**UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ**

FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

**CARRERA:** INGENIERÍA CIVIL

**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERO CIVIL**

**MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:**

# "DISEÑO TÉCNICO DE SISTEMA DE ENCOFRADO TRADICIONAL CON CAÑA GUADÚA PARA VACIADO DE LOSAS Y ANDAMIOS EXTERIORES EN EL CANTÓN MANTA"


**ELABORADO POR:**

Guillen Loor Jesús Ariel

**TUTOR (A):**

Ing. Alexi Óscar Morán Guzmán


MANTA – MANABÍ – ECUADOR

Agosto 2025

# CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante Guillén Loor Jesus Ariel, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Civil, período académico 2025-2026, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto "DISEÑO TÉCNICO DE SISTEMA DE ENCOFRADO TRADICIONAL CON CAÑA DE GADUA PARA VACIADO DE LOSAS Y ANDAMIOS EXTERIORES EN EL CANTÓN MANTA".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los *requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en* concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

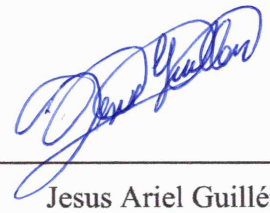
Manta, 05 de agosto de 2025

Lo certifico,

Ing. Alexi Óscar Morán Guzmán
**Docente Tutor**
**Área: Estructuras**

# DECLARACIÓN DE AUTORÍA

El egresado de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Laica Eloy Alfaro; Jesus Ariel Guillén Loor, declara de manera libre y voluntario que el contenido de este proyecto de investigación denominado "DISEÑO TÉCNICO DE SISTEMA DE ENCOFRADO TRADICIONAL CON CAÑA DE GADUA PARA VACIADO DE LOSAS Y ANDAMIOS EXTERIORES EN EL CANTÓN MANTA" es responsabilidad propia; y reconocen el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.



Jesus Ariel Guillén Loor
Estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil
CI: 175083475-4

# CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

En calidad de tribunales de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, certifico:

Haber revisado el trabajo de titulación, bajo la modalidad de Proyecto de Investigación, cuyo tema es **"DISEÑO TÉCNICO DE SISTEMA DE ENCOFRADO TRADICIONAL CON CAÑA GUADÚA PARA VACIADO DE LOSAS Y ANDAMIOS EXTERIORES EN EL CANTÓN MANTA"** internos de la modalidad en mención y en apego al cumplimiento de los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico, por tal motivo APRUEBO, que el mencionado proyecto reúne los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para proceder a la defensa correspondiente.

Certifico lo anterior para los fines pertinentes, a salvo disposición de Ley en contrario. En la ciudad de Manta, a los 09 días del mes de septiembre de dos mil veinte y cinco.

**Ing. Alex Geovanny Junqui Cedeño**
C.C. 130885336-3
Tribunal 1

**Ing. Verónica Ávila Ayón**
C.C. 095941648+8
Tribunal 2

**Ing. Yuri Mauricio Rodríguez Andrade**
C.C. 130430030+2
Tribunal 3

# DEDICATORIA

Se lo dedico a Dios que sin su sabiduría, guía y fortaleza no sería nada posible, además, me ha permitido culminar con una nueva etapa en mi vida después de varios años de dura labor como estudiante universitario.

A mis padres, por todo el apoyo que me han brindado durante toda mi vida, porque, sin su amor incondicional, su ejemplo de esfuerzo y perseverancia no podría llegar a cumplir mis sueños y metas, muchas gracias por enseñarme el valor del trabajo honesto y creer en mi cuando incluso yo dudaba.

A mi hermano, por la compañía, paciencia y por ser un ejemplo para seguir durante toda mi vida.

# AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi mayor agradecimiento a Dios, por darme salud, vida y fuerza necesarias para superar cada desafío de mi vida ayudándome con la sabiduría en cada momento vivido.

A mis padres Maryuri Loor y Hermojenes Guillén por su apoyo incondicional y confianza en mí. Muchas gracias por ser los pilares y aportarme con las herramientas necesarias para poder crecer como persona y profesionalmente. A mi hermano Jorge Guillén por la compañía y apoyo en cada proceso de mi vida. Tu presencia siempre va a ser importante para mí.

A mi familia de parte de madre como de padre por el amor y animo en cada momento. Cada uno de ustedes han aportado un granito de arena en mi vida que me ayudaron a crecer como persona.

A todos mis profesores, desde la escuela hasta la universidad que han dejado una huella en mi formación académica y personal. Gracias por los conocimientos compartidos y como inspirarme en buscar la excelencia en cada reto que se presente en mi vida. A mi tutor, Ing. Alexi Moran por su dedicación, paciencia y orientación a lo largo de este proceso. El apoyo y los consejos fueron importantes para el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros, por la amistad, colaboración y el ambiente de aprendizaje y crecimiento mutuo. Cada uno de ustedes han sido importante a lo largo de mi camino. Finalmente, agradezco a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, por brindarme la oportunidad de formarme como profesional.

# RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo elaborar una propuesta técnica de sistema de encofrado tradicional utilizando caña de guadúa para el vaciado de losas y el uso de andamios exteriores en el cantón de Manta. Por ello, se analizó el contexto local, identificando prácticas comunes, limitaciones técnicas y oportunidades de mejora frente al uso informal de sistemas temporales. La metodología aplicada fue de tipo descriptiva y experimental, incorporando el diseño estructural mediante el método de cargas mayoradas y factores de resistencia (LRFD), utilizando la normativa ACI 347R-14 y UNE-EN 12811-1 utilizando el software etabs para evaluar la estabilidad, resistencia y deformaciones admisibles de los elementos.

Los resultados mostraron que el sistema de encofrado de losas soporta cargas de servicio de aproximadamente 986.23 kg/m$^2$ con derivas menores al 2%, mientras que los andamios exteriores resisten cargas de 392.16 kg/m$^2$, cumpliendo con los parámetros normativos. Ambos modelos demostraron un comportamiento estructural eficiente, validando el empleo de la caña de guadúa como una alternativa viable en sistemas temporales.

Se concluye que la caña de guadúa puede ser utilizada de manera segura en encofrados y andamios, siempre que su diseño estructural contemple criterios técnicos y un adecuado control de conexiones y geometría, constituyendo una solución práctica y sostenible para el contexto constructivo local.

# ABSTRACT

The objective of the research was to develop a technical proposal for a traditional formwork system using bamboo cane for the casting of slabs and the use of exterior scaffolding in the canton of Manta. Therefore, the local context was analyzed, identifying common practices, technical limitations, and opportunities for improvement in the face of the informal use of temporary systems. The methodology applied was descriptive and experimental, incorporating the structural design using the method of major loads and resistance factors (LRFD), using the ACI 347R-14 and UNE-EN 12811-1 standards using the etabs software to evaluate the stability, resistance and admissible deformations of the elements.

The results showed that the slab formwork system supports service loads of approximately 986.23 kg/m2 with drifts of less than 2%, while the exterior scaffolding resists loads of 392.16 kg/m2, complying with the regulatory parameters. Both models demonstrated efficient structural behavior, validating the use of guadua cane as a viable alternative in temporary systems.

It is concluded that bamboo cane can be used safely in formwork and scaffolding, provided that its structural design contemplates technical criteria and adequate control of connections and geometry, constituting a practical and sustainable solution for the local construction context.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

**CERTIFICACIÓN** ..... **I**

**DECLARACIÓN DE AUTORÍA** ..... **II**

**DEDICATORIA** ..... **IV**

**AGRADECIMIENTOS** ..... **V**

**RESUMEN** ..... **VI**

**ABSTRACT** ..... **VII**

**INTRODUCCIÓN** ..... **1**

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA** ..... **2**

**JUSTIFICACIÓN** ..... **3**

**OBJETIVO GENERAL** ..... **4**

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS** ..... **4**

**HIPÓTESIS** ..... **4**

**CAPITULO 1. ESTADO DEL ARTE** ..... **5**

1.1. Antecedentes de la investigación ..... 6

1.1.1. Accidentes causados por la construcción ..... 6

1.1.2. Utilización de la caña de guadúa para el diseño de encofrados y andamios 8

1.2. Encofrados y andamios ..... 10

1.2.1. Encofrados ..... 10

1.2.2. Andamios ..... 17

1.2.3. Importancia en la construcción de losas y andamios exteriores ..... 22

1.3. Aplicaciones de andamios y encofrados tradicionales con caña de guadua ... 27

1.3.1. Utilización de estos sistemas en el mundo ..... 27

1.3.2. Utilización de estos sistemas en el Ecuador ..... 30

1.4. Selección de materiales en sistemas tradicionales con caña de guadua ..... 36

1.4.1. Madera estructural tangaré ..... 37

1.4.2. Caña de guadua ..... 39

1.5. Normativas y estándares aplicables ..... 42
**CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS ..... 44**
2.1. Metodología de la investigación ..... 45
2.2. Caracterización de los elementos constructivos ..... 45
2.2.1. Materiales principales ..... 45
2.2.2. Componentes del sistema propuesto ..... 49
2.3. Método de diseño estructural ..... 57
2.3.1. Método de cargas mayoradas y factores de resistencia (LRFD) ..... 57
2.3.2. Validación del diseño estructural ..... 60
2.4. Diseño del encofrado de losas ..... 61
2.4.1. Descripción del sistema ..... 61
2.4.2. Cargas consideradas ..... 62
2.4.3. Diseño del sistema ..... 71
2.5. Diseño del sistema de andamios exteriores ..... 73
2.5.1. Cargas consideradas ..... 73
2.5.2. Diseño del sistema ..... 76
2.6. Análisis de estabilidad ..... 78
2.6.1. Modos de vibración ..... 78
2.6.2. Masa participativa ..... 78
2.6.3. Derivas ..... 79
2.6.4. Deflexión en vigas ..... 79
2.6.5. Cortante en vigas ..... 79
2.6.6. Flexión de vigas ..... 80
2.6.7. Torsión en vigas ..... 80
2.6.8. Chequeo a compresión riostra ..... 80
2.6.9. Chequeo a tracción riostra ..... 81
2.6.10. Pandeo en puntales ..... 81

2.6.11. Esfuerzo de compresión de los puntales ..... 82
2.6.12. Tracción axial para puntales ..... 82
2.6.13. Esfuerzo cortante en puntales ..... 82
2.6.14. Comprobación de deformaciones y resistencia a cargas puntuales ..... 83
**CAPÍTULO III: RESULTADOS ..... 84**
3.1. Diseño estructural del sistema de encofrado ..... 85
3.1.1. Modelación del sistema de encofrado en Etabs ..... 85
3.1.2. Análisis de estabilidad estructural ..... 87
3.2. Diseño estructural del sistema de andamios ..... 98
3.2.1. Modelación del sistema de andamios en Etabs ..... 98
3.2.2. Análisis de estabilidad estructural ..... 101
**CONCLUSIONES ..... 112**
**RECOMENDACIONES ..... 114**
**BIBLIOGRAFÍA ..... 115**
**ANEXOS ..... 121**

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Andamio de caña guadúa ..... 8
**Figura 2.** Andamios de bambú de un edificio residencial del distrito Kowloon de Hong Kong el 2 de marzo de 2023 ..... 9
**Figura 3.** Encofrado de caña guadúa ..... 9
**Figura 4.** Encofrado metálico ..... 11
**Figura 5.** Encofrado tradicional (madera) ..... 11
**Figura 6.** Encofrado fibra de vidrio ..... 11
**Figura 7.** Encofrado de plástico o PVC ..... 11
**Figura 8.** Encofrado para losas ..... 12
**Figura 9.** Encofrado para columnas ..... 12
**Figura 10.** Encofrado para vigas ..... 12
**Figura 11.** Encofrado para escaleras ..... 12
**Figura 12.** Encofrado para cimientos ..... 12
**Figura 13.** Encofrado para muros de contención ..... 12
**Figura 14.** Componentes típicos de encofrados de losas ..... 15
**Figura 15.** Encofrado típico de losa ..... 16
**Figura 16.** Andamio metálico ..... 18
**Figura 17.** Andamio de madera ..... 18
**Figura 18.** Andamio de cruceta ..... 18
**Figura 19.** Andamio europeo ..... 18
**Figura 20.** Andamio multidireccional ..... 19
**Figura 21.** Andamio de fachada ..... 19
**Figura 22.** Andamio móvil ..... 19
**Figura 23.** Andamio colgante ..... 20
**Figura 24.** Andamio colgante ..... 20
**Figura 25.** Losa nervada ..... 24
**Figura 26.** Andamios tradicionales ..... 25
**Figura 27.** Bambú en Asia ..... 28
**Figura 28.** Andamios asiáticos ..... 28
**Figura 29.** Casa de caña de guadua en Colombia ..... 29
**Figura 30.** Encofrado tradicional en lado izquierdo Costa del Este y derecho Av. 13 .. 30

**Figura 31.** Encofrado y tradicional en Costa Azul ..... 31
**Figura 32.** Encofrado tradicional en Chone..... 31
**Figura 33.** Andamio con caña de guadua en edificación en construcción-Manta ..... 33
**Figura 34.** Andamio con caña de guadua iglesia San Cayetano Chone ..... 34
**Figura 35.** Valores de elasticidad de especies CH=12% ..... 46
**Figura 36**. Valores de coeficiente del radio de Poisson de especies CH=12% ..... 47
**Figura 37**. Sistema unidireccional 1 (Costa Azul) ..... 49
**Figura 38**. Sistema unidireccional 2 (Manta Centro) ..... 49
**Figura 39.** Sistema unidireccional 3 (Chone)..... 50
**Figura 40**. Perfil de puntales (caña de guadua) ..... 50
**Figura 41.** Perfil vigas (tangaré)..... 51
**Figura 42.** Superficie de contacto..... 52
**Figura 43.** Conectores convencionales (amarres)..... 52
**Figura 44.** Base de apoyo metálica para puntales..... 53
**Figura 45.** Conexión de la base caña de guadua..... 54
**Figura 46.** Conector metálico caña-viga para encofrados ..... 54
**Figura 47.** Conexión caña-viga para encofrados ..... 55
**Figura 48.** Conector metálico caña- caña / viga para andamios y encofrados ..... 55
**Figura 49.** Conector metálico caña- caña / viga para andamios y encofrados ..... 56
**Figura 50.** Perfil de arriostramiento ..... 57
**Figura 51**. Losa nervada de 25 centímetros..... 62
**Figura 52.** Categoría sísmica y valor Z ..... 66
**Figura 53.** Espectro elástico horizontal ..... 69
**Figura 54.** Espectro de diseño encofrado ..... 69
**Figura 55.** Diseño en planta del encofrado..... 71
**Figura 56.** Perfiles de los ejes del encofrado..... 72
**Figura 57.** Diseño 3D del encofrado ..... 73
**Figura 58.** Diseño en planta del andamio ..... 76
**Figura 59.** Perfiles eje A (andamio) ..... 76
**Figura 60.** Perfiles eje B (andamio)..... 77
**Figura 61.** Perfiles eje 1-4 (andamio)..... 77
**Figura 62.** Diseño 3D del andamio..... 78
**Figura 63.** Coeficientes de longitud efectiva..... 82
**Figura 64.** Modelación en Etabs 3D encofrado..... 85

**Figura 65.** Diseño en planta encofrado en Etabs ..... 85
**Figura 66**. Perfil 1-5 del encofrado Etabs..... 86
**Figura 67.** Perfil Eje 2-4 en Etabs ..... 86
**Figura 68.** Perfil eje A y E en Etabs ..... 86
**Figura 69.** Perfil eje B-E en Etabs ..... 87
**Figura 70.** Periodo fundamental encofrado (0.1192 seg) ..... 87
**Figura 71**. Periodo modo 2 encofrado (0. 1191 seg) ..... 88
**Figura 72.** Periodo modo 3 encofrado (0.0704 seg) ..... 88
**Figura 73.** Momento y cortante máximo de la viga crítica del sistema de encofrado ... 91
**Figura 74.** Fuerza axial y torción máximo de la viga crítica del sistema de encofrado 91
**Figura 75**.Fuerza axial y torsión máximo de la diagonal crítica del sistema de encofrado ..... 94
**Figura 76.** Fuerza axial y torsión máximo del puntal crítico del sistema de encofrado 96
**Figura 77.** Modelación en Etabs 3D andamio ..... 99
**Figura 78.** Diseño en planta del andamio en Etabs ..... 99
**Figura 79.** Perfil A del andamio Etabs ..... 100
**Figura 80.** Perfil B del andamio Etabs..... 100
**Figura 81.** Perfil 1-4 del andamio Etabs..... 101
**Figura 82.** Periodo fundamental andamio (0.2463 seg) ..... 102
**Figura 83**. Periodo modo 2 andamio (0. 1878 seg) ..... 102
**Figura 84.** Periodo modo 3 andamio(0.0704 seg) ..... 103
**Figura 85.** Momento y cortante máximo de la viga crítica del sistema de andamio ... 105
**Figura 86.** Fuerza axial y torción máximo de la viga crítica del sistema de andamio. 106
**Figura 87**.Fuerza axial y torsión máximo de la diagonal crítica del sistema de andamio ..... 108
**Figura 88.** Fuerza axial y torsión máximo del puntal crítico del sistema de andamio 109
**Figura 89.** Anexo 1 ..... 121
**Figura 90.** Anexo 2 ..... 121
**Figura 91.** Anexo 3 ..... 121
**Figura 92.** Anexo 3 ..... 122
**Figura 93.** Anexo 3 ..... 122
**Figura 94.** Anexo 3 ..... 122

# ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Accidentabilidad en el sector de la construcción: Ecuador, periodo 2016-20196
**Tabla 2.** Número de accidentes en el sector de la construcción por provincia ..... 6
**Tabla 3**. Tipos de encofrado según el material ..... 11
**Tabla 4**. Tipos de encofrado según su uso ..... 12
**Tabla 5.** Tipos de andamios según el material. ..... 18
**Tabla 6.** Tipos de andamios según el tipo de conexión ..... 18
**Tabla 7.** Tipos de andamios según el uso estructural ..... 19
**Tabla 8.** Tabla comparativa: encofrado vs andamios exteriores. ..... 26
**Tabla 9.** Propiedades mecánicas del tangare ..... 37
**Tabla 10**. Esfuerzos admisibles del tangare según NEC ..... 38
**Tabla 11.** Comparación de las propiedades de la caña de guadua ..... 41
**Tabla 12.** Esfuerzos admisibles de la caña de guadua (MPa) con CH=12% ..... 42
**Tabla 13.** Módulos de elasticidad, Ei (GPa) con CH=12% ..... 42
**Tabla 14.** Normativas y estándares aplicables ..... 42
**Tabla 15.** Propiedades de la caña de guadua CH=12% ..... 45
**Tabla 16.** Propiedades del tangare ..... 47
**Tabla 17**. Fy y fu de diversos aceros estructurales ..... 48
**Tabla 18**. Propiedades del acero A36 ..... 48
**Tabla 19.** Factores de reducción de resistencias. ..... 60
**Tabla 20.** Peso propio de la losa ..... 63
**Tabla 21**. Peso viguetas (encofrado) ..... 63
**Tabla 22.**Peso de la superficie de contacto (encofrado) ..... 63
**Tabla 23.** Peso de los conectores (encofrado) ..... 63
**Tabla 24.** Peso de las riostras (encofrado) ..... 64
**Tabla 25**. Peso de los puntales (encofrado) ..... 64
**Tabla 26**. Peso muerto total (encofrado) ..... 64
**Tabla 27.** Carga viva para encofrado ..... 65
**Tabla 28.** Factor de importancia de acuerdo con el tipo de uso ..... 65
**Tabla 29**. Valor factor Z ..... 66
**Tabla 30.** Tipo de suelo y factores de sitio Fa. ..... 66
**Tabla 31.** Tipo de suelo y factores de sitio Fd ..... 67
**Tabla 32.** Tipo de suelo y factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs ..... 67

**Tabla 33.** Valores aproximados de parámetros Ct y x ..... 68
**Tabla 34**. Determinación de k ..... 68
**Tabla 35.** Factores de reducción de resistencia R ..... 69
**Tabla 36.** Cálculos de coeficiente y corte basal NEC 2015 para encofrados ..... 70
**Tabla 37.** Tabla resumen de cargas en encofrados ..... 70
**Tabla 38.** Peso conector de andamio ..... 73
**Tabla 39.** Peso muerto de los andamios ..... 74
**Tabla 40.** Cargas de servicio en las áreas de trabajo ..... 74
**Tabla 41.** Cálculos de coeficiente y corte basal NEC 2015 para andamios ..... 75
**Tabla 42.** Tabla resumen de cargas en andamios ..... 75
**Tabla 43.** Deformación permitida en encofrados ..... 83
**Tabla 44.** Masa participativa del encofrado ..... 89
**Tabla 45.** Comparación de cortantes en el sistema de encofrados ..... 89
**Tabla 46.** Derivas elásticas e inelásticas del sistema de encofrado ..... 90
**Tabla 47.** Momento y cortante máximo de la viga critica del sistema de encofrado .... 91
**Tabla 48**. Fuerza axial máxima de la diagonal crítica del sistema de encofrado ..... 94
**Tabla 49.** Cálculo de la inercia de la diagonal ..... 94
**Tabla 50.** Cálculo de la inercia de la caña de guadua ..... 95
**Tabla 51.** Fuerza axial, torsión, momento y cortante máximo del puntal crítico del sistema de encofrado ..... 96
**Tabla 52.** Participación modal del andamio ..... 103
**Tabla 53.** Calibración de cortantes en el sistema de andamio ..... 104
**Tabla 54.** Comprobación del cortante en el sistema de andamio ..... 104
**Tabla 55.** Derivas elásticas e inelásticas del sistema de andamio ..... 105
**Tabla 56.** Momento y cortante máximo de la viga critica del sistema de andamio ..... 105
**Tabla 57**. Fuerza axial máxima de la diagonal crítica del sistema de andamio ..... 108
**Tabla 58.** Fuerza axial, torsión, momento y cortante máximo del puntal crítico del sistema de andamio ..... 110

## ÍNDICE DE ECUACIONES

**(Ecuación 1)** Relación entre módulo de corte y módulo de elasticidad ..... 48
(**Ecuación 2**) Criterio de equilibrio entre resistencia y solicitaciones ..... 58
(**Ecuación 3**) Combinación 1 ..... 59
(**Ecuación 4**) Combinación 2 ..... 59
(**Ecuación 5**) Combinación 3 ..... 59
(**Ecuación 6**) Combinación 4 ..... 59
(**Ecuación 7**) Combinación 5 ..... 59
(**Ecuación 8**) Combinación 6 ..... 60
(**Ecuación 9**) Combinación 7 ..... 60
(**Ecuación 10**) Condición de diseño basado en resistencia y cargas factorizadas..... 60
(**Ecuación 11**) Fórmula del peso en función de la densidad y el volumen ..... 62
(**Ecuación 12**) Período fundamental de vibración estructural..... 68
(**Ecuación 13**) Período fundamental metodo 2 ..... 68
(**Ecuación 14)** Período límite inferior..... 68
(**Ecuación 15**) Período límite superior..... 68
(**Ecuación 16**) Aceleración sísmica básica ..... 69
(**Ecuación 17**) Cortante basal..... 69
(**Ecuación 18**) Deriva estructural máximo en diseño sísmico ..... 79
(**Ecuación 19**) Flechas máximas para vigas con diferentes condiciones de apoyo..... 79
(**Ecuación 20)** Cálculo del esfuerzo cortante y tensión resultante..... 79
(**Ecuación 21**) Momentos flectores en diferentes condiciones y tensión de flexión..... 80
(**Ecuación 22**) Torsión en barras circulares ..... 80
(**Ecuación 23**) Esfuerzo crítico por pandeo en columnas ..... 80
(**Ecuación 24**) Resistencia a compresión axial de diseño y verificación..... 80
(**Ecuación 25**) Resistencia a tracción y verificación..... 81
(**Ecuación 26**) Carga crítica de pandeo para columna ..... 81
(**Ecuación 27**) Esfuerzo de compresión..... 82
(**Ecuación 28**) Esfuerzo de tracción..... 82
(**Ecuación 29)** Esfuerzo cortante en puntales ..... 82

# INTRODUCCIÓN

Dentro de las construcciones el uso de sistemas temporales como encofrados y andamios desempeñan un papel fundamental en la seguridad y eficiencia del desarrollo de la obra. Sin embargo, en la costa ecuatoriana es común encontrar prácticas constructivas que incorporan materiales naturales como la caña de guadua para la elaboración de sistemas temporales (encofrados-andamios). Estos sistemas, aunque económicamente accesibles y disponibles en el medio local, suelen utilizarse sin respaldos técnicos ni criterios normativos que garanticen su desempeño estructural y la seguridad del trabajador durante el vaciado de losas u otras actividades en alturas de obras.

En este contexto, en el presente proyecto se plantea el diseño del sistema de encofrado y andamio tradicional con caña de guadua, complementado con elementos como el tangaré y acero orientadas en obras civiles en el cantón de Manta. Para ello, el trabajo parte del reconocimiento del uso empírico actual de estos sistemas con la guadua y busca aportar criterios técnicos que respalden su aplicación como material estructural temporal. De la misma manera, se realiza una caracterización de los elementos, cargas de servicio conforme a norma vigentes y se valida mediante modelación estructural (Etabs).

El estudio pretende demostrar que, con una correcta disposición geométrica, selección de secciones y justificación de cargas, es posible garantizar condiciones de seguridad adecuada utilizando materiales tradicionales. De esta manera, se propone una solución adaptada a la realidad constructiva local, promoviendo el uso responsable y técnico de la caña como recurso estructural temporal en edificaciones de baja y mediana escala.

# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, en Manta el uso de la caña de guadúa en encofrados y andamios es muy común, especialmente en obras de pequeña y mediana escala. Esto se debe a su bajo costo y a la disponibilidad de esta materia prima. Sin embargo, dicha práctica se realiza de manera empírica y sin respaldo normativo, lo que puede causar riesgos significativos para los trabajadores y la obra. La ausencia de estándares técnicos que regulen el diseño, montaje y uso de encofrados de este material aumenta la posibilidad de accidentes laborales, colapsos durante el vaciado de losas o inestabilidad en el uso de andamios exteriores. Por lo tanto, es necesario desarrollar sistemas de encofrado y andamios con caña de guadúa, basado en análisis estructural con herramientas tecnológicas, criterios de seguridad y funcionalidad, a fin de contribuir a la reducción de riesgos laborales y promover el uso regulado y normativo de estos materiales.

De acuerdo con lo expuesto, se plantea la siguiente pregunta central:

¿Cómo diseñar un sistema de encofrados tradicionales que utilizan caña de guadúa que permita reducir los riesgos laborales asociados a su uso informal garantizando la seguridad estructural en las obras de construcción en Manta?

# JUSTIFICACIÓN

El uso de la caña de guadúa para sistemas de encofrados y andamios en el Ecuador es algo común. Esto puede ser por su bajo costo, tradición constructiva, disponibilidad y propiedades estructurales cuando se emplean de manera adecuada. Sin embargo, el manejo empírico y la ausencia de normas específicas que regulen su uso han generado riesgos serios para la seguridad de los trabajadores y la estabilidad de las estructuras. Estas condiciones han ocasionado caídas, colapsos y fallos en los encofrados o andamios, problemas recurrentes debido al desconocimiento técnico y la falta de protocolos de diseño.

Ante esta situación, resulta necesario desarrollar un sistema técnico de encofrado y andamios exteriores que utilice caña de guadúa, además, analizar su comportamiento estructural mediante simulaciones con software especializado. De esta manera, se podrá garantizar la seguridad durante el montaje y desmontaje, contribuir a una mayor durabilidad y funcionalidad de los encofrados y andamios reduciendo accidentes laborales y pérdidas económicas asociadas a estas estructuras.

## OBJETIVO GENERAL

Elaborar una propuesta técnica de sistema de encofrado tradicional utilizando caña de guadua para el vaciado de losas y uso de andamios exteriores, reduciendo los riesgos laborales asociados a su aplicación en el cantón de Manta.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el contexto actual de los sistemas tradicionales de encofrados y andamios que utilicen caña guadúa.
- Simular las condiciones de carga y comportamiento estructural de los sistemas temporales tradicionales con caña de guadúa utilizando software especializado.
- Evaluar el comportamiento estructural de los elementos que componen los sistemas temporales de construcción propuestos, mediante modelado estructural y aplicación de criterios normativos.

## HIPÓTESIS

Si se desarrolla y valida, un sistema de andamios y encofrado tradicionales que utilice la caña de guadúa mediante el uso de simuladores estructurales, además, se establece un sistema técnico de encofrado y andamios exteriores, será posible reducir significativamente los riesgos laborales asociados al uso informal de estos sistemas en el uso de la construcción y garantizar la seguridad en obras.

# CAPITULO 1. ESTADO DEL ARTE

## 1.1.Antecedentes de la investigación

### 1.1.1. Accidentes causados por la construcción

En el artículo de accidentabilidad laboral en el sector de la construcción: Ecuador, periodo 2016-2019 elaborado por la Universidad Central del Ecuador (Morales, Pacheco, & Viera, 2021) afirma que en el año 2018 año de crecimiento para el sector de la construcción ocurrieron 17918 accidentes, de los cuales el 3.16% estuvieron relacionadas a actividades de construcción, esta información está dada por datos brindados del seguro general de riesgos del trabajo del IES. De la misma manera, ellos presentan una tabla donde se detalla el número de accidentes de trabajos por año en el sector de la construcción en Ecuador y a partir de ellos el número de accidentes producidos en las diferentes provincias del Ecuador. Esta información se muestra en la Tabla 1.

***Tabla 1*** *Accidentabilidad en el sector de la construcción: Ecuador, periodo 2016-2019*

| **Número de accidentes de trabajo por año en el sector de la construcción en Ecuador** | | |
|---|---|---|
| **Año** | **Porcentaje a Nivel Nacional** | **Accidentes Sector Construcción** |
| 2016 | 5.54% | 1125 |
| 2017 | 4.19% | 645 |
| 2018 | 3.16% | 503 |
| 2019 | 3.11% | 467 |
| 2020 | 2.54% | 261 |

***Fuente:*** *(Morales, Pacheco, & Viera, 2021)*

***Tabla 2*** *Número de accidentes en el sector de la construcción por provincia*

| **Número de accidentes en el sector de la construcción por provincia** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Provincias** | **2016** | **2017** | **2018** | **2019** | **2020** | **Total** | **Porcentaje** |
| **Azuay** | 57 | 44 | 39 | 20 | 7 | 167 | **5.56%** |
| **Bolívar** | 10 | 0 | 1 | 1 | 0 | 12 | **0.40%** |
| **Cañar** | 20 | 31 | 3 | 3 | 0 | 57 | **1.90%** |
| **Carchi** | 5 | 2 | 0 | 1 | 1 | 9 | **0.30%** |
| **Chimborazo** | 11 | 18 | 4 | 12 | 3 | 48 | **1.60%** |
| **Cotopaxi** | 7 | 2 | 10 | 12 | 3 | 34 | **1.13%** |
| **El Oro** | 14 | 4 | 14 | 4 | 2 | 38 | **1.27%** |
| **Esmeraldas** | 39 | 38 | 17 | 43 | 52 | 189 | **6.30%** |
| **Galápagos** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | **0.00%** |
| **Guayas** | 331 | 161 | 137 | 164 | 103 | 896 | **29.86%** |
| **Imbabura** | 6 | 13 | 19 | 8 | 3 | 49 | **1.63%** |
| **Loja** | 21 | 19 | 1 | 1 | 1 | 43 | **1.43%** |
| **Los Ríos** | 17 | 9 | 4 | 0 | 0 | 30 | **1.00%** |
| **Manabí** | **31** | **34** | **24** | **16** | **13** | **118** | **3.93%** |

| Provincias | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | Total | Porcentaje |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Morona Santiago** | 9 | 8 | 8 | 4 | 0 | 29 | **0.97%** |
| **Napo** | 177 | 23 | 15 | 10 | 3 | 228 | **7.60%** |
| **Orellana** | 12 | 1 | 10 | 8 | 2 | 33 | **1.10%** |
| **Pastaza** | 2 | 0 | 2 | 4 | 1 | 9 | **0.30%** |
| **Pichincha** | 227 | 166 | 167 | 112 | 45 | 717 | **23.89%** |
| **Santa Elena** | 2 | 7 | 3 | 1 | 2 | 15 | **0.50%** |
| **Santo Domingo de los Tsáchilas** | 51 | 18 | 2 | 5 | 5 | 81 | **2.70%** |
| **Sucumbíos** | 38 | 12 | 1 | 2 | 1 | 54 | **1.80%** |
| **Tungurahua** | 11 | 13 | 10 | 14 | 3 | 51 | **1.70%** |
| **Zamora Chinchipe** | 27 | 22 | 12 | 22 | 11 | 94 | **3.13%** |
| **Total:** | 1125 | 645 | 503 | 467 | 261 | 3001 | **100.00%** |
| **Porcentaje** | **37.49%** | **21.49%** | **16.76%** | **15.56%** | **8.70%** | **100.00%** | |

***Fuente:*** *(Morales, Pacheco, & Viera, 2021)*

Como se muestra en las tablas anteriormente en la provincia de Manabí del 100% de los accidentes producidos por la construcción un 3,93% ocurrieron en esta provincia. En el cual, dentro del año 2017 existió 34 accidentes siendo el número mayor de accidentes producidos. De la misma manera, CAMICON (2020) afirma que "entre los principales peligros en actividades durante el trabajo de construcción se encuentra trabajar en alturas, realizar trabajos de excavación y mover cargas", por ello, es importante implementar acciones necesarias para eliminar o minimizar los riesgos y proporcionar medidas de protección colectiva.

Un ejemplo, de los accidentes causados en la construcción es la que paso el 21 de agosto del 2020 en donde una persona de 48 años falleció al caer de aproximadamente 12 metros en la ciudad de Cuenca. Según testigos, el obrero permanecía sobre andamios que perdió la estabilidad y se desplomó (EL MERCURIO, 2020). Este suceso, detalla la importancia del uso de equipos de protección personal, entre estos destaca la estabilidad de los andamios y estructuras temporales que deben ser inspeccionados periódicamente dentro de la obra.

Por esto, el trabajo de andamios representa uno de los mayores riesgos en el sector de la construcción, esto se debe, por factores como la exposición a las alturas que puede

producir caídas desde diferentes niveles o alturas produciendo accidentes graves en obra, causadas por diferentes circunstancias como derivas de fallas operativas, el uso inadecuado de protección personal, inestabilidad estructural o errores en el montaje o desmontaje de la estructura temporal. Además, se afirma que son estructuras importantes dentro de una obra que se debe considerar para disminuir el riesgo en campo (CCS, 2021).

### 1.1.2. Utilización de la caña de guadúa para el diseño de encofrados y andamios

En Ecuador y muchos países de Latinoamérica, es muy común visualizar el uso de andamios con caña de guadúa, utilizándolas en construcciones que se realizan a grandes alturas dentro de una obra. Además, de ser estructuras tradicionales y utilizadas a lo largo del tiempo estas son altamente inseguras, en donde, los problemas que presentan estos sistemas utilizando este tipo de material, son las uniones que tienen, las cuales pueden ser amarres de cuerdas que en cualquier momento pueden llegar a soltarse y así provocar accidentes (El Oficial, 2018).

***Figura 1.*** *Andamio de caña guadúa*

Por otro lado, André Guedes (2021) afirma que mientras en gran parte del mundo la exigencia de seguridad de andamios es muy estricta, en muchos países asiáticos el uso de andamios de bambú sigue dando forma a proyectos y estructuras impresionantes. Ya que en estos lugares es una tradición utilizar este material para estos sistemas, ya que, genera algunas ventajas como el bajo costo, peso ligero, resistencia y flexibilidad. Sin

embargo, también se menciona que tiene numerosas desventajas especialmente relacionados con la seguridad y la fiabilidad, por sus componentes especialmente en sus conectores que son generalmente correas de nailon que sujetan las ramas de bambú.

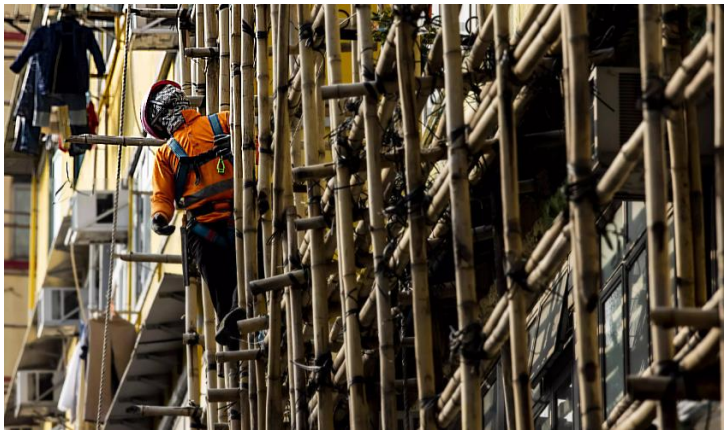


***Figura 2.*** *Andamios de bambú de un edificio residencial del distrito Kowloon de Hong Kong el 2 de marzo de 2023*
***Fuente:*** *Hong Kong (AFP)*

De la misma manera, en el Ecuador el uso del bambú o caña de guadua se emplea en gran escala para encofrados de la construcción, esto se debe a sus cualidades de resistencia y peso reducido, por ello, sería importante proponer una manera más segura en donde se pueda disminuir el riesgo al utilizar estos sistemas con este material junto a otros como la madera o acero que han demostrado ser materiales resistentes a cargas, indeformables a las presiones del hormigón y estancos para evitar pérdidas de lechadas o morteros constituyendo una solución factible (Rivas, 2018).

***Figura 3.*** *Encofrado de caña guadúa*

## 1.2.Encofrados y andamios

### 1.2.1. Encofrados

La lengua española (2025) define al encofrado como “molde formado con tableros o chapas de metal en el que se vacía el hormigón hasta que fragua, y que se desmonta después”, en otras palabras, los encofrados para hormigón son estructuras temporales que pueden ser de diversos materiales como madera, metal o plástico, que tiene como principal función es contener y dar forma al hormigón fresco hasta que este material pueda llegar a la resistencia de diseño. Por ello, su correcta instalación y alineación incide directamente en la calidad y seguridad de la construcción, además, de que ellos deben ser lo suficientemente resistente para soportar el peso del hormigón y las cargas adicionales durante el vaciado.

De otra forma el instituto del cemento Portland (2022) en su revista del manual de la vivienda de hormigón industrializado en sitio, afirma, que estos sistemas deben cumplir con algunos requisitos generales donde se destacan:

a) Capaz de resistir acciones propias del proceso constructivo, incluyendo factores ambientales, cargas estructurales auxiliares, cargas permanentes y efectos dinámicos.
b) Debe contar con una rigidez adecuada para asegurar que cumplan con las dimensiones especificadas con sus tolerancias.
c) Estanqueidad y estabilidad (geométrica y dimensional) en conformidad con la especificación del proyecto.
d) No ocasionar efectos sobre la estructura en vista a su etapa de servicio, tanto en aspectos funcionales, apariencia, durabilidad y forma.
e) Brindar una correcta seguridad a la mano de obra durante el proceso constructivo.

### *Tipos de encofrados*

Max Acero Monterrey (2023), afirma que los tipos de encofrados que existen dependen de su material y su uso como se explica a continuación:

*Según el material*

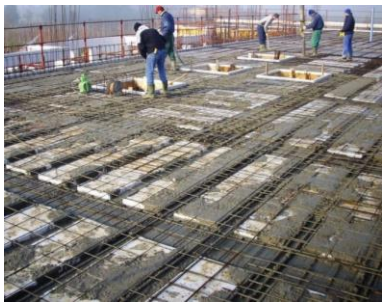
***Tabla 3**. Tipos de encofrado según el material*

| **Encofrado metálico** | **Encofrado de tradicional** |
|---|---|
| ***Figura 4.** Encofrado metálico* ***Fuente:** Maxacero* | ***Figura 5.** Encofrado tradicional (madera)* ***Fuente:** Maxacero* |
| Fabricado principalmente de acero, donde se ofrece gran durabilidad, precisión dimensional y capacidad de reutilización. | Encofrado principalmente de madera, es flexible y adaptable, aunque con menor durabilidad y más vulnerable a la humedad. |
| **Encofrado de fibra de vidrio** | **Encofrado de plástico o PVC** |
| ***Figura 6.** Encofrado fibra de vidrio* ***Fuente:** Made in China* | ***Figura 7.** Encofrado de plástico o PVC* ***Fuente:** Maxacero* |
| Ligero y resistente, permite múltiples usos, parecida al acero, pero con menor peso y sin riesgo de corrosión. | Compuesto por paneles ligeros y ajustables, su uso es limitado, pero ofrece ventajas en peso y manipulación. |

***Nota.** Elaboración propia con base en Maxacero (2023).*

*Según el uso*

***Tabla 4**. Tipos de encofrado según su uso*

| Encofrado para losas | Encofrado para columnas |
|---|---|
|  <br>***Figura 8.** Encofrado para losas*<br>***Fuente:** Archiproducts*<br>Se emplea para formar superficies horizontales. | <br>***Figura 9.** Encofrado para columnas*<br>***Fuente:** Alsina*<br>Moldes que dan forma a elementos verticales. |
| **Encofrado para vigas** | **Encofrado para escaleras** |
| <br>***Figura 10.** Encofrado para vigas*<br>***Fuente:** Universidad politécnica de Valencia*<br>Forma las vigas estructurales mediante un sistema de apoyo inferior y laterales que definan su geometría. | <br>***Figura 11.** Encofrado para escaleras*<br>***Fuente:** FromHormigon*<br>Se adaptan a configuración de peldaños, incluye moldes inclinados y refuerzos adecuados a las contrahuellas del diseño arquitectónico. |
| **Encofrado para cimientos** | **Encofrado para muros de contención** |
| <br>***Figura 12.** Encofrado para cimientos*<br>***Fuente:** 123RF*<br>Utilizado en zapatas losas de cimentación o muros de arranque, esto varía según sus dimensiones como la profundidad y el tipo de cimentación requerida. | <br>***Figura 13.** Encofrado para muros de contención*<br>***Fuente:** Maxacero*<br>Proporciona forma a muros diseñados para retener tierra o cargas laterales, requiere robustez, una sujeción y componentes que evitan deformaciones. |

***Nota.** Elaboración propia con base en Maxacero (2023).*

Para la presente investigación, se analizará los encofrados de losas con materiales tradicionales que se utilizan en nuestro medio como la caña de guadua y como poder utilizar estos materiales de una manera más técnica para minimizar los riesgos al utilizarlo dentro de las obras de construcción. Para ello, se abordará el estudio de sus propiedades, capacidades estructurales y comportamiento dentro del proceso constructivo, además, utilizar criterios técnicos con el objetivo principal en optimizar su uso desde un enfoque ingenieril y garantizar la eficiencia sin comprometer la seguridad.

***Requisitos que deben cumplir los encofrados***

Gustavo Cueva (1986) en su tesis titulado Proyecto, Diseño y Construcción de Encofrados para Estructuras de Hormigón Armado afirma que los encofrados para estructuras de hormigón deben cumplir tres requisitos indispensables los cuales son:

a) Tener capacidad para resistir el peso del hormigón y las cargas adicionales.
b) Tener rigidez para evitar excesivas deformaciones excesivas.
c) Ser económicos y Seguros.

*Capacidad para resistir el peso del hormigón y las cargas adicionales*

Los encofrados deben ser lo suficientemente fuerte para soportar el peso del hormigón fresco y cualquier otra carga adicional que actúan sobre estos como pueden ser las personas, herramientas o vibradores. Para ello, es importante como se comportan las fuerzas y presiones que se generan durante el vaciado, de la misma manera, debemos tener en cuenta las tensiones y esfuerzos que los materiales pueden resistir, por ello, tener un buen diseño se debe considerar el peor escenario de carga para evitar fallos, ya que si, el encofrado llegue a ceder puede generar accidentes o defectos en la estructura.

*Rigidez para evitar excesivas deformaciones excesivas*

Estas estructuras además de ser resistentes, los encofrados deben ser rígidos para que no se puedan deformar fácilmente durante el vaciado del hormigón, otro dato a

considerar, es que el concreto fresco ejerce la presión en poco tiempo, pero a medida que aumenta que fragua, esta llega a sostenerse por sí misma, lo cual significa, que los encofrados solo deben soportar las cargas en un lapso corto de tiempo, de otra manera, los elementos que no cuentan con una buena rigidez pueden doblarse y causar superficies irregulares o estructuras fuera de nivel.

*Economía y seguridad*

Dentro de este punto los encofrados no solo deben de cumplir con resistencia y rigidez, sino que también, ellos debe ser económicos y seguros, para ello, se debe analizar varios factores como el costo de los materiales, mano de obra para montar y desmontar, uso de equipos y la posibilidad de reutilizar los elementos, ya que, un encofrado bien pensado reduce costos sin comprometer la calidad, además, diseñar una estructura eficiente mejora la seguridad del personal en obra y logra un equilibrio entre la economía, la funcionalidad y la protección en el proceso constructivo.

***Montaje e instalación***

En las obras de construcción los encofrados que soportan los elementos de hormigón armado deben estar firmemente sostenidos por puntales colocados de forma individual u arriostrados mediante elementos horizontales o diagonales, estos pueden ser tanto listones o riostras que tienen como fin dar estabilidad a la estructura frente a las cargas y sobrecargas. Estos sistemas tienen como función soportar componentes como vigas, losas, cubiertas y tableros de puentes hasta que el hormigón adquiera la resistencia adecuada para que pueda soportar las cargas por sí mismo. Por ello, es fundamental que los puntales estén debidamente fijados en su cabeza y base para evitar desplazamientos. En algunos casos es necesario incorporar elementos transversales adicionales que reduzcan la luz libre y refuercen el conjunto. Una vez que la estructura alcanza la

resistencia proyectada los sistemas de encofrados deben ser desmontados de una manera cuidadosa (Cueva, 1986).

Un buen encofrado ayuda a anular la posibilidad de desplazamiento de los puntales durante el hormigonado, para esto, en la Figura 14 se observa en perspectiva la distribución de puntales sobre largueros o elementos longitudinales que son soportados por viguetas de un encofrado de losa, la cual, también se encuentra la superficie de contacto como se indica la Figura 15. Se debe considerar que las cargas que genera el hormigón armado se transmiten al puntal en caso de compresión y estas deben ser en función del esfuerzo admisible en dirección perpendicular a las fibras de la cara inferior de los elementos laterales.

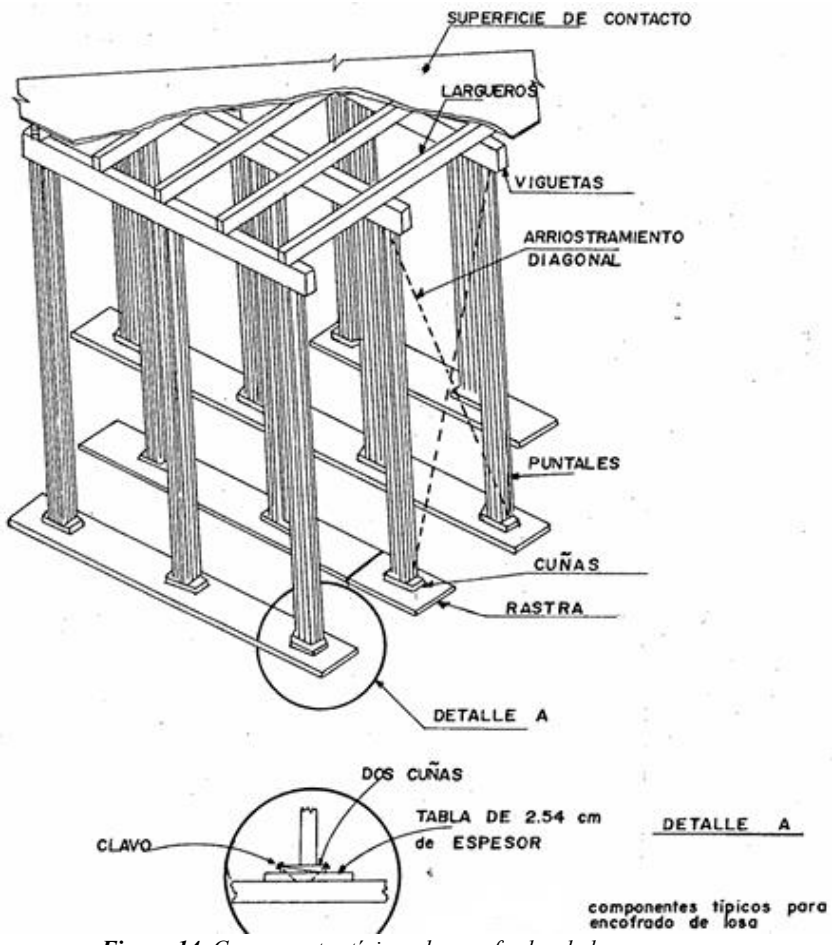



***Figura 14.*** *Componentes típicos de encofrados de losas*
***Fuente:*** *(Cueva, 1986)*

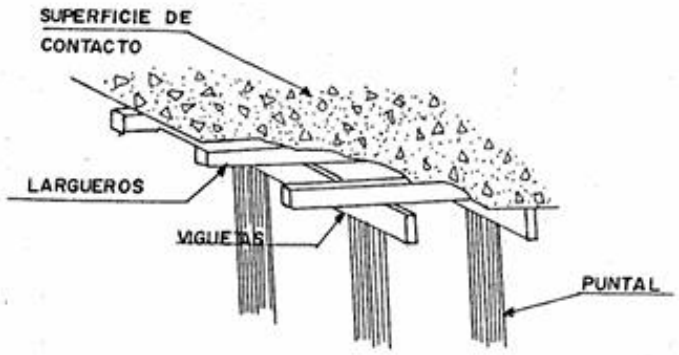



***Figura 15.*** *Encofrado típico de losa*
***Fuente:*** *(Cueva, 1986)*

A continuación, se presentan los principales elementos que conforman el sistema de encofrado y apuntalamiento utilizados para el vaciado de losas:

1. **Superficie de contacto**: Es la parte superior del encofrado que da forma a la losa y recibe directamente el concreto fresco.
2. **Largueros:** Elementos horizontales que distribuyen la carga de la superficie de contacto hacia las viguetas.
3. **Viguetas:** Soportan los largueros y transfieren las cargas hacia los puntales verticales.
4. **Puntales:** Soportes verticales que reciben el peso total del sistema y lo transmiten al suelo.
5. **Arriostramiento diagonal:** Refuerzos en diagonal que brindan estabilidad lateral y evitan el pandeo de los puntales.
6. **Cuñas:** Piezas de ajuste colocadas en la base del puntal para nivelarlo o facilitar su desmontaje.
7. **Rastra:** Base de madera que distribuye la carga del puntal y permite fijar las cuñas con clavos.

***Causas de rotura y falla de encofrados***

Dentro de las fallas de encofrado de losas de hormigón armado se pueden originar principalmente por errores en diseño estructural, instalaciones incorrectas y selección

inadecuada de materiales. Un mal diseño puede deberse a no considerar de una manera adecuada el peso del hormigón, cargas de trabajo y esfuerzos de montajes generando puntos débiles propensos al colapso durante el vaciado. Además, errores como la mala distribución de cargas, falta de rigidez lateral o uso de materiales sin resistencia comprobada incrementan la inestabilidad del sistema y conducen a deformaciones excesivas o incluso a desplomes parciales o totales de la losa (rapid-scarffoorm, s.f.).

Otros factores que pueden causar rupturas o fallos de la estructura son los ambientales como la exposición a lluvias intensas, vientos fuertes o variaciones térmicas bruscas que pueden llevar deteriorar uniones o elementos que desalinean la estructura. Del mismo modo, Cueva (1986) señala que la rotura parcial o total de un elemento soportante genera hundimientos o desestabilización de la estructura, por lo cual es esencial un buen dimensionamiento, cálculo preciso de cada componente y una adecuada supervisión durante la construcción para garantizar la rigidez y resistencia necesarias frente a las cargas previstas.

### 1.2.2. Andamios

El andamio según la lengua española (2025) es un "armazón desmontable, compuesta de tablones y tubos metálicos, que permite hacer tareas de construcción, reparación o pintura en las partes altas de un edificio", en otras palabras, son estructuras temporales generalmente de madera o metal que se utiliza para sostener a los trabajadores y materiales durante la construcción, reparación o mantenimiento de obras u otras estructuras. De la misma manera, se compone de elementos modulares como tubos, plataformas, diagonales y bases estabilizadoras, además, su diseño debe garantizar estabilidad, resistencia, facilidad de montaje y desmontaje.

Los andamios son estructuras que garantizan la seguridad, funcionabilidad y eficiencia a los trabajadores en alturas, para ello, estas deben ser diseñadas para su

estabilidad y capacidad de cargas las cuales son los trabajadores, herramientas y materiales de diferentes pesos. Además, los andamios se caracterizan por su capacidad de fácil montaje y desmontaje que optimizan tiempos y costos en la obra cumpliendo con normas de calidad y seguridad para asegurar su confiabilidad en diversas aplicaciones.

### *Tipos de andamios*

Para clasificar los tipos de andamios Hierros Molinas (2021) y Jon Aguiriano (2023) los estipula de la siguiente manera:

#### *Según el material*

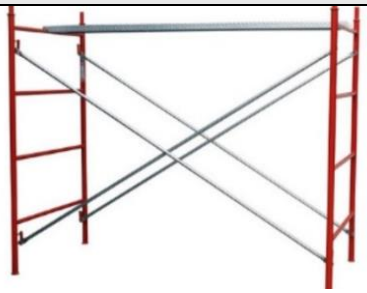
***Tabla 5.*** *Tipos de andamios según el material.*

| **Andamio metálico** | **Andamio de madera** |
|---|---|
| | |
| ***Figura 16.*** *Andamio metálico*<br>***Fuente:*** *Made in China* | ***Figura 17.*** *Andamio de madera*<br>***Fuente:*** *Free 3D* |
| Estructura fabricada principalmente de acero o aluminio, esta ofrece gran resistencia y capacidad de carga siendo ideal para trabajos en altura y obras de gran duración. | Estructura tradicional elaborad principalmente de tablones y soportes de madera, la cual es de bajo costo y fácil fabricación, pero menos segura y vulnerable. |

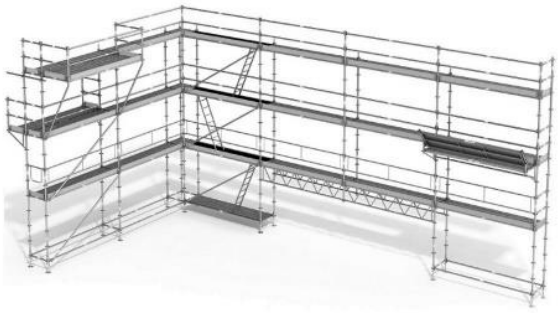
***Nota.*** *Elaboración propia con base en Hierros Molinas (2021) y Jon Aguiriano (2023)*

#### *Según el tipo de conexión*

***Tabla 6.*** *Tipos de andamios según el tipo de conexión*

| **Andamio de cruceta (tijeras)** | **Andamio europeo (modular)** |
|---|---|
|  | |
| ***Figura 18.*** *Andamio de cruceta*<br>***Fuente:*** *(Hierros Molina, 2021)* | ***Figura 19.*** *Andamio europeo*<br>***Fuente:*** *(Hierros Molina, 2021)* |

| | |
|---|---|
| Estructura formada por marcos unidos mediante crucetas metálicas en forma de “X”, económica y fácil de montar. | Sistema homologado compuesto por módulos con conexiones horizontales y diagonales, donde, se encuentran plataformas seguras, escaleras y barandillas. |

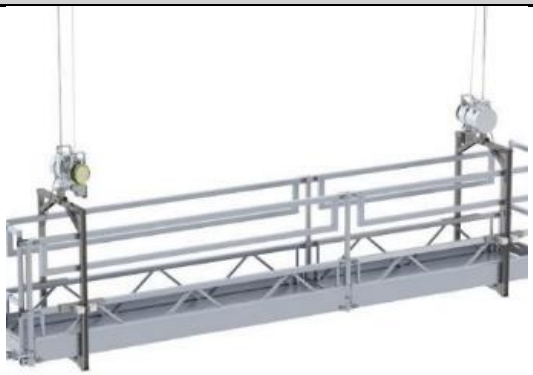
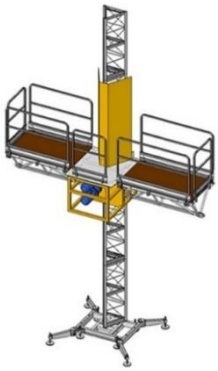
| **Andamio multidireccional** |
|---|
|  |
| ***Figura 20.*** *Andamio multidireccional*<br>***Fuente:*** *(Hierros Molina, 2021)* |
| Estructura versátil con nodos de conexión en múltiples direcciones, permitiendo configuraciones complejas, utilizada en restauraciones con geometría irregular. |

***Nota.*** *Elaboración propia con base en Hierros Molinas (2021) y Jon Aguiriano (2023)*

## *Según el uso Estructural*

***Tabla 7.*** *Tipos de andamios según el uso estructural*

| **Andamio fijo de fachada** | **Torre móvil** |
|---|---|
| | |
| ***Figura 21.*** *Andamio de fachada*<br>***Fuente:*** *(Agiriano, 2023)* | ***Figura 22.*** *Andamio móvil*<br>***Fuente:*** *(Hierros Molina, 2021)* |
| Esta es instalada de forma continua en la fachada de edificios, permitiendo acceder a niveles a diferentes alturas para pinturas, restauración o acabados. | Es un andamio con ruedas en la base que ayuda a desplazarse, ideal para tareas rápidas en superficies planas como instalaciones eléctricas o pinturas interior. |

| Andamio colgante | Plataforma auto elevadora |
|---|---|
|  |  |
| ***Figura 23.*** *Andamio colgante*<br>***Fuente:*** *(Hierros Molina, 2021)*<br>Plataforma suspendida desde los techos o vigas, sirve para trabajos en alturas superiores a 20 metros donde no es viable construir un andamio desde el suelo. | ***Figura 24.*** *Andamio auto elevadora*<br>***Fuente:*** *(Hierros Molina, 2021)*<br>Andamio moderno con sistema eléctrico de elevación sobre mástiles, permite subir y bajar al operario sin desmontar la estructura ideal para obras verticales. |

***Nota.*** *Elaboración propia con base en Hierros Molinas (2021) y Jon Aguiriano (2023)*

Para intereses de esta investigación, se considera un andamio de tipo tradicional cuya estructura estará compuesta de caña de guadua y elementos de madera para aprovechar la disponibilidad local y la aplicación en contextos constructivos en el Ecuador. El andamio será fijo en fachada, este se utilizará para realizar trabajos que requieren gran altura para acabados exteriores, de la misma manera, la estructura estará diseñada para un máximo de tres niveles de alturas, asegurando su estabilidad y seguridad conforme a las normas técnicas pertinentes para estructuras temporales.

### *Requisitos que deben cumplir los andamios*

El área destinada para andamios debe permitir el acceso del trabajador y estar dispuesta de modo que proporcione un lugar adecuado para el desempeño de labores, evitar la caída de los usuario u objetos protegiendo a las personas que estén en niveles inferiores (Hinojos & Fernando, 2019).De la misma manera, dentro del Comité Europeo Normalizado (2003) que en su parte de equipos temporales de obra detalla requisitos de rendimiento y diseño general establece exigencias mínimos para su diseño, montaje y uso, donde se destaca:

*Requisitos de Ergonomía*

Para asegurar condiciones adecuadas de trabajos, estas estructuras deben contar con dimensiones mínimas:

- **Anchura libre de trabajo:** Esta medida deber ser de al menos 0.60 metros y para las escaleras interiores no menor a 0.50 metros cúbicos.
- **Altura libre:** Afirma que la atura mínima debe ser de 1.90 metros para evitar golpes en la cabeza durante el transito dentro de esta estructura.

*Protección lateral*

Las medidas mínimas de los elementos son:

- **Barandillas:** Estas deben ser colocadas a 0.50 y 1.00 metros cada plataforma o en accesos principales.
- **Rodapiés:** Esta debe tener al menos 0.15 metros de altura ubicados en todos los bordes de plataformas para evitar la caída de objetos.
- **Revestimiento con mallas o lonas:** Nos recomienda que cuando se ejecutan trabajos que generan partículas o escombros que pueden salir proyectadas.

***Causas comunes de falla en andamios***

El uso de andamios en las construcciones es una práctica habitual y necesaria, ya que, estas ayudan a ejecutar actividades a diferentes tipos de alturas, no obstante, en proyectos donde se llega a utilizar materiales alternativos como puede ser la caña de guadua, la seguridad de estas estructuras adquiere una especial relevancia, esto se debe a la ausencia normativa local específicamente en el Ecuador para el uso formal de sistemas temporales de soporte. En este contexto, identificar las causas comunes del colapso de los andamios permite no solo prevenir accidentes, sino que también, ayuda a establecer

lineamientos técnicos para el diseño estructural eficiente y seguro de andamios con la utilización de caña guadua.

*Diseño estructural deficiente*

En muchos casos, los andamios tradicionales no cuentan con el diseño estructural adecuado, por ello, la ausencia de cálculos de estabilidad, resistencia a flexión, compresión y pandeo en los elementos verticales y horizontales puede ayudar a prevenir las fallas locales o globales de los sistemas, además, en sistemas de caña de guadua cuya resistencia depende a las propiedades físicas (diámetro, espesor y distribución de nudos) no puede garantizar un comportamiento seguro, por esto, según Merlino (2023) "los diseños inseguros constituyen una de las principales causas de colapsos en obras de construcción".

*Deficiente estabilización y falta de anclajes*

Para estos sistemas, el diseño de un andamio requiere que se prevea un sistema de amarres a la edificación o a la estructura principal, esto especialmente cuando el andamio llega a superar los dos niveles. Por ello en estructuras con caña, donde el peso es menor y el centro de gravedad más inestable esta necesidad se llega a intensificar, en consecuencia, la omisión de amarres cada 5 metros horizontalmente y cada 6 metros en altura compromete la integridad del sistema frente a cargas de viento o vibraciones en estos sistemas (Merlino, 2023).

### 1.2.3. Importancia en la construcción de losas y andamios exteriores

Como se ha ido mencionando el tema las estructuras temporales como los encofrados de losas y los andamios exteriores son muy importantes para poder desarrollar de una mejor manera las obras de construcción, por ello, dentro de los usos de estos sistemas encontramos que los encofrados definen a la losa y contiene el volumen de concreto durante el vaciado y curado, mientras que, los andamios exteriores permiten el

acceso a los obreros a  trabajos como un sostén auxiliar que proporciona la seguridad en zonas elevadas de trabajo.

***Importancia de las losas como elemento estructural***

Para determinar la importancia de las losas, primeramente, afirmamos que como lo dice De la Cruz (2024), en su blog de cobopremex “las losas son elementos fundamentales en la construcción, ya que soportan y distribuyen cargas en estructuras”, estas cargas se por su sistema hacia vigas y columnas, dentro de estas existen de diferentes tipos como las macizas, aligeradas, prefabricadas, postensadas y nervadas donde estas son escogidas dependiendo de su especificación que dependen del espacio, presupuesto o exigencia de las estructuras del proyecto.

Dentro de los tipos anteriormente mencionados, la losa nervada es la que representa una alternativa estructura eficiente y muy valorada en la ingeniería civil, principalmente, en proyectos que requieren cubrir grandes claros sin necesidad de apoyos intermedios. Esto se debe, al diseño aligerado que está basado en el uso de casetones y nervaduras reforzadas que permiten una distribución óptima de cargas con un uso reducido de hormigón y acero. Además, este elemento es ideal para las edificaciones dentro de nuestro entorno, ya que, su alta rigidez le hace resistente a esfuerzos sísmicos que es particularmente valioso en nuestra región (Max Acero Monterrey, 2025).

En este contexto, dentro de la construcción ecuatoriana, la losa nervada es una de las más utilizadas, esto, debido a su adaptabilidad a edificaciones de baja u media altura en viviendas multifamiliares, edificios educativos y pequeños comercios. De la misma manera, la facilidad de diseño, disponibilidad de mano de obra en encofrados tradicionales y la posibilidad de utilizar casetones reutilizables es una de las alternativas económicas más atractiva. Asimismo, la reducción del peso de la losa nervada contribuye a un uso más eficiente de la estructura, favoreciendo el diseño de las cimentaciones, lo

cual representa un beneficio adicional en terrenos con capacidad portante limitada. Además, esta solución integra criterios estructurales, económicos y constructivos, ajustándose a las necesidades locales y cumpliendo con las normas nacionales establecidas en la NEC.

***Figura 25.*** *Losa nervada*
***Fuente:*** *Panel y acabados Monterrey*

Por último, el encofrado en las construcciones para losas nervadas desempeña un papel importante en la calidad estructural y la seguridad del proyecto, esto especialmente cuando se emplea en estructuras temporales materiales como la caña de guadua y la madera como se plantea en la tesis. Dado que las losas nervadas suelen tener mayor altura respecto a losas convencionales, se requiere un sistema robusto, bien dimensionado y capaz de soportar el peso del concreto fresco durante el vaciado, además, que es importante que los moldes de madera o paneles estén correctamente fijo, nivelados y diseñados (Muñoz, 2024). De la misma manera, es importante conocer que para este tipo de estructuras el tiempo de uso de estos sistemas van desde los 14 a 21 días dependiendo del tipo de losa o las luces que la estructura contenga (NEC - SE - HM, 2015).

***Los andamios como estructuras auxiliares de acceso***

La configuración estructural de los andamios se basa principalmente en la unión de elementos tubulares prefabricados de acero o aluminio acompañados de plataforma de

trabajo, también se afirma que existen diferentes configuraciones entre los andamios unidireccionales y multidireccionales que tienen sus aplicaciones específicas según las condiciones de proyecto y entorno de trabajo (Merlino, 2023). De manera general, estas estructuras auxiliares de acceso representan un recurso esencial en el desarrollo de obras en la ingeniería civil, por ello, desde su versatilidad, seguridad y capacidad de adaptación a las diferentes alturas, formas y condiciones del terreno permiten que sean utilizados en múltiples fases constructivas, a su vez, el diseño debe considerar aspectos como el tipo de trabajo a realizar, carga que soportará, entorno de instalación y niveles de seguridad requeridos de acuerdo a las normativas nacionales e internacionales.

***Figura 26.*** *Andamios tradicionales*
***Fuente:*** *Pinterest*

En nuestro territorio gracias al crecimiento urbano principalmente vertical, el uso de estas estructuras de manera eficiente y seguro es determinante para el éxito técnico y operativo de proyecto, para esto, es necesario ser considerados desde la planificación estructural, como parte integral del cronograma, presupuesto y logística de obra. Para ello, se enlista ciertas actividades donde es necesario este sistema temporal:

- Revestimiento y acabados de fachadas.
- Encofrado y vaciado de losas superiores.
- Instalación de sistemas eléctricos o hidráulicos en alturas.

- Pintura y mantenimiento exterior de edificaciones.
- Montaje de estructuras metálicas o cubiertas.
- Reparación o sustitución de elementos estructurales en altura.
- Colocación de ventanas o elementos decorativos en fachadas.
- Limpieza y sellado de juntas estructurales.
- Instalación de paneles solares o equipos técnicos en techos elevados.
- Construcción de muros de gran altura en interiores o exteriores.

***Interacción entre ambos sistemas en el proceso constructivo***

Para los diferentes procesos constructivos que se realizan en una obra que pueden ser desde moldear estructuras horizontales, así como, actividades de acceso y altura, los sistemas de estructuras de encofrados y andamios exteriores desempeñan un papel fundamental. Aunque las dos son importantes, su función, diseño y materiales llegan a diferir de manera significativamente, porque, mientras el encofrado permite modelar y sostener el hormigón fresco hasta fraguar, los andamios brindan soporte y un acceso seguro para los operarios durante la ejecución de diversas laborales constructivas. En la Tabla 8 se presenta una comparativa de estos elementos con sus principales características técnicas.

***Tabla 8.*** *Tabla comparativa: encofrado vs andamios exteriores.*

| **Tabla Comparativa para Encofrado vs Andamios Exteriores** | | |
|---|---|---|
| **Criterio** | **Encofrado de Losa Nervada** | **Andamios Exteriores** |
| **Función Principal** | Molde temporal para el vaciado de hormigón en losas estructurales. | Plataforma provisional para el acceso, soporte y seguridad de operarios. |
| **Seguridad Estructural** | Fundamental para evitar colapsos durante el vaciado del hormigón. | Clave para evitar caídas y brindar estabilidad durante trabajos en altura. |
| **Precisión Constructiva** | Requiere precisión milimétrica para garantizar niveles y secciones. | Debe asegurar estabilidad vertical y horizontal en todas las plataformas. |
| **Ventaja Constructiva Principal** | Optimizar el uso de materiales y permite geometría precisa. | Permite acceso seguro y continuo a múltiples niveles del proyecto. |

## 1.3.Aplicaciones de andamios y encofrados tradicionales con caña de guadua

La industria de la construcción siempre ha sido una gran influencia dentro del desarrollo económico del país, brindando gran cantidad de plazas de trabajo directos e indirectos e ingresos representativos para el estado ecuatoriano. Incluso, el nivel o tasa de construcción de un país es considerada como factor de análisis en el desarrollo de este, el cómo uso de la caña de guadua componente estructural en andamios y encofrados ofrece una alternativa por su bajo costo, facilidad de montaje, ligereza, resistencia adecuada y adaptabilidad a diferentes condiciones de obra. Por ello, dentro de esta sección se analizará las aplicaciones más relevantes de estos sistemas tradicionales utilizando caña de guadua en nuestro entorno y el mundo.

### 1.3.1. Utilización de estos sistemas en el mundo

La utilización de estos sistemas dentro del mundo ha sido de gran importancia utilizando materiales naturales como la caña de guadua o bambú, particularmente en aquellos países con abundante disponibilidad de estas especies, de la misma manera, las técnicas constructivas con este material han ido evolucionando, utilizando técnicas empíricas hasta sistemas regulados y reconocidos por su eficiencia estructural, bajo impacto ambiental y adaptabilidad. Para ello, verificar cómo se han ido desarrollando estas estructuras en diferentes lugares del mundo utilizando caña de guadua o bambú.

En el medio asiático la utilización de caña de guadua o bambú ha sido históricamente utilizada para las construcciones de viviendas, puentes, templos y estructuras auxiliares como son los andamios. Este es un material es comparable con el acero en términos de resistencia a tracción y con su notable flexibilidad. Además, que considerando su rápida regeneración y su bajo impacto ambiental lo hacen altamente valorado en estas zonas principalmente por el diseño arquitectónico tradicional y contemporáneo. Por ello, en países como China, Japón e India han ido evolucionando con

este material de generación en generación adaptándose a las condiciones climáticas, culturales y funcionales. Esto es desde la dinastía Shang hasta los edificios modernos como la “Green School” en Bali, demuestra como este material ha evolucionado sin perder vigencia (Keçeci, 2024).

***Figura 27.*** *Bambú en Asia*
***Fuente:*** *Metra building*

De la misma manera, en Hong Kong, la cual es una de las ciudades más verticales del mundo, los andamios de bambú siguen siendo la práctica vigente en las construcciones de rascacielos y edificios, esto, se debe a que es una técnica considerada ancestral, donde, se destaca su eficiencia estructural, bajo costo y adaptabilidad a espacios reducidos. Esta técnica persiste como un oficio especializado, donde, los obreros que son conocidos como “arañas” son formados rigurosamente en seguridad y la técnica de amarre. De la misma manera, estas estructuras son regulados estrictamente por normas de seguridad debido al riesgo que implica trabajar en grandes alturas (AFP, 2023).

***Figura 28.*** *Andamios asiáticos*
***Fuente:*** *ABC Internacional*

En América Latina, la caña de guadúa ha comenzado a reconocerse como un recurso estratégico para el desarrollo urbano y la construcción sostenible. Por ejemplo,

en República Dominicana, el bambú se introdujo formalmente con fines técnicos desde la década de 1970 mediante convenios con Taiwán, permitiendo la siembra de especies como *Bambusa vulgaris* y *Guadua angustifolia* en zonas húmedas y ribereñas. Inicialmente orientadas a la protección de cuencas hidrográficas y la conservación del suelo, estas plantaciones evolucionaron hacia usos artesanales y estructurales, incluyendo la fabricación de muebles, techos, viviendas rurales y, de manera creciente, sistemas de encofrado y andamios temporales en obras de pequeña escala. No obstante, la falta de planificación, normativa y lineamientos técnicos ha limitado su incorporación formal en proyectos modernos, pese a su alto potencial como material ligero, resistente y sostenible para aplicaciones constructivas (Mercedes, s.f.).

Por otro lado, en Colombia se ha vuelto un líder regional en el desarrollo técnico y normativo de este material, la implementación de normas permite el desarrollo de edificaciones sismos-resistentes, apoyadas por décadas de investigaciones académicas y experiencias arquitectónicas, de la misma manera, Universidades e Instituciones colombianas ayudan a la caracterización estructural del material, diseño de conexiones eficientes y su integración en construcciones sustentables, puentes, viviendas y centros comunitarios. Todos estos avances en el material ayudo a potenciar como una alternativa técnica, económica y ambiental en la región (Rodríguez, Torres, & Octavio, 2020).

***Figura 29.*** *Casa de caña de guadua en Colombia*
***Fuente:*** *Guadua bambú Colombia*

### 1.3.2. Utilización de estos sistemas en el Ecuador

***Estado actual del uso de encofrados tradicionales con caña de guadua***

Dentro de la ciudad de Manta, la utilización de encofrados tradicionales utilizando caña de guadua se ha desarrollado de manera significativa, el uso de este elemento como un apuntalamiento temporal es muy importante, además, gracias a la gran cantidad de este material en sus regiones tropicales, contando con lo valorado que es por su resistencia y flexibilidad, se ha convertido en una alternativa viable frente a los sistemas metálicos convencionales, principalmente en contextos de la construcción económica o autoconstrucción asistida. Para esto, se seleccionaron obras que han utilizado estos sistemas, las cuales se presentan en el presente estudio.

***Figura 30.*** *Encofrado tradicional en lado izquierdo Costa del Este y derecho Av. 13*
***Fuente:*** *Propia*

Como se puede identificar, en la Figura 30 del lado izquierdo, es una fotografía donde se puede apreciar que el encofrado de losa utiliza puntales de caña guadua colocados de manera vertical, esta configuración permite una distribución uniforme del hormigón fresco y evitar asentamientos deferenciales, mientras que, en la misma figura del lado derecho se aprecia como los puntales se ponen de una manera inclinada formando cruces, proporcionando estabilización en la estructura incrementando la rigidez del conjunto para prevenir el pandeo de los puntales verticales ante esfuerzos horizontales o vibraciones producidas por los obreros y acciones dinámicas.

***Figura 31.*** *Encofrado y tradicional en Costa Azul*
***Fuente:*** *Propia*

Por otro lado, en la Figura 31, se resalta el orden, alineación y simetría en la colocación de los puntales, para que, en estas condiciones reduzcan el riesgo de pandeo o colapso durante el proceso del vaciado del concreto, ya que, la ausencia de una disposición uniforme podría comprometer la estabilidad global del encofrado. También, se distingue las tablas utilizado como tablero de encofrado las cuales se apoyan sobre soleras o vigas de carga (también de madera) que ayudan a transmitir cargas hacia los puntales. Este sistema nos ayuda a comprender la estructura del sistema que es tablero a la viga y por ultimo los puntales, pero, toca recalcar lo fundamental de su correcto funcionamiento para las construcciones y refleja el conocimiento artesanal bien desarrollado en estas zonas.

***Figura 32.*** *Encofrado tradicional en Chone*
***Fuente:*** *Propia*

Para la Figura 32, se observa de una manera más amplia el sistema tradicional de encofrado, con una clara integración de diferentes elementos constructivos como el

cerramiento provisional de zinc o la armadura visible encima del sistema. Esto, indica que la estructura se encuentra en una etapa intermedia del proceso constructivo donde el encofrado ya cumple con su función como molde para la losa y después poder fundir para continuar con la construcción de la obra. De la misma manera, esta imagen resalta lo importante del orden y simetría en la disposición de los puntales para garantizar la seguridad de la obra.

Como se puede visualizar de manera general en las imágenes, se pudo constatar que el uso de la caña de guadua como la madera para encofrados temporales que continua vigente en la práctica constructiva local, de la misma manera, si bien estos sistemas requieren personas con conocimiento técnico especifico en cuanto a disposición, amarres y resistencia, sirven para evidenciar una adaptación funcional a las condiciones económicas, climáticas y su entorno. Por ello, el estudio detallado de estos sistemas puede ayudar a contribuir al desarrollo de propuestas y técnicas para reconocer su valor como solución estructural temporal.

*Ventajas y desventajas de los sistemas observados*

Con lo que se pudo evidenciar dentro el uso del encofrado tradicional, el uso del apuntalamiento de caña guadua puede ofrecer múltiples ventajas dentro del bajo costo, disponibilidad inmediata del material, fácil manipulación y el uso empírico de obreros. Además, que su peso ligero reduce la exigencia logística y permite el montaje más ágil, sin embargo, estas ventajas deben analizarse de manera cautelosa, ya que la variabilidad de la resistencia mecánica de la caña, su susceptibilidad a la humedad y la falta de control en la selección de sus secciones o longitudes pueden llegar a comprometer el sistema, además, a menudo no se aplican criterios técnicos en la elección del diámetro mínimo, espaciamiento entre puntales, evaluación de la estabilidad global del conjunto y esto puede presentar un riesgo potencial durante el proceso del vaciado de concreto.

### *Estado actual del uso de andamios tradicionales con caña de guadua*

Como se ha mencionado dentro del uso de la caña de guadua, en el sistema temporal de andamios es muy importante, por ello, como parte del análisis del contexto actual se identificó su aplicación como elemento estructural en andamios temporales. Estos sistemas, construidos de forma artesanal, son empleados en obras civiles y sirven para facilitar el acceso a zonas elevadas durante procesos de construcción, mantenimiento o restauración de estas. La selección del material de caña en las estructuras temporales obedece a las propiedades mecánicas favorables, disponibilidad en la región y el conocimiento empírico de los trabajadores. A continuación, se presentan dos ejemplos captados en campo, que ayuda a reflejar la diversidad de configuraciones estructurales, además, de los retos técnicos y de seguridad asociados al uso de este material en andamiajes verticales.

***Figura 33.*** *Andamio con caña de guadua en edificación en construcción-Manta*
***Fuente:*** *Propia*

En la Figura 33, se muestra un andamio de fachada utilizando caña de guadua, este ayuda a facilitar el acceso a diferentes niveles durante su construcción. El sistema observado, incorpora elementos verticales y horizontales todos ejecutados con caña de guadua. Aunque, las plataformas de trabajo no son claramente visibles, se infiere que se apoyan sobre largueros, con tablas de madera como la superficie de trabajo, de la misma manera, sus uniones aunque no se aprecian a detalle, parecen realizadas con alambre o

soga como es la tradición en la construcción local, por ello, este tipo de sistema de fácil montaje y bajo costo demuestra la adaptabilidad de la caña en estructuras temporales verticales, sin embargo, requiere un cuidadoso diseño de arrostramiento para poder garantizar su estabilidad frente a cargas horizontales o dinámicas especialmente en labores de albañilería.

***Figura 34.*** *Andamio con caña de guadua iglesia San Cayetano Chone*
***Fuente:*** *Propia*

Dentro de la Figura 34, corresponde a un andamio perimetral de gran altura, el cual fue construido alrededor de la torre de una iglesia con fines de restauración o mantenimiento, es un sistema que repite módulos estructurales a lo largo de toda la altura, con una disposición simétrica de puntales, largueros y travesaños. De la misma manera, a pesar de no poder visualizar plataformas de trabajo directamente, la regularidad de los niveles horizontalmente sugiere que existen múltiples puntos de acceso para operarios, además, este tipo de estructura requiere especial atención en el diseño de anclajes y rigidez lateral, ante cargas sísmicas o de vientos. Por otro lado, gracias a la ligereza de la caña y resistencia se comporta de una manera eficiente en estas aplicaciones, aunque, la falta de normativa técnica exige una ejecución basada en experiencia empírica.

Como se ha observado el uso de la caña de guadua en sistemas de andamiaje artesanal como se presenta, refleja una solución constructiva tradicional que está vigente

en múltiples escenarios de obra, especialmente en zonas con recursos económicos limitados. De la misma manera, a pesar de su simplicidad aparente, estos sistemas deben exigir un conocimiento técnico profundo sobre sus disposición, amarre y comportamiento estructural del material. Sin embargo, la falta de normativa específica y controles técnicos, representan una debilidad significativa, particularmente en obras de mayor altura y expuestas a cargas laterales. Por ello, documentar y analizar estos sistemas no solo contribuye a valorar el conocimiento constructivo local, sino también, permite abrir el camino hacia una estandarización técnica para asegurar su uso seguro y eficiente, incorporando criterios de diseño verificables, establecer límites de carga y promover capacitaciones especializadas para integrar estos sistemas dentro de una construcción más segura, sostenible y contextualizada con la realidad del país.

***Análisis crítico y necesidad de normativas***

El continuo uso de estos sistemas evidencia una solución constructiva adaptada al entorno y a las condiciones socioeconómicas locales. Pero, el uso informal y nulo criterio técnico estandarizado deja una brecha importante en términos de seguridad y durabilidad de estos. Por ello, es necesario que la academia estudie estas prácticas con mayor rigurosidad y así generar propuestas normativas o guías técnicas que validen su utilización optimizando su desempeño. Esto podría incluir recomendaciones sobre diámetros mínimos, distancias admisibles entre apoyos y criterios de reutilización del material. De esta forma, se pueda lograr una sinergia entre el conocimiento tradicional y la ingeniería formal, contribuyendo a un sistema constructivo sostenible, accesible y técnicamente viable.

Con el análisis del contexto actual en el uso de sistemas tradicionales de encofrado y andamiaje con caña de guadua en Manta y zonas cercanas, se evidencio que este recurso natural sigue desempeñando un papel fundamental en la construcción local,

especialmente en edificaciones de bajo presupuesto. Dentro de la observación, en las obras reales se evidenció las diferentes configuraciones y funcionales, tanto para encofrados como en andamios, lo cual ayuda a reflejar el conocimiento empírico arraigado de los diversos trabajadores en la zona.

Por otro lado, los sistemas mostrados destacan por su bajo costo, disponibilidad del material, facilidad de montaje y adaptabilidad del entorno, pero también, presenta las diversas limitaciones importantes en cuanto a la resistencia mecánica variable, su exposición a la humedad y carencia de normativas técnicas, que garanticen su seguridad estructural, además, de la falta de estándares formales para su diseño y ejecución que representa un riesgo en condiciones de carga crítica, como puede ser su altura o las cargas sometidas a las que están los sistema como los esfuerzos sísmicos.

Este estudio permitió identificar que, aunque los sistemas responden adecuadamente a las necesidades dentro de una construcción tanto económicas y culturales del entorno, existe una necesidad urgente para validar su uso desde una perspectiva técnica, para ello, se concluye que es indispensable utilizar una estandarización mediante el desarrollo de lineamientos técnicos específicos que contemplen criterio de diseño, seguridad, reutilización y capacitación, integrando el saber tradicional con principios de ingeniería estructural para garantizar soluciones sostenibles, seguras y viables en el contexto ecuatoriano.

### 1.4. Selección de materiales en sistemas tradicionales con caña de guadua

Para el sistema tanto de andamios como encofrados tradicionales, se utilizará materiales como madera y caña de guadua, a continuación, se describe estos materiales junto a sus propiedades estructurales:

### 1.4.1. Madera estructural tangaré

Para las vigas que soportaran las cargas como también para la superficie de contacto de la losa o de los andamios se espera el uso de la madera, por lo que, existe en el mercado se estima el uso del tangaré por su calidad-precio, para ello, el Ministerio del Ambiente (2014) afirma que "es una especie que pertenece a la familia Meliaceae, la cual, se utiliza para la construcción de viviendas, pisos, ventanas y puertas", además, que es un árbol nativo de la costa y andes que se distribuye en 0 a 2500 msnm en provincias como el Carchi, El Oro, Esmeraldas, Guayas, Los Ríos y Pichincha. Por otro lado, la NEC (2012) en la ficha técnica de esta especie define a esta madera como de color crema grisáceo a claro o rojizo y textura mediana, en función a ello, el Carapa guianesis (nombre científico del tangaré) es un árbol con tronco cilíndrico que alcanza altura hasta 40 metros con un promedio de 25. De manera general, esta especie suele crecer en zonas planas o disectadas, facilita su extracción y procesamiento local (Sotelo, 2016).

***Propiedades del tangaré***

Para garantizar un diseño confiable y adaptado a las condiciones reales de sistemas tradicionales de andamios y encofrados temporales, se recopila información sobre las propiedades físicas y mecánicas de está utilizando distintas bibliografías, para ello, Franklin Recalde (2015) en su trabajo de diseño de elementos estructurales sobre madera laminada clasifica al tangare como una madera perteneciente al grupo B y C, además, de otras fuentes que se detalla en la siguiente tabla junto a sus valores que se describe en cada investigación:

***Tabla 9.*** *Propiedades mecánicas del tangare*

| Fuente | Densidad (gr/cm3) | Módulo de elasticidad (kg/cm2) | Rotura a flexión (kg/cm2) | Compresión paralela (kg/cm2) | Compresión perpendicular (kg/cm2) | Corte paralelo en fibras (kg/cm2) | Tenacidad (kg-m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Silbille** (s.f.) | 0.73 | 139 000 | 1 102 | 574 | 127 | 135 | 5.9 |
| **Comafors** (s.f.) | 0.49 | 127 000 | 1 045 | 511 | 76 | 104 | 2.13 |

| Fuente | Densidad (gr/cm3) | Módulo de elasticidad (kg/cm2) | Rotura a flexión (kg/cm2) | Compresión paralela (kg/cm2) | Compresión perpendicular (kg/cm2) | Corte paralelo en fibras (kg/cm2) | Tenacidad (kg-m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ministerio del Ambiente** (2014) | 0.49 | 127 000 | 1 045 | 511 | 76 | 109.66 | - |
| **Sotelo** (2016) | 0.49 | - | - | - | - | - | - |
| **Reasco y Ligña** (2022) | 0.49 | - | - | 511.9 | 76 | - | 3.12 |

***Nota.*** *Elaboración propia con base en datos Silbille (s.f.), Comafors (s.f.), Ministerio del Ambiente (2014), Sotelo (2016) y Reasco y Ligña (2022).*

Se estima que el Tangare pertenece al grupo B y C de la NEC SE MD, la cual, se estima a las propiedades dadas en la siguiente tabla:

***Tabla 10****. Esfuerzos admisibles del tangare según NEC*

| Tipo | Densidad básica (gr/cm3) | Esfuerzos admisibles | | | | | Módulo de elasticidad (Mpa) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Flexión (Mpa) | Tracción paralela (Mpa) | Compresión paralela (Mpa) | Compresión perpendicular (Mpa) | Corte paralelo (Mpa) | $E_{min}$ ($E_{0.05}$) | $E_{promedio}$ |
| **B** | 0.56 / 0.70 | 15 | 10.5 | 11 | 2.8 | 1.2 | 7500 | 10000 |
| **C** | 0.40 / 0.55 | 10 | 7.5 | 8 | 1.5 | 0.8 | 5500 | 9000 |

***Nota.*** *Elaboración propia con datos de la NEC-SE-MD (2014)*

Como se constata en la investigación dada y por las propiedades encontradas en diferentes bibliografías, el tangaré puede clasificarse dentro de los grupos B y C establecidos por la norma ecuatoriana de la construcción NEC SE MD, esta norma asigna al grupo B a maderas con densidades entre 0.56 y 0.70 gr/cm3, esfuerzos admisibles de 15 MPa en flexión y un módulo de elasticidad promedio de 10 000 MPa. Por ello, las propiedades recolectadas muestran valores que cumplen e incluso superan estos parámetros, como la densidad de hasta 0.73 gr/cm3 y módulos de elasticidad mayores a 12 000 MPa, lo cual respalda para el uso estructural en sistemas tradicionales de encofrados y andamios.

### 1.4.2. Caña de guadua

Guadua angustifolia Kunth es una especie de bambú que pertenece a la familia Poaceae y subfamilia Bambusoideae, esta se encuentra ampliamente distribuida en regiones tropicales de Colombia, Ecuador y Venezuela, crece de forma natural en zonas húmedas, cerca de las riberas de los ríos y quebradas, caracterizada por un material no maderable, pero, con excelentes propiedades estructurales. De la misma manera, la estructura interna de este elemento se compone de fibras embebidas en una matriz de celulosa, lo cual le otorga un comportamiento mecánico favorable para el uso de estructuras, especialmente en esfuerzos de compresión y flexión (Brand, 2015).

La norma ecuatoriana de la construcción en su capítulo sobre el uso estructural de la guadua Angustifolia Kunth (GAK) (2016), pone en énfasis no solo en la aplicación arquitectónica, sino que también, dentro de esta norma se establece condiciones de mantenimiento, preservación y preparación del material para garantizar su resistencia, durabilidad y seguridad en obra. Por ello, según esta norma los culmos destinados para la construcción deben cumplir un riguroso proceso de selección, tratamiento e inmunización que empieza desde la plantación hasta el uso final. Dentro, de los aspectos más destacados es el proceso de curado o preservación, que se puede realizar por métodos como el avinagrado, inmersión, presión o difusión vertical, estos, tienen el objetivo de proteger a la caña de insectos y agentes biológicos que deterioran las propiedades físico-mecánico.

De la misma manera, esta norma enfatiza la importancia del secado del material, para alcanzar un contenido de humedad igual o inferior al de equilibrio ambiental del lugar de uso. Esta fase, que pasa la caña evita las grietas excesivas, deformaciones y fallas estructurales, lo cual, es muy importante para elementos temporales como encofrados o andamios tradicionales, donde, las cargas pueden ser variables y apoyos críticos. Por otro lado, la norma también regula la manera de almacenar el material antes de su uso en obra,

recomendado para sistemas verticales u horizontales bien ventilados, fuera del contacto con el suelo, protegido del sol y la lluvia para conservar su integridad estructural (NEC – SE – GUADÚA, 2016).

Por último, se establece que no todos los culmos son aptos para construcción, aquí se excluyen aquellos que contienen perforaciones por insectos, exceso de conicidad, signos de pudrición o deformaciones evidentes. Con el cumplimiento, de estas condiciones mínimas se garantiza que la guadua utilizada cumpla con los niveles necesarios de calidad y desempeño, lo cual, es especialmente relevante para su implementación técnica en elementos temporales de obra como pueden ser sistemas de encofrados y andamiaje. Este enfoque de mantenimiento y curado previo refuerza la idea de que para que la guadua funcione de manera correcta es necesario tener un tratamiento para que lo convierta en una alternativa confiable, resistente y sostenible.

***Propiedades de la caña guadua***

Para determinar las propiedades de este material (físicas-mecánicas) necesarias para la incorporación técnica en sistemas estructurales como encofrados y andamios, se realizó una recopilación de investigaciones que en base a ensayos experimentales realizados a especímenes de cañas provenientes de distintas investigaciones nacionales, nos permite establecer rangos y promedios confiables de varias características, como el módulo de elasticidad, resistencia a la compresión y densidad, para realizar el análisis estructural utilizando software (Etabs).

La primera investigación, detallada, es la realizada por Miguel Guerrido (2019) en su trabajo del análisis de las propiedades físico-mecánico de este material en las zonas de Jipijapa, Paján y Puerto López, dentro, de sus ensayos realizados a 33 muestras determina que los diámetros de la caña guadua del último tercio, la cual, se pretende usar para el estudio se encuentra entre 75 y 105 mm, además, establece valores representativos del

comportamiento del material como el promedio del diámetro exterior de 88.82 mm, espesor de 7,63 mm y resistencia a compresión de 43,25 MPa. Otras investigaciones importantes son las que se encuentran en la parte última de la norma ecuatoriana de la construcción en la sección de la caña de guadua (GAK) (2016) donde se destacan diversos valores.

Por otro lado, el estudio realizado por Nicole Andrade y Erick Espinoza (2022) determinan que las propiedades mecánicas de este material perteneciente al último tercio son la resistencia de la compresión de 25.18 a 37.21 MPa y la densidad de 577.64 a 688.76 kg/m3, obtenidos en su trabajo de investigación realizada en la Uleam con muestras en cantones como Tosagua, Junín y Bolívar de la provincia de Manabí. Finalmente, en el trabajo de investigación realizada por Julio Páez, Yusnier De la Rosa, Gema Verduga, Johan Soto y Lady Barreto (2022) sobre las propiedades en las zonas de Chone, Flavio Alfaro y El Carmen proporciona valores de resistencia de la compresión que van desde 41.61 a 49.08 MPa, el módulo de elasticidad de 39.22 a 47.59 GPa y la densidad de 605.9 a 675.01 kg/m3, todos estos valores se observan en la siguiente tabla de comparación:

***Tabla 11.*** *Comparación de las propiedades de la caña de guadua*

| Caña de Guadua | | | | | Fuente |
|---|---|---|---|---|---|
| **N.** | **Diámetro Exterior (mm)** | **Resistencia a Compresión (Mpa)** | **Módulo de Elasticidad (Gpa)** | **Densidad (kg/m3)** | |
| **1** | 88.82 | 43.25 | - | - | **Tesis Miguel Guerrido** |
| **2** | - | 37.76 | 14.35 | - | |
| **3** | - | 21.78 | - | - | |
| **4** | - | 42.94 | - | - | |
| **5** | - | 44.37 | - | - | |
| **6** | - | 20.38 | - | - | **Norma ecuatoriana GAK** |
| **7** | - | 69.88 | - | - | |
| **8** | - | 70.92 | - | - | |
| **9** | - | 43.01 | - | - | |
| **10** | - | 48.38 | - | - | |
| **11** | - | 25.18 | - | 688.76 | |
| **12** | - | 37.21 | - | 674.07 | **Tesis Andrade Nicole y Espinoza Erick** |
| **13** | - | 23.85 | - | 577.64 | |

| Caña de Guadua | | | | | Fuente |
|---|---|---|---|---|---|
| N. | Diámetro Exterior (mm) | Resistencia a Compresión (Mpa) | Módulo de Elasticidad (Gpa) | Densidad (kg/m3) | |
| **14** | **-** | 49.08 | 47.59 | 605.9 | **Articulo Julio Páez, Enrique De La Rosa, Gema Verduga, Joham Soto y Lady Barreto** |
| **15** | **-** | 45.69 | 42.99 | 613.31 | |
| **16** | **-** | 41.61 | 39.22 | 675.01 | |
| **Promedio** | **88.82** | **41.58** | **36.04** | **639.12** | |

***Nota.*** *Elaboración propia con información de Guerrido (2019), Andrade y Espinoza (2022),Páez y otros (2022) y la NEC-SE-GAK (2016)*

Por último, para tener un sistema que va de acuerdo con la normativa ecuatoriana de la construcción son los siguientes:

***Tabla 12.*** *Esfuerzos admisibles de la caña de guadua (MPa) con CH=12%*

| | Flexión Fb (MPa) | Tracción Ft (MPa) | Compresión Fc (MPa) | Corte Fv (MPa) |
|---|---|---|---|---|
| **Esfuerzo admisible** | 15 | 19 | 14 | 1.2 |
| **Esfuerzo último** | 45 | 117 | 37 | 7 |

***Nota.*** *Elaboración propia con información de la NEC-SE-GAK (2016)*

***Tabla 13.*** *Módulos de elasticidad, Ei (GPa) con CH=12%*

| Módulo percentil 5 $E_{0.5}$ (GPa) | Módulo percentil 5 $E_{0.05}$ (GPa) | Módulo mínimo $E_{min}$ (GPa) |
|---|---|---|
| 12 000 | 7 500 | 4 000 |

***Nota.*** *Elaboración propia con información de la NEC-SE-GAK (2016)*

## 1.5.Normativas y estándares aplicables

Dentro de las normativas que se utilizan para el diseño tanto de andamios como encofrados de losas y los materiales que se desean utilizar se encuentran los siguientes:

***Tabla 14.*** *Normativas y estándares aplicables*

| | | |
|---|---|---|
| **Materiales (Caña de Guadua y Madera)** | **Norma ecuatoriana de la construcción (NEC) para estructuras de guadúa (GaK)** (NEC – SE – GUADÚA, 2016) | Regula clasificación, resistencia, uniones y diseño estructural con guadúa. |
| | **Norma ecuatoriana de la construcción (NEC) para estructuras de madera** (NEC - SE - MD, 2014) | Clasifica madera estructural (como el Tangaré) según propiedades mecánicas. |
| | **Wood handbok as an engineering material** por USDA (2021) | Define propiedades físicas y mecánicas de maderas para diseño estructural. |
| **Encofrados tradicionales** | **Norma ecuatoriana de la construcción (NEC)** para Estructuras de Hormigón Armado (NEC - SE - HM, 2015) | Contiene criterios sobre cargas temporales, apuntalamiento y desencofrado. |

| | | |
|---|---|---|
| | ***Norma ACI 347R – 14 – Guide to formwork forconcrete*** (American Concrete Institute, 2014) | Guía internacional sobre diseño y montaje de encofrados de concreto. |
| | ***Guía práctica ecuatoriana para el diseño y construcción de encofrados*** ( GPE INEN, 1978) | Guía ecuatoriana para diseño práctico de encofrados con materiales tradicionales. |
| **Andamios tradicionales** | ***UNE – EN 12811-1:2005 andamios temporales, diseño y desempeño*** (UNE-EN 12811-1 , 2005) | Norma europea para diseño de andamios temporales seguros y funcionales. |
| **Normas adicionales** | ***Norma ecuatoriana de la construcción (NEC) para peligro sísmico y diseño sismo resistente*** (NEC - SE - DS, 2014) | Establece criterios para diseño sismo resistente de estructuras temporales |
| | ***Norma ecuatoriana de la construcción (NEC) para cargas no sísmicas*** (NEC - SE - CG, 2014) | Define cargas no sísmicas para diseño estructural. |

# CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

## 2.1. Metodología de la investigación

La metodología que se utilizará para este proyecto va a ser descriptivo y experimental.

Se utilizará un método descriptivo porque se analizará y documentara las características del sistema, así como, los materiales que se utilizaran, los métodos de ensamblaje y los procedimientos para el vaciado de losas y montaje de andamios exteriores, también se detallaran las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que utilizan los sistemas tradicionales.

De la misma manera, se utilizará un método experimental ya que se diseñará un sistema de encofrado utilizando materiales tradicionales y la caña de guadúa, para evaluar su comportamiento y efectividad.

## 2.2. Caracterización de los elementos constructivos

### 2.2.1. Materiales principales

***Caña de guadua***

Para la modelación de la caña de guadua se utilizará los datos proporcionados por la NEC en su versión sobre las estructuras de guadúa (GaK) (2016), para reflejar un comportamiento más real ajustando como un material ortotrópico ("sus propiedades mecánicas o térmicas son únicas e independientes en tres direcciones mutuamente perpendiculares" (Ingeniería y Mecánica Automotriz, 2020)). Este tipo de modelación permite asignar propiedades distintas en las tres direcciones ortogonales principales: longitudinal (E1), radial (E2) y tangencial (E3), así como sus módulos de corte (G) y coeficientes de Poisson (ν). Por ello, los valores son los siguientes:

***Tabla 15.*** *Propiedades de la caña de guadua CH=12%*

| Caña guadua GAK | | | |
|---|---|---|---|
| | **Coeficiente** | **Valor** | **Unidad** |
| **Densidad** | | 900.000 | **kg/m3** |
| **E1** | | 12000 | **Mpa** |
| **E2** | | 7500 | **Mpa** |
| **E3** | | 4000 | **Mpa** |
| **G12** | | 480 | **Mpa** |
| **G13** | | 300 | **Mpa** |

| Caña guadua GAK | | | |
|---|---|---|---|
| | **Coeficiente** | **Valor** | **Unidad** |
| **G23** | | 160 | **Mpa** |
| **A1** | 0.000003 | | |
| **A2** | 0.000003 | | |
| **A3** | 0.000003 | | |
| **U12** | 0.400 | | |
| **U13** | 0.400 | | |
| **U23** | 0.400 | | |

***Nota.*** *Elaboración propia en base a la NEC-SE-GAK (2016)*

### *Madera tangaré*

Para la modelación de la madera estructural como el tangaré (Carapa Guianensis) en el software como el Etabs se modelará con valores de comportamiento ortotrópico por la naturaleza del material, en donde, los valores de cada uno de las propiedades fueron determinados con base a la literatura técnica y proporciones estándares derivadas del wood handbook (USDA, 2021) y ajustados en función del valor base de su módulo de elasticidad longitudinal estimado a 127 000 kgf/cm2. Pero, esta madera no cuenta con caracterización ortotrópica detallada en la NEC, por ello, se emplearon promedios de propiedades ortotrópicas de maderas duras (‘hardwoods’) según el lbro. Utilizando valores promedio empleadas que son ET/EL = 0.057, EG/EL = 0.114, GLB/EL = 0.089, GLT/EL = 0.067, GRT/EL = 0.018, coeficientes de Poisson se usaron ULR = 0.371, ULT = 0.467, URT = 0.703, UTR = 0.333, URL = 0.050 y UTL = 0.031.

**Table 5–1. Elastic ratios for various species at approximately 12% moisture content[a]**

| Species | $E_T/E_L$ | $E_R/E_L$ | $G_{LR}/E_L$ | $G_{LT}/E_L$ | $G_{RT}/E_L$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **Hardwoods** | | | | | |
| Ash, white | 0.080 | 0.125 | 0.109 | 0.077 | — |
| Balsa | 0.015 | 0.046 | 0.054 | 0.037 | 0.005 |
| Basswood | 0.027 | 0.066 | 0.056 | 0.046 | — |
| Birch, yellow | 0.050 | 0.078 | 0.074 | 0.068 | 0.017 |
| Cherry, black | 0.086 | 0.197 | 0.147 | 0.097 | — |
| Cottonwood, eastern | 0.047 | 0.083 | 0.076 | 0.052 | — |
| Mahogany, African | 0.050 | 0.111 | 0.088 | 0.059 | 0.021 |
| Mahogany, Honduras | 0.064 | 0.107 | 0.066 | 0.086 | 0.028 |
| Maple, sugar | 0.065 | 0.132 | 0.111 | 0.063 | — |
| Maple, red | 0.067 | 0.140 | 0.133 | 0.074 | — |
| Oak, red | 0.082 | 0.154 | 0.089 | 0.081 | — |
| Oak, white | 0.072 | 0.163 | 0.086 | — | — |
| Sweetgum | 0.050 | 0.115 | 0.089 | 0.061 | 0.021 |
| Walnut, black | 0.056 | 0.106 | 0.085 | 0.062 | 0.021 |
| Yellow-poplar | 0.043 | 0.092 | 0.075 | 0.069 | 0.011 |

***Figura 35.*** *Valores de elasticidad de especies CH=12%*
***Fuente:*** *(USDA, 2021)*

**Table 5–2. Poisson's ratios for various species at approximately 12% moisture content**

| Species | $\mu_{LR}$ | $\mu_{LT}$ | $\mu_{RT}$ | $\mu_{TR}$ | $\mu_{RL}$ | $\mu_{TL}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Hardwoods** | | | | | | |
| Ash, white | 0.371 | 0.440 | 0.684 | 0.360 | 0.059 | 0.051 |
| Aspen, quaking | 0.489 | 0.374 | — | 0.496 | 0.054 | 0.022 |
| Balsa | 0.229 | 0.488 | 0.665 | 0.231 | 0.018 | 0.009 |
| Basswood | 0.364 | 0.406 | 0.912 | 0.346 | 0.034 | 0.022 |
| Birch, yellow | 0.426 | 0.451 | 0.697 | 0.426 | 0.043 | 0.024 |
| Cherry, black | 0.392 | 0.428 | 0.695 | 0.282 | 0.086 | 0.048 |
| Cottonwood, eastern | 0.344 | 0.420 | 0.875 | 0.292 | 0.043 | 0.018 |
| Mahogany, African | 0.297 | 0.641 | 0.604 | 0.264 | 0.033 | 0.032 |
| Mahogany, Honduras | 0.314 | 0.533 | 0.600 | 0.326 | 0.033 | 0.034 |
| Maple, sugar | 0.424 | 0.476 | 0.774 | 0.349 | 0.065 | 0.037 |
| Maple, red | 0.434 | 0.509 | 0.762 | 0.354 | 0.063 | 0.044 |
| Oak, red | 0.350 | 0.448 | 0.560 | 0.292 | 0.064 | 0.033 |
| Oak, white | 0.369 | 0.428 | 0.618 | 0.300 | 0.074 | 0.036 |
| Sweetgum | 0.325 | 0.403 | 0.682 | 0.309 | 0.044 | 0.023 |
| Walnut, black | 0.495 | 0.632 | 0.718 | 0.367 | 0.052 | 0.036 |
| Yellow-poplar | 0.318 | 0.392 | 0.703 | 0.329 | 0.030 | 0.019 |

***Figura 36**. Valores de coeficiente del radio de Poisson de especies CH=12%*
***Fuente:** (USDA, 2021)*

Con las propiedades encontradas del Tangare se utiliza los siguientes valores:

***Tabla 16.** Propiedades del tangare*

| MADERA TANGARE | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Nomenclatura** | **Coeficiente** | **Valor** | **Unidad** | **Valor** | **Unidad** |
| **Densidad** | | 490 | **kg/m3** | | |
| **E1** | | 127 000 | **kgf/cm2** | 12 454.509 | **Mpa** |
| **E2** | 0.057 | 7 230.533333 | **kgf/cm2** | 709.076712 | **Mpa** |
| **E3** | 0.114 | 14 520.33333 | **kgf/cm2** | 1 423.96553 | **Mpa** |
| **G12** | 0.089 | 11 328.4 | **kgf/cm2** | 1 110.9422 | **Mpa** |
| **G13** | 0.067 | 8 454.571429 | **kgf/cm2** | 829.114456 | **Mpa** |
| **G23** | 0.018 | 2 249.714286 | **kgf/cm2** | 220.622731 | **Mpa** |
| **A1** | 0.000003 | | | | |
| **A2** | 0.000003 | | | | |
| **A3** | 0.000003 | | | | |
| **U12** | 0.371 | | | | |
| **U13** | 0.467 | | | | |
| **U23** | 0.703 | | | | |

***Fuente:** Elaboración propia con base a valores del wood handbook (USDA, 2021)*

### *Hierro galvanizado*

El término "hierro galvanizado", hace referencia al tratamiento superficial de galvanización (capa de zinc) que es aplicado sobre el acero de la base. Para ello, en el ámbito estructural, el acero galvanizado puede ser considerado por distintas normas como acero ASTM A36, la cual, puede ser una posible base de perfiles estructurales simples

para los sistemas (Esnova, 2023). De la misma manera, los valores que se utilizarán para el modelado de este material se basarán al libro de Joseph Bowles en el diseño de acero estructural (1984) que son los siguientes:

***Tabla 17**. Fy y fu de diversos aceros estructurales*

| Tipo | Denominación de la ASTM | | $F_y$ kip/pulg$^2$ | $F_y$ MPa | Fultim. kip/pulg$^2$ | Fultim. MPa |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Carbono | A-36 | | 36 | 250 | 58-80 | 400-550 |
| Alta resistencia, aleación baja[b] | A-242 | | 40 | 275 | 60 | 415 |
| | A-440 | | 42 | 290 | 63 | 435 |
| | A-441 | | 46 | 315 | 67 | 460 |
| | | | 50 | 345 | 70 | 485 |
| Alta resistencia, aleación baja Columbio-vanadio | A-572 | grado 42 | 42 | 290 | 60 | 415 |
| | | grado 45 | 45 | 310 | 60 | 415 |
| | | grado 50 | 50 | 345 | 65 | 450 |
| | | grado 55 | 55 | 380 | 70 | 485 |
| | | grado 60 | 60 | 415 | 75 | 520 |
| | | grado 65 | 65 | 450 | 80 | 550 |
| Alta resistencia, baja aleación | A-588 | grado 42 | 42 | 290 | 63 | 435 |
| | | grado 46 | 46 | 315 | 67 | 460 |
| | | grado 50 | 50 | 345 | 70 | 485 |

***Fuente:** (BOWLES, 1984)*

El módulo de Elasticidad (E) será 200 000 MPa, módulo de Cortante (G) calculado mediante la fórmula de relación entre los módulos de elasticidad, corte, y coeficiente de Poisson (Ecuación 1), donde, el coeficiente de Poisson $u = 0.3$, la expansión térmica de 11.25 x $10^6$ y densidad de 7.850 ton/m$^3$:

$$G = \frac{E}{2(1+u)} = \frac{200\,000}{2(1+03)} = 76923.07692 \text{ MPa} \qquad \textit{(Ecuación 1)}$$

***Tabla 18**. Propiedades del acero A36*

| Acero A 36 | | | |
|---|---|---|---|
| **Parámetro** | **Nomenclatura** | **Valor** | **Unidad** |
| **Densidad** | **d** | 7850 | **kg/m3** |
| **Elasticidad** | **E** | 200000 | **MPa** |
| **Coeficiente de Poisson** | **v** | 0.3 | |
| **Coeficiente de expansión térmico** | **A** | 0.0000117 | **/°C** |
| **Módulo de corte** | **G** | 78000 | **MPa** |
| **Resistencia a la fluencia** | **fy** | 250 | **MPa** |
| **Resistencia última** | **fu** | 400 | **MPa** |

***Nota.** Elaboración propia con base a (BOWLES, 1984)*

### 2.2.2. Componentes del sistema propuesto

El sistema propuesto responde a una solución temporal y mixta, orientada para edificaciones de baja y media escala. Además, a diferencia de los sistemas de pórticos de hormigón armado, el enfoque de este sistema es de uso de encofrado y andamiaje diseñado bajo criterios de resistencia, estabilidad y economía. Para ello, se utilizará materiales accesibles, seleccionados por su comportamiento mecánico adecuado, facilidad de montaje y disponibilidad local. El sistema que se simulará cuenta con una sola viga principal dispuesta a una dirección clasificando como un sistema unidireccional, en el cual, determina el sentido principal de trabajo estructural y orientación de las cargas.

Para ver de una mejor forma, las siguientes imágenes nos ayuda a comprender el sistema que se desea plantear:

***Figura 37**. Sistema unidireccional 1 (Costa Azul)*

***Figura 38**. Sistema unidireccional 2 (Manta Centro)*

***Figura 39.*** *Sistema unidireccional 3 (Chone)*

Una vez determinada la configuración de la estructura se determina que los elementos que se utilizaran son los siguientes:

***Puntales***

Para los puntuales de la estructura tradicional y temporal, se emplea el uso de caña de guadua, el cual utilizará el tercio superior de la planta, ya que, cuenta con las mejores propiedades mecánicas de toda la especie. De la misma manera, se realizó un promedio de la investigación realizada por la Universidad, en donde, se determinó que el diámetro es de 9 centímetros con un espesor de 0.75 centímetros. El perfil, es como se muestra la siguiente figura:

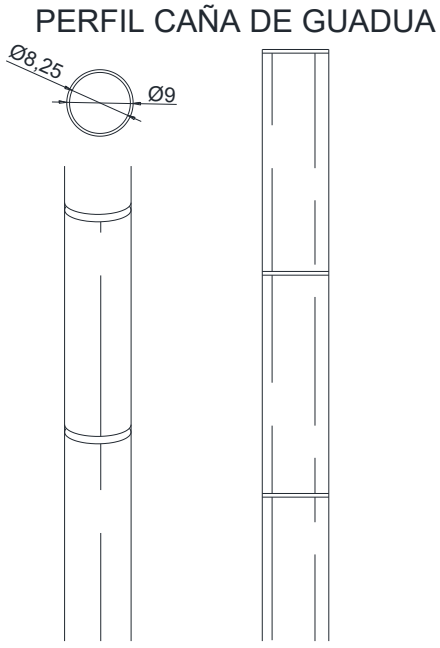



***Figura 40****. Perfil de puntales (caña de guadua)*

***Vigas***

Para las vigas, se considera madera tangaré (Carapa guianensis) por sus adecuadas propiedades mecánicas. Este material a diferencia de otras especies tropicales cuenta con un comportamiento estable frente a la humedad, deformación, riesgo de pandeo o colapso prematuro. De la misma manera, la elección de este material aporta al objetivo general del proyecto por la utilización de materiales tradicionales con respaldo técnico garantizando la seguridad, economía y respeto ambiental en el proceso constructivo. Así mismo, la sección que se prevé utilizar es de 5 centímetros por 10 centímetros como se muestra en la figura:

***Figura 41.*** *Perfil vigas (tangaré)*

***Superficie de contacto***

La superficie de contacto en el sistema de encofrado y andamio es el elemento plano que debe recibir directamente el vaciado del concreto fresco o sirve como plataforma en altura, por ello, en el estudio se desea emplear madera Tangaré debido a su resistencia estructural, durabilidad natural y buena trabajabilidad. Esta madera se utiliza en forma de tablones cepillados que se comercializan en medidas estándares de 1.20 a 2.40 metros de largo con un ancho que puede ir de 0.60 a 1.20 metros y un espesor promedio de 2 centímetros como se muestra a continuación:

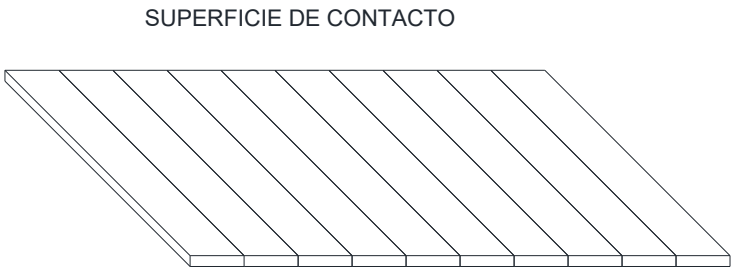



***Figura 42.*** *Superficie de contacto*

### *Conectores*

Dentro de los sistemas tradicionales de encofrados y andamios con caña de guadúa se han observado comúnmente el uso de amarres con alambre, piolas o clavos que sirven para fijar los elementos verticales y horizontales. Sin embargo, esta práctica carece de criterios adecuados, ya que, esta unión no garantiza una transferencia efectiva de cargas ni una conexión rígida entre los componentes. Por ello, los amarres convencionales presentan riesgos de deslizamientos, falla por aplastamiento o perdida de alineación especialmente bajo cargas excéntricas o dinámicas. De esta forma, se compromete tanto la estabilidad del sistema como la seguridad durante el proceso constructivo, por lo cual, se requiere un sistema de conexión que permita una unión firme, alineada y repetible.

***Figura 43.*** *Conectores convencionales (amarres)*

Por lo anteriormente mencionado, se propone utilizar un nudo metálico galvanizado, el cual, es diseñado específicamente para unir verticalmente los puntales de caña con los elementos horizontales del sistema (vigas o riostras). Este nudo consiste en una estructura soldada de planchas de acero de 5 mm de espesor, unidas a tubos cilíndricos de 4 pulgadas de diámetro donde se introducen cada caña de guadua que actuara como receptores asegurando la alineación vertical. Por otro lado, los conectores cuentan con agujeros alineados que permite el paso de pernos de 1 centímetros de diámetro, para atravesar la caña u otro elemento que se desee conectar. Este sistema no solo mejora la rigidez del conjunto, sino que permite ensamblar y desmontar el sistema de forma repetitiva, garantizando la seguridad estructural del encofrado y el andamio durante todo el proceso constructivo.

*Base de apoyo metálica para puntales*

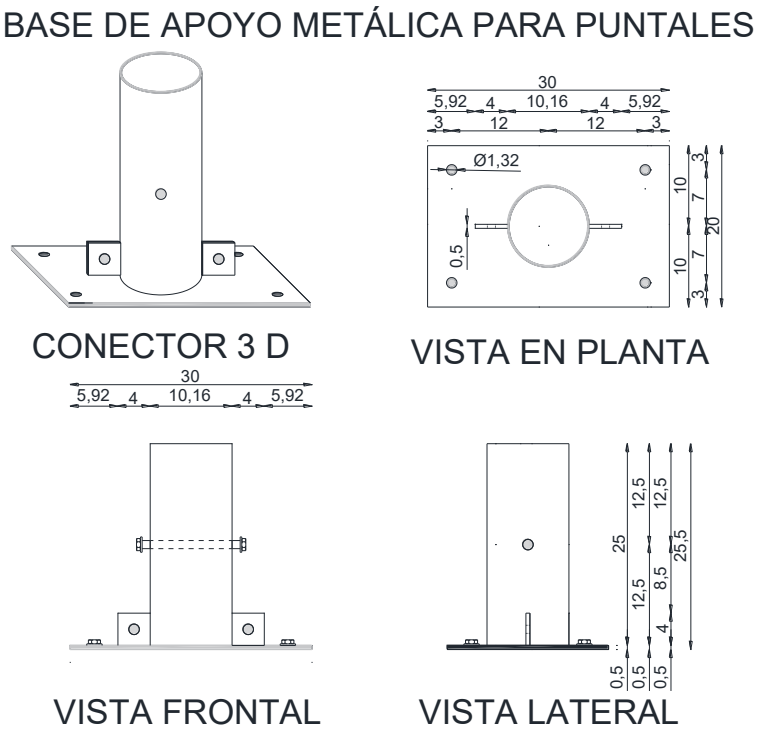



***Figura 44.*** *Base de apoyo metálica para puntales*

Elemento de apoyo galvanizado conformado por una base plana y un tubo de 4” soldado verticalmente para insertar la caña de guadua, para ello, en la base se incluye una

platina cuadrada de 4x4 centímetros con agujero central para la conexión de riostra mediante perno de 1 centímetros para brindar estabilidad lateral.

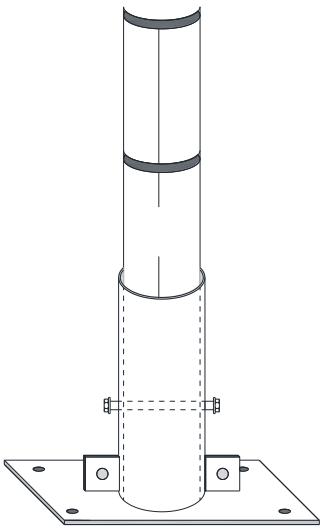


***Figura 45.*** *Conexión de la base caña de guadua*

*Conector metálico caña-viga para encofrados*

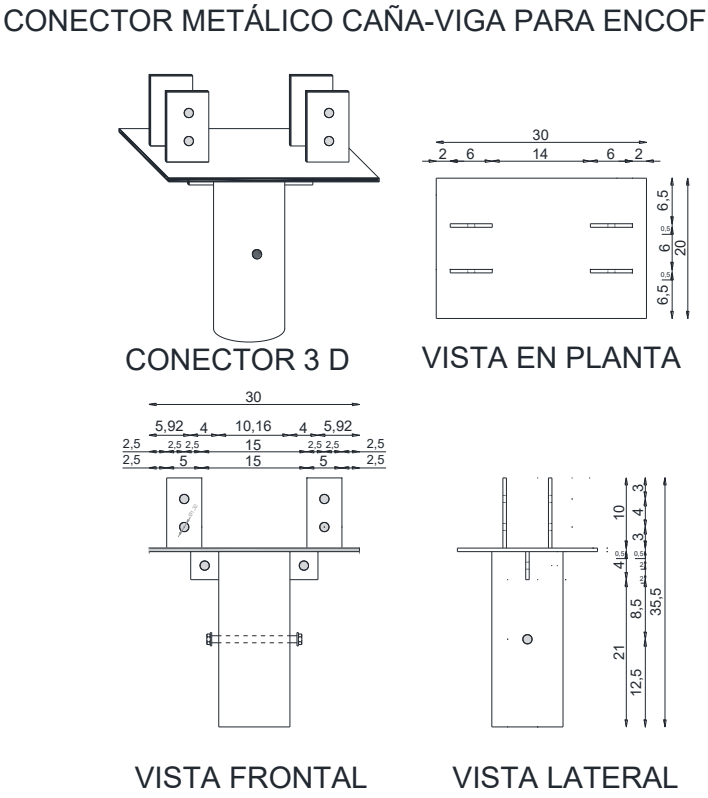



***Figura 46.*** *Conector metálico caña-viga para encofrados*

Nudo de acero galvanizado que está diseñado para unir verticalmente la caña de guadua con el elemento horizontal (viga de madera), además, este comprende de un tubo cilíndricos de 4”, cuatro placas de 5x10 centímetro, dos platinas laterales de 4x4

centímetros que une las vigas, soldadas a una placa de acero de 5 milímetros de espesor y el sistema cuenta con agujeros para pasantes de pernos de 1 centímetros.

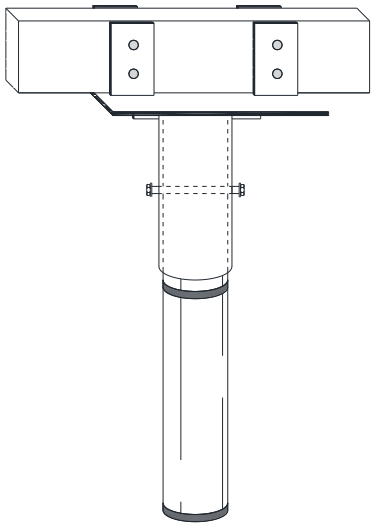


***Figura 47.*** *Conexión caña-viga para encofrados*

*Conector metálico caña- caña / viga para andamios y encofrados*

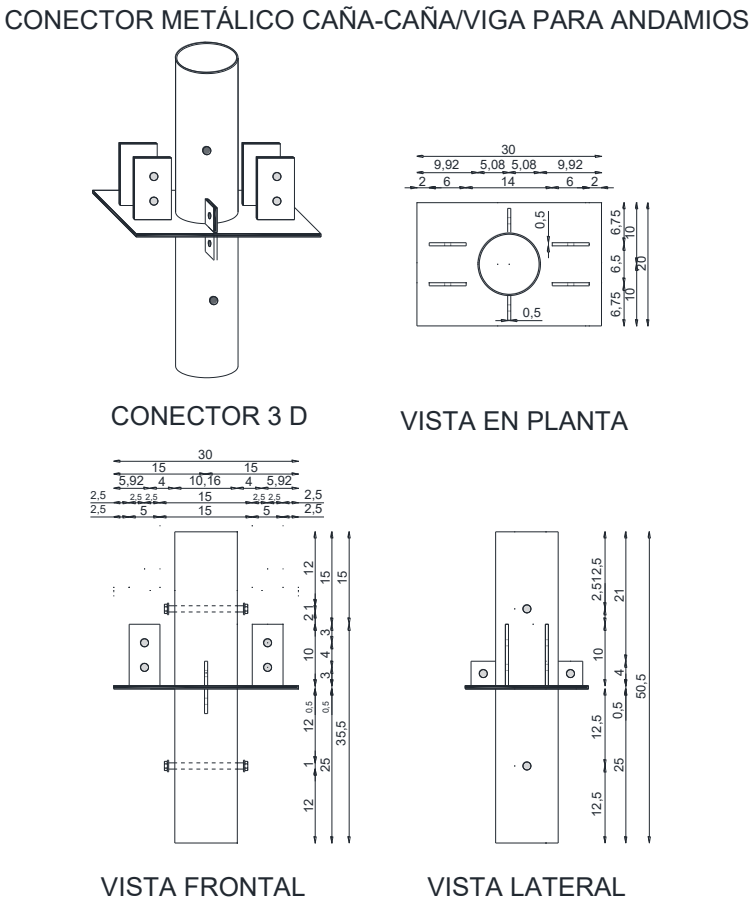



***Figura 48.*** *Conector metálico caña- caña / viga para andamios y encofrados*

Pieza metálica multifuncional que permite la unión entre dos cañas de guadua para formar puntales de mayor longitud para las conexiones superiores con vigas de madera, esta, se encuentra formado por dos tubos receptores de 4” de diámetro y 25 centímetros de altura, soldadas a diversas placas, 4 rectangulares (10x5 cm) y 4 cuadradas (4x4 cm) con agujeros que permite la fijación de los diversos elementos con pernos de 1 centímetro.

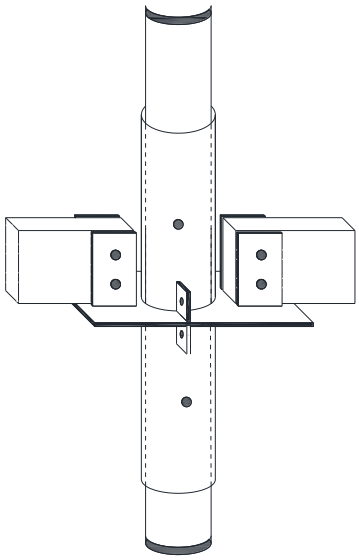


***Figura 49.*** *Conector metálico caña- caña / viga para andamios y encofrados*

Por último, en este apartado con base a las disposiciones de la norma ecuatoriana de la construcción en la sección que habla sobre elementos de caña de guadua (2016), justificamos que los conectores deben contactar con una fluencia superior a 240 MPa que es lo que cumple con el acero A36, con conexión de pernos mínimo de 9.5 mm y espesor de las platinas de 5 mm, todos estos valores son sacados de la norma en la sección 5.7.2 en la cual habla sobre uniones empernadas y con platinas, que es una conexión parecida a la que se desea utilizar para el proyecto.

***Riostra diagonal con perfil L (50x50x2 mm)***

Este elemento estructural cumple con la función de arrostramiento lateral dentro de nuestro sistema temporal tradicional, está conformado por un perfil metálico de tipo L con las medidas de 50 por 50 milímetros y 2 milímetros de espesor, además, deben ser diseñados para conectarse desde la base a los nodos metálicos anteriormente mencionados

con pernos de 1 centímetro de diámetro, ayuda, a reducir el riesgo de pandeo, mejorar la rigidez del conjunto y disipar las cargas horizontales que pueden estar expuestas al sistema. Fabricado con acero galvanizado, este tipo de elemento aporta estabilidad estructural y seguridad en zonas sísmicas.

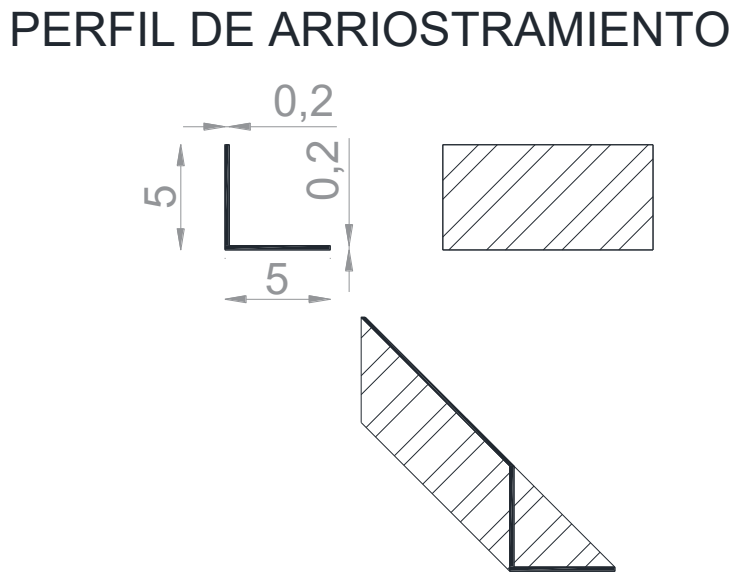



***Figura 50.*** *Perfil de arriostramiento*

## 2.3.Método de diseño estructural

### 2.3.1. Método de cargas mayoradas y factores de resistencia (LRFD)

Para el diseño de estos sistemas temporales y tradicionales, se utilizará el sistema de diseño en base a los factores de carga y resistencia (LRFD), en norma ACI-R 14 (2014) para el diseño de encofrados en el Capítulo 4 en la Sección 4.1.2, donde, afirma que dentro de los métodos de diseño para este sistema temporal se encuentra el ASD y el LRFD, está ultima se considera para el diseño del proyecto, de la misma manera, para el diseño de loa andamios se guía con la norma Europea UNE-EN 12811-1 (2005) , no afirma utilizar el método LRFD, pero, si utiliza el método de diseño por estados de límites basado en la aplicación de coeficientes parciales de seguridad, tanto a las cargas como la resistencia de los materiales, que es técnicamente válido utilizar este enfoque como un método equivalente funcional al LRFD para el análisis y diseño de andamios.

Para ello el instituto BSG (2015) afirma que el método LRFD (Load and Resistance Factor Design) “es la técnica moderna que se utiliza para el diseño estructural que afecta factores de seguridad tanto a las cargas como a las resistencias de los materiales”. Además, este sistema reconoce que tanto las cargas como las resistencias tienen variabilidad y deben tratarse con un enfoque probabilístico empleando la siguiente ecuación básica:

$$\sum(\emptyset \times R_n) \geq \sum(\gamma_i \times Q_i) \qquad \textit{(Ecuación 2)}$$

Donde:

$R_n$: Resistencia nominal del elemento

$\emptyset$: Factor de reducción de resistencia

$Q_i$: Cargas o acciones que actúan en el sistema

$\gamma_i$: Factores de carga

A continuación, se describen los pasos que se deben seguir para utilizar el método:

***a) Definir las cargas que actuarán sobre el sistema temporal:***

Para ello, en la norma ecuatoriana de la construcción en su apartado de cargas (no sísmicas) (2014), conforme a lo que delimita en este apartado se encuentran las siguientes cargas junto a sus símbolos

| | |
|---|---|
| D | Carga permanente (muerta-death) |
| E | Carga sísmica |
| L | Sobrecarga (carga viva-live) |
| $L_r$ | Sobrecarga de cubierta (carga viva-live) |
| S | Carga de granizo |
| W | Carga de viento |

Las cargas que se encuentran son todas las especificadas en la Sección de la norma para cualquier construcción, pero, al realizar el análisis de la estructura se omitirá las

consideraciones de las cargas de viento, granizo y sobrecarga de cubierta esto se debe a lo siguiente:

- En el caso de la cara de granizo, el sistema esta descrito para la ciudad de Manta en la provincia de Manabí, en donde, las precipitaciones son escasas debido a su clima cálido y seco durante gran parte del año y no se presentan condiciones climáticas extremas con granizadas que generen acumulaciones significativas sobre los sistemas, por lo tanto, esta carga se considera despreciable.
- Por otro lado, la carga de viento, aunque en la ciudad de Manta es una ciudad costera, la carga de viento es menor en comparación con la carga sísmica, por lo cual, en esta región clasificada como zona de amenaza sísmica alta, por ello, se considera que la acción es la que rige dentro del diseño estructural y la carga de viento no considerada en este análisis.

***b) Aplicar factores de carga***

En el siguiente apartado se determina la sección de la norma ecuatoriana, afirma que, las cargas factorizadas que se deben utilizar para el adecuado diseño de estructuras se encuentran 7 combinaciones, las cuales son:

Combinación 1:

$$1.4\,D \qquad \textit{(Ecuación 3)}$$

Combinación 2:

$$1.2\,D + 1.6\,L + 0.5\,max\,(L_r\,;\,S\,;\,R) \qquad \textit{(Ecuación 4)}$$

Combinación 3:

$$1.2\,D + 1.6\,max\,(L_r\,;\,S\,;\,R) + max\,(L\,;\,0.5W) \qquad \textit{(Ecuación 5)}$$

Combinación 4:

$$1.2\,D + 1.0\,W + L + 0.5\,max\,(L_r\,;\,S\,;\,R) \qquad \textit{(Ecuación 6)}$$

Combinación 5:

$$1.2\,D + 1.0\,E + L + 0.2\,S \qquad \textit{(Ecuación 7)}$$

Combinación 6:

$$0.9\,D\ +\ 1.0\,W \qquad \textit{(Ecuación 8)}$$

Combinación 7:

$$0.9\,D\ +\ 1.0\,E \qquad \textit{(Ecuación 9)}$$

***c) Cálculos de la resistencia nominal del sistema y factores de reducción de resistencia ∅***

Para este apartado con las resistencias de los materiales de compresión, flexión y corte se utiliza los valores de reducción de la resistencia los cuales son:

***Tabla 19.*** *Factores de reducción de resistencias.*

| Valor de ∅ | Miembro o conector |
|---|---|
| 0.9 | Sección total en tracción |
| 0.75 | Sección neta de conexión en tracción |
| 0.9 | Miembros en flexión |
| 0.85 | Miembros en compresión axial |
| 0.75 | Pernos en tracción |

***Nota.*** *Elaboración propia en base a BSG Institute (2015)*

***d) Verificación de seguridad***

Se verifica la ecuación de manera general para determinar si las secciones resisten lo calculado.

$$\sum(\emptyset \times R_n) \geq \sum(\gamma_i \times Q_i) \qquad \textit{(Ecuación 10)}$$

### 2.3.2. Validación del diseño estructural

La validación del diseño estructural del sistema propuesto se realizó mediante el software Etabs, la cual es una herramienta de análisis y modelación de elementos para el análisis estructural. De la misma manera, esta herramienta ayuda a comprender el comportamiento tridimensional de la estructura mediante la definición de materiales, secciones, condiciones de apoyo, vínculos y cargas aplicadas según las especificaciones del proyecto, además, con la ayuda de la modelación, proporciona momentos flectores, fuerzas cortantes y fuerzas axiales, así como deformaciones verticales y deslazamientos laterales de cada elemento estructural (Structural Academy, 2023).

## 2.4.Diseño del encofrado de losas

### 2.4.1. Descripción del sistema

Se analizará un sistema de encofrado tradicional, en donde, los puntales se dispondrán de manera ortogonal, estos se encuentran a 1 metro de distancia de cada una de estos, además, de una altura estimada de 2.60 metros. Sobre estos se apoyan elementos horizontales como las vigas y la superficie de contacto, los cuales contribuyen al soporte del peso propio del concreto y varias cargas asociadas al proceso constructivo. La losa se encuentra diseñada para una resistencia especificada de f'c = 210 kg/cm$^2$. Sin embargo, esta resistencia no es inmediata, sino que depende del tiempo y las condiciones de curado. Por ello, es necesario establecer un criterio técnico para la modelación estructural.

Durante las primeras horas después del vaciado, el concreto se encuentra en un estado de endurecimiento, donde, el elemento no alcanza la resistencia especificada, por ello, según estudios normativos como el ACI, estima que con cemento tipo II se considerará que a las 24 horas puede alcanzar la resistencia de 15% a 25% de su resistencia final. En este sentido, el estudio considerará que el hormigón ha alcanzado aproximadamente un 20% que equivale a un valor alrededor de 42 kg/cm$^2$, valor a utilizar en la modelación, esta suposición se utiliza exclusivamente con fines de modelación.

Bajo esta premisa se simulará el sistema asumiendo que la losa empieza a comportarse como un diafragma rígido, lo cual, influye directamente al comportamiento y distribución de fuerzas horizontales entre elementos verticales. Este enfoque es necesario para regiones sísmicas como la ciudad de Manta, donde, la respuesta dinámica de estas estructuras afecta la estabilidad del proceso constructivo. La interacción entre losa y los puntales será modelada con conexiones rígidas. Además, los materiales utilizados para los elementos se considerarán propiedades mecánicas específicas, lo cual, permitirá un

análisis más preciso del comportamiento del sistema completo. Por último, se colocan riostras después de 4 vanos para verificar su comportamiento.

### 2.4.2. Cargas consideradas

Hay que recordar que para determinar los pesos que van a actuar se utiliza la siguiente formula:

$$Peso = Densidad\ x\ Volumen \qquad (Ecuación\ 11)$$

***Cargas Muertas***

Dentro de las cargas muertas que se consideran para el sistema de encofrado tradicional se encuentran los siguientes:

*Losa de compresión*

La losa de compresión para modelar en el sistema consiste en una losa nervada de 25 centímetros con losa de compresión de 5 centímetros, bloques de 20 para el alivianamiento como se ve en la siguiente imagen:

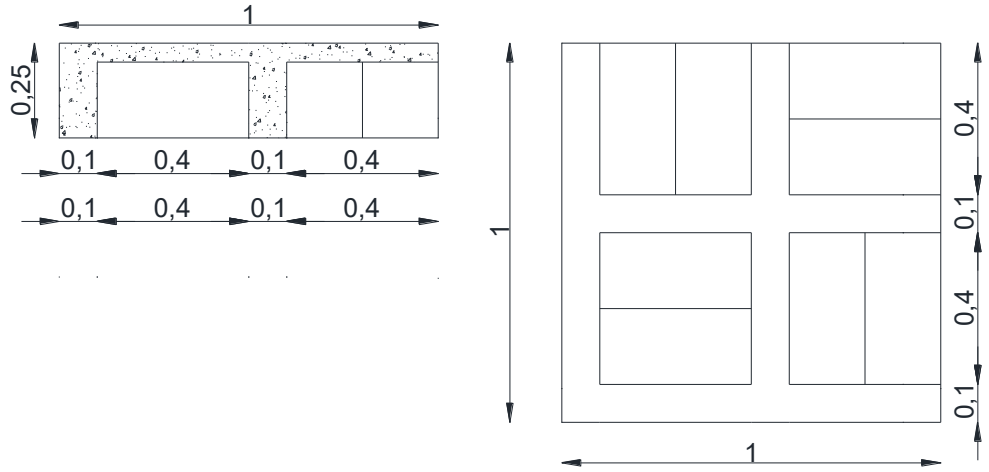



***Figura 51***. *Losa nervada de 25 centímetros*

A continuación, se detalla el cálculo del peso de la losa, la cual, se compone de la losa de compresión, nervios y bloques de aliviana miento, además, que estimare un valor de 80 kg/m2 por las vigas que no se consideran dentro del diseño, pero en la práctica cuando se utilizan losas nervadas aligeradas con vigas planas, es común ejecutar el encofrado de ambos elementos de forma conjunta.

***Tabla 20.*** *Peso propio de la losa*

| ***Losa de 25 cm nervada en dos direcciones para viga planas*** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ***Peso estimado*** | **m** | **m** | **m** | **Densidad (kg/m3)** | **Peso (kg/m2)** |
| *Losa de compresión* | 0.05 | 1 | 1 | 2400 | 120 |
| *Peso de nervios* | 0.2 | 0.1 | 3.6 | 2400 | 172.8 |
| *Bloques de alivianamiento* | 0.2 | 0.8 | 0.8 | 850 | 108.8 |
| | | | | **Peso propio de la losa:** | **401.6** |
| | | | | *Peso extra por vigas planas:* | 80 |
| | | | | **Peso total:** | **481.6** |

***Nota.*** *Para las diferentes densidades se basa a la norma ecuatoriana de la construcción en su capítulo de cargas no sísmicas.*

*Peso de las viguetas*

Para el peso de la viga se considera secciones de 5x10 centímetros puestas a cada metro por ello el cálculo es el siguiente:

***Tabla 21****. Peso viguetas (encofrado)*

| ***Peso de las viguetas*** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ***Peso estimado*** | ***m*** | ***m*** | ***m*** | ***Densidad (kg/m3)*** | ***Peso (kg/m2)*** |
| *Perfil de madera (5x10 cm)* | *0.05* | *0.1* | *1* | *490* | ***2.45*** |

***Fuente:*** *Elaboración propia.*

*Peso de la superficie de contacto*

La Superficie de Contacto utiliza tablones que pueden ser de 10 centímetros de ancho por 2 centímetros de alto a lo largo de toda la superficie donde se vaciara la losa nervada:

***Tabla 22.****Peso de la superficie de contacto (encofrado)*

| **Peso de la superficie de contacto** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ***Peso estimado*** | **m** | **m** | **m** | **Densidad (kg/m3)** | **Peso (kg/m2)** |
| Superficie tablones de tablas de encofrado | 0.2 | 1 | 1 | 490 | **98** |

*Peso de los conectores*

Para el peso de los conectores, utilizamos las características antes mencionadas como se encuentra a continuación:

***Tabla 23.*** *Peso de los conectores (encofrado)*

| **Conectores** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ***Peso estimado*** | **m** | **m** | **m** | **Densidad (kg/m3)** | **Peso (kg/m2)** |
| *Plancha base* | 0.005 | 0.3 | 0.2 | 7850 | 2.355 |
| *Placas de Uniones Riostra* | 0.08 | 0.04 | 0.005 | 7850 | 0.126 |
| *Tubos* | 0.25 | 0.1016 | 0.002 | 7850 | 1.228 |
| *Placas de Uniones Vigas* | 0.05 | 0.1 | 0.005 | 7850 | 0.196 |

| Peso Total | | | | | | 3.905 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| En un metro cuadrado hay 4 Conectores, por ende | | | | | | |
| | | | | | 4 | **15.620** |

*Peso de las riostras*

Peso de la riostra con las características antes mencionadas:

***Tabla 24.*** *Peso de las riostras (encofrado)*

| Peso del arriostramiento diagonal | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ***Peso estimado*** | ***t*** | **m** | **m** | **m** | **Densidad (kg/m3)** | **Peso (kg/m2)** |
| *Perfil L 50x50x2 mm* | 0.002 | 0.05 | 0.048 | 1.41421356 | 7850 | 2.176 |

*Peso de los puntales*

Como se mencionó anteriormente son de caña de guadua, por lo tanto:

***Tabla 25****. Peso de los puntales (encofrado)*

| Peso de los puntales | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ***Peso estimado*** | **M** | **M** | **M** | **Densidad (kg/m3)** | **Peso (kg/m2)** |
| Caña de guadua | 2.5 | 0.09 | 0.008 | 900 | 4.637 |
| En un metro cuadrado hay 4 puntales, por ende | | | | | |
| | | | | 4 | **18.548** |

*Peso muerto total (death)*

El peso total estimado de la estructura es la suma de todos los elementos que se aplican dentro de la estructura, en donde, se encuentra el peso de la losa, superficie de contacto, viguetas, conectores, diagonales y puntales todo correspondiente a las propiedades de cada elemento, de la misma manera, en el programa de Etabs se considera las cargas de la losa, superficie de contacto y conectores, ya que, las demás cargas el programa se encarga de considerarlo, a continuación se muestra el peso muerto total:

***Tabla 26****. Peso muerto total (encofrado)*

| Peso muerto total | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Losa** | **Superficie de contacto** | **Viguetas** | **Conectores** | **Diagonales** | **Puntales** | **Peso (kg/m2)** |
| 481.6 | 98 | 2.45 | 15.62 | 2.176 | 18.548 | **633.98** |
| | | | | | | **Peso (Etabs)** |
| 481.6 | 98 | | 15.62 | | | **595.22** |

***Carga viva***

En la norma ACI 347 R-14 en su sección 4.2.1, habla sobre las cargas verticales y las cargas vivas, en la cual, afirma que para las cargas de servicio sin vehículos motorizados

debe ser 2.4 kPa, mientras que, con vehículos motorizados un valor de 3.6 kPa, por otro lado, en este mismo apartado se afirma que la suma de la carga viva y muerta sin vehículos motorizados debe ser mayor a 6 kPa. Para el estudio, se utiliza el valor de 3.6 kPa considerada como carga viva con vehículos motorizados:

***Tabla 27.*** *Carga viva para encofrado*

| Carga viva | kPa | kg/m2 |
|---|---|---|
| Carga viva con vehículos motorizados | 3.6 | 367.092 |

.

### *Carga sísmica*

Para la carga sísmica es necesario realizar los pasos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción en la Sección de Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente (2014) que son los siguientes:

1. *Determinar los factores de importancia:*

***Tabla 28.*** *Factor de importancia de acuerdo con el tipo de uso*

| Categoría | Tipo de uso, destino e importancia | Coeficiente I |
|---|---|---|
| **Edificaciones esenciales** | Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras substancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras substancias peligrosas. | 1.5 |
| **Estructuras de ocupación especial** | Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente | 1.3 |
| **Otras estructuras** | Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores | 1.0 |

***Fuente:*** (NEC - SE - DS, 2014)

2. *Categoría sísmica y valor Z:*

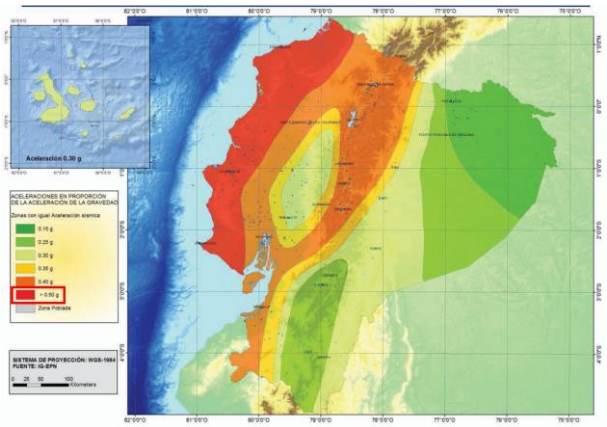


***Figura 52.*** *Categoría sísmica y valor Z*
***Fuente:*** *(NEC - SE - DS, 2014)*

***Tabla 29****. Valor factor Z*

| Zona sísmica | I | II | III | IV | V | VI |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Valor factor Z | 0.15 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | ≥ 0.50 |
| Caracterización del peligro sísmico | Intermedia | Alta | Alta | Alta | Alta | Muy alta |

***Fuente:*** *(NEC - SE - DS, 2014)*

Este valor depende del lugar de ubicación de la construcción (zona roja) zona VI

3. *Tipo de suelo*

Para el estudio se ha considerado el tipo de Suelo D al ser el más común para zonas urbanas de Manta, además, que en la norma ecuatoriana de la construcción permite adoptar este valor como conservador cuando no se encuentra un estudio geotécnico especifico y así poder garantizar un diseño sísmico seguro sin subestimar las aceleraciones esperadas.

4. *Coeficientes de amplificación y comportamiento (*valores dado en la NEC)

***Tabla 30.*** *Tipo de suelo y factores de sitio Fa.*

| Tipo de perfil del subsuelo | Zona sísmica y factor Z | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV | V | VI |
| | 0.15 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | ≥0.5 |
| A | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| B | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C | 1.4 | 1.3 | 1.25 | 1.23 | 1.2 | 1.18 |
| D | 1.6 | 1.4 | 1.3 | 1.25 | 1.2 | 1.12 |
| E | 1.8 | 1.4 | 1.25 | 1.1 | 1.0 | 0.85 |
| F | Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4 | | | | | |

***Fuente:*** *(NEC - SE - DS, 2014)*

***Tabla 31.*** *Tipo de suelo y factores de sitio Fd*

| Tipo de perfil del subsuelo | Zona sísmica y factor Z | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV | V | VI |
| | 0.15 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | ≥0.5 |
| A | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| B | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| C | 1.36 | 1.28 | 1.19 | 1.15 | 1.11 | 1.06 |
| D | 1.62 | 1.45 | 1.36 | 1.28 | 1.19 | 1.11 |
| E | 2.1 | 1.75 | 1.7 | 1.65 | 1.6 | 1.5 |
| F | Véase Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4 | | | | | |

***Fuente:*** *(NEC - SE - DS, 2014)*

***Tabla 32.*** *Tipo de suelo y factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs*

| Tipo de perfil del subsuelo | Zona sísmica y factor Z | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV | V | VI |
| | 0.15 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | ≥0.5 |
| A | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |
| B | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |
| C | 0.85 | 0.94 | 1.02 | 1.06 | 1.11 | 1.23 |
| D | 1.02 | 1.06 | 1.11 | 1.19 | 1.28 | 1.40 |
| E | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 2 |
| F | Véase Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4 | | | | | |

***Fuente:*** *(NEC - SE - DS, 2014)*

5. *Factor usado en el espectro de diseño elástico:* r=1 para todo tipo de suelo menos F

6. *Valores de la relación de amplificación espectral:* n=1.80 para provincias de la costa (excepto Esmeraldas)
7. *La altura de la estructura:* el proyecto tiene una altura de 2.60 metros

8. *Coeficientes que depende al tipo de estructura Ct y* $\boldsymbol{\alpha}$

Para estos coeficientes en la estructura de madera no se encuentra un valor, por ello, se utilizó los valores dados por ASCE 7-16 minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures (2019) los cuales son:

***Tabla 33.*** *Valores aproximados de parámetros Ct y x*

| Structure Type | $C_t$ | x |
|---|---|---|
| Moment-resisting frame systems in which the frames resist 100% of the required seismic force and are not enclosed or adjoined by components that are more rigid and will prevent the frames from deflecting where subjected to seismic forces: | | |
| Steel moment-resisting frames | 0.028 (0.0724)[a] | 0.8 |
| Concrete moment-resisting frames | 0.016 (0.0466)[a] | 0.9 |
| Steel eccentrically braced frames in accordance with Table 12.2-1 lines B1 or D1 | 0.03 (0.0731)[a] | 0.75 |
| Steel buckling-restrained braced frames | 0.03 (0.0731)[a] | 0.75 |
| All other structural systems | 0.02 (0.0488)[a] | 0.75 |

[a]Metric equivalents are shown in parentheses.

***Fuente:*** *(ASCE 7-16, 2019)*

*9. Periodo de vibración por el método 1*

$$T = C_t h_n^a = 0.0488 * 2.60^{0.75} = 0.100\ seg \qquad \textit{(Ecuación 12)}$$

*10. Periodo de vibración por el método 2*

Como afirma la NEC para el método dos el periodo admisible ($T_a$) no puede ser:

$$T_a = 1.3 * T = 1.3 * 0.100 = 0.130\ seg \qquad \textit{(Ecuación 13)}$$

*11. Periodo límite de vibración en el espectro de sismo*

$$T_0 = 0.1\, F_s \frac{F_d}{F_a} = 0.1 * 1.4 * \frac{1.11}{1.12} = 0.139\ seg \qquad \textit{(Ecuación 14)}$$

$$T_c = 0.55\, F_s \frac{F_d}{F_a} = 0.55 * 1.4 * \frac{1.11}{1.12} = 0.763\ seg \qquad \textit{(Ecuación 15)}$$

*12. Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T*

***Tabla 34****. Determinación de k*

| Valores de T(s) | k |
|---|---|
| $\leq 0.5$ | 1 |
| $0.5 < T \leq 2.5$ | 0.75+0.50 T |
| $T > 2.5$ | 2 |

***Fuente:*** *(NEC - SE - DS, 2014)*

*13. Cálculo del espectro de respuesta elástico de aceleraciones (Sa)*

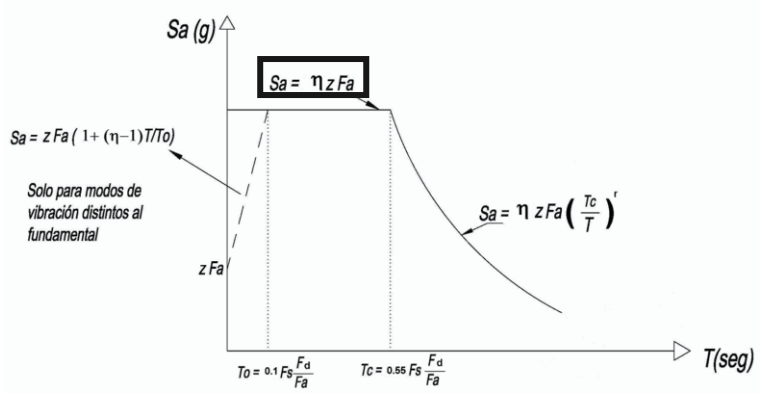



***Figura 53.*** *Espectro elástico horizontal*
***Fuente:*** *(NEC - SE - DS, 2014)*

$$s_a = n\ z\ F_a\ = 0.5 * 1.12 * 1.8\ = 1.008\ g \qquad \textit{(Ecuación 16)}$$

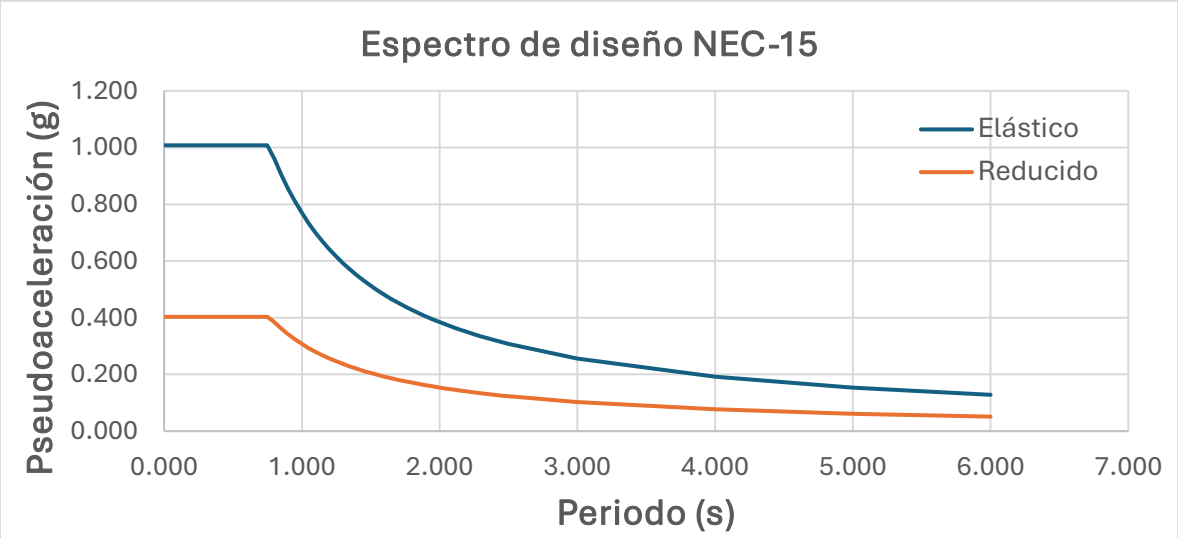



***Figura 54.*** *Espectro de diseño encofrado*
***Fuente:*** *Elaboración propia*

*14. Coeficiente de reducción de respuesta estructural*

***Tabla 35.*** *Factores de reducción de resistencia R*

| Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada | R |
|---|---|
| **Pórticos resistentes a momento** | |
| Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM, limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros. | 3 |
| Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM con armadura electrosoldada de alta resistencia | 2.5 |
| Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos. | 2.5 |

***Fuente:*** *(NEC - SE - DS, 2014)*

*15. Coeficiente en irregularidad en planta y elevación*

Como se especificó en la descripción del sistema al inicio no existe irregularidades.

*16. Coeficiente del cortante basal*

$$\boldsymbol{C = \frac{I\ Sa(Ta)}{R\ \emptyset_P\ \emptyset_E}} = \frac{1\ *\ 1.008}{2.50\ *\ 1\ *\ 1} = 0.403 \qquad \textit{(Ecuación 17)}$$

## *17. Tabla de resumen de cálculos del espectro de diseño*

***Tabla 36.*** *Cálculos de coeficiente y corte basal NEC 2015 para encofrados*

| **Cálculo de coeficientes y corte basal NEC 2015** | | |
|---|---|---|
| Factor de importancia | **I=** | 1.000 |
| Categoría Sísmica | **Zona Sísmica=** | VI |
| Valor de factor Z | **Z=** | 0.500 |
| Perfil del Suelo | **Suelo Tipo=** | D |
| Coeficiente de Amplificación del suelo en la zona de periodo corto | **Fa=** | 1.120 |
| Coeficiente de Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca | **Fd=** | 1.110 |
| Comportamiento no lineal de los suelos | **Fs=** | 1.400 |
| Factor usado en el espectro de diseño elástico | **r=** | 1.000 |
| relación de amplificación espectral | **η=** | 1.800 |
| Altura de la edificación en metros | **hn=** | 2.600 |
| Tipo Estructura | Otros tipos de Estructuras | |
| Coeficiente que depende del tipo de edificio | **Ct=** | 0.049 |
| | **α=** | 0.750 |
| Periodo de Vibración Método 1 | **Ta CODIGO=** | 0.100 |
| Periodo de Vibración Método 2 | **1.3 * Ta Código** | 0.130 |
| Periodo Límite de Vibración | **To=** | 0.139 |
| Periodo de Vibración | **Ta=** | 0.100 |
| Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño | **Tc=** | 0.763 |
| Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T | **k=** | 1.000 |
| Aceleración Espectral | **Sa (Ta)=** | 1.008 |
| Coeficiente de Reducción de Respuesta Estructural | **R=** | 2.50 |
| Irregularidad en planta | **ΦP=** | 1.000 |
| Irregularidad en elevación | **ΦE=** | 1.000 |
| Coeficiente basal | **C=** | 0.403 |

## ***Tabla de resumen de cargas que se aplicaran en el sistema de encofrado***

***Tabla 37.*** *Tabla resumen de cargas en encofrados*

| **Encofrados tradicionales** | **kg/m2** | **c** | **k** |
|---|---|---|---|
| **Carga viva** | 367.092 | | |
| **Peso propio** | 39.502 | | |
| **Sobrecarga muerta** | 595.220 | | |
| **Caga sísmica** | **Espectro** | 0.4032 | 1 |

### 2.4.3. Diseño del sistema

Para la disposición como se mencionó anteriormente se espera que tenga la siguiente configuración:

*Planta del encofrado*

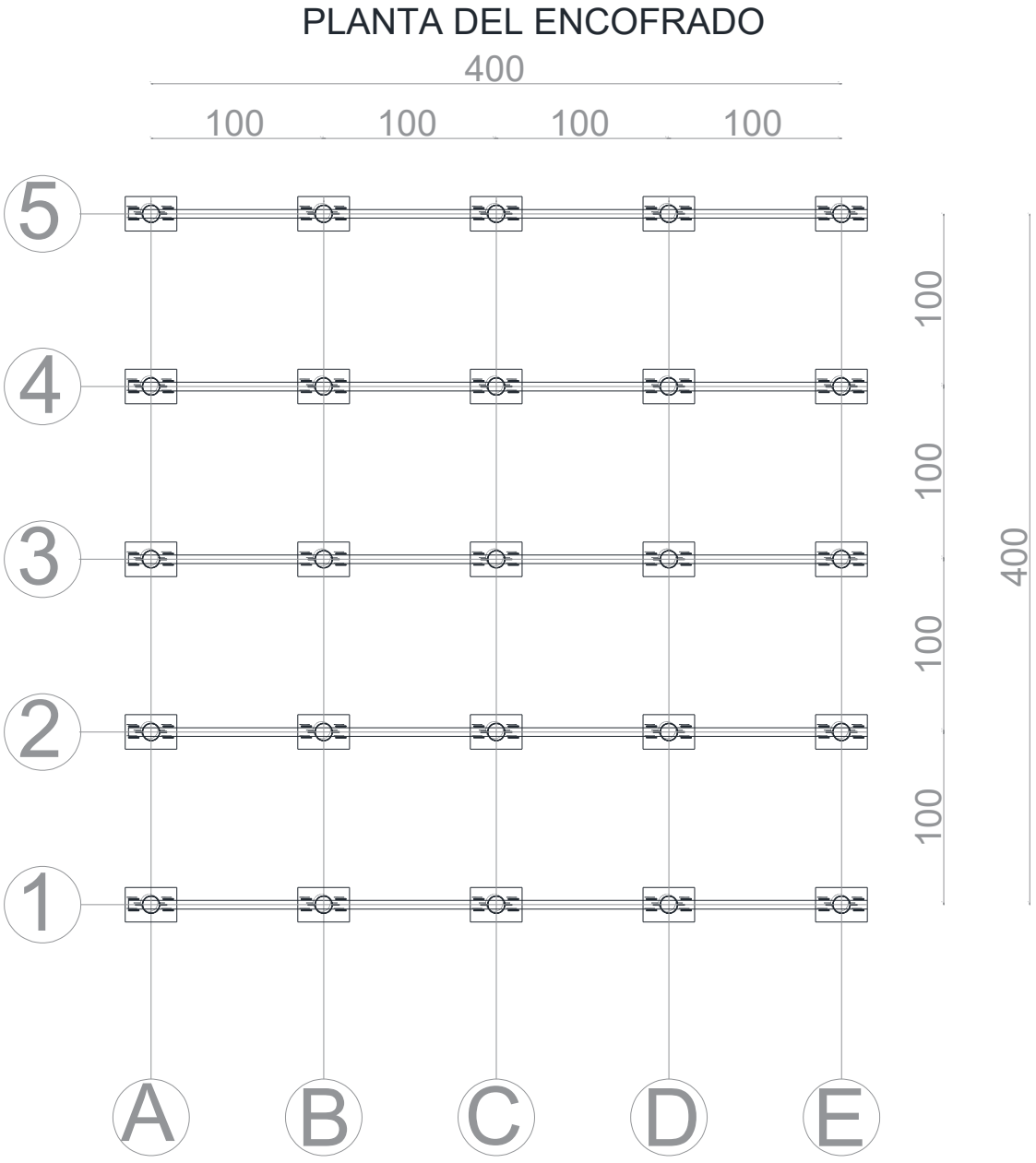



***Figura 55.*** *Diseño en planta del encofrado*

*Perfiles de los ejes*

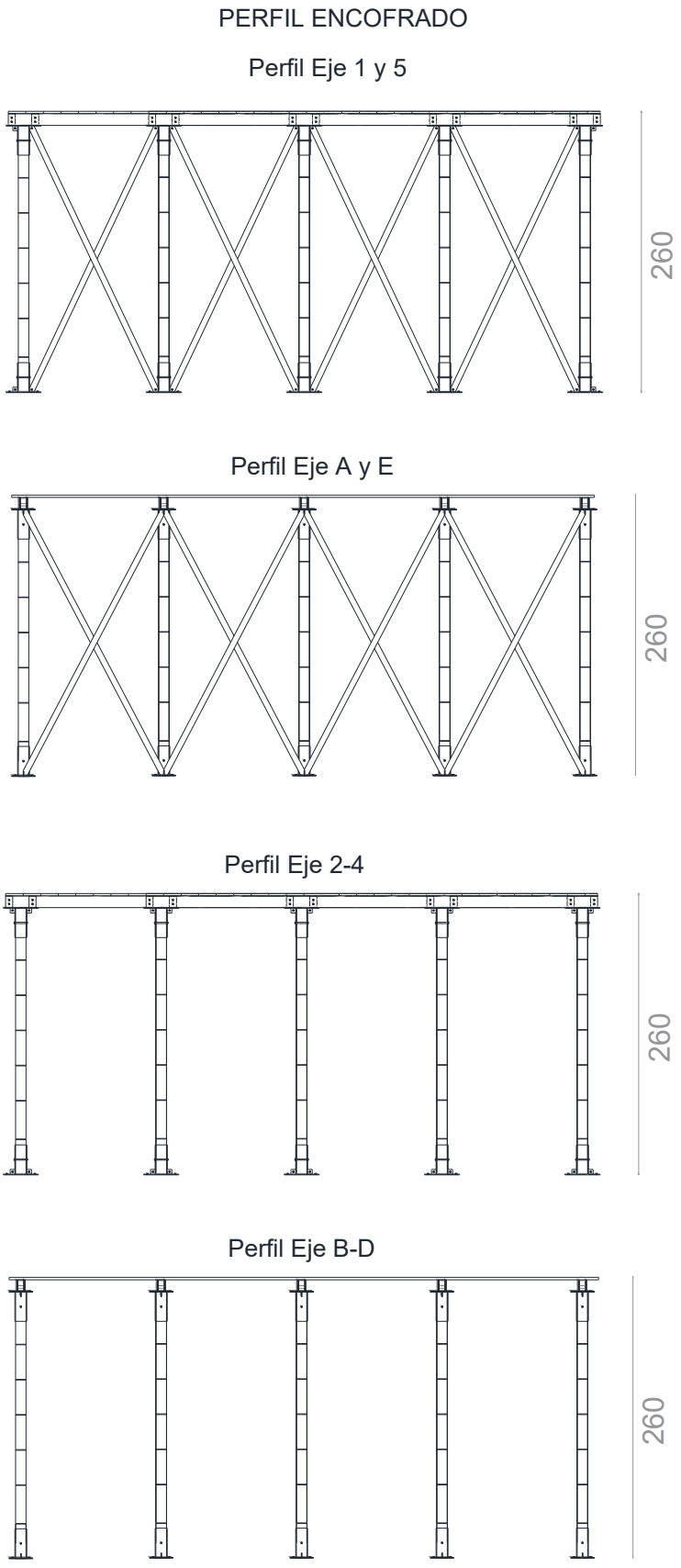



***Figura 56.*** *Perfiles de los ejes del encofrado*

*Diseño 3D*

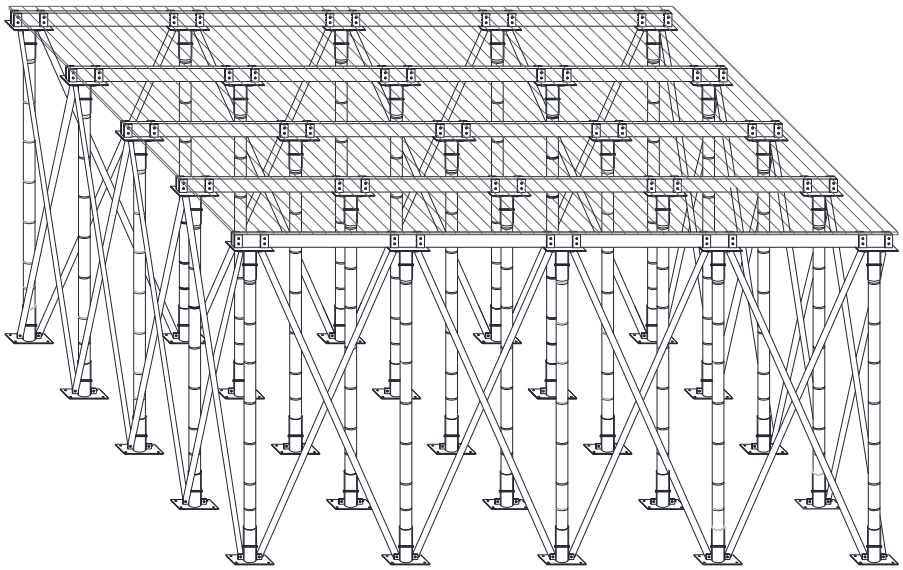


***Figura 57.*** *Diseño 3D del encofrado*

## 2.5.Diseño del sistema de andamios exteriores

### 2.5.1. Cargas consideradas

***Cargas muertas***

Para las cargas muertas del sistema de andamios, especialmente el peso propio de la estructura, se considera los mismos valores determinados para los encofrados tanto para puntales, superficie de contacto, y riostra, por otro lado, en estos sistemas se debe considerar un sobre peso por estructuras que se utilizan para seguridad de los operarios como tornillos, abrazaderas, amarres, bases, escaleras y pasamanos, para esto, se considera un sobrepeso de 50 kg/m$^2$ y el cálculo del peso del conector de este sistema.

***Tabla 38.*** *Peso conector de andamio*

| Conectores | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ***Peso estimado*** | **m** | **m** | **M** | **Densidad (kg/m3)** | **Peso (kg/m2)** |
| **Plancha base** | 0.005 | 0.3 | 0.2 | 7850 | 2.355 |
| **Placas de uniones riostra** | 0.16 | 0.04 | 0.005 | 7850 | 0.251 |
| **Tubos** | 0.5 | 0.1016 | 0.002 | 7850 | 2.456 |
| **Placas de uniones vigas** | 0.05 | 0.1 | 0.005 | | 0.000 |
| Peso Total | | | | | **5.062** |
| En un metro cuadrado hay 4 Conectores, por ende | | | | | |
| | | | | 4 | **20.250** |

***Tabla 39.*** *Peso muerto de los andamios*

| Carga Muerta de Andamios | kg/m2 |
|---|---|
| Plataforma de trabajo | 98 |
| Peso de viguetas | 2.45 |
| Pesos de los puntales | 19.29 |
| Arriostramiento | 17.763 |
| Conectores | 20.250 |
| Sobrepeso por accesorios | 50 |

### *Carga viva*

Para la carga viva se ha optado por considerar una clase de carga 3 según la norma UNE-EN 12811-1 (2003) con una carga uniformemente distribuida de 2.0 kN/m². Esta categoría es adecuada para trabajos de mantenimiento, pintura o inspección en fachadas, tareas previstas en el alcance del presente proyecto. En correspondencia y de acuerdo con la misma norma, se establece un ancho mínimo de plataforma de 0.60 metros, aunque se recomienda un ancho de 0.90 metros para mayor comodidad del trabajador y circulación de herramientas, asegurando así estabilidad, funcionalidad y seguridad en las labores sobre el andamio artesanal propuesto.

***Tabla 40.*** *Cargas de servicio en las áreas de trabajo*

| Clases de carga | Carga distribuida uniformemente $q_1$ kN/m² | Carga concentrada en un área de 500 mm × 500 mm $F_1$ kN | Carga concentrada en un área de 200 mm × 200 mm $F_2$ kN | Carga en un área parcial $q_2$ kN /m² | Carga en un área parcial Factor del área parcial $a_p$ [1)] |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,75 [2)] | 1,50 | 1,00 | – | – |
| 2 | 1,50 | 1,50 | 1,00 | – | – |
| 3 | 2,00 | 1,50 | 1,00 | – | – |
| 4 | 3,00 | 3,00 | 1,00 | 5,00 | 0,4 |
| 5 | 4,50 | 3,00 | 1,00 | 7,50 | 0,4 |
| 6 | 6,00 | 3,00 | 1,00 | 10,00 | 0,5 |

1) Véase el apartado 6.2.2.4.
2) Véase el apartado 6.2.2.1.

***Fuente:*** *(Comité Europeo de Normalización, 2003)*

### *Carga sísmica*

La carga sísmica de este sistema se calculó de la misma manera que para los encofrados al utilizar los mismos materiales, el mismo tipo de suelo y la misma zona sísmica, pero, a diferencia del encofrado, el andamio cambia en su altura pasando de 2.60

a 7.80 metros, este valor, hace que cambie los límites de los periodos, pero no afecta de manera significativa los otros términos, a continuación, se muestra la tabla de los valores utilizados para este sistema:

***Tabla 41.*** *Cálculos de coeficiente y corte basal NEC 2015 para andamios*

| **Cálculo de coeficientes y corte basal NEC 2015** | | |
|---|---|---|
| Factor de importancia | **I=** | 1.000 |
| Categoría Sísmica | **Zona Sísmica=** | VI |
| Valor de factor Z | **Z=** | 0.500 |
| Perfil del Suelo | **Suelo Tipo=** | D |
| Coeficiente de Amplificación del suelo en la zona de periodo corto | **Fa=** | 1.120 |
| Coeficiente de Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca | **Fd=** | 1.110 |
| Comportamiento no lineal de los suelos | **Fs=** | 1.400 |
| Factor usado en el espectro de diseño elástico | **r=** | 1.000 |
| relación de amplificación espectral | **η=** | 1.800 |
| Altura de la edificación en metros | **hn=** | 7.800 |
| Tipo Estructura | **Otros tipos de estructuras** | |
| Coeficiente que depende del tipo de edificio | **Ct=** | 0.049 |
| | **α=** | 0.750 |
| Periodo de Vibración Método 1 | **Ta CODIGO=** | 0.228 |
| Periodo de Vibración Método 2 | **1.3 * Ta Código** | 0.296 |
| Periodo Límite de Vibración | **To=** | 0.139 |
| Periodo de Vibración | **Ta=** | 0.228 |
| Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño | **Tc=** | 0.763 |
| Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T | **k=** | 1.000 |
| Aceleración Espectral | **Sa (Ta)=** | 1.008 |
| Coeficiente de Reducción de Respuesta Estructural | **R=** | 2.50 |
| Irregularidad en planta | **ΦP=** | 1.000 |
| Irregularidad en elevación | **ΦE=** | 1.000 |
| Coeficiente basal | **C=** | 0.403 |

### *Tabla de resumen de cargas que se aplicaran en el sistema de encofrado*

***Tabla 42.*** *Tabla resumen de cargas en andamios*

| **Andamios tradicionales** | **kg/m2** | **c** | **k** |
|---|---|---|---|
| **Cargas vivas** | 200.000 | | |
| **Peso propio** | 39.502 | | |
| **Sobrecarga muerta** | 168.250 | | |
| **Cagas sísmicas** | **Espectro** | 0.4032 | 1 |

### 2.5.2. Diseño del sistema

Para la disposición como se mencionó anteriormente se espera que tenga la siguiente configuración:

*Planta del andamio*

***Figura 58.*** *Diseño en planta del andamio*

*Perfiles de los ejes*

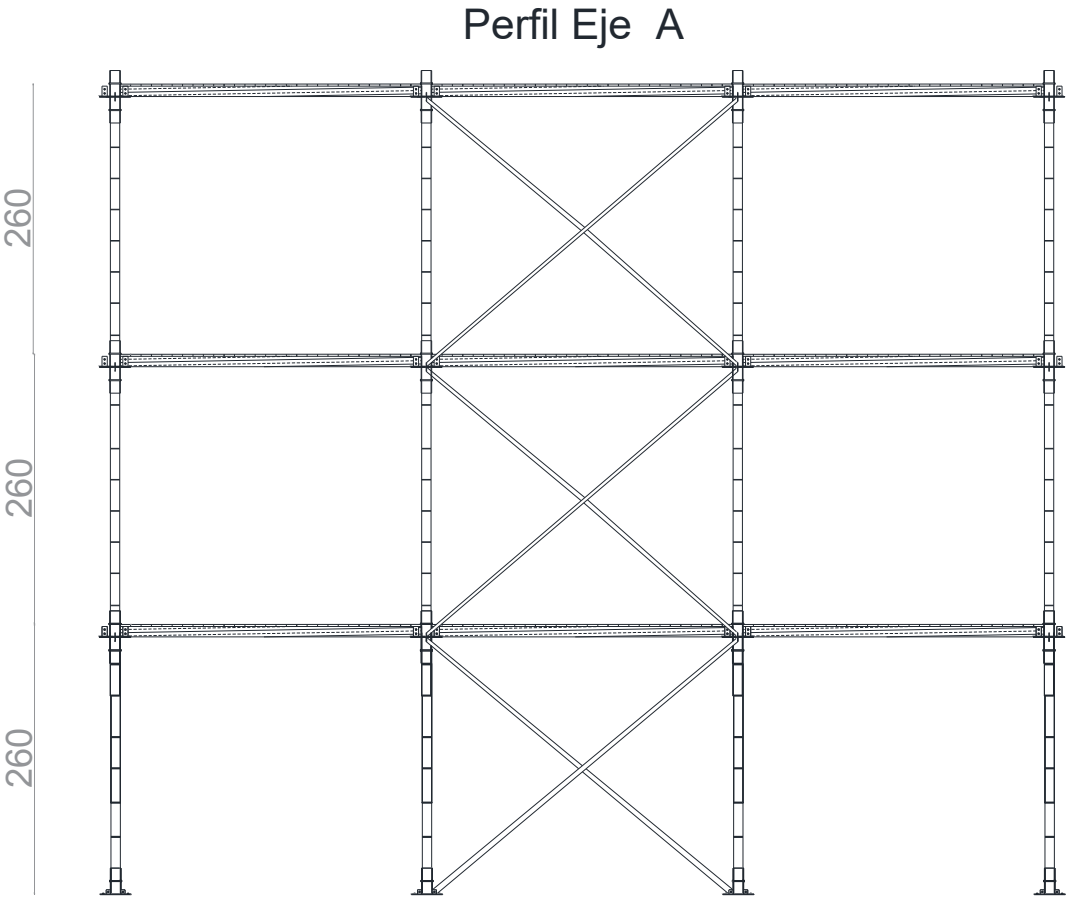



***Figura 59.*** *Perfiles eje A (andamio)*

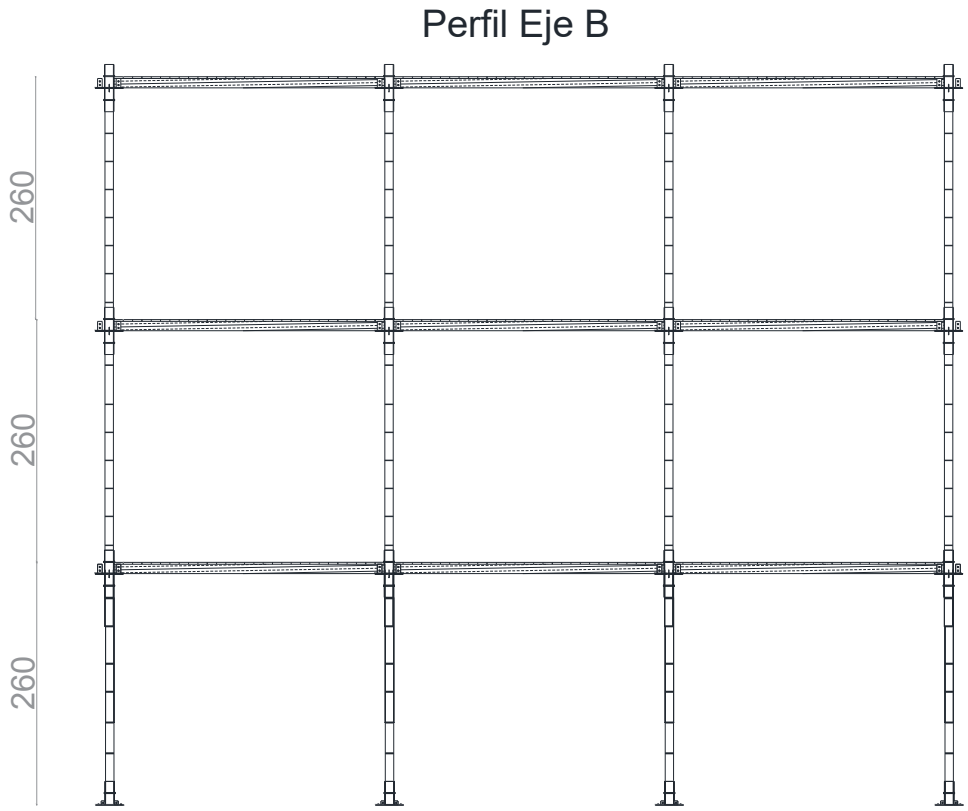



***Figura 60.*** *Perfiles eje B (andamio)*

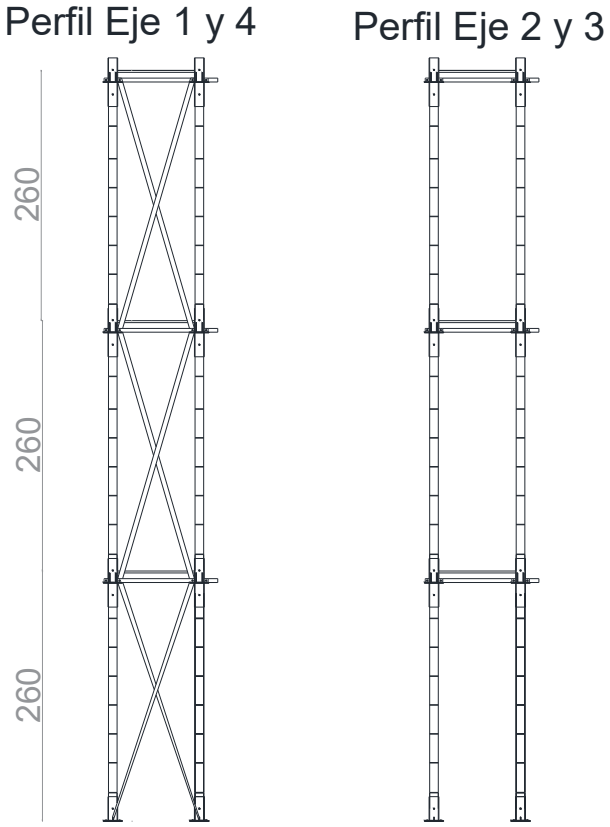



***Figura 61.*** *Perfiles eje 1-4 (andamio)*

*Diseño 3D*

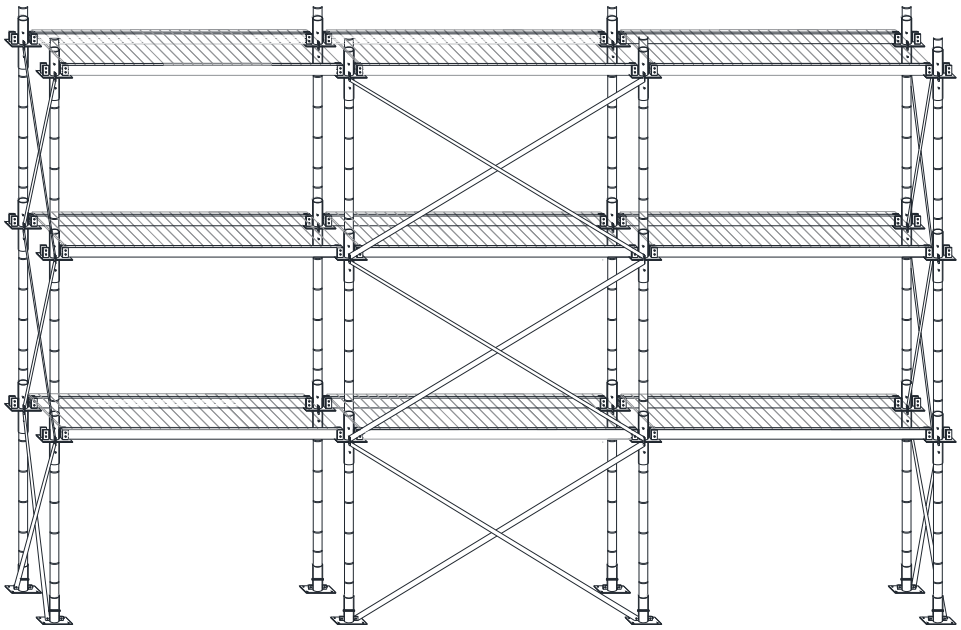


***Figura 62.*** *Diseño 3D del andamio*

## 2.6.Análisis de estabilidad

Dentro de los parámetros que analizaremos para comprobar la estabilidad de la estructura se encuentran los siguientes:

### 2.6.1. Modos de vibración

Dentro de los modos de vibración, determina las formas como la estructura se va a oscilar libremente. Este apartado se obtendrá mediante el análisis modal en el software Etabs y permite identificar el comportamiento dinámico del sistema, además, que se debe comprobar que los dos primeros modos de vibración sea un movimiento traslacional y el tercero rotacional (Chopra, 2012).

### 2.6.2. Masa participativa

La masa participativa según la norma ecuatoriana en su apartado sobre el diseño sismo resistente nos refleja que es fundamental verificar que se captura al menos el 90% de la masa en los primeros modos principales y este valor nos refleja la masa estructural que se moviliza en cada modo de vibración (NEC - SE - DS, 2014).

### 2.6.3. Derivas

La deriva es la diferencia de desplazamientos relativos ente dos pisos consecutivos y se expresa como relación respecto a la altura, además, que en el capítulo de la norma ecuatoriana de la construcción en el apartado de diseño sismo resistente afirma que las estructuras no pueden ser mayor al 2% (NEC - SE - DS, 2014). Para ello utilizamos la siguientes formulas:

$$\Delta_E = \frac{D}{h} \; ; \; \Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E \qquad \textit{(Ecuación 18)}$$

Donde:

$\Delta_E$: Deriva elástica

D: Desplazamiento relativo

h: Altura de piso

R: Factor de reducción de resistencia

$\Delta_M$: Deriva máxima inelástica $\geq 2\%$

### 2.6.4. Deflexión en vigas

La deflexión de los elementos horizontales se debe calcular la fórmula para carga distribuida para una viga bi-apoyada la cual es la siguiente:

$$\delta_{Biapoyada} = \frac{5\, w\, L^4}{384\, E\, I}; \delta_{Empotrada} = \frac{w\, L^4}{384\, E\, I} \qquad \textit{(Ecuación 19)}$$

Donde:

w: Carga distribuida

L: Longitud de la viga

E: Elasticidad de acuerdo con el material

I: Inercia de la sección

### 2.6.5. Cortante en vigas

La fuerza cortante se estima para las cargas uniformes, las cuales:

$$V = \frac{w\, L}{2} \; ; \; T = \frac{1.5\, V}{A} \qquad \textit{(Ecuación 20)}$$

Donde:

V: Fuerza cortante

L: Longitud de la viga

A: Área de la sección

w: Carga distribuida

### 2.6.6. Flexión de vigas

El momento máximo se determina como:

$$M_{externo} = \frac{w\,L^2}{12}; M_{medio} = \frac{w\,L^2}{24}; M = \frac{w\,L^2}{8}\ ;\ \sigma = \frac{M\,y}{I} \qquad \textit{(Ecuación 21)}$$

Donde:

L: Longitud de la viga

y: Distancia del eje neutro

w: Carga distribuida

### 2.6.7. Torsión en vigas

La torsión del elemento estructural lo vamos a evaluar mediante:

$$T_t = \frac{T\,r}{J} \qquad \textit{(Ecuación 22)}$$

Donde:

T: Momento torsor

r: Radio del elemento

J: Módulo polar de inercia

### 2.6.8. Chequeo a compresión riostra

Se debe verificar el pandeo en este caso para ello se debe aplicar:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2\ E}{(KL/r)^2} \qquad \textit{(Ecuación 23)}$$

Resistencia a compresión axial de diseño:

$$P_n = F_{cr}\ *\ A_g\ \Rightarrow\ P_u \leq \emptyset_C\ *\ P_n \qquad \textit{(Ecuación 24)}$$

Donde:

$\emptyset_C$: Factor de reducción por compresión (0.9)

$A_g$: Área bruta

K: Factor de longitud efectiva (usualmente 1.0 si está articulada)

L: Longitud de la riostra

r: Radio de giro del elemento

E: Elasticidad de acuerdo con el material.

### 2.6.9. Chequeo a tracción riostra

Para el caso de la riostra que trabaja a tracción se debe aplicar al área bruta:

$$P_n = F_y * A_g \Rightarrow P_u \leq \emptyset_T * P_n \qquad \textit{(Ecuación 25)}$$

Donde:

$F_y$: Esfuerzo de fluencia

$\emptyset_T$: Factr de reducción por tracción (0.9)

$A_g$: Área bruta

### 2.6.10. Pandeo en puntales

La estabilidad de los puntales se verifica mediante la carga crítica de pandeo de Euler la cual es:

$$\mathrm{P_{cr}} = \frac{\pi^2 \, \mathrm{E\,I}}{(\mathrm{K\,L})^2.} \qquad \textit{(Ecuación 26)}$$

Donde:

$P_{cr}$: Fuerza critica al pandeo

L: Longitud de la viga

E: Elasticidad de acuerdo con el material

I: Inercia de la sección

K: Coeficiente de longitud efectiva las cuales pueden ser:

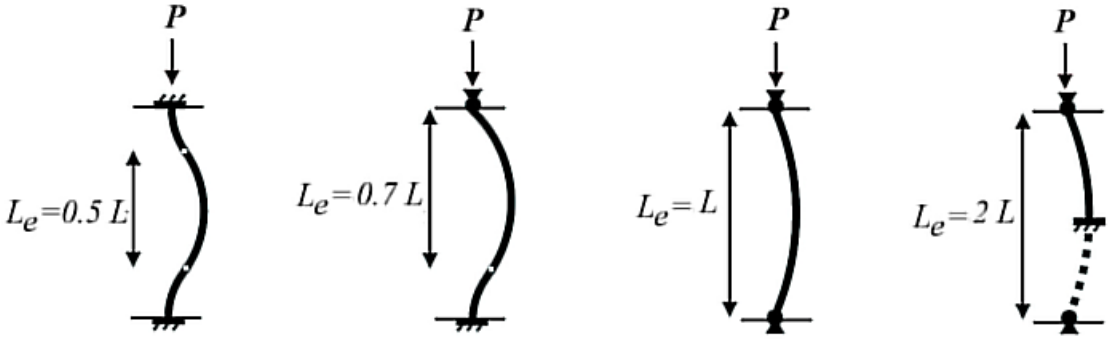



***Figura 63.*** *Coeficientes de longitud efectiva*
***Fuente:*** *ResearchGate*

### 2.6.11. Esfuerzo de compresión de los puntales

Se deberá evaluar a demás el esfuerzo a compresión de los puntales:

$$\sigma_C = \frac{P_C}{A} \qquad \textit{(Ecuación 27)}$$

Donde:

P: Fuerza aplicada en el puntal a compresión

A: Área de la sección

### 2.6.12. Tracción axial para puntales

Para evaluar la tracción se realiza con:

$$\sigma_T = \frac{P_T}{A} \qquad \textit{(Ecuación 28)}$$

Donde:

P: Fuerza aplicada en el puntal a tracción

A: Área de la sección

### 2.6.13. Esfuerzo cortante en puntales

Para evaluar el esfuerzo a cortante se realiza con:

$$\sigma_V = \frac{F_V}{A} \qquad \textit{(Ecuación 29)}$$

F: Fuerza aplicada en corte al puntal

A: Área de la sección

### 2.6.14. Comprobación de deformaciones y resistencia a cargas puntuales

De la misma manera, hay valores que se deben considerar como deformaciones máximas en los diversos sistemas, en el caso de los encofrados la deformación máxima es de 3 mm esto según la Norma Ecuatoriana de la Construcción en la Sección de Diseño de Estructuras de Hormigón Armado (2015) y la Norma ACI 347-R14 (2014) con el mismo valor:

***Tabla 43.*** *Deformación permitida en encofrados*

| Clase | Descripción | Irregularidades permitidas (mm) |
|---|---|---|
| A | Superficies expuestas al público. | 3 |
| B | Texturas rugosas que van a recibir estuco, yeso o paneles de madera. | 6 |
| C | Superficies expuestas permanentemente o cuando no se especifica otro tipo de acabado. | 13 |
| D | Superficies permanentemente ocultas o cuando no importa la rugosidad. | 25 |

***Fuente:*** *(NEC - SE - HM, 2015)*

Por otro lado, para el diseño de los andamios contando las diversas cargas de esta estructura la deformación debe cumplir con la formula L/100 esto según la norma española de diseño de andamios (UNE-EN 12811-1 , 2005)

# CAPÍTULO III: RESULTADOS

## 3.1. Diseño estructural del sistema de encofrado

### 3.1.1. Modelación del sistema de encofrado en Etabs

En el Etabs se modelo el sistema de encofrados con las características anteriormente mencionados:

Diseño 3D

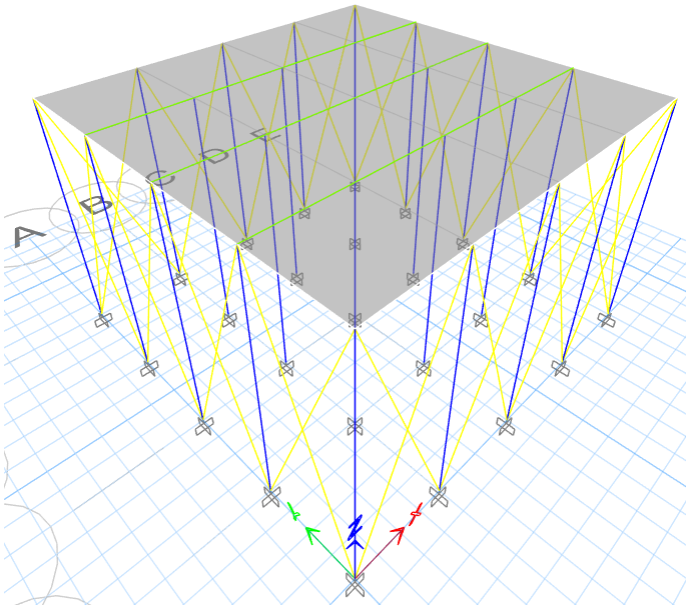



***Figura 64.*** *Modelación en Etabs 3D encofrado*

Diseño en planta

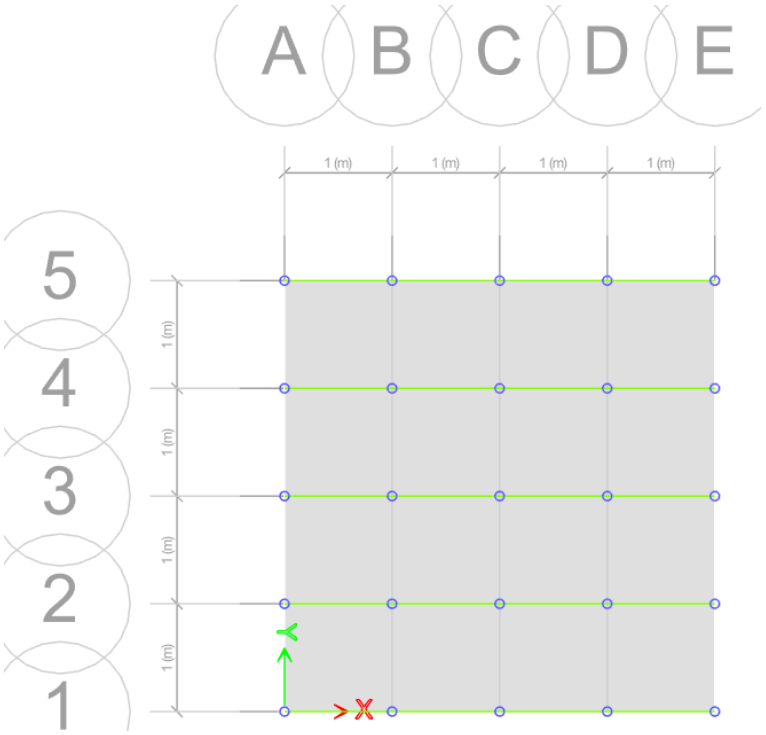



***Figura 65.*** *Diseño en planta encofrado en Etabs*

Perfil eje 1 y 5

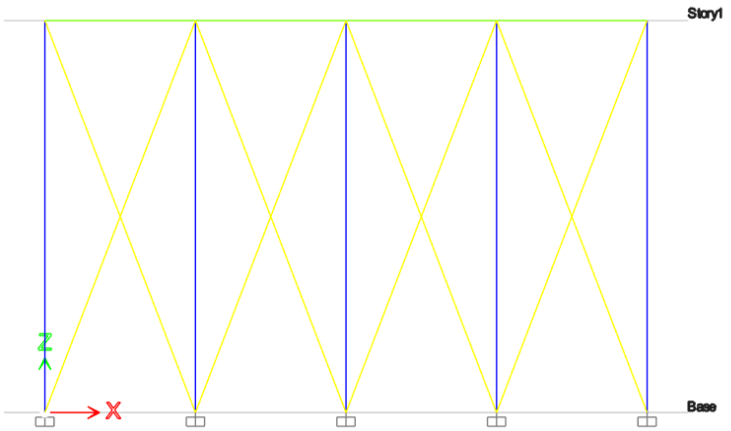



***Figura 66**. Perfil 1-5 del encofrado Etabs*

Perfil eje 2-4

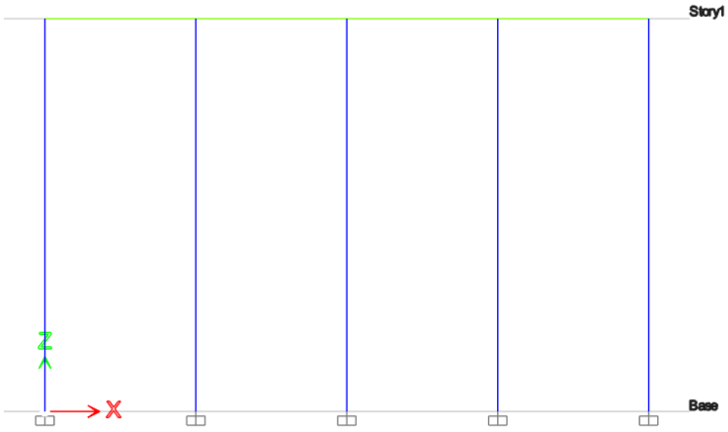



***Figura 67.** Perfil Eje 2-4 en Etabs*

Perfil eje A y E

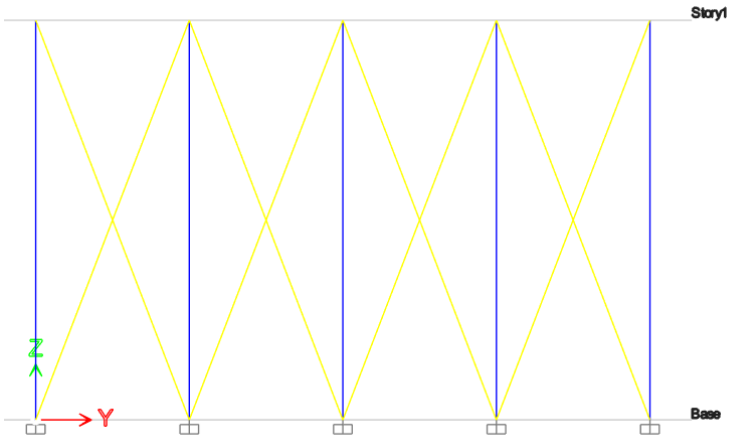



***Figura 68.** Perfil eje A y E en Etabs*

Perfil eje B-D

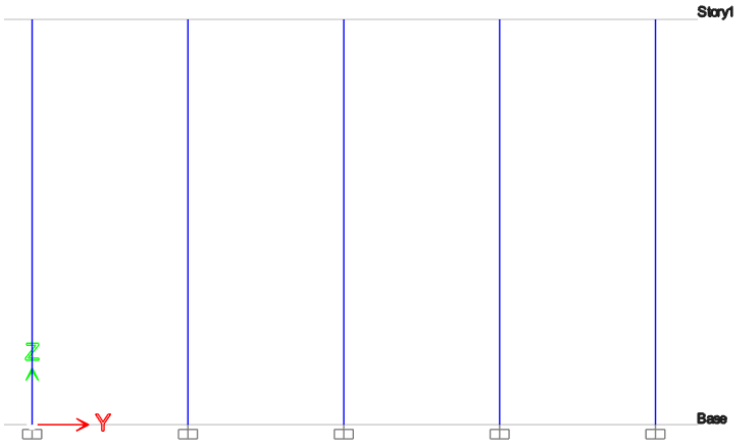



***Figura 69.*** *Perfil eje B-E en Etabs*

La modelación se realizó de una manera adecuada, utilizando las secciones y materiales que se han mencionado en el proyecto. De la misma manera, como se observó en las figuras compartidas en el capítulo 2, se colocó los ejes a las distancias mencionadas, además, se estableció el diafragma rígido por la losa que se modela con la resistencia de un día 20% (42 kg/cm2), puntales de caña de guadua, vigas de madera tangare y riostras de acero tipo L con las dimensiones antes mencionadas.

### 3.1.2. Análisis de estabilidad estructural

***Modos de vibración***

El modo fundamental de la estructura cuenta con un periodo de 0.1192 segundos con un movimiento transversal que es correcto.

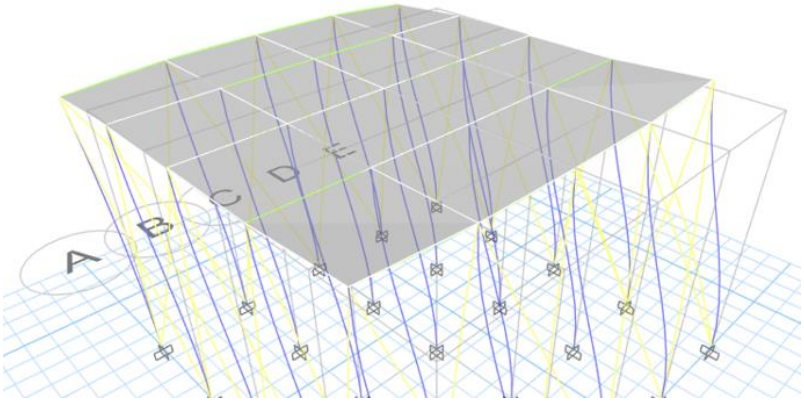



***Figura 70.*** *Periodo fundamental encofrado (0.1192 seg)*

El modo 2 de la estructura cuenta con un periodo de 0.1192 segundos con un movimiento transversal que es correcto.

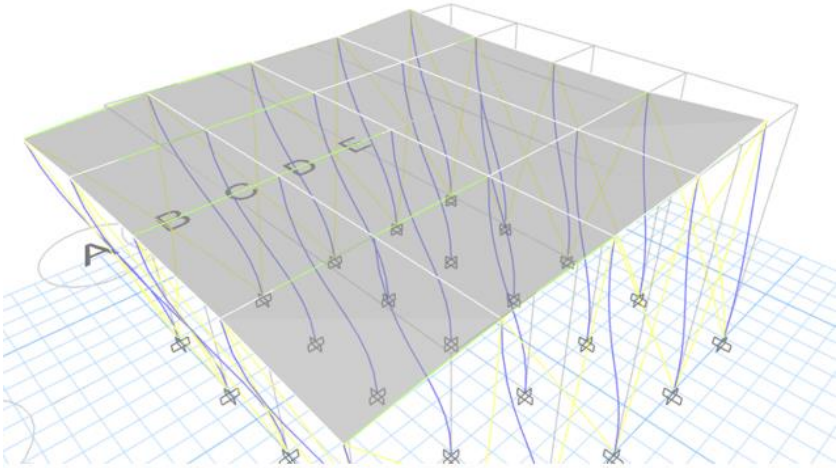



***Figura 71**. Periodo modo 2 encofrado (0. 1191 seg)*

El modo 3 de la estructura cuenta con un periodo de 0.0704 segundos con un movimiento rotacional que es correcto.

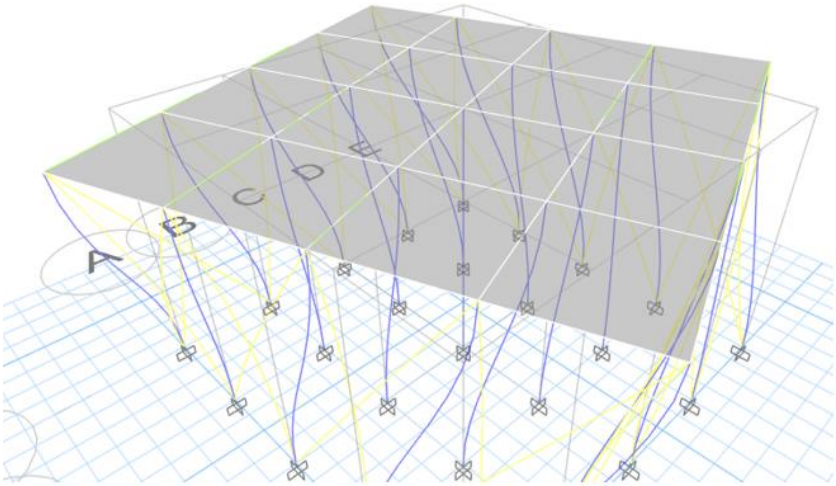



***Figura 72.** Periodo modo 3 encofrado (0.0704 seg)*

Para esto los valores establecidos por la NEC son:

$$Ta = 0.100 \ seg \ ; \quad 1.3 * Ta = 0.130 \, seg$$

Periodo fundamental determinado por el Etabs

$$T = 0.1192 \, seg$$

El valor obtenido en Etabs se encuentra dentro del límite permitido por la NEC (1.3·Ta = 0.130 s), por lo tanto, es válido para fines de análisis.

### *Masa participativa*

***Tabla 44.*** *Masa participativa del encofrado*

| Masa participativa | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Caso* | *Modo* | *Periodo* | *U X* | *U Y* | *U Z* | *Sum UX* | *Sum UY* | *Sum UZ* | *R X* | *R Y* | *R Z* | *Sum RX* | *Sum RY* | *Sum RZ* |
| | | Seg | | | | | | | | | | | | |
| **Modal** | **1** | 0.119 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| **Modal** | **2** | 0.119 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| **Modal** | **3** | 0.07 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |

***Nota.*** *Elaboración propia con resultados de Etabs*

La masa participativa acumulada en los dos primeros modos es 100% en las direcciones principales UX y UY, esto nos indica que es correcta la representación del comportamiento dinámico del sistema de encofrado. Además, este resultado cumple con lo exigido en la norma ecuatoriana de la construcción en la parte de diseño sismo resistente, donde, nos dice que la participación modal se capte al menos el 90% de la masa en cada dirección considerada. Por otro lado, la nula participación en UZ y rotaciones es coherente con un sistema rígido verticalmente y por lo tanto el modelo es válido para el análisis modal y es válido para verificar los parámetros de estabilidad estructural.

### *Derivas*

Antes de determinar las derivas causadas por los sismos se comprueba que se cumpla con el diseño dinámico de estructuras, en el cual afirma, que la relación del cortante dinámico y el cortante estático debe ser mayor o igual al 85% para realizar un diseño optimo:

***Tabla 45.*** *Comparación de cortantes en el sistema de encofrados*

| Comprobación del cortante sísmico | | | |
|---|---|---|---|
| Vdin = | Cortante dinámico | | |
| Vest = | Cortante estático | | |
| **Carga/combo** | **Fx** | **Fy** | **Fz** |
| | **(ton)** | **(ton)** | **(ton)** |
| Sismo X | -3.91 | 0 | 0 |
| Sismo Y | 0 | -3.91 | 0 |
| Espectro X Max | 3.87 | 0.00 | 0 |
| Espectro Y Max | 0.00 | 3.87 | 0 |
| $\frac{\textbf{Vdin}}{\textbf{Vest}}$ | ≥ | **85%** | |

Sentido X $\frac{3.87}{3.91}$ = 99% **OK**

Sentido Y $\frac{3.87}{3.91}$ = 99% **OK**

Para el cumplimiento de las derivas se observa los resultados del programa Etabs, las cuales son:

***Tabla 46.*** *Derivas elásticas e inelásticas del sistema de encofrado*

| Tipo | Deriva Elástica | Deriva Inelástica (%) |
|---|---|---|
| **Sx** | 0.000547 | 0.1026% |
| **Sy** | 0.000547 | 0.1026% |
| **Modal Sx** | 0.000541 | 0.1014% |
| **Modal Sy** | 0.000541 | 0.1014% |

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E = 0.75 * 2.5 * 0.000547 * 100\% = 0.1026\%$$

Las derivas inelásticas cumplen con la norma ecuatoriana de la construcción en el apartado de diseño sismo resistente debe ser menor a 2%, por otro lado, el valor mayor de nuestra estructura es el del sismo estático el cual da un valor de 0.1026% indicando que cumple.

***Valores críticos de la viga***

Datos:

Longitud = 1 metro

Sección= 5x10 centímetros

Elasticidad del tangaré= 12 457.6 MPa

Elasticidad madera tipo C =9 000 MPa

*Cálculo de inercia:*

$$I = \frac{b * h^3}{12} = \frac{50 * 100^3}{12} = 4\,166\,666.667\ mm^4$$

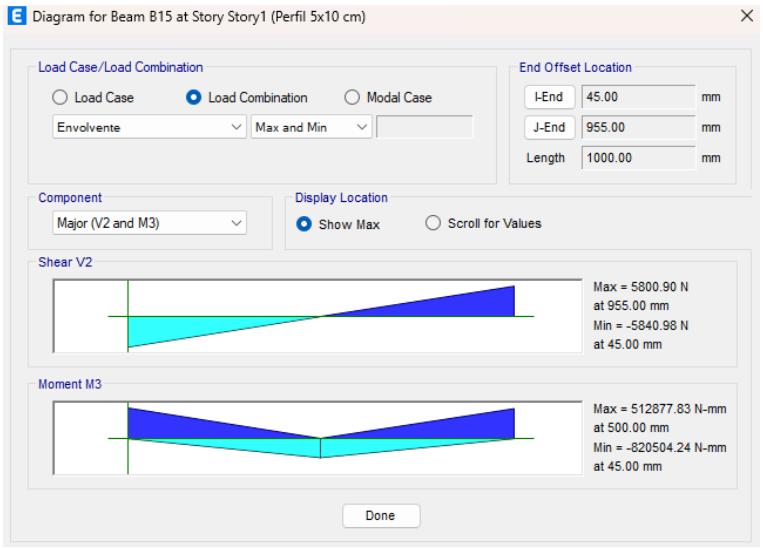



***Figura 73.*** *Momento y cortante máximo de la viga crítica del sistema de encofrado*

***Tabla 47.*** *Momento y cortante máximo de la viga critica del sistema de encofrado*

| Descripción | Máximo | Mínimo |
|---|---|---|
| **Momento** | 526 117.32 N-mm | -820 504.24 N-mm |
| **Cortante** | 5 843.14 N | -5 843.16 N |

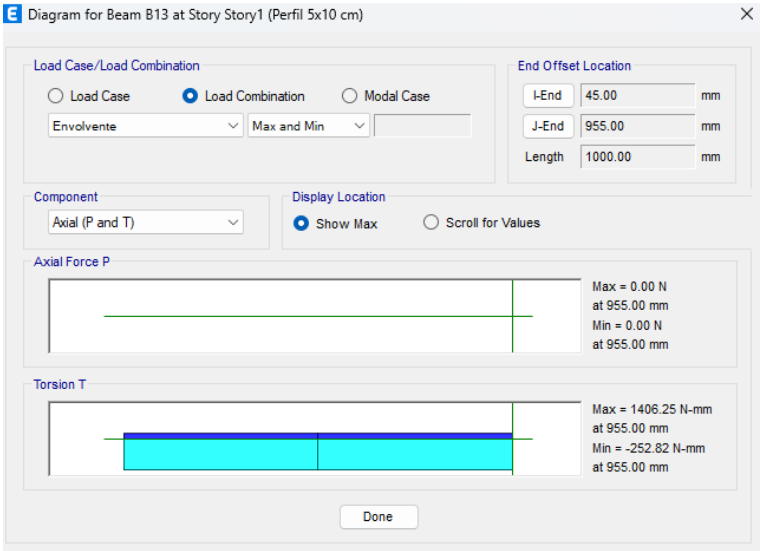



***Figura 74.*** *Fuerza axial y torción máximo de la viga crítica del sistema de encofrado*

## *Flexión en vigas*

$$y = \frac{h}{2} = \frac{100}{2} = 50\ mm$$

$$\sigma = \frac{M\ y}{I} = \frac{8\ 20\ 504.24\ \ N - mm\ *\ 50\ \ mm}{4\ 166\ 666.667\ mm^4} = 9.846\ MPa$$

El módulo de ruptura a flexión 1045 kg/cm2 (102MPa), para ello, estos valores deben compararse de acuerdo con el método LRFD quedaría:

$$\emptyset \times R_n \geq \sigma$$
$$0.9 \times 102 \geq 9.846$$
$$91.8 \geq 9.846\ cumple$$

Esfuerzo con viga de madera tipo B según la NEC

$$10 \geq 9.846$$
$$10 \geq 9.846\ cumple$$

Como se puede observar la comprobación a momento flector último, la madera tangaré como la madera tipo C clasificado en la norma ecuatoriana de la construcción cumple con el momento último de la estructura, lo cual, significa que la resistencia del material y la sección es adecuada para nuestro sistema.

***Deflexión en vigas***

Para el cálculo de la deflexión se utilizará el mismo valor del momento mencionado anteriormente y se aplica el despeje para encontrar la carga distribuida w de la siguiente manera:

Se considera viga doblemente empotrada por ello la formulas se aplica para el momento de mayor magnitud

$$w = \frac{24 * M}{L^2} = \frac{24 * 8\,20\,504.24\ N - mm}{1000^2\ mm^2} = 19.692\ \frac{N}{mm}$$

$$\delta_{Empotrada} = \frac{w\ L^4}{384\ E\ I} = \frac{19.692\ * 1000^4}{384\ * 12\,457.6\ * 4\,166\,666.667} = 0.988\ mm$$

Si se utiliza madera clasificada tipo C por la norma ecuatoriana de la construcción:

$$\delta_{Empotrada} = \frac{w\ L^4}{384\ E\ I} = \frac{19.692\ * 1000^4}{384\ * 9\,000\ * 4\,166\,666.667} = 1.368\ mm$$

El límite permitido es de 3 mm por ende si se llega a utilizar la madera tangare produce una deflexión de 0.979mm, mientras que, utilizar madera tipo C nos da una deflexión de 1.355 mm, estos dos valores son acordes a lo permitido por la norma ecuatoriana de la construcción, por ello, la sección es viable para este sistema.

***Cortante en vigas***

El cortante que se debe analizar es el máximo que de acuerdo con los datos obtenidos por el software es de 5 843.09 N:

$$T = \frac{1.5\,V}{A} = \frac{1.5\ *\ 5\,843.16}{50\ *\ 100} = 1.753\ MPa$$

Se compara con las propiedades del Tangare 511 kg/cm2 (10.20 MPa)

$$\emptyset \times R_n \geq \sigma$$
$$0.75 \times\ 10.20 \geq 1.753\ MPa$$
$$7.6\ MPa \geq 1.753\ MPa\ cumple$$

***Torsión en vigas***

El valor de torsión máximo es de 1 406.25 N-mm según los valores calculado en Etabs:

$$J = \frac{b\ *\ h^3}{3}(1 -\ 0.63\ *\ \frac{b}{h}) = \frac{50\ *\ 100^3}{3}(1 -\ 0.63\ *\ \frac{50}{100})$$

$$= 11\,416\,666.667\ mm^4$$

$$c = \frac{h}{2} = \frac{100}{2} = 50\ mm$$

$$\tau_t = \frac{T_u\ *\ c}{J} = \frac{1406.25\ *\ 50}{11\,416\,666.667} = 0.00615\ MPa$$

El esfuerzo a torción en la viga da un valor de 0.00615 MPa el cual es muy pequeño, por ello, la viga no sufrirá este fenómeno y por lo tanto la sección cumple holgadamente frente a las solicitaciones torsionales según el método LRFD.

***Valores críticos de los diagonales***

*Datos:*

Longitud =$\sqrt{1300^2 + 500^2}$=1392.8388 mm

Sección Tipo L (50x50x2 mm)

Fy= 250 MPa

Fu= 400 MPa

E= 200 000 MPa

K= 1

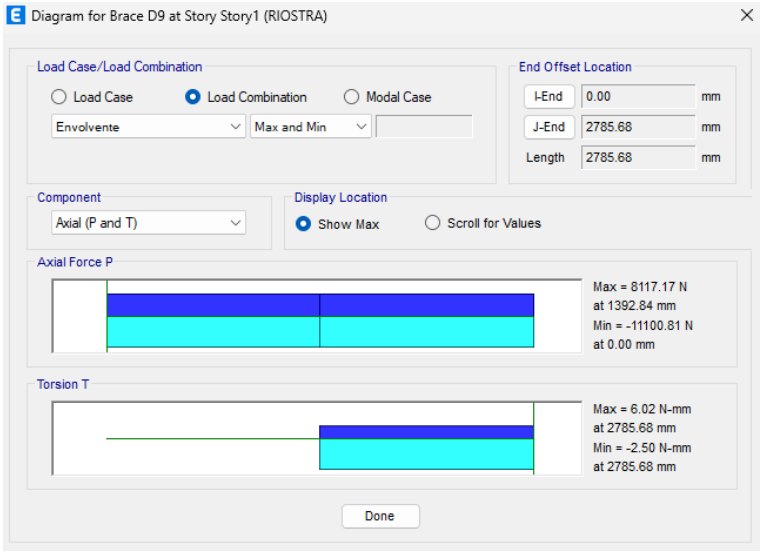



***Figura 75****.Fuerza axial y torsión máximo de la diagonal crítica del sistema de encofrado*

***Tabla 48****. Fuerza axial máxima de la diagonal crítica del sistema de encofrado*

| Descripción | Máximo | Mínimo |
|---|---|---|
| **Axial** | 8 117.17 N | -11 100.81 **N** |

Cálculos Iniciales:

$$I = \frac{b\ h^3}{12} + A\ d^2$$

***Tabla 49.*** *Cálculo de la inercia de la diagonal*

| Fy | Área | $Y_i$ | $A_iY_i$ | I | d | $Ad^2$ | Y |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 100.000 | 25.000 | 2500.000 | 20833.333 | 11.755 | 13818.242 | 13.245 |
| 2 | 96.000 | 1.000 | 96.000 | 16.000 | 12.245 | 14394.002 | |
| | 196 | | 2596 | 20849.333 | | 28212.245 | |

$$Inercia = 20\ 849.333 + 28\ 212.245 = 49\ 061.678\ mm^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{49\ 061.678}{196}} = 15.8213\ mm$$

***Chequeo a compresión diagonal***

Se debe verificar el pandeo en este caso para ello se debe aplicar:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2\ E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2\ 200\ 000}{(1 * 1392.8388/15.8213)^2} = 254.6903\ MPa$$

$$P_n = F_{cr}\ *\ A_g = 254.6903\ *\ 196 = 49\ 919.2936\ N$$

$$P_u \leq \emptyset_C \ * \ P_n \Rightarrow 11\ 100.81 \ \leq 0.85 \ * \ 49\ 919.2936$$

$$11\ 100.81 \ \leq 42\ 431.3996 \ cumple$$

***Chequeo a tracción de diagonales***

Para el caso de los diagonales que trabaja a tracción se debe aplicar:

$$P_n = F_y * A_g = 250 \ * \ 196 = 49\ 000 \ N$$

$$P_u \leq \emptyset_T * P_n \Rightarrow P_u \leq 0.75 * 49\ 000$$

$$8\ 117.17 \ \leq 36\ 750 \ cumple$$

***Valores críticos de los puntales***

*Datos:*

L= 2600 mm

Sección tipo tubular (90 mm con espesor de 7.5 mm)

E= 12 000 MPa

K= 1

Cálculo de la inercia de la caña de guadua:

***Tabla 50.*** *Cálculo de la inercia de la caña de guadua*

| Fy | Area | $Y_i$ | $A_iY_i$ | I | Y |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 6361.725 | 45.000 | 286277.631 | 3220623.344 | 45.000 |
| **2** | -4417.865 | 45.000 | -198803.910 | -1553155.548 | |
| | 1943.86045 | | 87473.7204 | 1667467.796 | |

$$Inercia = \ 1\ 667\ 467.796 \ mm^4$$

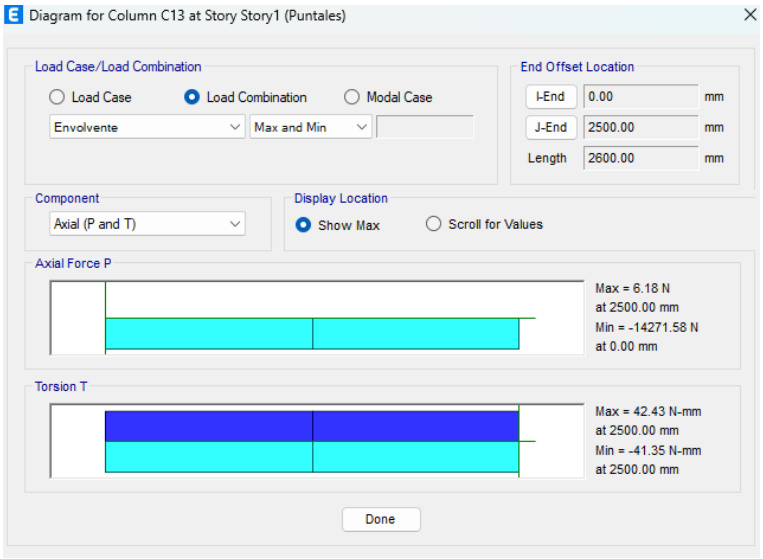



***Figura 76.*** *Fuerza axial y torsión máximo del puntal crítico del sistema de encofrado*

***Tabla 51.*** *Fuerza axial, torsión, momento y cortante máximo del puntal crítico del sistema de encofrado*

| Descripción | Máximo | Mínimo |
|---|---|---|
| **Axial** | 1 798.94 N | -14 271.58 N |
| **Torción** | 42.43 N-mm | -110.92 N-mm |
| **Momento** | 59 570.81 N-mm | -59 667 N-mm |
| **Cortante** | 41.39 N | -41.4 N |

### *Pandeo en puntales*

La estabilidad de los puntales se verifica mediante la carga crítica de pandeo de Euler la cual es:

Coeficiente de longitud efectiva considerada como columna articulada, por ello, el coeficiente será 1 y una longitud de 2.60 metros por la altura de piso:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2\ E\ I}{(K\ L)^2} = \frac{\pi^2\ *\ 12\ 000\ *\ 1\ 667\ 467.796}{(1\ *\ 2\ 600)^2} = 29\ 214.0488\ N$$

$$P_u \leq \emptyset_c * P_n \Rightarrow 14\ 271.58 \leq 0.9 * 29\ 214.0488$$

$$14\ 271.58 \leq 26\ 292.6439\ \ cumple$$

### *Esfuerzo de compresión de los puntales*

Para evaluar el esfuerzo a compresión de los Puntales se realizó de la siguiente manera:

$$\sigma_C = \frac{P_C}{A} = \frac{14\ 271.58}{2060.88478} = 6.925\ MPa$$

$$P_u \leq P_i\ (NEC)$$

$$6.925 \leq 14\ \ cumple$$

***Tracción axial para puntales***

Para evaluar la tracción se realiza con:

$$\sigma_T = \frac{P_T}{A} = \frac{1\ 798.94}{2060.88478} = 0.872\ MPa$$

$$P_u \leq P_i(NEC)$$

$$0.872 \leq 19\ cumple$$

***Esfuerzo cortante en puntales***

Para evaluar el esfuerzo a cortante se realiza con:

$$\sigma_V = \frac{F_V}{A} = \frac{41.4}{2060.88478} = 0.020\ MPa$$

$$F_n \leq F_i(NEC)$$

$$0.020\ \leq 1.2\ cumple$$

Con base a la modelación del sistema de encofrado tradicional desarrollada en Etabs, se concluye que la estructura cumple satisfactoriamente con los criterios de la normativa ecuatoriana de la construcción tanto en periodo fundamental, participación modal y derivas máximas. Además, elementos que componen el diseño como vigas, diagonales y puntales, que fueron analizados individualmente, demostró que cumplen con los requisitos de resistencia, estabilidad, deflexión y esfuerzo según el método LRFD y valores límites permitidos por norma. En consecuencia, el diseño planteado garantiza un sistema estructuralmente estable, seguro funcional para la aplicación en obra.

## 3.2.Diseño estructural del sistema de andamios

### 3.2.1. Modelación del sistema de andamios en Etabs

Para la modelación del sistema de andamio se utilizará restricciones en uno de sus ejes, esto debido a que, es común conectar esta estructura con la fachada de la obra que se realizará el mantenimiento, teniendo esto en consideración, se utilizará valores de rigidez aportados por el conector entre el sistema de andamios y la fachada el cual será un perfil L (50x50x2mm) y se le agregara un factor de 0.001 para representar un comportamiento semirrígido o flexible, evitando sobrestimar la rigidez del sistema estructural y permitiendo una respuesta más realista ante acciones sísmicas o cargas laterales:

Propiedades del elemento:

Área: 196 mm

Elasticidad: 200000 MPa

Longitud: 100 mm

Inercia: 49061.578 $mm^4$

Rigidez eje X:

$$K = \frac{A * E}{L} = 0.001 * \frac{196 * 200\,000}{100} = 392\ N/mm$$

Rigidez eje Y-X:

$$K = \frac{12 * E * I}{L^3} = 0.001 * \frac{12 * 200\,000 * 49061.578}{100^3} = 117.748\ N/mm$$

Rigidez eje rotacional X-Y-Z:

$$K = \frac{4 * E * I}{L} = 0.001 * \frac{200\,000 * 49061.578}{100} = 392492.63\ N - mm/rad$$

En el Etabs se modelo el sistema de andamios con las características mencionados:

Diseño 3D

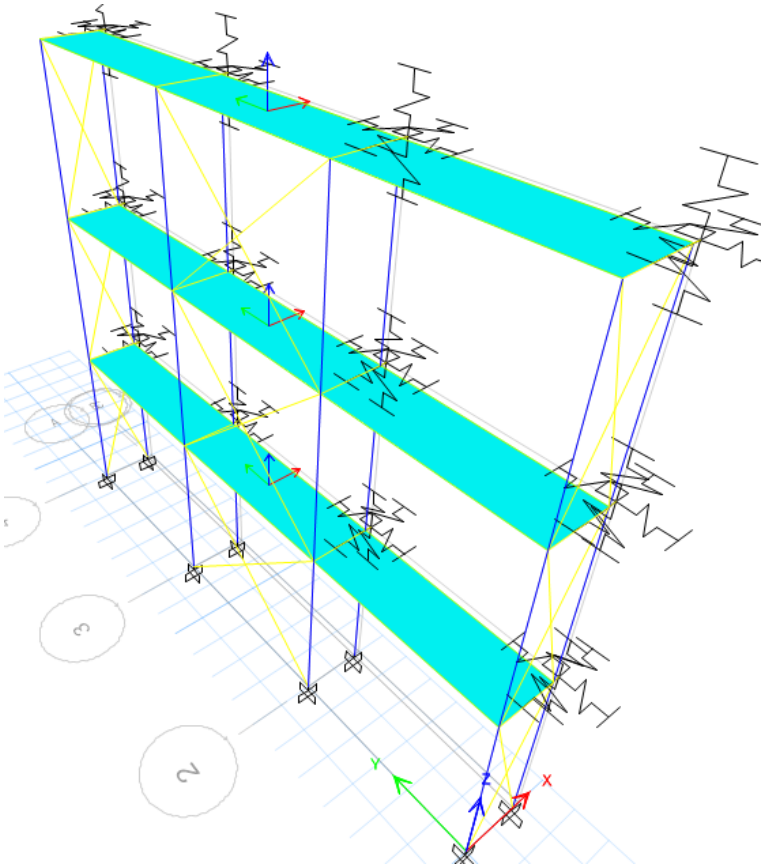


***Figura** 77. Modelación en Etabs 3D andamio*

Diseño en planta

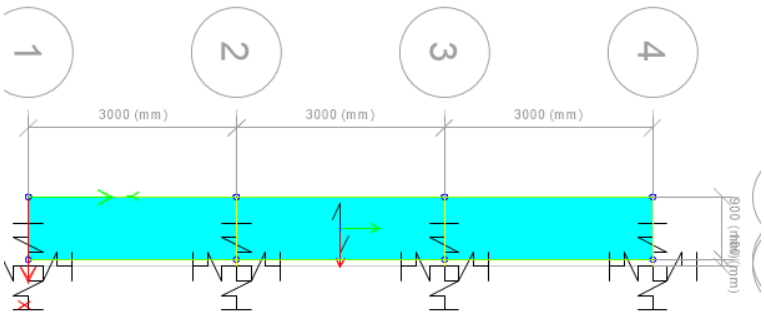



***Figura** 78. Diseño en planta del andamio en Etabs*

Perfil A

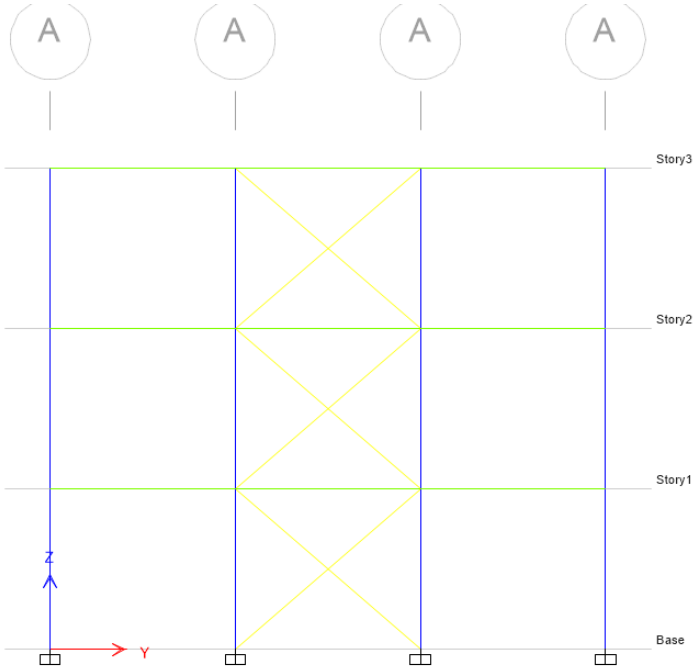



***Figura 79.*** *Perfil A del andamio Etabs*

Perfil B

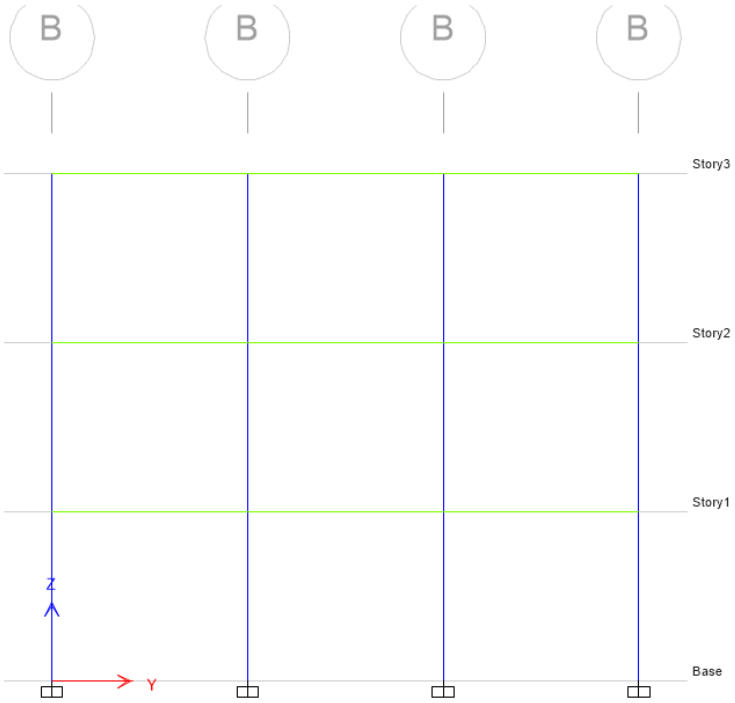



***Figura 80.*** *Perfil B del andamio Etabs*

Perfil eje 1-4

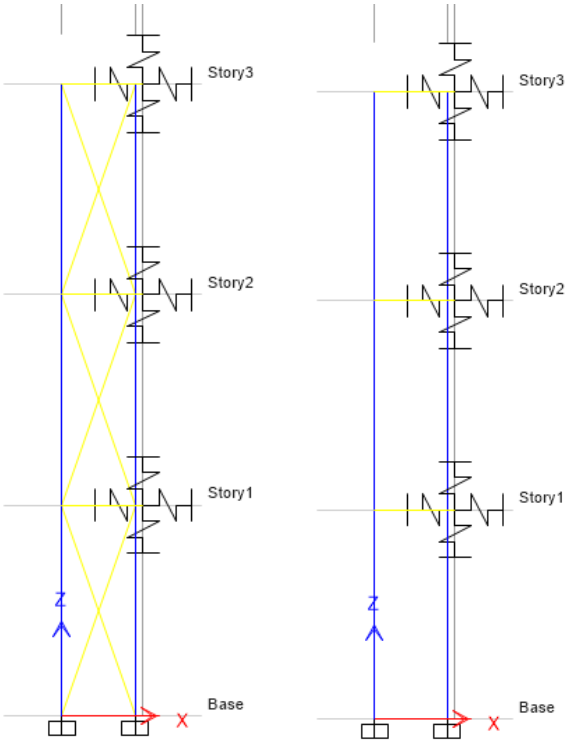



***Figura 81.*** *Perfil 1-4 del andamio Etabs*

La modelación se realizó de una manera adecuada, utilizando las secciones y materiales que se han mencionado en el proyecto. De la misma manera, se utiliza la configuración compartida en las figuras del capítulo 2 colocando los ejes a las distancias mencionadas, sin diafragma rígido y siguiendo la estructura de puntales de caña de guadua, vigas de madera tangare y riostras de acero tipo L con las dimensiones antes mencionadas e incorporando el sistema de rigidez como resortes con los valores calculados.

### 3.2.2. Análisis de estabilidad estructural

**Modos de vibración**

El modo fundamental de la estructura cuenta con un periodo de 0.2463 segundos con un movimiento dominante transversal que es correcto.

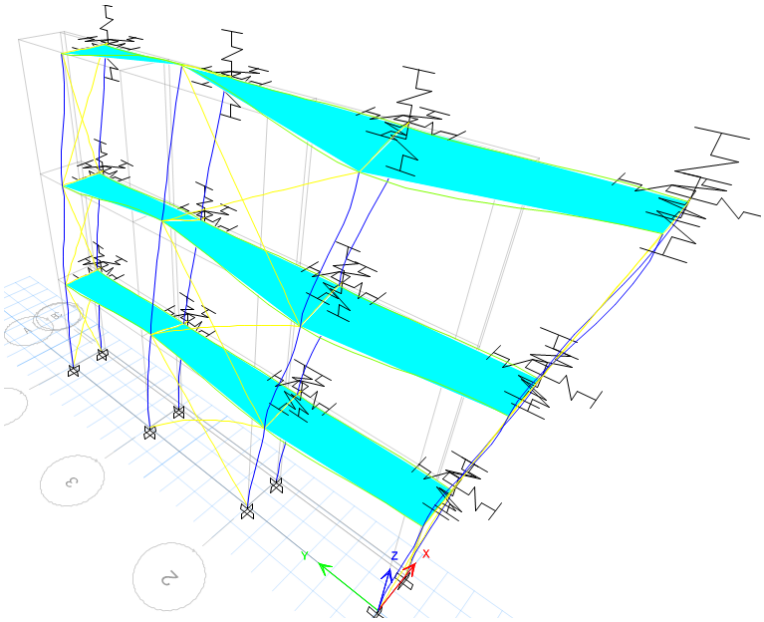


***Figura 82.*** *Periodo fundamental andamio (0.2463 seg)*

El modo 2 de la estructura cuenta con un periodo de 0.18878 segundos con un movimiento transversal que es correcto.

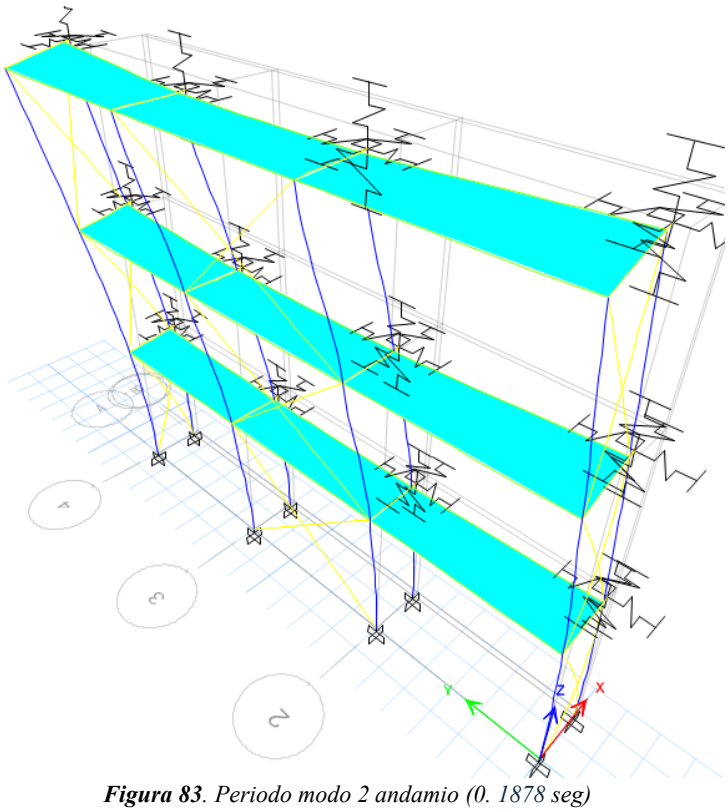


***Figura 83****. Periodo modo 2 andamio (0. 1878 seg)*

El modo 3 de la estructura cuenta con un periodo de 0.1576 segundos con un movimiento rotacional que es correcto.

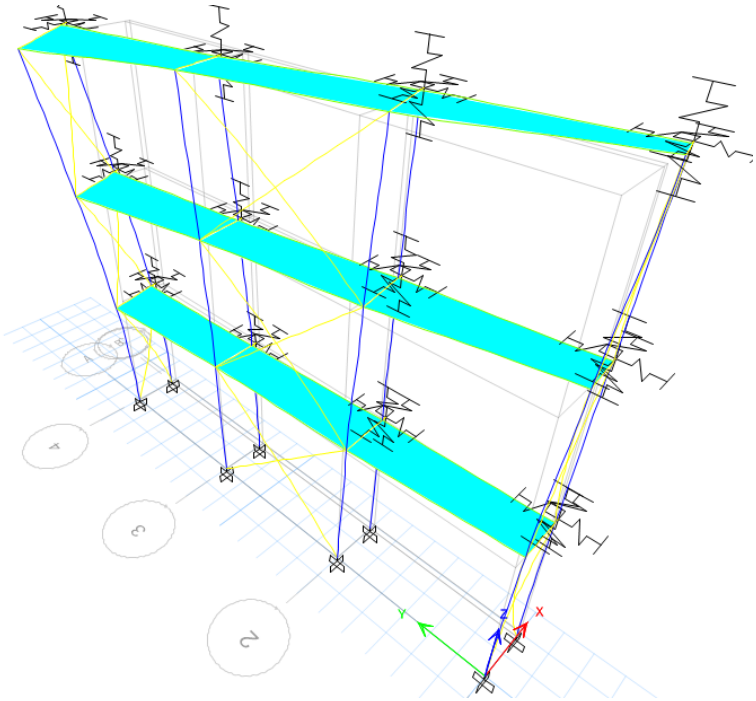


***Figura 84.*** *Periodo modo 3 andamio (0.0704 seg)*

Para esto los valores establecidos por la NEC son:

$$Ta = 0.228\ seg\ ;\quad 1.3 * Ta = 0.296\ seg$$

Periodo fundamental determinado por el Etabs

$$T = 0.2463\ seg$$

El valor obtenido en Etabs se encuentra dentro del límite permitido por la NEC (1.3·Ta = 0.296 s), por lo tanto, es válido para fines de análisis.

## Masa participativa

***Tabla 52.*** *Participación modal del andamio*

| Mod | T sec | UX | UY | UZ | Sum UX | Sum UY | Sum UZ | RX | RY | RZ | Sum RX | Sum RY | Sum RZ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.246 | 0 | 0.764 | 0 | 0 | 0.764 | 0 | 0.251 | 0 | 4 E5 | 0.2511 | 0 | 4.4E-05 |
| 2 | 0.188 | 0.741 | 0 | 0 | 0.741 | 0.764 | 0 | 0 | 0.269 | 0 | 0.2511 | 0.2698 | 4.4E-05 |
| 3 | 0.158 | 0 | 1 E-5 | 0 | 0.741 | 0.764 | 0 | 0.000 | 0 | 0.738 | 0.251 | 0.269 | 0.738 |
| 4 | 0.136 | 0.188 | 0 | 0 | 0.929 | 0.764 | 0 | 0 | 0.511 | 0 | 0.251 | 0.781 | 0.738 |
| 5 | 0.116 | 0.033 | 0 | 0 | 0.963 | 0.764 | 0 | 0 | 0.117 | 0 | 0.251 | 0.899 | 0.738 |
| 6 | 0.085 | 0 | 0.096 | 0 | 0.963 | 0.8603 | 0 | 0.293 | 0 | 0.116 | 0.544 | 0.899 | 0.854 |
| 7 | 0.074 | 0 | 0.112 | 0 | 0.963 | 0.9726 | 0 | 0.346 | 0 | 0.097 | 0.891 | 0.899 | 0.951 |
| 8 | 0.07 | 0.002 | 0 | 0 | 0.966 | 0.972 | 0 | 0 | 0.001 | 0 | 0.891 | 0.900 | 0.951 |
| 9 | 0.056 | 0.021 | 0 | 0 | 0.987 | 0.972 | 0 | 0 | 0.05 | 0 | 0.891 | 0.955 | 0.951 |
| 10 | 0.049 | 0 | 0.012 | 0 | 0.987 | 0.984 | 0 | 0.047 | 0 | 0.020 | 0.939 | 0.955 | 0.972 |
| 11 | 0.041 | 0 | 0.015 | 0 | 0.987 | 0.999 | 0 | 0.059 | 0 | 0.013 | 0.999 | 0.955 | 0.985 |
| 12 | 0.035 | 0 | 1.6E-05 | 0 | 0.987 | 0.999 | 0 | 1E-6 | 0 | 0.000 | 0.999 | 0.955 | 0.986 |

## Derivas

Calibración del cortante:

***Tabla 53.*** *Calibración de cortantes en el sistema de andamio*

| **Comprobación del cortante sísmico** | | | |
|---|---|---|---|
| Vdin = | Cortante dinámico | | |
| Vest = | Cortante estático | | |
| **Carga/combo** | **Fx** | **Fy** | **Fz** |
| | **(ton)** | **(ton)** | **(ton)** |
| Sismo X | -1.77 | 0 | 0 |
| Sismo Y | 0 | -1.77 | 0 |
| Espectro X Max | 1.38 | 0.00 | 0 |
| Espectro Y Max | 0.00 | 1.38 | 0 |

| | $\frac{\textbf{Vdin}}{\textbf{Vest}}$ | ≥ | **85%** |
|---|---|---|---|
| Sentido X | $\frac{1.38}{1.77}$ | = | 78% |
| Sentido Y | $\frac{1.38}{1.77}$ | = | 78% |

Para la calibración se debe realizar con un coeficiente de 1.10 que se aplicara al análisis dinámico para cumplir con la norma:

***Tabla 54.*** *Comprobación del cortante en el sistema de andamio*

| **Comprobación del cortante sísmico** | | | |
|---|---|---|---|
| Vdin = | Cortante dinámico | | |
| Vest = | Cortante estático | | |
| **Carga/combo** | **Fx** | **Fy** | **Fz** |
| | **(ton)** | **(ton)** | **(ton)** |
| Sismo X | -1.77 | 0 | 0 |
| Sismo Y | 0 | -1.77 | 0 |
| Espectro X Max | 1.51 | 0.00 | 0 |
| Espectro Y Max | 0.00 | 1.51 | 0 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sentido X | $\frac{1.51}{1.77}$ | = | 85% | **OK** |
| Sentido Y | $\frac{1.51}{1.77}$ | = | 85% | **OK** |

Para el cumplimiento de las derivas se observa los resultados del programa Etabs, las cuales son:

***Tabla 55.*** *Derivas elásticas e inelásticas del sistema de andamio*

| Tipo | Deriva Elástica | Deriva Inelástica (%) |
|---|---|---|
| **Sx** | 0.000821 | 0.1539% |
| **Sy** | 0.001543 | 0.2893% |
| **Modal Sx** | 0.001091 | 0.2046% |
| **Modal Sy** | 0.001425 | 0.2671% |

Las derivas inelásticas cumplen con la norma ecuatoriana de la construcción en el apartado de diseño sismo resistente debe ser menor a 2%, por otro lado, el valor mayor de nuestra estructura es el del sismo estático el cual da un valor de 0.2893% indicando que cumple.

***Valores críticos de la viga***

Datos:

Longitud = 3 metros

Sección= 5x10 centímetros

Elasticidad del tangaré= 12 457.6 MPa

Inercia: 4 166 666. 667 $mm^4$

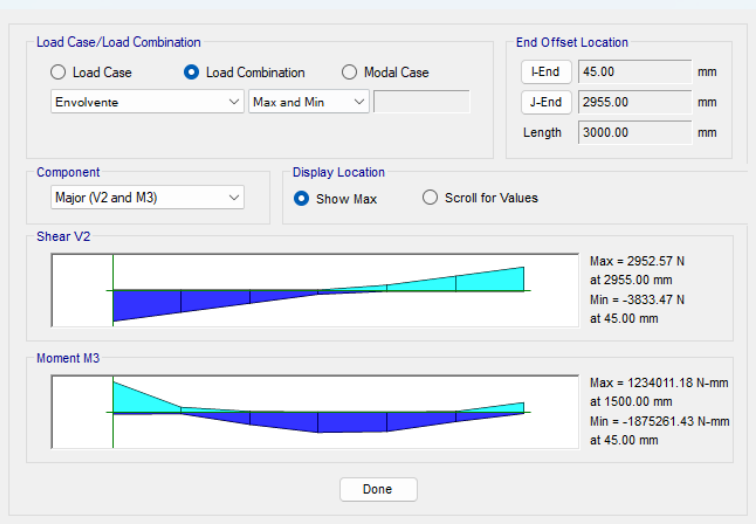



***Figura 85.*** *Momento y cortante máximo de la viga crítica del sistema de andamio*

***Tabla 56.*** *Momento y cortante máximo de la viga critica del sistema de andamio*

| Descripción | Máximo | Mínimo |
|---|---|---|
| **Momento** | 1 234 011.18 N-mm | -1 875 261.43 N-mm |
| **Cortante** | 2 952.57 N | -3 833.47 N |

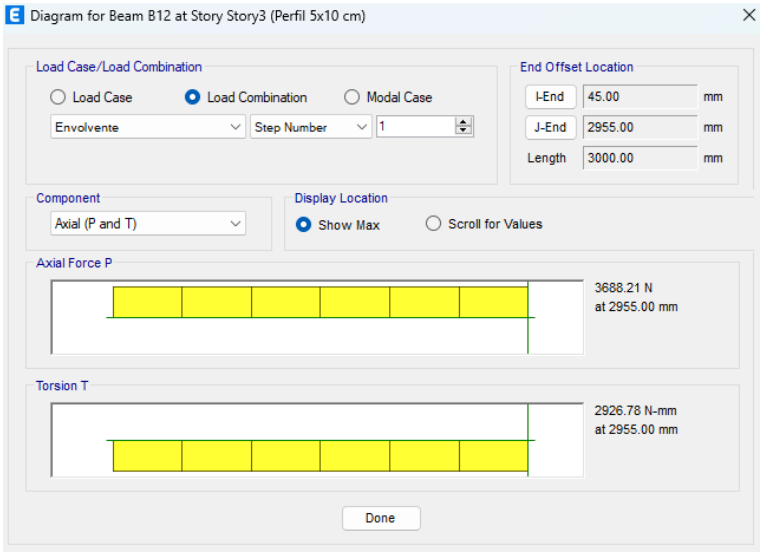



***Figura 86.*** *Fuerza axial y torción máximo de la viga crítica del sistema de andamio*

### *Flexión en vigas*

$$y = 50\,mm$$

$$\sigma = \frac{M\,y}{I} = \frac{1\,875\,261.43\;\; N-mm\;*\;50\;\;mm}{4\,166\,666.667\;mm^4} = 22.5\,MPa$$

El módulo de ruptura a flexión 1045 kg/cm2 (102MPa), para ello, estos valores deben compararse de acuerdo con el método LRFD quedaría:

$$\emptyset \times R_n \geq \sigma$$

$$0.9 \times\; 102 \geq 22.5$$

$$91.8 \geq 22.5\;CUMPLE$$

### *Deflexión en vigas*

Se considera viga doblemente empotrada por ello la formulas se aplica para el momento de mayor magnitud

$$w = \frac{24\;*\;M}{L^2} = \frac{24\;*\;1\,875\,261.43\;N-mm}{3000^2\;mm^2} = 5\frac{N}{mm}$$

$$\delta_{Empotrada} = \frac{w\,L^4}{384\,E\,I} = \frac{5\;\;*\;3000^4}{384\;*\;12\,457.6\;*\;4\,166\,666.667} = 20.31\,mm$$

Para la verificación de vigas del andamio se ha adoptado la norma UNE-EN 12811-1 (Requisitos de prestaciones para andamios de trabajo y acceso). Según esta norma, la deformación elástica máxima admisible de una unidad de plataforma es L/100

y la diferencia máxima entre unidades adyacentes cargadas y descargadas no debe superar 25 mm. En la comprobación realizada, con L=3000 mm y las acciones asumidas, la flecha máxima calculada cumple (20.31 mm) con el criterio de UNE-EN 12811-1 (límite = 30 mm) y la limitación de diferencia entre unidades adyacentes (20.32 mm < 25 mm). Por otro lado, la flecha calculada no cumple el criterio genérico L/360 (8.33 mm), pero dicho criterio corresponde habitualmente a forjados y elementos de edificación; por tanto, para plataformas de andamio se considera aplicable la UNE-EN 12811-1 salvo indicación contraria del pliego o normativa local.

***Cortante en vigas***

El cortante que se debe analizar es el máximo que de acuerdo con los datos obtenidos por el software es de 5 843.09 N:

$$T = \frac{1.5\,V}{A} = \frac{1.5\ *\ 3\,833.47}{50\ *\ 100} = 1.15\ MPa$$

Se compara con las propiedades del Tangare 511 kg/cm2 (10.20 MPa)

$$\emptyset \times R_n \geq \sigma$$

$$0.75 \times\ 10.20 \geq 1.15\ MPa$$

$$7.6\ MPa \geq 1.15\ MPa\ cumple$$

***Torsión en vigas***

El valor de torsión máximo es de 1 406.25 N-mm según los valores calculado en Etabs:

$$J = \frac{b\ *\ h^3}{3}(1 -\ 0.63\ *\ \frac{b}{h}) = \frac{50\ *\ 100^3}{3}(1 -\ 0.63\ *\ \frac{50}{100})$$

$$= 11\,416\,666.667\ mm^4$$

$$c = \frac{h}{2} = \frac{100}{2} = 50\ mm$$

$$\tau_t = \frac{T_u\ *\ c}{J} = \frac{2\,926.78\ *\ 50}{11\,416\,666.667} = 0.0128\ MPa$$

El esfuerzo a torción en la viga da un valor de 0.0128 MPa el cual es muy pequeño, por ello, la viga no sufrirá este fenómeno y por lo tanto la sección cumple holgadamente frente a las solicitaciones torsionales según el método LRFD.

***Valores críticos de los diagonales***

*Datos:*

Longitud =$\sqrt{1300^2 + 1500^2}$= 1 984.94mm

Sección Tipo L (50x50x2 mm)

Fy= 250 MPa

Fu= 400 MPa

E= 200 000 MPa

K= 1

Inercia = 49 061.678 $mm^4$

$r = 15.8213\ mm$

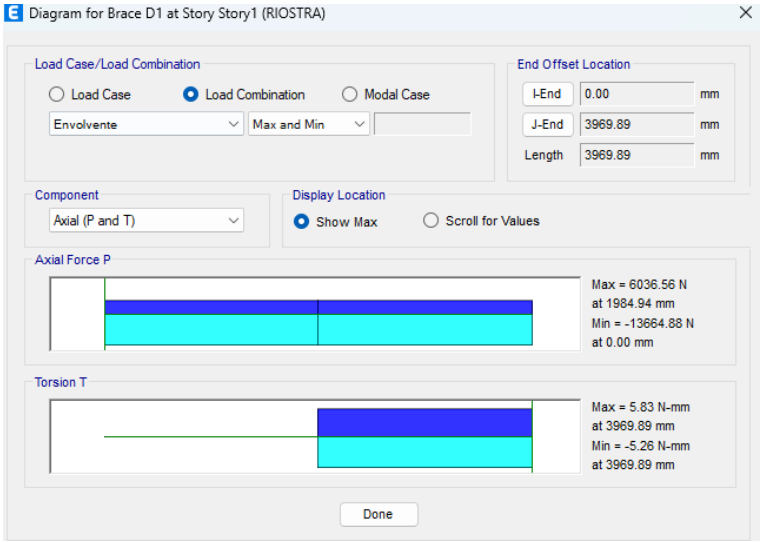



***Figura 87****.Fuerza axial y torsión máximo de la diagonal crítica del sistema de andamio*

***Tabla 57****. Fuerza axial máxima de la diagonal crítica del sistema de andamio*

| Descripción | Máximo | Mínimo |
|---|---|---|
| **Axial** | 6 036.56 N | -13 664.88 **N** |

***Chequeo a compresión diagonal***

Se debe verificar el pandeo en este caso para ello se debe aplicar:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2\ 200\ 000}{(1 * 1\ 984.94/15.8213)^2} = 125.41\ MPa$$

$$P_n = F_{cr}\ *\ A_g = 125.41 *\ 196 = 24\ 579.54967\ N$$

$$P_u \leq \emptyset_C\ *\ P_n \Rightarrow 13\ 664.88\ \leq 0.85\ *\ 24\ 579.54967$$

$$13\ 664.88\ \ \leq 20\ 892.617 cumple$$

***Chequeo a tracción de diagonales***

Para el caso de los diagonales que trabaja a tracción se debe aplicar:

$$P_n = F_y * A_g = 250\ *\ 196 = 49\ 000\ N$$

$$P_u \leq \emptyset_T * P_n \Rightarrow P_u \leq 0.75 * 49\ 000$$

$$6\ 036.56\ \ \leq 36\ 750\ cumple$$

***Valores críticos de los puntales***

*Datos:*

L= 2600 mm

Sección tipo tubular (90 mm con espesor de 7.5 mm)

E= 12 000 MPa

K= 1

$Inercia =\ 1\ 667\ 467.796\ mm^4$

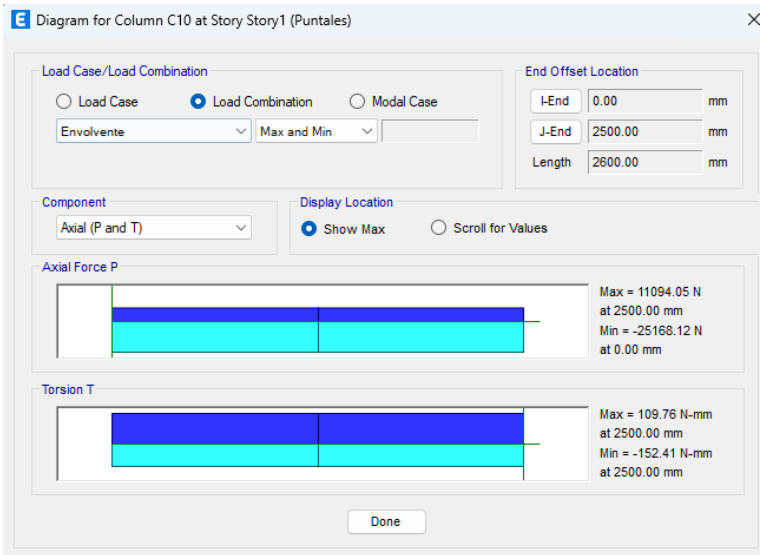



***Figura 88.*** *Fuerza axial y torsión máximo del puntal crítico del sistema de andamio*

***Tabla 58.*** *Fuerza axial, torsión, momento y cortante máximo del puntal crítico del sistema de andamio*

| Descripción | Máximo | Mínimo |
|---|---|---|
| **Axial** | 11 094.05 N | -25 168.12 N |
| **Torción** | 109.76 N-mm | -152.41 N-mm |
| **Cortante** | 18.16 N | -25.09 N |

***Pandeo en puntales***

La estabilidad de los puntales se verifica mediante la carga crítica de pandeo de Euler la cual es:

Coeficiente de longitud efectiva considerada como columna articulada, por ello, el coeficiente será 1 y una longitud de 2.60 metros por la altura de piso:

$$P_{cr} = 29\ 214.0488\ N$$

$$P_u \leq \emptyset_c * P_n \Rightarrow 25\ 168.12 \leq 0.9 * 29\ 214.0488$$

$$25\ 168.12 \leq 26\ 292.6439\ \ cumple$$

***Esfuerzo de compresión de los puntales***

Para evaluar el esfuerzo a compresión de los Puntales se realizó de la siguiente manera:

$$\sigma_C = \frac{P_C}{A} = \frac{25\ 168.12}{1\ 943.86} = 12.95 MPa$$

$$P_u \leq P_i\ (NEC)$$

$$12.95 \leq 14\ \ cumple$$

***Tracción axial para puntales***

Para evaluar la tracción se realiza con:

$$\sigma_T = \frac{P_T}{A} = \frac{11\ 094.05}{1\ 943.86} = 5.71\ MPa$$

$$P_u \leq P_i(NEC)$$

$$5.71 \leq 19\ cumple$$

***Esfuerzo cortante en puntales***

Para evaluar el esfuerzo a cortante se realiza con:

$$\sigma_V = \frac{F_V}{A} = \frac{25.09}{1\ 943.86} = 0.013\ MPa$$

$$F_n \leq F_i(NEC)$$

$$0.013 \ \leq 1.2 \ cumple$$

Con base a la modelación del sistema de andamio tradicional desarrollada en Etabs, se concluye que la estructura cumple satisfactoriamente con los criterios de la normativa ecuatoriana de la construcción tanto en periodo fundamental, participación modal y derivas máximas. Además, elementos que componen el diseño como vigas, diagonales y puntales, que fueron analizados individualmente, demostró que cumplen con los requisitos de resistencia, estabilidad, deflexión y esfuerzo según el método LRFD y valores límites permitidos por la norma europea. En consecuencia, el diseño planteado garantiza un sistema estructuralmente estable, seguro funcional para la aplicación en obra.

# CONCLUSIONES

- Se analizó el contexto actual, el cual nos permitió constatar que los sistemas tradicionales de encofrados y andamios que utilizan caña de guadua siguen siendo ampliamente utilizados en obras locales, de la misma manera, su implementación responde a la disponibilidad del material, su resistencia estructural y al conocimiento empírico de los trabajadores. No obstante, se identificaron limitaciones importantes relacionadas con la falta de normativa técnica, variabilidad del material y riesgo de seguridad en obras de mayor altura. Por ello, este estudio evidenció la necesidad de desarrollar lineamientos que integren criterios técnicos y saberes tradicionales para garantizar su uso de una manera segura y eficiente dentro de las construcciones.
- La simulación estructural de los sistemas permitió evaluar el comportamiento y la capacidad resistente de la caña de guadúa aplicada tanto en encofrados de losas como en andamios exteriores. En el caso del sistema de encofrado de losas, diseñado con 5 ejes longitudinales separados cada 1 metro con altura de 2.60 metros, sometido a una carga de servicio de aproximadamente 986.23 kg/m² (incluyendo peso del concreto fresco y cargas vivas de trabajo), mostró una respuesta estructural eficiente con derivas menores al 2% y esfuerzos dentro del rango permisible para el guadúa, validando su aptitud como alternativa tradicional viable. Por otro lado, el sistema de andamio exterior, configurado con 3 pisos de altura, dispuesto cada 3 metros en el eje Y y con 2 ejes en el eje X separados a 90 cm con 2.60 metros de altura de cada piso, fue evaluado con cargas de servicio de 392.166 kg/m² (carga muerta más carga viva), donde represento una respuesta eficiente dando las derivas dentro de las permitidas por la norma. En conjunto, ambos modelos demostraron que, con un adecuado diseño

estructural y conexiones controladas, la caña de guadúa puede ser empleada con seguridad en sistemas temporales de soporte estructural.

- Se evaluó el comportamiento estructural de los elementos que conforman los sistemas temporales propuestos “encofrado de losas y andamios exteriores fabricados con caña de guadua” mediante modelación tridimensional en el software ETABS. Los elementos modelados fueron verificados conforme a los criterios de estabilidad, resistencia y deformación admisible establecidos en ACI 347R-14 y la norma europea para andamios. Los resultados obtenidos demuestran que, con una adecuada configuración geométrica y separación entre elementos, los sistemas cumplen con los requisitos estructurales para resistir las solicitaciones del vaciado de losas o soportar cargas temporales en obra, validando técnicamente su aplicación en el contexto constructivo del cantón Manta.

# RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis del entorno climático donde se implementará el sistema, ya que factores como la humedad, la radiación solar, la presencia de insectos xilófagos o hongos pueden degradar la resistencia mecánica de la guadua si no ha sido tratada adecuadamente.
- El diseño del sistema de encofrado no se basó en planos estructurales específicos, lo cual impidió aprovechar elementos portantes permanentes como columnas o muros estructurales que podrían colaborar en la transmisión de cargas. Se recomienda realizar un análisis conjunto para una solución más eficiente.
- Los conectores empleados en el armado del sistema fueron diseñados siguiendo criterios normativos y adaptados a condiciones locales, pero no se evaluó su resistencia ni comportamiento bajo carga real. Se recomienda realizar ensayos experimentales que permitan validar su capacidad y seguridad.
- Para garantizar una distribución uniforme de las cargas y evitar asentamientos diferenciales en los sistemas de encofrado y andamiaje, se recomienda el uso de cuñas o elementos de ajuste que permitan nivelar cada apoyo de manera precisa.
- Dado que se trata de un sistema no convencional y basado en materiales naturales, es fundamental que los trabajadores conozcan los procedimientos adecuados de armado, manipulación y desmontaje para asegurar la calidad y seguridad del sistema.
- Se recomienda limitar la cantidad de veces que se reutiliza cada elemento, basándose en inspecciones visuales y pruebas de carga simples, para evitar fallas por fatiga o pérdida de capacidad estructural.

# BIBLIOGRAFÍA


GPE INEN. (1978). Guía práctica Diseño y construcción de encofrados. Quiito: GPE INEN 016.

AFP. (2023). *Los andamios de bambú de Hong Kong preservan una tradición ancestral*. Obtenido de https://www.rfi.fr/es/m%C3%A1s-noticias/20230508-los-andamios-de-bamb%C3%BA-de-hong-kong-preservan-una-tradici%C3%B3n-ancestral

Agiriano, J. (2023). *Tipos de andamios: características y usos específicos*. Obtenido de https://www.ulmaconstruction.es/es-es/ulma/blog/tipos-andamios-caracteristicas

American Concrete Institute. (07 de 2014). ACI 347R-14. *Guide to Formwork for Concrete*. ACI.

Andrade, N., & Espinoza, E. (2022). ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA CAÑA GUADUA Y SU IMPACTO ESTRUCTURAL EN LOS CANTONES TOSAGUA, JUNÍN Y BOLIVAR DE LA PROVINCIA DE MANABÍ. Manta: Uleam.

ASCE 7-16. (2019). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. Virginia, Estados Unidos: Structural Engineering Institute.

BOWLES, J. (1984). DISEÑO DE ACERO ESTRUCTURAL. Mexico: Bradley University.

Brand, R. S. (2015). *Caracterización física y mecánica de la guadua rolliza de la especie angustifolia kunth mediante procesamiento digital de imagenes.* . Obtenido de https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/7264/PROYECTO_FINAL_CARACTERIZACI%c3%93N%20F%c3%8dSICA%20Y%20MEC%c3%81NICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

BSG Institute. (2015). MÉTODO DE FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA (LRFD) EN CONSTRUCCIÓN. España: ISO 9001:2015.

CAMICON. (2020). *LA CÁMARA*. Obtenido de Accidentes laborales en la construcción: https://www.camicon.ec/la-camara-accidentes-laborales-en-la-construccion/

CCS. (2021). *Consejo Colombiano de Seguridad* . Obtenido de Riesgos por trabajo en andamios: https://ccs.org.co/riesgos-por-trabajo-en-andamios/

Chopra, A. (2012). Dynamics of Structures. *Theory and Applications to Earthquake Engineering*. Pearson: Prentice Hall.

Comafors. (s.f.). *Tangare Manual de Descripción General de Especies de Bosques Secundario*. Obtenido de https://comafors.org/wp-content/uploads/2010/05/tangare.pdf

Comité Europeo de Normalización. (2003). UNE-EN 12811-1. *Equipos temporales de obra. Andamios de trabajo.Requisitos de rendimiento y diseño general*. AENOR.

Cueva, G. (1986). Proyecto, Diseño y Construcción de Encofrados para Estructuras de Hormigón Armado. *Tesis de Grado*. Universidad Técnica Particular de Loja.

De la Cuz, U. (2024). *Ventajas y Usos de los Diferentes Tipos de Losa en Edificación.* Obtenido de Combopremex: https://cobopremex.com.mx/ventajas-y-usos-de-los-diferentes-tipos-de-losa-en-edificacion/

EL MERCURIO. (2020). Obrero fallece de forma instantánea al caer de andamio en una construcción. *EL MERCURIO*.

El Oficial. (2018). *ANDAMIOS SEGUROS EN LA CONSTRUCCIÓN*. Obtenido de https://www.eloficial.ec/andamios-seguros-en-la-construccion/

Esnova. (2023). *Qué es galvanizado*. Obtenido de https://esnova.com/es/blog/que-es-galvanizado/

Española, L. (2025). *Real Academica Española*. Obtenido de encofrado: https://dle.rae.es/encofrado

Guedes, A. (2021). *Portal de Andamios* . Obtenido de Andamios de bambú: https://portaldosandaimes.com/es/andamios-de-bambu/

Guerrido, M. (2019). ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA CAÑA GUADUA Y SU IMPACTO ESTRUCTURAL EN LOS CANTONES JIPIJAPA, PAJÁN Y PUERTO LÓPEZ DE LA PROVINCIA DE MANABÍ.

*PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL* . Manta: Uleam.

Hierros Molina. (2021). *TIPOS DE ANDAMIOS Y CARACTERISTICAS*. Obtenido de https://www.hierrosmolina.com/blog/tipos-de-andamios-y-caracteristicas/

Hinojos, A., & Fernando, D. (2019). Propuesta de aplicación de plataforma de andamio multidireccional móvil para cubrir grandes luces optimizando los costos de producción de revestimiento en la construcción de centros comerciales. *PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).

Ingeniería y Mecánica Automotriz. (2020). *¿Qué es un material Isotrópico, Anisotrópico y Ortotrópico?* Obtenido de https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-un-material-isotropico-anisotropico-y-ortotropico/#google_vignette

Instiituto del Cemento Portland. (2022). Obtenido de Manual de la vivienda de hormigón industrializada en sitio: https://icpa.org.ar/wp-content/uploads/2022/05/Capitulo-2_Manual-ICPA.pdf

Keçeci, K. (2024). *La influencia del bambú en la arquitectura asiática*. Obtenido de DOK: https://dokmimarlik.com/es/la-influencia-del-bambu-en-la-arquitectura-asiatica/

Max Acero Monterrey. (2023). *Tipos de encofrado en construcción que debes conocer*. Obtenido de https://maxacero.com/blog/tipos-de-encofrado-en-construccion-que-debes-conocer/

Max Acero Monterrey. (2025). *Losa Nervada: Conoce sus ventajas, características y aplicaciones en proyectos de construcción*. Obtenido de https://maxacero.com/blog/losa-nervada-caracteristicas-ventajas-aplicaciones/

Mercedes, J. R. (s.f.). *Guía Técnica Cultivo del Bambú*. Obtenido de Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc.: https://intranet.cedaf.org.do/digital/bambu.pdf

Merlino, J. (2023). *13 causas comunes del colapso de andamios en obras de construcción*. Obtenido de https://www.wsatlaw.com/es/13-causas-habituales-del-desplome-de-andamios-en-las-obras-de-construcci%C3%B3n/

Merlino, J. (2023). *13 causas comunes del colapso de andamios en obras de construcción*. Obtenido de ua

Ministerio del Ambiente. (2014). *Propedades Anatómicas, Físicas y Meánicas de 93 Especies Foresttales*. Obtenido de Proyecto "Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático (MFSCC): https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e38440e9-a137-43cb-bdcf-f8fa1c8c6dce/content

Morales, K., Pacheco, G., & Viera, P. (2021). Accidentabilidad laboral en el sector de la construcción: Ecuador, período 2016-2019. *REVISTA INGENIO* (págs. 37-47). Quito: Universidad Central del Ecuador.

Muñoz, J. (2024). *PANEL*. Obtenido de Descubre Cómo Hacer una Losa Nervada en 2024, ¡Guía Completa con Materiales!: https://panelyacanalados.com/blog/como-hacer-una-losa-nervada-guia-actualizada/

NEC - SE - CG. (2014). Norma Ecuatoriana de la Construcción. *Cargas (No Sísmicas)*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.

NEC - SE - DS. (2014). Norma Ecuatoriana de la COnstrucción. *Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.

NEC – SE – GUADÚA. (2016). ESTRUCTURAS DE GUADÚA (GaK). *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI)* .

NEC - SE - HM. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción de la Estructuras de Hormigón Armado*. Obtenido de Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda: https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/8.-NEC-SE-HM-Hormigon-Armado.pdf

NEC - SE - MD. (2014). *Norma Ecuatoria de la COnstrucción (Estructuras de Madera)*. Obtenido de MInisterio de Desarrollo Urbano y VIvienda :

https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/11.-NEC-SE-MD-Estructuras-Madera.pdf

NEC. (2012). *FICHA TÉCNICA DE MADERA*. Obtenido de Madera de Tangaré con librado (moldadura) continuo a lo largo de cualquiera de sus bordes o caras (duelas y medias duelas para piso): https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/co_madera.php?id=31210.03.19#

Páez, J., Rosa, Y. D., Verduga, G., Soto, J., & Barreto, L. (2022). CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE LA GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH EN TRES CANTONES DE LA PROVINCIA DE MANABÍ. Manta: Claustro.

rapid-scarffoorm. (s.f.). *¿Cuáles son las causas de falla del encofrado de hormigón?* Obtenido de https://rapid-scafform.com/es/cuales-son-las-causas-de-falla-del-encofrado-de-hormigon/

Real Academia Española. (2025). *Diccionario del Estudiante* . Obtenido de andamio: https://www.rae.es/diccionario-estudiante/andamio

Reasco, A., & Ligña, J. (2022). CARACTERIZACIÓN DEL ACERO K100 UTILIZADO EN LA FABRICACIÓN DE HERRAMIENTAS APLICADAS A LA INDUSTRIA DE LA MADERA . UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.

Recalde, F. (2015). DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES UTILIZANDO MADERA LAMINADA. *Tesis para obtener el título de ingeniero civil*. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

Rivas, M. (2018). *Madera: material por excelencia en encofrados*. Obtenido de https://www.maderea.es/madera-material-por-excelencia-en-encofrados/#:~:text=Los%20encofrados%20de%20madera%20son,los%20apeos%20que%20lo%20sustentan.

Rodríguez, C., Torres, L., & Octavio, H. (2020). *Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del culmo de Guadua angustifolia en la construcción y estudio de un método de protección a la intemperie*. Obtenido de

https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/c6c10427-6805-472d-a858-54c0feabc4a0

Sibille, A. (s.f.). Maderas del Perú. *Prompex Peru*.

Sotelo, E. (2016). “PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y DE TRABAJABILIDAD DE Carapa amorphocarpa. Ibarra: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

Structural Academy. (2023). *ETABS integra todos los aspectos de un proyecto de edificios, desde el inicio de su concepción, a la conexión BIM y detalle de estructuras*. Obtenido de https://www.csiespana.com/software/5/etabs

UNE-EN 12811-1 . (2005). Equipamiento para trabajos temporales de obra Parte 1: Andamios . *Requisitos de comportamiento y diseño general* . España: NORMA EUROPEA.

USDA. (2021). Wood Handbook . *Wood as an Engineering Material*. Estados Unidos: General Technical Report.

# ANEXOS

***Figura 89.*** *Anexo 1*

***Figura 90.*** *Anexo 2*

***Figura 91.*** *Anexo 3*

***Figura 92.*** *Anexo 3*

***Figura 93.*** *Anexo 3*

***Figura 94.*** *Anexo 3*