bambú. Estos aspectos deben ser considerados en proyectos constructivos que busquen aprovechar los beneficios de este material sostenible y resistente.

Para lograr una utilización efectiva del bambú en proyectos de ingeniería civil, es esencial comprender sus propiedades físico-mecánicas. A continuación, se detallan las características más relevantes:

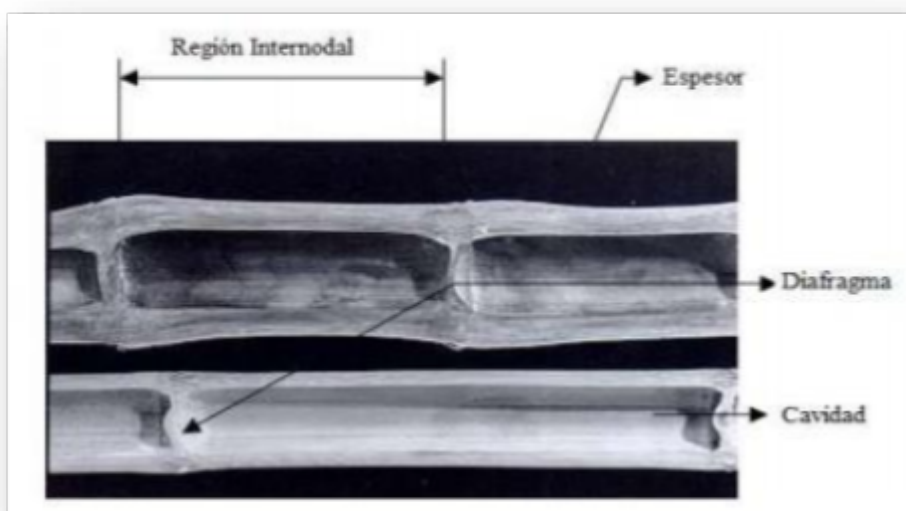
La estructura de la guadúa se compone de una microestructura en el exterior del tallo, que es densa y tiene un espesor de aproximadamente 0,25 mm, esta capa contiene una cantidad significativa de sílice, que actúa como un elemento protector para la planta. Asimismo, presenta vasos que se encargan del transporte de líquidos y fibras celulósicas durante la vida del bambú, esta propiedad particular de distribuir sílice y celulosa resulta en una resistencia un 10% mayor que en otras maderas. Esto confiere a la guadúa una resistencia similar al acero en el exterior, mientras que en su interior mantiene una naturaleza más similar al acero común. Esta característica de rigidez de la caña *Guadúa* la convierte en un material de construcción excepcional para soportar cargas sísmicas (Bonilla & Merino, 2017).

Los culmos de la caña *guadúa* están compuestos por cáscaras cilíndricas, delgadas y huecas, como se muestra en la figura 1, estas cavidades están separadas por diafragmas que actúan como refuerzos naturales. Brand et al. (2015) señalan que una característica distintiva desde el punto de vista físico es que tanto el grosor de la pared del culmo como el tipo y el

porcentaje de fibras varían a lo largo de toda su longitud. Esta variabilidad debe considerarse cuidadosamente al analizar el material debido a su influencia en el comportamiento mecánico.

En este sentido, la estructura única de la guadúa, con su combinación de sílice y fibras celulósicas, le otorga una excepcional resistencia exterior y rigidez, lo que la convierte en un material versátil y robusto para la construcción, especialmente en entornos sísmicos, la variabilidad en el grosor de la pared y la disposición de las fibras a lo largo del culmo son factores clave que deben abordarse al evaluar sus propiedades mecánicas.

Figura 1



Fuente: obtenido de (Bello & Villacres, 2021).

La Norma Técnica de construcción en caña guadúa (2014) destaca que la guadúa es un material higroscópico y poroso, lo que significa que tiene la capacidad de absorber la humedad presente en el ambiente en forma de vapor o líquido, este comportamiento hace que el material sea vulnerable al ataque de factores biológicos cuando su contenido de humedad

aumenta, es decir, a medida que el contenido de humedad de la caña guadúa aumenta, su durabilidad se ve afectada y su resistencia ante cargas solicitadas disminuye.

En lo que tiene que ver con el hormigón armado está compuesto principalmente por cemento, agregados (como arena y grava) y acero de refuerzo, estos materiales se obtienen de recursos no renovables y requieren un proceso intensivo de extracción y producción, además es un material pesado y tiene una alta capacidad para soportar cargas significativas, su resistencia es una de sus principales ventajas y lo hace adecuado para estructuras que requieren soportar grandes cargas, como edificios altos y puentes (Carles, 2014).

Es conocido por su durabilidad en una variedad de condiciones ambientales. Puede resistir la exposición al agua, la intemperie y el fuego. Sin embargo, la corrosión del acero de refuerzo puede ser un problema en áreas húmedas, lo que requiere mantenimiento y tratamiento adecuados, puede ser vertido y moldeado de manera eficiente, lo que acelera los procesos de construcción en comparación con materiales que requieren habilidades artesanales más especializadas.

El hormigón armado tiende a tener un mayor impacto ambiental debido a la extracción intensiva de recursos naturales necesarios para la producción de cemento. Además, la fabricación de cemento es una fuente significativa de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), lo que contribuye a la huella de carbono en la construcción y es menos flexible en comparación con materiales como el bambú, se destaca por su resistencia y estabilidad en condiciones de carga pesada, lo que lo hace preferible en áreas donde la seguridad estructural es esencial, pero puede ser menos adecuado en áreas propensas a terremotos donde la flexibilidad es una ventaja.

Estas características hacen que el hormigón armado sea una opción valiosa en la construcción, especialmente cuando se requiere resistencia y durabilidad a largo plazo. Sin

embargo, es importante considerar su impacto ambiental y la necesidad de mantenimiento para garantizar su vida útil.

2.8. Comparación entre Bambú y Hormigón Armado para la Promoción de Viviendas de Interés Social

Tabla 20
Comparación entre bambú y hormigón armado

Aspecto	Bambú	Hormigón Armado
Sostenibilidad	Altamente sostenible debido a su rápido crecimiento y regeneración.	Mayor impacto ambiental debido a la producción intensiva de cemento.
Costos Iniciales	Generalmente más bajos en términos de materiales.	Suelen ser más altos debido a la compra de cemento, agregado y acero de refuerzo.
Mano de Obra	Requiere habilidades artesanales y mano de obra especializada.	Puede ser más eficiente en términos de mano de obra.
Durabilidad	Requiere tratamiento adecuado, pero puede tener una vida útil significativa en condiciones adecuadas.	Conocido por su resistencia y durabilidad a largo plazo.
Impacto Ambiental	Bajo impacto ambiental debido a su capacidad de regeneración y almacenamiento de carbono.	Mayor impacto ambiental debido a la producción de cemento.
Viabilidad en Viviendas Sociales	Puede ser una opción viable si se invierte en capacitación y tratamiento adecuado.	Adecuado para estructuras de viviendas de interés social debido a su resistencia y durabilidad.

Fuente: datos obtenidos de (Córdova, 2014).

Para viviendas de interés social, la elección entre bambú y hormigón armado dependerá de factores locales, presupuesto y objetivos de sostenibilidad. El bambú destaca en sostenibilidad y costos iniciales reducidos, pero requiere habilidades artesanales y un tratamiento adecuado. El hormigón armado es conocido por su resistencia y durabilidad, pero puede tener un mayor costo inicial y un mayor impacto ambiental. La elección debe equilibrar estos factores para satisfacer las necesidades específicas del proyecto y la comunidad a la que servirá.

Es esencial realizar una comparación entre el bambú y el hormigón armado para la promoción de viviendas de interés social. Como ya se ha señalado, el bambú ofrece una serie

de ventajas y desventajas, destacando su cualidad como material sismorresistente, su viabilidad económica, su sostenibilidad ambiental y su aceptación social en la actualidad en Ecuador. Por otro lado, el hormigón armado, según la definición de Murcia et al. (1993) consiste en un compuesto de hormigón y acero, donde el acero se dispone en forma de barras (armaduras) en el interior del hormigón.

El hormigón armado presenta una serie de características sobresalientes que lo convierten en un material ampliamente aceptado y utilizado, que se debe a la disponibilidad de los componentes que lo conforman, como el cemento, los agregados como arena y piedra triturada, el acero y el agua, existe la opción de incorporar aditivos para mejoras específicas. Una de las ventajas Fuentebles es su capacidad de adoptar diversas formas, lo que lo convierte en un material altamente versátil que puede moldearse mediante el uso de moldes o hormas, incluso el hormigón armado se destaca por su alta durabilidad y su bajo costo de mantenimiento en comparación con otros materiales como el acero o la madera (Murcia y otros, 1993).

Es decir, tanto el bambú como el hormigón armado tienen atributos significativos que los hacen atractivos para la construcción de viviendas de interés social. El bambú destaca por su resistencia sísmica, sostenibilidad y aceptación social en Ecuador; por su parte, el hormigón armado es valorado por su universalidad, versatilidad, durabilidad y bajo costo de mantenimiento. La elección entre estos materiales dependerá de las necesidades específicas del proyecto, las condiciones del entorno y los recursos disponibles, buscando siempre la eficiencia, la sostenibilidad y la calidad en la construcción de viviendas de interés social.

El hormigón armado ha sido ampliamente adoptado como el material predominante en la construcción de viviendas en la mayoría de los países a nivel mundial, aunque ofrece numerosas ventajas, no está exento de desventajas generales que merecen ser consideradas. Entre ellas, se destaca su considerable peso y secciones voluminosas, lo que puede impactar

en la logística de la obra. Además, la construcción con hormigón armado suele ser un proceso más lento debido a los tiempos requeridos para el desencofrado de las estructuras. La atención cuidadosa y precisa al proceso de curado también es esencial para garantizar la resistencia y durabilidad del material. Asimismo, durante el proceso de fraguado pueden ocurrir contracciones que deben ser gestionadas adecuadamente. A pesar de que la versatilidad del hormigón armado ha permitido la creación de diseños arquitectónicos modernos y llamativos, su comportamiento sísmico suele ser limitado (Medina, 2008).

El hormigón armado enfrenta limitaciones en su capacidad para resistir esfuerzos de tracción, lo que hace necesaria la incorporación de armaduras de acero en su diseño. Además, es importante destacar que el hormigón armado no es recuperable en caso de que se desee dismantelar la estructura. Córdova (2014) resalta que retirar la estructura requeriría una demolición que resultaría en la pérdida completa del material utilizado.

En estudio realizado por Ordóñez (1999) quien proporciona valores de diseño basados en las propiedades mecánicas de materiales estructurales comúnmente empleados en la construcción. Aunque el estudio no especifica bajo qué tipo de cargas se obtuvieron dichos valores, se observa una comparación con el bambú. Sin embargo, es importante Fuenten que los datos para el concreto se refieren al material sin refuerzo de acero.

Por lo expuesto, el hormigón armado, a pesar de su uso generalizado, presenta desafíos como su peso y dimensiones, así como limitaciones en su resistencia a la tracción y su capacidad de recuperación. Estos aspectos deben ser considerados cuidadosamente al evaluar la elección del material constructivo en proyectos de viviendas, especialmente en el contexto de las viviendas de interés social.

El uso del bambú en comparación con el hormigón armado se distingue por su ventaja económica, lo que lo convierte en un material idóneo para la construcción de viviendas de interés social. Este recurso natural, ampliamente disponible en la provincia de Manabí y en

otras regiones, posee características intrínsecas que lo hacen altamente favorable, inclusive el bambú es un recurso renovable, lo que beneficia la explotación forestal local y contribuye a la preservación del medio ambiente (Córdova, 2014).

La sostenibilidad del bambú se evidencia en su menor consumo de energía primaria durante su transformación y en la generación de menos impacto ambiental a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, en comparación con otros materiales de construcción, esta cualidad resulta crucial en la actualidad, en la búsqueda de alternativas constructivas que minimicen la huella ambiental y contribuyan a un desarrollo más sostenible (Morán, 2015).

Por lo tanto, el bambú sobresale en el ámbito económico y ambiental como una alternativa viable al hormigón armado en la construcción de viviendas de interés social, su bajo costo, carácter renovable y menor impacto ambiental lo convierten en un recurso valioso para satisfacer las necesidades de vivienda de comunidades vulnerables, al mismo tiempo que promueve una práctica constructiva más sostenible.

2.10. Análisis estructural del bambú y del hormigón armado

El análisis estructural del hormigón y el bambú en el contexto de la construcción sostenible en Ecuador revela un panorama de oportunidades y desafíos significativos, ambos materiales ofrecen ventajas y limitaciones que deben ser cuidadosamente consideradas en la implementación de técnicas constructivas sostenibles en el país.

El hormigón armado, ampliamente utilizado en la construcción, es conocido por su resistencia y durabilidad, su capacidad para soportar cargas pesadas y resistir tensiones lo convierte en un material de elección para estructuras de gran envergadura, sin embargo, su producción es intensiva en energía y emite una cantidad sustancial de dióxido de carbono durante el proceso de fabricación del cemento Portland, un componente esencial del hormigón, lo que plantea desafíos desde una perspectiva ambiental, ya que contribuye significativamente a la huella de carbono de la construcción convencional. En este sentido, el

análisis estructural debe incluir una evaluación de las prácticas de producción sostenible, como la reducción de la cantidad de cemento utilizado y la incorporación de materiales reciclados en la mezcla de hormigón (Coronel, 2016).

Por otro lado, el bambú es un material sostenible y versátil que ha ganado reconocimiento en la construcción sostenible, su rápido crecimiento y capacidad de renovación lo convierten en una opción respetuosa con el medio ambiente. En el análisis estructural, es esencial comprender las propiedades mecánicas del bambú, como su resistencia a la compresión, tracción y flexión. El bambú es fuerte pero ligero, lo que lo hace adecuado para una variedad de aplicaciones estructurales, sin embargo, su durabilidad en entornos húmedos puede ser un desafío, por lo que se deben aplicar técnicas adecuadas de preservación y tratamiento para garantizar su longevidad (Bonilla & Merino, 2017).

En este contexto, realizando un breve resumen, se puede analizar algunos elementos del bambú, como el contenido de humedad en el bambú es un factor crítico para su comportamiento estructural. Puede experimentar una contracción significativa, entre el 5% y el 15%, cuando se reduce su humedad desde un 70% a un 20%, esta contracción es relevante, especialmente cuando se utiliza en combinación con hormigón armado (Bonilla & Merino, 2017).

El peso específico del bambú varía según su contenido de humedad. En condiciones de secado al aire (18% de humedad), el peso específico oscila entre 700 y 850 kg/m³, también varía en función de la ubicación en el tallo, con valores de aproximadamente 0.57 kg/dm³ en la base y 0.76 kg/dm³ en la parte superior (Coronel, 2016).

La durabilidad natural del bambú puede mejorarse mediante tratamientos preservativos, especialmente cuando está en contacto con el suelo, esto protege al bambú de agentes ambientales degradantes como hongos e insectos, el bambú tiene una sección transversal cilíndrica con diámetros que varían entre 8 y 18 cm y espesores de 2 a 2.5 cm. Está formado por internodos separados a intervalos de 25 a 40 cm para evitar el pandeo del tronco (Carles, 2014).

En términos de propiedades mecánicas, el módulo de elasticidad (E) se utiliza para medir la relación entre la carga aplicada y la deformación en el bambú. La selección del valor de E depende del criterio del ingeniero calculista, y la NEC-SE-GUADUA sugiere valores específicos para diversas aplicaciones, también se proporcionan valores de esfuerzos admisibles, incluyendo flexión, tracción, compresión paralela y perpendicular al eje longitudinal, y corte, todos medidos en MPa, estos valores son cruciales para el diseño estructural de elementos construidos con bambú.

De la misma manera que el bambú, se procede a realizar un breve resumen de la estructura del hormigón armado, este material es universalmente aceptado en la construcción debido a la disponibilidad de sus componentes: cemento, agregados como arena y piedra triturada, acero, agua y, opcionalmente, aditivos. El hormigón armado se destaca por su versatilidad, ya que puede moldearse fácilmente mediante hormas, y por su durabilidad, con costos de mantenimiento mínimos en comparación con otros materiales como el acero o la madera.

En términos de resistencia al fuego, el hormigón armado demuestra un comportamiento excelente, tiene una baja conductividad térmica que lo protege del fuego sin alimentarlo, que lo convierte en una elección predominante en Ecuador para edificaciones resistentes al fuego, resulta económico en comparación con las estructuras metálicas,

especialmente en edificios de gran altura, donde el acero estructural implica costos de inversión más elevados y, a menudo, importaciones adicionales. Además, el acero requiere un mantenimiento constante debido a su susceptibilidad a la corrosión, lo que agrega costos operativos significativos (Coronel, 2016).

En cuanto a sus propiedades mecánicas, el hormigón armado se utiliza comúnmente en la construcción de viviendas en todo el mundo. Sin embargo, presenta desventajas, como su baja resistencia a la tracción, que requiere el uso de armaduras de acero en su diseño, además, el hormigón armado no es recuperable, lo que significa que su demolición conlleva la pérdida total del material (Murcia y otros, 1993).

La combinación de hormigón y bambú en técnicas de construcción híbrida ofrece la posibilidad de aprovechar lo mejor de ambos materiales. Por ejemplo, el hormigón puede proporcionar la resistencia estructural necesaria, mientras que el bambú puede utilizarse en elementos de diseño, revestimientos y acabados, aportando una estética única y sostenible a los edificios.

Por lo tanto, el análisis estructural del hormigón y el bambú en la construcción sostenible en Ecuador subraya la importancia de considerar una variedad de factores, incluyendo propiedades mecánicas, impacto ambiental, viabilidad económica y aspectos sociales, la combinación de estos materiales ofrece un camino hacia una construcción más sostenible y respetuosa con el medio ambiente, lo que tiene el potencial de transformar la industria de la construcción en el país y fortalecer la economía a múltiples niveles.

2.11. Diferencias físicas y mecánicas entre el bambú y el hormigón armado

Tabla 21
Propiedades físicas y mecánicas

Propiedad	Bambú	Hormigón Armado
Densidad	Baja	Alta
Higroscópico	Sí	Sí
Color y Textura	Naturalmente variado	Liso y uniforme
Resistencia a la Compresión	Buena	Excelente

Resistencia a la Tracción	Aceptable	Baja (requiere refuerzo)
Flexibilidad	Muy alta	Baja
Porosidad	Relativamente baja	Variable
Ductilidad	Sí	Baja (frágil)

Fuente: datos obtenidos de (Bello & Villacres, 2021).

Las propiedades físicas de un material se refieren a sus características inherentes, como su densidad, color, punto de fusión, conductividad térmica y eléctrica, índice de refracción, entre otras, que describen su apariencia y comportamiento sin cambiar su composición química. Por otro lado, las propiedades mecánicas se relacionan con cómo un material responde a las fuerzas y cargas aplicadas, incluyendo su elasticidad, resistencia, dureza, tenacidad, fragilidad, fatiga y rigidez, lo que determina su capacidad para soportar cargas, deformarse o fracturarse bajo diferentes condiciones, siendo fundamentales en la selección y diseño de materiales para diversas aplicaciones (Brand y otros, 2015).

Propiedades Físicas del Bambú:

Densidad: El bambú tiene una densidad relativamente baja en comparación con otros materiales de construcción, lo que lo hace liviano y fácil de manejar.

Higroscópico: El bambú es higroscópico, lo que significa que puede absorber y liberar humedad según las condiciones ambientales. Esto puede afectar su estabilidad dimensional, por lo que es esencial protegerlo de la humedad.

Color y Textura: El bambú tiene un color natural que varía desde un tono amarillo claro hasta un marrón más oscuro. Su textura natural aporta una estética única a las estructuras construidas con bambú.

Propiedades Mecánicas del Bambú:

Resistencia a la Compresión: El bambú tiene una excelente resistencia a la compresión, lo que lo hace adecuado para soportar cargas verticales en construcción.

Resistencia a la Tracción: Aunque el bambú es más débil en tracción que en compresión, su resistencia a la tracción es suficiente para muchas aplicaciones estructurales.

Flexibilidad: El bambú es conocido por su flexibilidad, lo que le permite absorber energía en lugar de romperse. Esto lo hace adecuado para resistir cargas sísmicas y vientos fuertes.

Propiedades Físicas del Hormigón:

Densidad: El hormigón tiene una densidad considerablemente alta, lo que lo hace adecuado para resistir cargas pesadas.

Porosidad: El hormigón puede contener poros que afectan su capacidad para resistir la infiltración de agua y agentes químicos. La porosidad puede variar según la calidad del concreto.

Color y Textura: El hormigón suele ser de color gris o beige, y su textura es lisa y uniforme, aunque puede variar según las técnicas de acabado utilizadas.

Propiedades Mecánicas del Hormigón:

Resistencia a la Compresión: El hormigón es excepcionalmente fuerte en compresión y puede soportar cargas verticales significativas.

Resistencia a la Tracción: El hormigón es relativamente débil en tracción, por lo que generalmente se refuerza con barras de acero para mejorar su resistencia a la tracción.

Ductilidad: El hormigón es un material frágil, lo que significa que tiende a romperse sin previo aviso en comparación con la capacidad del bambú para absorber energía de manera más gradual.

Tratamiento del bambú y del hormigón armado.

Tabla 22
Tratamiento del bambú y del hormigón armado

Aspecto	Bambú	Hormigón Armado
Cosecha	Se selecciona una especie madura (generalmente 3+ años).	Los materiales (cemento, arena, agregados) se compran.
Secado	Requiere secado al sol o en horno para reducir humedad.	No requiere secado, pero el agua en la mezcla debe ser controlada.

Tratamiento Preservativo	Se somete a tratamiento químico o ahumado para durabilidad.	No requiere tratamiento preservativo, pero debe cumplir con estándares de mezcla.
Refuerzo	No se utiliza acero de refuerzo.	Incorpora acero de refuerzo (barras o mallas) para resistencia adicional.
Unión	Se pueden unir con cuerdas o abrazaderas metálicas.	Vierte en encofrados y no requiere unión adicional.
Durabilidad	La durabilidad depende del tratamiento y el tipo de bambú.	El hormigón es duradero y resiste la corrosión.
Peso	Más ligero en comparación con el hormigón.	Más pesado debido a la densidad del hormigón.
Flexibilidad	Relativamente flexible y puede ser curvado.	Menos flexible y generalmente se vierte en formas rígidas.
Mantenimiento	Requiere inspección y mantenimiento regular.	Requiere menos mantenimiento, pero el acero debe protegerse de la corrosión.
Uso Estético	Apreciado por su aspecto natural y sostenible.	Requiere acabados adicionales para fines estéticos.

Fuente: datos obtenidos de (Morán, 2015).

El anterior cuadro, compara las diferencias clave entre el bambú y el hormigón armado como materiales de construcción. El bambú se cosecha de especies maduras y requiere secado para reducir la humedad, seguido de tratamientos preservativos para aumentar su durabilidad, no utiliza acero de refuerzo y puede unirse con cuerdas o abrazaderas, es más ligero, flexible y apreciado por su aspecto sostenible, pero requiere un mantenimiento regular. Por otro lado, el hormigón armado se compone de materiales comprados y no necesita secado. Incorpora acero de refuerzo y se vierte en encofrados sin necesidad de unión adicional, es más pesado, menos flexible y requiere menos mantenimiento, pero suele necesitar acabados adicionales para fines estéticos.

Capítulo 3: Metodología de Investigación y Materiales

La presente investigación se propone comparar detalladamente las características, eficacia y viabilidad económica de la construcción con bambú y hormigón armado en el contexto ecuatoriano. Para ello, se ha establecido una metodología exhaustiva que abarca distintos aspectos técnicos, económicos y ambientales. El enfoque de esta investigación es de

tipo bibliográfico, utilizando una amplia revisión de literatura científica y técnica como fuente primordial de información.

Esta investigación se basa en un enfoque metodológico sólido que combina el análisis comparativo de propiedades técnicas, impactos ambientales y costos económicos de la construcción con bambú y hormigón armado en el contexto ecuatoriano. El enfoque de esta investigación es de naturaleza comparativa y analítica, por lo que se busca comparar detalladamente las propiedades técnicas, impactos ambientales y costos económicos de la construcción con bambú y hormigón armado en proyectos representativos de Ecuador.

3.1. Diseño Muestral/Experimental

Se ha diseñado un enfoque de estudio de casos de construcciones con bambú y hormigón armado en diversas ubicaciones del Ecuador. Estos casos representativos se han seleccionado considerando la diversidad geográfica, socioeconómica y climática del país, los proyectos de construcción bajo análisis deben haberse desarrollado siguiendo los estándares y normas de seguridad vigentes, lo que garantiza la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos, cada caso de estudio proporcionará datos sobre materiales utilizados, diseño arquitectónico y estructural, técnicas de construcción implementadas y los resultados observados.

Es decir, que se empleará un diseño de estudio de casos múltiples, seleccionando proyectos de construcción reales en diferentes regiones de Ecuador que han utilizado bambú y hormigón armado como materiales de construcción. Esto permitirá capturar la diversidad geográfica, socioeconómica y climática del país y garantizará la representatividad de los resultados.

3.2. Técnica de Recopilación de Datos:

La recopilación de datos se llevará a cabo a través de múltiples técnicas, que incluirán una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con la construcción

con bambú y hormigón armado, se analizarán documentos relacionados con los proyectos seleccionados, como planos de construcción, registros de costos, informes de impacto ambiental y otros documentos relevantes.

3.3. Análisis Estadísticos y Comparativos

El núcleo de esta investigación radica en el análisis comparativo de los datos recopilados. Este análisis se llevará a cabo con el propósito de evaluar de manera detallada las diferencias y similitudes entre las propiedades físicas y mecánicas del bambú y del hormigón armado. Adicionalmente, se explorarán y compararán los impactos ambientales y económicos de ambas alternativas constructivas.

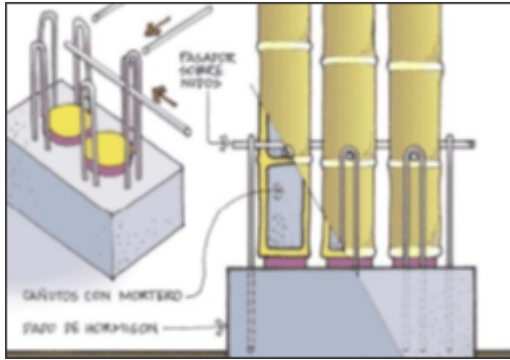
3.4. Impacto Ambiental y Económico

El análisis comparativo del impacto ambiental y económico será un componente crucial de esta investigación. Para evaluar el impacto ambiental, se considerarán factores como la huella de carbono, la energía incorporada y la sostenibilidad de los recursos utilizados en la construcción. En términos económicos, se evaluarán los costos asociados a cada material a lo largo del ciclo de vida de la construcción, considerando tanto los costos iniciales como los de mantenimiento, en términos económicos, se realizará un análisis completo de los costos asociados a cada material a lo largo del ciclo de vida de la construcción, incluyendo costos iniciales, costos de mantenimiento y posibles costos de sustitución.

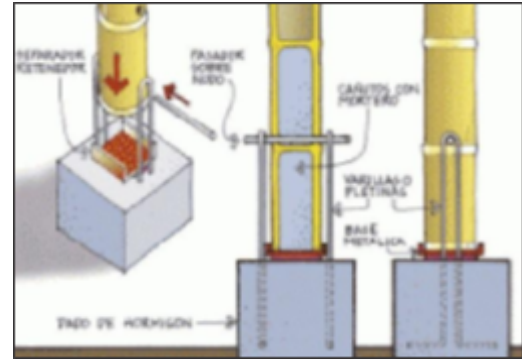
3.5. Diseño y proceso de industrialización de la caña guadúa.

Cimentación y levantamiento de columnas de caña:

Crear un sistema constructivo resistente a los terremotos utilizando caña guadúa es viable y práctico debido a las propiedades físicas inherentes de este material. A continuación, se proporciona un esquema detallado del diseño constructivo.



Columnas de caña guadúa conectadas a cimientos



Sistema de estructuración de columnas

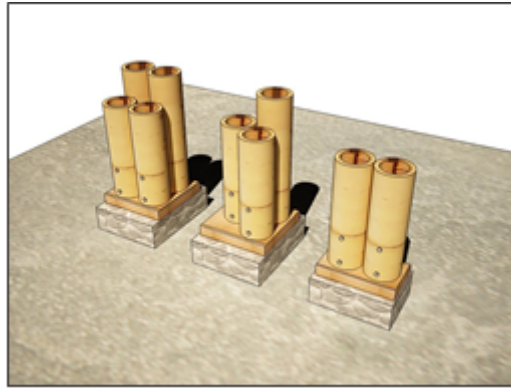
Propuestas Alternativas.

Cimiento y Sobrecimiento:

Para la conformación de las columnas en la construcción de una vivienda con un sistema que emplea columnas de hormigón armado, hierro o madera, es esencial considerar la implementación de un cimiento dedicado. Sobre este cimiento se instalará un sobrecimiento, que puede ser de material metálico o de hormigón armado. La columna de caña se vinculará al cimiento mediante varillas de hierro que penetrarán en el interior de la caña y se asegurarán con un par de pernos, específicamente en el primer tramo de la caña. Este tramo se llenará con un mortero compuesto por cemento, arena y gravilla. La disposición de las columnas puede constar de una, dos, tres o cuatro cañas, adaptándose según las necesidades de soporte de la estructura, y podrán conectarse de manera lineal o mediante una configuración estructural combinada.

Columnas pre - fabricadas:

Las columnas seguirán el diseño previamente mencionado para la conexión con los cimientos de hormigón y se construirán con alturas estandarizadas de 2,70 m y 5,40 m. Se permitirá la formación de composiciones utilizando múltiples cañas.

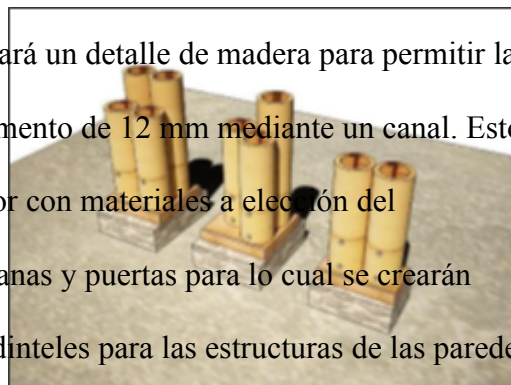


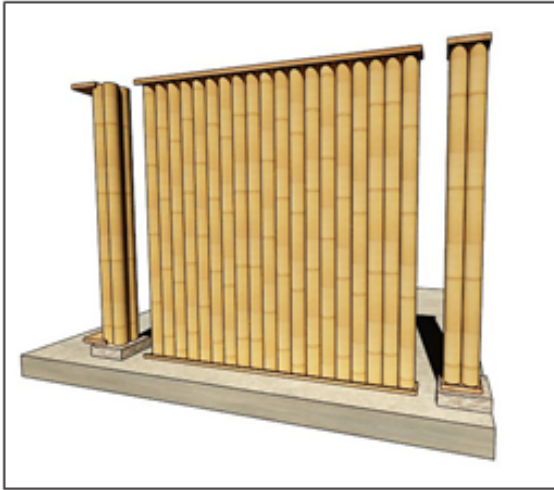
Posibilidades de estructuración de columnas

Paredes y tabiques:

Las paredes estarán formadas por una serie de cañas que constituirán el cuerpo principal de la pared, dispuestas de manera lineal y ancladas a dos guías ubicadas en la base y en la parte superior de la pared. Cada caña se fijará a las guías mediante tornillos, utilizando moldes industriales fabricados a partir del mismo material de la caña para las guías superior e inferior, que servirán como puntos de anclaje para cada caña. El panel resultante se sujetará al sobrecimiento mediante pernos de anclaje, conectándose a la columna que estructura la vivienda. Sobre esta columna se añadirá un tapón o molde de bambú, que se anclará a la guía superior del panel.

En la base de las paredes, se incorporará un detalle de madera para permitir la fijación de un tablero de bambú o de fibrocemento de 12 mm mediante un canal. Esto posibilitará revestir la pared exterior o interior con materiales a elección del constructor. Además, se podrán agregar ventanas y puertas para lo cual se crearán marcos y cargadores que funcionarán como dinteles para las estructuras de las paredes de caña.





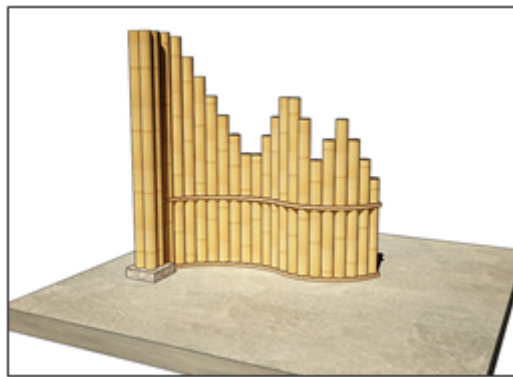
Paredes de caña guadúa



Alternativa de recubrimiento

Paredes y divisores para espacios interiores:

Con el propósito de ambientar y construir la panelería interior, se busca diseñar guías de diversas formas que posibiliten que la caña guadúa se transforme en líneas generatrices. Estas líneas, al seguir la continuidad de la guía, generarán una superficie curva que constituirá la tabiquería interior.



Divisores Curvos

Cortes y tipos de anclaje para columnas y vigas de estructuración.

Juntas permanentes de bambú:

Cuando se emplea bambú en construcciones permanentes, es esencial contar con uniones capaces de transferir las fuerzas de presión y tensión entre distintas partes sin ocasionar deformaciones significativas. De acuerdo con evidencia de diversos ensayos, las juntas suelen ser los puntos más vulnerables, y para abordar posibles fallas, se recurre al uso de cuerdas o sogas fabricadas con fibras sintéticas, alambre de acero galvanizado o bridas galvanizadas.

Tableros de fibras trituradas de caña guadúa:

Los recortes y desechos resultantes del proceso de fabricación de cortes para paredes y paneles, así como las cañas que no cumplen con los estándares de control de calidad, se aprovecharán para crear tableros de alta densidad y durabilidad. Estos tableros, con dimensiones de 1,20 m * 2,50 m, son similares a los conocidos como OSB (Oriented Strand Boards), los cuales consisten en partículas orientadas mediante virutas prensadas en capas múltiples y unidas. Las virutas se mezclan con ceras y adhesivos, y luego se someten a altas temperaturas y presiones para dar origen a los tableros.

Este proceso de fabricación es ecológico, ya que los adhesivos y las ceras utilizados se estabilizan y curan durante la producción, evitando emisiones medibles de gases. Además, destaca por un aprovechamiento más eficiente de la madera en comparación con otros tipos de tableros. Estos tableros encuentran aplicación en la construcción de paneles tanto para espacios interiores como exteriores, desempeñando un papel esencial y constituyente en el diseño interior.



Ejemplo de tableros



Uso e implementación de tableros



Uso de los tableros

Láminas de control acústico y control de temperatura

Finalmente, se ha creado un producto a partir de la celulosa extraída de la caña guadúa. La meta es optimizar el aprovechamiento de la caña como materia prima, considerando su capacidad para generar una amplia variedad de productos.



Simulación de la propuesta de láminas de control acústico

Experimentación:

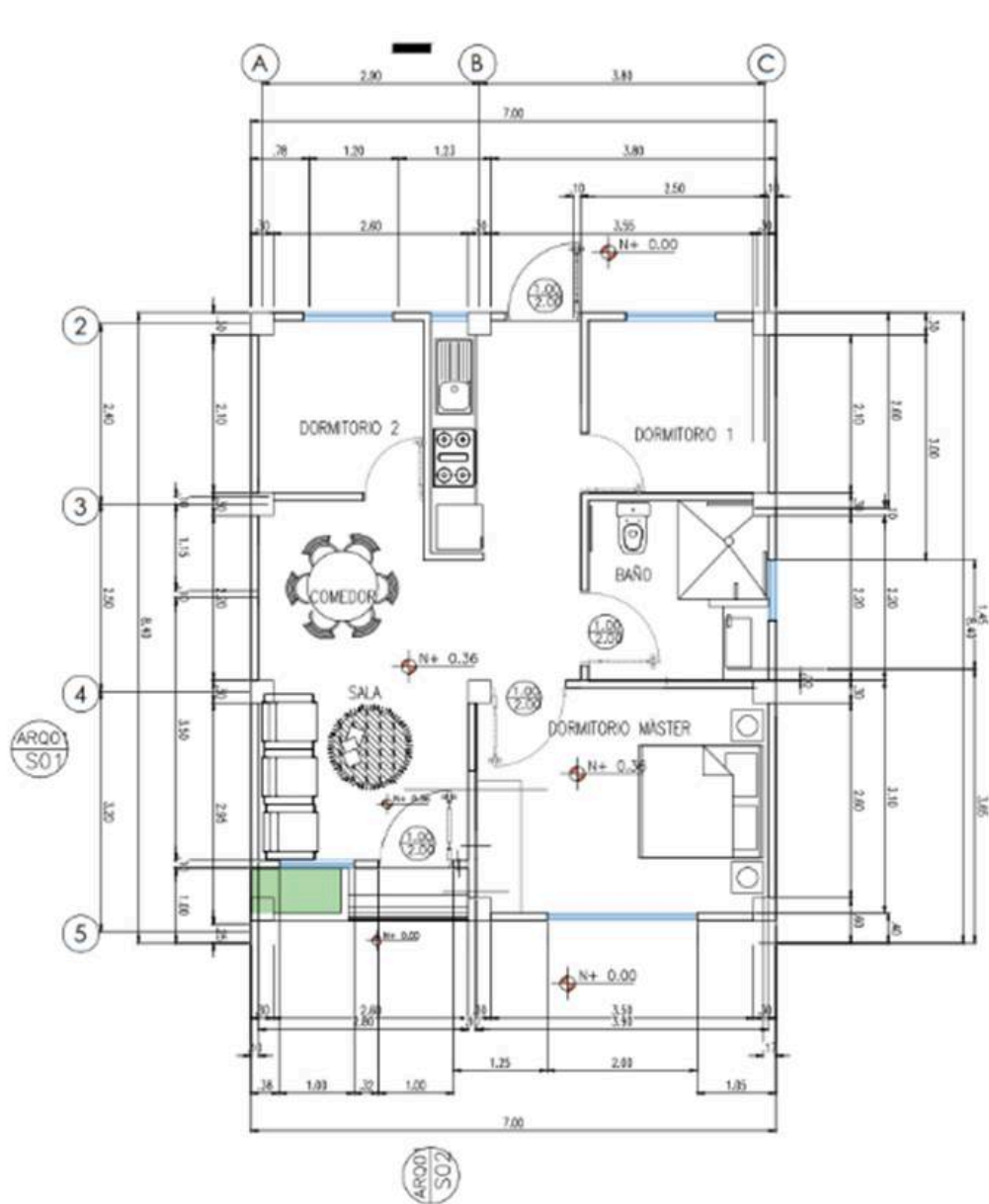
Las fases experimentales surgen a partir de un análisis estructural y constructivo de la caña guadúa, tomando en cuenta su versatilidad, propiedades, y contribuciones tanto expresivas como funcionales. En la primera etapa del proceso de análisis, se enfoca en diseñar una estructura con características antisísmicas y explorar cómo esta base, compuesta por una losa de hormigón y cimientos, puede integrarse con la caña guadúa como elemento estructural.

En la segunda etapa, se examinan las propiedades de la caña y se desarrolla un diseño estandarizado para paredes prefabricadas con formas dinámicas, determinadas por elementos como directrices y generatrices.

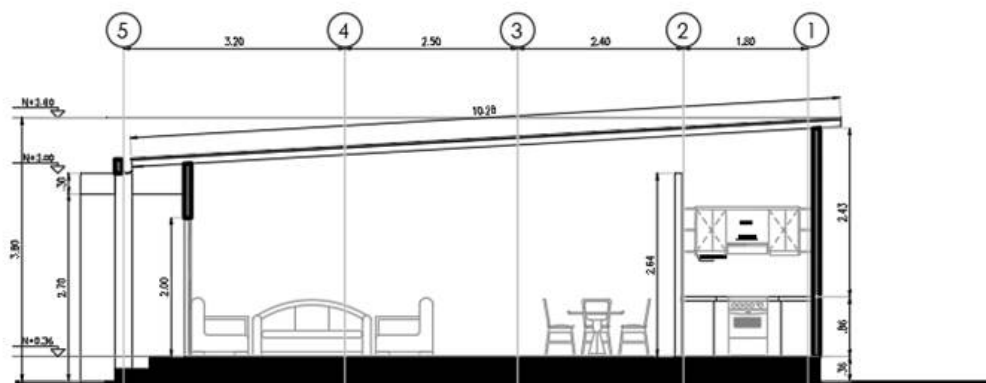
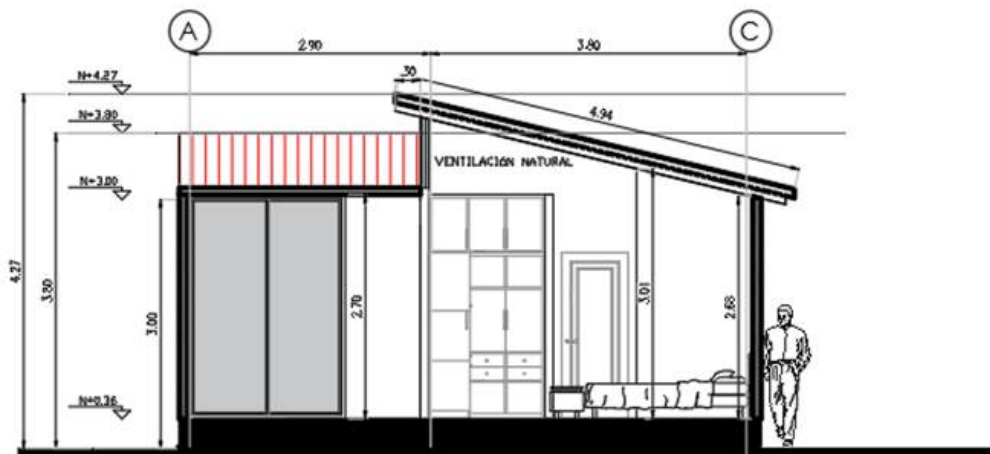
La tercera etapa implica la experimentación en el diseño de detalles constructivos que optimicen la técnica y faciliten su industrialización desde una perspectiva constructiva, creativa e innovadora. En este contexto, se deben considerar las posibilidades constructivas y realizar análisis de la relación constructiva y morfológica con los elementos del espacio interior del edificio. Esto busca crear

tableros de bambú triturado y láminas para el control acústico y de temperatura, utilizando las celulosas derivadas de la caña guadúa.

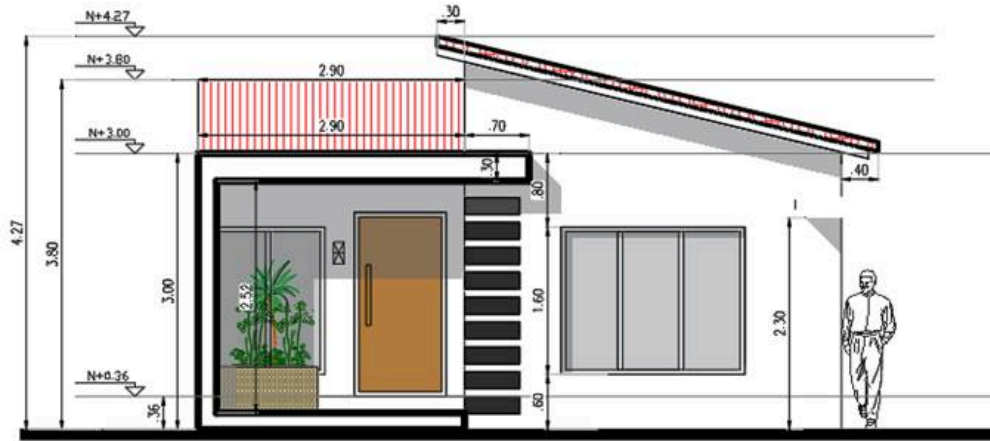
MODELO ARQUITECTÓNICO DE HORMIGÓN ARMADO Y BAMBU PARA UNA VIVIENDA DE 56M2.



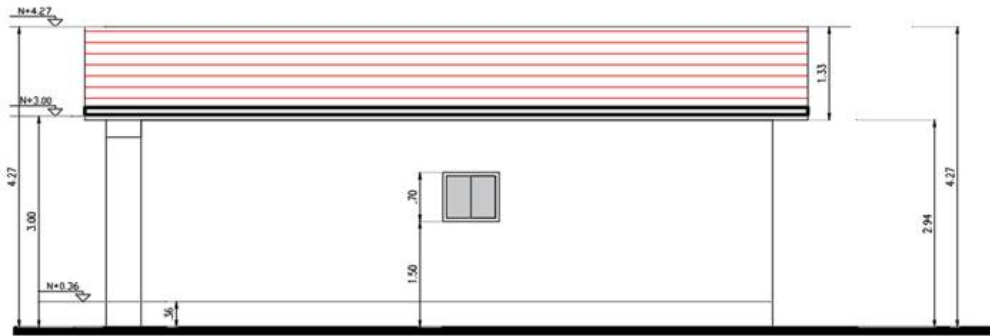
Propuesta de estructura con caña guadúa



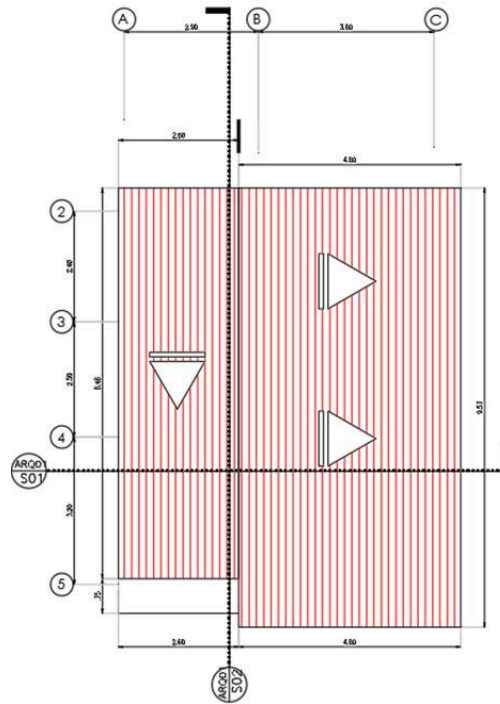
Fachada Frontal



Fachada Lateral



Planta de cubiertas



3.6 Diseño y proceso de industrialización del hormigón armado.

La utilización de hormigón premezclado en lugar de otros materiales convencionales en la construcción de edificaciones conlleva ahorros significativos de energía por diversas razones. Esto proporciona nuevas opciones, especialmente en un contexto actual marcado por el aumento de costos y la creciente tendencia de reducir la huella de carbono, promoviendo así un sector más ecológico. Cinco aspectos con los que el hormigón contribuye a mejorar la sostenibilidad de los edificios en las diferentes fases de su construcción.

Ahorro Energético:

En la fase inicial de diseño, la utilización de materiales con alta inercia térmica, como el hormigón, junto con una adecuada orientación de los edificios, posibilita aprovechar la energía solar en regiones con amplias variaciones térmicas diarias. Las viviendas construidas con hormigón tienen la capacidad de captar la energía solar a través de las ventanas y retenerla en la masa sustancial de losas, muros y techos. Esta

energía puede liberarse únicamente cuando la temperatura del aire desciende por debajo de la de estos elementos, mediante el proceso de radiación. Este fenómeno puede representar un ahorro significativo de energía para los residentes de estas viviendas.

Aislamiento:

Investigaciones señalan que la elección de cerramientos de muros de hormigón, en lugar de la opción tradicional con ladrillos, conlleva múltiples beneficios, como mayor seguridad contra incendios, aislamiento acústico eficaz y un considerable ahorro de energía en la climatización del edificio.

Producto Local y Transporte:

Durante la fase de construcción, el hormigón es un material local, fabricado en proximidad a la obra con materiales también locales, contribuyendo así al ahorro de energía en el transporte.

Durabilidad:

En la fase operativa del edificio, la característica más destacada es que todas las propiedades del hormigón son pasivas, permanentes y inherentes a la construcción con hormigón estructural, sin necesidad de mantenimiento o conservación específicos y, por ende, sin costos significativos. Todo esto contribuye a la elevada durabilidad de las estructuras de hormigón frente a las influencias ambientales, en comparación con otras soluciones constructivas.

Reciclabilidad:

Finalmente, en la fase de demolición de una estructura, el hormigón presenta la ventaja de ser un material 100% reciclable de manera sencilla. Una práctica común es emplear el árido reciclado proveniente del hormigón demolido en la fabricación de nuevo hormigón. El Código Estructural permite el uso de este árido reciclado como

sustituto del árido grueso en porcentajes de hasta el 20% en peso, aplicable tanto en la fabricación de hormigón en masa como en el hormigón armado con resistencia característica no superior a 40 N/mm², excluyendo su uso en hormigón pretensado.



PROCESO DE CONSTRUCCIÓN:

En cualquier obra arquitectónica, se busca maximizar la productividad durante la construcción. No obstante, la rapidez puede tener consecuencias negativas si no se garantiza que cada aspecto del proyecto se esté llevando a cabo de manera óptima.

En el caso específico del hormigón, la elección de la solución constructiva desempeña un papel fundamental para lograr eficiencia en la ejecución de la obra. Esta decisión cobra aún más importancia cuando se busca evitar que la productividad comprometa la ejecución adecuada del diseño original, tanto en términos arquitectónicos como estructurales y formales.

Es posible maximizar el rendimiento productivo de la composición tradicional del hormigón

“Todos los hormigones tienen la misma composición en su base genérica: **cemento + agua + áridos finos y gruesos**. A partir de ella, se puede variar la proporción entre el agua y el cemento para obtener distintas resistencias y/o se pueden incluir aditivos que aumenten su rendimiento general”.

Para aclarar algunos conceptos, se denomina "pasta de cemento" a la mezcla de cemento, agua y aire (ya sea atrapado o incorporado); al conjunto de pasta de cemento y áridos finos (arena) se le llama "mortero de cemento"; y se utiliza el término "hormigón" para referirse a la mezcla conformada por el mortero de cemento y áridos gruesos (grava y/o gravilla).

Ya sea que la elaboración se realice de manera artesanal o en entornos industrializados controlados, los componentes y procesos del hormigón no presentan variaciones significativas. Por lo tanto, estas "mejoras" son aplicables tanto en proyectos de menor escala como en construcciones masivas o de gran envergadura. La elección de utilizar hormigón deberá basarse en las prioridades y requisitos específicos de cada proyecto.



Los procedimientos de hormigonado no son uniformes para todos los tipos de hormigones.

Aunque las fases del proceso de hormigonado pueden variar ligeramente según la tipología y la estructura del proyecto, el enfoque tradicional del hormigonado comprende una serie de procedimientos que podrían omitirse según el tipo específico de hormigón empleado.

Usualmente, el proceso tradicional inicia con la colocación de los moldajes para muros y losas. En algunos casos, los moldajes de muro y losa se manejan simultáneamente, mientras que en otros se instalan de manera independiente. Luego, se lleva a cabo el relleno mediante el bombeo del hormigón, seguido por la compactación y, por supuesto, la aplicación de medidas de protección y curado para los elementos construidos. Todo este procedimiento requiere la participación de un equipo compuesto por 10 a 12 personas, empleando principalmente:

- Moldajes (tablas de madera o placas fenólicas).
- Herramientas de carpintería para la construcción de los moldajes (serruchos, martillos, clavos o pernos, plomos).

- Alzaprimas, en el caso de las losas (elementos verticales que sostienen los moldajes horizontales).
- Calugas para la armadura y martillos-chapulines para la nivelación.
- Bomba para el llenado de los moldajes, con el respaldo de palas.
- Sonda de inmersión para compactar la solución.

Cuando se emplean hormigones con mayor fluidez y cohesión, algunas etapas del proceso constructivo convencional pueden eliminarse: la fase de vaciado se reduce al mínimo (requiriendo un número mínimo de trabajadores); se eliminan las operaciones de compactación (gracias a la fluidez del material); y la retirada de moldajes puede llevarse a cabo después de 16 horas desde el inicio del proceso, siempre que se cumplan las condiciones adecuadas de temperatura.



Es posible prevenir los fallos constructivos y las anomalías en el hormigón.

La eliminación de ciertos procedimientos no solo incrementa la eficiencia en la construcción, sino que también reduce el riesgo de errores humanos comúnmente asociados a ellos, como la compactación ineficiente o el retiro abrupto de los moldajes.

Tomemos, por ejemplo, la complejidad del proceso de compactación en el caso del hormigón convencional:

Inicialmente, se requiere dedicar tiempo a verter de manera ordenada el hormigón en los moldajes, siguiendo un espesor específico y en capas predeterminadas. Posteriormente, cada una de estas capas debe ser compactada desde la parte superior con la sonda, asegurando una homogeneización adecuada y evitando que las capas (y, por ende, el proceso) sean visibles en la estructura del muro. Todo este procedimiento debe seguir una "malla de compactación" diseñada previamente.

A pesar de llevar a cabo el hormigonado con el máximo cuidado, los procesos involucrados pueden presentar desviaciones y dar lugar a nidos, fisuras o grietas. La realización de un mayor número de procesos aumenta la probabilidad de desviaciones, prolongando los plazos y los costos de la construcción de la obra.



Lograr un ritmo constante en el proceso de hormigonado tiene un impacto significativo en la velocidad y eficiencia de todo el procedimiento.

En el escenario más favorable, la fase de hormigonado de una casa de tamaño medio, empleando hormigón convencional, puede llevar entre 4 y 5 días. La posibilidad de reducir significativamente estos plazos radica en establecer un ritmo constante en la construcción, lo cual solo se logra cuando se tiene la certeza de que el producto utilizado responderá de manera consistente en cada aplicación.

Siguiendo las normativas establecidas, el proceso puede completarse en un lapso de 12 a 14 horas, desde la colocación hasta la retirada del moldaje. La instalación del molde puede requerir entre 6 y 8 horas adicionales, permitiendo así concluir el procedimiento en menos de 24 horas.

Esta eficiencia se traduce en una reducción significativa de la mano de obra y las herramientas necesarias para llevar a cabo el proceso, limitándose a:

Moldajes industriales (y herramientas menores para su instalación): estos sirven como moldes para el muro y la losa simultáneamente, y son adaptados por la empresa de moldajes según el diseño arquitectónico.

Bomba para rellenar los moldajes.

Con este enfoque, el equipo de trabajo se reduce a un grupo de no más de 6 personas. Entre ellas, solo se necesitan 2 personas para llevar a cabo el proceso de hormigonado: el operador de la bomba y un maestro que dirija el flujo del hormigón hacia los moldes.



Los moldajes pueden convertirse en un valioso aliado para optimizar un diseño arquitectónico en hormigón.

En el ámbito de la construcción, comúnmente se asocia la productividad con diseños simples y acabados de baja calidad. No obstante, esta percepción no necesariamente tiene que ser correcta si tomamos decisiones acertadas.

Debido a su Fuenteble fluidez, este material posibilita replicar de manera precisa todas las particularidades de los moldajes, incluyendo elementos curvos, corta-goteras, antepechos y otros detalles geométricos y figuras. En este contexto, la productividad y la velocidad no se contraponen a la complejidad del diseño, e incluso es viable hormigonar todos los elementos de una sola vez.

Contemplar el "diseño" de los moldajes como una parte integral del proyecto y comprender cómo se comportará el hormigón al entrar en contacto con ellos se vuelve esencial si queremos incorporar formas y texturas específicas de manera precisa.

Independientemente del tipo de solución constructiva seleccionada, la recomendación primordial para una construcción eficiente en hormigón es seguir rigurosamente la normativa local actual. Estos documentos proporcionan las pautas fundamentales relacionadas con la ejecución, el desmolde y el descimbre, las alturas de caída, los tiempos, la protección y el curado, las condiciones climáticas, entre otros aspectos cruciales.

Como arquitectos, es esencial considerar el proceso constructivo y la elección de materiales desde las etapas iniciales del diseño, minimizando la posibilidad de cambios o decisiones no previstas durante la ejecución de la obra. En este contexto, las especificaciones técnicas desempeñan un papel fundamental y deben redactarse de manera clara y completa.

Es factible conciliar la productividad y la calidad arquitectónica al trabajar con hormigón. Sí, al centrarnos inicialmente en la estructura de hormigón armado, para luego abordar las instalaciones y acabados, entre otros procesos, es viable construir una vivienda de hormigón en un solo día y transformarla en un destacado proyecto arquitectónico. No obstante, es crucial que el material y sus particularidades sean elementos integrados al diseño desde el principio.

De esta manera, garantizamos que las características y prestaciones del producto seleccionado contribuyan de manera efectiva a dar forma y apariencia al espacio diseñado, todo ello dentro de los plazos y presupuestos establecidos.

Capítulo 4: análisis de resultados

Análisis de Costos en la Construcción

Introducción

La evaluación de costos en la construcción desempeña un papel crucial al seleccionar el sistema constructivo adecuado. Involucra la consideración de la demanda de materiales, mano de obra, equipos, herramientas y transporte necesario para la ejecución de los sistemas. El análisis comienza con la evaluación de precios unitarios específicos para cada sistema estructural, adaptados a las necesidades, magnitud, condiciones del sitio y disponibilidad de materiales.

Posteriormente, para comparar económicamente dos sistemas constructivos, se generan presupuestos que permiten determinar cuál requiere una inversión más favorable, es decir, cuál demanda menor inversión financiera para su ejecución.

Tipos de Costos en la Construcción

Costos Directos:

Incluyen elementos directamente vinculados a la construcción. Se dividen en cuatro principales:

Equipo y Herramientas: Incorpora herramientas, equipos o maquinaria con tarifas por hora, considerando variables como deterioro, mantenimiento y depreciación. El costo de herramientas menores equivale al 5% del costo total de mano de obra.

Mano de Obra: Representa el recurso humano encargado de ejecutar las actividades del proyecto. Se clasifica por categorías ocupacionales con salarios establecidos anualmente.

Materiales o Insumos: Incluye la cantidad necesaria de materiales o materias primas para la estructura planificada, cuantificados a través de planos previamente elaborados.

Transporte: Engloba la movilización de materiales, equipos o herramientas, así como el desalojo de escombros, desde o hacia el lugar de ejecución de la obra.

Costos Indirectos:

Son gastos administrativos que no guardan relación directa con la ejecución de la obra. Representan un porcentaje (20-35%) del costo total de los directos, influenciado por la duración de la obra.

Se excluyeron los costos indirectos en este proyecto para enfocarse en el costo de ejecución de cada sistema constructivo y realizar una comparación económica.

Rendimiento

Se refiere al tiempo que el equipo, maquinaria o mano de obra requiere para ejecutar una actividad. Los rendimientos son variables y dependen de la capacidad del recurso humano o del estado y experiencia de equipos y maquinaria.

Cuadrilla Tipo

Es un grupo de personas que realizan diversos oficios fundamentales en distintos rubros de obras civiles, como albañilería, plomería y electricidad. Se emplean diversas cuadrillas tipo para ejecutar los rubros descritos en los presupuestos de cada propuesta, adaptándose a las estructuras ocupacionales específicas de cada rubro.

Diferentes tipos de cuadrillas empleadas en el sistema constructivo convencional y mixto.

Cuadrillas tipo para los sistemas constructivos convencional (hormigón armado) y mixto (caña guadúa)
<i>Cuadrilla Topografía</i>
Maestro mayor de ejecución de obras civiles (Estr. Oc. C1)
Topógrafo (Estr. Oc. C1)
Cadenero (Estr. Oc. D2)
<i>Cuadrilla Movimiento de tierras</i>
Operador de maquinaria (Estr. Oc. C1)
Ayudante de maquinaria (Estr. Oc. D2)
Chofer (Estr. Oc. C1)
Peón en general (Estr. Oc. E2)
<i>Cuadrilla Albañilería</i>
Maestro mayor de ejecución de obras civiles (Estr. Oc. C1)
Albañil (Estr. Oc. D2)
Peón de Albañil (Estr. Oc. E2)
<i>Cuadrilla Fierro</i>
Maestro mayor de ejecución de obras civiles (Estr. Oc. C1)
Soldador (Estr. Oc. D2)
Fierro (Estr. Oc. D2)
Peón de Fierro (Estr. Oc. E2)
<i>Cuadrilla Carpintería</i>
Maestro mayor de ejecución de obras civiles (Estr. Oc. C1)
Carpintero (Estr. Oc. D2)
Peón de Carpintero (Estr. Oc. E2)
<i>Cuadrilla Plomería</i>
Maestro mayor de ejecución de obras civiles (Estr. Oc. C1)
Plomero (Estr. Oc. D2)
Peón de Plomero (Estr. Oc. E2)
<i>Cuadrilla Eléctrica</i>
Maestro mayor de ejecución de obras civiles (Estr. Oc. C1)
Electricista (Estr. Oc. D2)
Peón de Electricista (Estr. Oc. E2)
<i>Cuadrilla Pintura</i>
Maestro mayor de ejecución de obras civiles (Estr. Oc. C1)
Pintor (Estr. Oc. D2)
Peón de Pintor (Estr. Oc. E2)
<i>Cuadrilla Revestimientos</i>
Maestro mayor de ejecución de obras civiles (Estr. Oc. C1)
Instalador de revestimiento en general
Peón en general (Estr. Oc. E2)

Estructura Ocupacional y Normativas

La estructura ocupacional presentada sigue las directrices establecidas por la Contraloría General del Estado para el año 202020.

Rubro

Un rubro es la actividad específica que se anticipa realizar en la obra. Cada actividad se asocia con una unidad (U) determinada para cuantificarla y asignarle un costo.

Análisis de Precios Unitarios (APUS)

El Análisis de Precios Unitarios (APUS) es una metodología estimativa que implica la suma de los costos de cada componente de los costos directos (equipo y herramientas, mano de obra, materiales, transporte), los costos indirectos y las utilidades asociadas a cada rubro.

Tipo de vivienda propuesta vs. La norma establecida en el Ecuador

Norma	Vivienda planteada	Cumple /No cumple
Vivienda deberá constar de dos dormitorios, un baño completo, sala, comedor, cocina, área de lavado	Dos dormitorios, un baño completo, sala-comedor, cocina, piedra de lavar	Cumple
Area total mínima = 49 mts cuadrados	Area total= 55 mts. cuadrados	Cumple
Acabados mínimos en pisos, paredes y cubiertas	Acabados mínimos en pisos, paredes y cubiertas.	Cumple
Piezas sanitarias	Piezas sanitarias	Cumple
Iluminación y ventilación	Iluminación y ventilación	Cumple
Puertas y cerraduras interiores y exteriores	Puertas y cerraduras interiores y exteriores	Cumple
Ambiente de cocina debe incluir fregadero, mesón, espacio para refrigerador y cocina como mínimo	Ambiente de cocina debe incluir fregadero, mesón, espacio para refrigerador y cocina como mínimo	Cumple
Dimensiones mínimas de escaleras: huella= 28 cm Contrahuella= 18 cm	Dimensiones mínimas de escaleras: huella= 28 cm Contrahuella= 18 cm	Cumple

La comparación entre la norma de vivienda y la propuesta con materiales alternativos como bambú o caña guadúa revela una notoria concordancia en los elementos esenciales. La distribución de espacios, que abarca dos dormitorios, un baño completo, sala, comedor y área de lavado, se mantiene en ambas propuestas. Aunque la superficie total de la vivienda de 55 m² supera ligeramente los 49 m² estipulados por la normativa, se considera aceptable. Los acabados en pisos, paredes y cubiertas, así como la instalación de piezas sanitarias, cumplen con los estándares exigidos. La vivienda propuesta asegura una adecuada iluminación y ventilación, mientras que las puertas y cerraduras, tanto interiores como exteriores, cumplen con los requisitos normativos. En la cocina, se garantiza la presencia de fregadero, mesón, espacio para refrigerador y cocina. Las dimensiones de las escaleras propuestas cumplen con los estándares mínimos.

Presupuesto

El presupuesto es la suma total de los costos de cada rubro o actividad que compone una obra. Es la estimación del costo para la ejecución de la obra.

Cronograma de Obra

Los cronogramas de obra son programaciones de los rubros basadas en sus tiempos de ejecución. El tiempo de ejecución de cada rubro se determina por su rendimiento, y la suma de todos estos tiempos proporciona la duración total de la obra.

Para este proyecto, se elaborarán cronogramas valorados de obra para cada propuesta, reflejando el flujo económico semanal necesario para ejecutar cada rubro.

Presentación de Resultados

Evaluación Económica

En este segmento, se llevará a cabo la evaluación económica de cada sistema constructivo estudiado. Se aplicarán los conceptos previamente expuestos sobre costos

en la construcción, elaborando Análisis de Precios Unitarios (APU) y presupuestos independientes para cada propuesta.

La comparación se realizará imparcialmente, centrándose en contrastar los costos de ejecución de cada alternativa. Se analizarán las diferencias de costos en cada capítulo de los presupuestos, concluyendo con el costo presupuestado final para cada sistema constructivo.

Además, se examinará la incidencia de los componentes de costos directos y el cronograma de tiempos de ejecución en el análisis económico comparativo. Se considerará también la estimación de gastos futuros por mantenimiento, evaluando el tipo y frecuencia de mantenimiento para cada sistema estructural, proporcionando un parámetro adicional en la evaluación entre ambos sistemas constructivos.

Comparación de costos para una vivienda 55 mts cuadrados en obra gris.

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
PROYECTO TÉCNICO					
HOTMIGÓN ARMADO					
PRESUPUESTO					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD		PRECIO TOTAL
1	MOVIMIENTO DE TIERRAS				756,96
1,1	Replanteo y nivelación	m2	110,72	1,9733175	218,49
1,2	Excavación a máquina de cimientos y plintos	m3	44,41	2,0155275	89,51
1,3	Colocación de relleno compactado en plintos (suelo natural+lastre, 2 capas de 10 cm)	m3	5,76	14,414715	83,03
1,4	Desalojo tierra/escombros 10 km, incluye volqueta, mini cargadora y pago escombrera	m3	41,53	8,8113375	365,93
2	ESTRUCTURA				4.836,60
2,1	HORMIGONES/PLANILLAS DE ACERO DE REFUERZO				2.023,98
2,1,1	ZAPATAS	m	9,45	87,32	825,17

2,1,2	COLUMNAS	m3	5,32	138,24	735,44
2,1,3	CADENAS DE AMARRE	m3	3,45	134,31	463,37
2,2	HORMIGON EN VIGAS				371,67
	HORMIGÓN 210KG/CM2	m3	2,35	87,42495	205,45
	HORMIGON EN NERVIOS	m3	0,95	88,52	84,09
	HORMINGON CARPETA DE COMPRESION	M3	0,94	87,37	82,13
2,3	ACEROS				2.440,95
2,3,1	Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2 D=10 mm con alambre galn°18	kg	226,81	1,3467	305,45
2,3,2	Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2 D=12 mm con alambre galn°18	kg	136,29	1,3467	183,54
2,3,3	Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2 D=14 mm con alambre galn°18	kg	344,39	1,3467	463,79
2.4	VIGAS DEE ACERO EN PLANTA	KG			
	T50X100X3	KG	383,48	1,83	701,77
	T100X150X3	KG	186,53	1,9	354,41
	PERNOS DE ANCLAJE	U	64	6,75	432,00
3	ENCOFRADOS (INCL, DESENCOFRADO)			0	5.744,40
3,1	Encofrado/desencofrado para cadenas de amarre (madera)	m2	42,15	8,53245	359,64
3,2	Encofrado/desencofrado perimetral de Contrapiso (madera)	m	45,23	10,32135	466,83
3,3	Encofrado/desencofrado para columnas (madera)	m2	117,11	18,4719	2.163,24
3,4	Encofrado/desencofrado para vigas (madera)	m2	105,42	12,462	1.313,74
3,5	Encofrado/desencofrado para losas (madera)	m2	93,71	15,3765	1.440,93
	TOTAL				11.337,96

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
PROYECTO TÉCNICO					
CAÑA GUADÚA					
PRESUPUESTO					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	PRECIO TOTAL
				UNITARIO	
1	MOVIMIENTO DE TIERRAS				756,96
1,1	Replanteo y nivelación	m2	110,72	1,9733175	218,49
1,2	Excavación a máquina de cimientos y plintos	m3	44,41	2,0155275	89,51
1,3	Colocación de relleno compactado en plintos (suelo natural+lastre, 2 capas de 10 cm)	m3	5,76	14,414715	83,03
				0	
1,4	Desalojo tierra/escombros 10 km, incluye volqueta, minicargadora y pago escombrera,	m3	41,53	8,8113375	365,93
				0	
2	ESTRUCTURA				6.833,79
2,1	HORMIGONES				3.687,18
2,1,1	HORMIGON PARA LOSA	m3	275,96	13,16	3.631,63
2,1,2	HORMIGON EN PILARES	m3	0,63848736	86,99	55,54
2,2	ACEROS				1.161,54
2,2,1	Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm2 D=0,88 mm con alambre galn°18	kg	126,52	1,34	169,54
2,2,2	PERNOS DE ANCLAJE CON 2 TUERCAS	U	64	6,75	432,00
2,2,3	PERNOS DE ANCLAJE CON 1 TUERCA Y GANCHO	U	140	4	560,00
2,3	CAÑA GUADÚA				1.985,08
2,3,1	CULMOS GaK				147,64
2,3,1,1	Columnas	m	24	3,927	94,25
2,3,1,2	Vigas	m	8	3,5595	28,48
2,3,1,3	VIGAS	m	7	3,5595	24,92
2,3,2	ESTERILLAS GaK				777,84
2,3,2,3	Entrepiso	m2	103,32	7,5285	777,84
2,3,3	INYECCIÓN DE MORTERO				493,72
2,3,3,1	Mortero 1:3 para inyección en elementos GaK	m3	5,05	97,7655	493,72
2,3,4	CONECTORES				565,88

2,3,4,1	Varilla roscada 3/8" (10mm) - Para conexiones	m	228,36	2,478	565,88
3	ENCOFRADOS (INCL, DESENCOFRADO)				895,83
3,1	Encofrado/desenconfrado para cadenas de amarre (madera)	m2	42,15	8,9145	375,75
3,2	Encofrado/desenconfrado perimetral de Contrapiso y Sobrecimiento (madera)	m	48,23	10,7835	520,09
	TOTAL				8.486,58

Comparación de costos en dólares.

Sistema constructivo convencional (Hormigón Armado)	Sistema constructivo mixto (Caña Guadúa)
Movimiento de tierras	
\$ 756,96	\$ 756,96
Estructura	
\$ 4.836,60	\$ 6.833,79
Encofrados (incl,desenconfrado)	
\$ 5.744,40	\$ 895,83
Total	
\$ 11.337,96	\$ 8.486,58

El gasto asociado al movimiento de tierras es idéntico en ambos métodos de construcción, ya que las condiciones del suelo, el área, y los recursos empleados, como maquinaria, mano de obra, y materiales, son completamente iguales.

- En el aspecto estructural, la propuesta convencional utiliza hormigón y acero, específicamente hormigón armado, junto con bloques alivianados para la losa de entepiso. En contraste, el sistema mixto emplea caña guadúa como componente principal para columnas, vigas, viguetas y diagonales. Se incluye la inyección de mortero 1:3 para los nudos de guadúa y varillas roscadas para la unión de elementos.

El costo del hormigón en el sistema convencional es superior debido a la mayor cantidad requerida, principalmente para la losa aligerada.

- En términos de encofrados, el sistema convencional demanda más recursos, ya que se utilizan para conformar todos los elementos estructurales y no estructurales. Por otro lado, el sistema mixto requiere encofrado solo para cadenas de amarre, contrapiso y sobrecimientos, resultando en un costo significativamente menor.

De acuerdo con los datos obtenidos, además del análisis anterior se puede observar que

Movimiento de tierras:

En el sistema constructivo convencional (Hormigón Armado), el movimiento de tierras tiene un costo de \$756.96, lo que representa el 7% del costo total.

En el sistema constructivo mixto (Caña Guadúa), el movimiento de tierras también tiene un costo de \$756.96, representando también el 7% del costo total.

Ambos sistemas tienen el mismo costo en este rubro y contribuyen de manera igual al costo total de la construcción.

Estructura:

En el sistema constructivo convencional, el costo de la estructura es de \$4,836.60, lo que representa el 43% del costo total.

En el sistema constructivo mixto, el costo de la estructura es de \$6,833.79, representando el 81% del costo total.

El sistema constructivo mixto (Caña Guadúa) tiene un costo significativamente mayor en este rubro en comparación con el sistema convencional (Hormigón Armado).

Encofrados (incl. desencofrado):

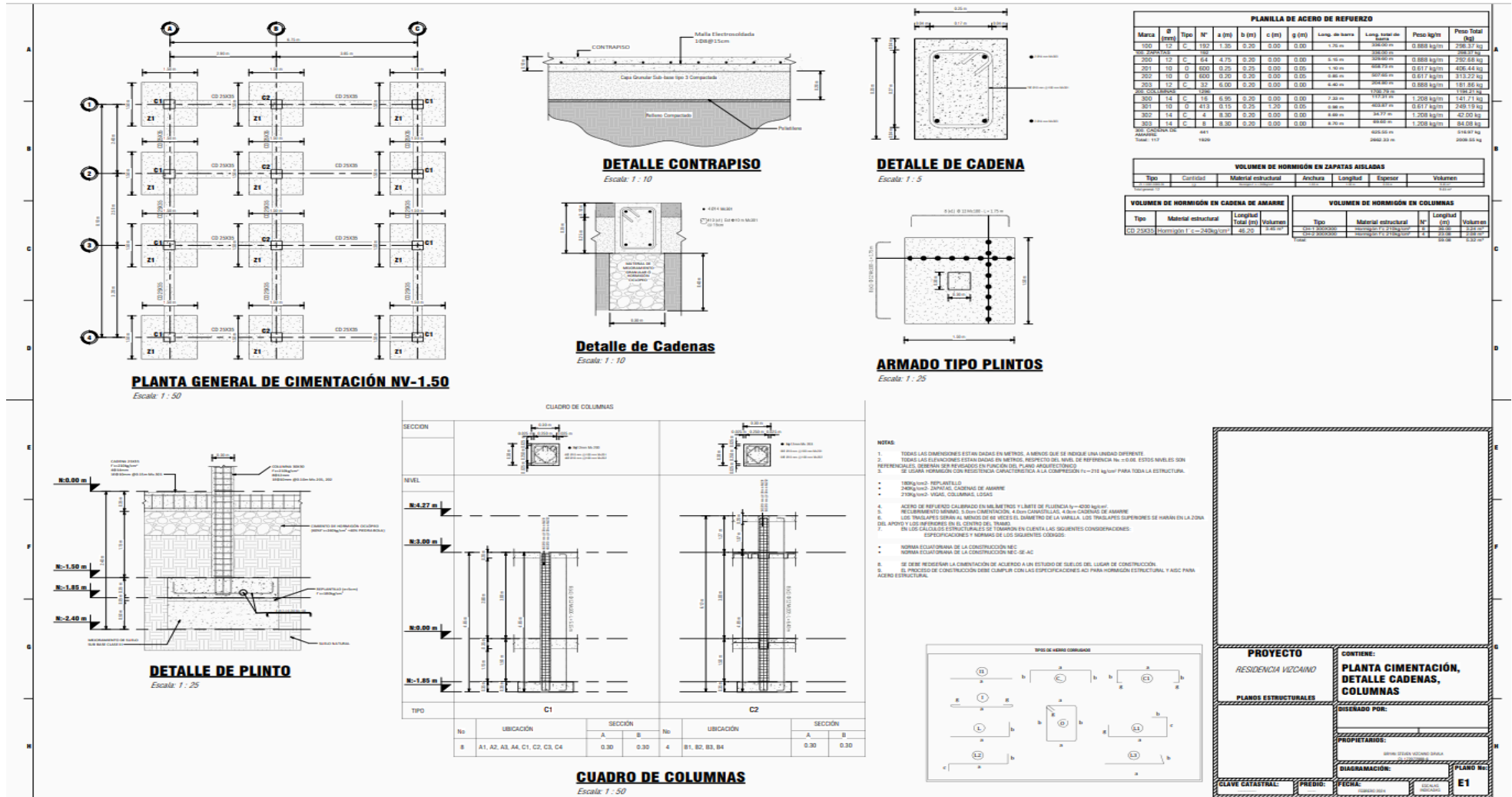
En el sistema constructivo convencional, el costo de los encofrados es de \$5,744.40, lo que representa el 51% del costo total.

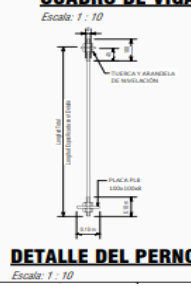
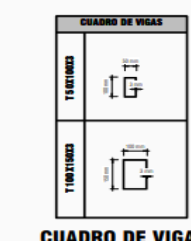
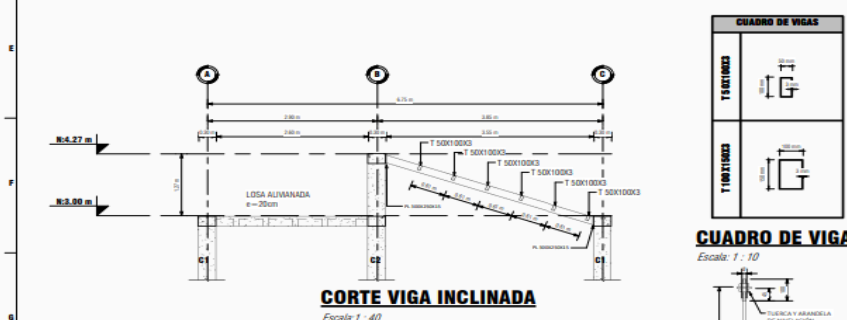
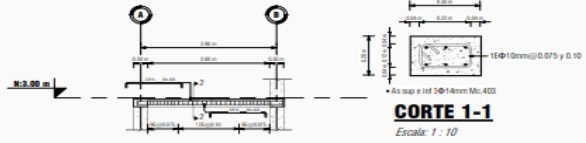
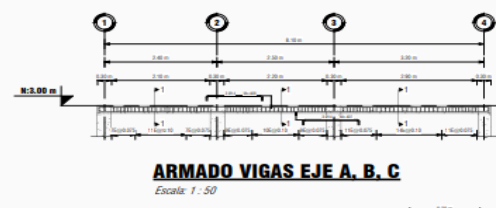
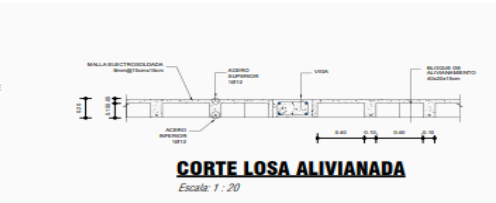
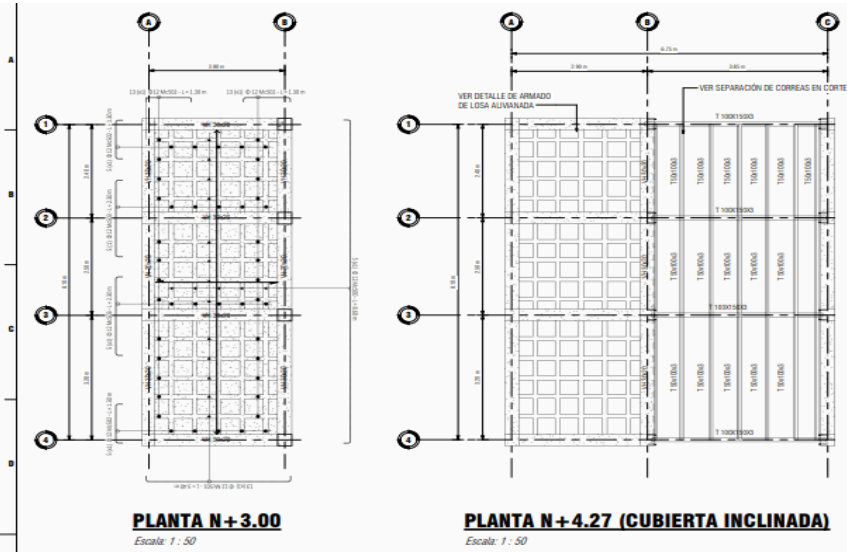
En el sistema constructivo mixto, el costo de los encofrados es de \$895.83, representando el 11% del costo total.

Nuevamente, el sistema constructivo mixto tiene un costo mucho menor en este rubro en comparación con el sistema convencional. Esto puede deberse a la simplicidad de los encofrados necesarios para trabajar con bambú en comparación con los encofrados necesarios para el hormigón.

A medida que transcurre el tiempo, los costos de mantenimiento tienden a aumentar, implicando posiblemente la necesidad de reemplazar o mejorar ciertos componentes de la vivienda, como tuberías, cableado, aparatos sanitarios, recubrimientos en pisos y/o paredes, impermeabilización, entre otros, sin que estos afecten la integridad estructural.

Diseño estructural hormigón armado





PLANILLA DE ACERO DE REFUERZO VIGAS Y LOSA											
Marca	Ø (mm)	Tipo	Nº	L (m)	b (m)	c (m)	g (m)	Long. de barras	Long. total de barras	Peso kg/m	Peso Total (kg)
404	10	O	478	0,20	3,10	1,20	0,00	3,30 m	1573,26 m	0,817 kg/m	1287,46 kg
405	14	C	6	3,10	0,15	0,00	0,00	3,40 m	20,34 m	1,258 kg/m	24,63 kg
406	14	C	18	3,10	0,15	0,00	0,00	3,40 m	61,92 m	1,258 kg/m	73,95 kg
407	14	C	12	3,30	0,15	0,00	0,00	3,40 m	40,80 m	1,258 kg/m	51,24 kg
408	14	C	12	3,30	0,15	0,00	0,00	3,40 m	40,80 m	1,258 kg/m	51,24 kg
Sub Total:											
									1676,62 m		1967,73 kg
501	12	C	3	3,30	0,15	0,00	0,00	3,40 m	10,20 m	0,888 kg/m	9,06 kg
502	12	C	13	3,10	0,15	0,00	0,00	3,40 m	44,14 m	0,888 kg/m	39,24 kg
503	12	C	36	1,90	0,15	0,00	0,00	1,90 m	68,40 m	0,888 kg/m	60,56 kg
504	12	C	10	2,80	0,15	0,00	0,00	2,90 m	29,00 m	0,888 kg/m	25,42 kg
Sub Total:											
									136,64 m		120,28 kg
Total:											
									1813,26 m		2088,01 kg

VOLUMEN DE HORMIGÓN EN VIGAS			
Tipo	Material estructural	Longitud Total (m)	Volumen (m³)
WH 30x20	Hormigón f' c=210kg/cm²	59,20	2,30 m³

RESUMEN DE ACERO DE REFUERZO...			
Ø (mm)	Longitud total (m)	Peso kg/m	Peso Total (kg)
10	167,60 m	0,817	138,94 kg
12	153,48 m	0,888	136,29 kg
14	285,09 m	1,208	344,39 kg
Total:			619,62 kg

VOLUMEN DE HORMIGÓN EN NERVIOS			
Tipo	Material estructural	Longitud Total (m)	Volumen (m³)
NERVIDO	Hormigón f' c=210kg/cm²	69,80	0,80 m³

VOLUMEN DE HORMIGÓN CARPETA DE COMPRESIÓN			
Tipo	Material estructural	Longitud Total (m)	Volumen (m³)
ASPA/ALICATADO/ALICATADO	Hormigón f' c=210kg/cm²	10,00	0,00 m³

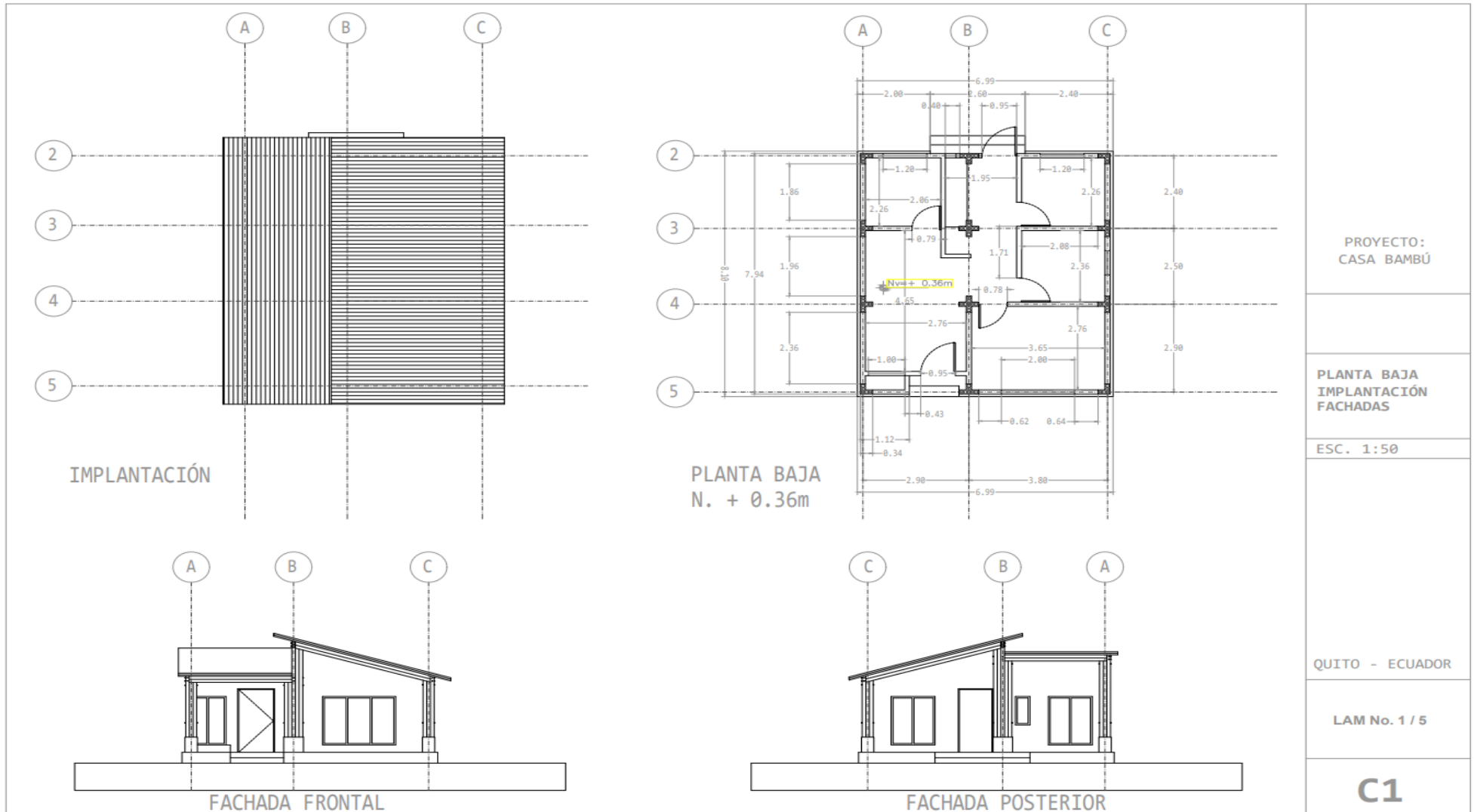
PLANILLA VIGAS DE ACERO EN PLANTA			
Tipo	Nº	Longitud Total (m)	Peso Total (kg)
T 50x100x3	21	56,54 m	383,48 kg
T 100x150x3	4	16,24 m	166,63 kg
Total general:		72,78 m	570,11 kg

Nº.2. PLACAS BASE			
PLACA	Nº	Área (m²)	Peso (kg)
1	1	0,10	10,00 kg
2	1	0,10	10,00 kg
Total:		0,20 m²	20,00 kg



PROYECTO RESIDENCIA VICCAINO	CONTENIDO LOSA ALIVIADA, DETALLE DE VIGAS
PLANOS ESTRUCTURALES	ELABORADO POR:
PROPIETARIOS:	REVISADO POR:
DIAGRAMACIÓN:	PLANO Nº:
CLAVE CATASTRAL:	FECHA:
PROYECTO:	PLANO Nº: E2

Diseño estructural Bambú



PROYECTO:
CASA BAMBÚ

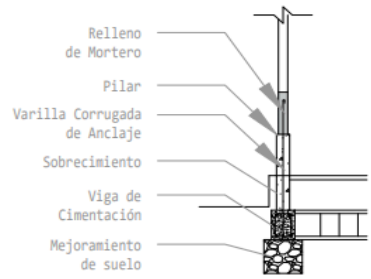
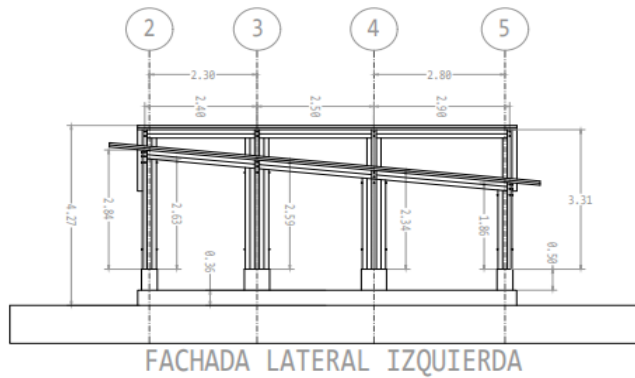
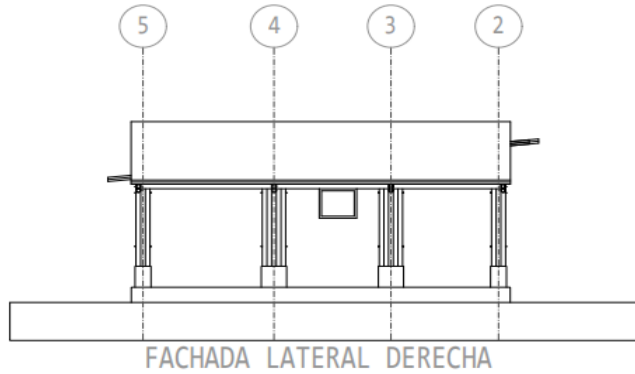
PLANTA BAJA
IMPLANTACIÓN
FACHADAS

ESC. 1:50

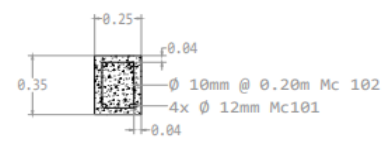
QUITO - ECUADOR

LAM No. 1 / 5

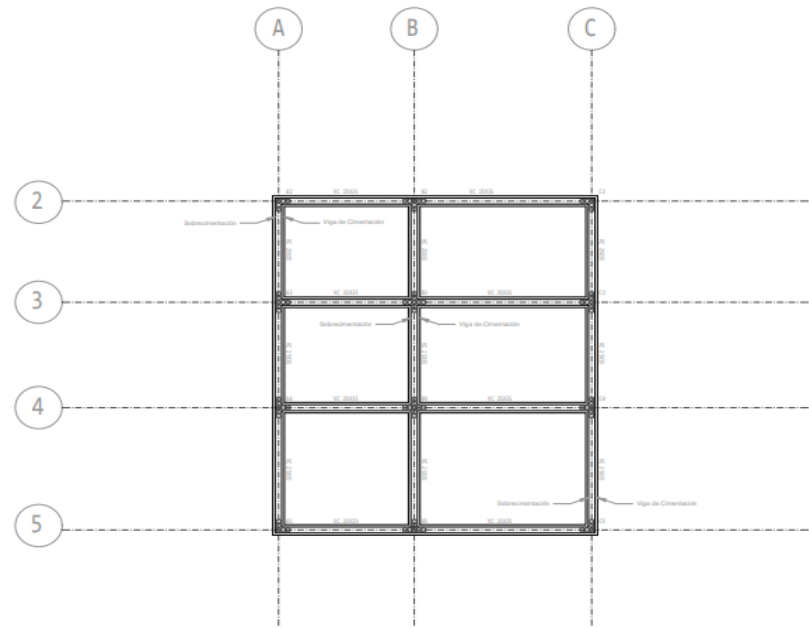
C1



DETALLE VIGA CIMENTACIÓN Y SOBRECIMIENTO - ESC. 1:25



SECCIÓN VIGA CIMENTACIÓN ESC. 1:25

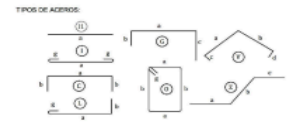


VIGA DE CIMENTACIÓN Y SOBRECIMIENTO N. - 0.35m

PLANILLA DE ACERO PARA VIGA DE CIMENTACIÓN								
Marca	Tipo	No.	a (m)	b (m)	g (m)	Long. Des. (m)	Long. Total. (m)	Peso Total (kg)
Mc101	I1	4	51.35	-	-	51.35	205.4	182.4
Mc102	O	257	0.17	0.27	0.15	0.59	151.63	93.56
TOTAL								275.96

VOLUMÉN DE HORMIGÓN VIGA DE CIMENTACIÓN				
No.	b (m)	h (m)	e (m)	m3
3	0.25	8.05	0.35	2.113125
4	0.25	7.65	0.35	0.9075
4	0.25	3.55	0.35	1.2425
TOTAL				4.264

VOLUMÉN DE HORMIGÓN SOBRECIMIENTO				
No.	b (m)	h (m)	e (m)	m3
3	0.14	7.94	0.36	1.200528
4	0.14	2.759	0.36	0.5562144
4	0.14	3.6558	0.36	0.73700528
TOTAL				2.494



PROYECTO:
CASA BAMBÚ

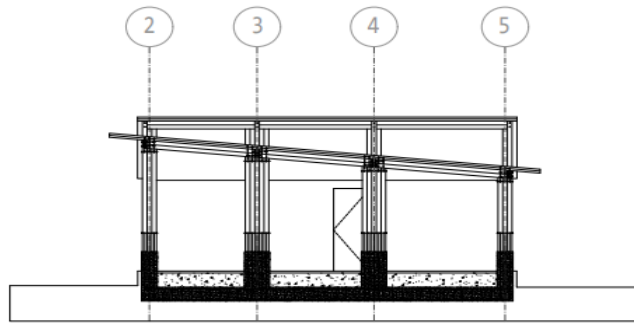
PLANTA BAJA
CIMENTACIÓN
FACHADAS

ESC. 1:50

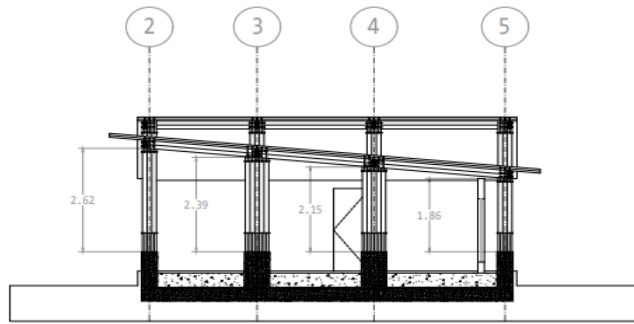
QUITO - ECUADOR

LAM No. 2 / 5

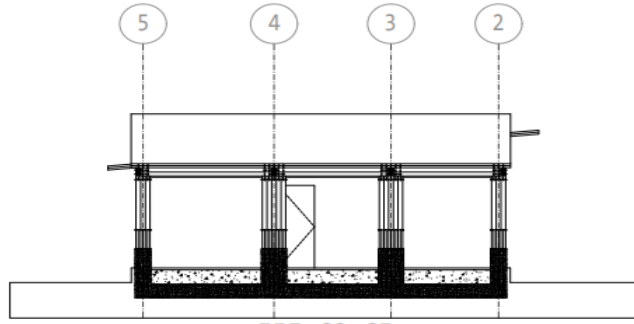
C2



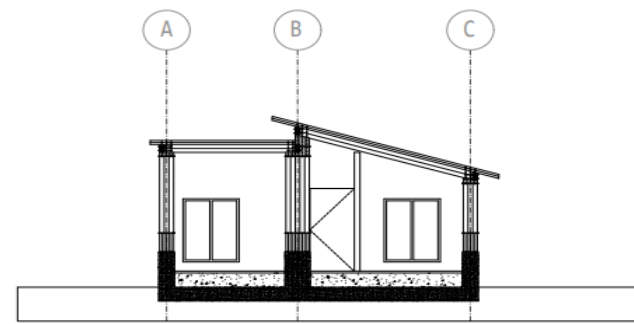
EJE A2-A5



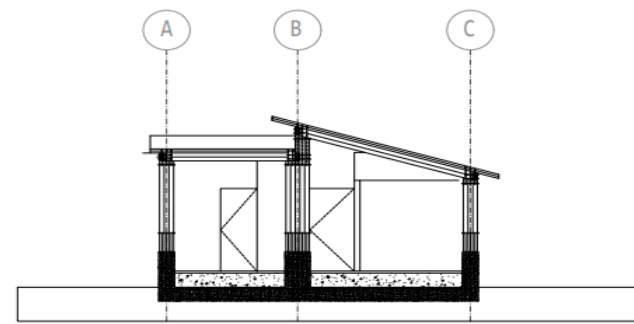
EJE B2-B5



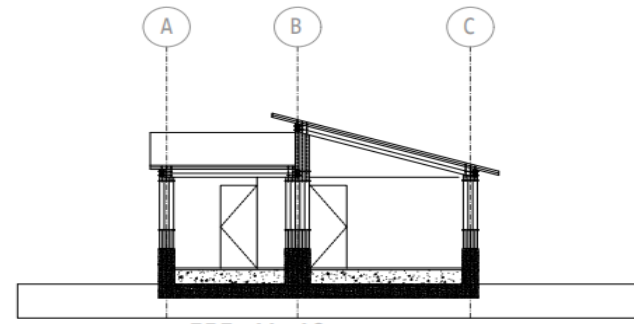
EJE C2-C5



EJE 2A-2C



EJE 3A-3C



EJE 4A-4C

PROYECTO:
CASA BAMBÚ

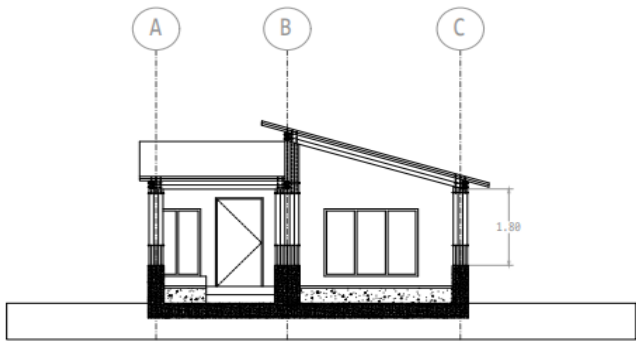
CORTES

ESC. 1:50

QUITO - ECUADOR

LAM No. 3 / 5

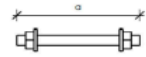
C3



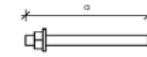
EJE 5A-5C
ESC. 1:50

TIPO DE ANCLAJES Y PERNOS:

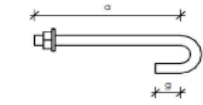
PERNO CON 2 TUERCAS



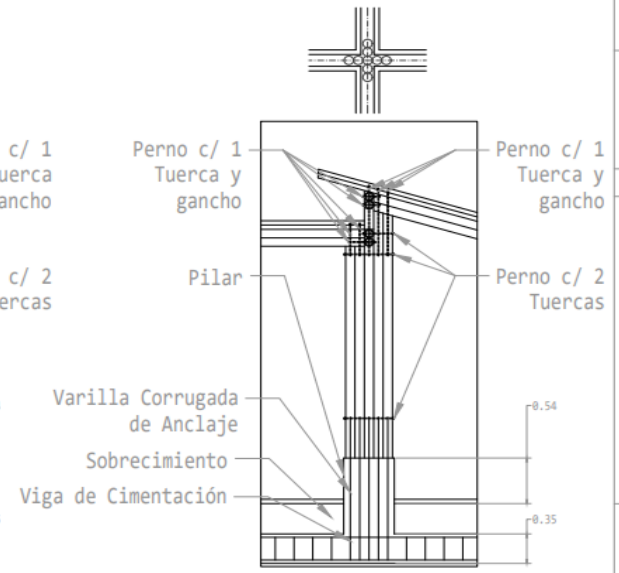
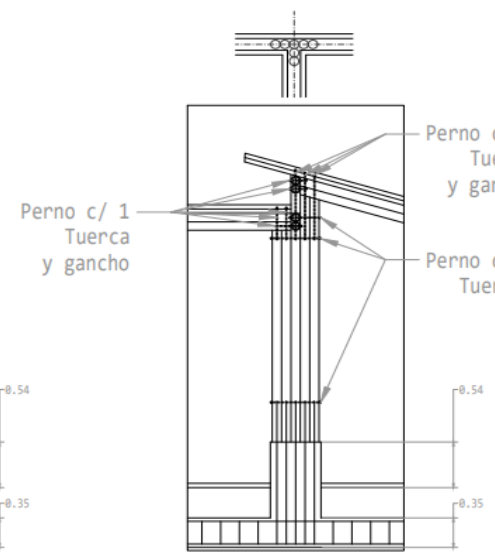
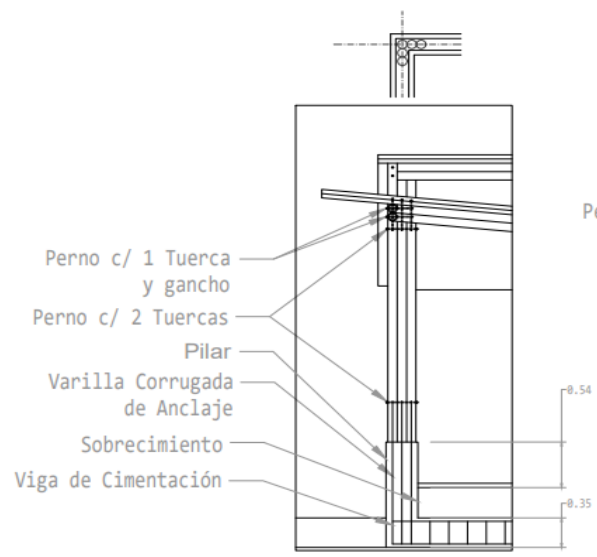
PERNO CON 1 TUERCA



PERNO CON 1 TUERCA Y GANCHO



VARILLA CORRUGADA DE ANCLAJE



PROYECTO:
CASA BAMBÚ

CORTES
DETALLES CONST
COLUMNAS

ESC. 1:25

QUITO - ECUADOR

LAM No. 4 / 5

C4

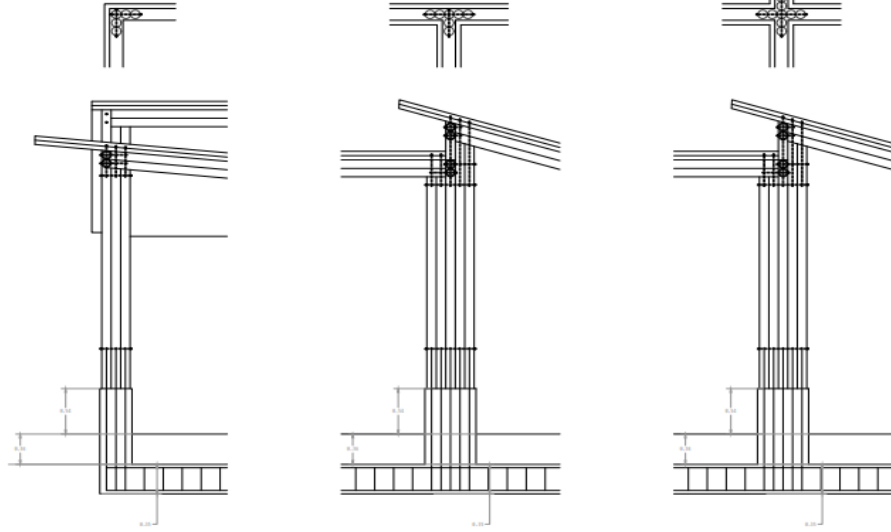
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN DADAS EN METROS, A MENOS QUE SE INDIQUE UNA UNIDAD DIFERENTE.
2. TODAS LAS ELEVACIONES ESTÁN DADAS EN METROS, RESPECTO DEL NIVEL DE REFERENCIA Nv+0.00.
3. SE USARÁ HORMIGÓN CON RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A LA COMPRESIÓN $f_{cd}=210 \text{ kg/cm}^2$ PARA COLUMNAS, CIMENTACIONES Y SOBRECIMENTOS.
4. HORMIGÓN PARA REPLANTILLO $f_{cd}=180 \text{ kg/cm}^2$.
5. ACERO DE REFUERZO CALIBRADO EN MILIMETROS Y LÍMITE DE FLUENCIA $f_{yd}=230 \text{ kg/cm}^2$.
6. RECUBRIMIENTO MÍNIMO, 5.0 cm CIMENTACIÓN.
7. LOS TRASLAPES SERÁN AL MENOS DE 40 VECES EL DIÁMETRO DE LA VARILLA, EN LAS VIGAS DE CIMENTACIÓN LOS TRASLAPES SUPERIORES SE HARÁN EN LA ZONA DEL APOYO Y LOS INFERIORES EN EL CENTRO DEL TRAMO.
8. SE ESTIMA UNA CAPACIDAD ADMISIBLE DEL SUELO q_{ad} DE 5 t/m^2 CON LA ALTURA DE MEJORAMIENTO ESPECIFICADO EN LOS PLANOS.
9. EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEBE CUMPLIR CON LAS ESPECIFICACIONES ACI PARA HORMIGÓN ESTRUCTURAL.
10. SE DEBE CONSIDERAR UN DESPERDICIO DE MATERIAL DE BAMBÚ DE 25%.
11. CONSIDERAR QUE LA LONGITUD (L) DEL PERNO PUEDE VARIAR DE 20% - 25%.
12. EL DIÁMETRO MÍNIMO DEL GAK SERÁ DE 16mm.
13. PARA ELEMENTOS COMPUESTOS POR MÁS DE UN CULMO UNIR MEDIANTE PERNOS A UNA DISTANCIA DE SEPARACIÓN L/4.
14. LOS PERNOS SE COLOCARÁN DE 30 - 40mm ANTES DEL NUDO DEL CULMO DE BAMBÚ.
15. LOS DIFERENTES TIPOS DE CORTES COMO: BOCA DE PESCADO, PICO DE FLAUTA, ETC, SE DEBERÁN REALIZAR A 40mm - 60mm RESPECTO AL NUDO DEL CULMO DE BAMBÚ.
16. LLENAR DE MORTERO RELACION 1:5 EN TODAS LAS CONDICIONES DE BAMBÚ.
17. EN LOS CÁLCULOS ESTRUCTURALES SE TOMARÁN EN CUENTA LAS SIGUIENTES

CONSIDERACIONES:

- ESPECIFICACIONES Y NORMAS DE LOS SIGUIENTES CÓDIGOS:
 - ACI-318-14
 - NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC-15
 - NEC-SE-GUADUA

DETALLE TIPOS DE COLUMNAS



COLUMNA EN L		
No.	Ubicación	Sección
4	A2, A5, C2, C5	Referirse a tabla de pilares

COLUMNA EN T		
No.	Ubicación	Sección
6	A3, A4, B2, B5, C3, C4	Referirse a tabla de pilares

COLUMNA EN X		
No.	Ubicación	Sección
2	B3, B4	Referirse a tabla de pilares

RESUMEN DE ACEROS ANCLAJE - COLUMNAS A CIMENTACIÓN						
Varilla corrugada	Ø (mm)	Peso (kg/m)	# de Varillas	g (m)	Long (m)	Peso Total (kg)
A-2	12	0.888	5	0.09	1.69	8.90
A-3	12	0.888	7	0.09	1.69	11.07
A-4	12	0.888	7	0.09	1.69	11.07
A-5	12	0.888	5	0.09	1.69	8.90
B-2	12	0.888	7	0.09	1.69	11.07
B-3	12	0.888	9	0.09	1.69	14.23
B-4	12	0.888	9	0.09	1.69	14.23
B-5	12	0.888	7	0.09	1.69	11.07
C-2	12	0.888	5	0.09	1.69	8.90
C-3	12	0.888	7	0.09	1.69	11.07
C-4	12	0.888	7	0.09	1.69	11.07
C-5	12	0.888	5	0.09	1.69	8.90
TOTAL					20.28	142.4

VOLUMEN DE HORMIGÓN EN PILARES (BASES PARA BAMBÚ)						
Pilares Horm	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)	h (m)	Sum Total (m3)
A2	0.14	0.34	0.1934	0.14	0.54	0.04017384
A3	0.14	0.54	0.2	0.14	0.54	0.059944
A4	0.14	0.54	0.2	0.14	0.54	0.059944
A5	0.14	0.34	0.1934	0.14	0.54	0.04017384
B2	0.14	0.54	0.2	0.14	0.54	0.059944
B3	0.14	0.54	0.2	0.14	0.54	0.071064
B4	0.14	0.54	0.2	0.14	0.54	0.071064
B5	0.14	0.54	0.2	0.14	0.54	0.059944
C2	0.14	0.34	0.1934	0.14	0.54	0.04017384
C3	0.14	0.54	0.2	0.14	0.54	0.059944
C4	0.14	0.54	0.2	0.14	0.54	0.059944
C5	0.14	0.34	0.1934	0.14	0.54	0.04017384
TOTAL						0.63848796

CANTIDAD DE BAMBÚ EN VIGAS				
Vigas - Eje	# de Bambúes	Long (m)	Long Tot (m)	
A-2-3	2	2.42	4.84	15.72
A-3-4	2	2.52	5.04	
A-4-5	2	2.52	5.84	
B-2-3	2	2.42	4.84	15.72
B-3-4	2	2.52	5.04	
B-4-5	2	2.52	5.84	
B'-2-3	2	2.42	4.84	15.72
B'-3-4	2	2.52	5.04	
B'-4-5	2	2.52	5.84	
C-2-3	2	2.42	4.84	15.72
C-3-4	2	2.52	5.04	
C-4-5	2	2.52	5.84	
2-AB	2	2.9	5.80	23.20
3-AB	2	2.9	5.80	
4-AB	2	2.9	5.80	
5-AB	2	2.9	5.80	
2-BC	2	3.9222	7.85	
3-BC	2	3.9222	7.85	
4-BC	2	3.9222	7.85	
5-BC	2	3.9222	7.85	

CANTIDAD DE BAMBÚ EN COLUMNAS					
Columna - Eje	# Bambúes	Long (m)	Long Tot (m)	Sum Long Total (m)	Cantidad Requerida
A-2	5	2.835	14.175	191.16	24
A-3	7	2.9872	20.9104		
A-4	7	2.9405	20.5835		
A-5	5	2.835	14.175		
B-2	4	2.835	11.34		
B-3	6	2.9872	17.9232		
B-4	6	2.9405	17.643		
B-5	4	2.835	11.34		
B'-2	3	3.305	9.915		
B'-3	3	3.305	9.915		
B'-4	3	3.305	9.915		
B'-5	3	3.305	9.915		
C-2	5	1.8038	9.019		
C-3	7	1.8038	12.6266		
C-4	7	1.8038	12.6266		
C-5	5	1.8038	9.019		

Cantidad Requerida es una aproximación no una cantidad precisa

PERNOS Y ANCLAJE CUBIERTA A BAMBÚ		
Varilla Roscada - Perno con 1 tuercas y gancho	Ø (mm)	# de Varillas Gancho
A-2	12	30
A-3	12	32
A-4	12	32
A-5	12	30
B-2	12	33
B-3	12	33
B-4	12	33
B-5	12	33
C-2	12	30
C-3	12	32
C-4	12	32
C-5	12	30
TOTAL		140
Pernos con 2 tuercas	Ø (mm)	# de Varillas Gancho
A-2	12	4
A-3	12	4
A-4	12	4
A-5	12	4
B-2	12	8
B-3	12	8
B-4	12	8
B-5	12	8
C-2	12	4
C-3	12	4
C-4	12	4
C-5	12	4
TOTAL		64

PROYECTO:
CASA BAMBÚ

DETALLES CONST.
TABLAS

ESC. 1:25

QUITO - ECUADOR

LAM No. 5 / 5

C5

Capítulo 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Principio del formulario

Conclusiones:

Ambos sistemas constructivos evaluados, el convencional y el mixto, fueron diseñados cumpliendo con los requisitos establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción para garantizar una filosofía de diseño sismorresistente. La modelación se llevó a cabo utilizando un software estructural que consideró las características específicas de cada propuesta.

En términos de desplazamientos y derivas generados por fuerzas sísmicas, se observó que el sistema constructivo mixto es más flexible y liviano, lo que resulta en derivas considerablemente mayores. Para contrarrestar esto, se implementaron diagonales en ambas plantas. En el sistema convencional, la rigidez inherente del hormigón armado redujo la magnitud de desplazamientos y derivas inelásticas, eliminando la necesidad de arriostramiento adicional.

Los métodos de diseño aplicados variaron entre los dos sistemas. El sistema constructivo mixto requirió la definición de "esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad modificados" considerando varios parámetros. En cambio, el sistema convencional siguió el método de rotura del hormigón, que simplifica el análisis al establecer límites de falla.

La normativa sismorresistente exigida para el sistema constructivo mixto involucró controles estáticos y dinámicos, mientras que el sistema convencional solo requirió un control dinámico según la normativa aplicable.

Ambos sistemas constructivos se adhirieron a la sugerencia de cimentación de plinto aislado, siendo el dimensionamiento idéntico para viviendas de pequeñas dimensiones, ya que no imponen una carga significativa al suelo.

La evaluación de impacto ambiental reveló que el sistema constructivo mixto, utilizando caña guadúa, genera un menor impacto ambiental en comparación con el sistema convencional de hormigón armado. La caña guadúa, al ser un recurso renovable y sostenible, contribuye a reducir la huella ecológica en la construcción, aspecto fundamental dada la contaminación asociada a la industria de la construcción.

En términos económicos durante la ejecución de la obra, el sistema constructivo mixto resultó ser un 34% más económico que el sistema convencional, en obra gris, que se atribuye principalmente al menor costo de los materiales utilizados en el sistema mixto, especialmente en lo referente a la construcción de estructuras de hormigón, encofrados y mampostería.

Los cronogramas valorados indicaron que el sistema constructivo mixto tiene una ventaja temporal, completando la obra en doce semanas, en comparación con las catorce semanas requeridas por el sistema constructivo convencional. La diferencia radica en los tiempos de fraguado y endurecimiento del hormigón, así como en la colocación y retirada de encofrados.

En relación con los acabados, ambos sistemas intentaron minimizar los gastos utilizando materiales económicos, adaptados a las necesidades básicas de viviendas de interés social. Se destacó que las elecciones de materiales para acabados se ajustaron a las demandas específicas de cada sistema estructural.

En el análisis económico, se resaltó que el sistema constructivo mixto tiene una mayor incidencia porcentual en la mano de obra debido a la laboriosidad de trabajar con caña guadúa. A pesar de ser más costoso en términos de mano de obra, este

sistema presenta ventajas económicas en otros aspectos, como materiales de construcción y tiempos de ejecución de obra.

Se hizo hincapié en la importancia del mantenimiento preventivo para ambos sistemas constructivos, siendo crucial para el sistema mixto, especialmente para la caña guadúa. La realización periódica de estos mantenimientos por personal capacitado contribuirá a prolongar la vida útil de la estructura y abordar problemas potenciales antes de que se conviertan en intervenciones complejas y costosas.

Aunque no se incluyeron costos indirectos en este análisis comparativo, se sugirió que estos serían menores para el sistema constructivo mixto, considerando su menor tiempo de ejecución en comparación con el sistema convencional.

Recomendaciones:

Se sugiere utilizar un software más sofisticado para la modelación en el sistema constructivo mixto, ya que el software estructural empleado actualmente solo permite uniones de nodo a nodo, lo cual distorsiona el diseño real. Esto ha llevado a un incremento de aproximadamente el 10% en la altura total de la estructura con materiales mixtos en comparación con la estructura de materiales convencionales. Por lo tanto, es importante tener en cuenta esta diferencia de altura al comparar los niveles entre ambos sistemas.

El software empleado también presenta deficiencias al analizar las secciones transversales conformadas por distintos materiales, especialmente en canutos rellenos con mortero. Por esta razón, se recomienda realizar el análisis de secciones considerando únicamente el material GaK sin adición de mortero. Es importante tener en cuenta que este análisis representa un escenario crítico, ya que la adición de mortero ayuda a disminuir los efectos de aplastamiento o compresión perpendicular a la fibra.

Recomendaciones para la cimentación:

Es importante tener en cuenta que la carga axial resultante del sistema constructivo convencional es mayor que la del sistema constructivo mixto. Por lo tanto, se debe realizar un análisis y diseño independiente para cada sistema constructivo con el fin de obtener un dimensionamiento adecuado para la estructura.

Recomendaciones generales:

Es fundamental seguir un proceso constructivo adecuado que incluya una selección adecuada de materiales antes de su colocación. En el caso de las cañas de guadúa, es necesario realizar un tratamiento de inmunización previo (curado y secado)

para garantizar la integridad de la estructura y prolongar su vida útil. Además, en la formación de la estructura de hormigón armado, es crucial controlar la calidad de los agregados y la relación agua/cemento para que la resistencia del hormigón coincida con el diseño estructural. También se debe controlar la calidad del acero de refuerzo, que es un componente fundamental en el hormigón armado.

Para estimar los costos futuros, es necesario realizar ajustes en los precios unitarios según las fluctuaciones en los costos directos.

Bibliografía

- Bello, J., & Villacres, C. (2021). Ventajas y desventajas del sistema constructivo con bambú frente al sistema de hormigón armado en viviendas de interés social. *Polo de conocimiento*, 6(9), 1987-2011. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i9.3152>
- Bonilla, D., & Merino, J. (2017). *Estudio de las propiedades físicas de la caña guadúa y su aplicación en la construcción*. Escuela Politécnica Nacional. <https://doi.org/https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17267>
- Brand, R., Ruiz, D., & Lozano, N. (2015). *Caracterización física y mecánica de la guadúa rolliza de la especie Angustifolia Kunt mediante procesamiento digital de imágenes*. <https://doi.org/https://acortar.link/v8T8x>
- Carles, R. (2014). *El hormigón: breve reseña histórica de un material milenario*. Omnia Publisher. <https://doi.org/10.3926/oms.199>
- CEPAL. (2022). *Efectos socioeconómicos de la construcción en la reactivación económica post covid 19*. CEPAL. https://doi.org/https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/48361/1/S2200694_es.pdf
- CEPAL. (2022). *Que es la huella de carbono*. <https://biblioguias.cepal.org/huellacarbono>
- Córdova, M. (2014). *Estudio comparativo del sistema constructivo en hormigón y acero, en un edificio*. Univesidad de Cuenca. <https://doi.org/http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/19837>

- Coronel, H. (2016). *La construcción con hormigón armado*. Facultad de ingeniera UDLA.
<https://doi.org/https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/5944/1/UDLA-EC-TTCD-2016-07.pdf>
- Gonzalo, J. (2017). *La construcción a través de 3D*. Universidad Politecnica de Madrid.
https://doi.org/https://oa.upm.es/47066/1/TFG_Martin_Gonzalo_Jennifer.pdf
- Guerra, B. (2021). *Análisis del ciclo de vida de una vivienda unifamiliar de bambú*. Pontificia Universidad del Perú.
https://doi.org/https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/21170/GUERRA_JESUS_BETSY_ANALISIS_CICLO_VIDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- López, N., Aguilar, P., Vielma, J., Romero, C., & Montesinos, V. (2021). Sustitución del hormigón armado por bambú en viviendas sociales en Ecuador, usando conexiones resistentes a momento. *Gaceta Técnica*, 22(1), 32-51.
<https://doi.org/https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23895.39845>
- Medina, E. (2008). *Construcción de estructuras de hormigón armado edificación*.
<https://doi.org/https://acortar.link/QfRbj>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). *Estructura de Guadúa*. Norma Ecuatoriana de Construcción:
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/NEC-S-E-GUADUA-VERSION-FINAL-WEB-MAR-2017.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2016). *Estructuras de guadua Gak*. Miduvi.
<https://doi.org/www.miduvi.gob.ec>
- Morán, J. (2015). *Manual de Construcción. Construir en bambú*. Manual de construcción.
https://doi.org/http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Manual- Construcción-Bambu.pdf

Murcia, J., Aguado, A., & Marí, A. (1993). *Hormigón armado y pretensado*.

<https://doi.org/https://acortar.link/Aea9s>

Ordoñez, V. (1999). *Perspectivas del bambú para la construcción en México*.

<https://doi.org/https://www.redalyc.org/pdf/617/61750102.pdf>

Poveda, W. (2011). *Comparación del bambú con el acero como material de refuerzo a flexión en concreto*. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA.

https://doi.org/https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6165/Comparaci%C3%B3n_bamb%C3%BA_acero_material_%20refuerzo_flexi%C3%B3n_concreto.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Romo Proaño, M. (2008). *Temas de Hormigón Armado*. ESPE.

<https://doi.org/https://www.udocz.com/apuntes/1735/dise-o-en-hormigon-armado-marcelo-romo-proa-ol>

SISMO. (2021). *Construcción versátil eficiente*.

<https://www.sismospain.com/ventajas/construccion-versatil-eficiente/>

Vilela, D., Ontaneda, M., & Cueva, O. (2020). El bambú y su importancia como un material estructural para la construcción. *Bosques Latitud Cero*, 10(1), 57-68.

<https://doi.org/https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/719>

