



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL PAMBIL COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL SOMETIDO A CARGAS DINÁMICAS”

AUTOR: Cristhian Alexander Carrasco Cajamarca – Diana Narcisca
Guartasaca Uyaguari

DIRECTOR: Ing. Civ. Juan Sebastián Maldonado Noboa, M.Sc.

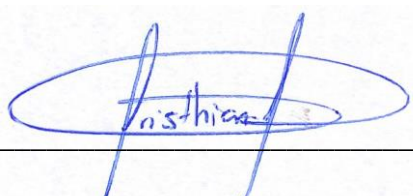
CUENCA – ECUADOR

2021

*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*

DECLARACIÓN

Nosotros, **Cristhian Alexander Carrasco Cajamarca** y **Diana Narcisa Guartasaca Uyaguari**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



Cristhian Alexander Carrasco Cajamarca.
CI: 0605404458



Diana Narcisa Guartasaca Uyaguari.
CI: 1400847750

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. MSc Juan Maldonado Noboa, en calidad de tutor del trabajo de titulación denominado: “**Análisis del comportamiento del Pambil como elemento estructural sometido a cargas dinámicas**”, Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **CRISTHIAN ALEXANDER CARRASCO CAJAMARCA Y DIANA NARCISA GUARTASACA UYAGUARI**, estudiantes de la carrera de ingeniería civil de la unidad académica de la Ingeniería, Industria y Construcción, bajo la supervisión del suscrito; trabajo reúne los requerimientos necesarios para su presentación y sustentación ante el tribunal que se disponga.



Ing. Civ. Juan Sebastián Maldonado Noboa,
M.Sc DIRECTOR

DEDICATORIA

Mi dedicatoria va principalmente a Dios por darme la salud y ser mi guía a lo largo de toda mi vida, dándome las fuerzas suficientes para lograr cada uno de mis objetivos, llegando a un momento importante de mi vida profesional.

A Anita López y Marco Cajamarca por ser quienes me cuidan desde el cielo, protegiéndome y dándome las bendiciones todos los días.

A Julio Carrasco y Blanca Padilla por ser quienes me han guiado, aconsejado y apoyado durante toda mi vida para ser una persona de bien.

A Nelly Cajamarca y Edgar Carrasco quienes me dieron la vida para poder lograr mis metas, que desde el primer día en que los conocí me enseñaron de la manera más sabia y correcta a caminar por la vida.

A Stiven Carrasco y Katerine Carrasco quien han sido mi apoyo incondicional y quienes han estado en los momentos buenos y malos de la vida.

Cristhian Alexander Carrasco Cajamarca

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado especialmente a mi madre Ayda Guartasaca, quién me brindó todo su amor y apoyo incondicional durante toda mi trayectoria personal y académica. Me ha guiado de la manera más sabia y correcta, gracias a sus consejos ha hecho de mí la mujer que soy y he podido culminar un escalón más de mi vida. Me enseñó que a las caídas se les hace frente con positivismo y que jamás se debe dejar una meta por cuán difícil sea de cumplirla.

También quiero mencionar en esta dedicatoria a mis dos hermanos Wagner Rivera y Richard Rivera, quienes han sido mi compañía incondicional y sobre todo son mi inspiración. Por último, y no menos importante quiero dedicar a dos personas especiales Wilmer Rivas y Rosalino Rivas, quienes llegaron a mi vida de forma repentina; y desde el primer día me brindaron su cariño incondicional y apoyo.

Diana Narcisa Guartasaca Uyaguari

AGRADECIMIENTO

Yo Cristhian Alexander Carrasco Cajamarca, agradezco a de manera especial a todas las personas que aportaron en esta etapa de mi vida. Agradezco a tía Karina Cajamarca por ser quien me ha ayudado en mi etapa universitaria dándome el apoyo y los ánimos necesarios para seguir adelante, a mi familia por darme el apoyo moral para seguir superándome cada día y lograr mis metas planteadas, a mis amigos de la universidad y compañera de tesis que a pesar de las circunstancias me han apoyado para desarrollar este trabajo de titulación.

Yo Diana Narcisca Guartasaca Uyaguari, agradezco a todas las personas que me acompañaron durante esta etapa de mi vida, a mi mamá, a mis hermanos, a Wilmer Rivas, a Rosalino Rivas, a mi tío Juan López, a Olger López y familia, en especial a su papá Claudio López (†) y hermana Doris López, a mis mejores amigos y a todos aquellos que estuvieron presentes en este crecimiento personal. Cada una de las personas que he mencionado aportaron en este proceso de forma económica, moral y sentimental. A pesar de las circunstancias nunca me dejaron sola, me apoyaron incondicionalmente y con ello permitieron que pueda cumplir con éxito esta etapa.

Agradecemos de manera especial a la Universidad Católica de Cuenca por los conocimientos brindados a través de los docentes de la carrera de Ingeniería Civil y en particular a nuestro tutor, el Ing. Civ. Juan Maldonado quien ha sabido brindar su apoyo, su conocimiento durante todo el proceso de elaboración en este trabajo de investigación.

Para el ingeniero Marcos Gonzales laboratorista de Suelos de la Universidad Católica de Cuenca quien nos ha ayudado en la realización de los ensayos realizados para el presente trabajo.

Finalmente, agradecemos a los docentes lectores el Ing. Civ. Eduardo Palma y el Ing. Civ. Juan Barbecho quienes nos han ayudado de una u otra manera para la elaboración del presente trabajo de titulación.

***“Para empezar un gran proyecto, hace falta valentía. Para terminar un gran proyecto,
hace falta perseverancia”***

Cristian Castro Rodríguez

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad involucrar en el ámbito de la construcción el uso de la Iriartea Deltoidea (Pambil), a través del análisis de sus propiedades físicos-mecánicas en ensayos de laboratorio y modelos computacionales en software especializado para analizar su comportamiento ante cargas dinámicas.

Se estudian especímenes provenientes de la provincia de Morona Santiago cantón Gualaquiza, en estado seco al aire con una edad aproximada de un año y especímenes en estado verde, con el propósito de determinar la humedad óptima para utilizar la palmera como elemento estructural. Además, las propiedades resultantes son contrastadas con diferentes fuentes bibliográficas.

Posterior a dichos ensayos mediante el empleo de un acelerómetro triaxial se determina la razón de amortiguamiento crítico (Chi), con la finalidad de modelar el comportamiento del material amortiguado, mediante un análisis estático, un análisis modal espectral con el sismo de diseño para la Provincia de Morona Santiago y un análisis no lineal paso a paso en el tiempo con el registro sísmico del 16 de abril de 2016 ocurrido en Pedernales, se establecen diferentes niveles de desempeño sísmico contemplados en la NEC-SE-DS para estudiar la respuesta del Pambil sometido a cargas dinámicas.

Finalmente se presentan tablas comparativas con los resultados, de las propiedades mecánicas del material, así como de los análisis de una estructura de 2 niveles para sus diferentes niveles de desempeño.

Palabras clave: IRIARTEA DELTOIDEA, CARGAS DINÁMICAS, COCIENTE DE AMORTIGUAMIENTO CRÍTICO, DISEÑO POR DESEMPEÑO

ABSTRACT

This research work aims at involving the use of *Iriartea Deltoidea* (Pambil) in the construction field, through the analysis of its physical-mechanical properties in laboratory tests and computational models in specialized software to analyze its behavior under dynamic loads. Specimens from the province of Morona Santiago, canton Gualaquiza, in an airdried state with an approximate age of one year and specimens in the green state are studied to determine the optimum humidity to use the palm tree as a structural element. Additionally, the resulting properties are contrasted with different bibliographic sources.

After these tests, using a triaxial accelerometer, the critical damping ratio (χ) is determined, to model the behavior of the damped material, through static analysis, spectral modal analysis with the design earthquake for the Province of Morona Santiago, and a nonlinear analysis step by step in time with the seismic record of April 16, 2016, occurred in Pedernales, different levels of seismic performance contemplated in the NEC-SE-DS are established to study the response of the Pambil subjected to dynamic loads. Finally, comparative tables are presented with the results, of the mechanical properties of the material, as well as the analysis of a 2-level structure for its different performance levels.

KEYWORDS: IRIARTEA DELTOIDEA, DYNAMIC LOADS, CRITICAL DAMPING RATIO, PERFORMANCE DESIGN.

ÍNDICE

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
CAPÍTULO I.....	1
1. GENERALIDADES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Líneas de investigación	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Hipótesis.....	3
1.6. Justificación.....	4
1.7. Estado del arte	5
CAPÍTULO II	7
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Conceptos generales.....	9
2.2. El Pambil en el Ecuador	12

2.3.	Morfología del Pambil	12
2.4.	Generalidades del Pambil (Iriarteia Deltoidea).....	13
2.4.1.	Taxonomía.....	13
2.4.2.	Usos	14
2.4.3.	Distribución	15
2.5.	Bambúes en la construcción.....	16
2.6.	Guadúa Angustifolia Kunth	16
2.7.	El Pambil y los movimientos sísmicos.....	17
2.8.	Uniones.....	17
2.8.1.	Uniones viga-columna.....	17
2.8.2.	Uniones zunchadas o amarradas.....	17
2.8.3.	Uniones con pernos tensores o con tarugos de madera	18
2.8.4.	Uniones longitudinales	18
2.8.5.	Uniones columna-cimentación	20
2.9.	Propiedades Físicas	20
2.9.1.	Contenido de Humedad	20
2.9.2.	Densidad	21
2.9.3.	Contracción.....	21
2.10.	Propiedades mecánicas.....	21
2.10.1.	Ensayo a flexión	21
2.10.2.	Ensayo a compresión	23
2.10.3.	Cizallamiento.....	24
2.11.	Sismicidad en el Ecuador	25
2.12.	Placas tectónicas.....	26
2.13.	Vulnerabilidad sísmica.....	28
2.14.	Peligro Sísmico	28

2.15.	Diseño basado en el desempeño sísmico.....	29
2.15.1.	Niveles de desempeño sísmico de la estructura.....	29
2.16.	Peligro sísmico del cantón Macas	30
2.17.	Mapa del Diseño Sísmico.....	31
2.18.	Geología local (Tipos de suelos).....	33
2.19.	Espectros elásticos de diseño	35
2.20.	Metodología del diseño sísmico.....	38
2.20.1.	Diseño Basado en Fueras (DBF)	38
2.21.	Dinámica estructural	41
2.22.	Análisis de cargas de la estructura	42
2.22.1.	Combinación de carga para el diseño de última resistencia	43
2.23.	Deriva de piso.....	43
2.24.	Grados de libertad	44
2.25.	Vibración libre.....	46
2.25.1.	Vibraciones libres amortiguadas	46
2.25.2.	Vibraciones libres subamortiguadas	47
2.26.	Tipos de movimientos	48
2.27.	Decaimiento del movimiento	48
CAPITULO III		50
3.	PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS.....	50
3.1.	Propiedades del Pambil (Investigación Bibliográfica).....	50
3.2.	Características del Pambil	50
3.3.	Propiedades físicas	51
3.3.1.	Humedad.....	51
3.3.2.	Densidad	52
3.3.3.	Contracción.....	52

3.4.	Propiedades Mecánicas	52
3.4.1.	Flexión Estática	52
3.4.2.	Compresión paralela al grano	53
3.4.3.	Compresión perpendicular al grano.....	53
3.4.4.	Cizallamiento o corte.....	53
3.4.5.	Tensión	53
3.5.	Propiedades del Pambil (Ensayos del laboratorio).....	54
3.5.1.	Elaboración de probetas.....	54
3.5.2.	Propiedades físicas	55
3.6.	Propiedades mecánicas.....	59
3.6.1.	Flexión estática	59
3.6.2.	Esfuerzo de las fibras al límite proporcional	60
3.6.3.	Módulo de ruptura	60
3.6.4.	Módulo de elasticidad.....	61
3.6.5.	Ensayo de compresión paralela a las fibras	61
3.6.6.	Ensayo de compresión perpendicular a las fibras.....	63
3.7.	Fracción de amortiguamiento del Pambil (ξ)	64
3.8.	Propiedades mecánicas de la Guadúa Angustifolia Kunt.....	67
CAPITULO IV		70
4.	METODOLOGÍA.....	70
4.1.	Normas y códigos utilizados	70
4.2.	Estado de carga.....	70
4.2.1.	Carga muerta.....	71
4.2.2.	Carga viva.....	71
4.2.3.	Carga sísmica.....	71
4.3.	Prediseño de los elementos estructurales	71

4.3.1.	Geometría	71
4.3.2.	Losa	73
4.3.3.	Vigas	73
4.3.4.	Columnas	73
4.4.	Característica de la zona.....	73
4.4.1.	Zonas sísmicas y factor z.....	73
4.4.2.	Tipo de suelo	74
4.4.3.	Factores de perfil de suelo Fa, Fd y Fs	74
4.5.	Espectro elástico de diseño en aceleraciones	76
4.6.	Metodología del diseño sismoresistente.....	76
4.6.1.	Límites permisibles de las derivas de los pisos	77
4.6.2.	Factor de reducción de resistencia sísmica R	77
4.7.	Análisis y diseño estructural de la estructura de 2 niveles.....	79
4.7.1.	Consideraciones en el programa ETABS	79
4.7.2.	Diseño de elementos estructurales.....	80
4.8.	Análisis Estático.....	85
4.8.1.	Cortante basal	85
4.8.2.	Distribución de las fuerzas laterales en la estructura.....	86
4.9.	Análisis Dinámico	86
4.9.1.	Control de derivas en el análisis modal	87
4.10.	Análisis paso a paso en el tiempo	88
4.11.	Análisis de los ensayos del laboratorio	90
4.12.	Comparación de propiedades físicas-mecánicas del pambil	100
4.13.	Relación entre la Norma ASTM D-143 y resultados obtenidos en la investigación.....	101

4.14. Comparación de las propiedades físico-mecánicas del Pambil y la Guadúa Angustifolia Kunt	103
4.15. Análisis e interpretación de resultados.....	104
4.15.1. Análisis modal espectral.....	105
4.15.2. Resultados de la modelación mediante el análisis estático, análisis dinámico y análisis tiempo historia.	108
4.15.3. Análisis de un sismo moderado y un sismo severo	113
CAPITULO V	115
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
CONCLUSIONES	115
RECOMENDACIONES	117
BIBLIOGRAFÍA.....	119
ÍNDICE DE ANEXOS.....	125
ANEXO 1: Respaldo fotográfico extracción de las muestras	126
ANEXO 2: Respaldo fotográfico Ensayos del laboratorio	127
ANEXO 3: Hojas de cálculo en Excel de propiedad físico mecánicas del Pambil.....	130
ANEXO 4: Prediseño de los elementos estructurales	161
ANEXO 5: Modelación de la estructura en ETABS	169
ANEXO 6: Resultados de la modelación.....	173
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONA .	174

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología del Pambil (<i>Iriarteia Deltoidea</i>).....	13
Figura 2. Mapa de distribución del Pambil en el Ecuador.....	15
Figura 3. Entalladura boca de pescado.	18
Figura 4. Uniones zunchadas o amarradas.....	18
Figura 5. Uniones con tarugos o pernos.....	18
Figura 6. Pasos a seguir para las uniones longitudinales.	19
Figura 7. Unión longitudinal con 2 piezas metálicas.....	19
Figura 8. Entalladura pico de flauta.....	19
Figura 9. Unión con mortero.....	19
Figura 10. Detalle de apoyo de columnas GaK en sobrecimiento.....	20
Figura 11. Ensayo a flexión.	22
Figura 12. Curva Esfuerzo-Deformación.....	23
Figura 13. Ensayo de compresión paralela y perpendicular a las fibras.	24
Figura 14. Aceleración sísmica máxima horizontal en roca.	30
Figura 15. Espectro de peligro uniforme.	31
Figura 16. Mapa de zonas sísmicas según su periodo de retorno.	32
Figura 17. Mapa de zonas sísmicas.....	33
Figura 18. Espectro sísmico elástico de aceleraciones del sismo de diseño.	36
Figura 19. Espectro sísmico elástico de desplazamientos del sismo de diseño.	37
Figura 20. Linealización equivalente.....	39
Figura 21. Derivas en un marco de 2 niveles.....	44
Figura 22 Grados de libertad en pórticos.....	45
Figura 23. Marco.....	46
Figura 24. Efectos del amortiguamiento sobre la vibración libre.....	47

Figura 25. Vibración libre de sistemas subamortiguados, <i>críticamente</i> amortiguado y sobreamortiguado.....	48
Figura 26. Registro de la aceleración de un sistema en vibración libre.....	49
Figura 27. Componentes de la sección Resistente de Pambil.....	55
Figura 28. Troncos de 1 metro.....	55
Figura 29. Muestras en estado Seco.....	56
Figura 30. Ensayo a flexión.	61
Figura 31. Probetas ensayadas a flexión.	60
Figura 32. Ensayo a compresión paralela a las fibras.	61
Figura 33. Muestras ensayadas a compresión perpendicular a la fibra.....	62
Figura 34. Ensayo de compresión perpendicular a la fibra.....	63
Figura 35. Probetas ensayadas a compresión perpendicular a la fibra.....	64
Figura 36. Apoyo Empotrado.	64
Figura 37. Dispositivo que recepta la señal en 3 direcciones.	65
Figura 38. Software SeismoSignal - Señal escalada.	65
Figura 39. Guadúa Angustifolia Kunt.....	67
Figura 40. Zonas sísmicas de Ecuador para propósitos de diseño y valor del factor de zona z	73
Figura 41. Espectro de diseño elástico e inelástico del sismo	79
Figura 42. Modelación de un marco de 2 niveles	80
Figura 43. Marco de dos niveles.	81
Figura 44. Dimensiones de la losa.	85
Figura 45. Valor y C y K para el análisis en ETABS.	86
Figura 46. Acelerograma del sismo de Pedernales del 2016.	88
Figura 47. Espectros de aceleración del sismo de Pedernales año 2016	89
Figura 48. Ensayos de compresión Paralela a las fibras en estado seco	92
Figura 49. Compresión paralela a las fibras en estado verde a 1,50m.....	93

Figura 50. Compresión paralela a las fibras en estado verde a 5m.....	93
Figura 51. Compresión paralela a las fibras en estado verde a 9m.....	93
Figura 52. Compresión perpendicular seco al aire.....	94
Figura 53. Compresión perpendicular verde a 1,50m.....	94
Figura 54. Compresión perpendicular verde a 5m.....	95
Figura 55. Compresión perpendicular verde a 9m.....	95
Figura 56. Esfuerzo de las fibras al límite proporcional en estado seco al aire.....	96
Figura 57. Esfuerzo de las fibras al límite proporcional en estado verde a 1.5 m.	96
Figura 58. Esfuerzo de las fibras al límite proporcional en estado verde a 5 m.	96
Figura 59 Esfuerzo de las fibras al límite proporcional en estado verde a 9m.	97
Figura 60. Módulo de ruptura en estado seco al aire	97
Figura 61. Módulo de ruptura en estado verde a 1.5m	98
Figura 62. Módulo de ruptura en estado verde a 5m	98
Figura 63. Módulo de ruptura en estado verde a 9m	98
Figura 64. Módulo de elasticidad en estado seco	99
Figura 65. Módulo de elasticidad en estado verde a 1.5m.....	99
Figura 66. Módulo de elasticidad en estado verde a 5m.....	100
Figura 67. Módulo de elasticidad en estado verde a 9m.....	100
Figura 68. Configuración en el programa para el análisis modal en ETABS.....	104
Figura 69 Periodo de Vibración de los tres modelos.	106
Figura 70. Cumplimiento de la participación de la masa total de la estructura.	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía de la Iriartea Deltoidea (Pambil).	14
Tabla 2. Especies de Bambúes.....	16
Tabla 3. Sismos con magnitud mayor a 7 en el Ecuador.	26
Tabla 4. Principales placas tectónicas.....	27
Tabla 5. Tipo de perfiles de suelo para el diseño sísmico.	34
Tabla 6. Valores de K	41
Tabla 7. Combinación de cargas	43
Tabla 8. Valores de ΔM máximos, expresados como fracción de la altura de piso.....	44
Tabla 9. Características de la madera de Pambil.	51
Tabla 10. Ensayo de humedad del Pambil.	51
Tabla 11. Ensayo de densidad del Pambil.	52
Tabla 12. Ensayo de contracción del Pambil.	52
Tabla 13. Ensayo de flexión estática del Pambil.	52
Tabla 14. Ensayo de compresión paralela al grano del Pambil.	53
Tabla 15. Ensayo de compresión perpendicular al grano del Pambil.	53
Tabla 16. Ensayo de corte del Pambil.....	53
Tabla 17. Ensayo de tensión del Pambil.	53
Tabla 18. Especificaciones de ensayos	54
Tabla 19. Sección resistente.....	56
Tabla 20. Contenido promedio de humedad	57
Tabla 21. Densidades promedio.....	59
Tabla 22. Propiedades mecánicas (ensayo flexión)	61
Tabla 23. Propiedades mecánicas (ensayo a compresión paralela a las fibras)	63
Tabla 24. Propiedades mecánicas (ensayo a compresión perpendicular)	64
Tabla 25. Factor de amortiguamiento. Ensayo en tiras de Pambil.....	66

Tabla 26. Factor de amortiguamiento. Ensayo en troncos de Pambil.....	66
Tabla 27. Propiedades mecánicas de la Guadúa Angustifolia Kunt	68
Tabla 28. Comparación de las propiedades mecánicas de la Guadúa Angustifolia Kunt..	69
Tabla 29. Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas y concentradas	71
Tabla 30. Valor del factor Z en función de la zona adoptada	74
Tabla 31. Clasificación de los perfiles de suelo.....	74
Tabla 32. Tipo de suelo y factores de sitio Fa	75
Tabla 33. Tipo de suelo y Factores de sitio Fd	75
Tabla 34. Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs	76
Tabla 35. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura.....	77
Tabla 36. Valores de ΔM máximos, expresados como fracción de la altura de piso.....	77
Tabla 37 Coeficiente de reducción de respuesta estructural R.	78
Tabla 38. Factores utilizados para los espectros de diseño elástico e inelástico.	78
Tabla 39. Propiedades de la sección de Pambil	82
Tabla 40. Propiedades de 2 secciones de Pambil.....	83
Tabla 41. Propiedades de 4 secciones de Pambiles	84
Tabla 42. Distribución de fuerzas laterales por cortante.....	86
Tabla 43. Ajuste de cortante basal	86
Tabla 44. Modos de vibrar	87
Tabla 45. Derivas y desplazamientos máximos	88
Tabla 46. Clasificación de las maderas ensayadas por PADT-REFORT en función de la densidad básica	90
Tabla 47. Valores de densidades.....	91
Tabla 48. Contenido de humedad seca al aire.....	91
Tabla 49. Contenido de humedad en estado verde	92

Tabla 50. Relación entre la Norma ASTM D-143 y resultados obtenidos en la investigación	102
Tabla 51. Comparación de propiedades físico-mecánicas del Pambil y la Guadúa	103
Tabla 52. Periodo para una estructura de 2 niveles	106
Tabla 53. Modos de vibrar	106
Tabla 54. Estructura N°1 - Participación Modal.....	107
Tabla 55. Estructura N° 2 - Participación Modal.....	107
Tabla 56. Estructura N° 3 - Participación Modal.....	107
Tabla 57. Resultados de los diferentes análisis de la estructura N° 1.....	110
Tabla 58. Resultados de los diferentes análisis de la estructura N° 2.....	111
Tabla 59. Resultados de los diferentes análisis de la estructura N° 3.....	112
Tabla 60. Resultados del análisis de la estructura N° 1 por desempeño en un sismo Moderado y Severo para la provincia de Morona Santiago.....	113
Tabla 61. Resultados del análisis de la estructura N° 2 por desempeño en un sismo Moderado y Severo para la provincia de Morona Santiago.....	114
Tabla 62. Resultados del análisis de la estructura N° 3 por desempeño en un sismo Moderado y Severo para la provincia de Morona Santiago.....	114

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

Los materiales obtenidos de la naturaleza han ganado campo en la construcción; su empleo difiere del comportamiento de cada especie de madera. Un material no muy conocido es la palmera *Iriartea Deltoidea* (Pambil), al ser de tipo natural es de fácil adquisición, convirtiéndose así en un material económico; para que se pueda utilizar el Pambil por la comunidad constructora como elemento estructural es necesario que, los valores de las propiedades físico-mecánicas sean similares o mayores a cualquier parámetro mecánico de las maderas (*Guadúa Angustifolia* Kunt) que son empleados tanto como vigas, columnas o mampostería; siempre y cuando éstos cumplan con las solicitudes de servicio y resistencia. La finalidad de cumplir con los requisitos mencionados es guardar la seguridad estructural, garantizando que estas edificaciones sean más confiables y sobre todo viables.

A través de la investigación bibliográfica y ensayos del laboratorio, se analiza los resultados obtenidos de las propiedades físico-mecánicas (densidad, humedad, ensayo a flexión, compresión paralela a la fibra y compresión perpendicular a la fibra) del Pambil; dichos datos se emplean para determinar el comportamiento del Pambil ante cargas dinámicas; así como también la rigidez en las diferentes tipologías de estructuras; motivando de esta forma la consideración de un estudio más detallado y un aporte a la norma o guía de construcción de la *Guadúa* a nivel local.

Debido a la durabilidad, el Pambil es utilizado en la región del oriente ecuatoriano, empleado frecuentemente en vigas y columnas como componentes de las chozas típicas Shuar; son levantadas sin seguir técnicas y normativas de construcción. La contextura fibrosa y tubular, es una de las características propias de las especies naturales de la clase *liliospsida* (*Guadúa Angustifolia*, *Bambusa Vulgaris* y *Dendrocalamus Asper*), que permiten que sea ideal para absorber una cantidad de energía de deformación producida por acciones sísmicas o ambientales en el que se garantiza mayor resistencia y flexibilidad.

El modo correcto de emplear durante el proceso constructivo, el pambil debe estar en estado seco mientras que, en estado verde su contenido de humedad es alto, además al no ser tratado adecuadamente dicho material puede presentar efectos negativos durante el proceso de secado o a través del tiempo (rajaduras o fisuras), por lo que es necesario optar por el tratamiento del

material más apropiado según fuentes bibliográficas, en el implique preservar durante la vida útil, con el fin de llegar a obtener una máxima durabilidad del material.

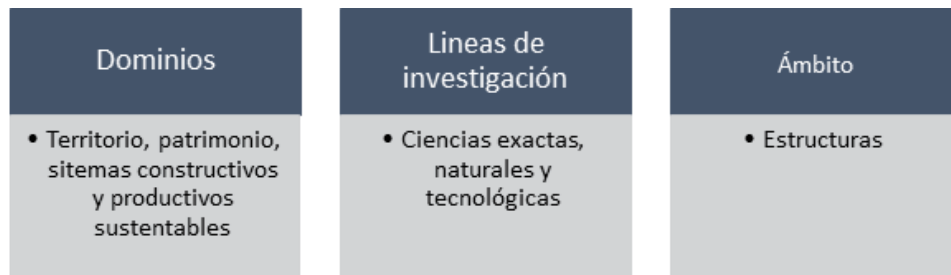
1.2. Planteamiento del problema

En el Ecuador existe gran variedad de materiales maderables, debido a la falta de experimentación en las características del Pambil, presenta inseguridad en el campo de la construcción. En la actualidad, el material es de uso exclusivo en chozas; debido a la falta del estudio, sobre todo al desconocimiento de las propiedades físico-mecánicas, su empleo se rige en criterios convencionales. Además, por su semejanza geométrica con la Guadúa Angustifolia Kunt es necesario una investigación para determinar el comportamiento del material ante cargas dinámicas en especial las de tipo sísmica; para ello es importante considerar aspectos mecánicos significativos en el análisis.

Con la presente problemática se propone el uso del Pambil como una alternativa en la construcción. El material presenta características notorias de resistencia, flexibilidad y durabilidad, lo que permite que su uso se incremente en las diferentes provincias de la región amazónica. Por otra parte, las propiedades físico-mecánicas del Pambil son extraídas de diversas investigaciones y de la realización de ensayos de laboratorio con un número de muestras representativas, permitiendo de esta forma saber su comportamiento mecánico como un material ortotrópico, de tal manera que garantice su capacidad de resistencia. Esto permite que el material sea considerado como un elemento estructural siendo óptimo en las diferentes tipologías estructurales; dichas características se obtendrán a partir de la realización de ensayos de laboratorio con un número de muestras representativas.

El pambil como columna o viga debe ser capaz de resistir acciones sísmicas que puedan ocurrir sin que estos eventos lleven al colapso de la misma. El enfoque técnico nos permitirá adaptarnos a nuevas alternativas que garanticen la construcción en las diferentes regiones incluyendo las que presentan una mayor aceleración sísmica. Además, que las futuras generaciones puedan aprovechar dicho material natural que se encuentra fácilmente en los bosques amazónicos con la finalidad de que puedan realizar aplicaciones más amplias en el sector de la construcción como en el caso de las viviendas.

1.3. Líneas de investigación



1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar el comportamiento del Pambil sometido a cargas dinámicas en edificaciones a través de ensayos del laboratorio y modelos analíticos estructurales con la finalidad de utilizar el material como elemento estructural en la construcción.

1.4.2. Objetivos específicos

- Revisión bibliográfica de las propiedades mecánicas del Pambil.
- Determinar el comportamiento estructural del Pambil en la construcción.
- Determinar las tipologías estructurales a ser analizadas que responden al sistema (viga-columna).
- Analizar y comparar las diferentes propiedades físico-mecánicas de Pambil con la Guadúa Angustifolia.
- Demostrar la factibilidad de construir de forma segura una estructura (edificación) de por lo menos 2 pisos de pambil o combinado con la Guadua Angustifolia Kunt a través de la modelación como elementos estructurales.
- Establecer consideraciones necesarias respecto al material como aspectos técnicos y teóricos para realizar la simulación en SAP2000 o ETABS de un sistema estructural sometido a cargas dinámicas.
- Determinar los parámetros relevantes, producto del modelado a través del software SAP2000 o ETABS de las diferentes tipologías estructurales.

1.5. Hipótesis

Las propiedades físico-mecánicas del Pambil presentan un comportamiento óptimo, permitiendo que el material sea utilizado en la construcción como elemento estructural (viga y columna), por su semejanza geométrica con su clase liliopsida (Guadúa Angustifolia, Bambusa Vulgaris y Dendrocalamus Asper); de tal modo que, se pueda analizar ante cargas

sísmicas en programas de cálculo especializado (ETABS) como sistema estructural combinado con la Guadúa Angustifolia Kunt.

1.6. Justificación

Con la propuesta de emplear el Pambil, se busca la construcción de edificaciones como viviendas familiares que beneficien a la población ecuatoriana, las mismas que cumplan con las solicitudes mínimas establecidas para maderas en la norma ecuatoriana de la construcción. La construcción de chozas típicas shuar empleando Pambil de manera empírica es muy común en la región amazónica por su resistencia y durabilidad para la estructura; su uso fomenta la conservación de la tradición y cultura que caracteriza al Ecuador del resto de países. El bajo costo de adquisición del material hace que la demanda incremente a nivel de las demás provincias del país.

Con las propiedades físico-mecánicas extraídas de fuentes bibliográficas y ensayos de laboratorios, se estudia el comportamiento del material dentro del rango elástico para determinar su aplicación en las diferentes tipologías estructurales. El pambil se aplica como un sistema estructural de tipo pórticos en la que mediante un análisis que involucre espectros de diseño y aceleraciones sísmicas se determina su comportamiento, obteniendo de esta forma la mejor funcionalidad de la tipología estructural para analizar a detalle.

Los Bambúes presentan propiedades mecánicas muy eficientes con respecto a las maderas comunes utilizadas en la construcción y se espera que el Pambil posea propiedades similares o mejores que el Bambú utilizado estructuralmente, este nuevo material al ser una especie de un recurso renovable, su producción y su rápido crecimiento no generan cambios negativos en el medio ambiente; por lo que, en las regiones en donde se desarrolle su empleo en la construcción se potencie. La falta de conocimientos y normas en el país para generar un diseño o análisis estructural con un material alternativo como es el Pambil hace que la investigación se promueva y a través de ensayos, observaciones y correcciones este material se debe ajustar a las condiciones establecidas en la normativa ecuatoriana de madera, y así cumplan con aspectos del ámbito técnico de una construcción.

El Pambil al ser un material de origen natural es de bajo impacto ambiental, así como también la Guadua Angustifolia Kunt. Mediante el desarrollo de nuevas formas, técnicas y materiales utilizados en la construcción se obtiene nuevas estrategias que permitan atender los problemas de interés social de una forma más rápida, permitiendo así perfeccionar las

edificaciones u obras que se proyectan a la sustentabilidad con el propósito de mejorar la calidad de vida de la sociedad.

1.7. Estado del arte

La palmera se ha utilizado para la construcción de viviendas, su fruto como alimento y por lo general produce ingresos para la población que ofrece una alternativa de productos hechos de su madera, el estudio de esta especie permite aumentar la variedad de usos. Esta palmera posee la capacidad de reducir la deforestación y explotación, por lo que son de interés en el mercado nacional e internacional.

Las construcciones antiguas se han desarrollado a partir del uso al azar de las especies por lo que al presentar algún tipo de falla de sus elementos o del material, se desecha y se cambia por otro que sea más resistente por este motivo, es necesario analizar minuciosamente las maderas más importantes del país en este caso, es importante conocer cómo se ha ensayado física y mecánicamente el Pambil en el Ecuador, para así conocer su uso potencial que posee y aprovechar de una mejor forma su madera.

El Pambil se sub clasifica en los árboles de palma que pertenece a las plantas maderables. De acuerdo a lo citado por Calderón Ramírez et al. (2005) el Pambil presenta haces vasculares de forma acorazonada cubierto por el parénquima con un diámetro de 1,6 mm. Esta palmera en comparación a otras presenta valores superiores de la densidad básica, por otro lado, la contracción radial y tangencial, presenta valores similares debido a que sus componentes celulares son homogéneos en ambas caras.

Según, Rivadeneira (2018) existen varias zonas del Ecuador en donde se encuentra el Pambil, por lo que el autor analiza las propiedades del pambil de diferentes partes, sin embargo, los análisis se realizan en varias probetas que determinan si es apto para ser utilizado en las obras civiles para ello, se ha utilizado la norma COPANT y ASTM para determinar las propiedades mecánicas del material.

Las maderas ofrecen un campo muy variado por lo que debido a las propiedades físico-mecánicas como la humedad, hinchamiento, contracción y densidad y propiedades mecánicas presentan usos diferentes por otro lado, es necesario conocer las características para asegurar su resistencia, calidad y resistencia para aprovechar de una mejor su madera. El pambil al ser sometido a ensayos del laboratorio presenta una resistencia mecánica alta permitiendo al material ser implementado en la construcción (Erazo, 2017).

En la región sur del Ecuador, el empleo y estudio de fibras de tipo orgánico como aditivo en el hormigón es nulo; a pesar de existir varias especies vegetales que son importantes para proporcionar fibras que pueden aportar en el área de la construcción. De acuerdo a ensayos realizados con las fibras de *Iriartea Deltoidea*, en el ensayo de compresión con fibras del material se obtiene el mejor resultado; caso contrario sucede para los ensayos de flexión, el hormigón disminuye su resistencia; por este motivo técnicamente la adición de fibras de pambil en el hormigón no es viable (Alvarado Romero, 2014).

El módulo elástico de las fibras de tipo orgánico es muy bajo, motivo por el cual se obtienen grandes deformaciones; este aspecto es muy vinculado a los valores altos de elongación a la rotura de este tipo de fibras. Si existe un aumento en la relación de la forma versus longitud durante condiciones de mezclado provoca una mayor capacidad de resistencia a la tracción. Así mismo, si aumenta el contenido de volumen existe un incremento proporcional de la resistencia a la tracción.

Al no existir estudios respecto al uso del pambil como adición en el hormigón, por su similitud geométrica con el bambú se toma consideraciones establecidas al mismo. El bambú tiene una capacidad de absorber humedad y trae consigo cambios volumétricos, que ha sido evitado con tratamiento superficial; cuando no existe alguno o ha sido deficiente se producen grandes fallas durante su uso.

La consideración de un sistema constructivo que se ha desarrollado a partir del Pambil se fundamenta al principio de distribución uniforme de las fuerzas verticales que actúan a lo largo y ancho de la estructura que conforma una edificación; como se sabe, la mejor propiedad sobresaliente que presenta el Pambil, es la resistencia a la compresión por lo cual se propone el uso en columnas, paredes divisorias, postes y pilares. Para fines estructurales es necesario tener en cuenta los fundamentos principales que lleva un sistema estructural, entre los cuales están: equilibrio, estabilidad, resistencia, funcionalidad, económico y estético, con el fin de satisfacer cargas vivas, muertas y ambientales.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

A nivel mundial los materiales maderables naturales al ser renovables y reutilizables en este caso el Pambil aportan al desarrollo sostenible enfocadas al aspecto económico, social y ambiental; en relación con la Guadúa *Angustifolia* Kunt por ser materiales naturales; dado que hoy en día este segundo material es muy utilizado en la construcción ecuatoriana representando un desarrollo muy importante para la construcción sostenible (Balslev et al., 2012).

Según Valencia et al. (2013) el Pambil (*Iriartea Deltoidea*) en el Ecuador se extiende comúnmente en bosques húmedos y pluviosos (bosques amazónicos); así mismo ha sido adaptado a diferentes hábitats dentro de la geografía que presenta el Ecuador.

El Pambil es el más utilizado de su especie con una demanda nacional extensa de modo que las comunidades amazónicas lo usan como elemento básico en las casas tradicionales. “Es importante mencionar que los individuos entre 5 a 20 m de alto son los más importantes y su cosecha afecta negativamente la tasa de crecimiento poblacional de la especie, por otra parte, la cosecha de individuos mayores a los 20 m se realiza sin restricciones porque no representa algún riesgo en la población de la especie” (Bernal & Galeano, 2013). La variedad de servicios que brindan las palmas se ha convertido en referentes culturales de los pueblos ecuatorianos proponiendo incluso catalogar a ciertas especies y sus usos como Patrimonio Cultural para defender su conservación y su valor histórico (Valencia et al., 2013).

Balslev et al. (2008) afirma que, en la construcción con Pambil, su madera obtenida del tronco, es utilizada para las paredes y los pisos de la vivienda; así mismo el uso de los troncos como postes en las viviendas (columnas), las vigas para los techos y pisos, las hojas son utilizadas para el techado de casuchas temporales o permanentes y en el campo como postes de linderos.

A lo largo de la historia en el Ecuador se han construido estructuras de hormigón, acero o madera; y debido a la presencia de eventos destructivos como los terremotos de intensidades VII o mayores, las estructuras débiles o informales sufren daños de consideración, mientras que los de menor intensidad causan daños que son reparables, es decir, no existe afectación estructural, por lo tanto, su reparación requiere de menos inversión económica (Landázuri, 2012). Algunos de los terremotos importantes que se pueden mencionar son: Riobamba (1797),

Esmeraldas (1906), Manabí (1942), Esmeraldas (1958), Bahía de Caráquez (1998) y Pedernales (2016) (Rivadeneira et al., 2007).

Los sismos en la región oriental del Ecuador que se presentan con menor frecuencia; a comparación de las demás regiones no causan daños considerables y la cantidad de los mismos, que se presentan son mínimo.

Entre los terremotos más importantes para la región oriental de magnitud 6,9 en la escala de Richter, están el terremoto del 5 de marzo de 1987 en la zona de El Reventador y el de Cutucú, originado el 3 de octubre de 1995 (Rivadeneira et al., 2007). En cuanto a un sismo significativo que causó pérdidas económicas y humanas, se tiene el sismo de Pedernales, originado el 16 de abril del 2016 en la región costera.

Después del sismo mencionado, se realizaron evaluaciones en las construcciones en donde determinaron que “En Ecuador, a pesar de la Norma Ecuatoriana Sismo resistente (N.E.C.) del año 2001, los edificios son limitados y un 70% de edificaciones no siguen sus indicaciones en la construcción” (Sáez de Sata María Benedet, 2016).

Por otra parte, cabe mencionar que el primer Código Ecuatoriano de la Construcción se elaboró el 5 de agosto de 1949 basado en el código Uniform Building Code (UBC) de California; sin embargo, el código resultó como consecuencia del sismo ocurrido en Pelileo (Provincia de Tungurahua); de modo que, en el año 2000 se realiza la primera zonificación sísmica para el Ecuador por parte del Subcomité técnico del ente regulador; por otra parte la zonificación se incluyó en el Código Ecuatoriano de la Construcción emitido en el año 2001 (Jaramillo & Rocha, 2013).

América Latina se ha caracterizado por implementar nuevas tecnologías para la construcción; es decir, aprender posterior a una consecuencia de acciones naturales. El sismo del 16 de abril el 2016 causó grandes colapsos en las estructuras convencionales de hormigón armado en la zona costera del país, siendo este hecho un motivo para la innovación en las estructuras con el uso de nuevos materiales de bajo costo y sostenibles. Bajo esta premisa el Gobierno Nacional del Ecuador ha analizado la implementación de nuevas tipologías de viviendas que tengan como base el uso de materiales nobles y versátiles de la naturaleza para mejorar la calidad de vida de la población, y mitigar el gasto energético.

2.1. Conceptos generales

Pambil

Es una palma solitaria con una altura que va desde los 5 a 20 m, diámetro de 20 a 30 cm; su tallo de altura esta abruptamente engrosado (hasta 1 m) en la mitad; además, posee un denso cono de raíces zancudas (Bernal & Galeano, 2013).

Esfuerzo admisible

Se define como un esfuerzo menor al esfuerzo máximo resistente que puede soportar un material, sin afectar su desempeño, se lo determina mediante la relación por cociente entre el esfuerzo y el factor de seguridad, generalmente mayor a 1 (Salazar Trujillo, 2007).

Cargas dinámicas

Se llama así a las cargas que se aplican en un periodo de tiempo corto. Algunas son aplicadas y suprimidas de forma repentina como son las de impacto, mientras que otras pueden actuar por tiempos prolongados variando en su intensidad (cargas fluctuantes). Este tipo de cargas son capaces de realizar modificaciones en la magnitud de las tensiones como en las deformaciones que se originan, por ende, afecta la forma y el límite de rotura de los materiales, es decir, provoca un comportamiento frágil (Universidad Nacional del Nordeste, 2010).

Sismo

Un sismo es un movimiento de la tierra debido a la liberación de energía interna acumulada; dependiendo de las regiones geográficas los conceptos de sismo se utilizan para hacer referencia a temblores de menor intensidad que un terremoto (Carlos et al., 2015).

Estructura

Una estructura es un conjunto de elementos formada por uno o varios elementos enlazados entre sí, de manera que están destinados a soportar la acción de una serie de fuerzas aplicadas sobre ellos (Villareal et al., 2017).

Análisis Estático

El análisis estático es utilizado para determinar el estado de un mecanismo sujeto a fuerzas conocidas de modo que se obtiene las deformaciones de una estructura estudiada dentro del rango elástico, determinando así la configuración del sistema estructural en el que actuarán

todas las cargas y fuerzas a fin de que queden equilibradas y la energía potencial sea cero. Este análisis a comparación del dinámico no considera la velocidad, permite obtener la configuración estática de un sistema de forma fácil (Mancheno Torres, 2017).

Análisis lineal

Es la relación entre las cargas y el desplazamiento resultantes cumpliendo el principio de superposición basándose en el comportamiento elástico lineal de los materiales y en el equilibrio de la estructura sin deformaciones por lo que al duplicar las cargas los resultados del modelo se duplican.

Grado de libertad

Es cualquier tipo de desplazamiento o giro en los nodos de los elementos en una dirección restringida.

Rigidez

Es la capacidad que tiene un elemento estructural de soportar esfuerzos sin que produzcan grandes deformaciones y/o desplazamientos. La longitud, inercia, tipos de uniones, materiales utilizados son los parámetros fundamentales que definen a esta propiedad (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015d).

Deriva de piso

Es el desplazamiento lateral de un piso producido por una fuerza horizontal con respecto al piso consecutivo, medido en una línea vertical formada por dos puntos. Su cálculo resulta de restar el desplazamiento superior extremo del desplazamiento inferior extremo del piso (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015d).

Carga muerta o carga permanente

Constituyen las cargas generadas por los pesos de los elementos estructurales y otras cargas que permanecen constantes en un mismo lugar en una edificación. Estos elementos son muros, paredes, recubrimientos, instalaciones sanitarias, eléctricas, mecánicas, etc (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015a) .

Carga viva

Esta carga depende de la ocupación que se dé a la edificación y está conformada por los pesos de las personas, muebles, equipos, entre otras (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015a).

Carga accidental o carga sísmica

Es la carga generada por una fuerza sísmica en una estructura, la misma depende de la ubicación de la edificación con respecto a la zona de actividad sísmica (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015d).

Cortante basal de diseño

Se denomina así a la fuerza total de diseño generado por cargas laterales que son aplicadas en la base de la estructura, y resulta de la acción de un sismo de diseño con o sin reducción (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015d).

Espectro de respuesta

Es la respuesta máxima de un oscilador simple con un grado de libertad y un cierto amortiguamiento; la respuesta se expresa en desplazamiento, velocidad o aceleración para diferentes periodos del movimiento, con la finalidad de representar los efectos dinámicos del sismo de diseño (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015d).

Periodo de vibración

Se denomina periodo de vibración al tiempo transcurrido durante un movimiento armónico ondulatorio, o vibratorio, para que un sistema vibratorio regrese a su posición original luego de un ciclo de oscilación (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015d).

Respuesta elástica

Son los parámetros relacionados con las fuerzas y deformaciones que resulta del análisis elástico, empleando un sismo de diseño sin reducir (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015d).

Modos de vibrar

Es la representación natural de vibración de una estructura, a cada uno le corresponde una frecuencia o periodo diferente. Los modos de vibrar son adimensionales.

Amortiguamiento

Se le denomina así cuando la amplitud de vibración disminuye de manera constante(Chopra, 2014).

Material elástico- lineal

Es un estado en dónde el material cumple con la ley de Hooke, además del principio de proporcionalidad (Chopra, 2014).

2.2. El Pambil en el Ecuador

La (*Iriartea Deltoidea*) es una de las palmas más importantes del Ecuador de origen centroamericano que se encuentran en todas las regiones tropicales de Latinoamérica. En Ecuador prospera tanto en la región amazónica como en la provincia de Esmeraldas y otra gran variedad en diferentes hábitats del país; comúnmente se encuentra sobre las laderas de los bosques andinos, hasta en los márgenes de los arroyos de bosques húmedos tropicales (Matheus, 2013).

La forma que se le conoce a la especie *Iriartea Deltoidea* es diferente en todas las zonas tropicales de Latinoamérica. En Ecuador se llama Pambil, palma negra, cacho de toro, taraputu en Kichwa y ambakai en Shuar, en Colombia Barrigona, en Perú Huacrapona, Pona, en Bolivia Copa, en Venezuela Konopo y en Brazil axiubaño, paxiúba barriguda.

2.3. Morfología del Pambil

Tallo

Su tallo esta abruptamente engrosado hasta 1 metro en la mitad con un diámetro que varía desde los 20 a 30 cm de color grisáceo alcanzando alturas de hasta los 20 metros.

Raíces

Sus raíces son epigeas de 5 cm de diámetro con aguijones cortos y grueso de color blanco; además posee un cono denso de color negro que pueden alcanzar los 3.5 m de alto.

Hojas

Sus hojas son de forma pinnada triangular hasta 3 m de largo con sus foliolos separadas del raquis, dando una apariencia de un gran cepillo.

Inflorescencia

Su inflorescencia forma un racimo de hasta 1,50 m de largo de forma curvada hacia abajo dando una apariencia de un cuerno grande colgado. “Al desprenderse la bráctea deja al

descubierto una inflorescencia de 80 cm de largo con numerosas ramificaciones” (Morejón, 2015).

Fruto

Su fruto nace en la inflorescencia presentando una forma esférica de 2-3 cm y su semilla de 2 cm de diámetro, presentando un color café amarillento al madurar.

La morfología del Pambil descrita en los puntos anteriores se representa a través de la Figura 1.



Figura 1. Morfología del Pambil (*Iriarteia Deltoidea*).

Elaborado por: Autores.

2.4. Generalidades del Pambil (*Iriarteia Deltoidea*)

2.4.1. Taxonomía

Taxonómicamente el género *Iriarteia* pertenece a la familia *Arecaceae*, subfamilia *Arecoideae*, tribu *Iriarteeae* y subtribu *Iriarteinae* como se muestra en la Tabla 1.

Iriartea Deltoidea (Pambil) fue descrito por los botánicos Hipólito Ruiz López y José Antonio Pavón y Jiménez en 1798; sin embargo, el nombre genérico Iriartea es otorgado por Bernardo de Iriarte (González, 2007).

Tabla 1. Taxonomía de la Iriartea Deltoidea (Pambil).

<i>Categoría</i>	<i>Nombre</i>	<i>Nombre científico</i>
<i>Reino</i>	Plantas	Plantae
<i>Filo</i>	Plantas Vasculares	Tracheophyta
<i>Subfilo</i>	Plantas con Flores	Angiospermae
<i>Clase</i>	Pastos, Palmeras Y Parientes (Monocotiledóneas)	Liliopsida
<i>Orden</i>	Palmas o Palmeras	Arecales
<i>Familia</i>	Palmas o Palmeras	Arecaceae
<i>Subfamilia</i>	Palmeras Cocoteras	Arecoideae
<i>Tribu</i>		Iriarteae
<i>Subtribu</i>		Iriarteinae
<i>Genero</i>		Iriartea
<i>Especie</i>		Deltoidea

Elaborado por: Autores

2.4.2. Usos

En el Ecuador Amazónico el tallo del Pambil (Iriartea Deltoidea) es muy utilizado en la construcción por ser un material duradero y flexible incentivando así su comercialización.

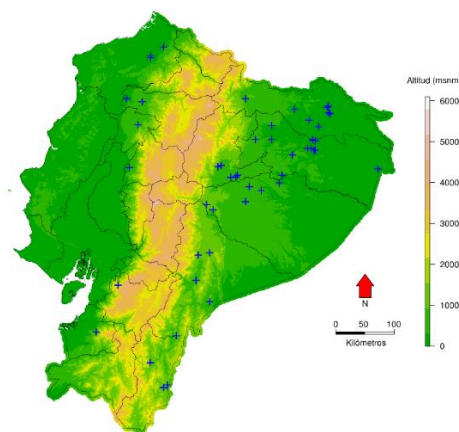
También se encuentra en el mercado como recuerdos turísticos: armas, cerbatanas, lanzas, arcos y flechas (tamaño completo o en miniatura); en hoteles y tiendas de ciudades por donde suelen pasar los turistas. Sus usos en la agricultura son como accesorios de sujeción de plátano

y tomate o jaulas que pueden ser de interés para los agricultores; en lugares húmedos, la madera de Pambil es resistente a la podredumbre y las termitas. Estos productos pueden ser más ligeros que otros productos como muebles y materiales de construcción hechos de Pambil (Anderson, 2004).

El principal uso del Pambil es en la construcción de viviendas en zonas rurales por su gran durabilidad, así mismo, en Colombia la especie se usa con frecuencia en las zonas selváticas como material de construcción en viviendas. En cuanto a Mocoa emplean varas de Pambil para sostener los tejados de barro. Su uso como soporte de tejados tiende a desaparecer debido al desarrollo de nuevas tecnologías como son los techos que han sido reemplazados por planchas de fibrocemento o de zinc. En la actualidad se mantienen otros usos antiguos en áreas rurales como por ejemplo la fabricación de cercas, columnas, canales para transportar agua y puentes (Bernal & Galeano, 2013).

2.4.3. Distribución

Esta especie registra 72 especímenes que se distribuyen en las diferentes altitudes. En Ecuador la *Iriartea Deltoidea* (Pambil), está entre las palmas más comunes de la región amazónica a lo largo del Río Aguarico, Ñapo, Curaray, Tigre, Pastaza, Santiago y en la región costa (Figura 2); se la ha podido observar también en las zonas altas como Baeza en el Oriente y Santo Domingo de los Colorados en la Sierra (Villamar U, 2004). La abundancia de esta palma es especialmente a lo largo del pie de monte amazónico y asciende hasta 1350 ms.n.m en los Andes (Bernal & Galeano, 2013).



Las marcas azules representan localidades donde esta especie ha sido registrada.

Figura 2. Mapa de distribución del Pambil en el Ecuador.
Fuente: (Perez et al., 2014)

2.5. Bambúes en la construcción

Hoy en día la disponibilidad de la tecnología y las metodologías han dado un gran interés por los bambúes en particular a las especies que han sido introducidas al Ecuador, como es el caso de la *Bambusa Vulgaris*, *Bambusa Tulda*, *Bambusa Ventricosa*, *Dendrocalamus Asper*, *Dendrocalamus Latiflorus*, *Dendrocalamus Longispiculata*, *Dendrocalamus Odhamii*, *Melocanna Baccifera*, *Phyllostachys Aurea*, *Phyllostachys Nigra*, *Phyllostachys Pubescens* (Bambú Ecuador, 2014).

Las especies de bambú en la Tabla 2 son caracterizadas según su altura, diámetro y origen de varios países.

Tabla 2. Especies de Bambúes.

<i>Especie</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Diámetro (cm)</i>	<i>Origen</i>
<i>Guadúa Angustifolia Kunth</i>	6 a 20	10 a 15	Brasil, Ecuador, Bolivia, Colombia, Panamá, Guatemala, Costa Rica, México, Venezuela.
<i>Bambusa Vulgaris</i>	10 a 20	5 a 15	Asia tropical, Brasil, Colombia, Venezuela, Ecuador.
<i>Dedrocalamus Asper</i>	20 a 30	11 a 20	Norte de Malasia, India y Taiwan
<i>Bambú Phyllostachys</i>	7,5 a 30	2 a 17	Asia oriental

Elaborado por Autores.

2.6. Guadúa Angustifolia Kunth

La *Guadúa Angustifolia Kunth* es de tipo leñosa arborescente que pertenece a la familia Poaceae y a la Tribu Bambuseae. El botánico Kunth en 1820 constituyó este género incluyendo la palabra *guadúa* como nombre al que se referían los indígenas de Ecuador y Colombia a este Bambú. Existen alrededor de 1500 especies en el mundo entre leños y herbáceos que se distribuyen en Asia, América, Oceanía y África. El nombre de la *Guadúa Angustifolia* varía dependiendo ubicación en toda América como por ejemplo en Ecuador lo llaman caña, en Perú Marona o taca, en Bolivia Tacuarembó, en Argentina Tacuara, en Brasil Taboca, en Paraguay Tacuaracu en Venezuela Guafa y en Colombia Guadura (Cobos Fischer & León Rodríguez, 2007).

2.7. El Pambil y los movimientos sísmicos

Los países de Latinoamérica están ubicados en zonas de mayor actividad sísmica y de grandes intensidades en dónde es necesario el diseño considerando las acciones sísmicas para responder adecuadamente. La madera conjuntamente con otros materiales como la Guadúa *Angustifolia* Kunt, se hicieron comunes en los países latinoamericanos por su eficaz comportamiento ante las acciones sísmicas. Los sistemas estructurales combinados con otros materiales presentan mejores resistencias ante los efectos de un sismo, sin embargo, el Pambil ofrece características similares a la Guadúa que comúnmente se utiliza en la construcción en el país (Morales Diaz & Rodriguez Alonso, 2008).

Las fuerzas representadas en una estructura debido a las aceleraciones sísmicas están directamente relacionadas con el peso de la estructura por lo que, a mayor peso, mayores fuerzas inerciales y viceversa. La contextura tubular y fibrosa del Pambil permite absorber la energía de deformación, retardando fallas y roturas del material; por ende, cuando los movimientos sísmicos presentan grandes intensidades, la absorción y la disipación de la energía amortiguan sin hacer fallar al material debido que se asegura un daño mínimo en la edificación.

2.8. Uniones

Uno de los aspectos importantes de estudio son las uniones porque en ellas se transmite las fuerzas actuantes. Las uniones son producto de la convergencia de los elementos estructurales (vigas-columnas o columna-cimentación), por tal razón se convierte en el punto más débil de la estructura. La funcionalidad efectiva de una estructura estará condicionada por la resistencia de las uniones frente a fuerzas por lo general las de tipo cortante.

2.8.1. Uniones viga-columna

Según varios autores existen 5 tipos de uniones comunes de los elementos viga-columna en dónde materiales como los pernos, tacos (madera) o varillas son los más empleados para poder realizarlos:

2.8.2. Uniones zunchadas o amarradas

Su finalidad impide el desplazamiento del zuncho o amarre. La parte del elemento vertical que será unida con la viga, tiene una entalladura de tipo boca de pescado (Morán Ubidia, 2009). Es necesario que los materiales usados en las uniones no sean metálicos (plásticos, sogas, cueros, etc.)



Figura 3. Entalladura boca de pescado.

Fuente: (Morán Ubidia, 2009)



Figura 4. Uniones zunchadas o amarradas.

Fuente: (Dávila Angulo, 2018)

2.8.3. Uniones con pernos tensores o con tarugos de madera

La entalladura en este tipo de unión será la de boca de pescado en el extremo del elemento vertical requerido. Los materiales necesarios en uniones a través de pernos tensores son una varilla de acero con hilo en el extremo y un gancho en el otro extremo (varilla tensora), además de un perno de anclaje que incluye una tuerca y anillo, mientras que para los tarugos se emplea la madera.

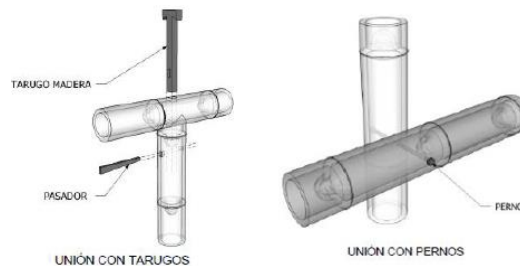


Figura 5. Uniones con tarugos o pernos.

Fuente: (Dávila Angulo, 2018)

2.8.4. Uniones longitudinales

La unión es entre dos elementos de bambú similares mediante un bambú o madera de menor diámetro que se introducirá en el interior del extremo de cualquiera de los dos elementos. Se refuerza con un torniquete de cuerdas en el lugar de la unión aseguradas con dos pernos, uno a cada lado de la unión fijándolos con tuercas y anillos. También se puede realizar la unión empleando 2 piezas metálicas fijadas con pernos que son asegurados con tuercas y anillos.

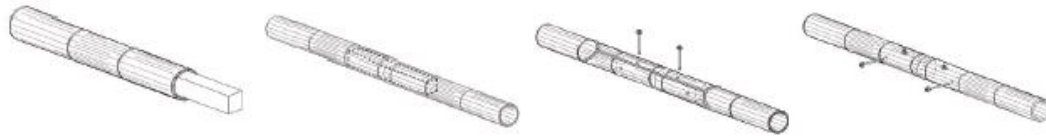


Figura 6. Pasos a seguir para las uniones longitudinales.
Fuente: : (Morán Ubidia, 2009)

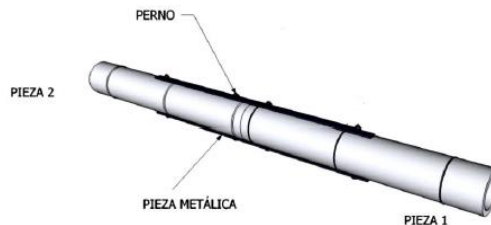


Figura 7. Unión longitudinal con 2 piezas metálicas
Fuente:(Dávila Angulo, 2018)

La entalladura del extremo del elemento diagonal que se conecta con el elemento vertical es el pico de flauta (Morán Ubidia, 2009). El vertido del mortero se realiza a través de una perforación de diámetro máximo 4 cm que se hará en el punto más cercano al nudo superior de las partes extremas de los elementos respectivos.



Figura 8. Entalladura pico de flauta
Fuente: (Morán Ubidia, 2009)



Figura 9. Unión con mortero
Fuente:(Dávila Angulo, 2018)

2.8.5. Uniones columna-cimentación

En cuanto a la unión del elemento vertical con la superficie de apoyo según la NEC-SE-GUADUA(2016) se realiza encima de un sobrecimiento, en donde la superficie de contacto ha sido cuidadosamente impermeabilizado. Esto evita que las propiedades físico-mecánicas se vean afectadas. La exposición a la humedad provoca la putrefacción del material.

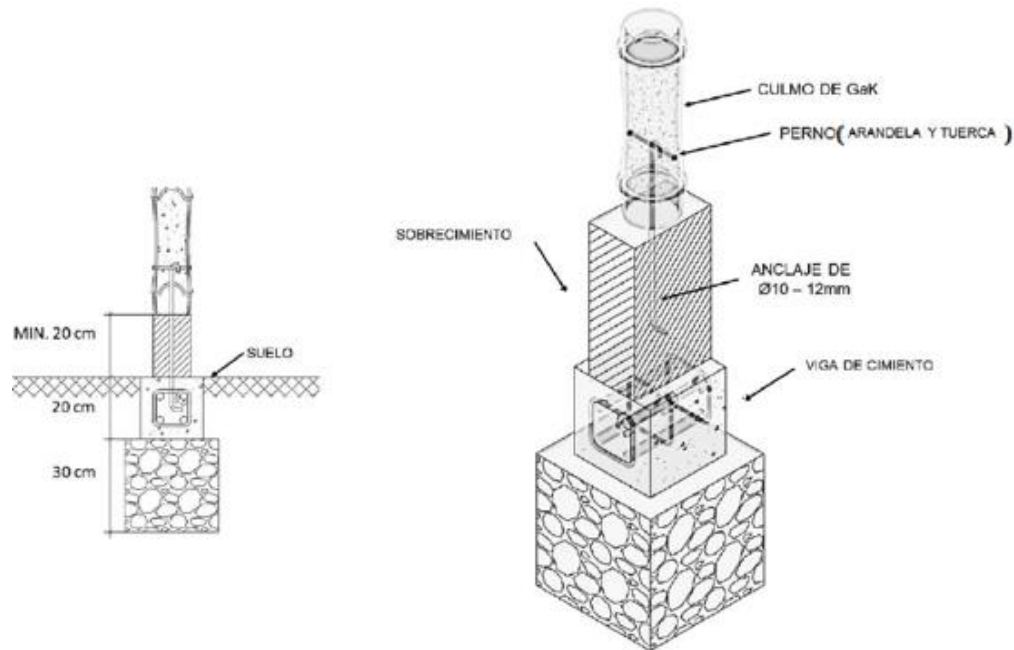


Figura 10. Detalle de apoyo de columnas GaK en sobrecimiento
(Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)

2.9. Propiedades Físicas

2.9.1. Contenido de Humedad

El contenido de humedad es la relación entre el agua contenida y el peso seco de la madera, expresada en %. La humedad es la principal propiedad por la cual se define la resistencia, la fluencia y deformación del material, por ende, el contenido de humedad depende directamente de la humedad relativa del aire y de la temperatura en donde se encuentra la madera, facilitando el corte o aserrado y el acabado del material. Un fenómeno muy conocido es la contracción o expansión producido por el contenido de humedad de la madera, debido a la aumento o disminución del agua higroscópica en la pared celular, produciendo cambios en las dimensiones de la madera. Según la cantidad de agua en la madera puede presentarse 3 estados: verde, seca al aire y seca horno (JUNAC, 1984).

Las propiedades mecánicas son afectadas por el porcentaje de humedad, se tienen valores altos cuando el porcentaje es menor, en el caso de obtener incrementos de humedad el módulo elástico decrece, pero este fenómeno es temporal ya que, al recuperar el estado inicial de humedad, el módulo elástico también regresa a su valor inicial.

2.9.2. Densidad

La densidad es la relación de la masa y el volumen del material, debido a que, depende en gran parte del comportamiento de la madera y su uso como material de construcción, por lo que, es directamente proporcional al contenido de humedad.

A continuación, se enumera los tipos de densidades según la (JUNAC, 1984):

Densidad Verde: es la relación que existe entre el peso y el volumen de la muestra en estado verde.

Densidad seca al aire: es la relación que existe entre el peso y el volumen seco al aire.

Densidad seca al horno o también conocida como densidad anhidra es la relación que existe entre el peso y el volumen de la muestra seco al horno

Densidad básica: es la relación que existe entre el peso seco al horno y el volumen de la muestra en esta verde.

2.9.3. Contracción

La madera al perder o ganar humedad se contrae o se expande disminuyendo su volumen; las variaciones se dan en las tres dimensiones: Radial, Tangencial y Longitudinal, siendo la variación longitudinal despreciable en usos comunes de la madera y la contracción tangencial de 1,5 a 2 veces mayor a la radial, provocando deformaciones, grietas y colapsos.

2.10. Propiedades mecánicas

2.10.1. Ensayo a flexión

Determina las propiedades mecánicas del material relacionado a los esfuerzos y deformaciones para cuerpos con dimensión de longitud mayor a la de su sección transversal que son sometidos a cargas transversales a su eje longitudinal o a dos pares iguales en sus extremos pero con signos contrarios de tal forma que tienden a producir una curvatura del elemento (Martínez Rodrigo et al., 2013). Los esfuerzos axiales N, cortante T y momento torsor M_t son nulos en las secciones de las piezas (Ruiz & Blanco Díaz, 2015). De modo que con los esfuerzos de compresión y tracción sucede lo inverso; al no ubicarse en el eje neutro del

elemento, las fibras superiores tienden a comprimirse y las fibras inferiores tienden a traccionarse, esto es cuando el momento flector produce una curvatura cóncava hacia arriba(Federación de Enseñanza de CC.OO de Andalucía, 2011).

El ensayo de flexión es la propiedad mecánica más importante porque la resistencia a flexión es alrededor del 75% mayor a la resistencia a compresión (Felicjaniak & Kosińska, 2005). Por otra parte, los esfuerzos de compresión y tracción durante un momento flector son mayores en las fibras más alejadas al eje neutro dando a lugar un máximo positivo y máximo negativo. Además, a través de la flexión se obtiene la tensión al límite de proporcionalidad (ELP), la tensión de rotura (MOR) y el módulo elástico (MOE) (CORMA, 2007).

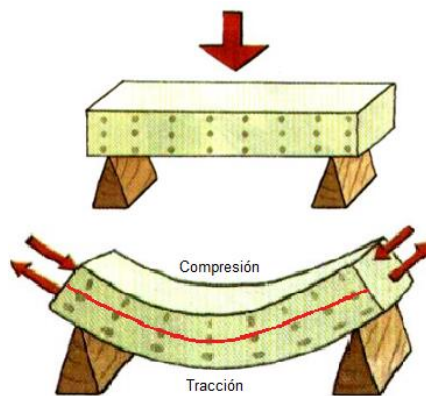


Figura 11. Ensayo a flexión.
Fuente:(Polanco et al., 2016)

Esfuerzo al límite de proporcionalidad (ELP)

Es un esfuerzo de compresión o tensión originado cuando las fibras soportan una carga unitaria máxima en flexión y a la que el material se opone sin producir deformaciones permanentes, es decir, su valor se mide cuando la carga llega al límite proporcional. Este rango es conocido por la correlación lineal entre el esfuerzo y deformación que corresponde a un comportamiento elástico lineal (Figura 12).

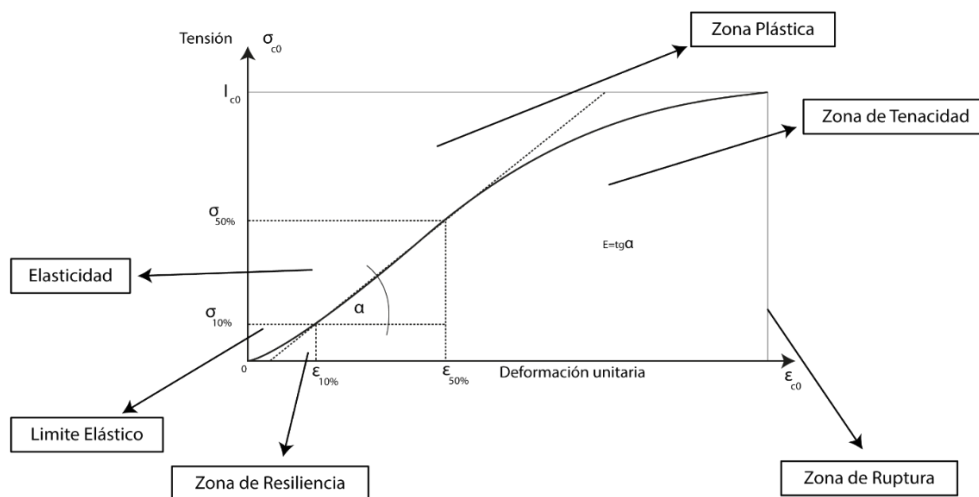


Figura 12. Curva Esfuerzo-Deformación.
Fuente: (Ramirez, 2020)

Módulo de elasticidad (MOE) o módulo Young's

Es la relación entre el esfuerzo unitario y la deformación por unidad de longitud; esta relación lineal se estudia dentro de la zona elástica del material o de proporcionalidad y a través de la misma se determina la rigidez del material, mientras mayor sea el módulo de elasticidad mayor será su rigidez.

El módulo de elasticidad de la madera se obtiene de forma directa mediante una curva de esfuerzo-deformación de una viga sometida a un ensayo de compresión paralela o por un método indirecto como es el ensayo de flexión. En estudios realizados se determinó que el valor del MOE en compresión paralela al grano es mayor al MOE en flexión estática; por esta razón y debido las deflexiones producidas en el segundo ensayo se toma el valor del MOE en flexión estática como una característica mecánica del material (JUNAC, 1984).

Módulo de ruptura o resistencia a la flexión (MOR)

Es el esfuerzo mayor soportada por la madera cuando se presenta una tensión unitaria máxima producida por una carga perpendicular a las fibras que es aplicada durante el ensayo de flexión. La medida de los esfuerzos de tensión, compresión y cizalladura presentes en un elemento durante su falla, es el módulo de ruptura (Spavento et al., 2008).

2.10.2. Ensayo a compresión

Es la resistencia de la madera a una carga en la dirección paralela a la fibra que se observa comúnmente en columnas y mediante el cual se determina el esfuerzo de las fibras al límite proporcional, máxima resistencia a la compresión y modulo elástico (CORMA, 2007). El ensayo también se realiza con una fuerza perpendicular a las fibras para observar la resistencia

de la madera frente a una carga perpendicular a la dirección de las fibras en una cara radial de la probeta (Díaz Méndez, 2005). La fuerza que actúa en la sección transversal es capaz de reducir la dimensión del cuerpo.

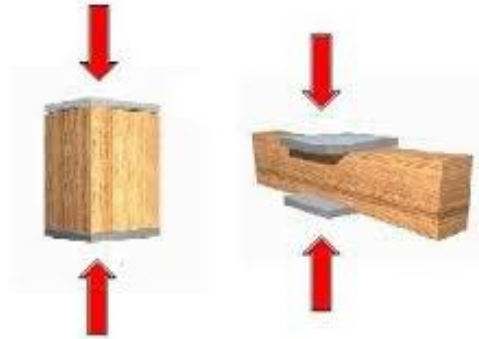


Figura 13. Ensayo de compresión paralela y perpendicular a las fibras.

Fuente: (CORMA, 2007)

Esfuerzo de las fibras al límite proporcional a compresión (ELP)

Conocido como el esfuerzo máximo en compresión que la madera soporta sin deformarse, que es aproximadamente el 75% del esfuerzo máximo y la deformación es el 60% de la máxima (JUNAC, 1984).

Módulo de ruptura o resistencia a la compresión (MOR)

La resistencia a la compresión es menor que la resistencia a tracción, de modo que la madera falla primero en la zona que está sometida a compresión. La capacidad del material está limitada por el pandeo de las fibras más que por su propia resistencia al aplastamiento, como sucede en el caso de elementos esbeltos, su resistencia depende de la capacidad de resistencia al pandeo lateral, influenciada directamente de la geometría del elemento más que por la capacidad resistente de la madera que lo constituye (JUNAC, 1984).

Módulo de Elasticidad (MOE) o Young a compresión

Es importante también mencionar que este parámetro mecánico no es una medida de resistencia y que únicamente se puede aplicar dentro del límite de proporcionalidad; ϵ al ser adimensional la unidad de medida de MOE es la misma que el esfuerzo unitario

2.10.3. Cizallamiento

Es el esfuerzo perpendicular soportado por una pieza provocando que las partículas con las que está conformado la misma tiendan a deslizarse la una sobre la otra; por lo general el esfuerzo de cizallamiento es acompañado de otros esfuerzos a los que está sometido la pieza dependiendo del tipo de material en el que se producirá el corte.

2.11. Sismicidad en el Ecuador

El Ecuador pertenece al Cinturón de Fuego del Pacífico, compartida por la mayoría de costas continentales del Océano Pacífico, motivo por el cual libera el 85% de la energía sísmica del planeta en forma de terremotos. El riesgo y la vulnerabilidad sísmica en el Ecuador es relativamente alto de modo que los sismos de magnitud mayor a 5,0 son frecuentes y muchos de ellos ocurren en las placas superficiales causando daños en las estructuras (Moya Yépez, 2002).

Las principales fuentes de generación de los sismos en el país se deben a la subducción de la placa de Nazca y la placa Sudamericana lo que han hecho que sea un complejo sistema de falla local superficial y la sismicidad proveniente de los volcanes que presentan actividad eruptiva. El Ecuador por su ubicación geográfica es propenso a la ocurrencia de sismos constantes, algunos de ellos son imperceptibles, pero existen aquellos significativos que se presenten con poca frecuencia y son capaces de generar movimientos considerables además de causar destrucciones materiales y pérdidas humanas masivas por el colapso de edificaciones. El Ecuador está regido principalmente por dos tipos de fuentes sísmica tal como la subducción (interplaca e intraplaca), y de tipo corticales (superficiales). En cada fuente se origina un proceso de acumulación y liberación de la energía. Los sismos interplaca con una profundidad menor a 40 km corresponden a los sismos que se generan por el roce entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana a lo largo de la zona de convergencia.

Los sismos intraplaca con una profundidad entre 40 a 300 km corresponden a los sismos de falla normal a una profundidad intermedia, localizados dentro de la placa oceánica de Nazca y la placa continental Sudamericana debido al fenómeno de subducción. Los sismos corticales con una profundidad menor a 40 km corresponden a los sismos que ocurren dentro de la placa Sudamericana (Quinde Martínez & Reinoso Angulo, 2016).

Se realizan estudios para obtener una estimación del movimiento de terreno producida en una zona determinada a nivel local (microzonificación), están ligados a la evaluación de la función de transferencia de las ondas a ciertas capas de suelo y su señal producto de la amplificación de las ondas. También existen estudios a nivel regional (microzonificación) enfocados en estimar la excitación de las ondas sísmicas que resultan de la propagación de las mismas a través de diversos fenómenos como el de reflexión, refracción, atenuación y amplificación (Barbat et al., 1995).

Según Carlos et al.,(2015) en los últimos años se han sentido sismos de importante magnitud en el continente americano tal es el caso de Haití 2010, Chile 2010, Perú 2014 y Ecuador 2016 que causando pérdida de vidas humanas, daños materiales y pánico en la población. En la siguiente tabla son ordenados cronológicamente los sismos de magnitudes iguales o superiores a 7 grados extraídos del libro “Breves fundamentos sobre los Terremotos en el Ecuador”.

Tabla 3. Sismos con magnitud mayor a 7 en el Ecuador.

<i>Nº Evento</i>	<i>Año</i>	<i>Epicentro</i>		<i>Magnitud</i>	<i>Provincia</i>	<i>Intensidad Máxima</i>
		Latitud	Longitud			
1	1645	-1.68	-78.55	7.0	Chimborazo	9
2	1698	-1.45	-78.30	7.7	Tungurahua	9
3	1757	-1.00	-78.60	7.0	Cotopaxi	8
4	1797	-1.43	-78.55	8.3	Chimborazo	11
5	1868	0.30	-78.20	7.0	Imbabura	9
6	1896	-0.50	-80.45	7.0	Manabí	9
7	1906	1.00	-81.30	8.1	Esmeraldas	8
8	1914	-0.50	-78.50	7.0	Pichincha	8
9	1942	0.01	-80.12	7.7	Manabí	9
10	1953	1.22	-79.37	7.3	Loja	8
11	1958	1.22	-79.37	7.3	Esmeraldas	8
12	1998	Bahía de Caráquez		7.1	Manabí	8
13	2010	---	---	7.2	Pastaza	-
14	2016	Pedernales		7.8	Manabí	8

Fuente: Adaptado de Singaicho Armas J. C.,2009

2.12. Placas tectónicas

Las placas tectónicas o litosféricas es la capa superficial del planeta compuesta por una capa fuerte fría y rígida de fragmentos de litosfera. La tectónica de placas establece la estructura y la dinámica en la superficie; la litosfera posee una estructura fragmentada en la que componen quince placas de gran tamaño y más de cuarenta microplacas, por otro lado, en los bordes se concentra la actividad tectónica, sísmico y volcánica dando origen a grandes cuencas sedimentarias y cadenas montañosas (Tarbuck et al., 2005).

Las placas litosféricas según la clase de corteza que forman la superficie del planeta son la oceánica y la continental, es decir el Ecuador posee placas de tipo convergente como es la placa

de Nazca y la placa sudamericana que al deslizarse una sobre otra las rocas que conforman cada placa se rompen y da origen a grandes sismos.

La subducción de las placas tectónicas se debe a la formación de un pequeño ángulo causado por el hundimiento bajo el borde de la otra placa, dicho fenómeno se presenta en amplias zonas de subducción especialmente en el Océano Pacífico principalmente en donde se conforma el cinturón de fuego del Pacífico. Este fenómeno da origen a la actividad sísmica frecuente y a la generación de magma que da origen a los volcanes (Amador Lorenzo, 2011).

Principales placas tectónicas

A continuación, en la Tabla 4, se detalla las placas tectónicas más importantes que conforman el planeta tierra.

Tabla 4. Principales placas tectónicas.

<i>Placa tectónica mayores</i>	<i>Ubicación</i>
<i>Placa Africana</i>	África
<i>Placa Antártica</i>	Antártida
<i>Placa Arábiga</i>	Península Arábiga
<i>Placa de Cocos</i>	América Central
<i>Placa de Nazca</i>	Perú, Ecuador y Colombia
<i>Placa de Juan de Fuca</i>	Washington, Oregón, California y la Columbia Británica
<i>Placa del Caribe</i>	Región Caribeña
<i>Placa del Pacífico</i>	Océano Pacífico
<i>Placa Euroasiática</i>	Europa y Asia
<i>Placa Filipina</i>	Al este de Filipinas en el Océano Pacífico
<i>Placa Indoaustraliana</i>	India, China y Nepal
<i>Placa Norteamericana</i>	América del Norte
<i>Placa de Scotia</i>	Unión del Océano Pacífico, Océano Atlántico y Glaciar Antártico
<i>Placa Sudamericana</i>	Sudamérica

Fuente: (Tarbuck et al., 2005)

2.13. Vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad sísmica hace referencia a la susceptibilidad de las edificaciones frente a posibles daños en los elementos que conforman parte de un sistema estructural y que le permiten soportar un sismo (Mendoza & Serna Hernández, 2015).

La evaluación del grado de vulnerabilidad que presentan las edificaciones se realiza empleando metodologías analíticas y cualitativas. El primero analiza el funcionamiento a través de un modelo numérico que represente a la estructura con una carga de un probable sismo, mientras que en el segundo se aplica la observación de campo para determinar sus condiciones, siendo esta metodología una evaluación rápida y sencilla. Además, se puede obtener estimaciones descriptivas de vulnerabilidad que presentan las edificaciones en las zonas de emplazamiento, teniendo de tipo baja, media, alta o similares.

Este componente es independiente del riesgo sísmico, es decir, una estructura no siempre está en riesgo pese a presentar cierto grado de vulnerabilidad a menos que el edificio esté ubicado en una zona que presente peligrosidad sísmica. El daño que una estructura sufre durante un sismo puede ser un daño estructural directamente al comportamiento de los elementos del sistema resistente (vigas, columnas, muros de corte, etc) o un daño no estructural en dónde los elementos que no son parte del sistema de soporte presentan alguna afectación, incluyendo la parte arquitectónica (sistemas mecánicos, eléctricos, sanitarios y daño en el contenido del edificio) (Barbat et al., 1995).

2.14. Peligro Sísmico

Se le conoce así a la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno físico como producto de un terremoto, provocando efectos en la actividad humana. Este fenómeno se presenta en un periodo específico de tiempo y dentro de una región determinada, en dónde el movimiento de suelo generado depende de parámetros cuantificables como la aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014).

El estudio de un peligro sísmico permite caracterizar los niveles de movimiento de una zona que debe soportar una estructura a emplazar. El nivel de demanda sísmica está asociado con el nivel de desempeño de la estructura con la finalidad de controlar los daños que pueda ocasionar un evento sísmico. Es por ello que, es necesario buscar el desempeño de la estructura frente a un sismo de diseño, con el propósito de determinar la probabilidad en la que la intensidad de un evento sísmico exceda a la intensidad objetiva (Quinde Martínez & Reinoso Angulo, 2016).

Los criterios de diseño sismoresistente se basan en las intensidades y frecuencias de ocurrencia de un evento sísmico. Una de las maneras de analizar la amenaza sísmica es a través de curvas de peligro, espectros de peligro uniforme o mapas de amenaza en los cuales se muestran resultados como aceleraciones máximas probables en periodos de retorno diferentes (Quinde Martínez & Reinoso Angulo, 2016).

2.15. Diseño basado en el desempeño sísmico

El análisis estructural por desempeño está basado en múltiples límites en función de la intensidad del movimiento, cumpliendo con el objetivo de no colapsar durante un sismo severo. La metodología considera un análisis no lineal para evaluar y diseñar, de tal forma que se obtiene datos del comportamiento estructural teniendo en cuenta, los niveles sísmicos a los que está sometido la estructura según los periodos de retorno especificados en la NEC:

- Frecuente: (72 años)
- Moderado: sismo de diseño (475 años)
- Severo: (2500 años)

2.15.1. Niveles de desempeño sísmico de la estructura

Según el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, (2015) en su “Guía práctica de evaluación y rehabilitación sísmica de estructuras”, los niveles de desempeño más comunes de una estructura son:

- **Ocupación inmediata** (Daño limitado)

La estructura se mantiene con una proporción de su resistencia original y casi el total de la rigidez.

- **Seguridad de vida** (Daño sustancial)

La estructura pierde su rigidez experimentando un rango importante de deformaciones antes de colapsar.

- **Prevención de colapso** (Daño extremo)

La estructura presenta más desplazamientos máximos desde su punto de origen, presentando inestabilidad y posterior el colapso de la misma.

En varias normas no determina un nivel de desempeño recomendable por lo que la estructura debe cumplir con la normativa vigente para el diseño, logrando así que ésta no colapsar ante un sismo fuerte.

2.16. Peligro sísmico del cantón Macas

El resultado de peligro sísmico para Macas, capital de la provincia de Morona Santiago, está presentado a través de curvas de peligros sísmico, espectro de peligro uniforme y mapas de peligro sísmico (Quinde Martínez & Reinoso Angulo, 2016).

Curva de peligro sísmico

En la figura 14 se presenta la curva de peligro sísmico para Macas, capital de la provincia de Morona Santiago con aceleraciones máximas esperadas en roca (PGA) y pseudoaceleración espectrales con diferentes niveles de probabilidad anual de excedencia para periodos estructurales de 0.1s, 0.2s, 0.5s y 1s ($S_a(g)$).

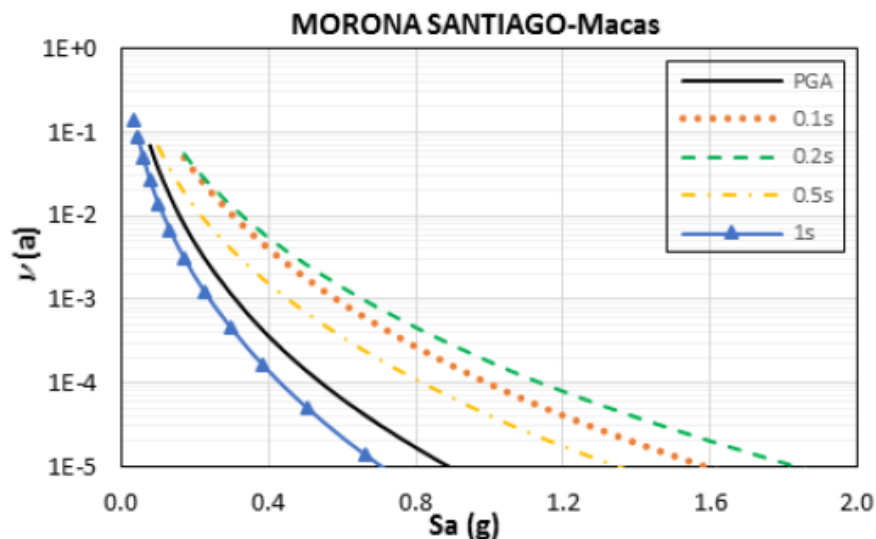


Figura 14. Aceleración sísmica máxima horizontal en roca.
Fuente: (Quinde Martínez & Reinoso Angulo, 2016)

Espectro de peligro uniforme (EPU)

Se denominan así a los que se obtienen a partir de las curvas de peligro sísmico. Para ello se compara con los espectros de diseño que están considerados dentro de la norma NEC, tanto el de pseudoaceleración, así como el de desplazamiento espectral. Según los autores Quinde Martínez & Reinoso Angulo (2016), en su estudio, los espectros de desplazamientos los obtuvieron a partir de pseudoaceleraciones aplicando la relación teórica de la dinámica estructural. Emplearon un periodo de retorno de 475 años con la finalidad de poder comparar los espectros obtenidos en su trabajo con los determinados en la norma NEC.

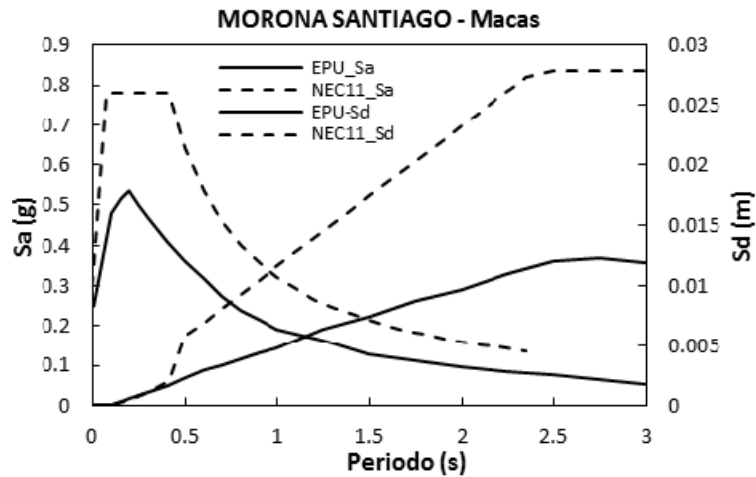


Figura 15. Espectro de peligro uniforme.
Fuente: (Quinde Martínez & Reinoso Angulo, 2016)

De acuerdo a la figura 15, Quinde Martínez & Reinoso Angulo (2016) concluyen que, el espectro de diseño menor se presenta en su trabajo. Compararon los resultados únicamente para los suelos tipo roca y mencionan que se debe considerar los efectos de sitio porque pueden incrementar diferencias en sus resultados, ya que la norma NEC considera únicamente factores generales que incrementan la respuesta sólo a causa de efectos locales. En cuanto a la gráfica de espectro de desplazamiento (Sd), presenta variaciones significativas, en este caso llega a ser el doble que los obtenidos en su estudio. Recalcan que los espectros considerados dentro de la norma NEC quebrantan conceptos de dinámica estructural, es decir, presenta desplazamientos de terreno infinitos al obtenerlos del espectro de pseudoaceleración (Sa), utilizando la relación $Sa(T) = D(T)\Omega^2$, en donde Ω es la frecuencia natural del sistema de un grado de libertad. En el intento de corregir el error, la norma NEC incluye un espectro en el que se estudia sólo el desplazamiento (no sigue las relaciones fundamentales de la dinámica estructural); que presenta límites máximos.

2.17. Mapa del Diseño Sísmico

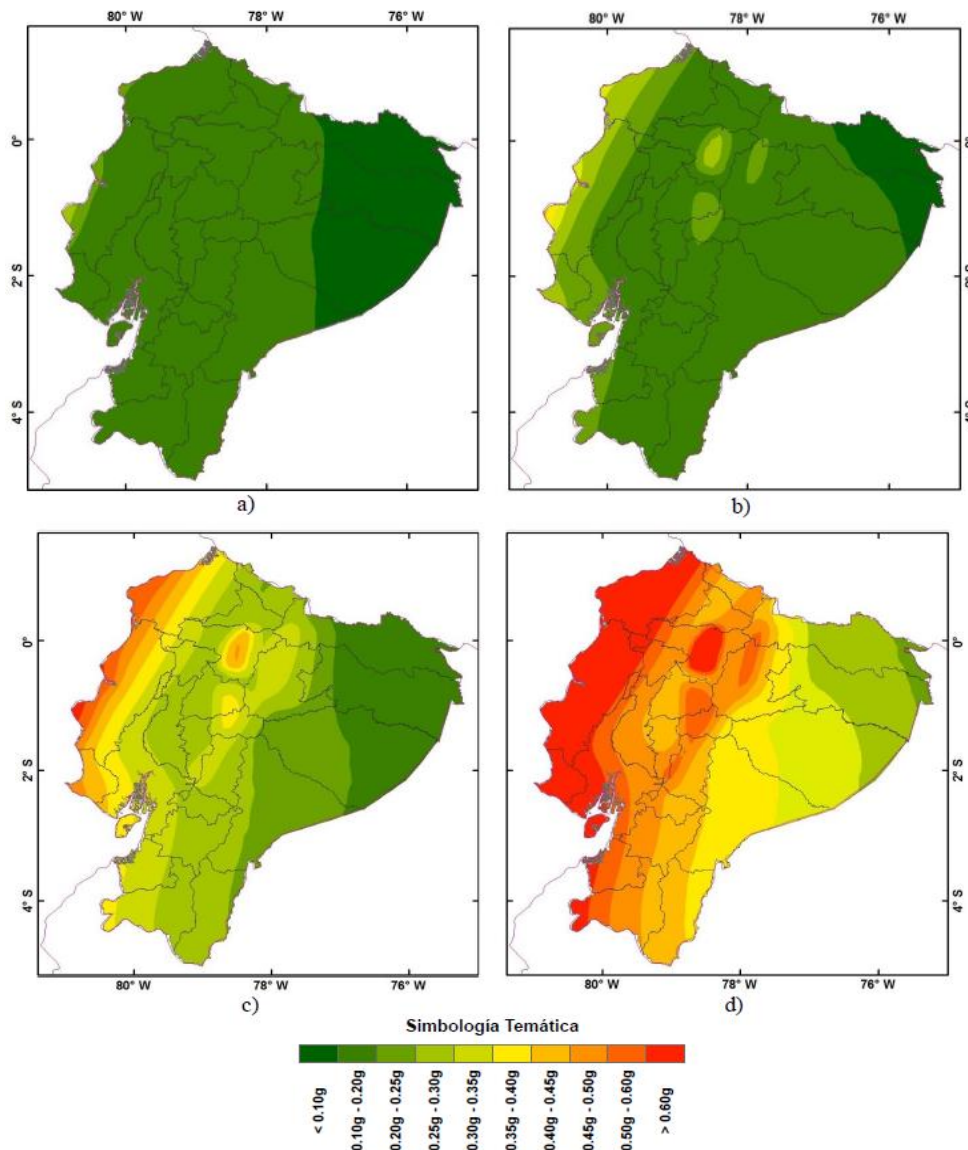
Los mapas sísmicos del Ecuador se obtienen a partir de los resultados anteriormente expuestos (curva de peligro sísmico y EPU); a cada mapa se asigna un solo periodo de retorno. Según Quinde Martínez & Reinoso Angulo (2016) se hicieron mapas para periodos de retorno de a) 50 , b) 100, c) 500 y d) 2500 años.

La zonificación sísmica que presenta el Ecuador en la Figura 16 , es encontrada de forma probabilística que resulta de un estudio de peligro sísmico para un periodo de retorno de 475 años con un 10 % de excedencia en 50 años; sin embargo, esto incluye una saturación de 0,50 g en la zona litoral siendo la de mayor peligrosidad sísmica y 0,15 g en la zona del oriente

ecuatoriano considerada como una zona intermedia de bajo peligro sísmica; cabe recalcar, que para la provincia de Morona Santiago la aceleración sísmica está dentro de valores de 0,25 g y 0,30 g. Mientras que, el mapa realizado por los autores Quinde Martínez & Reinoso Angulo (2016) indican que la aceleración varía desde valores menores a 0,1 g hasta 0,25 g.

En el oriente ecuatoriano en la provincia de Morona Santiago para un periodo de retorno de 50 años, su intensidad espectral varía desde valores menores de 0,10 g hasta 0,20 g. Para un periodo de retorno de 100 años, el valor de intensidad que se obtiene es menor a 0,10 g. En los periodos de retorno de 500 años y 2500 años las intensidades varían de valores menores a 0,10 g - 0,25 g y de 0,30 g - 0,45 g, respectivamente.

Figura 16. Mapa de zonas sísmicas según su periodo de retorno.



Fuente: (Quinde Martínez & Reinoso Angulo, 2016)

En Ecuador los estudios de la respuesta sísmica en cada ciudad, la zonificación sísmica, las propiedades dinámicas del suelo y el análisis de riesgo sísmico han generado un renovado interés. En la actualidad la probabilidad de una amenaza sísmica es uno de los enfoques más utilizados en la ingeniería de estructuras para determinar las cargas sísmicas de diseño (Martines-González et al., 2017).

La zonificación sísmica contempla en dividir una región en varias porciones (Figura 17), en cada una de ellas se especifican los parámetros constantes de diseño sísmico; sin embargo, las leyes de atenuación manifiestan la propagación de las ondas sísmicas en la roca de la corteza terrestre. El movimiento de la superficie en un sitio difiere radicalmente del componente principal de la roca base, debido a alteraciones de las ondas causadas por efectos geológicos, de rigidez del suelo y topográficos(Grajales Vargas, 2003).

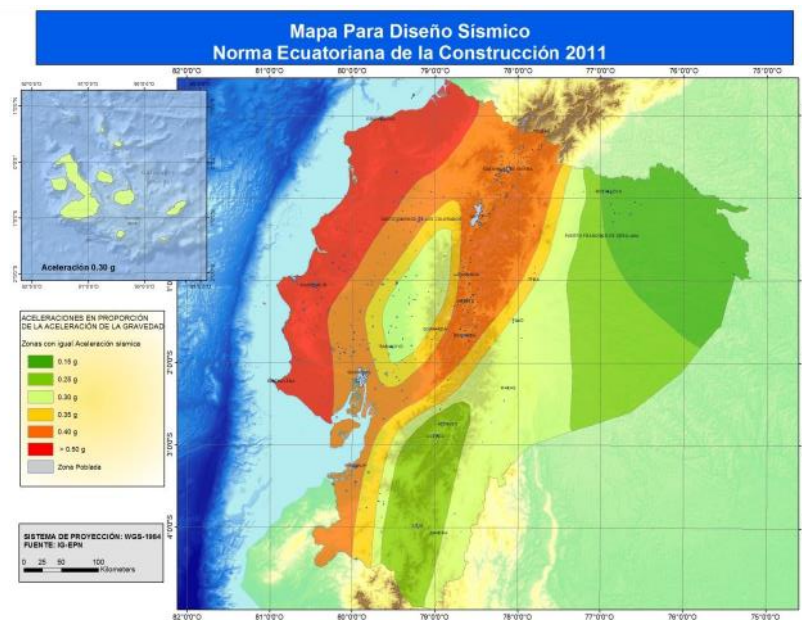


Figura 17. Mapa de zonas sísmicas.

Fuente:(Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015d)

2.18. Geología local (Tipos de suelos)

El estudio de suelo es un requisito previo a la construcción y análisis de una estructura, esto hace referencia a las evaluaciones que se realiza para el emplazamiento de la estructura conociendo su estado y características físico-mecánicas; además se conoce la velocidad de propagación de las ondas del sismo sobre los diferentes estratos de suelos presentes en el Ecuador.

Las ondas de corte u ondas S se caracterizan por la forma en que producen el movimiento de los elementos por los que atraviesa, haciendo que su movimiento sea perpendicular a su dirección, este tipo de ondas son las que mayor destrucción generan a su paso. Las propiedades del suelo cumplen un papel importante debido que sirve como medio de propagación para las ondas sísmicas moviéndose a mayor o menor velocidad, por tal razón, son consideradas en el diseño y análisis de edificaciones sismo resistentes(Mancheno Torres, 2017).

En concordancia con las características antes mencionadas, la NEC-SE-DS Peligro Sísmico: Diseño Sismo Resistente, (2015) en su capítulo de peligro sísmico especifica seis perfiles para los diferentes tipos de suelo en función de varias características como es la velocidad de onda de corte, contenido de humedad, índice de plasticidad y la resistencia media al corte obtenida de ensayos.

Tabla 5. Tipo de perfiles de suelo para el diseño sísmico.

<i>Tipo de perfil</i>	<i>Descripción</i>	<i>Definición</i>
<i>A</i>	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500 \text{ m/s}$
<i>B</i>	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$
<i>C</i>	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, 0	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ KPa}$
<i>D</i>	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, 0	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
<i>E</i>	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, 0	$V_s < 180 \text{ m/s}$

<i>F</i>	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $Su < 50 \text{ kPa}$
	<p>Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas</p>
	<p>Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:</p>
	<p>F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.</p>
	<p>F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H >3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).</p>
	<p>F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H >7.5 m con índice de Plasticidad $IP > 75$)</p>
	<p>F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H >30 m)</p>
<p>F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.</p>	
<p>F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.</p>	

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015d)

2.19. Espectros elásticos de diseño

El espectro de respuesta es un parámetro fundamental para la evaluación sísmica de una estructura, es decir mide la respuesta de una estructura ante la vibración del suelo sobre el que está emplazado, así mismo la gráfica del espectro de respuesta representa la aceleración vibratoria a la que responde una estructura a un determinado periodo de vibrar frente a un sismo. La gráfica se obtiene a partir de varios registros de aceleración, en combinación con

cada modo de vibrar de la estructura con el fin de obtener la respuesta de la estructura(Mancheno Torres, 2017).

El uso del espectro de respuesta elástico es esencial cuando se realizan cálculos sísmicos en las estructuras las cuales son capaces de soportar sismos de grandes magnitudes sin considerar daño alguno. Por esta razón, las normativas en su capítulo referente al sismo resistencia consideran una probabilidad baja de ocurrencia de un sismo durante el tiempo de vida útil de la estructura, cabe destacar que bajo esta probabilidad las estructuras deben ser más dúctiles es decir que superan su rango elástico y son capaces de disipar la energía.

La norma ecuatoriana de la construcción en su capítulo de peligro sísmico (NEC-SE-DS) expone el espectro de respuesta elástico de aceleraciones (Figura 18) y el espectro de respuesta elástico de desplazamientos (Figura 19) los mismos que se calculan a partir de varios parámetros como es el tipo de suelo, el factor de forma Z y los coeficientes de amplificación (Fa, Fd, Fs).

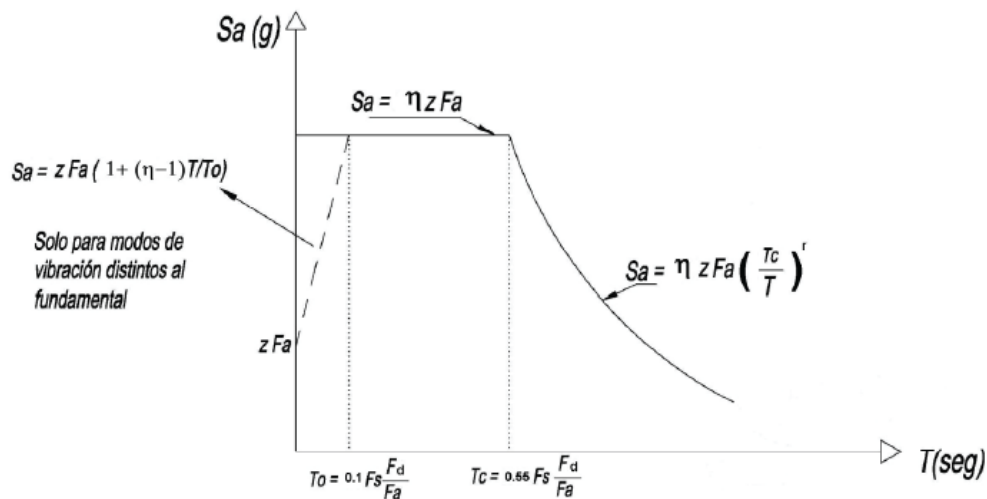


Figura 18. Espectro sísmico elástico de aceleraciones del sismo de diseño.

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015d)

Donde:

- S_a Espectro de respuesta elástico de aceleraciones que depende del modo de vibración de la estructura.
- T Período fundamental de vibración de la estructura.
- Z Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño expresadas como fracción de la gravedad g .

F_a, F_d, F_s	Coefficientes de amplificación de suelo.
η	Razón entre la aceleración y el PGA para el periodo el retorno.
T_0	Periodo de Vibración límite del espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.
T_c	Periodo de Vibración límite del espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015d)

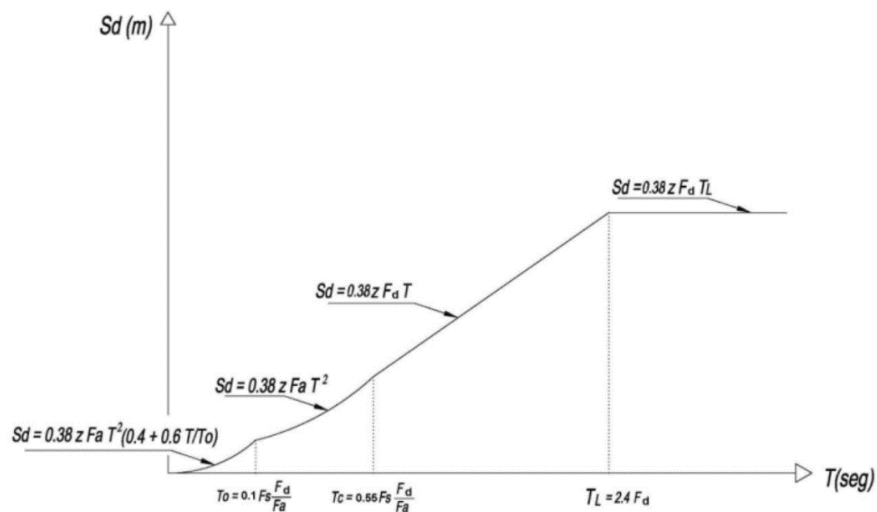


Figura 19. Espectro sísmico elástico de desplazamientos del sismo de diseño.
Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015d)

Donde:

η	Razón entre la aceleración y el PGA para el periodo el retorno.
F_a, F_d, F_s	Coefficiente de amplificación de suelo.
S_a	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones que depende del modo de vibración de la estructura.
T	Periodo fundamental de vibración de la estructura.
T_0	Periodo de Vibración límite del espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.
T_c	Periodo de Vibración límite del espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

z Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño.(Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015d)

2.20. Metodología del diseño sísmico

Existen métodos de diseño sísmico enfocados en determinar la capacidad de resistencia de las edificaciones frente a los sismos, entre los cuales están el diseño basado en fuerzas (DBF) y el diseño basado en desplazamientos (DBD). El primero tiene como punto de partida la fuerza equivalente de un sismo, considera los espectros de aceleraciones, factores de reducción de resistencia sísmica (R), rigideces asumidas y periodo de vibración sin considerar la resistencia inicial. Mientras que el segundo parte de un desplazamiento sísmico de diseño para luego obtener de manera ordenada la rigidez de la estructura, las fuerzas de diseño y su distribución en el interior de la estructura (Pérez Vargas, 2014).

La desventaja de la aplicación del método DBF radica en la no consideración de dependencia entre la resistencia de una estructura con su rigidez, al ignorar esta interdependencia el periodo y la demanda sísmica (desplazamiento y propiedades dinámicas) es poco confiable por su inexactitud, además conduce erróneamente a suponer que el desplazamiento de fluencia es directamente proporcional a la resistencia de una estructura. En cuanto a los factores R que consideran la ductilidad y sobre-resistencia de una estructura son generalizados, es decir, que para un mismo tipo de estructura dentro de una categoría son constantes, en consecuencia el período y tipo de suelo no varían (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014).

2.20.1. Diseño Basado en Fuerzas (DBF)

La norma NEC-SE-DS de Peligro Sísmico (2015) para diseños por fuerzas (DBF) y por desplazamientos (DBD) admite los análisis estáticos lineales y los análisis dinámicos por medio de espectro sísmico o el dinámico (acelerogramas) paso a paso en el tiempo. Menciona también los pasos en orden cronológicos a seguir para el cálculo DBF que se resumen: la determinación del espectro de diseño $S_a(T)$, cálculo del período fundamental de vibración aproximado T_a , determinación de la cortante basal V, determinación de distribuciones vertical y horizontal de V y la dirección de su aplicación con la respectiva verificación de índices de deriva, que no deben exceder al límite del valor permitido.

Sistema elástico equivalente

La respuesta real de una estructura, no lineal e inelástica se idealiza esquemáticamente como se muestra en la figura 20. El procedimiento se realiza tanto para el Diseño Basado en Fuerzas (DBF) como el Diseño Basado en desplazamientos (DBD).

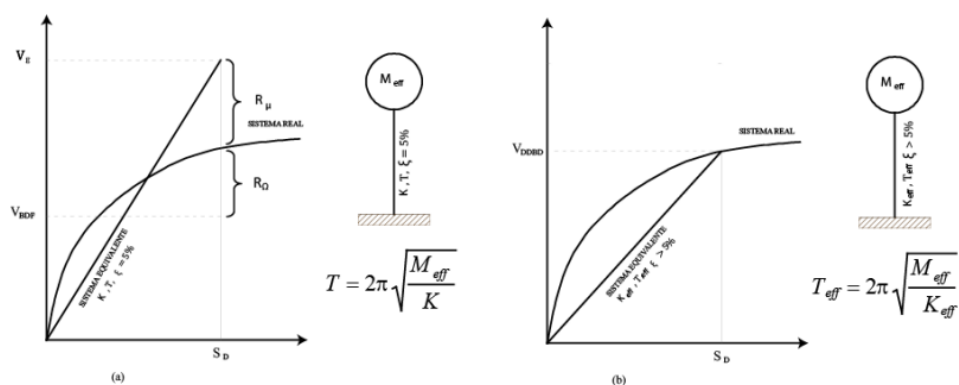


Figura 20. Linealización equivalente

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015d)

En la figura 20 a) se representa la idealización de un sistema de amortiguamiento viscoso con el 5%, y en la misma figura; b) se muestra el amortiguamiento viscoso >5%. En el DBF, el sistema real se sustituye por un sistema elástico con el 5% de amortiguamiento viscoso en donde la rigidez K y el periodo T son calculados asumiendo que, existe una reducción de inercia por agrietamiento en estructuras de hormigón y en el caso de estructuras de acero se calculan asumiendo el espesor de las placas (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015d).

Además, cuando el sistema es elástico y se somete a las acciones sísmicas de diseño, da a lugar un cortante basal elástico V_E ; el mismo es reducido al cortante basal de fluencia V mediante un factor de reducción R (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015d).

Cortante basal de diseño V

La carga total de la cortante de diseño V presentada en la ecuación 1, se aplica en una dirección específica a una estructura. Esta carga se obtiene a través del espectro de diseño en aceleración $S_a(T_a)$, coeficientes de configuración en planta y elevación (ϕ_P y ϕ_E), coeficiente de importancia (I), factor de reducción de resistencia sísmica (R), carga sísmica reactiva (W) y período de vibración T_a (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015d).

$$V = \frac{IS_a(T_a)}{R\phi_P\phi_E} W \quad \text{Ecuación 1}$$

Período de vibración T

El valor de T según la norma NEC-SE-DS de Peligro Sísmico, (2015) se puede obtener a través de dos métodos y el resultado de aplicar estos métodos será un valor inicial estimado del período estructural, que permite calcular las fuerzas sísmicas presentes sobre la estructura, así como su dimensionamiento.

Posterior al dimensionamiento de la estructura, los periodos fundamentales deben recalcularse mediante la ecuación 2 o a través de un análisis modal. Además, es necesario realizar una reevaluación de la cortante basal y de las secciones de la estructura, para el procedimiento se realizan interacciones consecutivas y cesan cuando la variación de los períodos es menor o igual al 10% (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015b).

$$T_a = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i \delta_i^2}{g \sum_{i=1}^n \delta_i f_i}} \quad \text{Ecuación 2}$$

La ecuación 2 considera la distribución aproximada de las fuerzas laterales en el piso i (f_i), de la deflexión elástica del piso i (δ_i) calculada usando las fuerzas f_i y del peso asignado al piso o nivel i de la estructura (w_i), que es una fracción de la carga reactiva W (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015b).

Factor de reducción de resistencia sísmica R

Es un factor que reduce las fuerzas sísmicas de diseño, esto es posible cuando las estructuras y las conexiones se diseñan para producir un mecanismo de falla previsible con una adecuada ductilidad, en dónde los daños se concentran para formar rótulas plásticas en secciones especiales detalladas. Para el caso del método de DBF, el factor se considera como un parámetro constante y dependiente únicamente del tipo de estructura (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015b).

Distribución vertical de fuerzas sísmicas laterales

Las fuerzas laterales totales se distribuyen en la altura de la estructura utilizando la siguiente formulación:

$$V = \sum_{i=1}^n F_i; \quad V_x = \sum_{i=x}^n F_i; \quad F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} V \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- V Cortante total en la base de la estructura.
- V_x Cortante total en el piso x de la estructura.
- F_i Fuerza lateral aplicada en el piso i de la estructura.
- F_x Fuerza lateral aplicada en el piso x de la estructura.
- n Número de pisos de la estructura.
- w_x Peso asignado al nivel x de la estructura, que es una fracción de la carga reactiva W.
- w_i Peso asignado al nivel i de la estructura, que es una fracción de la carga reactiva W.
- h_x Altura del piso x de la estructura.
- h_i Altura del piso i de la estructura.
- k Coeficiente relacionado con el periodo de la vibración de la estructura.

El valor de k según la NEC-SE-DS está en función del periodo de vibración T.

Tabla 6. Valores de K

Valores de T (s)	k
$\leq 0,5$	1
$0,5 < T \leq 2,5$	$0,75 + 0,50 * T$
> 2.5	2

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015b)

Distribución horizontal del cortante

La cortante de piso V_x , se distribuye en los diferentes elementos del sistema que resiste cargas laterales en proporción a sus rigideces, considerando la rigidez del piso.

2.21. Dinámica estructural

La teoría de la dinámica de estructuras es la más importante; analiza las estructuras ante los movimientos causados en el suelo por los sismos. Los sistemas elásticos lineales enfatizan las

propiedades de un sistema elástico y un sistema lineal debido a que los sismos causan daño a las estructuras. La dinámica estructural estudia las acciones en el tiempo por lo que da origen a fuerzas de inercia comparadas con la magnitud de las fuerzas estáticas. Finalmente, las fuentes de vibración estructural son:

- Los sismos
- El viento
- Las corrientes de agua
- Las explosiones
- Los impactos

La estructura al ser sometida a fuerzas laterales estudiando las vibraciones, percibe el nombre de oscilador por lo que su movimiento es semejante a un péndulo. El análisis dinámico es fundamentado en la segunda ley de Newton dado que el momentum es similar a la masa por la velocidad, sin embargo, al considerar la masa constante se forma la expresión que rige el comportamiento de la estructura. La respuesta dinámica caracteriza el efecto de la carga aplicada sobre la estructura dando como resultado cualquier magnitud (Villamil Matallana & Tarquino Hortua, 2018).

La componente horizontal del movimiento del terreno afecta a los desplazamientos y las fuerzas; se determina por medio de una idealización de la estructura con un grado de libertad por piso, el mismo que es analizado a través del análisis modal donde las fuerzas laterales son obtenidas con base a los modos naturales de vibración de la estructura. Es por ello, que se calcula a partir de cómo está distribuido su masa y rigidez en la estructura dando como resultado los efectos a las fuerzas laterales en la dirección que se ha considerado tales como las deflexiones de piso, deflexiones de entrepiso y cortantes de entrepiso.

2.22. Análisis de cargas de la estructura

Los diferentes elementos estructurales que forman parte de una estructura son los que soportan cargas gravitacionales y estas pueden ser cargas vivas, cargas muertas y cargas accidentales. Para determinar se utilizan los criterios especificados en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-CG, (2015). Por otra parte, es necesario que se contemple las combinaciones de carga en dónde se utilizan factores de reducción cuya finalidad es que de la edificación no llegue a trabajar a su máxima capacidad.

2.22.1. Combinación de carga para el diseño de última resistencia

La estructura es diseñada de tal forma que la resistencia de diseño sea igual o mayor a los efectos de las cargas incrementadas. Se analizan los efectos más desfavorables que se puedan presentar. El viento y el sismo no se consideran simultáneamente de acuerdo a las combinaciones de la NEC-SE-CG presentadas en la Tabla 7.

Tabla 7. Combinación de cargas

<i>N.º Combinación</i>	<i>Combinación de Cargas</i>
1	1,4 D
2	1,2 D + 1,6 L + 0,5 máx. (L _r ; S; R)
3	1,2 D + 1,6 max (L _r ; S; R) + max (L; 0,5 W)
4	1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 max (L _r ; S; R)
5	1,2 D + 1,0 E + L + 0,2 S
6	0,9 D + 1,0 W
7	0,9 D + 1,0 E

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015a)

Dónde:

- D Carga permanente
- L Sobrecarga (carga viva)
- L_r Sobrecarga cubierta (carga viva)
- S Carga de granizo
- R Carga de lluvia
- E Carga de sismo
- W Carga de viento

2.23. Deriva de piso

Es el desplazamiento relativo lateral de un piso debido a una fuerza horizontal con respecto al piso consecutivo; se calcula como la diferencia del desplazamiento entre el extremo superior e inferior del piso. Los mayores desplazamientos ponen en riesgo a una estructura en su totalidad, causando daños en los elementos no estructurales y trayendo consigo el colapso parcial o total de la estructura (Cantos, 2017).

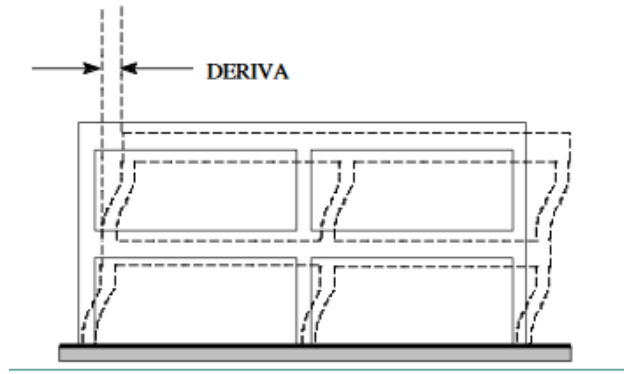


Figura 21. Derivas en un marco de 2 niveles.
Fuente:(Organización Panamericana De La Salud, 2004)

En un análisis estructural los mayores problemas se dan en las derivas y la estabilidad de la edificación por lo que, es conservador en estos casos, cuidar el colapso de los elementos tanto estructurales como no estructurales y en sí para los ocupantes de la edificación (Organización Panamericana De La Salud, 2004).

Según la NEC-SE-CG (2015), la deriva de piso máxima no deberá exceder los límites de derivada inelástica, establecidos en la tabla 8.

Tabla 8. Valores de Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura de piso

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

Fuente:(Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015d)

2.24. Grados de libertad

El grado de libertad de un sistema (G.D.L) es el desplazamiento (rotaciones y traslaciones) que se dan en los nudos cuando se aplica un sistema de cargas de cualquier tipo. Es decir, son las coordenadas de posición de los nudos sometidos a fuerzas externas.

En un sistema de un grado de libertad, por lo general es representado por un pórtico en donde su base es fija, la losa es indeformable y ésta puede desplazarse sólo horizontalmente (Figura 22 (a)). Pero en el caso de una losa susceptible a deformación se dice que el sistema tiene 3 grados de libertad (Figura 22 (b)).

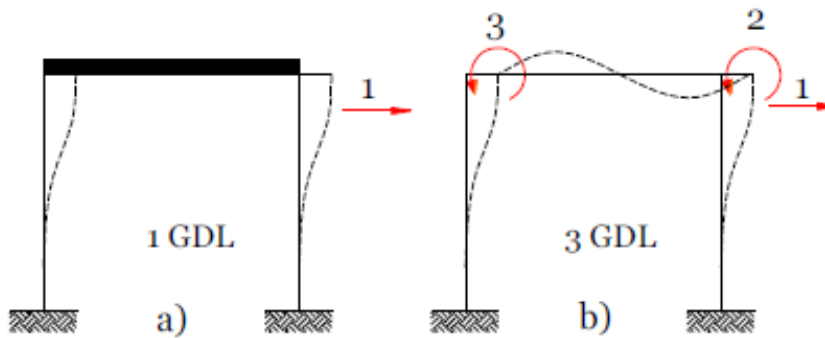


Figura 22 Grados de libertad en pórticos
Fuente: (Amaguaña Amagua & Yumbay Agualongo, 2016)

Con respecto a la rigidez lateral del marco en la Figura 23 con columnas sujetas o empotradas en la base, puede determinarse en tres casos (Chopra, 2014).

Viga infinitamente rígida

La rigidez a flexión $EI_b = \infty$; (Figura 23 (b))

$$k = 24 \frac{EI_c}{h^3} \quad \text{Ecuación 4}$$

Viga sin rigidez

Es decir, $EI_b = 0$; (Figura 23 (c))

$$k = 6 \frac{EI_c}{h^3} \quad \text{Ecuación 5}$$

Viga con rigidez intermedia

Se tiene 3 GDL: desplazamiento lateral u y las rotaciones de los dos nudos viga-columna (Figura 23 (a)). Para un $L=2h$ y $EI_b = EI_c$ se tiene la ecuación 6.

$$k = \frac{96}{7} \frac{EI_c}{h^3} \quad \text{Ecuación 6}$$

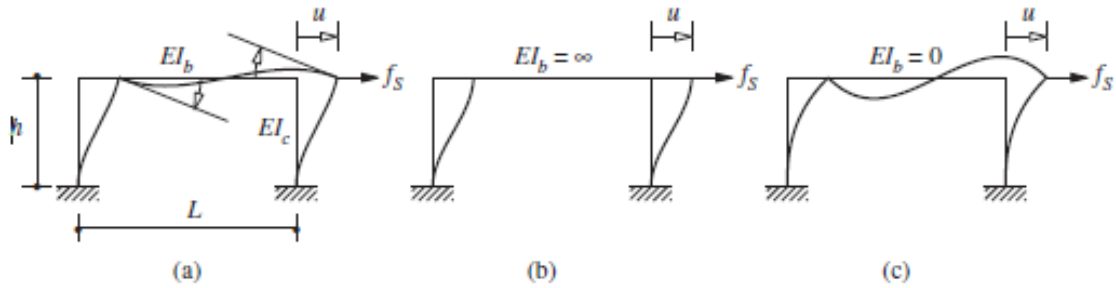


Figura 23. Marco.
Fuente: (Chopra, 2014)

2.25. Vibración libre

El cambio de posición de equilibrio estático de una estructura y la vibración sin ninguna excitación dinámica externa, se lo denomina como vibración libre. Existen dos tipos de vibraciones: la vibración natural y la vibración amortiguada (Chopra, 2014) .

2.25.1. Vibraciones libres amortiguadas

El amortiguamiento en las estructuras reales por lo general se representa de una forma idealizada, es decir, el amortiguamiento en una estructura de 1 GDL se puede idealizar mediante un amortiguador viscoso lineal. Al seleccionar el coeficiente de amortiguamiento se considera que, la energía disipada sea equivalente a la energía disipada en todos los mecanismos de amortiguamiento, combinados, presentes en la estructura real (Chopra, 2014). Entonces, la idealización se denomina amortiguamiento viscoso equivalente y su ecuación es:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = 0 \quad \text{Ecuación 7}$$

A la ecuación se divide entre la m y resulta:

$$\ddot{u} + 2\xi\omega_n\dot{u} + \omega_n^2u = 0 \quad \text{Ecuación 8}$$

en donde $\omega_n = \sqrt{k/m}$; y ξ responde a la fracción del amortiguamiento crítico que depende de las siguientes variables, además de la masa y rigidez.

$$\xi = \frac{c}{2m\omega_n} = \frac{c}{c_{cr}} \quad \text{Ecuación 9}$$

La constante de amortiguamiento (c), se le conoce como una medida de energía disipada en un ciclo de vibración libre o forzada, mientras que c_{cr} es el amortiguamiento crítico (Chopra, 2014).

2.25.2. Vibraciones libres subamortiguadas

En este tipo de vibración se cumple que $c < c_{cr}$ o $\xi < 1$; por lo tanto, la solución a la ecuación de vibración libre sin amortiguamiento es:

$$u(t) = e^{-\xi\omega_n t} \left[u(0)\cos\omega_D t + \frac{\dot{u}(0) + \xi\omega_n u(0)}{\omega_D} \text{sen}\omega_D t \right] \quad \text{Ecuación 10}$$

En dónde la frecuencia natural de vibración amortiguada (ω_D) está en función de la frecuencia natural (ω_n) sin amortiguamiento, además de la fracción de amortiguamiento ξ , como se indica en la ecuación 11.

$$\omega_D = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2} \quad \text{Ecuación 11}$$

La representación de la respuesta de vibración libre de un sistema de 1 GDL con una fracción de amortiguamiento del 5% se encuentra en la Figura 24.

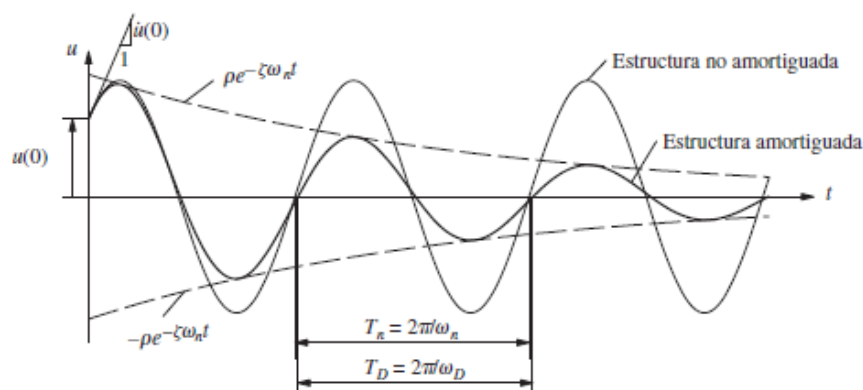


Figura 24. Efectos del amortiguamiento sobre la vibración libre
Fuente: (Chopra, 2014)

En la Figura 24 el desplazamiento inicial en ambos sistemas es $u(0)$, velocidad inicial $\dot{u}(0)$ y tiempo inicial $t=0$. La frecuencia natural de vibración amortiguada (ω_D), se relaciona con la frecuencia natural (ω_n) de un sistema sin amortiguamiento. Por lo que, el periodo natural de vibración amortiguada $T_D = 2\pi/\omega_D$, se relaciona con el periodo natural sin amortiguamiento a través de:

$$T_D = \frac{T_n}{\sqrt{1 - \xi^2}} \quad \text{Ecuación 12}$$

Por otra parte, la amplitud del sistema amortiguado es igual en todos los ciclos que dura la vibración, caso contrario sucede en el sistema amortiguado, la amplitud disminuye exponencialmente con el tiempo, por lo que las curvas envolventes $\pm \rho e^{-\xi\omega_n t}$ tocan la curva

de desplazamiento en los puntos de sus valores pico. En la ecuación de la curva envolvente ρ es igual a la siguiente ecuación.

$$\rho = \sqrt{[u(0)]^2 + \left[\frac{\dot{u}(0) + \xi \omega_n u(0)}{\omega_D}\right]^2} \quad \text{Ecuación 13}$$

2.26. Tipos de movimientos

Dentro de la vibración amortiguada se encuentran los sistemas críticamente amortiguados, sobreamortiguados y los subamortiguados. Para el primer caso se cumple si $c = c_{cr}$ o $\xi = 1$; mientras en el segundo caso $c > c_{cr}$ o $\xi > 1$ y en el tercero se tiene que $c < c_{cr}$ o $\xi < 1$. En la figura 25 se muestra el movimiento $u(t)$ debido al desplazamiento inicial $u(0)$, cuando $\xi = 1$ significa que el sistema regresa a su posición de equilibrio sin oscilar, $\xi < 1$ la amplitud disminuye progresivamente mientras el sistema oscila alrededor de su posición de equilibrio y cuando $\xi > 1$ el sistema no oscila, pero regresa a su posición inicial.

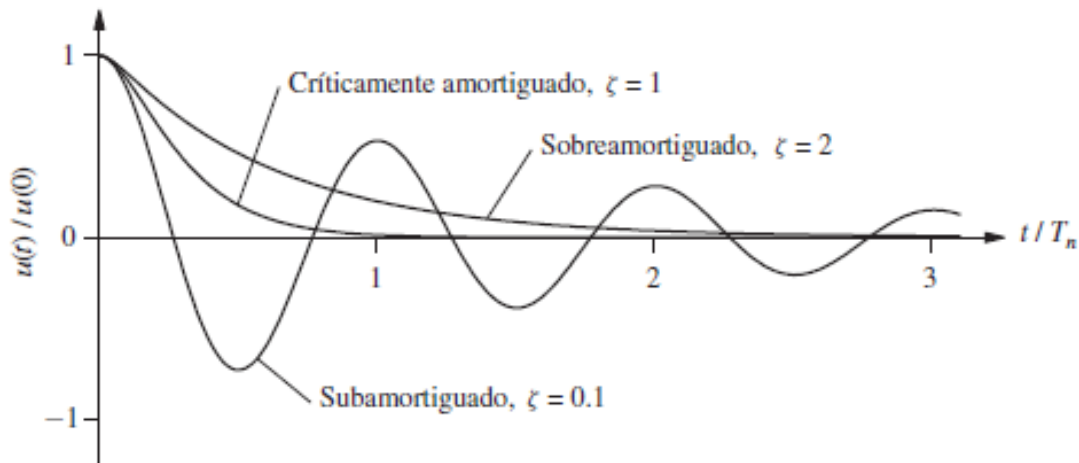


Figura 25. Vibración libre de sistemas subamortiguados, críticamente amortiguado y sobreamortiguado.
Fuente:(Chopra, 2014)

En estructuras de interés como edificios, puentes, presas, etc. el estudio se hace a través de los sistemas subamortiguados, debido que por lo general su fracción de amortiguamiento es menor a 0,10.

2.27. Decaimiento del movimiento

En la obtención de la variación de picos máximos en una vibración libre amortiguada y su fracción de amortiguamiento, se obtiene a partir de:

$$\frac{u_i}{u_{i+1}} = \exp\left(\frac{2\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right) \quad \text{Ecuación 14}$$

El logaritmo natural que relaciona la ecuación 14, se le denomina decremento logarítmico (δ); está representada por la ecuación 15. Si ξ es un valor pequeño entonces la ecuación se simplifica en la ecuación 16.

$$\delta = \ln \frac{u_i}{u_{i+1}} = \left(\frac{2\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right) \quad \text{Ecuación 15}$$

$$\delta \approx 2\pi\xi \quad \text{Ecuación 16}$$

En el caso de tener una disminución de movimiento lento para sistemas ligeramente amortiguados, es necesario determinar la fracción de amortiguamiento ξ relacionando dos amplitudes separadas por varios ciclos de diferencia, en lugar de amplitudes sucesivas. Por lo tanto, su cálculo se realiza mediante:

$$\delta = \frac{1}{j} \ln \frac{u_1}{u_{j+1}} \approx 2\pi\xi \quad \text{Ecuación 17}$$

Debido a la dificultad de determinar analíticamente la fracción de amortiguamiento ξ para las estructuras prácticas, se determina experimentalmente. Para los sistemas ligeramente amortiguados, la fracción de amortiguamiento ξ se determina a partir de:

$$\xi = \frac{1}{2\pi j} \ln \frac{u_i}{u_{i+j}} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$\xi = \frac{1}{2\pi j} \ln \frac{\ddot{u}_i}{\ddot{u}_{i+j}} \quad \text{Ecuación 19}$$

La ecuación 18 parte de desplazamientos y la ecuación 19 está en función de la aceleración (Figura 26).

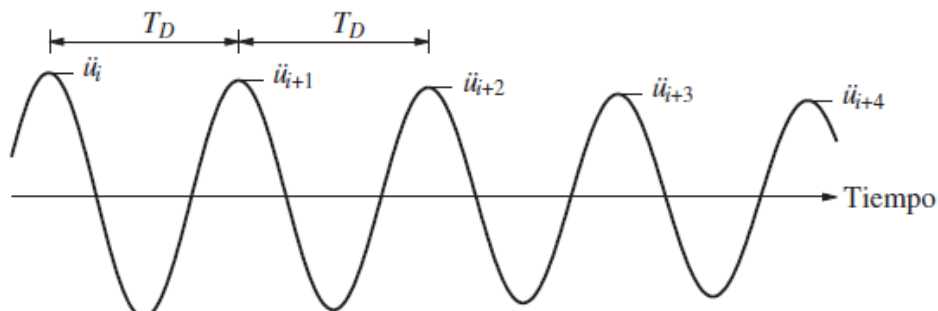


Figura 26. Registro de la aceleración de un sistema en vibración libre

Fuente:(Chopra, 2014)

CAPITULO III

3. PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS

Es fundamental estudiar las propiedades del Pambil (*Iriarteia Deltoidea*) a fin de comprender el comportamiento efectivo; teniendo en cuenta que las características varían dependiendo de la especie y del contenido de humedad que está ligado a las condiciones climáticas del lugar por ello, los motivos para estudiar las propiedades la especie, comprende en analizar las propiedades físicas y mecánicas con el fin de determinar que las características sean las adecuadas para el uso estructural.

El Pambil al secarse rápido no presenta contracciones o pandeos, tardando 35 días para que su humedad se equilibre con el ambiente. La mayor pérdida de humedad sucede en los primeros 14 días. Además, presenta una resistencia alta contra la putrefacción por contener taninos que tienen un efecto contra los microbios (WWF Colombia, 2015).

Su aplicación está limitada a la heterogeneidad del material debido a que es un factor atribuido por las condiciones del lugar donde se desarrolla la planta; al igual que si se tomara varias muestras de la misma especie no se obtendrá propiedades iguales. Es importante saber cuáles son las propiedades más importantes a la que se someta la pieza de madera, según la función en la que se va a desempeñar (Almanza & Cerrogrande, 2009).

3.1. Propiedades del Pambil (Investigación Bibliográfica)

La madera de la (*Iriarteia Deltoidea*) comúnmente utilizada en la construcción de viviendas en el oriente ecuatoriano ha sido estudiada a lo largo del tiempo. En base a la bibliografía secundaria se demuestra que, por medio de ensayos del laboratorio la madera ha sido sometida a flexión, tracción y cizallamiento o corte; siendo el ensayo de flexión la principal propiedad para el análisis de la madera del Pambil en el campo de la construcción.

Por otro lado, los datos obtenidos de referencias bibliográficas se analizan encontrando valores bajos, medios y altos; dichos valores dependen gran parte de la humedad del material y los años que tenga la planta hasta el momento en que es talada.

3.2. Características del Pambil

En la identificación del material es necesario tener en cuenta sus características principales que le diferencia de la chonta, ya que por su parecido suelen ser confundidas. En la Tabla 9, se indican las características del material que han sido identificadas por WWF Colombia, (2015).

Tabla 9. Características de la madera de Pambil.

<i>Características</i>		
<i>Irirartea Deltoidea (Pambil)</i>	Olor	Avinagrado
	Color	Negro
	Textura	Media
	Brillo o Lustre	Medio
	Figura o Veteado	Bandas
		longitudinales marrones
	Grano	Recto

Fuente: (WWF Colombia, 2015)

3.3. Propiedades físicas

Los ensayos de las propiedades físico mecánicas que se presenta a continuación son establecidos según la norma ASTM D-143, COPANT 555, COPANT 466, COPANT 464 y la DIM 52182 para la densidad de maderas con un contenido de humedad del 12%.

Los valores que se presentan son una recopilación bibliográfica de varios autores nacionales y extranjeros que han ensayado el pambil en el laboratorio obteniendo así sus principales características. Por lo tanto, los valores que se han tomado a continuación son los más representativos con una humedad del 12%.

3.3.1. Humedad

Tabla 10. Ensayo de humedad del Pambil.

<i>Propiedad Física</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
<i>Humedad</i>	Verde	29,68 %
	Seca al Aire	12,28 %
	Seca al Horno	10,75 %

Fuente: (Morejon, 2015)

3.3.2. Densidad

Tabla 11. Ensayo de densidad del Pambil.

<i>Propiedad Física</i>		<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
<i>Densidad</i>	Anhídrida	1,04	g/cm ³
	Básica	1,01	g/cm ³
	Verde	1,09	g/cm ³
	Seca al aire	1,24	g/cm ³

Fuente: (Morejon, 2015) y (Almanza & Cerrogrande, 2009)

3.3.3. Contracción

Tabla 12. Ensayo de contracción del Pambil.

<i>Propiedad Física</i>		<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
<i>Contracción</i>	Radial	5,36	%
	Tangencial	5,18	%
	Volumétrica	11,07	%

Fuente: (Calderón Ramirez et al., 2005)

3.4. Propiedades Mecánicas

3.4.1. Flexión Estática

Tabla 13. Ensayo de flexión estática del Pambil.

<i>Propiedades Mecánicas</i>		<i>Valor</i>			<i>Unidad</i>
<i>Flexión Estática</i>	ELP	829,77	1073,00	2419,80	Kg/cm ²
	MOR	1464,41	1900,00	2503,00	Kg/cm ²
	MOE	167266,00	222965,00	342942,44	Kg/cm ²

Fuente: (Calderón Ramirez et al., 2005; Rivadeneira, 2018 y Almanza & Cerrogrande, 2009)

3.4.2. Compresión paralela al grano

Tabla 14. Ensayo de compresión paralela al grano del Pambil.

<i>Propiedad Mecánica</i>	<i>Valor</i>		<i>Unidad</i>	
<i>Compresión Paralela al Grano</i>	ELP	707,48	127,13	Kg/cm ²
	MOR	850,65	204,27	Kg/cm ²
	MOE	188972,17	7960,05	Kg/cm ²

Fuente: (Rivadeneira, 2018 y Alvarado Romero, 2014)

3.4.3. Compresión perpendicular al grano

Tabla 15. Ensayo de compresión perpendicular al grano del Pambil.

<i>Propiedad Mecánica</i>	<i>Valor</i>		<i>Unidad</i>
<i>Compresión Perpendicular al Grano</i>	ELP	611,63	Kg/cm ²
	MOR	613,26	Kg/cm ²

Fuente: (Rivadeneira, 2018)

3.4.4. Cizallamiento o corte

Tabla 16. Ensayo de corte del Pambil.

<i>Propiedad Mecánica</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
<i>Esfuerzo de Cizallamiento</i>	151,00	Kg/cm ²

Fuente: (Calderón Ramirez et al., 2005)

3.4.5. Tensión

Tabla 17. Ensayo de tensión del Pambil.

<i>Propiedad Mecánica</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
<i>Esfuerzo de Tensión</i>	1232,12	Kg/cm ²

Fuente: (Morejon, 2015)

3.5. Propiedades del Pambil (Ensayos del laboratorio)

Las muestras de Pambil son obtenidas del sector de Bosco Alto en el Km 45 de la vía Gualaquiza - San Juan Bosco, perteneciente al cantón Gualaquiza, provincia de Morona Santiago. Las mismas que son cortadas en estado verde con la ayuda de una motosierra debido a la dureza de su madera.

Las probetas son preparadas en un aserrío de maderas en la ciudad de Cuenca obteniendo así los especímenes con las dimensiones deseadas para cada ensayo. Posteriormente, se realizan los ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos en el campus Mira Cielos de la Universidad Católica de Cuenca ubicado en la parroquia de Ricaurte.

Las propiedades de la madera de Pambil en el presente trabajo serán determinadas mediante los siguientes ensayos realizados en el laboratorio:

- Ensayo a flexión
- Ensayo a compresión paralela a las fibras
- Ensayo a compresión perpendicular a las fibras

3.5.1. Elaboración de probetas

Las probetas se elaboraron en función de la madera extraída del tallo del Pambil. Para la preparación y ensayo de las probetas se utilizó las normas ASTM D-143, COPANT 555, COPANT 466, COPANT 464 y DIN 52182 para maderas con las siguientes dimensiones (Tabla 18):

Tabla 18. Especificaciones de ensayos

<i>Ensayo</i>	<i>Dimensiones (cm)</i>	<i>Muestras</i>
<i>Propiedades Físicas</i>		
<i>Densidad</i>	3*3*10	10
<i>Contenido de Humedad</i>	3*3*10	20
<i>Propiedades Mecánicas</i>		
<i>Flexión Estática</i>	2,5*2,5*30	50
<i>Compresión paralela a las fibras</i>	2,5*2,5*10	30
<i>Compresión perpendicular a las fibras</i>	2,5*2,5*7,5	30

Fuente: Autores

3.5.2. Propiedades físicas

Sección resistente

Es una característica interna del tronco del pambil, éste consta de una parte externa-dura de color negro (sección resistente) y otra interna-blanda (Figura 27).

Para determinar la sección resistente se midió la sección de 6 troncos de 1 metro de longitud (Figura 28) en dos ejes perpendiculares entre sí, obteniendo valores de diámetro exterior, ancho resistente y área resistente al inicio, medio y fin del tronco. En la Tabla 19 se muestra el cálculo de la sección resistente para los estados: seco, seco al horno y verde (1.5, 5 y 9 metros).

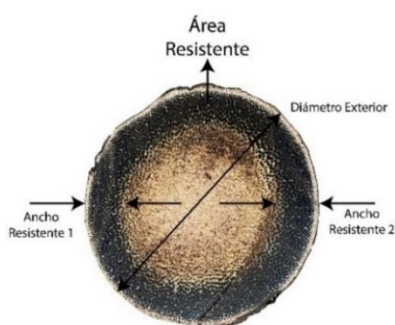


Figura 27. Componentes de la sección Resistente de Pambil.

Fuente: Los Autores.



Figura 28. Troncos de 1 metro

Fuente: Los Autores.

El área resistente del tronco del pambil se calcula empleando la ecuación 20.

$$AR = \frac{\pi}{4} [D_e^2 - (D_e - (ar_1 + ar_2))^2] \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

AR Área resistente (cm²)

ar₁ Ancho resistente 1 (cm)

ar₂ Ancho resistente 2 (cm)

De Diámetro exterior del tronco (cm)

Se recomienda medir los anchos resistentes en el mismo eje estudiado; también se recomienda despreciar el espesor de la corteza del tronco.

Tabla 19. Sección resistente

<i>Muestras</i>	<i>Estado</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
1	Seco	119,88	cm ²
2	Seco	129,59	cm ²
3	Seco al horno	136,07	cm ²
4	Verde (1,5 metros)	108,636	cm ²
5	Verde (5 metros)	84,77	cm ²
6	Verde (9 metros)	52,49	cm ²

Elaborado por: Autores

Contenido de humedad

Según la Norma Panamericana COPANT, (1972), se realizan ensayos de la madera considerando el estado verde, y seco al aire con medidas de 3 x 3 x 10 cm; teniendo en cuenta que las probetas se deben tomar de un lote representativo. En el ensayo se tomaron 20 probetas (10 en estado verde y 10 en estado seco al aire) con un volumen mínimo de 33 cm³ (INEN, 2012). Para la obtención de los resultados en estado seco al aire fue necesario que el material esté expuesto al ambiente durante un año y para los resultados del estado verde se utilizó el material recién cortado.

Mediante un calibrador se mide las probetas (estado verde y seco al aire) y se pesa cada muestra utilizando una balanza digital con precisión de 0,01 gr para posterior dejar en un horno a 103 °C durante 24 horas dando como resultado su peso seco.



Figura 29. Muestras en estado Seco

Fuente: Los Autores

El contenido de humedad (CH) de la madera resulta de pesar las muestras en estado verde y seco al horno y mediante la ecuación 21 se determina la misma. En la tabla 20 se muestra los valores representativos para cada estado.

$$CH = \frac{P - P_{sh}}{P_{sh}} * 100$$

Ecuación 21

Donde:

- CH Contenido de humedad (%)
- P Masa en verde al momento de la prueba (gr)
- Psh Masa seca al horno de la muestra (gr)

Tabla 20. Contenido promedio de humedad

<i>CH Verde (%)</i>	<i>CH seca al aire (%)</i>
50,56	19,21

Elaborado por: Autores

Densidad

La densidad se calcula usando la norma DIN-52182, (2012) con probetas de 3 x 3 x 10 cm; estas medidas cumplen las mínimas requeridas en la norma INEN, (2013) en la que se indica que deben ser de forma prismática de 20 mm de lado como mínimo.

Bajo los criterios antes mencionados se calculan la densidad en estado verde, seco al aire, seco al horno y la densidad básica de 10 muestras totales (Tabla 21). Para determinar la densidad se pesa la masa en el estado que se requiera de las probetas utilizando una balanza digital con 0,01 gr de precisión y para el volumen se miden empleando un calibrador.

El volumen de la muestra se obtiene aplicando la ecuación 22:

$$V = \frac{S1 + S2}{2} \times H$$

Ecuación 22

Donde:

- V Volumen de las muestras (cm³)
- S1 Área de sección transversal del extremo 1 (cm²)
- S2 Área de sección transversal del extremo 2 (cm²)
- H Longitud de la muestra (cm)

Con los datos de las masas y volúmenes de cada probeta procedemos a calcular los diferentes tipos de densidad indicadas en las ecuaciones 23,24,25 y 26.

Densidad en estado verde (DV)

$$Dv = \frac{Pvx}{Vvx} \qquad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

- Dv Densidad verde (gr/cm³)
- Pvx Masa verde promedio (gr)
- Vvx Volumen verde promedio (cm³)

Densidad seca al aire (Dsa)

$$Dsa = \frac{Psax}{Vsax} \qquad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

- Dsa Densidad seca al aire (gr/cm³)
- Psax Masa seca al aire promedio (gr)
- Vsax Volumen seco al aire promedio (cm³)

Densidad seca al horno (Dsh)

$$Dsh = \frac{Pshx}{Vshx} \qquad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

- Dsh Densidad seca al horno (gr/cm³)
Pshx Masa seca al horno promedio (gr)
Vshx Volumen seco al horno promedio (cm³)

Densidad básica (Db)

$$Db = \frac{Pshx}{Vvx} \qquad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

- Db Densidad básica (gr/cm³)
Pshx Masa seca al horno promedio (gr)
Vvx Volumen verde promedio (cm³)

Tabla 21. Densidades promedio

<i>Propiedad</i>	<i>Verde (g/cm³)</i>	<i>Seca al aire (g/cm³)</i>	<i>Anhídrida (g/cm³)</i>	<i>Básica (g/cm³)</i>
<i>Densidad</i>	1,063	0,944	0,822	0,757

Elaborado por: Autores

3.6. Propiedades mecánicas

Para la obtención de las propiedades mecánicas se realizaron los ensayos de flexión, compresión paralela y perpendicular a las fibras con los especímenes del material expuestos al ambiente durante un año y recién cortado en estado verde.

3.6.1. Flexión estática

De acuerdo con la norma COPANT, (1972) para ensayos en maderas, las probetas deben tener las siguientes dimensiones 2 x 2 x 30 cm. Esto nos permite obtener el MOE, MOR y el esfuerzo límite de proporcional de la fibra (ELP) (Tabla 22) al aplicar las ecuaciones 27,28 y

29. Para el ensayo se utilizaron 50 probetas, 20 son en estado seco al aire y 30 en estado verde; antes del ensayo se pesa en una balanza digital con precisión de 0,01 gr, se mide el largo exacto y la sección transversal de cada probeta utilizando un calibrador; se marca la distancia entre los apoyos, así como el centro de la luz libre. La carga se aplica en el centro de la luz libre, de forma lenta comuna velocidad de 0,25 cm/min hasta producir su fallo.



Figura 30. Ensayo a flexión.

Fuente: Los Autores



Figura 31. Probetas ensayadas a flexión.

Fuente: Los Autores

3.6.2. Esfuerzo de las fibras al límite proporcional

$$ELP = \frac{3 \cdot Px1 \cdot L}{2 \cdot a \cdot b^2} \quad \text{Ecuación 27}$$

Donde:

ELP Esfuerzo de la fibra al límite proporcional (Kgf/cm²)

Px1 Carga promedio al límite proporcional (Kgf)

L Luz libre de la muestra (cm)

a Ancho de la muestra (cm)

b Altura de la probeta (cm)

3.6.3. Módulo de ruptura

$$MoR = \frac{3 \cdot Px \cdot L}{2 \cdot a \cdot b^2} \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

MoR Módulo de ruptura (Kgf/cm²)

Px Carga promedio máxima aplicada (Kgf)

3.6.4. Módulo de elasticidad

$$MoE = \frac{Px1 * L^3}{4 * d * a * b^3} \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde:

MoE Módulo de elasticidad (Kgf/cm²)

d Deformación al límite proporcional (cm)

Px1 Carga promedio al límite proporcional (Kgf)

Tabla 22. Propiedades mecánicas (ensayo flexión)

<i>Propiedad</i>	<i>Estado</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
<i>ELP</i>	Seco al aire	826,12	kg/cm ²
	Verde	796,85	kg/cm ²
<i>MOR</i>	Seco al aire	1199,17	kg/cm ²
	Verde	1087,09	kg/cm ²
<i>MOE</i>	Seco al aire	167286,85	kg/cm ²
	Verde	115909,75	kg/cm ²

Elaborado por: Autores

3.6.5. Ensayo de compresión paralela a las fibras

En este ensayo se emplean 30 probetas de 2,5 x 2,5 x 10 cm estipuladas en la norma ASTM, (1994). De la cuales 10 son estado seco y 20 en estado verde. Con una balanza digital de precisión 0,01 gr se obtienen los pesos actuales, y con un calibrador se obtienen sus medidas exactas del largo y sección transversal. Mediante un deformímetro de precisión 0,01 mm durante el ensayo de compresión se mide las deformaciones y se registran los datos obtenidos al someter la muestra a cargas de forma gradual, llegando así a su límite de elasticidad y de fluencia. También se obtendrá la carga máxima que provoca la ruptura del material.



Figura 32. Ensayo a compresión paralela a las fibras.

Fuente: Los Autores



Figura 33. Muestras ensayadas a compresión perpendicular a la fibra.
Fuente: Los Autores

El esfuerzo límite proporcional y la resistencia máxima a la compresión del ensayo son el resultado de las ecuaciones 30 y 31:

$$ELP = \frac{Px1}{A} \quad \text{Ecuación 30}$$

$$MRC = \frac{Px}{A} \quad \text{Ecuación 31}$$

El módulo de elasticidad de compresión paralela se obtiene con la ecuación 32:

$$Y = \frac{Px1*L}{A*d} \quad \text{Ecuación 32}$$

Dónde:

ELP	Esfuerzo de compresión de las fibras al límite proporcional (Kgf/cm ²)
Px1	Carga promedio al límite proporcional (Kgf)
MRC	Máxima resistencia a la compresión paralela (Kgf/cm ²)
Px	Carga promedio máxima aplicada (Kgf)
Y	Módulo de elasticidad en compresión paralela (Kg/ cm ²)
A	Área de la sección transversal de la probeta antes del ensayo (cm ²)
L	Distancia sobre la cual se midió la deformación (cm)
D	Deformación de la probeta hasta el límite proporcional (cm)

Así mismo como en el caso de los ensayos a flexión se tienen los ensayos de compresión paralela del material para los estados verde y seco al aire como se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23. Propiedades mecánicas (ensayo a compresión paralela a las fibras)

<i>Propiedad</i>	<i>Estado</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
<i>ELP</i>	Seco al aire	501,28	kg/cm ²
	Verde	406,29	kg/cm ²
<i>MOR</i>	Seco al aire	537,00	kg/cm ²
	Verde	453,16	kg/cm ²
<i>MOE</i>	Seco al aire	53916,39	kg/cm ²
	Verde	32877,30	kg/cm ²

Elaborado por: Autores

3.6.6. Ensayo de compresión perpendicular a las fibras

En este ensayo se emplean 30 probetas de 2,5 x 2,5 x 7,5 cm estipuladas en la norma ASTM, (1994). De la cuales 10 son estado seco y 20 en estado verde. Con una balanza digital de precisión 0,01 gr se obtienen los pesos actuales, y con un calibrador se obtienen sus medidas exactas del largo y sección transversal. Mediante un deformímetro de precisión 0,01 mm durante el ensayo de compresión se mide las deformaciones y se registran los datos obtenidos al someter la muestra a cargas de forma gradual, llegando así a su límite de elasticidad y de fluencia. También se obtendrá la carga máxima que provoca la ruptura del material.



Figura 34. Ensayo de compresión perpendicular a la fibra.

Fuente: Los Autores



Figura 35. Probetas ensayadas a compresión perpendicular a la fibra.
Fuente: Los Autores

El esfuerzo límite proporcional y la resistencia máxima a la compresión del ensayo resulta de las ecuaciones 30 y 31. Los resultados respectivos para el estado verde y seco al aire del material se presente en la Tabla 24.

Tabla 24. Propiedades mecánicas (ensayo a compresión perpendicular)

<i>Propiedad</i>	<i>Estado</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
<i>ELP</i>	Seco al aire	119,88	kg/cm ²
	Verde	60,75	kg/cm ²
<i>MOR</i>	Seco al aire	155,99	kg/cm ²
	Verde	72,63	kg/cm ²

Fuente: Autores

3.7. Fracción de amortiguamiento del Pambil (ξ)

El ensayo se realizó de manera experimental en donde se utilizaron 10 muestras en forma de tiras y tres troncos de Pambil de 1 metro de longitud; éstas muestras fueron empotradas en un solo lado en la prensa hidráulica como se ve en la figura 36; además se empleó un acelerómetro para registrar la aceleración en el material al aplicar una fuerza de 1000 gr.



Figura 36. Apoyo Empotrado.
Fuente: Los Autores.

El registro de datos se realiza a través de un software, que permite visualizar la señal obtenida del acelerómetro programado en Arduino, la señal proporcionada por el dispositivo representa el eje X, eje Y y eje Z.

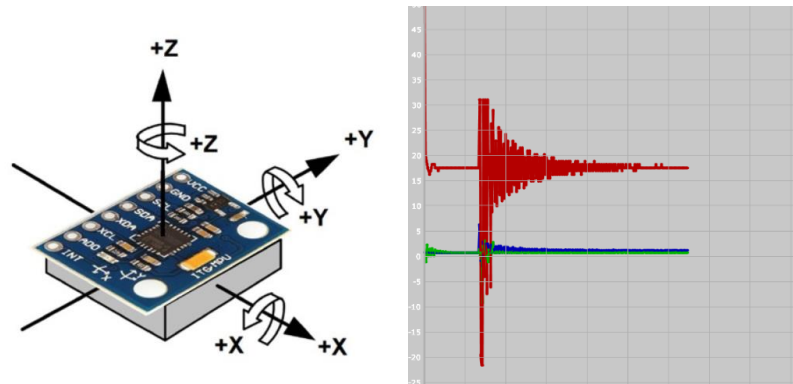


Figura 37. Dispositivo que recibe la señal en 3 direcciones.
Fuente: Autores

Mediante el software SeismoSignal se escala la señal obtenida por el acelerómetro y se obtienen los registros de aceleración, velocidad y desplazamiento.

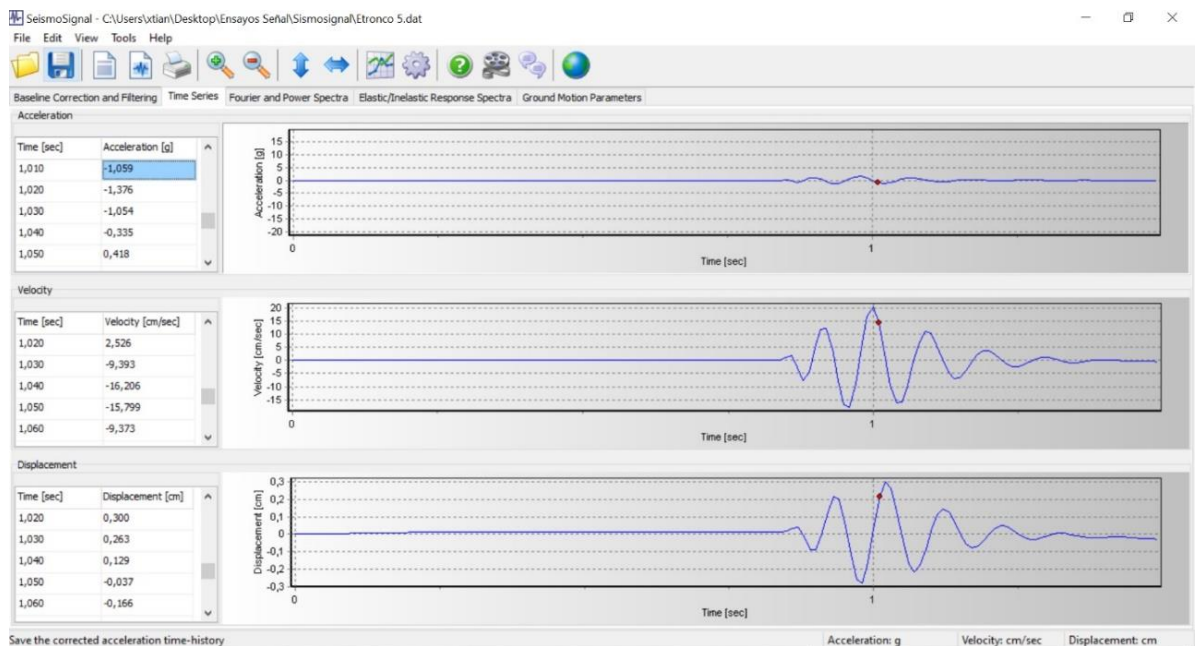


Figura 38. Software SeismoSignal - Señal escalada.
Fuente: Autores

Posterior a escalar la señal en el software se procede a obtener los datos como es el número de ciclos, y los valores entre el primero y último pico de la curva escalada de manera que a partir de la siguiente ecuación se procede a calcular el factor de amortiguamiento

$$\zeta = \frac{1}{2 * \pi * (j)} * \ln\left(\frac{u_i}{u_j}\right)$$

Ecuación 33

Donde:

- ζ Factor de amortiguamiento
- j Numero de ciclos
- u_i Primer pico de la curva de aceleracion-tiempo
- u_j Ultimo o siguiente pico de la curva de aceleracion-tiempo

Tabla 25. Factor de amortiguamiento. Ensayo en tiras de Pambil.

<i>Muestra</i>	<i>Peso Aplicado (g)</i>	<i>N° Ciclos (j)</i>	<i>ξ (%)</i>
1	1000	6	9,05
2	1000	4	9,72
3	1000	2	9,29
4	1000	5	7,5
5	1000	7	4,64
6	1000	13	4,42
7	1000	8	6,79
8	1000	10	5,4
9	1000	11	4,14
10	1000	3	4,65
<i>Max</i>			10
<i>Promedio</i>			7
<i>Min</i>			4

Elaborado por: Autores

Tabla 26. Factor de amortiguamiento. Ensayo en troncos de Pambil.

<i>Muestra</i>	<i>Peso Aplicado (kg)</i>	<i>N° Ciclos (j)</i>	<i>ξ (%)</i>
1	65	4	13,64
2	65	2	17,87
3	65	3	15,82
4	65	3	13,80
<i>Max</i>			18
<i>Promedio</i>			15
<i>Min</i>			14

Elaborado por: Autores

3.8. Propiedades mecánicas de la Guadúa Angustifolia Kunt



Figura 39. Guadúa Angustifolia Kunt

Fuente: (Aponte Garzón, 2016)

Los parámetros mecánicos estudiados en diferentes fuentes bibliográficas para la Guadúa Angustifolia Kunt se obtuvieron para un contenido de humedad del 12%, este porcentaje de humedad es óptimo para la utilización de la guadúa como elemento estructural; en el caso de obtener resultados con porcentajes mayores al recomendado; el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, sugiere mediante factores ajustar los contenidos de humedad, así como las demás propiedades mecánicas obtenidas. Es importante hacer los ajustes del contenido de humedad para evitar la pérdida de resistencia y rigidez debido a su aumento.

Los valores de las propiedades de la Guadúa se deben obtener para una edad de entre 4 y 6 años; estado en el cual el material es adecuado para su uso (AIS, 2010); a una edad menor las propiedades mecánicas son bajas con excepción de la densidad; mientras que para la edad recomendada las propiedades aumentan como se muestra en la Tabla 27. En el caso del esfuerzo admisible a compresión en el año 4 el esfuerzo aumenta su valor un 41,26 % del año 2. En el año 5 existe una ligera disminución del 14,78%.

Los resultados para el esfuerzo cortante en el 4 año aumentan, mientras que para la edad 2 y 5 son los mismos valores. El MOR producto del ensayo a flexión para la edad de 5 años disminuye 2,57% al obtenido para la edad de 2 años, caso contrario sucede para el MOE; éste aumenta en un 2,96% del obtenido en la edad de dos años y se mantiene constante.

Tabla 27. Propiedades mecánicas de la Guadúa Angustifolia Kunt

<i>Propiedades</i>		<i>Edad en Años</i>		
		2	4	5
<i>Densidad</i>	P (Kg/m ³)	687,3	725,9	686,1
<i>Esfuerzo a Compresión</i>	σ (MPa)	28,6	40,4	35,2
	E (GPa)	16,4	17,2	16,8
<i>Esfuerzo Cortante</i>	T (MPa)	7,3	7,7	7,3
<i>Esfuerzo a Flexión</i>	MOR (GPa)	95,8	98,5	93,4
	MOE (GPa)	16,9	17,4	17,4

Fuente: (Correal & Arbelaez, 2015).

Con respecto a las propiedades mecánicas según lo recolectado de varias fuentes bibliográficas la propiedad mecánica más débil de la Guadúa Angustifolia Kunt, que se observa en la Tabla 28 es la resistencia al esfuerzo cortante; varía de 4,46 a 7 MPa; este valor menor se debe a las características geométricas del material, contempla el espesor y el área, así como también la relación del espesor/diámetro externo. Al momento de aplicar la carga perpendicular, la sección resistente es menor. Por otro lado, la propiedad más favorable es la resistencia a la tracción para el cual se tiene un valor máximo de 117 MPa y un mínimo de 52,48 MPa.

En cuanto a la resistencia a flexión del material el valor significativo que se tiene es en la norma ecuatoriana con 45 MPa. El módulo elástico es el último parámetro en análisis y corresponde al obtenido durante el ensayo de flexión, se tiene un valor mínimo de 9500 MPa estudiado en el reglamento colombiano, mientras que para la norma ecuatoriana se tiene un valor de 12000 MPa. Los valores analizados son valores promedio E 0.5 que se usa para el análisis de elemento estructurales y son el módulo de elasticidad del material.

Con respecto a la deformación producto de la flexión al aplicar cargas muy altas, ésta es grande, debido a su flexibilidad lo que impide cumplir con las condiciones mínimas de servicio. Por este motivo se diseñan estructuras de guadúa a cargas muy bajas para que la estructura no falle. Es decir, se utilizan los esfuerzos admisibles a flexión que son casi la mitad de su resistencia última; en las diversas fuentes los valores mínimos son de 5,88 MPa y 15 MPa.

El bajo peso de la caña guadúa hace de éste un material resistente a fuerzas laterales como los sismos, y su forma hueca aporta con mayor rigidez. La forma circular y la sección hueca hacen que el material sea liviano, los tabiques o paredes transversales que hay en cada nudo lo hacen más rígido y elástico evitando su ruptura al curvarse, propiedad principal para construcciones antisísmicas.

Tabla 28. Comparación de las propiedades mecánicas de la Guadúa Angustifolia Kunt.

<i>Fuente</i>	<i>(Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016)</i>	<i>(Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), 2010)</i>	<i>(Sánchez et al., 2020)</i>	<i>(Aponte Garzón, 2016)</i>	<i>(La Tegola et al., 2015)</i>	<i>(Calva, 2015)</i>
<i>País</i>	Ecuador	Colombia	Colombia	Colombia	Ecuador	Ecuador
<i>Densidad básica (kg/m³)</i>	-	-	531.26	620.41	-	-
<i>Esfuerzo admisible a flexión (Mpa)</i>	15	15	7.14	18.10	-	5.88
<i>Esfuerzo admisible a tracción (Mpa)</i>	19	18	4.07	5.69	-	25.89
<i>Esfuerzo admisible a compresión II (Mpa)</i>	14	14	12.32	14.66	-	13.73
<i>Esfuerzo admisible a compresión I (Mpa)</i>	1.4	-	-	-	-	-
<i>Esfuerzo admisible a corte (Mpa)</i>	1.2	1.2	1.31	1.66	-	1.078
<i>Esfuerzo último a flexión (Mpa)</i>	45	-	38.88	35.40	45.85	17.16
<i>Esfuerzo último a tracción (Mpa)</i>	117	-	56.58	52.43	117.598	52.48
<i>Esfuerzo último a compresión II (Mpa)</i>	37	-	45.99	35.82	36.764	43.02
<i>Esfuerzo último a corte (Mpa)</i>	7	-	4.46	7.45	7.172	6.74
<i>Módulo Elástico (Mpa)</i>	12000	9500	13439	12560.27	12 157	11277.65

Elaborado por: Autores.

CAPITULO IV

4. METODOLOGÍA

Uno de los mayores retos de la ingeniería estructural durante el estudio de estructuras sometidas a cargas dinámicas, es la simplificación de un modelo estructural representativo a estudiar de manera que el análisis y el diseño se vean reducidos. En varios países utilizan esta técnica con la finalidad de disminuir el tiempo en el cálculo estructural, por ello se emplean programas de cálculo como es SAP 2000 o ETABS; estos programas poseen la capacidad de modelar los elementos ya sea en el rango elástico o inelástico, por lo tanto, la modelación del Pambil sometido a cargas dinámicas se realizará en el software ETABS.

Previo al análisis y diseño de la estructura sometida a cargas dinámicas (sismos) se propone una estructura de uno y dos niveles, en donde se debe cumplir los criterios vigentes en la Norma Ecuatoriana de la Construcción; una forma de revisar el cumplimiento de los criterios es a través del control de derivas. La estructura se planifica para la ciudad de Gualaquiza, por lo que se debe tener en cuenta las zonas sísmicas y otros indicadores para elaborar el espectro de diseño de la zona.

Antes de realizar el diseño en este capítulo se explica acerca de las características de la estructura como es la geometría, materiales, cargas y otros parámetros más necesarios para el análisis, y posterior a ello realizar tanto el análisis estático como el análisis dinámico.

4.1. Normas y códigos utilizados

- NEC-SE-CG: Cargas (No Sísmicas)
- NEC-SE-DS: Peligro sísmico. Diseño sismo Resistente
- NEC-SE-GUADÚA: Estructuras de Guadúa
- Guía para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras

4.2. Estado de carga

La estructura debe ser diseñada para resistir dos tipos de cargas: cargas gravitacionales y laterales. Las cargas gravitacionales comprenden en el peso propio de los elementos estructurales y la sobrecarga de mamposterías, acabados y pisos; mientras que las cargas laterales corresponden a las acciones sísmicas y de viento, para este caso de estudio no se considera las acciones del viento.

4.2.1. Carga muerta

En el presente trabajo se consideró una sobrecarga y la mampostería que compone a la estructura. La sobrecarga es de 75 kg/m^2 en donde incluye el peso de instalaciones y de la mampostería, además se considera una losa de 5 cm de espesor con una carga de 110 kg/m^2 , malla electrosoldada de $\phi=4 \text{ mm}$ con una carga de $1,3 \text{ kg/m}^2$ y un tablero de guadúa de 1cm de espesor con una carga de $6,2 \text{ kg/m}^2$.

4.2.2. Carga viva

La estructura se considera para el uso de una vivienda unifamiliar; de acuerdo con la NEC-SE-CG (Cargas no sísmicas), la sobrecarga para dicha ocupación es de $2,0 \text{ kN/m}^2$ que corresponde a 200 kg/m^2 que se muestra en la Tabla 29.

Tabla 29. Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas y concentradas

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m^2)	Carga concentrada (kN)
Residencias		
Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	2.00	
Hoteles y residencias multifamiliares	2.00	
Habitaciones	4.80	
Salones de uso público y sus corredores		

Fuente:(Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015a)

Por lo tanto, la carga viva es de 200 kg/m^2 , que se utilizará en cada piso de la estructura.

4.2.3. Carga sísmica

Se ha elaborado un espectro de diseño de aceleraciones a partir de la NEC-SE-DS (Cargas sísmicas) para poder analizar el comportamiento dinámico de una estructura frente a un sismo. En el espectro de diseño se tomó en cuenta las consideraciones para la ciudad de Gualaquiza perteneciente a la provincia de Morona Santiago.

4.3. Prediseño de los elementos estructurales

4.3.1. Geometría

A continuación, se detalla los elementos estructurales en cada modelo realizado.

Estructura 1

La estructura está constituida de los siguientes elementos estructurales:

- Losa
 - Latilla de Bambú
 - Loseta de Hormigón
- Columnas
 - Sección de 1 Pambil
- Vigas
 - Sección de 1 Pambil

Estructura 2

- Losa
 - Latilla de Bambú
 - Loseta de Hormigón
- Columnas
 - Sección de 2 Pambil
- Vigas
 - Sección de 2 Pambil

Estructura 3

- Losa
 - Latilla de Bambú
 - Loseta de Hormigón
- Columnas
 - Sección de 4 Pambil
- Vigas
 - Sección de 2 Pambil

En este apartado se indica como están constituidos cada estructura considerando que el uso de las estructuras es para una vivienda.

4.3.2. Losa

La loseta es definida en base a la normativa del ACI 318-14 en donde se estima un espesor de 5 cm comprobando así su deflexión y reforzándolo con latilla de bambú en la parte inferior de la misma. El cálculo realizado para la losa se puede observar en el Anexo 4.

4.3.3. Vigas

Las vigas son prediseñadas en base al diseño por resistencia y el diseño por flexión logrando cumplir con la deflexión admisible calculada. Para las vigas secundarias se propone una separación de 0,50 cm entre cada elemento. El cálculo realizado para la losa se puede observar en el Anexo 4.

4.3.4. Columnas

Las columnas se diseñan con base a la reacción generada por la viga principal, se aplica la fórmula de Euler en dónde considera el factor de pandeo, que en este caso es 0,5 porque los dos extremos son empotrados. Se debe cumplir las condiciones de esfuerzo, es decir, el esfuerzo crítico será menor al esfuerzo admisible de compresión paralela del Pambil. El cálculo se puede observar en el Anexo 4.

4.4. Característica de la zona

4.4.1. Zonas sísmicas y factor z

La provincia de Morona Santiago según la NEC-SE-DS está ubicada en la zona sísmica III, es decir una aceleración sísmica de 0,30 g (Figura 40). Esto indica que, el sitio presenta una característica de peligro sísmico alto (Tabla 30).

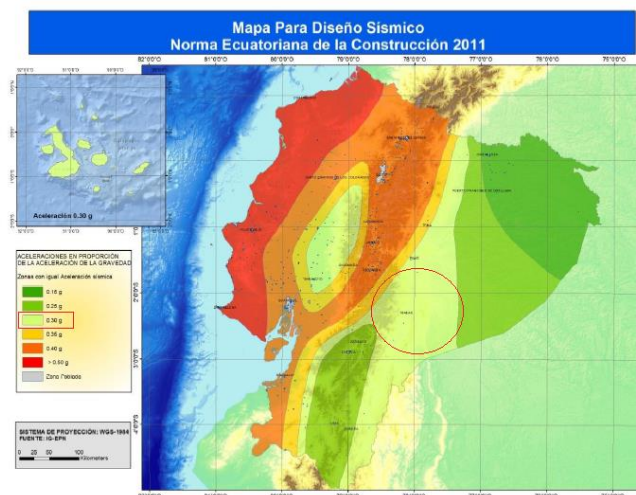


Figura 40. Zonas sísmicas de Ecuador para propósitos de diseño y valor del factor de zona z

Fuente:(Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015c)

Tabla 30. Valor del factor Z en función de la zona adoptada

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:(Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015c)

Para la zonificación sísmica, la NEC-SE-DS divide cada región en porciones en las cuales se especifican los parámetros constantes de diseño sísmico. La norma considera el tipo de roca existente en la corteza para reflejar la propagación de las ondas sísmicas que se originan.

4.4.2. Tipo de suelo

De acuerdo a la clasificación realizada por la norma existen 6 tipos de perfiles, a los que se les asigna letras desde la A hasta la F.

Según los datos de estudios de suelos proporcionado por la municipalidad del cantón Gualaquiza existen suelos de gravas limosas y arenas arcillosas; por lo tanto, el tipo de suelo se encuentran dentro de la categoría D (Tabla 31) (Delgado & Sempértegui, 2016).

Tabla 31. Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$

Fuente:(Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015c)

4.4.3. Factores de perfil de suelo Fa, Fd y Fs

Fa: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto

Este factor (Tabla 32) amplifica las ordenadas del espectro en la respuesta elástica de las aceleraciones para un diseño en roca, considerando los efectos del sitio.

Tabla 32. Tipo de suelo y factores de sitio Fa

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	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	1.5	1.39	1.26	1.14	0.97
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.6.4					

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015c)

Fd: desplazamiento para diseño en roca

El factor (Tabla 33) en las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento es amplificado para un diseño de roca, considerando los efectos del sitio.

Tabla 33. Tipo de suelo y Factores de sitio Fd

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	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	1.6	1.5	1.4	1.35	1.3	1.25
D	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
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: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015c)

Fs: comportamiento no lineal de los suelos

El coeficiente (Tabla 34) considera especialmente el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que está ligado con la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.

Tabla 34. Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	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	1	1.1	1.2	1.25	1.3	1.45
D	1.2	1.25	1.3	1.4	1.5	1.65
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:(Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015c)

4.5. Espectro elástico de diseño en aceleraciones

Dentro de este parámetro se considera el factor de zona sísmica Z, el tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura y los coeficientes de amplificación de suelo F_a , F_d y F_s .

El espectro como tal, es la fracción de aceleración de la gravedad S_a para el nivel del sismo de diseño. Incluye varios factores entre ellos:

La razón de aceleración espectral y el PGA (η) son:

- $\eta=1.80$: Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas)
- $\eta=2.48$: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos
- **$\eta=2.60$: Provincias del Oriente**

La ciudad de Gualaquiza que se ubica en la provincia de Morona Santiago, región del oriente, el valor de la razón que se utiliza es de $\eta=2.60$ y el factor r que depende de la ubicación geográfica del proyecto.

- $r=1$ tipo de suelo A, B o C
- **$r=1,5$ tipo de suelo D o E**

En el presente trabajo se utiliza $r=1,5$ por el tipo de suelo D de la zona.

4.6. Metodología del diseño sismoresistente

La categorización del edificio y el coeficiente de importancia I (Tabla 35) son necesarios de emplearlos con cuya finalidad de incrementar la demanda de diseño sísmico para estructuras, que por las características de uso o importancia deben sufrir daños pequeños sin afectar la operatividad durante o después de la ocurrencia del sismo de diseño.

Tabla 35. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coficiente 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 sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias 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: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015c)

4.6.1. Límites permisibles de las derivas de los pisos

La deriva máxima en cualquier piso no debe exceder los límites establecidos por la norma NEC-SE-DS (Tabla 36), en nuestro caso no será mayor a 0,02 por ser una estructura completamente de madera.

Tabla 36. Valores de Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura de piso

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Homigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015c)

4.6.2. Factor de reducción de resistencia sísmica R

Este factor es un parámetro constante que depende únicamente de la tipología de la estructura, en este caso su valor es de 2 que es para estructuras de poste y viga limitada a 2 pisos.

Tabla 37 Coeficiente de reducción de respuesta estructural R.

Sistema estructural	Coefficiente R
Pórticos con diagonales en sistema entramado o en un sistema de poste y viga,	2
Mampostería No Reforzada y no confinada (c)	1
Mampostería enchapada con malla de acero (a)	1.5
Adobe y Tapial reforzado	1.5
Bahareque	1.5
Mampostería Reforzada	3
Mampostería Confinada	3
Muro de hormigón reforzado	3
Muros livianos de acero	1.5
Muro de mortero armado u hormigón armado con alma de poliestireno(a)	1.5

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

Una vez definido todos los parámetros necesarios en la determinación de los espectros de diseño elástico e inelástico, mediante ETABS se ingresa el espectro inelástico. Este espectro consiste en dividir el espectro elástico para el factor de reducción R.

En la Tabla 38 se muestra los valores de parámetros utilizados y en la figura 41 se muestra los espectros utilizados en el análisis de acuerdo a un sismo moderado y severo.

Tabla 38. Factores utilizados para los espectros de diseño elástico e inelástico.

<i>DATOS</i>	
$r=$	1,5
$Fa=$	1,3
$Fd=$	1,6
$Fs=$	1,3
$R=$	2
$\emptyset p=$	1
$\emptyset e=$	1
$Z=$	0,3
$Tc=$	0,88
$To=$	0,2
$n=$	2,6
$I=$	1

Elaborado por: Autores

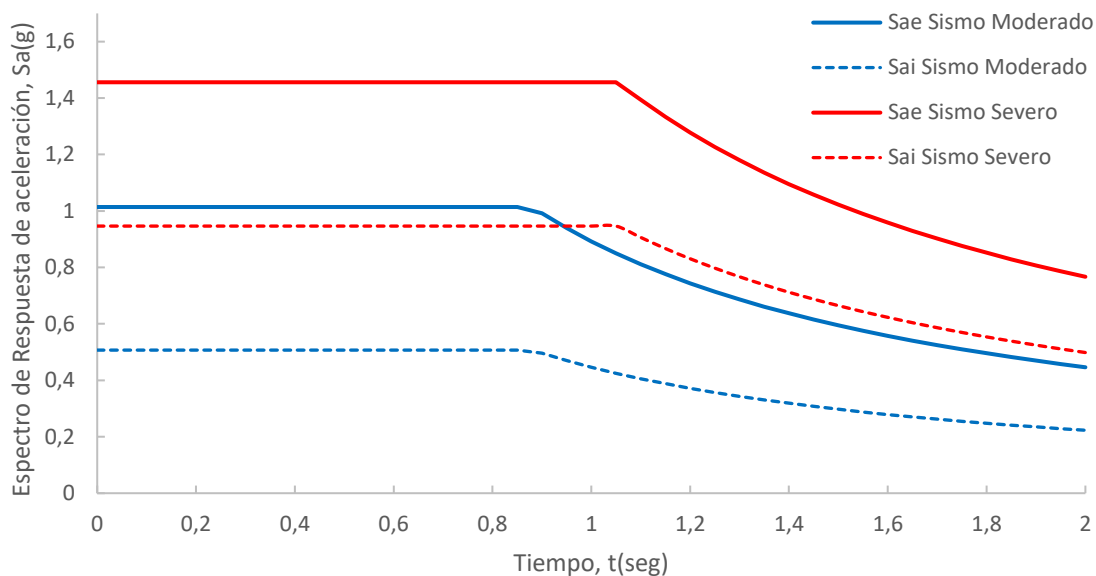


Figura 41. Espectro de diseño elástico e inelástico del sismo utilizado para el análisis en ETABS.

Elaborado por: Autores

4.7. Análisis y diseño estructural de la estructura de 2 niveles

En el presente apartado se tomará en cuenta varias consideraciones para la modelación en el software ETABS, sin embargo, para el análisis se debe tomar en cuenta los parámetros que se van a ingresar en el programa y así obtener los resultados correctos realizando una comprobación manual. El análisis a realizar es estático y dinámico (modal espectral, tiempo historia) de manera que el comportamiento de la estructura cumpla con los objetivos planteados en el presente trabajo y a su vez cumpliendo con los lineamientos establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

4.7.1. Consideraciones en el programa ETABS

El presente modelo debe cumplir con lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, de manera que la estructura tenga la capacidad de resistir las cargas descritas en los apartados y cumplir con la deriva inelástica del 2% máxima en cualquiera de los pisos.

- La estructura se encuentra en el cantón Gualaquiza provincia de Morona Santiago, es de uno y dos pisos empotrado en la cimentación, en el eje X tiene un vano asignado con letras de A - B y en el eje Y tiene un vano asignado con números del 1 - 2.

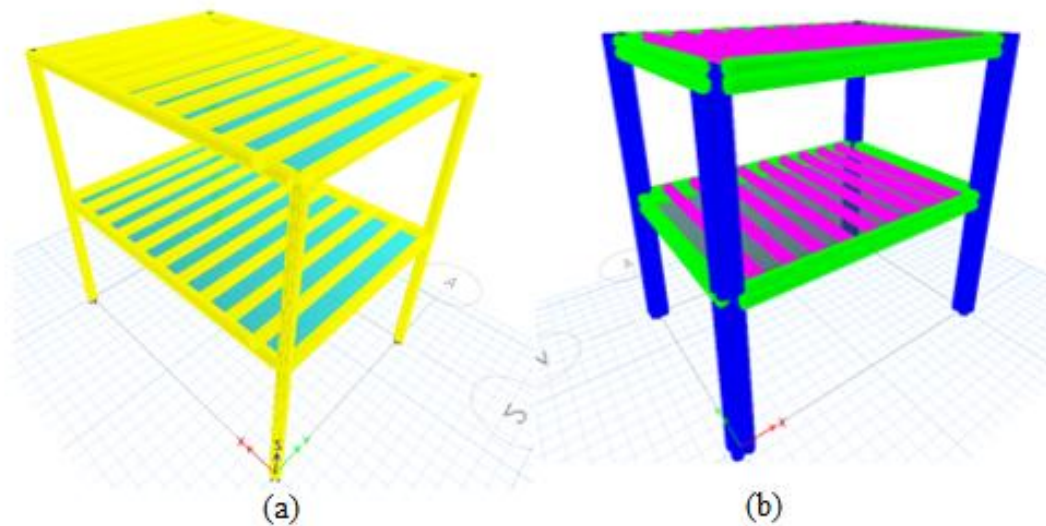


Figura 42. Modelación de un marco de 2 niveles

a) Marco con sección de 1 Pambil. b) Marco con sección de 4 Pambiles.

Fuente: Los Autores

- El amortiguamiento se consideró del 7 % obtenido en los ensayos realizados en el laboratorio.
- En el análisis sísmico la losa para el marco de dos niveles se modeló como elementos del tipo membrana con un espesor de 5 cm y una resistencia de 210 kg/cm².

4.7.2. Diseño de elementos estructurales

Vigas y columnas

La sección estructural que se utilizó en la estructura es de tipo circular hueca, en donde se creó la sección con las medidas promedios de un espécimen de Pambil. En este caso las columnas y vigas para la estructura de un piso consta de un Pambil y en la estructura de dos pisos la columna consta de 4 pambiles unidos y la viga de 2 Pambiles.

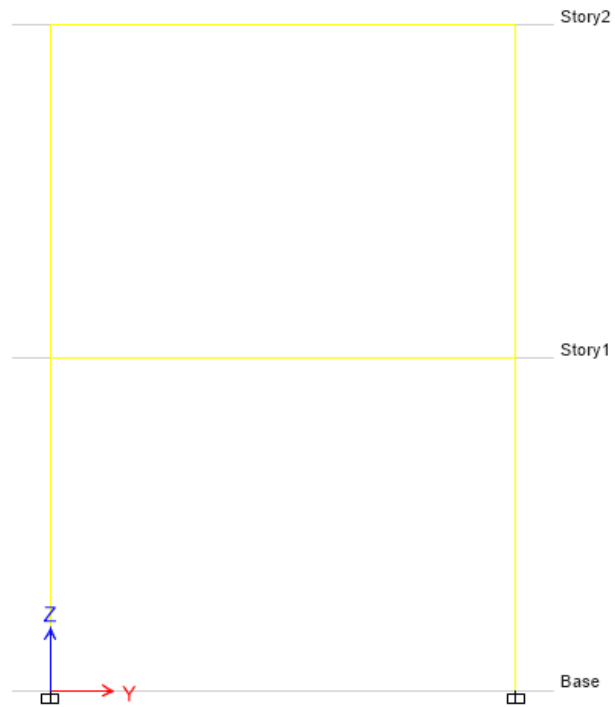


Figura 43. Marco de dos niveles.


Fuente: Los Autores

Propiedades de la sección

A continuación, en las Tablas 39, 40 y 41 se muestran los resultados obtenidos de las propiedades de cada sección que han sido verificado con el cálculo manual y del programa.

Sección 1 Pambil


Tabla 39. Propiedades de la sección de Pambil

<i>SECCIÓN 1 PAMBIL</i>		
		
<i>Propiedad</i>	Valor	Unidad
<i>Área</i>		
A	129,6	cm ²
<i>Área de Corte</i>		
ASy	92,2	cm ²
ASx	92,2	cm ²
<i>Inercia</i>		
Ix	3208,4	cm ⁴
Iy	3208,4	cm ⁴
<i>Módulo de Torsión</i>		
J	6333,5	cm ⁴
<i>Radio de Giro</i>		
Rx	4,976	cm
Ry	4,976	cm
<i>Módulo de Sección</i>		
Sy Negativo	383,1	cm ³
Sy Positivo	383,1	cm ³
Sx Negativo	383,1	cm ³
Sx Positivo	383,1	cm ³
<i>Modulo Plástico</i>		
Zy	570,6	cm ³
Zx	570,7	cm ³

Elaborado por: Autores

Sección 2 Pambiles


Tabla 40. Propiedades de 2 secciones de Pambil

<i>SECCIÓN 2 PAMBIL</i>		
		
<i>Propiedad</i>	Valor	Unidad
<i>Área</i>		
A	259,2	cm ²
<i>Área de Corte</i>		
ASy	163,7	cm ²
ASx	184,5	cm ²
<i>Inercia</i>		
Ix	24595,9	cm ⁴
Iy	6416,8	cm ⁴
<i>Módulo de Torsión</i>		
J	12667,2	cm ⁴
<i>Radio de Giro</i>		
Rx	9,742	cm
Ry	4,976	cm
<i>Módulo de Sección</i>		
Sy Negativo	766,2	cm ³
Sy Positivo	766,2	cm ³
Sx Negativo	1468,4	cm ³
Sx Positivo	1468,4	cm ³
<i>Modulo Plástico</i>		
Zy	1141,3	cm ³
Zx	2156,7	cm ³

Elaborado por: Autores

Sección 4 Pambiles

Tabla 41. Propiedades de 4 secciones de Pambiles

<i>SECCIÓN 4 PAMBIL</i>			
			
<i>Propiedad</i>		Valor	Unidad
<i>Área</i>	A	518,4	cm ²
	<i>Área de Corte</i>		
	ASy	372,4	cm ²
	ASx	372,2	cm ²
<i>Inercia</i>	Ix	4919,8	cm ⁴
	Iy	4919,8	cm ⁴
	<i>Módulo de Torsión</i>		
	J	43666,5	cm ⁴
<i>Radio de Giro</i>	Rx	9,742	cm
	Ry	9,742	cm
	<i>Módulo de Sección</i>		
	Sy Negativo	2936,8	cm ³
	Sy Positivo	2936,8	cm ³
	Sx Negativo	2936,8	cm ³
	Sx Positivo	2936,8	cm ³
<i>Modulo Plástico</i>	Zy	4313,4	cm ³
	Zx	4313,4	cm ³

Elaborado por: Autores

Losa

La losa se representó mediante el tipo membrana tomando en cuenta que la rigidez de la misma no aporte en el control de derivas de la estructura. La losa tiene un espesor de 1 cm de Guadua (GaK) y 5 cm de hormigón de 210 kg/cm² a los 28 días. La Figura 44 detalla las dimensiones de la losa en la estructura.

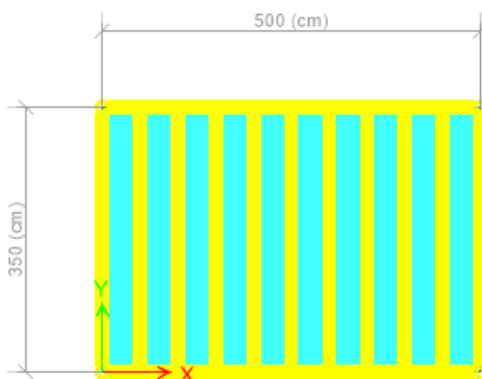


Figura 44. Dimensiones de la losa.

Fuente: Los Autores

4.8. Análisis Estático

4.8.1. Cortante basal

La cortante basal es calculado de acuerdo a la ecuación 1. En donde al ingresar la carga sísmica al ETABS se debe considerar el coeficiente C y el coeficiente K que se calcula con la siguiente ecuación.

$$C = \frac{I * S_a * (T_a)}{R * \phi_P * \phi_E} \quad \text{Ecuación 34}$$

Para determinar el coeficiente C es necesario conocer el periodo de vibración de acuerdo a la ecuación 2 obteniendo un valor de 0,2535 m/s² y un valor de R de 2.

El coeficiente k se calcula de acuerdo al periodo de la estructura y referenciándonos en la tabla 6 el valor de K es 1.

Una vez calculado los coeficientes se procede a calcular la cortante basal de diseño en donde se debe conocer el valor de la carga sísmica reactiva que corresponde al valor total del peso propio de la estructura y la carga viva del piso, obteniendo un valor de 10,53 Ton.

Para ingresar la carga sísmica se utiliza los coeficientes calculados como se puede ver en la figura considerando una excentricidad en la dirección X y Y del 5 %.

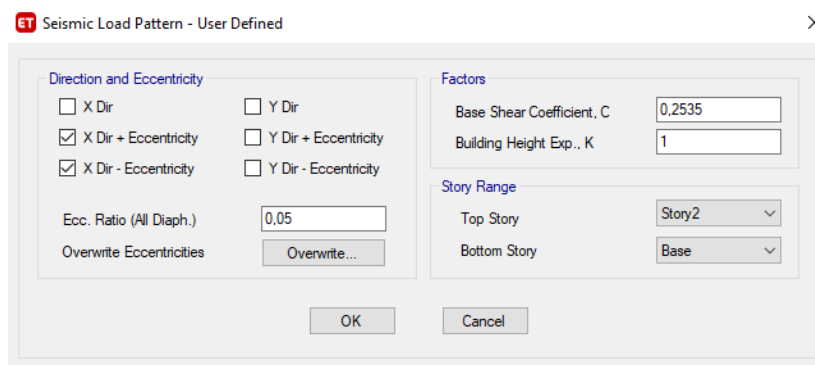


Figura 45. Valor y C y K para el análisis en ETABS.

Fuente: Los Autores

4.8.2. Distribución de las fuerzas laterales en la estructura

En la tabla 42 se presenta la distribución de las fuerzas laterales debido al cortante estático.

Tabla 42. Distribución de fuerzas laterales por cortante

Piso	Elevación (m)	Fuerza (x) (Ton)	Fuerza (Y) (Ton)	Fuerza Acumulada (x) (Ton)	Fuerza Acumulada (y) (Ton)
2	5	1,7566	1,7566	1,7566	1,7566
1	2,5	0,9117	0,9117	2,6683	2,6683

Elaborado por: Autores

4.9. Análisis Dinámico

Para el análisis modal espectral se realiza el ajuste del cortante basal obtenidos en el análisis estático, dependiendo de la configuración estructural que tenga la estructura se aplicara el porcentaje establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, para este caso de estudio es del 80 % del cortante basal V.

Tabla 43. Ajuste de cortante basal

<i>Cortante Basal Ajustado</i>		
	Sismo X	Sismo Y
V (Ton)	2,67	2,67
V 80% (ton)	2,13	2,13
	Espectro X	Espectro Y
V (Ton)	1,164	1,164
Factor de Ajuste	1,834	1,834

Elaborado por: Autores

Los cortantes que se encuentran con un valor de 2,13 toneladas en X y 2,13 toneladas en Y, son obtenidos a través el factor de ajuste.

Posterior al ajuste del cortante basal en la siguiente tabla, se muestra los modos de vibrar con su respectivo periodo de la estructura; de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción todos los modos de vibrar deben involucrar la participación modal cumpliendo con al menos el 90% de la masa total.

Tabla 44. Modos de vibrar

<i>Modo de Vibrar</i>	<i>Periodo (s)</i>	<i>Masa en Dirección X</i>	<i>Masa en Dirección Y</i>	<i>Masa Acumulada X</i>	<i>Masa Acumulada Y</i>	<i>Masa Rotacional Z</i>	<i>Masa Acumulada Z</i>
1	0,331	0,86	0	0,86	0	0	0
2	0,092	0,14	0	1	0	0	0
3	0,081	0	0	1	0	0,87	0,87
4	0,062	0	0	1	0	0,13	1,00
5	0,011	0	0	1	0	0	1,00
6	0,011	0	0	1	0	0	1,00
7	0,009	0	0	1	0	0	1,00
8	0,009	0	0	1	0	0	1,00
9	0,006	0	0	1	0	0,00000243	1,00
10	0,005	0	0	1	0	0	1,00
11	0,005	0	0	1	0	0	1,00
12	0,005	0	0	1	0	0	1,00

Elaborado por: Autores

4.9.1. Control de derivas en el análisis modal

Para el control de las derivas en cada nivel se debe hacer una comparación con la deriva inelástica máxima que corresponde al 2% y a su vez se debe obtener los desplazamientos laterales máximos, para posterior calcular la deriva inelástica con la siguiente ecuación.

$$\Delta_M = 0,75 * R * \Delta_E$$

Ecuación 35

Donde:

R Factor de reducción de resistencia.

Δ_E Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducido.

Δ_P Deriva máxima inelástica.

En la Tabla 45 se muestra las derivas y los desplazamientos máximos en el eje X, resultado del análisis modal espectral de la estructura.

Tabla 45. Derivas y desplazamientos máximos

<i>Piso</i>	<i>Altura (cm)</i>	<i>Máximo Desplazamiento Lateral (cm)</i>	<i>Deriva Elástica</i>	<i>Deriva Inelástica (%)</i>	<i>Limite (%)</i>	<i>Estado</i>
2	500	1,67	0,003845	0,72	2	Cumple
1	250	0,72	0,00288	0,54	2	Cumple

Elaborado por: Autores

4.10. Análisis paso a paso en el tiempo

En este tipo de análisis se verifica las derivas en cada nivel, cortante basal y desplazamiento máximo causado por el acelerograma; teniendo en cuenta que en dicho análisis se obtiene la respuesta dinámica de la estructura en base al acelerograma de un lugar específico.

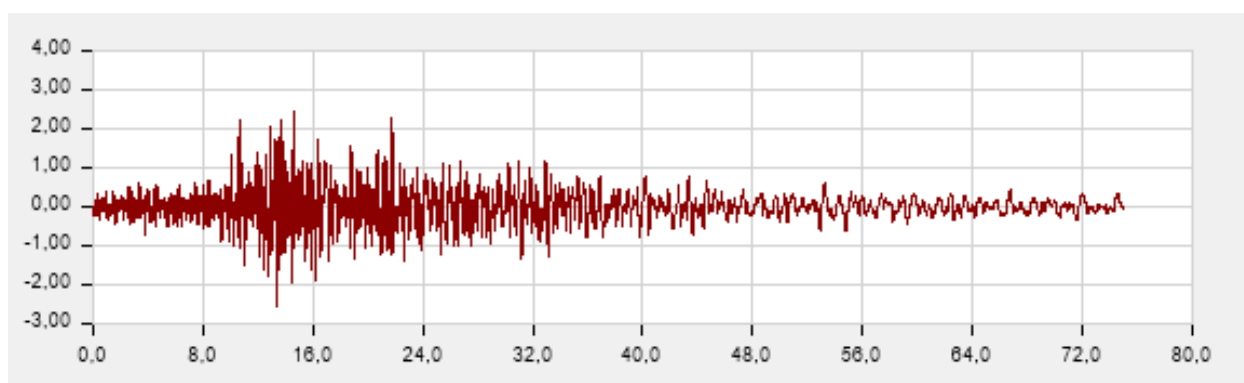


Figura 46. Acelerograma del sismo de Pedernales del 2016.

Fuente: Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC) Ecuador

En esta estructura se realiza un análisis no lineal con el fin de justificar el método del diseño estático o el modal espectral. Para utilizar un sismo proveniente de un acelerograma en el análisis tiempo historia se debe escalonar obteniendo un valor promedio de por lo menos 3

registros sísmicos y teniendo en cuenta que los registros sísmicos no estén por debajo del 5% de amortiguamiento y un periodo de 0,2 T a 1,5 T del sismo de diseño.

En la Figura 47 se tiene los espectros de aceleración del sismo de Pedernales ocurrido en el año 2016 con porcentajes de amortiguamientos variantes, cuyo propósito es observar el comportamiento de la estructura de pambil sometido a un sismo significativo, además se emplea este dato por la falta de información de la zona a emplear dicha construcción.

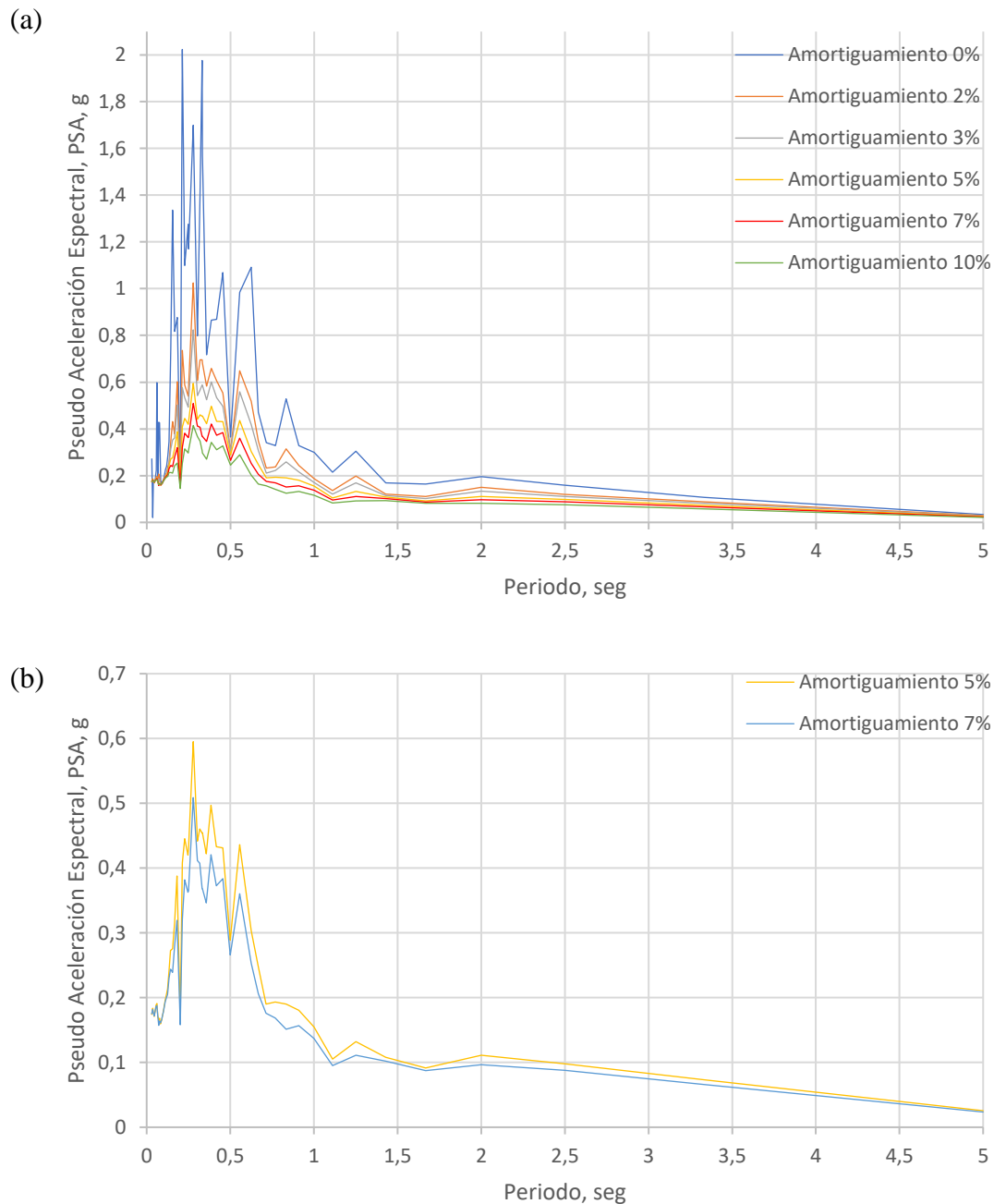


Figura 47. Espectros de aceleración del sismo de Pedernales año 2016

(a) Varios Coeficientes de amortiguamiento. (b) con el 5 y 7 % de amortiguamiento.

Elaborado por: Autores.

4.11. Análisis de los ensayos del laboratorio

La caracterización del material se llevó a cabo mediante los ensayos físicos y mecánicos. Dentro de los ensayos físicos están la determinación de la sección resistente, densidad y contenido de humedad. Mientras que en los ensayos mecánicos están los ensayos de compresión paralela en estado seco (1 año de edad) y estado verde que se hicieron para las secciones provenientes de las alturas a 1,50 m, 5 m y 9 m, así como también los ensayos de compresión perpendicular y ensayos a flexión a las secciones ya especificadas.

Para la obtención de resultados en los diferentes ensayos realizados se descartaron aquellos valores con variaciones representativas y esto se debió a la existencia de fibras orgánicas en la muestra, que aporta en la resistencia del material.

Con respecto a la sección resistente se obtienen valores que dependen directamente de su diámetro y área resistente, por ende, para diámetros mayores, se obtendrán resultados mayores. Según los ensayos, estos diámetros se presentan en la sección inferior de la planta, es decir a 1,50 m, mientras que, en la parte superior de la planta, a partir de 9 m la sección se reduce en un 61,50% de la parte central. Por constancia en su sección, la sección central es la parte más adecuada para su uso, ésta varía un 28,16% de la sección inicial.

En cuanto a la densidad, debe estar dentro de la clasificación realizada por la JUNAC, (1984), como se indica en la Tabla 46; es decir, la madera debe pertenecer a los grupos A o B que son consideradas maderas de especies forestales para la construcción. La recomendación en la norma se debe a la relación que tiene la densidad con la resistencia del material sometido a los diferentes esfuerzos.

Tabla 46. Clasificación de las maderas ensayadas por PADT-REFORT en función de la densidad básica

<i>Grupo</i>	<i>Densidad Básica (gr/cm³)</i>	<i>Maderas Ecuatorianas</i>
A	0,71-0,90	Caimitillo y Guayacán Pechiche
B	0,56-070	Chanul, Moral fino, Pituca
C	0,40-0,55	Fernansánchez, Mascarey, Sande

Fuente:(JUNAC, 1984)

De acuerdo a los resultados de laboratorio en 10 muestras estudiadas (Tabla 47), el menor valor en las densidades se presenta en el caso de la densidad básica debido que ésta ha sido secada al horno por lo que no existe la presencia de agua en las muestras, los valores varían de 0,65 a 0,91 gr/cm³. Por otra parte, los valores altos se presentan en la densidad verde, en este

estado todos sus espacios vacíos son llenados por agua y sus valores varían de 0,96 a 1,16 gr/cm³. Para la densidad seca al aire, el material se secó durante un año de edad, con una temperatura ambiente de la ciudad de Cuenca bajo cubierta y en un lugar abierto.

Tabla 47. Valores de densidades

<i>Muestra</i>	<i>Densidad V</i> (g/cm ³)	<i>Densidad sa</i> (g/cm ³)	<i>Densidad sh</i> (g/cm ³)	<i>Densidad b</i> (g/cm ³)
1	1,16	1,07	0,98	0,89
2	1,04	0,94	0,8	0,74
3	0,98	0,9	0,75	0,65
4	1,15	1,07	0,96	0,91
5	1,11	0,95	0,89	0,81
6	0,98	0,9	0,71	0,68
7	0,96	0,86	0,73	0,69
8	1,1	0,91	0,81	0,74
9	1,09	0,9	0,77	0,7

Elaborado por: Autores

Las humedades se analizaron en 20 muestras, 10 en estado seca al aire y 10 muestras en estado verde para la sección a 1,50 m, 5 m y 9 m. En la sección inferior llegan a alcanzar hasta un 60%, mientras que para la sección media un 45% y por último para la sección de 9 m el contenido de humedad llega hasta un 37%; Caso contrario se tiene cuando la edad del material es de 1 año, es decir, seca al aire; su contenido de humedad máximo es de 25% mientras que el mínimo es el 14%.

Tabla 48. Contenido de humedad seca al aire

<i>Muestra</i>	<i>CH seca al aire (%)</i>
1	25
2	21
3	19
4	17
5	15
6	18
7	22
8	14
9	22
10	20

Elaborado por: Autores

Tabla 49. Contenido de humedad en estado verde

<i>Muestra</i>	<i>CH verde (%)</i>
1	58
2	52
3	50
4	46
5	47
6	48
7	49
8	47
9	58
10	50

Elaborado por: Autores

Para los ensayos de compresión paralela a las fibras en estado seco la sección estudiada es a los 5 m, obteniendo resultados altos en comparación con los del estado verde. En estado seco el valor máximo que se tiene es de 800 kg/cm² y un valor mínimo de 400 kg/cm² mientras que en estado verde los valores máximos varían de 700 kg/cm², 500 kgf/cm² y 450 kgf/cm² para las alturas a 1,50 m, 5 m y 9 m respectivamente. La sección recomendable de uso es la parte intermedia por ser una sección constante. En la sección a 1,50 m el material tiene mayor diámetro lo que interfiere directamente en la resistencia del material.

La diferencia de valores de resistencia en el material en estado verde, se debe al contenido de humedad, a las fibras orgánicas que el material presenta en la parte central del mismo y de su sección transversal. A menor la altura el espesor de la sección resistente es mayor que a las alturas de 5 m y 9 m. La resistencia en estado verde en la sección que está a partir de los 9 m la resistencia es mucho menor por motivos de su sección, es variable; se tiene diámetros menores a 15 cm.

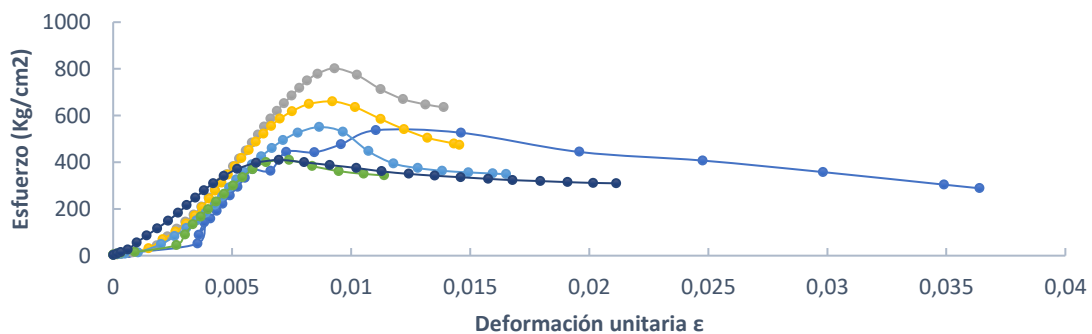


Figura 48. Ensayos de compresión Paralela a las fibras en estado seco

Elaborado por: Autores

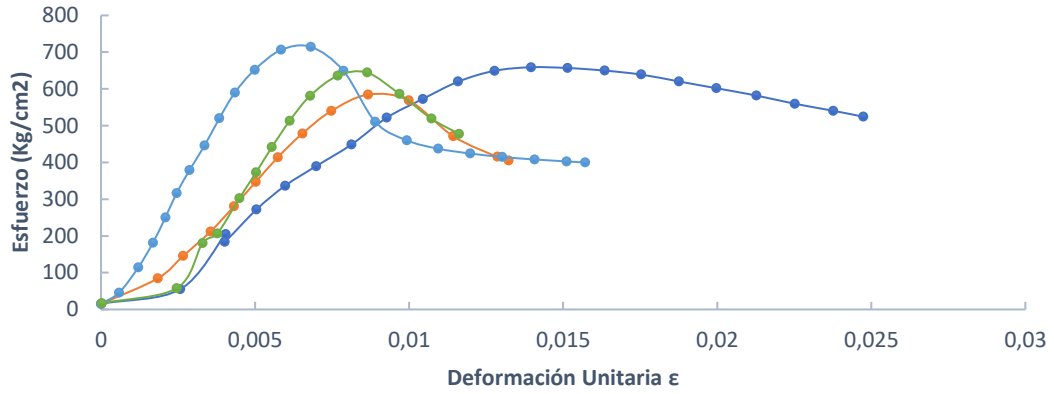


Figura 49. Compresión paralela a las fibras en estado verde a 1,50m

Elaborado por: Autores.

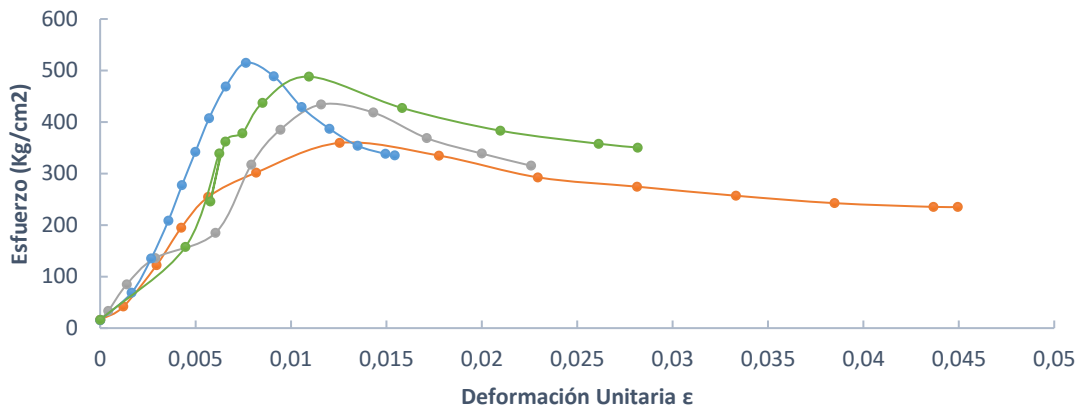


Figura 50. Compresión paralela a las fibras en estado verde a 5m

Elaborado por: Autores.

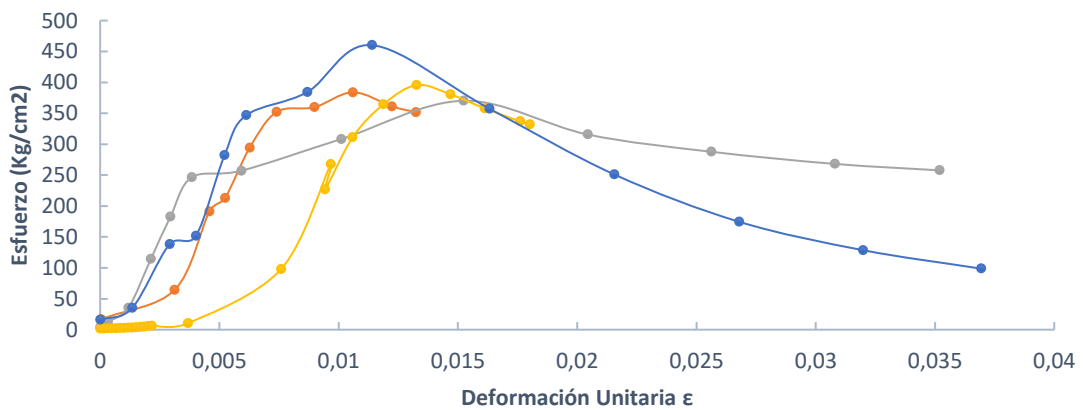


Figura 51. Compresión paralela a las fibras en estado verde a 9m

Elaborado por: Autores.

Los ensayos de compresión perpendicular a las fibras tienen el mismo comportamiento que los ensayos realizados a compresión paralela, en estado seco se obtienen los mejores resultados, su valor máximo aproximado es de 140 kg/cm². En estado verde las muestras ensayadas a partir de las secciones de 1,50 m, 5 m y 9 m presentan valores máximos de 140 kg/cm², 110 kg/cm² y 60 kg/cm².

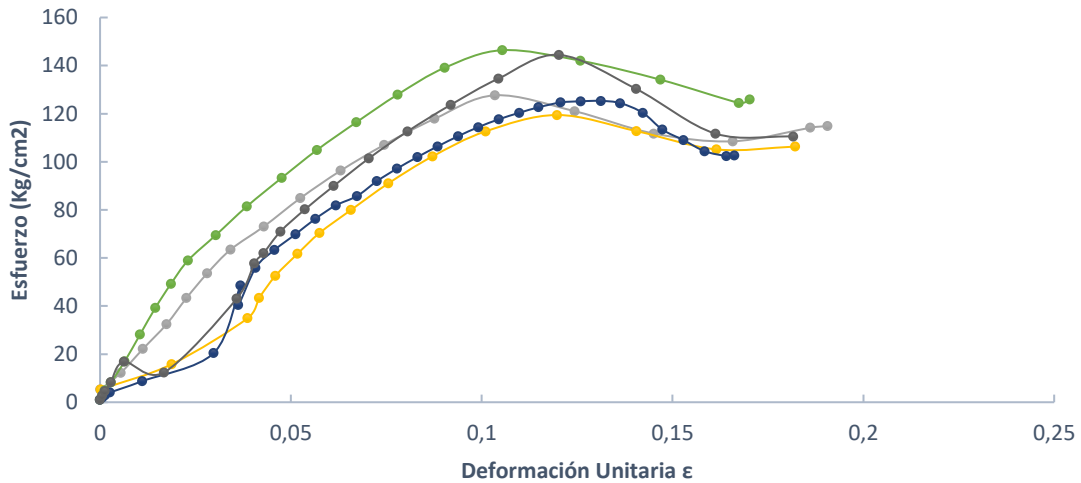


Figura 52. Compresión perpendicular seco al aire

Elaborado por: Autores.

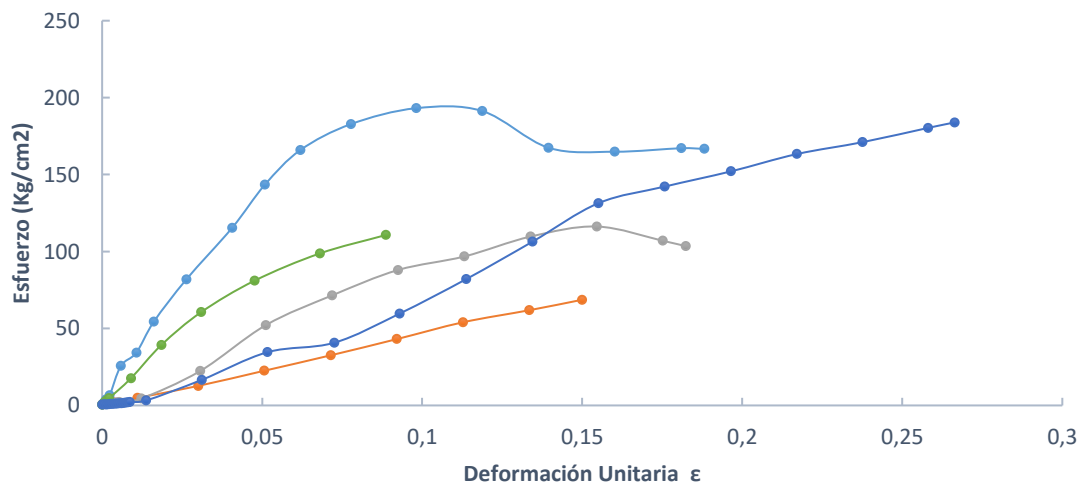


Figura 53. Compresión perpendicular verde a 1,50m

Elaborado por: Autores.

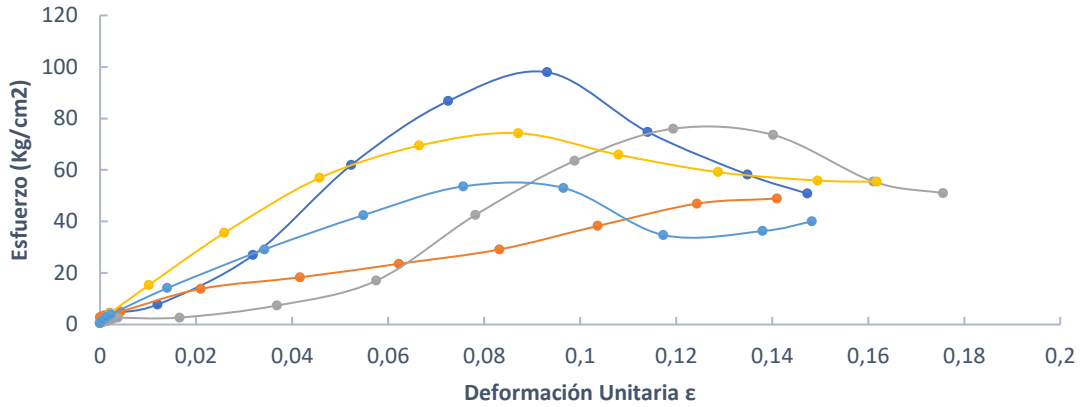


Figura 54. Compresión perpendicular verde a 5m
Elaborado por: Autores.

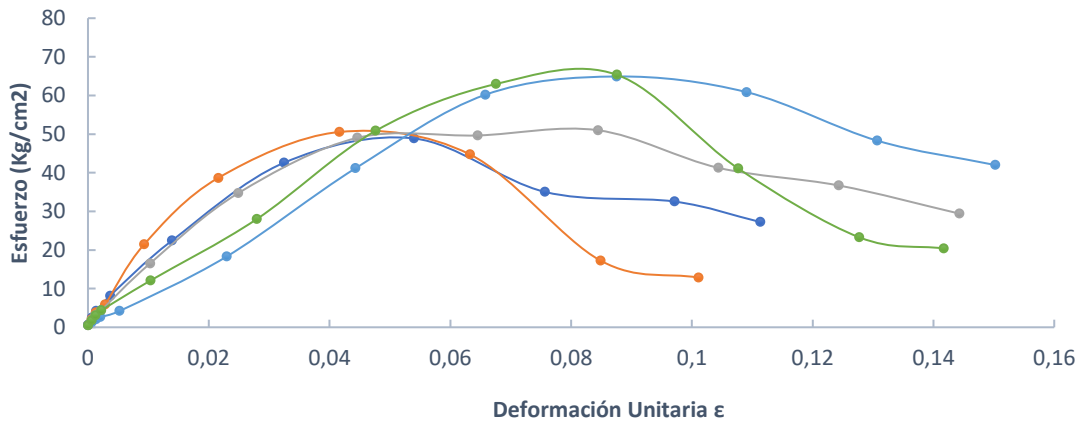


Figura 55. Compresión perpendicular verde a 9m
Elaborado por: Autores.

Los valores para el esfuerzo de las fibras al límite proporcional del material del ensayo a flexión en estado seco al aire varían de 500 kg/cm^2 a 1100 kg/cm^2 (Figura 56), mientras que para las muestras en estado verde se tiene valores máximos aproximados de 1200 kg/cm^2 , y 900 kg/cm^2 en las secciones a 1,5 m, 5 m y 9 m (Figuras 57,58 y 59). En este mismo estado los valores menores son de 600 kg/cm^2 y 500 kg/cm^2 . En la sección a partir de los 9 m el esfuerzo límite proporcional se reduce un 50% de las muestras que se analizar a partir de la sección media (5 m).

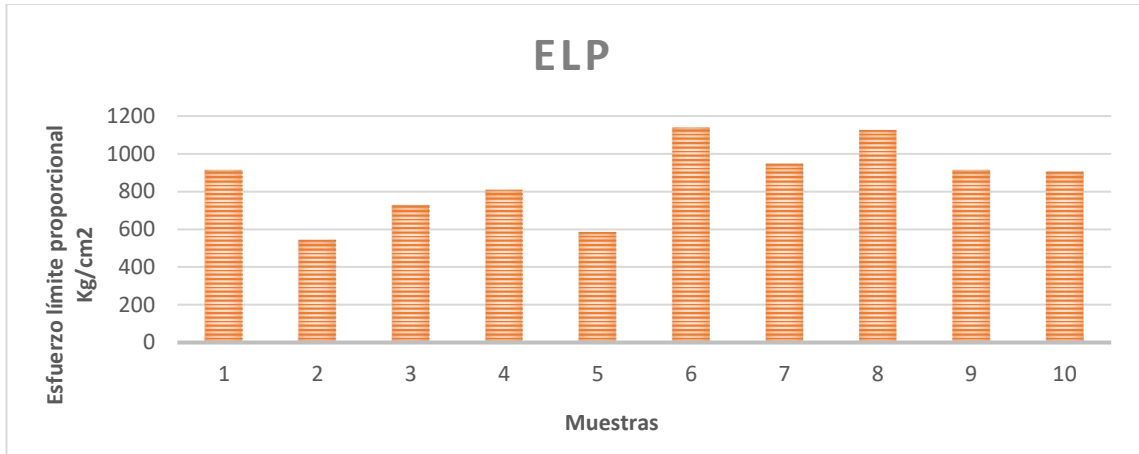


Figura 56. Esfuerzo de las fibras al límite proporcional en estado seco al aire.

Elaborado por: Autores.



Figura 57. Esfuerzo de las fibras al límite proporcional en estado verde a 1.5 m.

Elaborado por: Autores.

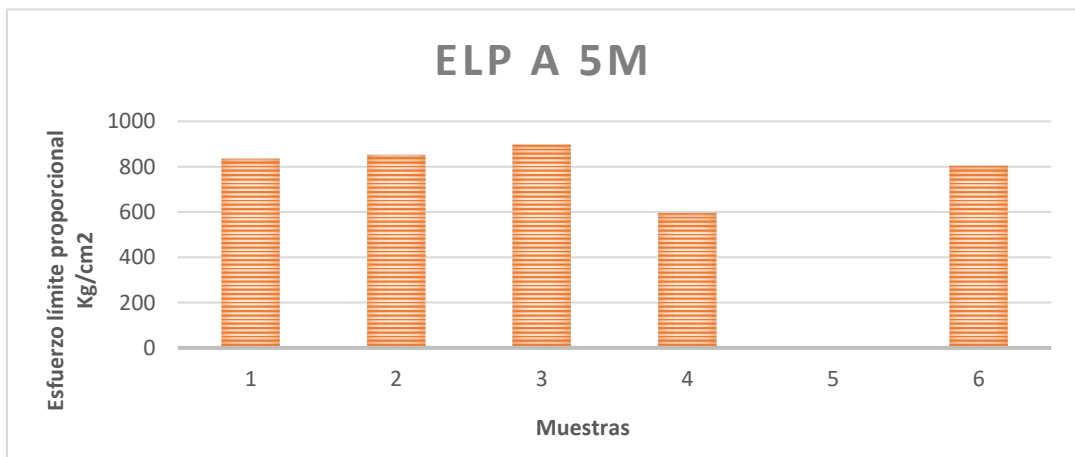


Figura 58. Esfuerzo de las fibras al límite proporcional en estado verde a 5 m.

Elaborado por: Autores.

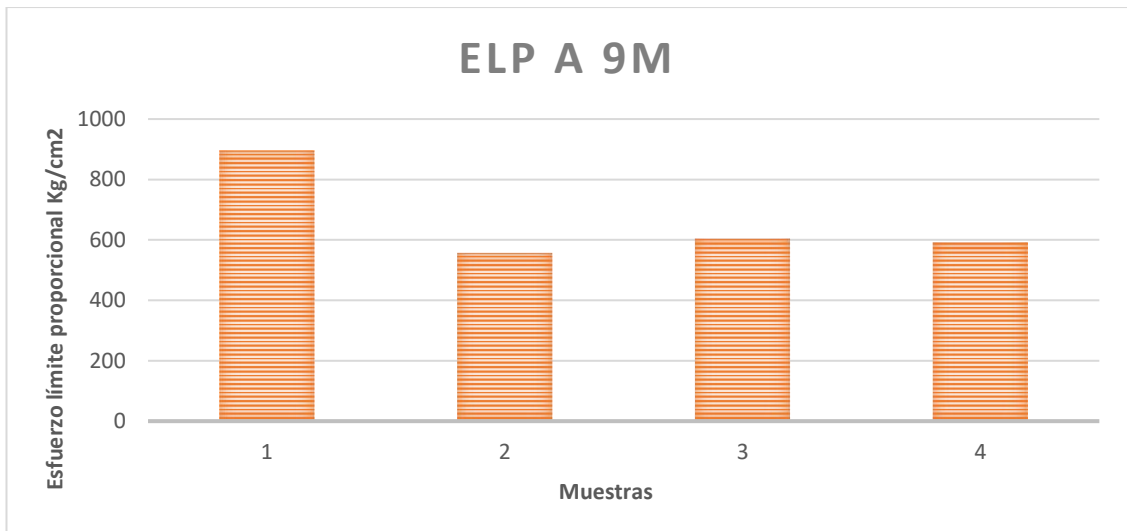


Figura 59 Esfuerzo de las fibras al límite proporcional en estado verde a 9m.

Elaborado por: Autores.

Una de las propiedades que caracterizan al material es el módulo de ruptura que se obtiene a partir de los ensayos a flexión, durante dicho ensayo el material primero tiende a sufrir aplastamiento la porción que contiene fibra orgánica para luego actuar en la sección resistente del material. En aquellas muestras que contenían una sección grande de fibras orgánicas se descartaron para ensayarlas.

El módulo de ruptura para el estado seco es aproximadamente 1800 Kg/cm² y estado verde de las secciones a 1,50 m y 5 m, es 1500 kg/cm² y 1200 kg/cm² (Figura 60, 61 y 62) pero de la sección a 9 m su valor se reduce un 15% de la sección media (Figura 63), esta reducción se debe a la disminución de su sección transversal, es decir, su sección resistente.

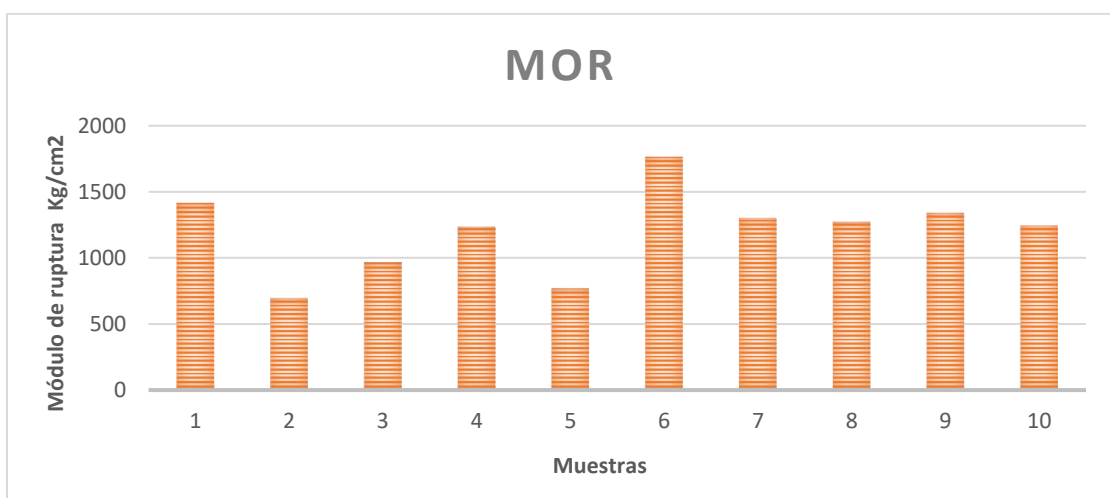


Figura 60. Módulo de ruptura en estado seco al aire

Elaborado por: Autores.



Figura 61. Módulo de ruptura en estado verde a 1.5m

Elaborado por: Autores.

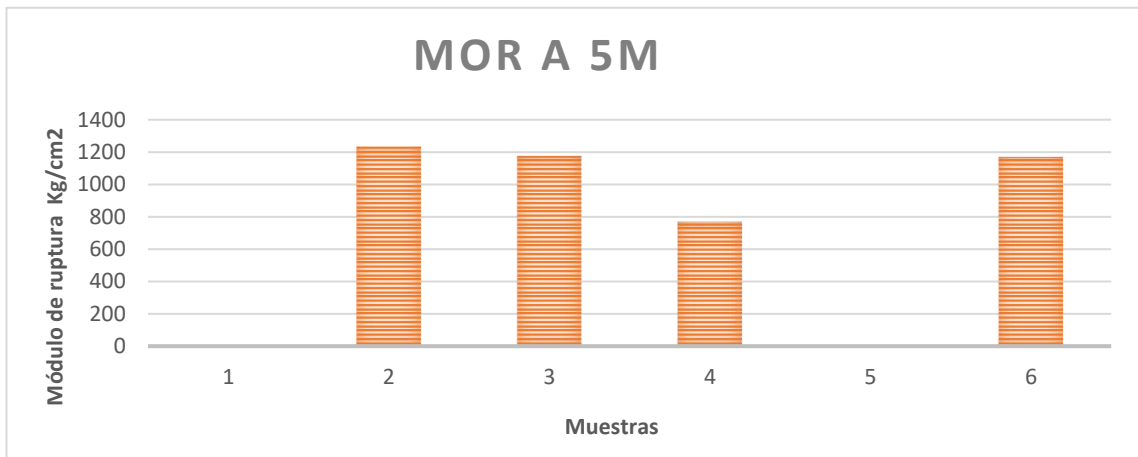


Figura 62. Módulo de ruptura en estado verde a 5m

Elaborado por: Autores.

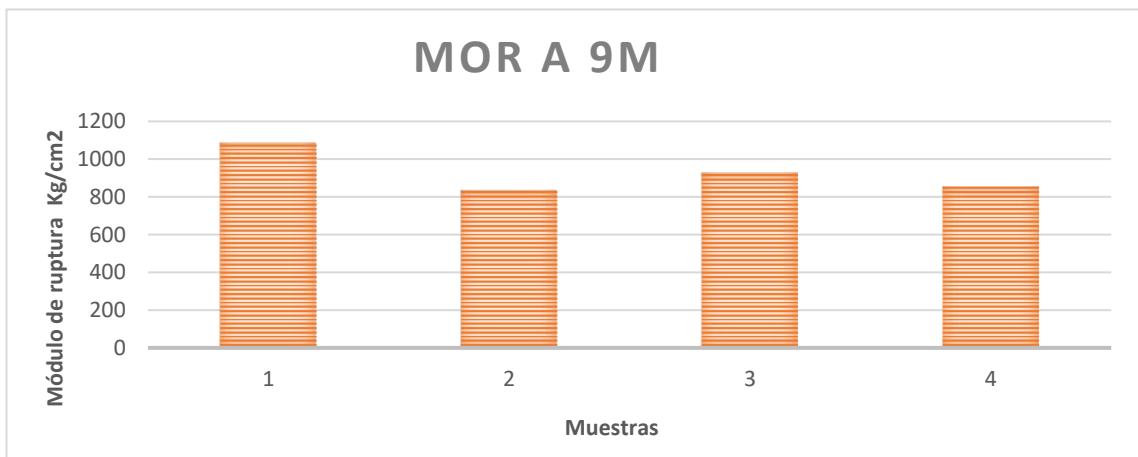


Figura 63. Módulo de ruptura en estado verde a 9m

Elaborado por: Autores.

La última propiedad mecánica que caracteriza al material es el módulo de elasticidad. En estado seco sus valores llegan a 200000 kg/cm², (Figura 64) y en estado verde se tiene 150000 kg/cm² (Figura 65 y 66) desde la sección a 1,50 m hasta 5 m. En la sección a 9 m el valor del ensayo realizado disminuye un 47% (Figura 67), lo que indica que su sección resistente también es menor. La parte superior contiene una gran cantidad de fibras orgánicas.

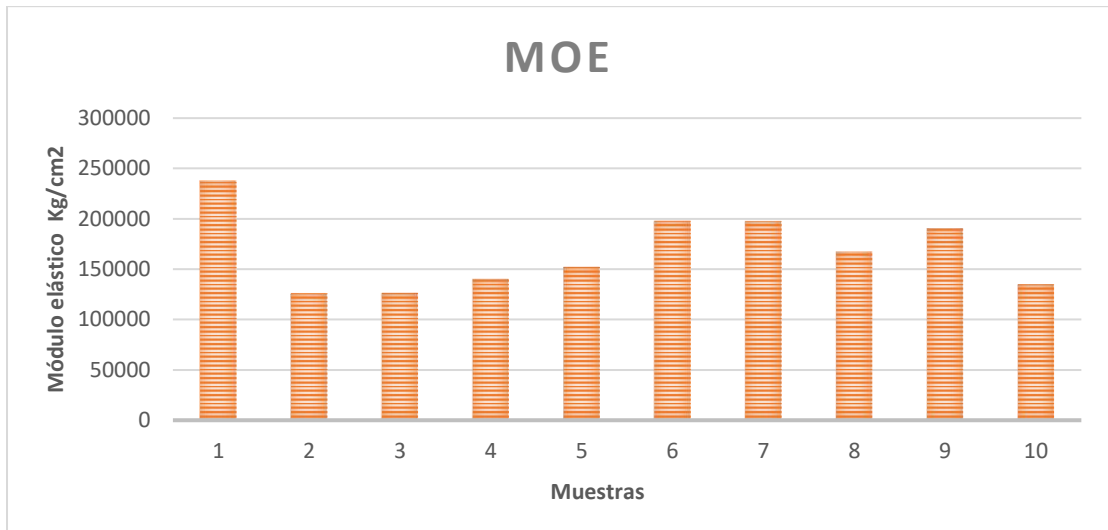


Figura 64. Módulo de elasticidad en estado seco

Elaborado por: Autores.



Figura 65. Módulo de elasticidad en estado verde a 1.5m

Elaborado por: Autores.

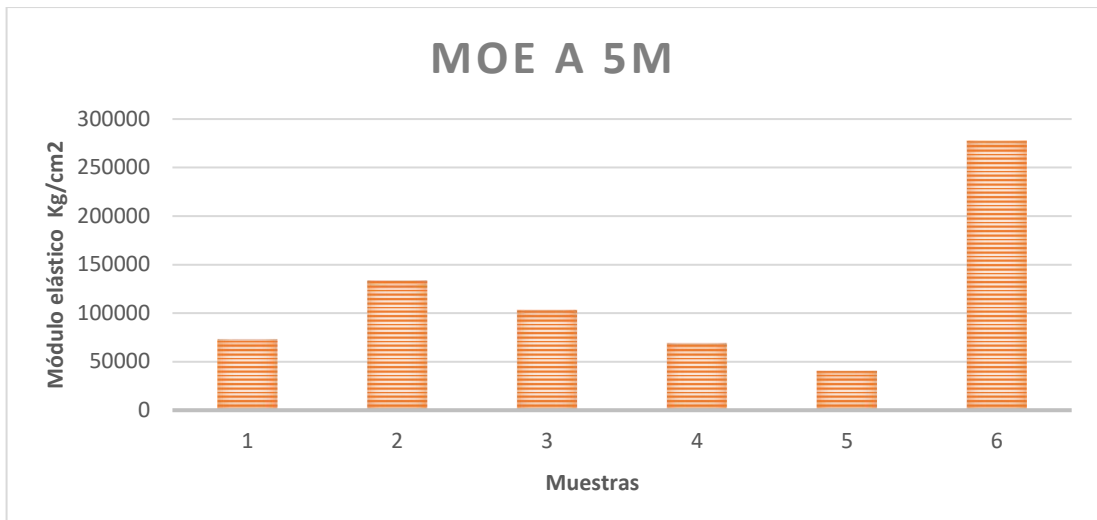


Figura 66. Módulo de elasticidad en estado verde a 5m

Fuente: Autores.



Figura 67. Módulo de elasticidad en estado verde a 9m

Elaborado por: Autores

4.12. Comparación de propiedades físicas-mecánicas del pambil

Una vez representado todos los resultados de las propiedades mecánicas que se obtuvo en el laboratorio para la palmera Iriartea deltoidea, se compara con las propiedades obtenidas de fuentes bibliográficas. Los resultados que se presentan en la Tabla de propiedades del Pambil (Anexo 3) de nuestra investigación, son valores promedio con la finalidad de asegurar el diseño.

Se obtuvo un contenido de humedad alto en nuestra investigación, los valores para el estado verde son de 50,56% y 19,21% para el estado seco, mientras que los demás autores el valor máximo de contenido de humedad es de 37,74% en estado verde y en estado seco de 2,28%. En cuanto a la densidad básica promedio se obtiene 0,757 gr/cm³; dicho valor está dentro

del Grupo A de maderas estructurales. Esta densidad es mayor a la obtenida por el grupo de maderas de Colombia (WWF Colombia, 2015).

Los valores para las propiedades mecánicas que resultan del ensayo a flexión, ensayo a compresión paralela y ensayo a compresión perpendicular (ELP, MOR y MOE) son menores en comparación con los valores obtenidos por Rivadeneira, (2018) debido a que el autor emplea un procedimiento de envejecimiento acelerado del material, para poder fijar su durabilidad y así evitar la pérdida de las propiedades mecánicas, además los especímenes de su estudio poseen una sección resistente mayor a nuestra investigación, tienen 2,5 cm de espesor. Por otra parte los resultados de los ensayos de Cisneros Jara, (2014) y Alvarado Romero, (2014) presentan una diferencia importante, son menores en un 54% a nuestra investigación, se debe al estado verde en el que se realizó los ensayos y a la sección resistente que era menor a 2 cm.

4.13. Relación entre la Norma ASTM D-143 y resultados obtenidos en la investigación

Con base a la investigación realizada, comparamos los resultados de las propiedades tanto mecánicas como físicas con los cuadros referenciales de la norma ASTM D-143. La norma establece 5 categorías para la clasificación del material y son: muy baja, baja, media, alta y muy alta (Tabla 50).

La palmera *Iriartea deltoidea* presenta un esfuerzo límite proporcional alto, el valor se encuentra dentro del rango 890-1035 kg/cm²; sus módulos elástico MOE (10³ kg/cm²) y de ruptura MOR (kg/cm²) están clasificados como propiedades medias ya que pertenecen a la categoría que contempla los valores 141-182; 1061-1424, respectivamente.

En los resultados del ensayo a compresión paralela presenta propiedades desfavorables en su módulo de ruptura MOR (kg/cm²) y módulo Young (10³ kg/cm²), están clasificadas como bajo y muy bajo a excepción de su esfuerzo límite proporcional ELP (Kg/cm²) que se encuentra calificado como una propiedad de valor medio.

Finalmente, en los ensayos a compresión perpendicular, según la norma el material presenta una característica de esfuerzo al límite proporcional ELP (Kg/cm²) favorable por encontrarse dentro de la categoría alta con un valor de 119,88 Kg/cm².

Tabla 50. Relación entre la Norma ASTM D-143 y resultados obtenidos en la investigación

<i>NORMA ASTM D-143/45-245</i>						<i>Iriartea deltoidea</i>
<i>Propiedades Mecánicas</i>	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy alta	Resultados de la investigación
<i>Flexión Estática</i>						
<i>ELP (kg/cm²)</i>	<465	465-668	669-889	890-1035	>1035	998,12 (Alta)
<i>MOR (kg/cm²)</i>	<745	745-1060	1061-1424	1425-1800	>1800	1255,47 (Media)
<i>MOE (10³ kg/cm²)</i>	<104	104-140	141-182	183-225	>225	167,286 (Media)
<i>Compresión Paralela</i>						
<i>ELP (kg/cm²)</i>	<305	305-425	426-529	530-645	>645	501,28 (Media)
<i>MOR (kg/cm²)</i>	<400	400-565	566-749	750-900	>900	537 (Baja)
<i>Y (10³ kg/cm²)</i>	<90	90-130	131-164	165-210	>210	52,483 (Muy Baja)
<i>Compresión Perpendicular</i>						
<i>ELP (kg/cm²)</i>	<40	40-67	68-102	103-145	>145	119,88 (Alta)



Fuente: Cisneros Jara, 2014 & Autores

4.14. Comparación de las propiedades físico-mecánicas del Pambil y la Guadúa Angustifolia Kunt

La Guadúa Angustifolia Kunt comúnmente utilizada en viviendas presenta excelentes propiedades para la construcción de las mismas por la que varios estudios realizados al material han hecho que su uso se incremente en diferentes ámbitos, es por ello que, en la presente investigación se utilizó la Guadúa Angustifolia Kunt como un material para la losa de la estructura debido a las características físico-mecánicas que son similares al del Pambil.

Como se puede observar en la Tabla 51 se tiene valores con poca dispersión en lo que respecta a la densidad básica del material por lo que el peso tendería a ser semejante. Los valores de las propiedades mecánicas del pambil son mayores en comparación a la Guadúa Angustifolia Kunt, esto se debe a la sección transversal y a las fibras orgánicas por las que está compuesto el material. Las fibras del pambil tienden a quedar deformadas o a romperse al recibir una carga excesiva, esto es porque el material tiene una dureza alta. Por otro lado, la Guadúa presenta fibras que ayudan al material a ser más flexible logrando no quedar deformado por la acción de las cargas aplicadas sobre la misma, esto se debe a su diferente composición y al tener un módulo de elasticidad casi un poco mayor. Por su módulo elástico se necesita de una tensión mayor para deformar el material.

Tabla 51. Comparación de propiedades físico-mecánicas del Pambil y la Guadúa

<i>Nombre Científico</i>	<i>Iriartea Deltoidea</i>	<i>Guadúa Angustifolia Kunt</i>
		
<i>Densidad Básica (kg/m³)</i>	757	620,41
<i>Esfuerzo admisible a flexión (MPa)</i>	99,80	15
<i>Esfuerzo admisible a compresión II (MPa)</i>	50,13	14

<i>Esfuerzo admisible a compresión I (MPa)</i>	11,90	1,40
<i>Esfuerzo último a flexión (MPa)</i>	125,54	35,40
<i>Esfuerzo último a compresión II (MPa)</i>	53,70	35,82
<i>Módulo Elástico (MPa)</i>	16728,60	12157

Elaborado por: Autores

4.15. Análisis e interpretación de resultados

El análisis de la estructura se realizó a través del software ETBAS V 18.1.1 aplicando varios criterios establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción del año 2015 para el diseño sismo resistente de estructuras. La modelación estructural se desarrolló aplicando la combinación modal CQC que presenta el software ETABS. Adicional a esto el espectro de diseño empleado en el análisis se muestra en la figura 41 de este trabajo de titulación.

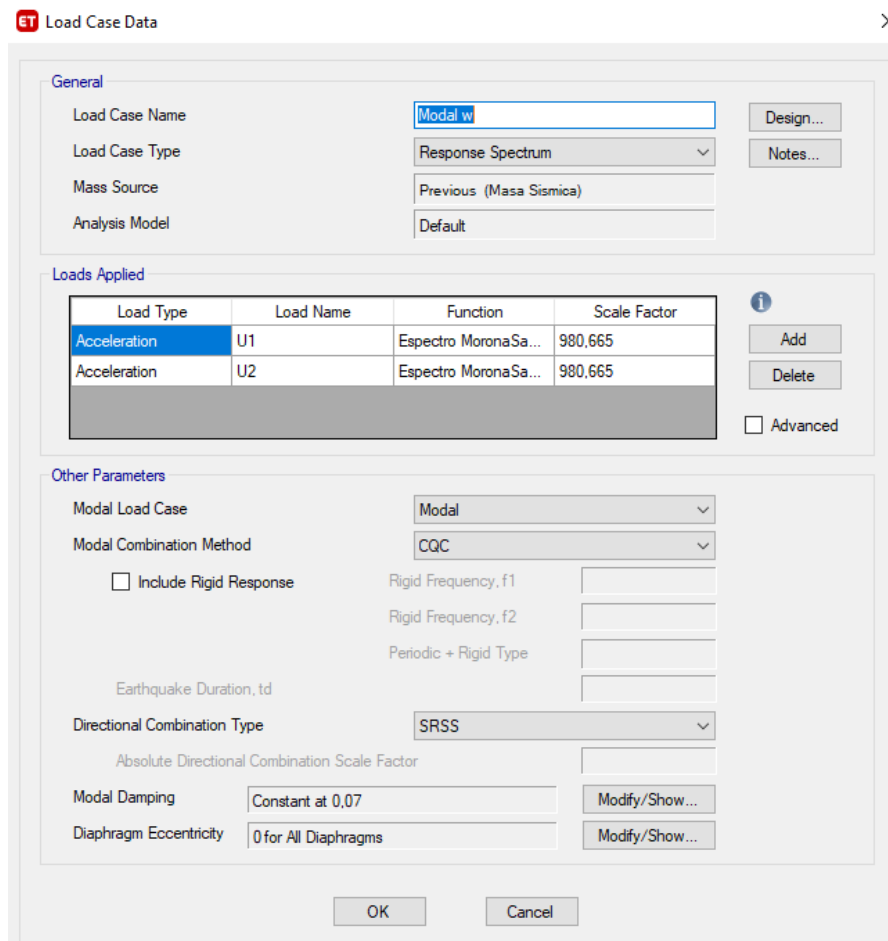


Figura 68. Configuración en el programa para el análisis modal en ETABS.

Fuente: Autores.

El análisis de los periodos de vibración y participación modal se tuvo en cuenta la recomendación establecida por la NEC-15 sobre el cumplimiento del 90% de participación de la masa. En este literal se analiza las derivas elásticas e inelásticas de cada piso de la estructura.

4.15.1. Análisis modal espectral

Este tipo de análisis se enfoca en obtener la respuesta máxima de la estructura tanto las fuerzas como los desplazamientos a través de la superposición de efectos.

En la siguiente tabla se muestra los diferentes modos de vibrar y los periodos de cada estructura, por lo tanto, el periodo T de una estructura está en función de la altura de la estructura y los elementos que lo componen, para el análisis se ha tomado una estructura con las mismas dimensiones con la única diferencia de que cada estructura presenta una sección diferente en sus columnas y vigas principales.

Estructura de 2 niveles

En la Tabla 53 se puede observar el periodo natural de la estructura N° 1 es mayor en comparación con las otras dos estructuras por lo que debido al dimensionamiento que posee tanto en columnas como en vigas no cumple con lo estipulado con la NEC – 15 debido a esto se debe aumentar la sección tanto en columnas como en vigas con el objetivo de rigidizar la estructura y disminuir el periodo de la misma.

Al rigidizar la estructura con el aumento de la sección de vigas y columnas también se logra disminuir el efecto de las derivas de piso teniendo en cuenta el criterio de columna fuerte y viga débil es decir una metodología de diseño con columnas de mayor resistencia en comparación de las vigas y con mayor disipación de la energía. Debido al incumplimiento del periodo de la estructura se propone un redimensionamiento de la estructura por lo que en la estructura N° 2 consta de una sección doble es decir 2 pambiles unidos tanto para vigas como para columnas y alcanzando un periodo de 0,528 seg afirmando que:

- A una mayor rigidez se obtiene un menor periodo de vibración de la estructura.

Al incrementar las cargas el nuevo periodo fue de 0,331 seg dejando claro que al incrementar la masa estructural (aumento de la sección de vigas y columnas) mas no al incremento de cargas actuantes sobre la losa se afirma que:

- A mayor carga se obtiene un mayor periodo de vibración de la estructura.

La última estructura modelada se basó en el mismo criterio de la estructura anterior, pero con el aumento de la sección se realizó de modo que toda la sección fuera simétrica debido a la facilidad de realizar la conexión entre viga y columna al momento de construir, tomando en cuenta la premisa anterior se obtiene un periodo de 0,331 seg realmente bajo en comparación con las dos primeras estructuras, obteniendo un valor muy aceptable para la estructura modelada.

Tabla 52. Periodo para una estructura de 2 niveles

<i>Altura (m)</i>	<i>T1 (s)</i>	<i>T (s)</i>
5	0,26	0,34

Fuente: Autores

Tabla 53. Modos de vibrar

<i>Modo de Vibrar</i>	<i>Estructura N° 1</i>	<i>Estructura N° 2</i>	<i>Estructura N° 3</i>
1	0,957	0,528	0,331
2	0,891	0,4	0,315
3	0,682	0,36	0,247
4	0,275	0,181	0,092
5	0,268	0,122	0,091
6	0,204	0,118	0,071

Fuente: Autores

En la figura 69 se indica la excedencia del periodo en los tres modelos realizados con respecto al periodo referencial.

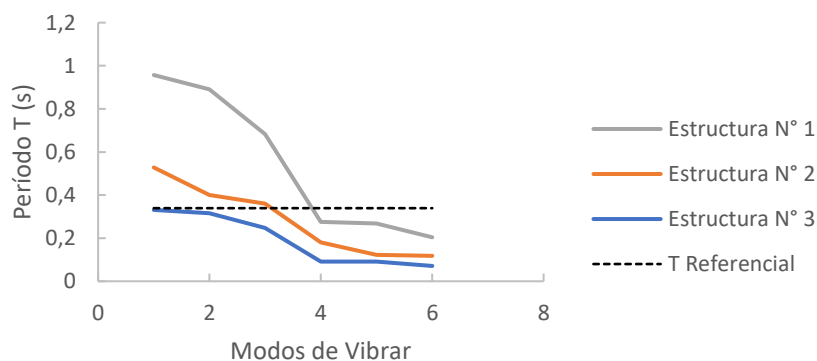


Figura 69 Periodo de Vibración de los tres modelos.

Fuente: Autores.

Por otro lado, la estructura de dos pisos modelada en el software ETABS consta de 6 modos de vibrar en donde los 3 primeros modos representan la dirección UX, UY, UZ respectivamente, a continuación, se presenta la participación de las masas en cada modo de vibrar.

Tabla 54. Estructura N°1 - Participación Modal.

Modo de Vibrar	Periodo (s)	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0,957	0,877	0,000	0,000	0,877	0,000	0,000	0,000	0,133	0,000	0,000	0,133	0,000
2	0,891	0,000	0,887	0,000	0,877	0,887	0,000	0,123	0,000	0,000	0,123	0,133	0,000
3	0,682	0,000	0,000	0,000	0,877	0,887	0,000	0,000	0,000	0,885	0,123	0,133	0,885
4	0,275	0,123	0,000	0,000	1,000	0,887	0,000	0,000	0,867	0,000	0,123	1,000	0,885
5	0,268	0,000	0,113	0,000	1,000	1,000	0,000	0,877	0,000	0,000	1,000	1,000	0,885
6	0,204	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,115	1,000	1,000	1,000

Elaborado por: Autores

Tabla 55. Estructura N° 2 - Participación Modal.

Modo de Vibrar	Periodo (s)	UX	UY	UZ	SumUX	SumU Y	SumU Z	RX	RY	RZ	SumR X	SumR Y	SumR Z
1	0,528	0,000	0,918	0,000	0,000	0,918	0,000	0,099	0,000	0,000	0,099	0,000	0,000
2	0,400	0,885	0,000	0,000	0,885	0,918	0,000	0,000	0,134	0,000	0,099	0,134	0,000
3	0,360	0,000	0,000	0,000	0,885	0,918	0,000	0,000	0,000	0,902	0,099	0,134	0,902
4	0,181	0,000	0,082	0,000	0,885	1,000	0,000	0,901	0,000	0,000	1,000	0,134	0,902
5	0,122	0,115	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,866	0,000	1,000	1,000	0,902
6	0,118	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,098	1,000	1,000	1,000

Elaborado por: Autores

Tabla 56. Estructura N° 3 - Participación Modal.

Modo de Vibrar	Periodo (s)	UX	UY	UZ	SumUX	SumU Y	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0,331	0,860	0,000	0,000	0,860	0,000	0,000	0,000	0,180	0,000	0,000	0,180	0,000
2	0,318	0,000	0,867	0,000	0,860	0,867	0,000	0,172	0,000	0,000	0,172	0,180	0,000
3	0,247	0,000	0,000	0,000	0,860	0,867	0,000	0,000	0,000	0,865	0,172	0,180	0,865
4	0,092	0,140	0,000	0,000	1,000	0,867	0,000	0,000	0,820	0,000	0,172	1,000	0,865
5	0,091	0,000	0,133	0,000	1,000	1,000	0,000	0,828	0,000	0,000	1,000	1,000	0,865
6	0,071	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,135	1,000	1,000	1,000

Elaborado por: Autores

Todas las estructuras necesitan de 5 modos de vibrar para cumplir con el requerimiento que establece la NEC acerca del 90% de participación de la masa de la estructura. En lo que se refiere al comportamiento rotacional (RZ) ninguna de las estructuras presenta problemas debido a que el porcentaje mayor se da en el tercer modo de vibrar.

La cantidad de modos de vibrar no siempre está relacionada con el número de pisos y sus respectivos grados de libertad, con el fin de cumplir con lo establecido en la NEC-15.

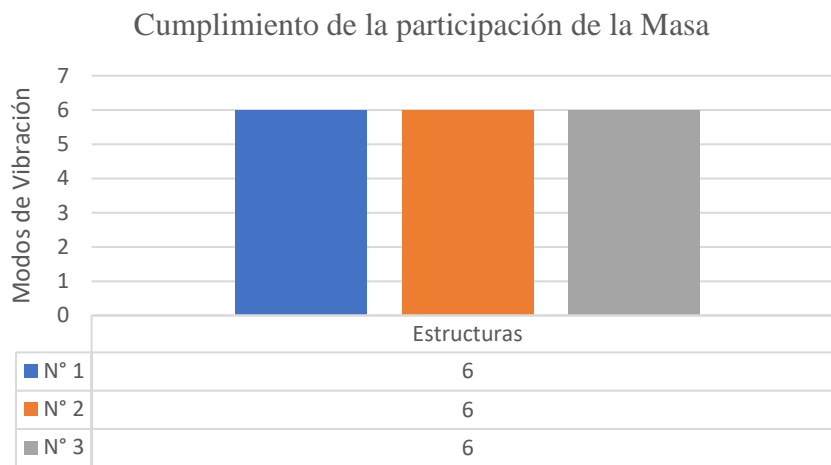


Figura 70. Cumplimiento de la participación de la masa total de la estructura.

Elaborado por: Autores.

4.15.2. Resultados de la modelación mediante el análisis estático, análisis dinámico y análisis tiempo historia.

En las tablas 57, 58 y 59 se muestra los resultados de los diferentes análisis realizados en el modelo estructural; la cortante basal para el análisis modal es uno de los parámetros en los cuales presenta un valor mínimo para el piso 2 de 2,69 Ton para el eje X y 2,92 Ton para el eje Y en la estructura N° 1 en comparación con los otros modelos que presentan valores mayores alcanzando un valor de 3,22 Ton tanto para el eje X y eje Y. El análisis estático y el análisis Tiempo-Historia presentan valores superiores al análisis modal en cada una de las estructuras analizadas obteniendo valores mayores para el piso inferior (Piso 1); en el análisis modal los valores son bajos en comparación a los otros análisis esto debido a que las fuerzas aplicadas hacia la estructura por medio del análisis Modal son causadas por el sismo de diseño de la NEC que en si representa una acción sísmica baja. En lo referente a los desplazamientos los máximos desplazamientos se dan en el piso superior (Piso 2) en el eje X como se puede observar en las siguientes tablas. El desplazamiento máximo entre todos los análisis es de 27,08 cm esto debido a que en la estructura N° 1 no hay la suficiente rigidez en los elementos que conforman las columnas y las vigas, a medida que se va a aumentando la sección tanto para columnas como para vigas el desplazamiento va disminuyendo como se puede observar en la tabla 59 que es el modelo óptimo para poder construir una estructura de tipo social con Pambil.

En lo posterior, la deriva elástica es comparada con la deriva inelástica obteniendo valores que no cumplen con el máximo del 2% establecido en la Norma como se puede ver en la tabla 57 en ningún análisis cumple con dicho requerimiento; en la estructura N° 2, presenta un valor cercano al límite en comparación con los demás análisis que cumplen con el requerimiento. Finalmente, en la estructura N° 3 todas las derivas cumplen por debajo del máximo esto debido a la sección que se les asignó a las columnas a excepción del análisis Tiempo-Historia que a su vez es generado con un acelerograma real del sismo de Pedernales del año 2016.

La rigidez es uno de los parámetros que se debe considerar como se puede observar en la tabla 57 la estructura presenta una rigidez baja esto debido a la sección con la que está modelado las columnas, a medida que se aumenta la sección es aumenta la rigidez y por ende disminuye el periodo de la estructura, como se puede observar en la tabla 59 se obtiene un periodo de 0,33 seg para una estructura de dos niveles con una rigidez mayor en el piso inferior (Piso 1).

Tabla 57. Resultados de los diferentes análisis de la estructura N° 1.

<i>Estructura N° 1</i>								
	Análisis						Unidad	
	Estático		Modal		Tiempo Historia			
	X	Y	X	Y	X	Y		
<i>Cortante Basal</i>	Piso 2	4,87	4,87	2,69	2,92	14,07	8,16	Ton
	Piso 1	9,79	9,79	3,91	4,31	22,52	11,53	Ton
<i>Max Desplazamiento</i>	Piso 2	27,08	23,42	12,34	11,70	1,57	23,21	cm
	Piso 1	13,34	12,06	5,64	5,57	2,39	10,10	cm
<i>Deriva Elástica</i>	Piso 2	0,054944	0,045467	0,026994	0,024659	0,026942	0,006350	
	Piso 1	0,053379	0,048231	0,022544	0,022279	0,009577	0,040408	
<i>Deriva Inelástica</i>	Piso 2	10,30	8,53	5,06	4,62	5,05	1,19	
	Piso 1	10,01	9,04	4,23	4,18	1,80	7,58	
<i>Deriva Máxima 2%</i>	Piso 2	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple	Cumple	
	Piso 1	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple	Cumple	No Cumple	
<i>Periodo</i>		0,96						seg
<i>Rigidez</i>	Piso 2	35,46	42,85	39,80	47,44			Ton/m
	Piso 1	73,36	81,19	69,37	77,41			Ton/m

Historia de Desplazamiento

Historia de Cortante Basal

Elaborado por: Autores

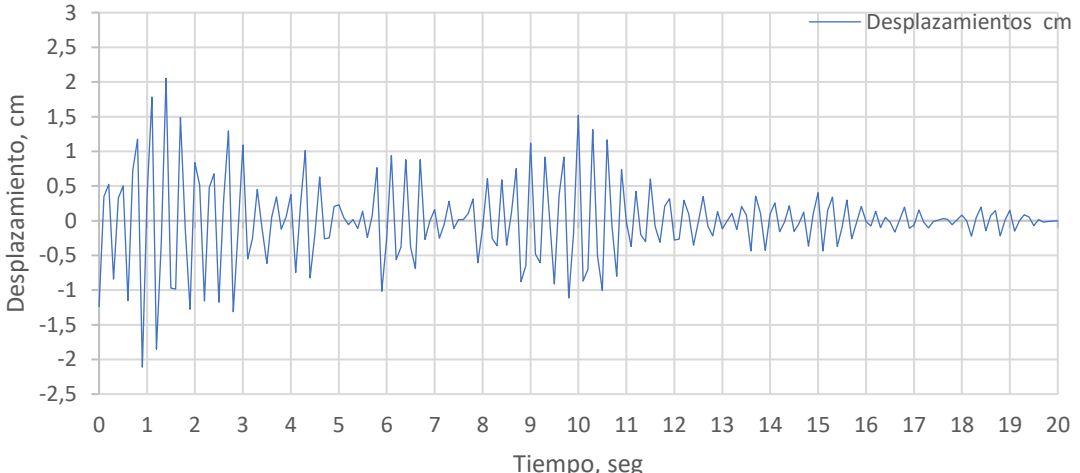
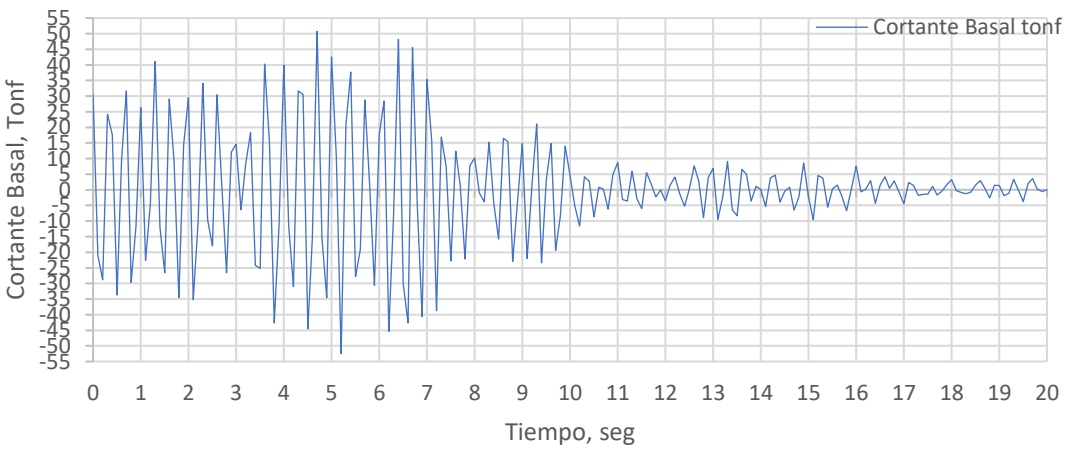
Tabla 58. Resultados de los diferentes análisis de la estructura N° 2.

<i>Estructura N° 2</i>								
	Análisis							Unidad
	Estático		Modal		Tiempo Historia			
	X	Y	X	Y	X	Y		
<i>Cortante Basal</i>	Piso 2	5,07	5,07	3,14	3,11	34,73	16,21	Ton
	Piso 1	10,24	10,24	4,64	4,79	57,57	20,06	Ton
<i>Max Desplazamiento</i>	Piso 2	4,71	8,12	2,43	4,20	17,30	18,42	cm
	Piso 1	2,42	4,76	1,15	2,27	8,65	9,87	cm
<i>Deriva Elástica</i>	Piso 2	0,009191	0,013445	0,005154	0,007763	0,034605	0,034232	
	Piso 1	0,009661	0,012902	0,004591	0,009088	0,034589	0,039465	
<i>Deriva Inelástica</i>	Piso 2	1,72	2,52	0,97	1,46	6,49	6,42	
	Piso 1	1,81	2,42	0,86	1,70	6,49	7,40	
<i>Deriva Máxima 2%</i>	Piso 2	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple	No Cumple	No Cumple	
	Piso 1	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple	No Cumple	No Cumple	
<i>Periodo</i>		0,53						seg
<i>Rigidez</i>	Piso 2	220,78	150,93	244,09	160,17			Ton/m
	Piso 1	424,15	215,41	404,34	210,88			Ton/m
<i>Historia de Desplazamiento</i>								
<i>Historia de Cortante Basal</i>								

Elaborado por: Autores

Tabla 59. Resultados de los diferentes análisis de la estructura N° 3.

Estructura N° 3								
	Análisis							Unidad
	Estático		Modal		Tiempo Historia			
	X	Y	X	Y	X	Y		
<i>Cortante Basal</i>	Piso 2	5,16	5,16	3,22	3,22	41,08	42,99	Ton
	Piso 1	10,53	10,53	4,66	4,69	50,80	64,07	Ton
<i>Max Desplazamiento</i>	Piso 2	3,26	3,00	1,68	1,54	19,65	20,56	cm
	Piso 1	1,52	1,43	0,72	0,68	8,33	9,14	cm
<i>Deriva Elástica</i>	Piso 2	0,006988	0,006266	0,003845	0,003466	0,045272	0,045654	
	Piso 1	0,006064	0,005728	0,002880	0,002720	0,033328	0,036576	
<i>Deriva Inelástica</i>	Piso 2	1,31	1,17	0,72	0,65	8,49	8,56	
	Piso 1	1,14	1,07	0,54	0,51	6,25	6,86	
<i>Deriva Máxima 2%</i>	Piso 2	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No Cumple	No Cumple	
	Piso 1	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No Cumple	No Cumple	
<i>Periodo</i>		0,33						seg
<i>Rigidez</i>	Piso 2	295,63	329,72	335,16	371,60			Ton/m
	Piso 1	694,29	735,08	646,63	698,16			Ton/m

<i>Historia de Desplazamiento</i>	
	

Elaborado por: Autores

4.15.3. Análisis de un sismo moderado y un sismo severo

En la tabla 60, 61 y 62 se muestra los resultados del análisis realizado a los modelos estructurales en base al desempeño sísmico tomando en cuenta los niveles de desempeño como es la seguridad de vida y los niveles de prevención del colapso. En las siguientes tablas los resultados obtenidos para un sismo severo en relación al sismo moderado tienden a ser el doble tanto para la cortante basal y para los desplazamientos máximos. En si los parámetros más representativos que se muestran en las tablas tienden a ser el doble de los valores obtenidos con un sismo moderado. Por lo cual en la estructura N° 1 de la tabla 60 las derivas elásticas no cumplen como la deriva máxima que es del 2% y es por ello que su rigidez es bien baja para cada uno de los pisos. En la tabla 61 de la estructura N° 2 los resultados al tender ser el doble no cumple la deriva máxima en el sentido Y, pero en la estructural N° 3 al tener una sección mayor a la estructura N° 2 todas las derivas cumplen por debajo del mínimo, teniendo en cuenta que la cortante basal en el sentido X y Y, aumentado casi el doble al igual que los desplazamientos que de un sismo moderado.

Tabla 60. Resultados del análisis de la estructura N° 1 por desempeño en un sismo Moderado y Severo para la provincia de Morona Santiago.

<i>Estructura N° 1</i>						
	Sismo					Unidad
	Moderado		Severo			
	X	Y	X	Y		
<i>Cortante Basal</i>	Piso 2	2,69	2,92	5,64	5,63	Ton
	Piso 1	3,91	4,31	8,21	8,30	Ton
<i>Max Desplazamiento</i>	Piso 2	12,34	11,70	26,00	22,51	cm
	Piso 1	5,64	5,57	11,86	10,72	cm
<i>Deriva Elástica</i>	Piso 2	0,026994	0,024659	0,056817	0,047459	
	Piso 1	0,022544	0,022279	0,047456	0,042881	
<i>Deriva Inelástica</i>	Piso 2	5,06	4,62	10,65	8,90	
	Piso 1	4,23	4,18	8,90	8,04	
<i>Deriva Máxima 2%</i>	Piso 2	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple	
	Piso 1	No Cumple	No Cumple	No Cumple	No Cumple	
<i>Periodo</i>				0,96		seg
<i>Rigidez</i>	Piso 2	39,80	47,44	39,69	47,42	Ton/m
	Piso 1	69,37	77,41	69,22	77,38	Ton/m

Elaborado por: Autores

Tabla 61. Resultados del análisis de la estructura N° 2 por desempeño en un sismo Moderado y Severo para la provincia de Morona Santiago

<i>Estructura N° 2</i>						
	Sismo					Unidad
	Moderado		Moderado			
	X	Y	X	Y		
<i>Cortante Basal</i>	Piso 2	3,14	3,11	5,87	5,80	Ton
	Piso 1	4,64	4,79	8,66	8,94	Ton
<i>Max Desplazamiento</i>	Piso 2	2,43	4,20	4,53	7,83	cm
	Piso 1	1,15	2,27	2,14	4,24	cm
<i>Deriva Elástica</i>	Piso 2	0,005154	0,007763	0,009620	0,014490	
	Piso 1	0,004591	0,009088	0,008570	0,016963	
<i>Deriva Inelástica</i>	Piso 2	0,97	1,46	1,80	2,72	
	Piso 1	0,86	1,70	1,61	3,18	
<i>Deriva Máxima 2%</i>	Piso 2	Cumple	Cumple	Cumple	No Cumple	
	Piso 1	Cumple	Cumple	Cumple	No Cumple	
<i>Periodo</i>				0,53		seg
<i>Rigidez</i>	Piso 2	244,09	160,17	244,09	160,17	Ton/m
	Piso 1	404,34	210,88	404,34	210,88	Ton/m

Elaborado por: Autores

Tabla 62. Resultados del análisis de la estructura N° 3 por desempeño en un sismo Moderado y Severo para la provincia de Morona Santiago

<i>Estructura N° 3</i>						
	Sismo					Unidad
	Moderado		Severo			
	X	Y	X	Y		
<i>Cortante Basal</i>	Piso 2	3,22	3,22	6,01	6,01	Ton
	Piso 1	4,66	4,69	8,69	8,75	Ton
<i>Max Desplazamiento</i>	Piso 2	1,68	1,54	3,13	2,88	cm
	Piso 1	0,72	0,68	1,34	1,27	cm
<i>Deriva Elástica</i>	Piso 2	0,003845	0,003466	0,007177	0,006470	
	Piso 1	0,002880	0,002720	0,005376	0,005077	
<i>Deriva Inelástica</i>	Piso 2	0,72	0,65	1,35	1,21	
	Piso 1	0,54	0,51	1,01	0,95	
<i>Deriva Máxima 2%</i>	Piso 2	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
	Piso 1	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
<i>Periodo</i>				0,33		seg
<i>Rigidez</i>	Piso 2	335,16	371,60	335,16	371,60	Ton/m
	Piso 1	646,63	698,16	646,63	689,16	Ton/m

Elaborado por: Autores

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que debido al contenido de humedad las propiedades mecánicas en estado verde se ven afectas, es decir, son menores a las obtenidas en estado seco; esto es por las fibras orgánicas que contiene el material en su interior. Los resultados también se ven influenciados por la sección transversal y su área resistente; mientras aumenta la altura disminuyen las propiedades. De 1 m a 5 m la sección transversal es mayor, de 5 m a 9 m es una sección constante y a partir de los 9 m la sección es menor.

El material pese a presentar un módulo elástico semejante al de la *Guadua Angustifolia* Kunt, es rígido. Esto se debe a su sección transversal que es mayor a 15 cm. Por otro lado, la resistencia a compresión promedio es de 501,28 kg/cm² en estado seco, siendo favorable su empleo en elementos sometidos a compresión.

El comportamiento a flexión indica valores de fluencia del material en una deformación unitaria de 0.008 correspondiente a un esfuerzo de 420 kg/cm².

Las secciones a utilizar son de un solo pambil para estructuras de cubiertas simples que constan de los elementos estructurales (vigas - columnas) y un techo con una dimensión aproximada de 4,50 metros de ancho y 5 metros de largo.

En una vivienda del tipo social la sección óptima es de 4 Pambiles para las columnas y 2 para las vigas principales teniendo en cuenta que el entrepiso debe tener una estructura con pambiles separados cada medio metro, con la finalidad de cumplir con los desplazamientos máximos establecidos en la NEC que es el 2% de la altura del piso, además de cumplir el requerimiento de columna fuerte y viga débil.

Las secciones más grandes en sus vigas y columnas rigidizan más a toda la estructura, por lo que al ser sometido a un sismo en que los elementos estructurales lleguen a un nivel de desempeño muy alto como es la prevención del colapso pueda la estructura todavía prestar los niveles de servicios necesarios para ser utilizable por las personas.

El cociente de amortiguamiento crítico calculado mediante el método del decremento logarítmico para el Pambil es de 7%, ensayadas con una longitud de un metro por lo que, indica como realmente se comporta internamente el material a ciertas vibraciones.

Al emplear latillas de Guadúa como losa, la estructura se aliviana, dicha combinación disminuye el peso causado por una losa común de 15 cm de espesor, logrando disminuir el espesor de 5 a 7 cm.

RECOMENDACIONES

Para futuros diseños de estructuras con Pambil se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Análisis de las cargas actuantes en la estructura.
- Diseño de la estructura cumpliendo los requerimientos establecidos en la NEC.
- Definir el Pambil como un material Ortotrópico.
- Realizar un análisis de funcionalidad de la unión viga-columna.
- Realizar un control de las derivas según lo que se establece en la NEC.
- Para el diseño dinámico se debe considerar la acción sísmica realizando un análisis modal.

El material debe ser secado de forma artificial con la finalidad de eliminar las fibras orgánicas del interior en un tiempo menor y así poder construir en el momento deseado.

Se recomienda utilizar una sección de 4 Pambiles para estructuras de 2 a 3 niveles como máximo.

Para el análisis y comprobación de deformaciones del material es recomendable utilizar la norma NEC-SE-MD: Maderas de estructura ya que considera la combinación más desfavorable de cargas permanentes y sobrecargas de servicio o las sobrecargas de servicio que actúan solas. También la deflexión admisible está en función de la longitud y la rigidez de la estructura.

El coeficiente de amortiguamiento crítico se recomienda utilizar el valor de 7% para el análisis estructural ante cargas dinámicas con dicho material, teniendo en cuenta la configuración estructural a analizar.

Se recomienda hacer modelos a escala de la estructura para revisar el cociente de amortiguamiento crítico.

Para el análisis dinámico se recomienda utilizar el espectro de diseño de la NEC o a su vez registros sísmicos como establece en la NEC de peligro sísmico debidamente escalados.

Para posteriores investigaciones se recomienda continuar con la investigación acerca del Pambil en lo que se refiere al rango plástico del material.

Se recomienda realizar un estudio y análisis del comportamiento de las uniones viga-columna y viga-viga del material, ya que las uniones no han sido estudiadas en esta investigación y se considera de forma rígida la estructura.

Se recomienda realizar estudios geofísicos para determinar en qué tipos de suelos se puede emplazar la estructura con Pambil para garantizar un correcto comportamiento del material y a su vez ésta no corra riesgo de entrar en resonancia con el suelo.

BIBLIOGRAFÍA

Almanza, M., & Cerrogrande, G. (2009). Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del tallo de la palmera chanka (*Iriartea deltoidea*) Mauricio Almanza Encinas. 3.

Alvarado Romero, H. F. (2014). ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE PAMBIL.

Amador Lorenzo, E. L. (2011). Placa tectónica. EcuRed. https://www.ecured.cu/Placa_tectónica

Amaguaña Amagua, D. E., & Yumbay Agualongo, E. P. (2016). Análisis de la influencia del número de modos de vibración en la respuesta total de estructuras de hormigón armado. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

American Society for Testing and Materials (ASTM). (1994). ASTM. D143-94: Standard methods of testing small clear samples of timber. American Society for Testing and Materials - ASTM. Annual Book of ASTM, 94(Reapproved), 31. <http://file.yizimg.com/175706/2011090722382624.pdf>

Anderson, P. J. (2004). The social context for harvesting *Iriartea deltoidea* (Arecaceae). *Economic Botany*, 58(3), 410–419. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2004\)058\[0410:TSCFHI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2004)058[0410:TSCFHI]2.0.CO;2)

Aponte Garzón, A. F. (2016). Caracterización físico-mecánica de la guadua en el municipio de Guaduas- Cundinamarca. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2010). NSR-10 TÍTULO G ESTRUCTURAS DE MADERA Y ESTRUCTURAS DE GUADUA.

Bambú Ecuador. (2014). Taxonomía, Ecología y Silvicultura del Bambú (con énfasis en *Guadua Angustifolia*). <https://bambu.com.ec/bambu/taxonomia-ecologia-y-silvicultura-del-bambu-con-énfasis-en-guadua-angustifolia/>

Barbat, A. H., Canas, J. A., & Yopez, F. (1995). Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería. In A. . Barbat (Ed.), *Monografías de Ingeniería Sísmica*. <http://www.cimne.com/tiendaCIMNE/free/MIS12.pdf>

Bernal, R., & Galeano, G. (2013). Cosechar sin destruir Aprovechamiento sostenible de palmas colombianas. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Calderón Ramirez, G., Mallque Acevedo, M., & Custodio Chavesta, M. (2005). CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS Y PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA Iriartea deltoidea Ruiz & Pavón DE LA PROVINCIA DE QUILLABAMBA - CUZCO. Anales Científicos, LXII, 156.

Calva, L. F. (2015). Diseño De Un Modelo De Vivienda Ecológica Con Bambú Para La Zona Rural De Yantzaza [UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA]. <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n11p99>

Cantos, L. (2017). ANÁLISIS DE LAS DERIVAS DE PISOS Y ASENTAMIENTOS PRODUCIDOS POR EL SISMO DEL 16 A, A TRAVÉS DEL SOFTWARE ETABS CON LA NEC-2015 DEL EDIFICIO GEOVANNY SORIA UBICADO EN LA CALLE 108 Y AVE 108, DEL CANTÓN MANTA, PROVINCIA DE MANABÍ”. UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ.

Carlos, J., Angulo, M., Orlando, I., & Aliaga, A. (2015). Facultad De Ingenieria Carrera De Ingenieria Civil. Universidad Privada Del Norte.

Chopra, A. K. (2014). Dinámica de Estructuras (Cuarta). Pearson Education.

Cisneros Jara, L. R. (2014). Sistema constructivo estructural a partir de la palma de chonta, iriartea deltoidea. Universidad Técnica Particular de Loja.

Cobos Fischer, J., & León Rodríguez, X. (2007). Propiedades Físicas-Mecánicas De La Guadua Angustifolia Kunth Y Aplicación Al Diseño De Baterías Sanitarias Del IASA II. 134.

Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT). (1972). Norma Paramericana COPANT - 461 (pp. 1–6).

Corporación Chilena de la Madera (CORMA). (2007). Manual la construcción de viviendas en madera. Centro de Transferencia Tecnológica. https://issuu.com/profesionalsanitario/docs/manual_de_construccion_en_madera/15

Correal, J. F., & Arbelaez, J. (2015). Influence of age and height position on colombian " Guadua Angustifolia " bamboo mechanical properties. January 2010. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2010000200005>

Dávila Angulo, M. A. (2018). “Diseño de un sistema constructivo con Bambusa Vulgaris en un centro comunal múltiple, en la localidad de Shucushyacu-Yurimaguas 2018.” INIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO.

Delgado, A. P., & Sempértegui, G. F. (2016). Evaluación estructural de la entidad hospitalaria “Hospital Vicente Corral Moscoso” de la ciudad de Cuenca – provincia del Azuay para cuantificar las amenazas y vulnerabilidad de la edificación hospitalaria. Universidad del Azuay.

Díaz Méndez, P. P. (2005). Evaluación de Propiedades Físicas y Mecánicas de madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes. 179. http://dspace.utalca.cl/retrieve/6282/diaz_mendez.pdf

Federación de Enseñanza de CC.OO de Andalucía. (2011). Tipos de esfuerzos físicos. Revista Digital Para Profesionales de La Enseñanza, N°15, 1–18. <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8567.pdf>

Felicjaniak, B., & Kosińska, K. (2005). Fizyczne i chemiczne metody konserwacji skór. Część II. Chemiczne metody konserwacji skór - Środki konserwujące i sposoby ich aplikacji. *Przegląd Włokienniczy*, 59(12).

Gómez Hurtado, J. E. (2000). Introducción a la dinámica de estructuras. Centro de Publicaciones -Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

González, J. (2007). Explicación Etimológica de las Plantas de la Selva. *Flora Digital de La Selva*, 135.

Grajales Vargas, E. (2003). Comportamiento dinámico de los edificios provistos con dispositivos disipadores de energía (p. 295).

Instituto Alemán de Normalización (DIN-52182). (2012). Propiedades físicas de la madera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, resinado y no resinado de las plantaciones de Uverito (Monagas, Venezuela). *Revista Forestal Venezolana*, 56(1), 21–28.

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2012). INEN 1160 Maderas. Determinación del contenido de Humedad.

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2013). INEN 1162 Maderas. Determinación de la densidad aparente. First Edit, 7–12.

JUNAC. (1984). MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO (JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (ed.)).

La Tegola, A., Yépez, L. O., Mera, W. V., & Córdova, P. L. (2015). DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA CAÑA GUADUA ANGUSTIFOLIA DEL ECUADOR SOMETIDA A ESFUERZOS FLECTORES Y CORTANTES. 16, 27–34.

Mancheno Torres, S. J. (2017). Análisis Del Desempeño Sísmico Del Edificio De Aulas De La Unidad Académica De Ingeniería Civil [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/7660>

Martines-González, J. A., León-Torres, J. A., Hernández-Velasco, E., Rojas-Hernández, R., Sánchez-González, J., & Mina-Hernández, R. (2017). AMENAZA SÍSMICA, MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y ESPECTROS DE DISEÑO DE LA CIUDAD DE PEDERNALES, MANABÍ, ECUADOR. September, 1–42. <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/19863>

Martínez Rodrigo, M. D., Museros Romero, P., Poy Gil, A., & Romero García, M. L. (2013). Resistencia de materiales. Resistencia de Materiales, 1–14. <https://doi.org/10.6035/infitec.2002.12>

Mendoza, A. G., & Serna Hernández, L. F. (2015). Vulnerabilidad sísmica de la infraestructura escolar urbana en Girardot-Cundinamarca. XVIII(68), 23–31.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). Peligro Sísmico- Diseño Sismoresistente Métodos de diseño. 43–92. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-Sísmico-parte-2.pdf>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015a). Cargas (no sísmicas) NEC-SE-CG.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015b). Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras. Norma Ecuatoriana de La Construcción.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015c). NEC-SE-DS CARGAS SÍSMICAS DISEÑO SISMORESISTENTE. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 139. <https://doi.org/10.1533/9781782420477.27>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015d). NEC-SE-DS Peligro Sísmico: Diseño Sismo Resistente. In Norma Ecuatoriana de la Construcción. <http://www.indeci.gob.pe/proyecto58530/objetos/archivos/20110606102841.pdf>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2016). Estructuras de guadúa (GaK). Norma Ecuatoriana de La Construcción, 94.

Morales Diaz, E., & Rodriguez Alonso, C. (2008). El Bambú como material estructural. Análisis de un caso práctico. Escola Politécnica Superior.

Morán Ubidia, J. A. (2009). Construir con Guadua Manual de construcción.

Morejon, C. (2015). DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE TRES ESPECIES FORESTALES: Piptocoma discolor (Kunth.) Pruski (PIGUE), Iriartea deltoidea Ruiz & Pav. (CHONTA) y Pouteria glomerata (INTACHI). 77.

Moya Yépez, F. (2002). Ultimos avances en la evaluación del riesgo sísmico de Quito y futuros proyectos de mitigación. Gestión de Riesgos y Prevención de Desastres, 16–24.

Organización Panamericana De La Salud. (2004). Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud Serie Mitigación de Desastres. www.paho.org/spanish/ped/pedsres.htm

Perez, A. J., Hernandez, C., Romero Saltos, H., & Valencia, R. (2014). Árboles emblemáticos de Yasuní, Ecuador. [https://bioweb.bio/galeria/Foto/Iriartea deltoidea/Mapas/459414](https://bioweb.bio/galeria/Foto/Iriartea%20deltoidea/Mapas/459414)

Pérez Vargas, F. J. (2014). Diseño sísmico basado en desplazamientos (ddbd). 301.

Polanco, J., Cavia, S., & García, C. (2016). Materiales de Construcción Lección 3. Propiedades mecánicas. Open Course Ware, 1–56. <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/280/course/section/205/Leccion3.pdf>

Quinde Martínez, P. D., & Reinoso Angulo, E. (2016). Estudio De Peligro Sísmico De Ecuador Y Propuesta De Espectros De Diseño Para La Ciudad De Cuenca. Revista de Ingeniería Sísmica, 26(94), 1–26. <https://doi.org/10.18867/ris.94.274>

Ramirez, E. (2020). Diagrama de fases Esfuerzo - Deformación. <https://www.docsity.com/es/diagrama-de-fases-en-cuarentena/5395596/>

Rivadeneira, J. J. (2018). Caracterización del Pambil, para ser utilizado como pilote. Tesis, 1–57. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>

Ruiz, M. C., & Blanco Díaz, E. (2015). Resistencia de Materiales. www.cimne.com

Sánchez, L., Guerra, A., & Lozano, J. (2020). Comparación de las propiedades físico-mecánicas del bambú Guadua angustifolia Kunth de diferentes municipios de Colombia. Revista CIENCIA, 22(1), 34–56.

Singaucho Armas, J. C. (2009). MAPA DE MÁXIMAS INTENSIDADES SÍSMICAS DEL ECUADOR. CRITERIOS ESTRUCTURALES PARA MEJORAR LA ESTIMACIÓN DE INTENSIDADES. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.

Spavento, E., Keil, G., & Monteoliva, S. (2008). Propiedades Mecánicas de la Madera. XILOTECNOLOGÍA, 1–26.

Tarback, E. J., Lutgens, F. K., & Tasa, D. (2005). Ciencias de la Tierra. In *Geology* (Vol. 30).

Villamar U, G. E. (2004). DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE *Iriartea deltoidea* EN LA RESERVA BIOLÓGICA LIMONCOCHA. UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK.

Villamil Matallana, K. V., & Tarquino Hortua, D. R. (2018). Comparación lineal elástico estático y método lineal dinámico en estructuras aperticadas en concreto reforzado. Universidad Católica de Colombia.

WWF Colombia. (2015). Maderas de Colombia. In WWF Colombia. http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/maderas_de_colombia_15_version_aprobada.pdf

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Respaldo fotográfico extracción de las muestras

ANEXO 2: Respaldo fotográfico Ensayos del laboratorio

ANEXO 3: Hojas de cálculo en Excel de propiedad físico mercancías del Pambil

ANEXO 4: Prediseño de los elementos estructurales

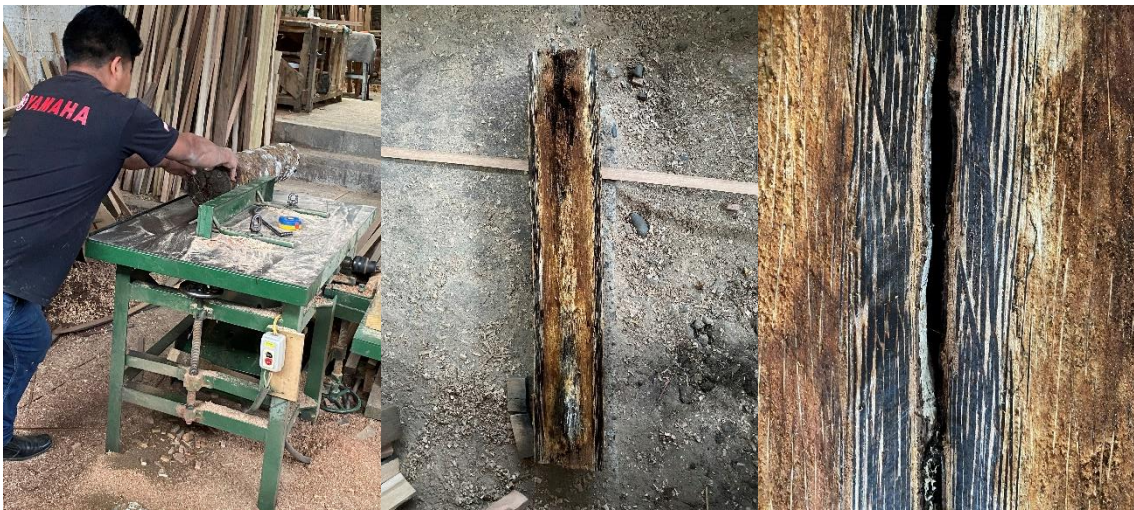
ANEXO 5: Modelación de la estructura en ETABS

ANEXO 6: Resultados de la modelación

ANEXO 1: Respaldo fotográfico extracción de las muestras



ANEXO 2: Respaldo fotográfico Ensayos del laboratorio







ANEXO 3: Hojas de cálculo en Excel de propiedad físico mecánicas del Pambil

Estado seco

$$D_e := 17.05 \text{ cm}$$

$$ar_1 := 2.6 \text{ cm}$$

$$ar_2 := 2.7 \text{ cm}$$

$$Ar := \frac{\pi}{4} \left(D_e^2 - (D_e - (ar_1 + ar_2))^2 \right)$$

$$Ar = 119.883 \text{ cm}^2$$

Estado seco Hueco

$$D_e := 16.75 \text{ cm}$$

$$ar_1 := 3.3 \text{ cm}$$

$$ar_2 := 2.7 \text{ cm}$$

$$Ar := \frac{\pi}{4} \left(D_e^2 - (D_e - (ar_1 + ar_2))^2 \right)$$

$$Ar = 129.591 \text{ cm}^2$$

Estado seco al Horno

$$D_e := 15.1 \text{ cm}$$

$$ar_1 := 3.9 \text{ cm}$$

$$ar_2 := 3.8 \text{ cm}$$

$$Ar := \frac{\pi}{4} \left(D_e^2 - (D_e - (ar_1 + ar_2))^2 \right)$$

$$Ar = 136.07 \text{ cm}^2$$

Estado Verde 1,50 m

$$D_e := 15.15 \text{ cm}$$

$$ar_1 := 2.85 \text{ cm}$$

$$ar_2 := 2.75 \text{ cm}$$

$$Ar := \frac{\pi}{4} \left(D_e^2 - (D_e - (ar_1 + ar_2))^2 \right)$$

$$Ar = 108.636 \text{ cm}^2$$

Estado Verde 5,00 m

$$D_e := 15.35 \text{ cm}$$

$$ar_1 := 1.95 \text{ cm}$$

$$ar_2 := 2.10 \text{ cm}$$

$$Ar := \frac{\pi}{4} \left(D_e^2 - (D_e - (ar_1 + ar_2))^2 \right)$$

$$Ar = 84.77 \text{ cm}^2$$

Estado Verde 9,00 m

$$D_e := 12.48 \text{ cm}$$

$$ar_1 := 1.5 \text{ cm}$$

$$ar_2 := 1.55 \text{ cm}$$

$$Ar := \frac{\pi}{4} \left(D_e^2 - (D_e - (ar_1 + ar_2))^2 \right)$$

$$Ar = 52.485 \text{ cm}^2$$

COMPRESIÓN PARALELA EN ESTADO SECO AL AIRE

<i>A(cm)</i>	<i>B(cm)</i>	<i>Longitud(cm)</i>	<i>Peso Antes (g)</i>	<i>Peso Después (g)</i>	<i>Área (cm²)</i>	<i>Volumen (cm³)</i>	<i>Densidad (g/cm³)</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>ELP (kg/cm²)</i>	<i>MOR (kg/cm²)</i>	<i>MOE (kg/cm²)</i>
2,50	2,40	10,20	66,10	52,80	6,00	61,20	1,08	20,12	670,69	700,95	55337,28
2,50	2,30	10,20	50,70	40,30	5,75	58,65	0,86	20,51	479,22	517,46	41490,31
2,30	2,40	10,20	47,70	38,60	5,52	56,30	0,85	19,08	476,83	537,09	37589,36
4,00	2,40	10,20	64,50	53,30	6,00	61,20	1,05	17,36	749,40	802,13	92221,95
5,00	2,40	10,20	49,20	38,80	6,00	61,20	0,80	21,14	399,62	448,81	59117,88
6,00	2,30	10,20	33,30	28,00	5,52	56,30	0,59	15,92	332,43	333,20	21648,77
7,00	2,40	10,10	52,90	43,30	5,76	58,18	0,91	18,15	618,26	660,61	73855,91
8,00	2,40	10,20	52,80	41,40	5,76	58,75	0,90	21,59	526,69	550,64	66577,81
9,00	2,35	10,20	38,90	33,40	5,64	57,53	0,68	14,14	383,99	409,21	44651,11
2,50	2,50	10,20	49,40	38,70	6,25	63,75	0,77	21,66	375,61	409,88	46673,54

RESULTADOS DE LA COMPRESIÓN PARALELA SECA AL AIRE

<i>Máximo</i>	1,08	21,66	749,40	802,13	92221,95
<i>Mínimo</i>	0,59	14,14	332,43	333,20	21648,77
<i>Media</i>	0,86	19,60	478,03	527,27	51005,41
<i>Promedio</i>	0,85	18,97	501,28	537,00	53916,39
<i>Varianza</i>	0,02	6,49	19341,40	21646,82	406085448,77
<i>Desviación estándar</i>	0,15	2,55	139,07	147,13	20151,56

COMPRESIÓN PARALELA EN ESTADO VERDE

<i>Muestra</i>	<i>A(cm)</i>	<i>B(cm)</i>	<i>Longitud(cm)</i>	<i>Peso</i>	<i>Peso</i>	<i>Área</i>	<i>Volumen</i>	<i>Densidad</i>	<i>Humedad</i>	<i>ELP</i>	<i>MOR</i>	<i>MOE</i>	
				<i>Antes</i>	<i>Después</i>								
				<i>(g)</i>	<i>(g)</i>	<i>(cm²)</i>	<i>(cm³)</i>	<i>(g/cm³)</i>	<i>(%)</i>	<i>(kg/cm²)</i>	<i>(kg/cm²)</i>	<i>(kg/cm²)</i>	
<i>a 1,5 m de altura</i>	1	2,60	2,50	9,90	70,30	52,10	6,50	64,35	1,09	26	619,96	658,96	41937,01
	2	2,60	2,50	9,70	73,50	48,70	6,50	63,05	1,17	34	540,08	584,67	109882,34
	3	2,50	2,40	9,80	67,70	46,20	6,00	58,80	1,15	32	480,74	613,56	96136,11
	4	2,60	2,50	10,00	78,70	55,10	6,50	65,00	1,21	30	480,43	527,03	87822,37
	5	2,60	2,50	10,00	75,50	51,00	6,50	65,00	1,16	32	414,79	714,19	85487,74
	6	2,40	2,50	10,00	66,20	44,40	6,00	60,00	1,10	33	580,96	644,27	115732,52
<i>a 5 m de altura</i>	1	2,40	2,50	10,10	58,40	39,30	6,00	60,60	0,96	33	365,22	442,12	15447,01
	2	2,50	2,50	10,00	57,40	36,40	6,25	62,50	0,92	37	274,55	359,52	136351,68
	3	2,50	2,50	10,00	59,90	39,30	6,25	62,50	0,96	34	418,41	434,17	250996,48
	4	2,30	2,50	10,00	56,10	37,40	5,75	57,50	0,98	33	453,51	479,99	56664,08
	5	2,60	2,50	10,10	65,80	45,10	6,50	65,65	1,00	31	488,72	515,04	121651,05
	6	2,50	2,50	10,10	57,80	39,20	6,25	63,13	0,92	32	437,31	488,11	36865,39
<i>a 9 m de altura</i>	1	2,50	2,50	10,00	48,60	35,20	6,25	62,50	0,78	28	384,20	460,20	11647,21
	2	2,50	2,40	10,00	44,80	31,90	6,00	60,00	0,75	29	352,21	384,00	76272,82
	3	2,50	2,50	10,00	49,50	34,20	6,25	62,50	0,79	31	257,14	370,25	33952,00
	4	2,50	2,50	10,00	43,40	31,40	6,25	62,50	0,69	28	337,00	395,67	28687,31
	5	2,50	2,50	10,00	47,10	32,50	6,25	62,50	0,75	31	371,16	418,56	19275,77
	6	2,60	2,60	10,00	51,00	35,10	6,76	67,60	0,75	31	342,32	377,39	19878,20

RESULTADOS DE LA COMPRESIÓN PARALELA EN ESTADO VERDE

<i>a 1,5 m de altura</i>	Máximo	1,21	33,74	619,96	714,19	115732,52
	Mínimo	1,09	25,89	414,79	527,03	41937,01
	Media	1,16	32,10	510,41	628,91	91979,24
	Promedio	1,15	31,13	519,49	623,78	89499,68
	Varianza	0,00	8,19	5656,82	4165,02	685754651,66
	Desviación estándar	0,04	2,86	75,21	64,54	26186,92

<i>a 5 m de altura</i>	Máximo	1,00	36,59	488,72	515,04	250996,48
	Mínimo	0,92	31,46	274,55	359,52	15447,01
	Media	0,96	33,02	427,86	461,05	89157,57
	Promedio	0,96	33,44	406,29	453,16	102995,95
	Varianza	0,00	3,37	5835,17	3004,56	7509896588,31
	Desviación estándar	0,03	1,84	76,39	54,81	86659,66

<i>a 9 m de altura</i>	Máximo	0,79	31,18	384,20	460,20	76272,82
	Mínimo	0,69	27,57	257,14	370,25	11647,21
	Media	0,75	29,85	347,26	389,84	24282,76
	Promedio	0,75	29,52	340,67	401,01	31618,88
	Varianza	0,00	2,94	1990,34	1126,80	539414971,23
	Desviación estándar	0,03	1,71	44,61	33,57	23225,31

COMPRESIÓN PERPENDICULAR EN ESTADO SECO AL AIRE

<i>Muestra</i>	<i>A(cm)</i>	<i>B(cm)</i>	<i>Longitud(cm)</i>	<i>Peso Antes (g)</i>	<i>Peso Después (g)</i>	<i>Área (cm²)</i>	<i>Volumen (cm³)</i>	<i>Densidad (g/cm³)</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>ELP (kg/cm²)</i>	<i>MOR (kg/cm²)</i>
1	2,50	2,40	7,60	48,80	40,40	18,62	45,60	1,07	17,21	120,74	144,27
2	2,50	2,35	7,70	42,40	33,40	18,67	45,24	0,94	21,23	102,15	171,07
3	2,50	2,40	7,70	41,50	30,10	18,87	46,20	0,90	27,47	84,93	127,65
4	2,50	2,40	7,70	38,20	30,70	18,87	46,20	0,83	19,63	102,24	119,45
5	2,50	2,30	7,60	46,70	39,60	18,24	43,70	1,07	15,20	215,19	260,84
6	2,50	2,30	7,60	38,80	32,80	18,24	43,70	0,89	15,46	93,35	146,42
7	2,50	2,35	7,70	38,50	30,90	18,67	45,24	0,85	19,74	97,17	125,32
8	2,50	2,50	7,60	45,10	38,40	19,00	47,50	0,95	14,86	170,54	196,31
9	2,50	2,50	7,70	39,20	31,20	19,25	48,13	0,81	20,41	99,84	124,14
10	2,50	2,40	7,70	41,60	31,30	18,87	46,20	0,90	24,76	112,66	144,46

RESULTADOS DE LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR SECO AL AIRE

<i>Máximo</i>	1,07	27,47	215,19	260,84
<i>Mínimo</i>	0,81	14,86	84,93	119,45
<i>Media</i>	0,90	19,69	102,19	144,36
<i>Promedio</i>	0,92	19,60	119,88	155,99
<i>Varianza</i>	0,01	17,39	1685,66	1922,48
<i>Desviación estándar</i>	0,09	4,17	41,06	43,85

COMPRESIÓN PERPENDICULAR EN ESTADO VERDE

	<i>Muestra</i>	<i>A(cm)</i>	<i>B(cm)</i>	<i>Longitud(cm)</i>	<i>Peso</i>		<i>Área (cm²)</i>	<i>Volumen (cm³)</i>	<i>Densidad (g/cm³)</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>ELP (kg/cm²)</i>	<i>MOR (kg/cm²)</i>
					<i>Antes (g)</i>	<i>Después (g)</i>						
<i>a 1,5 m de altura</i>	1	2,40	2,50	7,40	51,20	36,20	18,13	44,40	1,15	29,30	152,08	183,89
	2	2,50	2,50	7,40	48,10	30,30	18,50	46,25	1,04	37,01	54,04	68,65
	3	2,60	2,50	7,40	53,40	35,90	18,87	48,10	1,11	32,77	96,79	116,26
	4	2,40	2,40	7,50	47,80	31,50	18,00	43,20	1,11	34,10	42,07	83,66
	5	2,60	2,50	7,40	55,80	37,60	18,87	48,10	1,16	32,62	165,89	193,14
	6	2,60	2,50	7,50	57,10	39,50	19,13	48,75	1,17	30,82	60,58	110,75
<i>a 5 m de altura</i>	1	2,50	2,50	7,60	46,70	31,50	19,00	47,50	0,98	32,55	86,77	97,93
	2	2,50	2,50	7,60	42,70	28,60	19,00	47,50	0,90	33,02	46,92	48,90
	3	2,60	2,50	7,60	40,20	25,00	19,38	49,40	0,81	37,81	63,53	76,03
	4	2,50	2,50	7,60	43,90	27,80	19,00	47,50	0,92	36,67	56,92	74,27
	5	2,40	2,50	7,60	38,90	26,00	18,62	45,60	0,85	33,16	42,47	53,63
	6	2,30	2,50	7,60	40,00	27,20	18,24	43,70	0,92	32,00	67,90	85,03
<i>a 9 m de altura</i>	1	2,55	2,40	7,60	34,90	25,30	18,81	46,51	0,75	27,51	42,59	48,88
	2	2,50	2,40	7,60	31,60	22,80	18,62	45,60	0,69	27,85	38,66	50,54
	3	2,60	2,60	7,60	38,80	27,40	19,76	51,38	0,76	29,38	34,73	51,00
	4	2,50	2,60	7,60	36,30	26,20	19,38	49,40	0,73	27,82	36,88	41,71
	5	2,30	2,40	7,60	31,90	23,20	17,86	41,95	0,76	27,27	60,19	64,91
	6	2,50	2,60	7,60	36,20	25,60	19,38	49,40	0,73	29,28	50,86	65,36

RESULTADOS DE LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR EN ESTADO VERDE

<i>a 1,5 m de altura</i>	Máximo	1,17	37,01	165,89	193,14
	Mínimo	1,04	29,30	42,07	68,65
	Media	1,13	32,69	78,68	113,51
	Promedio	1,12	32,77	95,24	126,06
	Varianza	0,00	7,12	2790,36	2653,52
	Desviación estándar	0,05	2,67	52,82	51,51

<i>a 5 m de altura</i>	Máximo	0,98	37,81	86,77	97,93
	Mínimo	0,81	32,00	42,47	48,90
	Media	0,91	33,09	60,22	75,15
	Promedio	0,90	34,20	60,75	72,63
	Varianza	0,00	5,84	255,24	346,46
	Desviación estándar	0,06	2,42	15,98	18,61

<i>a 9 m de altura</i>	Máximo	0,76	29,38	60,19	65,36
	Mínimo	0,69	27,27	34,73	41,71
	Media	0,74	27,84	40,62	50,77
	Promedio	0,74	28,19	43,98	53,73
	Varianza	0,00	0,83	95,31	89,19
	Desviación estándar	0,02	0,91	9,76	9,44

FLEXIÓN ESTÁTICA EN ESTADO SECO AL AIRE

Muestra	δ (cm)	F(Kgf)	Fmáx (Kgf)	a (cm)	b (cm)	largo (cm)	Luz (cm)	densidad (Kg/m3)	ELP (kg/cm ²)	MOR (Kgf/cm ²)	MOE (Kgf/cm ²)
1	0,203	193,5779817	299,69419	2	2	30,2	25,2	1091,887417	914,6559633	1416,055046	238206,6613
2	0,229	103,7716616	131,906218	1,8	2	30,2	25,2	872,8844739	544,8012232	692,5076453	126119,3383
3	0,305	154,332314	204,79103	2	2	30,2	25,2	915,5629139	729,2201835	967,6376147	126608,7011
4	0,305	171,1518858	260,958206	2	2	30,2	25,2	981,7880795	808,6926606	1233,027523	140406,8753
5	0,203	117,8389399	154,332314	1,9	2	30,2	25,2	844,3708609	586,0936746	767,6001931	152638,1755
6	0,305	241,2844037	373,190622	2	2	30,2	25,2	1142,384106	1140,068807	1763,325688	197941,0803
7	0,254	190,8256881	260,958206	1,9	2	30,2	25,2	1178,11084	949,1067117	1297,923708	197743,0204
8	0,356	238,4301733	269,11315	2	2	30,2	25,2	988,410596	1126,582569	1271,559633	167656,776
9	0,254	193,5779817	283,588175	2	2	30,2	25,2	993,3774834	914,6559633	1339,954128	190565,329
10	0,356	182,3649337	249,745158	1,9	2	30,2	25,2	972,4642733	907,0255915	1242,153549	134982,5487

RESULTADOS FLEXIÓN ESTÁTICA EN ESTADO SECO AL AIRE

Máximo	1178,11084	1140,068807	1763,325688	238206,6613
Mínimo	844,3708609	544,8012232	692,5076453	126119,3383
Media	985,0993377	910,8407774	1256,856591	160147,4757
Promedio	998,1241044	862,0903348	1199,174473	167286,8506
Varianza	12131,25359	39966,42403	99964,87675	1418784958
Desviación estándar	110,1419701	199,9160425	316,1722264	37666,76198

FLEXIÓN ESTÁTICA EN ESTADO VERDE

<i>Muestra</i>	δ (cm)	<i>F</i> (Kgf)	<i>F</i> máx (Kgf)	<i>a</i> (cm)	<i>b</i> (cm)	<i>largo</i> (cm)	<i>Luz</i> (cm)	<i>densidad</i> (Kg/m ³)	<i>ELP</i> (kg/cm ²)	<i>MOR</i> (Kgf/cm ²)	<i>MOE</i> (Kgf/cm ²)
1	0,61	176,7584098	280,530071	2	2	30,2	25,2	1055,463576	835,1834862		72503,13335
2	0,356	162,6911315	235,67788	2	1,9	30,2	25,2	1071,802022	851,7624336	1233,88142	133429,8383
3	0,457	190,8256881	249,745158	2	2	30,1	25,1	1042,358804	898,0733945	1175,36315	103126,8627
4	0,508	101,9367992	131,906218	2	1,8	30,2	25,2	832,4135394	594,6313286	769,4529392	68827,40575
5	0,457	72,98674822	114,984709	2	2	30,3	25,3	709,5709571			40394,23454
6	0,152	179,5107034	260,958206	2,1	2	30,1	25,1	1008,542952	804,5926169	1169,651959	277177,053

RESULTADOS FLEXIÓN ESTÁTICA EN ESTADO VERDE

<i>Máximo</i>	1071,802022	898,0733945	1233,88142	277177,053
<i>Mínimo</i>	709,5709571	594,6313286	769,4529392	40394,23454
<i>Media</i>	1025,450878	835,1834862	1172,507554	87814,998
<i>Promedio</i>	953,3586417	796,848652	1087,087367	115909,7546
<i>Varianza</i>	21896,14837	13920,83658	45683,21647	7256194662
<i>Desviación estándar</i>	147,9734718	117,9865949	213,7363246	85183,30037

DENSIDAD

<i>DENSIDAD EN ESTADO SECO AL AIRE</i>							
	Max	Min	Media	Promedio	Varianza	Desviación Estándar	
	Norma ASTM						
<i>Anhídrida</i>	0,98	0,71	0,80	0,82	0,010	0,099	g/cm ³
<i>Básica</i>	0,91	0,65	0,74	0,76	0,009	0,093	g/cm ³
<i>Seca</i>	1,07	0,86	0,91	0,94	0,006	0,076	g/cm ³
<i>Verde</i>	1,16	0,96	1,09	1,06	0,006	0,076	g/cm ³

HUMEDAD

<i>CH seca al aire (%)</i>	<i>CH verde (%)</i>
25	58
21	52
19	50
17	46
15	47
18	48
22	49
14	47
22	58
20	50

Máximo	25	58
Mínimo	14	46
media	19	49
Promedio	19	51
Varianza	10,7113039	17,7973602
Desviación Estándar	3,27281284	4,21869176

PROPIEDADES DEL PAMBIL

Propiedades físicas del Pambil

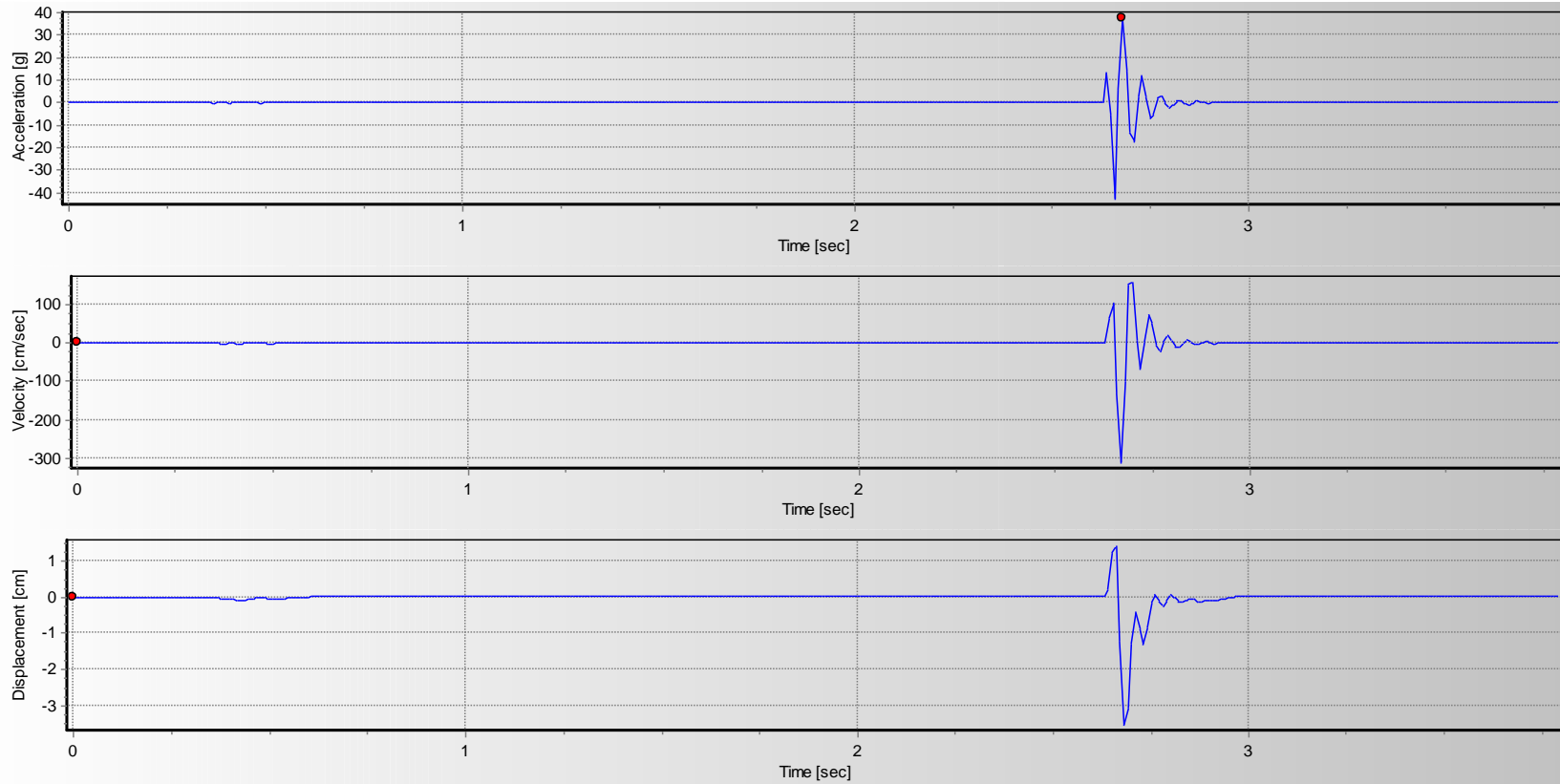
AUTOR		TESIS	CALDERÓN		MELÉNDREZ	RIVADENEIRA	MOREJÓN	MADERAS COLOMBIA	ALMANZA Y CERROGRANDE	GUTIÉRREZ	SANTILLÁN	ALVARADO ROMERO	CISNEROS JARA	UNIDADES
FECHA		2020	2005		1999	2018	2018	2013	2009					
FÍSICAS	HUMEDAD	COPANT	COPANT			INEN 1160	COPANT 461		COPANT 461			INEN 1160		
	Saturado		25	12	12	27,2					25,2	27,56		%
	Verde	50,56					29,68		37,74					%
	Seca	19,21					12,28		6,812					%
	Horno						10,75							%
	DENSIDAD	DIN 52182	COPANT			NTC 290	COPANT 461					ASTM D 143		
	Anhídrida	0,822	1,13	-	1,14	1,06	1,04		0,909			1,07		g/cm ³
	Básica	0,757	1,01	-	1,03	0,94		0,69		1,01	1,01	0,93		g/cm ³
	Seca	0,994					1,09		1,074					g/cm ³
	Verde	1,063				1,26	1,24		1,238			1,19		g/cm ³
	CONTRACCIÓN		COPANT			INEN 1164								
	Radial		5,36	-	4,63			7,4	5,857	5,18		6,05		%
	Tangencial		5,18	-	4,69			11,1	3,955	5,36		6,73		%
	Volumétrica		11,07	-	9,37	10,31		18,5	9,566	11,07		12,54		%

Propiedades mecánicas del Pambil

MECÁNICAS	HUMEDAD	COPANT	COPANT				COPANT 461							
	Seca	19,21	17	12	12	12	12		6,812					%
	FLEXIÓN ESTÁTICA	COPANT	COPANT			INTINTEC 251.017	ASTM D 143/45-252		COPANT 455			ASTM D 143/45-252		
	ELP	826,12	935	1211	1073	2419,80			829,77			302,98	453,45	Kg/cm ²
	MOR	1199,17	1555	1915	1900	2503,00	1473,29	1471,00	1464,41	1555,00	1707,11	520,38	651,51	Kg/cm ²
	MOE	167286,85	250654	278446	222965	342942,44		183000,00	167266,00	251000,00	238288,17	58841,02	68802,77	Kg/cm ²
	COMPRESIÓN PARALELA	ASTM D 143	COPANT				ASTM D 143		COPANT 464		COPANT 466	ASTM D 143/45-252		
	ELP	501,28				707,48			340,80			127,13	150,84	Kg/cm ²
	MOR	537				850,65	1561,61	764,00	597,64		1076,70	204,27	213,78	Kg/cm ²
	MOE	53916,39				188972,17					19679,58	7960,05	7048,40	Kg/cm ²
	COMPRESIÓN PERPENDICULAR	ASTM D 143	COPANT			COPANT 466	ASTM D 143/94 - 82		COPANT 466					
	ELP	119,88	202	266	265	611,63		100,00	132,65	202,00			64,70	Kg/cm ²
	MOR	155,99				613,26	151,03							Kg/cm ²
	MOE													Kg/cm ²
	CIZALLAMIENTO / CORTE		COPANT											
	Esfuerzo de Cizallamiento		122	151	131		1575,2	93					23,17	Kg/cm ²
	DUREZA		COPANT						COPANT 465					
	Lados		988	1103	1247		785,9	1050	647,792	988			206,11	Kg/cm ²
	Extremos		889	1059	1236								166,272	Kg/cm ²
	TENSIÓN						ASTM D 143							
Esfuerzo de Tracción						1232,12							Kg/cm ²	

FACTOR DE AMORTIGUAMIENTO

Ensayo 1



$$u_i := 1.3265 \text{ g}$$

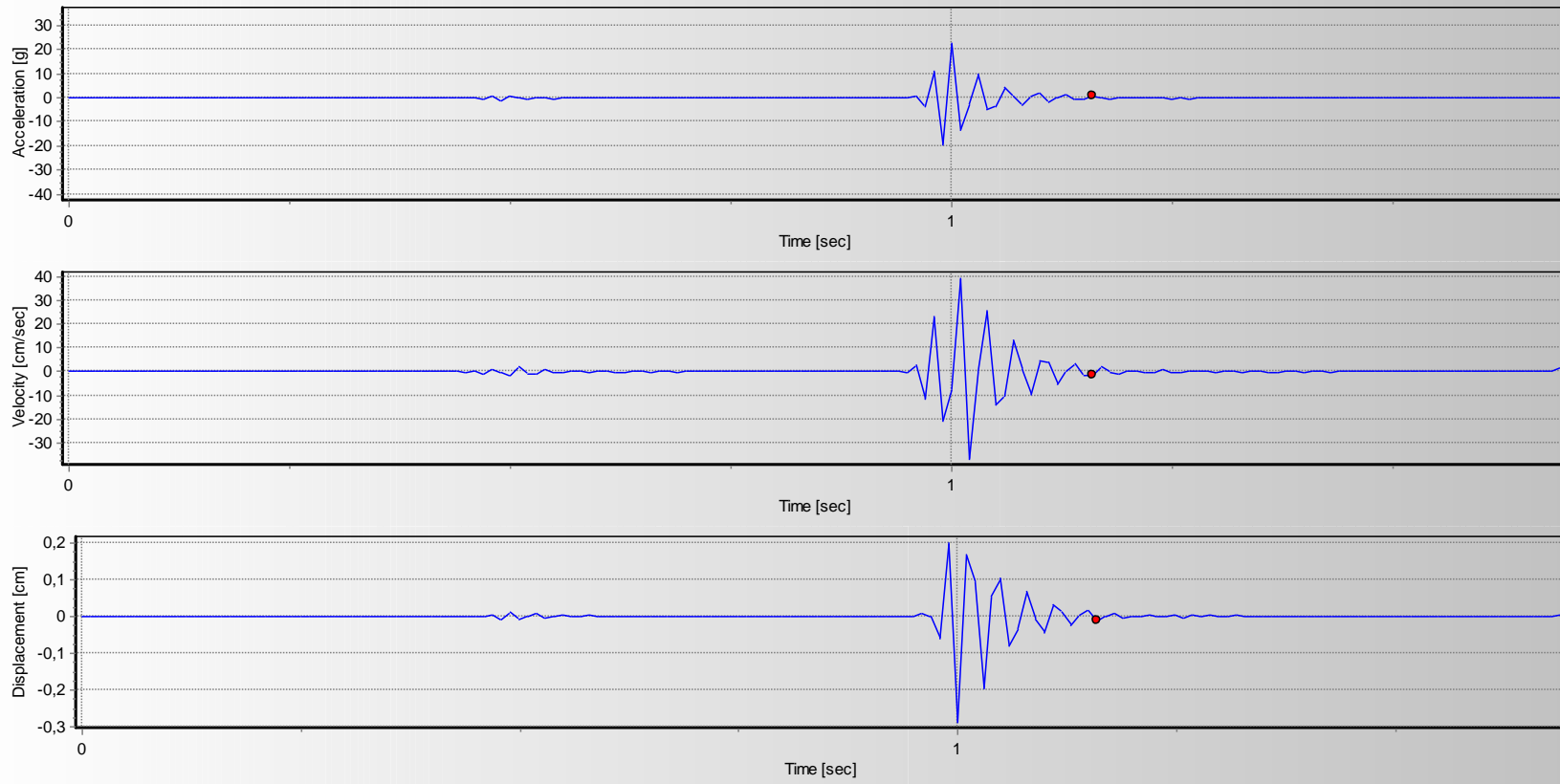
$$j := 6$$

$$u_j := 0.0437 \text{ g}$$

$$\zeta := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (j)} \cdot \ln \left(\frac{u_i}{u_j} \right)$$

$$\zeta = 9.05\%$$

Ensayo 2



$$u_i := 0.9875 \text{ g}$$

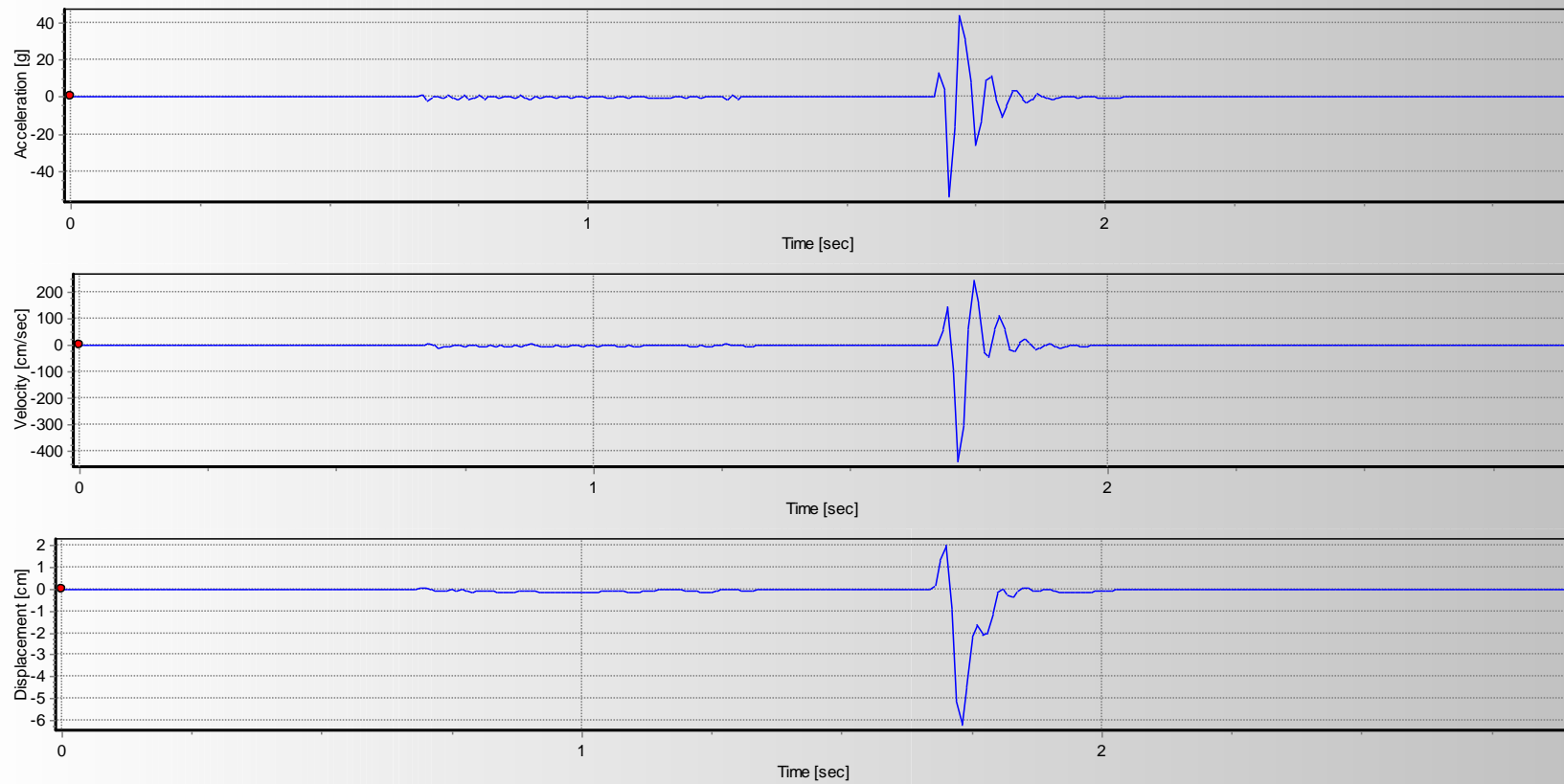
$$j := 4$$

$$u_j := 0.0858 \text{ g}$$

$$\zeta := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (j)} \cdot \ln \left(\frac{u_i}{u_j} \right)$$

$$\zeta = 9.72\%$$

Ensayo 3



$$u_i := 1.3265 \text{ g}$$

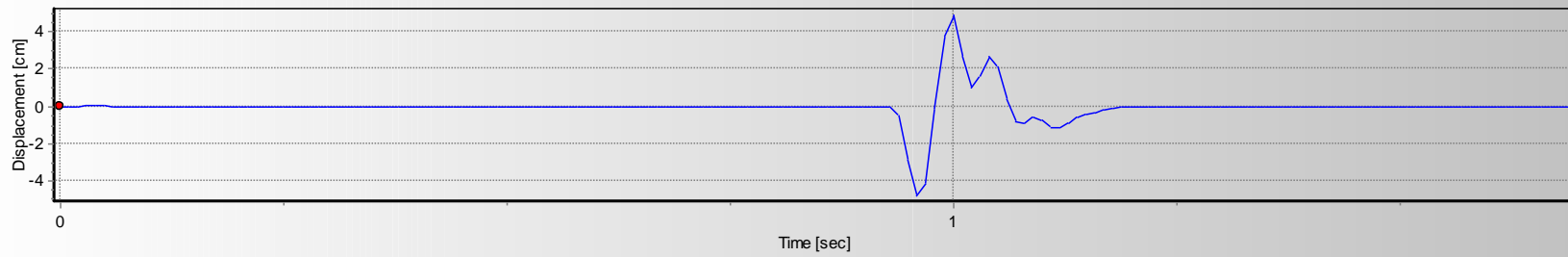
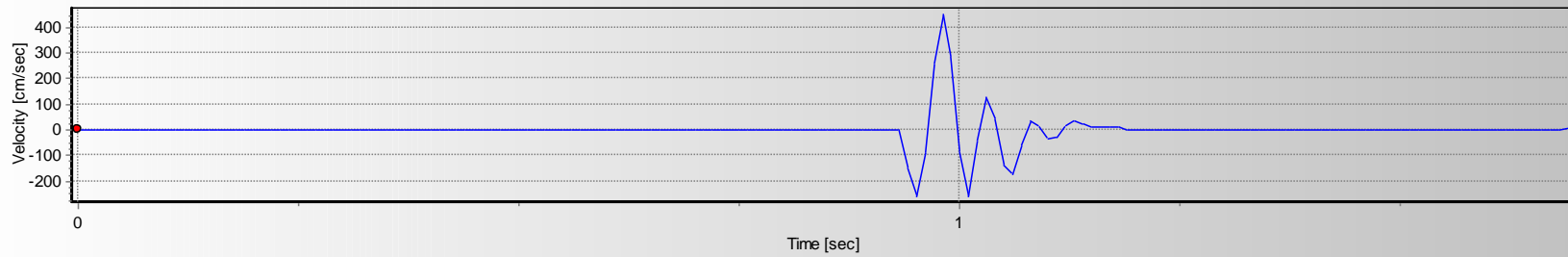
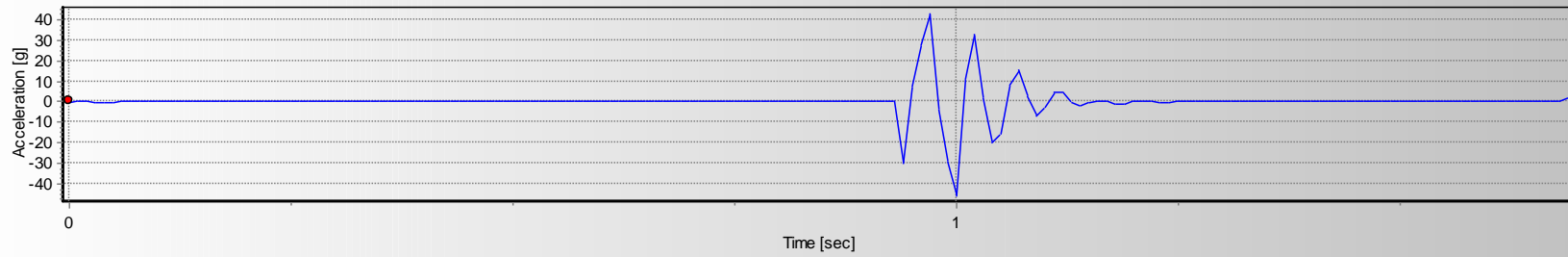
$$j := 6$$

$$u_j := 0.0460 \text{ g}$$

$$\zeta := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (j)} \cdot \ln\left(\frac{u_i}{u_j}\right)$$

$$\zeta = 8.92\%$$

Ensayo 4



$$u_i := 0.43050 \text{ g}$$

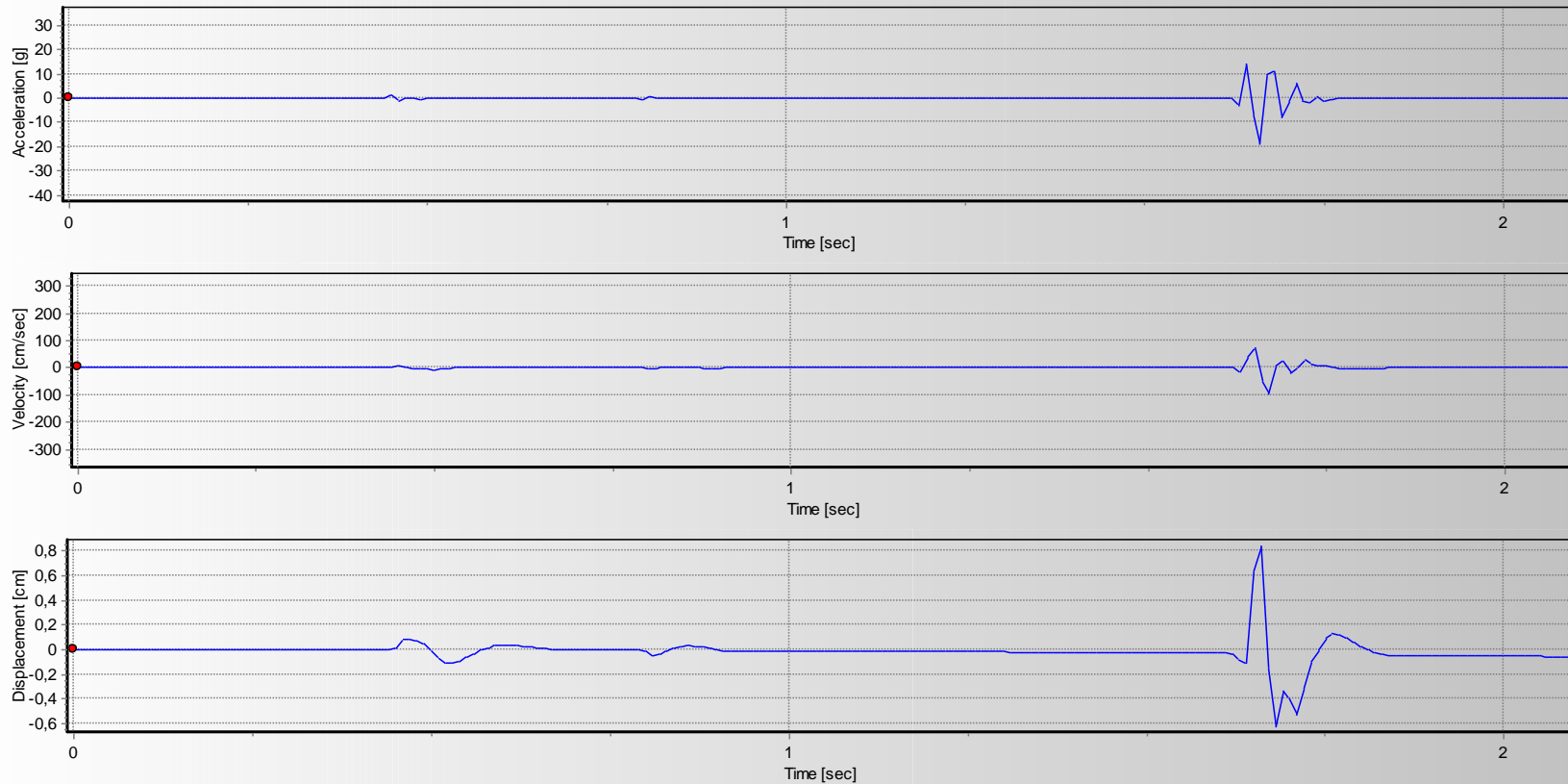
$$j := 5$$

$$u_j := 0.0408 \text{ g}$$

$$\zeta := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (j)} \cdot \ln\left(\frac{u_i}{u_j}\right)$$

$$\zeta = 7.5\%$$

Ensayo 5



$$u_i := 1.3265 \text{ g}$$

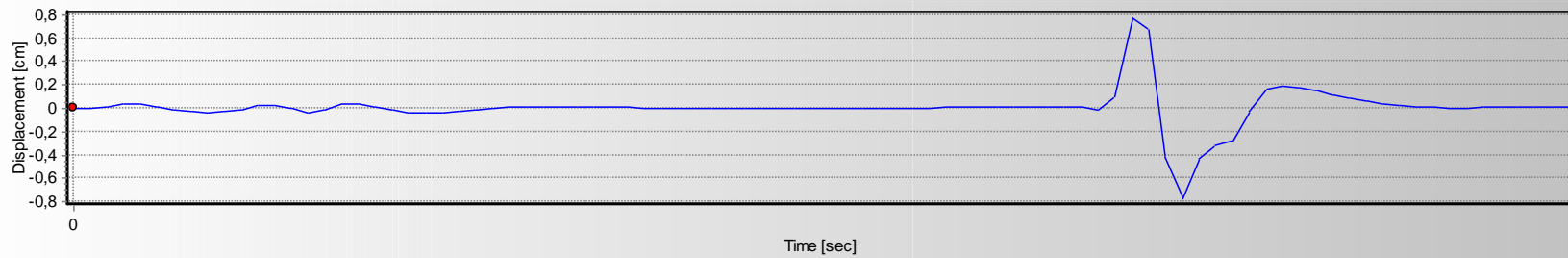
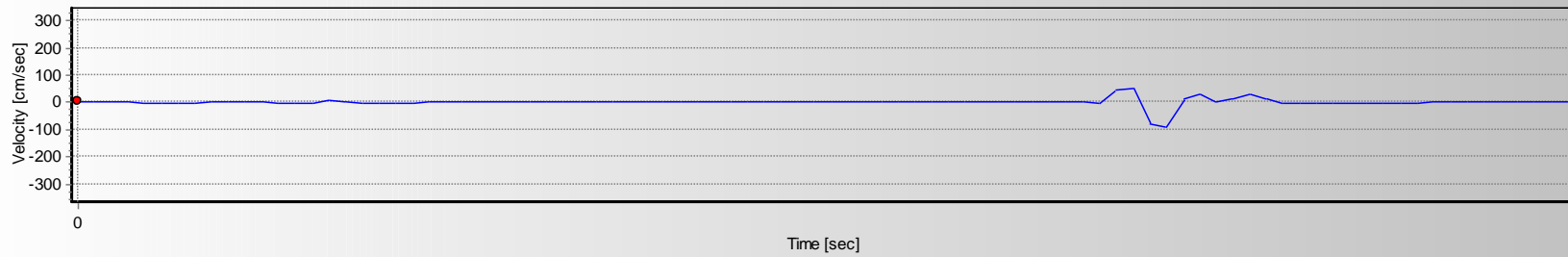
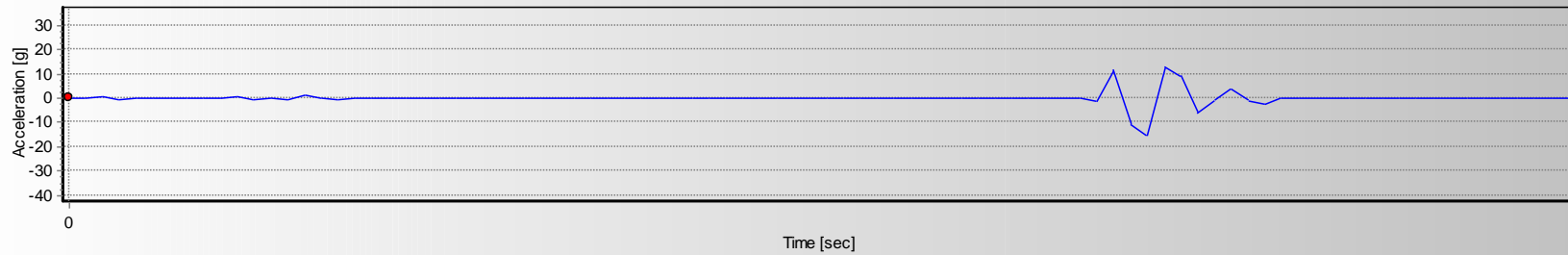
$$j := 3$$

$$u_j := 0.0528 \text{ g}$$

$$\zeta := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (j)} \cdot \ln \left(\frac{u_i}{u_j} \right)$$

$$\zeta = 17.1\%$$

Ensayo 6



$$u_i := 1.1697 \text{ g}$$

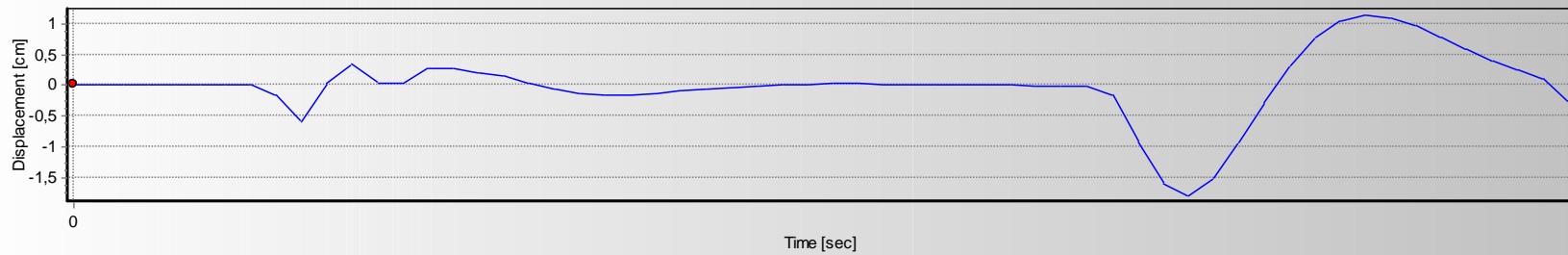
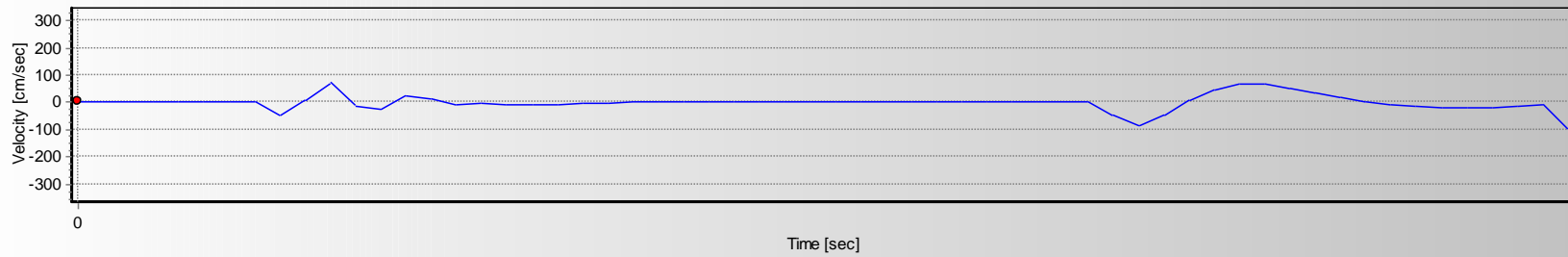
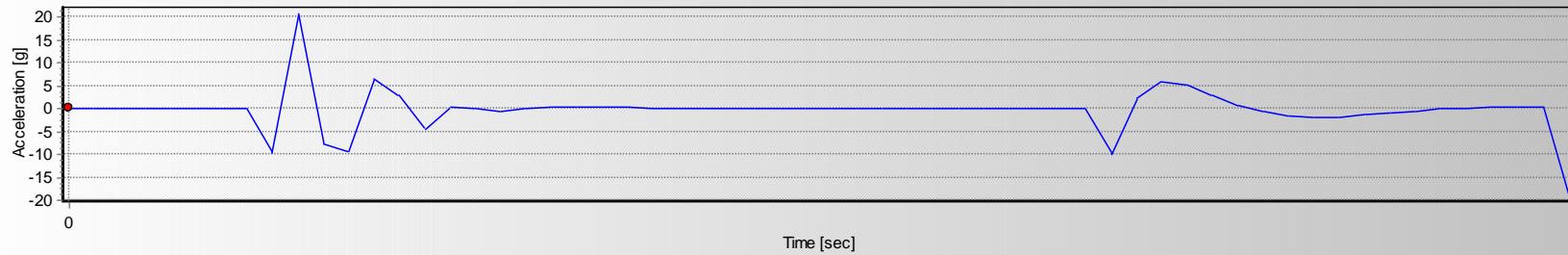
$$j := 2$$

$$u_j := 0.3639 \text{ g}$$

$$\zeta := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (j)} \cdot \ln\left(\frac{u_i}{u_j}\right)$$

$$\zeta = 9.29\%$$

Ensayo 7



$$u_i := 2.0657 \text{ g}$$

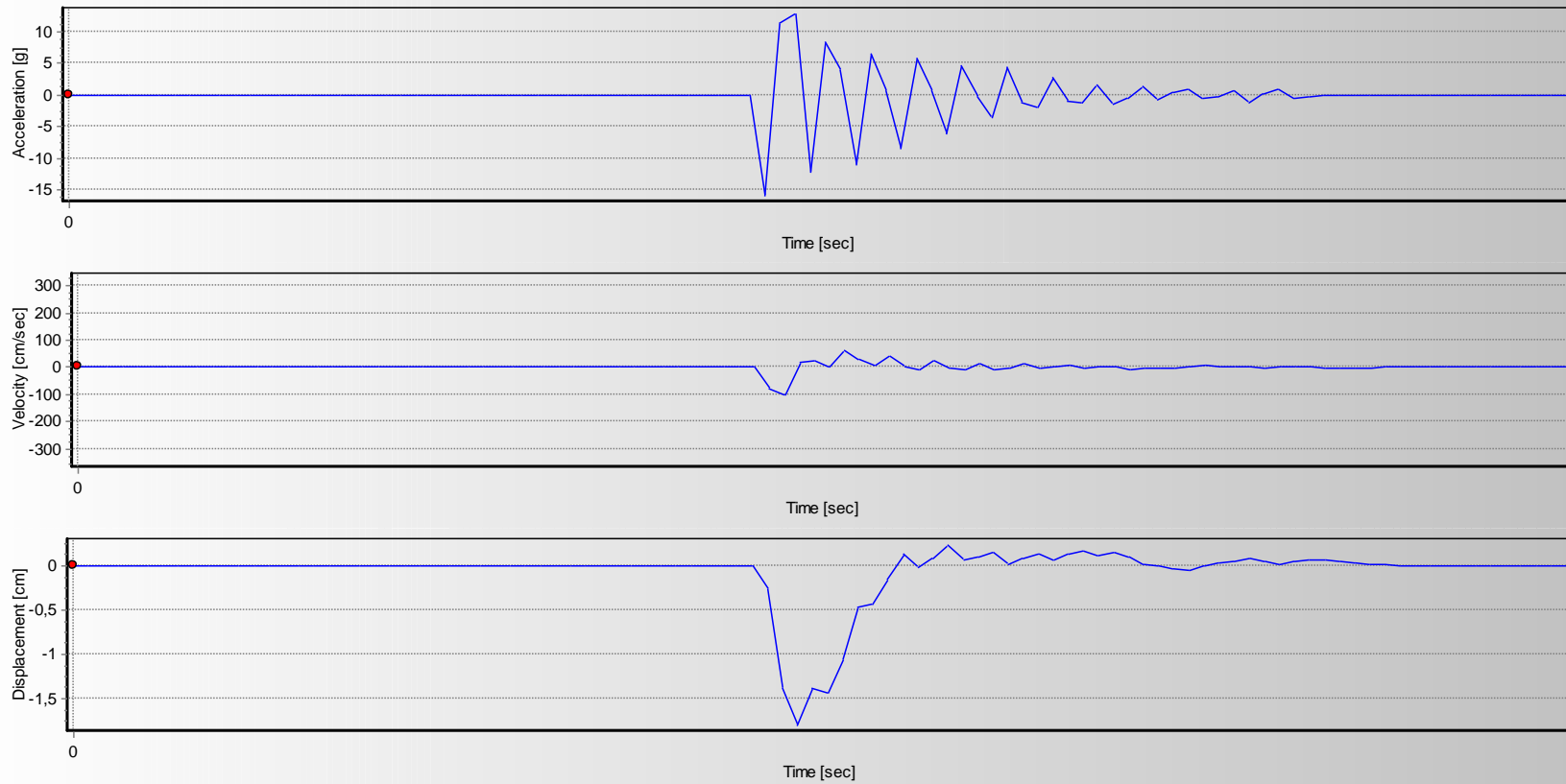
$$j := 5$$

$$u_j := 0.0411 \text{ g}$$

$$\zeta := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (j)} \cdot \ln\left(\frac{u_i}{u_j}\right)$$

$$\zeta = 12.47\%$$

Ensayo 8



$$u_i := 1.2796 \text{ g}$$

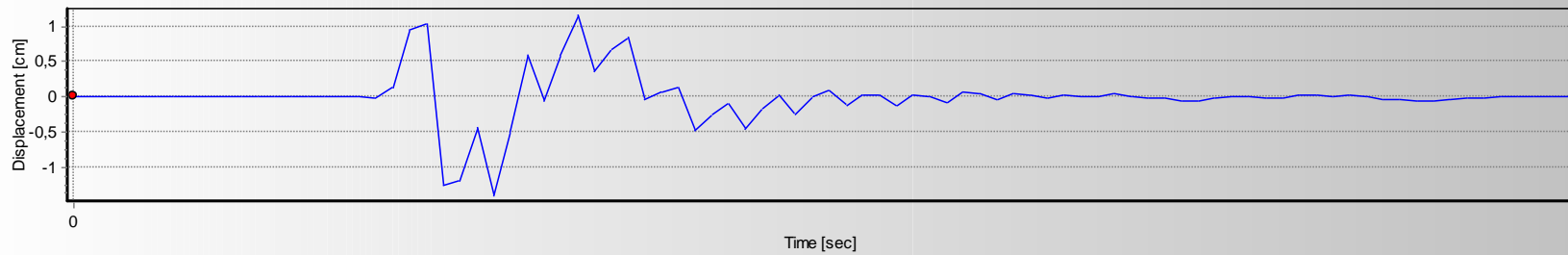
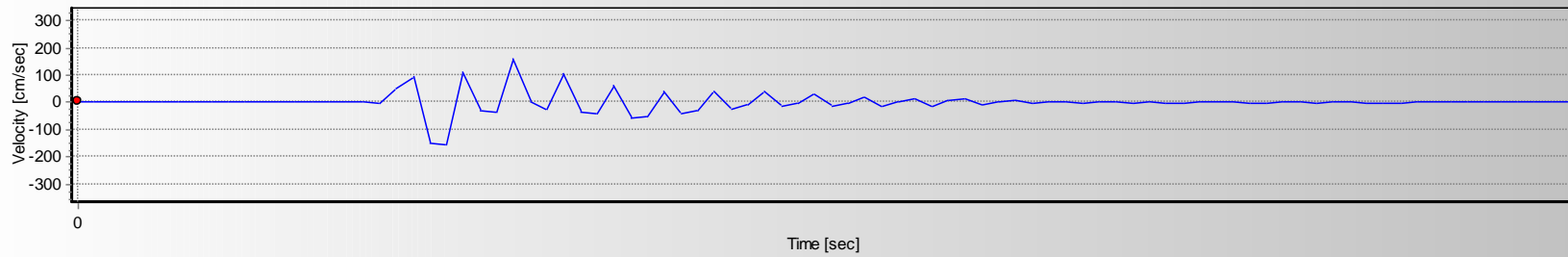
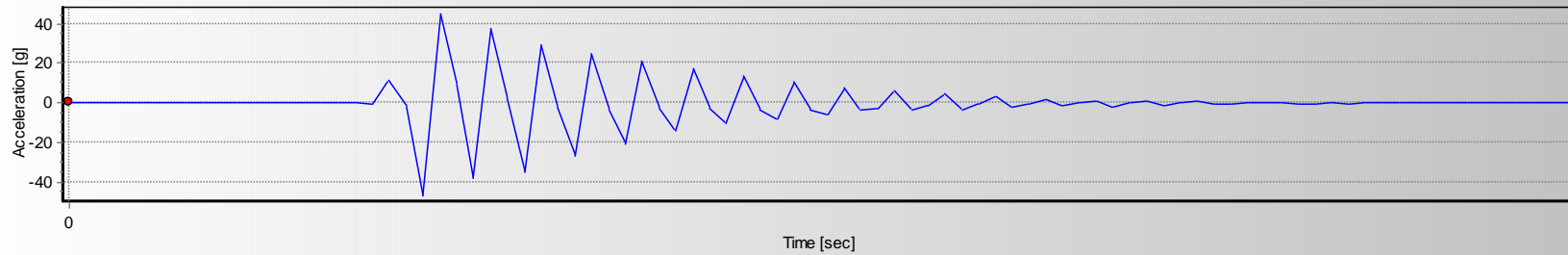
$$j := 7$$

$$u_j := 0.1662 \text{ g}$$

$$\zeta := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (j)} \cdot \ln \left(\frac{u_i}{u_j} \right)$$

$$\zeta = 4.64\%$$

Ensayo 9



$$u_i := 0.44935 \text{ g}$$

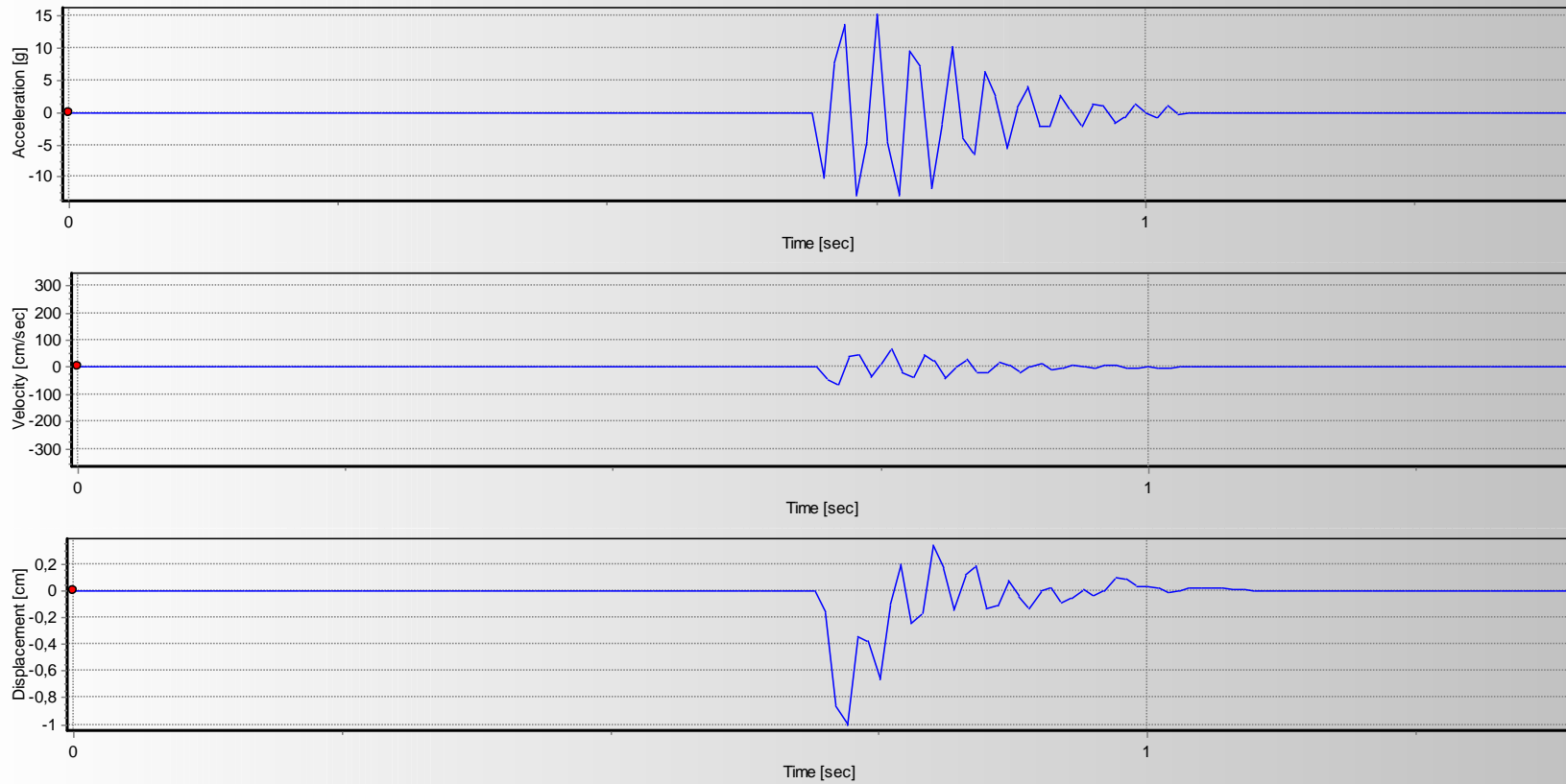
$$j := 13$$

$$u_j := 0.01211 \text{ g}$$

$$\zeta := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (j)} \cdot \ln\left(\frac{u_i}{u_j}\right)$$

$$\zeta = 4.42\%$$

Ensayo 10



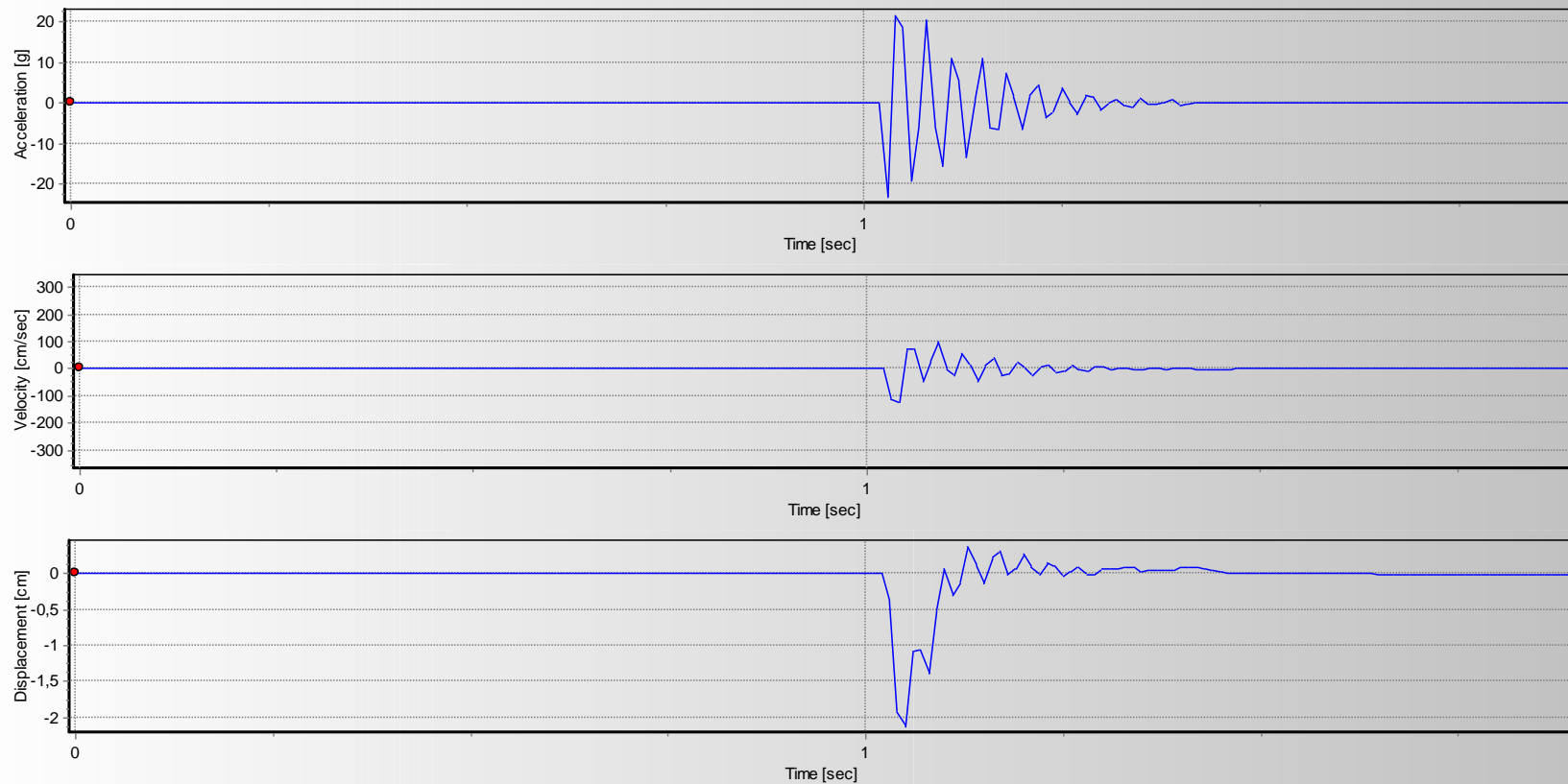
$$u_i := 1.3533 \text{ g}$$

$$j := 8$$

$$u_j := 0.1210 \text{ g}$$

$$\zeta := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (j)} \cdot \ln \left(\frac{u_i}{u_j} \right)$$
$$\zeta = 4.8\%$$

Ensayo 11



$$u_i := 2.1623 \text{ g}$$

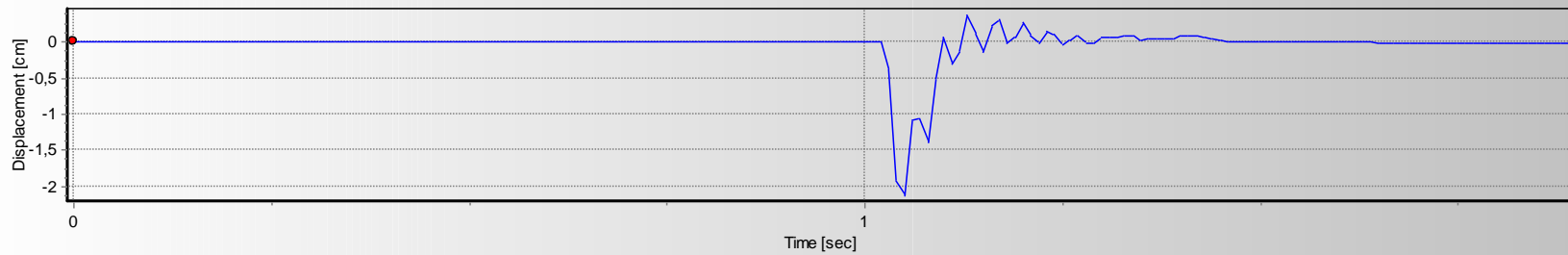
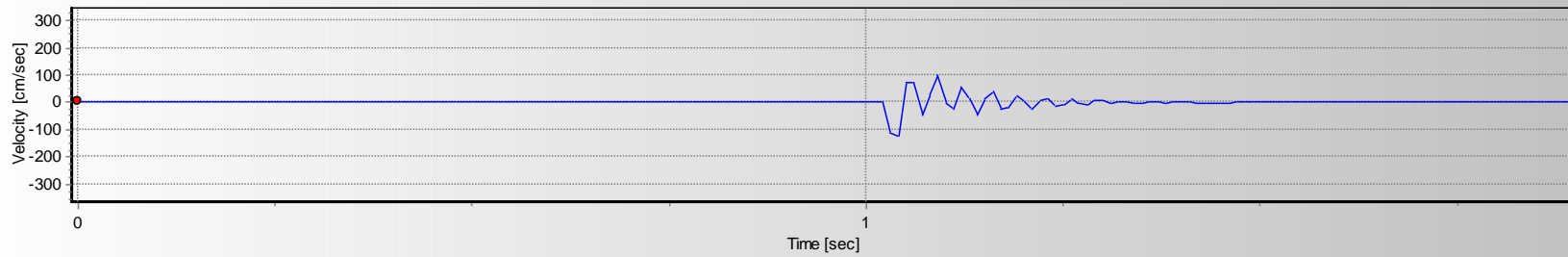
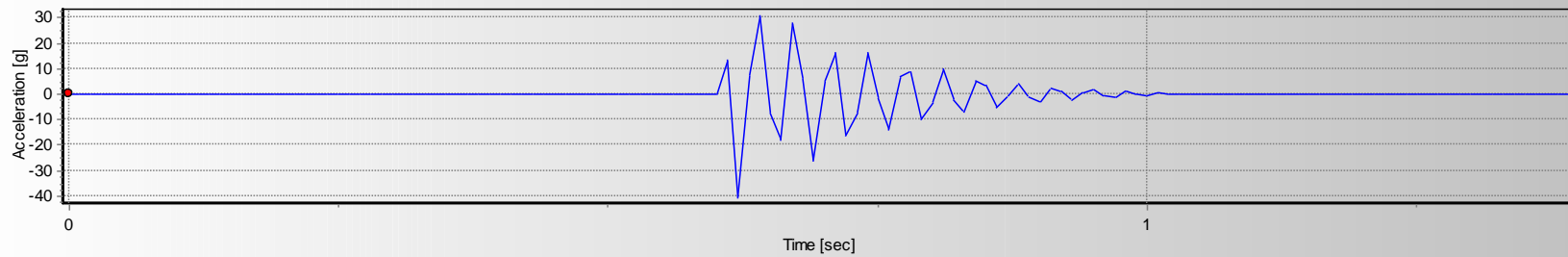
$$j := 8$$

$$u_j := 0.0711 \text{ g}$$

$$\zeta := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (j)} \cdot \ln \left(\frac{u_i}{u_j} \right)$$

$$\zeta = 6.79\%$$

Ensayo 12



$$u_i := 0.30747 \text{ g}$$

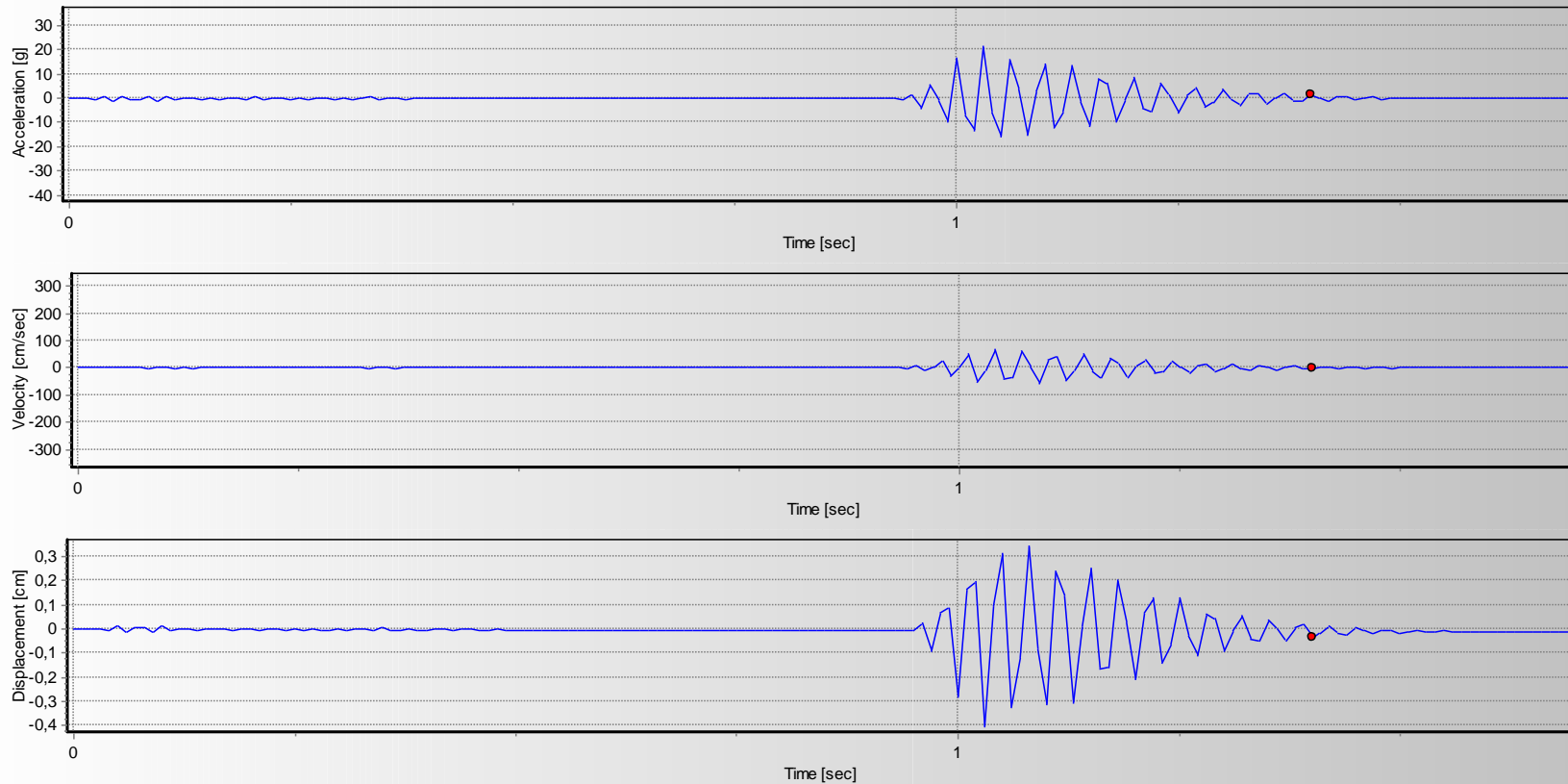
$$j := 10$$

$$u_j := 0.01033 \text{ g}$$

$$\zeta := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (j)} \cdot \ln\left(\frac{u_i}{u_j}\right)$$

$$\zeta = 5.4\%$$

Ensayo 13



$$u_i := 2.1728 \text{ g}$$

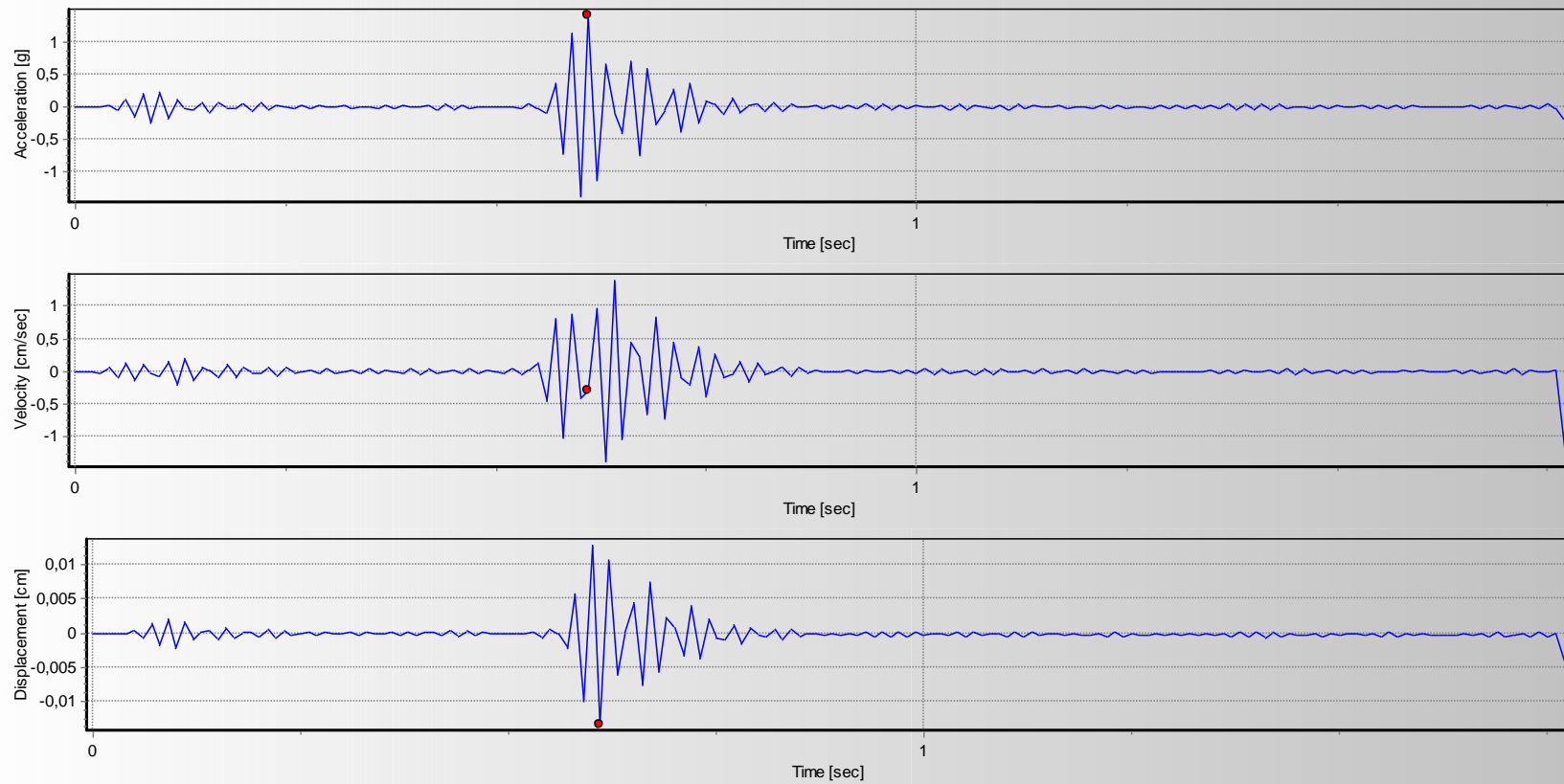
$$j := 11$$

$$u_j := 0.1244 \text{ g}$$

$$\zeta := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (j)} \cdot \ln \left(\frac{u_i}{u_j} \right)$$

$$\zeta = 4.14\%$$

Ensayo 14



$$u_i := 1.395 \text{ g}$$

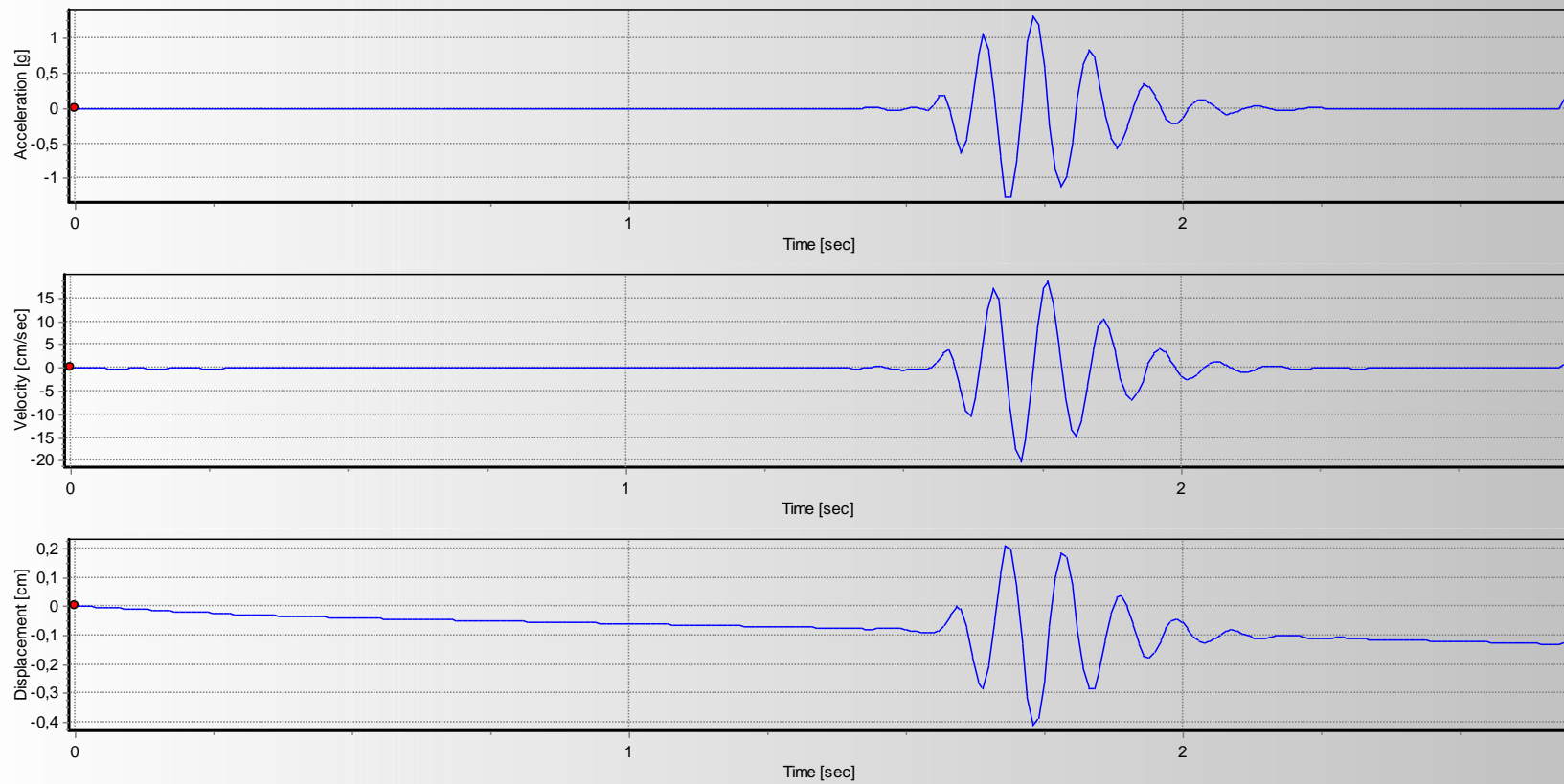
$$j := 3$$

$$u_j := 0.581 \text{ g}$$

$$\zeta := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (j)} \cdot \ln \left(\frac{u_i}{u_j} \right)$$

$$\zeta = 4.65\%$$

Ensayo del Tronco 1



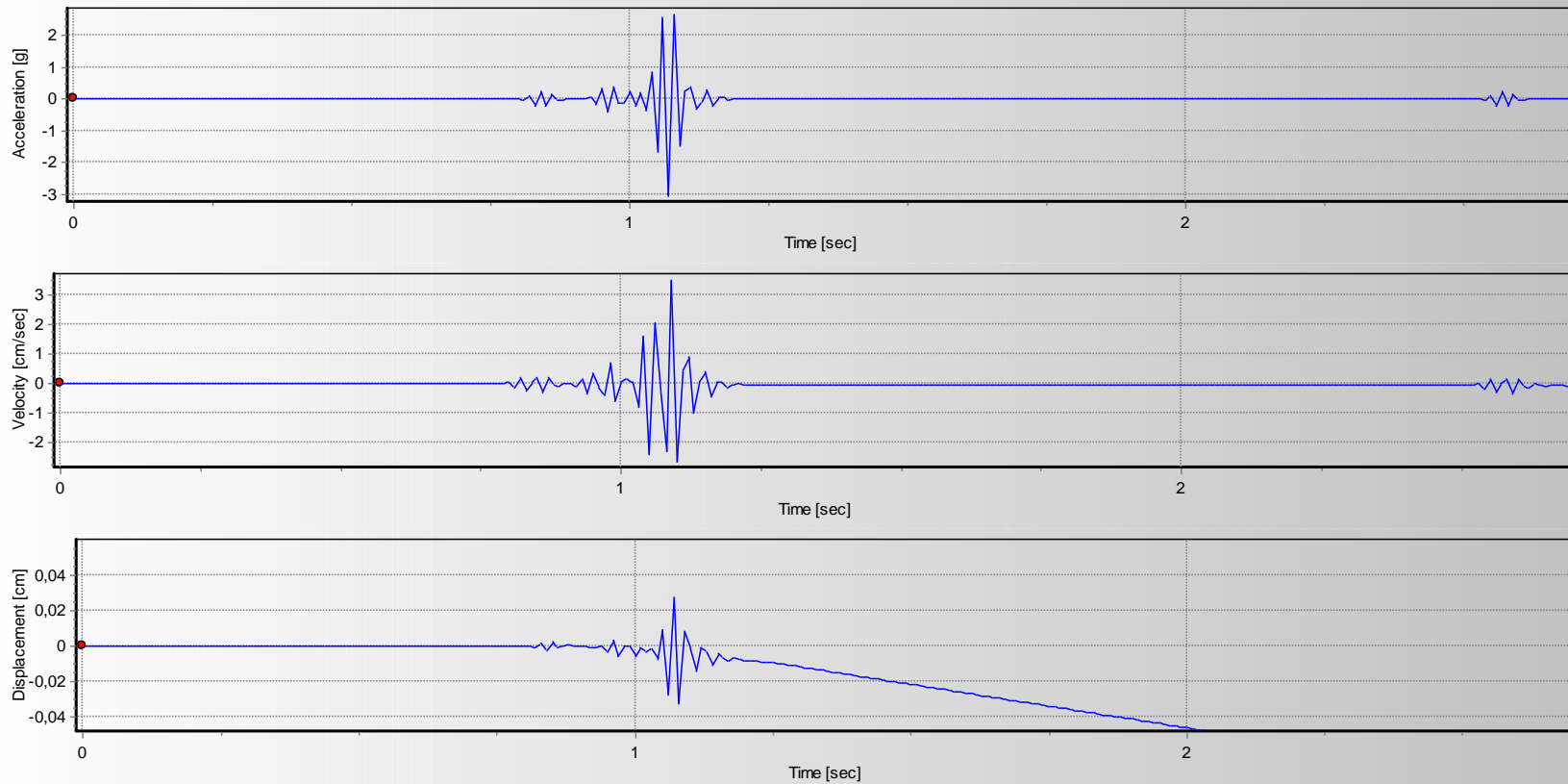
$$u_i := 1.326 \text{ g}$$

$$j := 4$$

$$u_j := 0.043 \text{ g}$$

$$\zeta := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (j)} \cdot \ln \left(\frac{u_i}{u_j} \right)$$
$$\zeta = 13.642\%$$

Ensayo del Tronco 2



$$u_i := 2.655 \text{ g}$$

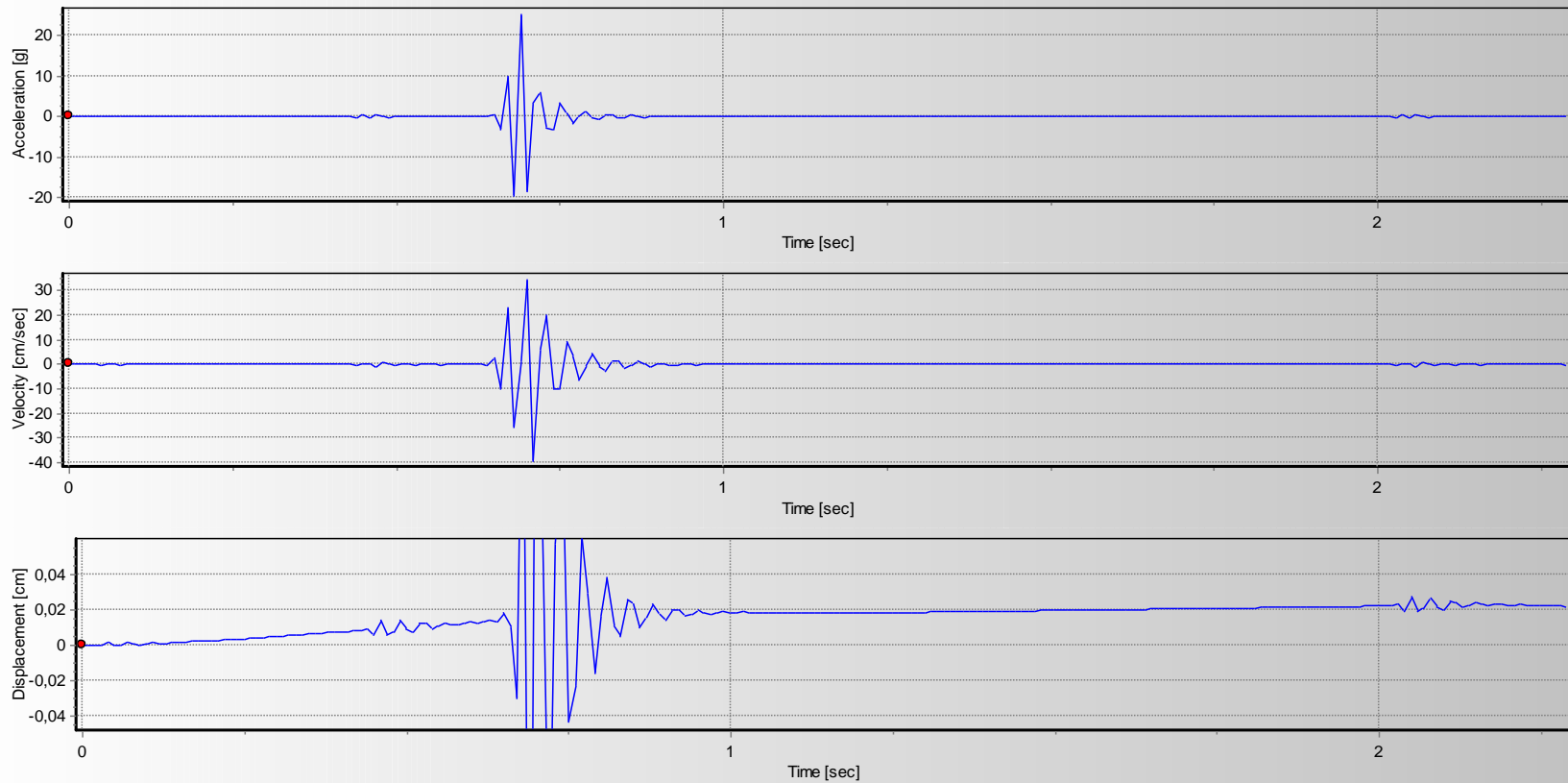
$$j := 2$$

$$u_j := 0.281 \text{ g}$$

$$\zeta := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (j)} \cdot \ln \left(\frac{u_i}{u_j} \right)$$

$$\zeta = 17.872\%$$

Ensayo del Tronco 3



$$u_i := 2.5124 \text{ g}$$

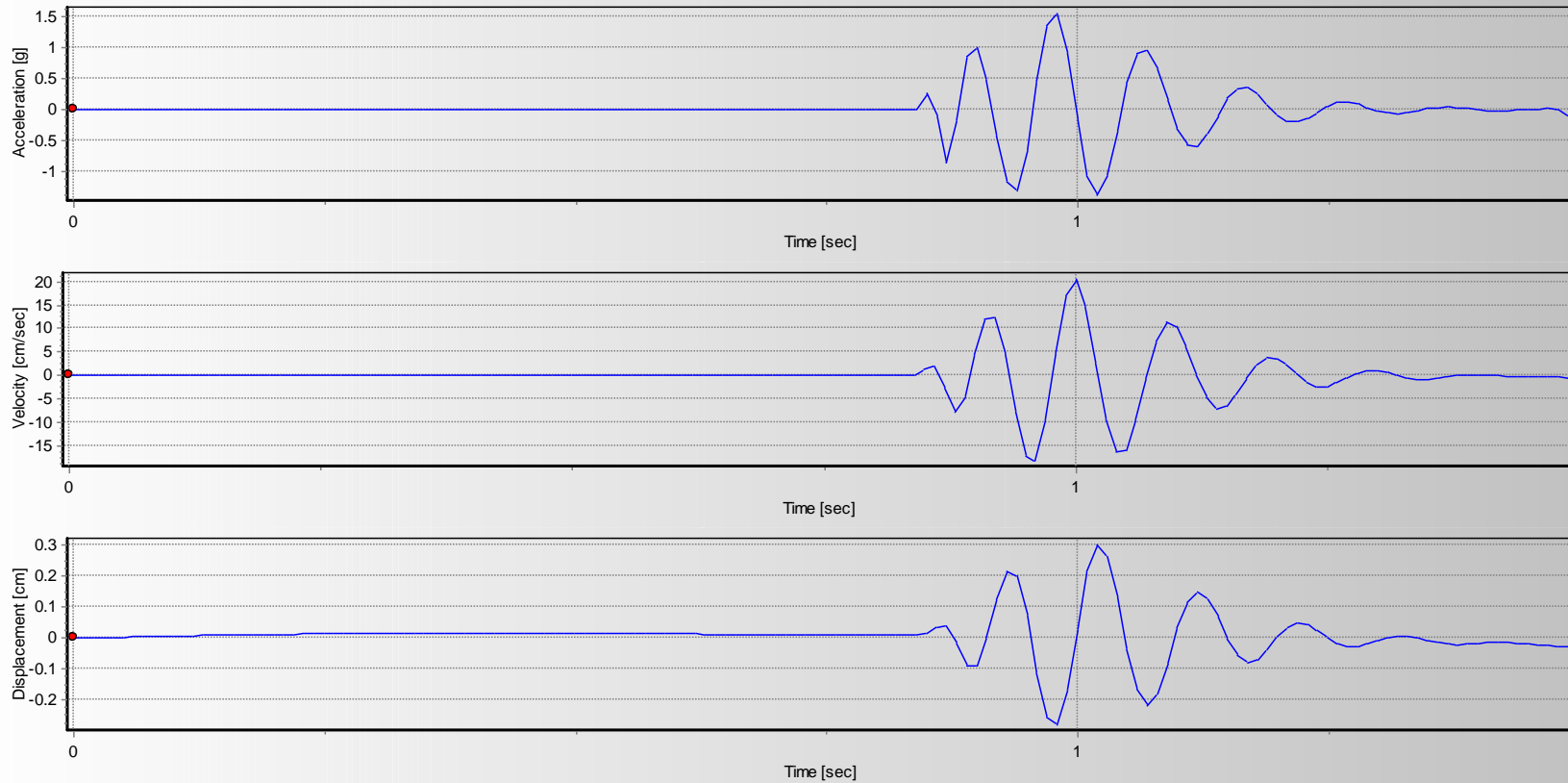
$$j := 3$$

$$u_j := 0.1273 \text{ g}$$

$$\zeta := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (j)} \cdot \ln \left(\frac{u_i}{u_j} \right)$$

$$\zeta = 15.822\%$$

Ensayo del Tronco 4



$$u_i := 1.538 \text{ g}$$

$$j := 3$$

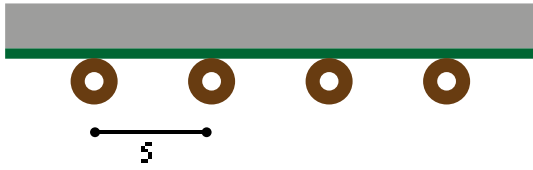
$$u_j := 0.114 \text{ g}$$

$$\zeta := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (j)} \cdot \ln \left(\frac{u_i}{u_j} \right)$$

$$\zeta = 13.804\%$$

ANEXO 4: Prediseño de los elementos estructurales

Losa

DATOS			
Carga Viva	200	kg/cm ²	
Carga Muerta	192,5	kg/cm ²	
Módulo de elasticidad		Esfuerzos	
E Pambil	167286,85	σ Hormigón	210 kg/cm ²
		σ Pambil Flexión	796,85 kg/cm ²
$E_h := 15100 \cdot \sqrt{f'c}$			
E Hormigón	218819,79		
CARGAS			
Cargas Mayoradas	5,895	kg/cm	
$C_t := 1.4 \cdot CM + 1.6 \cdot CV$			
Cargas sin Mayorar	3,925	kg/cm	
$q := CM + CV$			
DISEÑO DE LA LOSETA			
			
Momento			
$M_{max} := \frac{C_t \cdot s^2}{8} \rightarrow \frac{73.6875 \cdot kg \cdot s^2}{m}$			

Módulo de Sección			
Esfuerzo			
$\sigma_h := \frac{M_{max}}{w}$		b	100 cm
		h	6 cm
		w	600 cm ³
		Inercia	1800 cm ⁴
Separación			
s	413,51	cm	
Diseño por flexión			
fmax	3,79	cm	
$f_{max} := \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$			
fadm	1,15	cm	
$f_{adm} := \frac{l}{360}$			
fmax	<	fadm	
3,79	No Cumple	1,15	
Recalcular			
fmax	=	fadm	
$\frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$		$\frac{l}{360}$	=
Separación			
s	306,74	cm	

Viga principal

DATOS				
Carga Viva	200	kg/cm ²		
Carga Muerta	192,5	kg/cm ²		
Módulo de elasticidad		Esfuerzos		
E Pambil	167286,85	σ Hormigón	210	kg/cm ²
$E_h := 15100 \cdot \sqrt{f'c}$		σ Pambil Flexión	796,85	kg/cm ²
E Hormigón	218819,79	Longitud V	500	cm
CARGAS				
Cargas Mayoradas	2,9475	kg/cm		
$C_t := 1.4 \cdot CM + 1.6 \cdot CV$				
Cargas sin Mayorar	1,9625	kg/cm		
$q := CM + CV$				
DISEÑO DE LA VIGA PRINCIPAL				
V				
M				
Diseño por resistencia				
Momento		Cortante		
Positivo	109000	kg*cm	Positivo	2320 kg
Negativo	213000	kg*cm	Negativo	2840 kg
Esfuerzo				

$$\sigma_h := \frac{M_{max}}{w}$$

Módulo de Sección

S 267,30 cm³

Diseño por flexión

Calculo

fmax = fadm

$$\frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{l}{250}$$

Inercia

I 4773,50 cm³

Comprobación

fmax 2,00 cm

$$f_{max} := \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

fadm 2,00

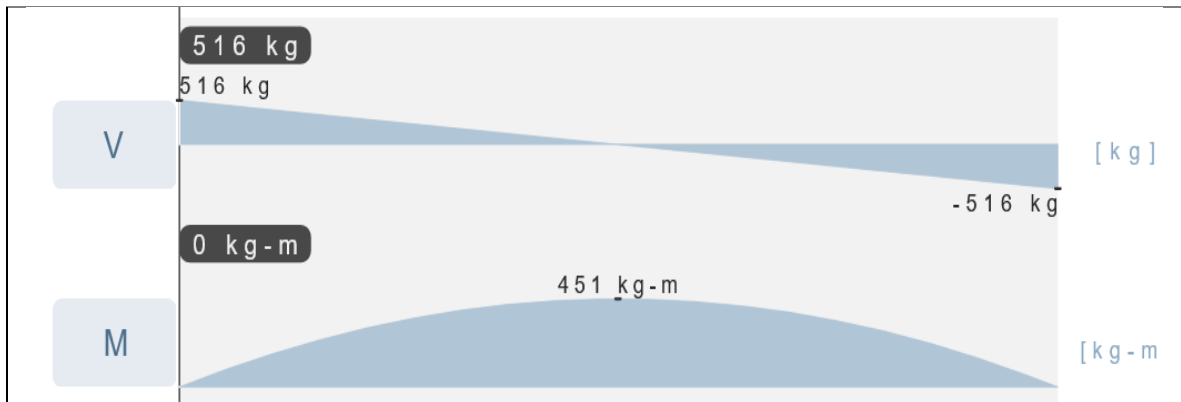
$$f_{adm} := \frac{l}{250}$$

fmax ≤ fadm

2,00 Cumple 2,00

Viga Secundaria

DATOS				
Carga Viva	200	kg/cm ²		
Carga Muerta	192,5	kg/cm ²		
Módulo de elasticidad			Esfuerzos	
E Pambil	167286,85		σ Hormigón	210 kg/cm ²
$E_h := 15100 \cdot \sqrt{f'c}$			σ Pambil Flexión	796,85 kg/cm ²
E Hormigón	218819,79		Longitud V	350 cm
CARGAS				
Cargas Mayoradas	2,9475	kg/cm		
$C_t := 1.4 \cdot CM + 1.6 \cdot CV$				
Cargas sin Mayorar	1,9625	kg/cm		
$q := CM + CV$				
DISEÑO DE LA VIGA SECUNDARIA				
Diseño por resistencia				



Momento $45133,5$ $\text{kg}\cdot\text{cm}$ Cortante $515,81$ kg
 9

$$M := \frac{W \cdot l^2}{8} \qquad R_1 = R_2 = \frac{W \cdot L}{2}$$

Esfuerzo

$$\sigma_h := \frac{M_{max}}{w}$$

Módulo de Sección

S $56,64$ cm^3

Diseño por flexión

Calculo

fmax = fadm

$$\frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{l}{250}$$

Inercia

I $1637,31$ cm^3

Comprobación

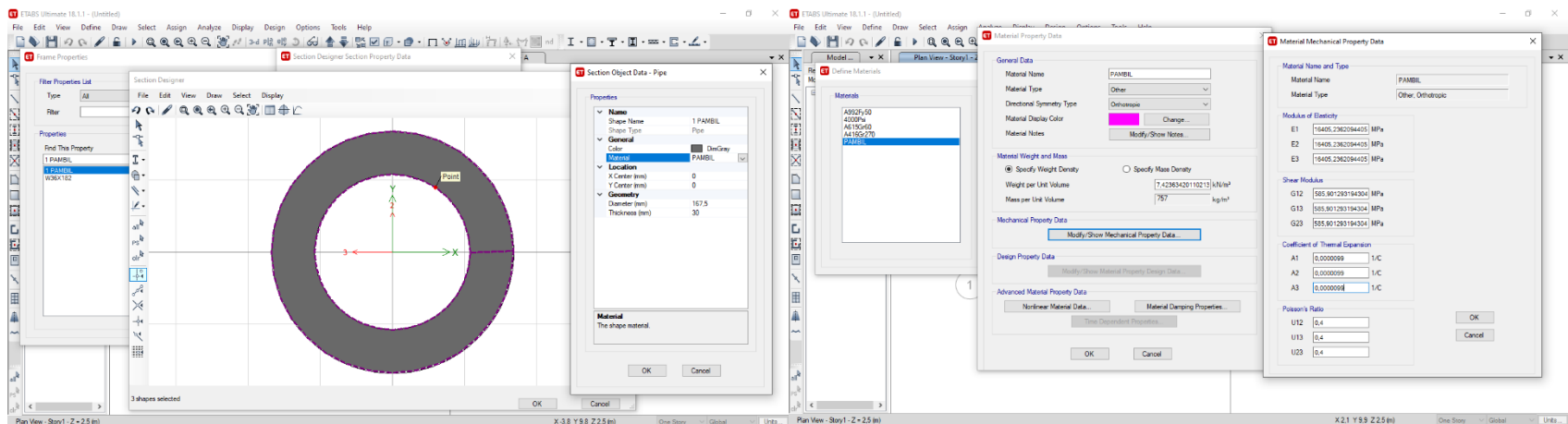
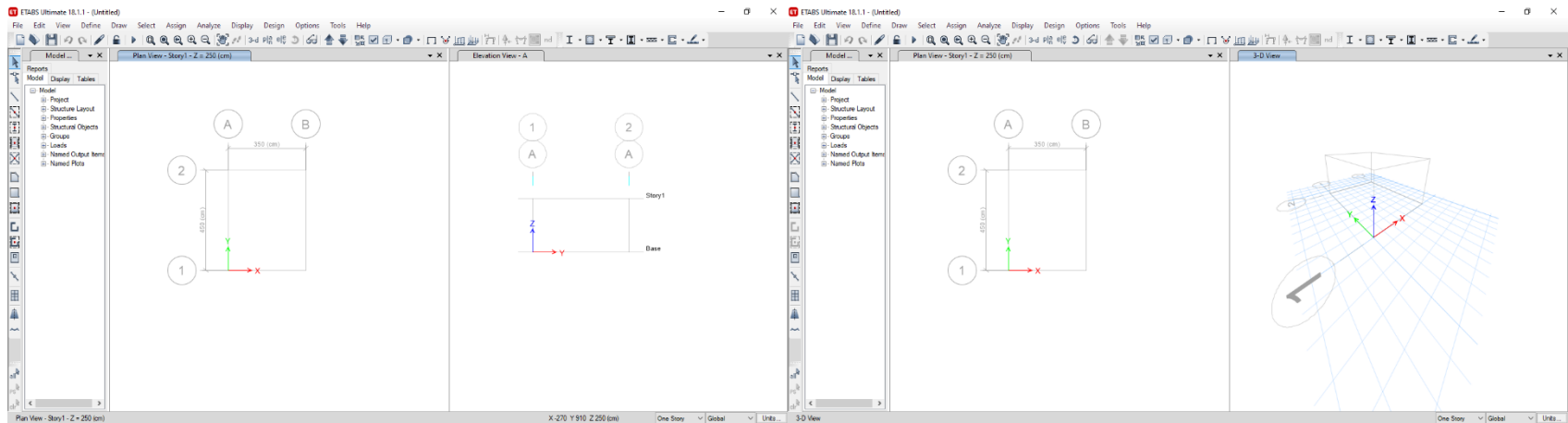
fmax	1,40	cm
$f_{max} := \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$		
fadm	1,40	
$f_{adm} := \frac{l}{250}$		
fmax	≤	fadm
1,40	Cumple	1,40

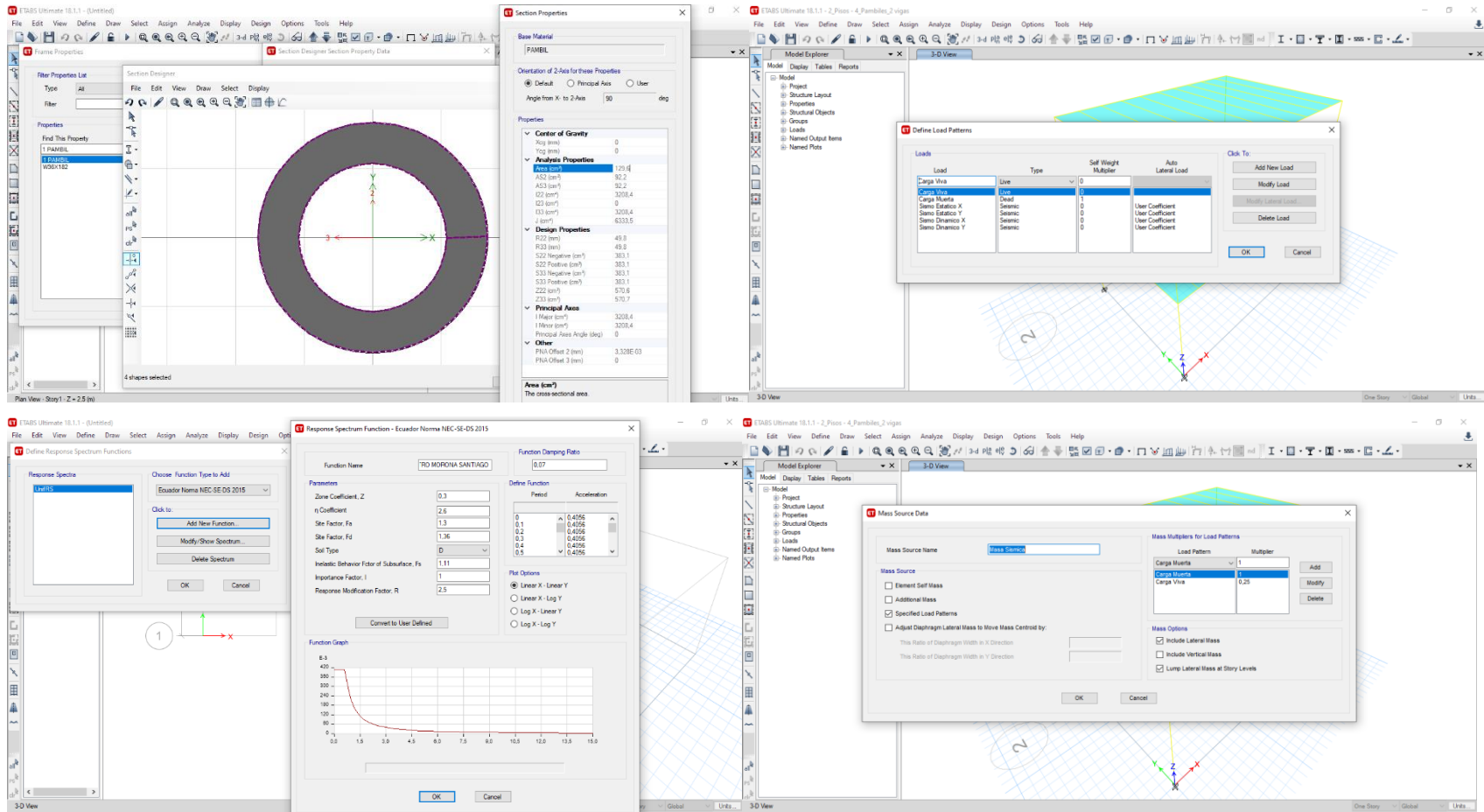
Columna

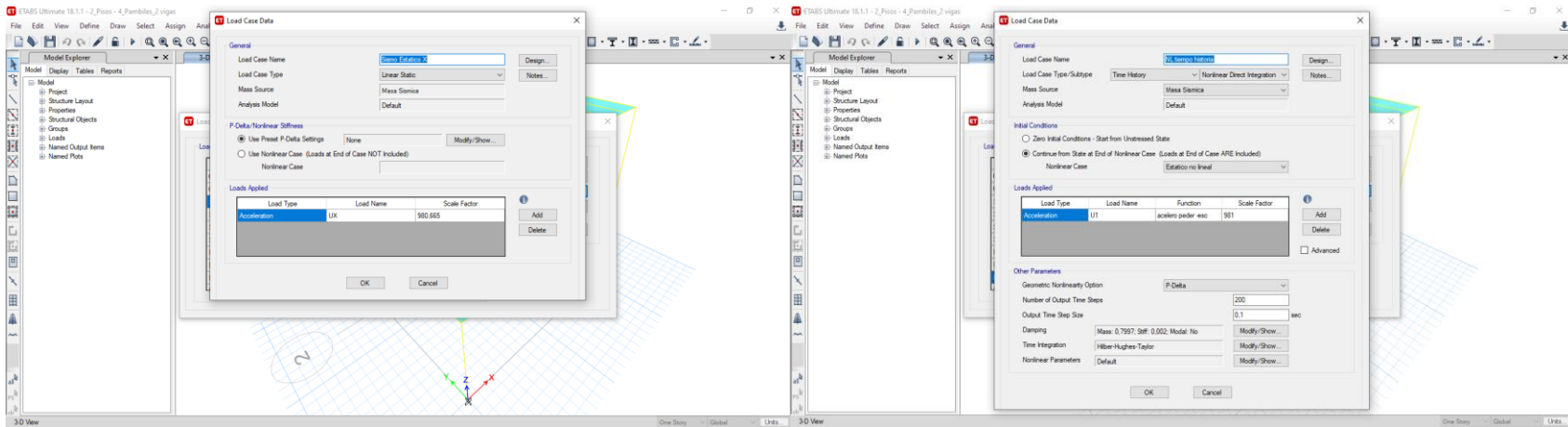
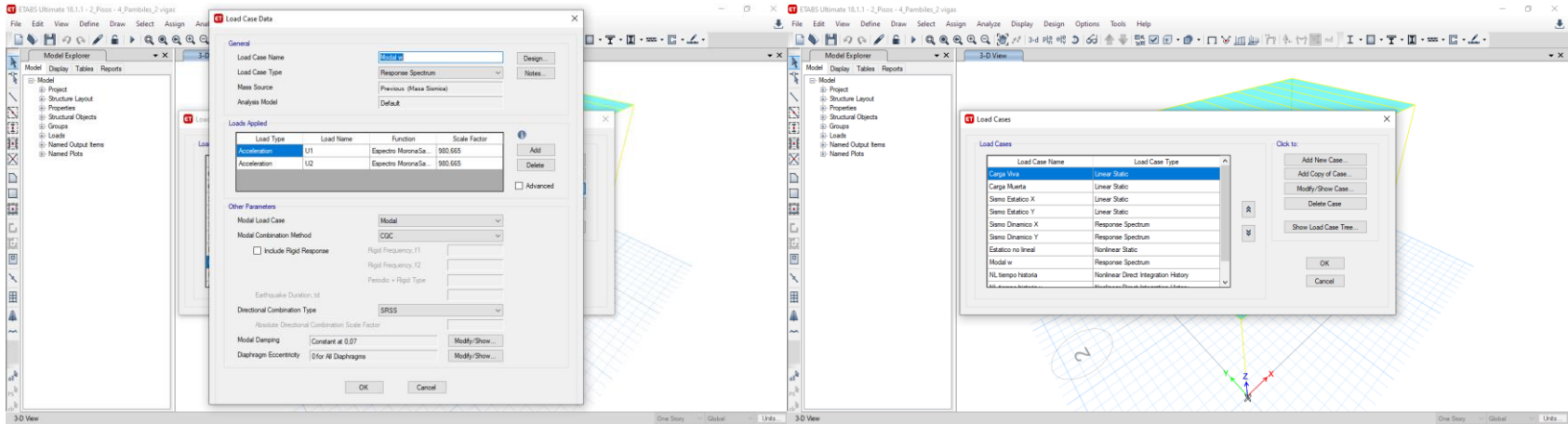
F adm	2320	kg/cm ²
σ Pambil Compresión	501,28	kg/cm ²
Módulo de elasticidad		
E Pambil	167286,85	kg/cm ²
L columna	250	cm
DETERMINACIÓN DE INERCIA CON FORMULA DE EULER		
$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(\beta L)^2} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2}$	β	0,5
	Ncr	6960 Kg
$N_{cr} = 3 * F_{admi}$		
Despejando I de la fórmula anterior se tiene:		
Imin	65,87	cm ⁴
$I := \left(\frac{\pi \cdot \left(\frac{\phi}{2} \right)^4}{4} \right) - \left(\frac{\pi \cdot \left(\frac{\phi}{2} - e \right)^4}{4} \right)$		Con I min calculado, se impone un espesor de 2,5 cm. Y se aplica las siguientes fórmulas de área e inercia.

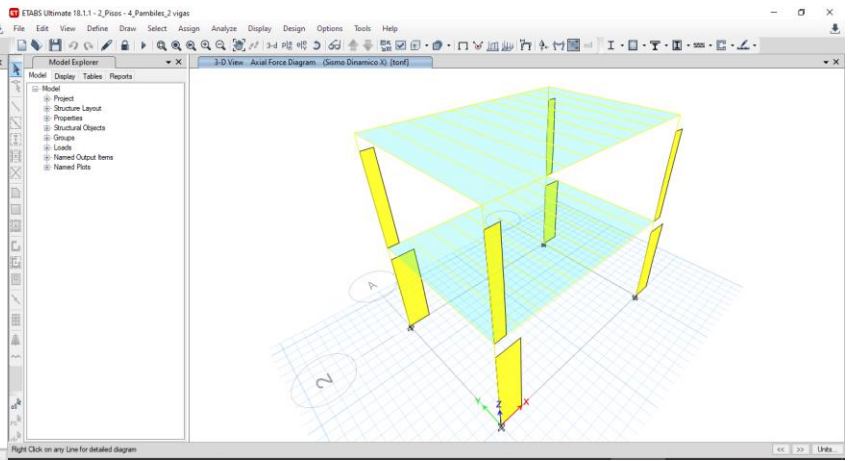
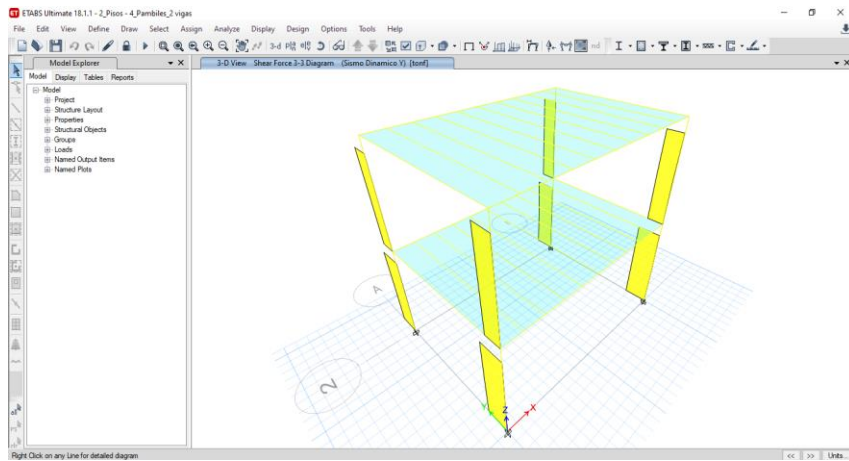
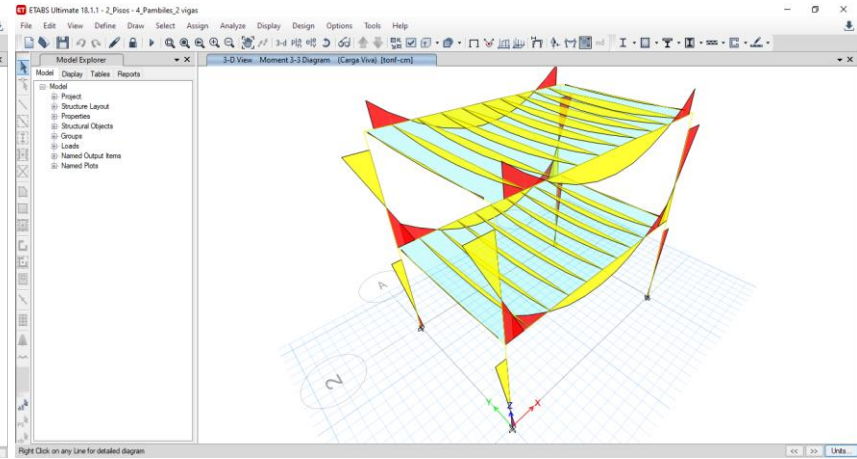
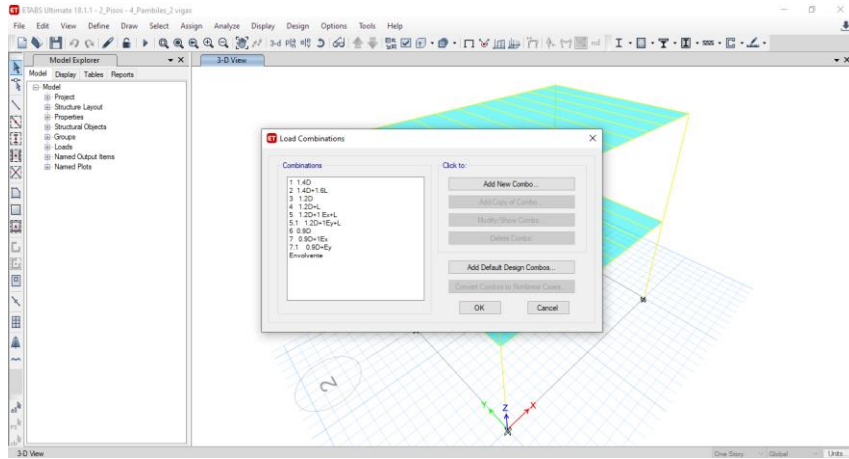
	Diámetro	6,05	cm
$A := \pi \cdot \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 - \pi \cdot \left(\left(\frac{\phi}{2} - e\right)^2\right)$	Área	27,91	cm ²
	COMPROBACIÓN		
El esfuerzo crítico debe ser menor al esfuerzo admisible			
$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{AL_{cr}^2}$	Se calcula con la I y A obtenidas en el paso anterior		
	σ_{cr}	249,372985	kg/cm ²
$\sigma_{Pambil\ Compresión} > \sigma_{cr}$		cumple	

ANEXO 5: Modelación de la estructura en ETABS









ANEXO 6: Resultados de la modelación

Modos de vibrar

Estructura N° 1

<i>Modo de Vibrar</i>	<i>Periodo (s)</i>	<i>Masa en la Dirección X</i>	<i>Masa en la Dirección Y</i>	<i>Masa Acumulada en X</i>	<i>Masa Acumulada Y</i>	<i>Masa Rotacional Z</i>	<i>Masa Acumulada Z</i>
1	0,957	0,8766	0	0,8766	0	0	0
2	0,891	0	0,8871	0,8766	0,8871	0	0
3	0,682	0	0	0,8766	0,8871	0,8851	0,8851
4	0,275	0,1234	0	1	0,8871	0	0,8851
5	0,268	0	0,1129	1	1	0	0,8851
6	0,204	0	0	1	1	0,1149	1

Estructura N° 2

<i>Modo de Vibrar</i>	<i>Periodo (s)</i>	<i>Masa en la Dirección X</i>	<i>Masa en la Dirección Y</i>	<i>Masa Acumulada en X</i>	<i>Masa Acumulada Y</i>	<i>Masa Rotacional Z</i>	<i>Masa Acumulada Z</i>
1	0,528	0	0,9176	0	0,9176	0	0
2	0,4	0,8849	0	0,8849	0,9176	0	0
3	0,36	0	0	0,8849	0,9176	0,902	0,902
4	0,181	0	0,0824	0,8849	1	0	0,902
5	0,122	0,1151	0	1	1	0	0,902
6	0,118	0	0	1	1	0,098	1

Estructura N° 3

<i>Modo de Vibrar</i>	<i>Periodo (s)</i>	<i>Masa en la Dirección X</i>	<i>Masa en la Dirección Y</i>	<i>Masa Acumulada en X</i>	<i>Masa Acumulada Y</i>	<i>Masa Rotacional Z</i>	<i>Masa Acumulada Z</i>
1	0,331	0,86	0	0,86	0	0	0
2	0,315	0	0,8667	0,86	0,8667	0	0
3	0,247	0	0	0,86	0,8667	0,8551	0,8551
4	0,092	0,14	0	1	0,8667	0	0,8551
5	0,091	0	0,1333	1	1	0	0,8551
6	0,071	0	0	1	1	0	0,8551

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **Cristhian Alexander Carrasco Cajamarca** portador de la cedula de ciudadanía N° 0605404458, y **Diana Narcisa Guartasaca Uyaguari** portadora de la cedula de ciudadanía N° 1400847750. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “**Análisis del comportamiento del Pambil como elemento estructural sometido a cargas dinámicas**” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 23 de febrero del 2021



Cristhian Alexander Carrasco Cajamarca.
CI: 0605404458



Diana Narcisa Guartasaca Uyaguari.
CI: 1400847750