

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

“EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN SISTEMA SISMO RESISTENTE A BASE DE PANELES DE FERROCEMENTO Y MADERA REFORZADA CON ACERO PARA VIVIENDAS DE DOS NIVELES, EN LA CIUDAD DEL CUSCO, PERIODO 2016”

AUTOR: Bach. MARIO ALBERTH RUMAJA SANTOS

Cusco Febrero del 2020

Dedicatoria

Dedico la presente tesis a Dios por haberme acompañado y bendecido toda mi vida, gracias señor por todo lo que me has dado y a mi Madre la Sra. Gertrudis Santos Luza por haberme dado la vida y ser la fuerza que me impulsa para lograr todas mis metas, gracias mami por ser la persona más buena del mundo.

Resumen Ejecutivo

El objetivo de esta investigación es desarrollar el análisis sísmico, estático y dinámico de una vivienda de dos niveles, constituida por muros de corte conformados por paneles de madera reforzados y recubiertos con ferrocemento.

Para este estudio se recopiló información referente a viviendas similares tanto en Colombia, Chile y Perú. Bedoya (Colombia) [1] realizó el *Estudio de la Resistencia y Vulnerabilidad Sísmicas de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento*; Barrientos (Chile) [2] estudió el *Diseño en Ferrocemento de un Edificio Destinado a Vivienda Social* y de Kuroiwa (Perú) [3] investigó sobre *El Ferrocemento en la Construcción de Viviendas en el Perú*.

El sistema estructural que se propone en este estudio consiste en muros de corte conformados por paneles de madera que utilizan revestimiento de planchas de ferrocemento en ambas caras. Además, los pie derechos de los paneles se refuerzan con pletinas de acero. Como sistema de piso-diafragma se utilizó vigas y viguetas de madera reforzadas con pletinas de acero y recubiertas como sistema de piso con una plancha de ferrocemento.

La metodología empleada en esta investigación es la teoría de secciones compuestas, para el análisis de los elementos de sección compuesta primero se dimensiono cada uno de los elementos del sistema, como segundo paso se procedió a calcular las propiedades que posee cada uno de ellos como son: el área de sección equivalente en madera, momento de inercia de la sección equivalente y las dimensiones que sirvieron en el ensayo en laboratorio.

Se realizaron ensayos de laboratorio de cada uno de los elementos componentes del sistema, el ensayo realizado sobre los elementos del piso-diafragma fue de flexión simple, por otra parte, el elemento de muro de corte se sometió a la prueba de compresión diagonal.

Se realizó un análisis sísmico según lo indica la norma E-030 de diseño sismo resistente asistidos por el software Sap 2000, el análisis realizado sirvió para comprobar los límites de distorsión de entrepiso establecidos por la norma E-030, también se obtuvieron los esfuerzos a los que está sometido cada uno de los elementos que componen el sistema para su posterior diseño.

En la parte final de esta investigación se realizó el diseño de cada uno de los elementos componentes del sistema, el diseño realizado fue basando en la norma E-010 de diseño en madera del Reglamento Nacional de Edificaciones, ya que este material está dentro de la conformación de cada uno de los elementos del sistema y posee el menor módulo de elasticidad.

Las conclusiones de esta investigación son: el cálculo de las distorsiones máximas de entrepiso, las cargas máximas en los ensayos de laboratorio, esfuerzos provocados por el

análisis sísmico estático sobre cada uno de los elementos y diseño de los elementos de sección compuesta. Las distorsiones son 0.064% y de 0.150% para la dirección “X”, para la dirección “Y” son de 0.064% y de 0.104% esto para el primer y segundo nivel respectivamente. En la prueba de flexión simple la losa compuesta soporto una carga promedio de 4.75 t, la viga compuesta soporto 12.56 t, la placa compuesta soporto una carga diagonal promedio de 30.52 t. Los esfuerzos máximos son de 9.1578 t como carga axial que actúa sobre la placa compuesta, la fuerza cortante máxima es de 2.0692, 10.2636 y 0.801 t para la placa compuesta, viga reforzada con platina de acero y losa compuesta respectivamente, los valores máximos del momento flector son de 2.7666, 2.6226 y 0.318 t/m. El diseño de los elementos dio como resultado para la placa compuesta de un espesor de 15 cm, ancho de 120 cm y altura de 240cm, las vigas serán de una sección de 10 cm de base y un peralte de 30cm, las viguetas de la losa compuesta serán de madera de 6.5cm de espesor y peralte de 15cm.

[1] Daniel Alveiro Bedoya Ruiz (Ingeniero Civil docente la Universidad de Medellín).

[2] Carla Alejandra Barrientos Opazo (Ingeniero Civil por la Universidad de Austral de Chile)

[3] Carmen Kuroiwa Horiuchi (Investigadora del Servicio Nacional de Capacitación Para la industria de la Construcción “SENCICO”).

Executive Summary

The objective of this research is to develop the seismic, static and dynamic analysis of a two-level house, consisting of cutting walls made of reinforced wood panels and coated with ferrocement.

For this study, information regarding similar homes was collected in both Colombia, Chile and Peru. Bedoya (Colombia) [1] carried out the Study of Seismic Resistance and Vulnerability of low-cost homes structured with ferrocement; Barrientos (Chile) [2] studied the Ferrocement Design of a Building for Social Housing and Kuroiwa (Peru) [3] investigated the Ferrocement in Housing Construction in Peru.

The structural system proposed in this study consists of cutting walls made up of wooden panels that use ferrocement sheet cladding on both sides. In addition, the right feet of the panels are reinforced with steel plates. As a floor-diaphragm system, wooden beams and joists were used reinforced with steel plates and covered as a floor system with a ferrocement plate.

The methodology used in this research is the theory of composite sections, for the analysis of the elements of the composite section, each of the elements of the system was first sized, as a second step we proceeded to calculate the properties that each of them possesses as they are: the area of equivalent section in wood, moment of inertia of the equivalent section and the dimensions that served in the laboratory test.

The essays of laboratory of every one of the component elements of the system, the essay sold off on the elements of the floor sold off diaphragm themselves it became of simple push-up, on the other hand, the member of structural wall submitted to the proof of diagonal compression.

A seismic analysis was carried out as indicated by the E-030 standard of resistant earthquake design assisted by the Sap 2000 software, the analysis was used to check the mezzanine distortion limits established by the E-030 standard, the efforts to which is submitted each of the elements that make up the system for later design.

In the final part of this investigation, the design of each of the component elements of the system was carried out, the design carried out was based on the E-010 standard of wood design of the National Building Regulation, since this material is within the conformation of each of the elements of the system and has the lowest modulus of elasticity.

The conclusions of this investigation are: the calculation of the maximum distortions of mezzanine, the maximum loads in the laboratory tests, efforts caused by the static seismic analysis on each one of the elements and design of the elements of compound section. The

distortions are 0.064% and 0.150% for the “X” direction, for the “Y” direction they are 0.064% and 0.104% for the first and second level respectively. In the simple bending test the composite slab bore an average load of 4.75 t, the composite beam carried 12.56 t, the composite plate supported an average diagonal load of 30.52 t. The maximum stresses are 9.1578 t as axial load acting on the composite plate, the maximum shear force is 2.0692, 1.2636 and 0.801 t for the composite plate, reinforced beam with steel plate and composite slab respectively, the maximum values of the moment flector are 2.7666, 2.6226 and 0.318 t/m. The design of the elements resulted in the composite plate of a thickness of 15 cm, width of 120 cm and height of 240cm, the beams will be of a section of 10 cm of base and a cant of 30cm, the joists of the slab Composed will be 6.5cm thick wood and 15cm cant.

[1] Daniel Alveiro Bedoya Ruiz (Teaching Civil Engineer at the University of Medellín).

[2] Carla Alejandra Barrientos Opazo (Civil Engineer from the University of Austral de Chile)

[3] Carmen Kuroiwa Horiuchi (Researcher at the National Training Service for the Construction industry “SENCICO”).

Lista de tablas

Tabla 1: Matriz de consistencia.....	10
Tabla 2: Densidad Básica de la Madera	19
Tabla 3: Módulo de Elasticidad para la Madera	19
Tabla 4: Esfuerzos Admisibles para la Madera.....	20
Tabla 5: Tipos de Aceros Estructural.....	21
Tabla 6: Fu y Fy para el Acero Estructural	22
Tabla 7: Propiedades Malla Hexagonal Galvanizada	23
Tabla 8: Propiedades Acero ASTM A615 Grado 60	24
Tabla 9: Especificaciones Granulométricas de Áridos Finos para el Ferrocemento.....	25
Tabla 10: Propiedades de la arena de "Kunyac"	25
Tabla 11: Propiedades para los Pernos de Conexión	26
Tabla 12: Secciones de Madera en los Elementos	35
Tabla 13: Secciones de Acero en los Elementos.....	35
Tabla 14: Dosificación para el Ferrocemento	35
Tabla 15: Malla de Acero para los Elementos	35
Tabla 16: Diámetro de Pernos y Espaciamiento	36
Tabla 17: Elementos en Placa Compuesta	44
Tabla 18: Propiedades de los elementos en Viga Reforzada	44
Tabla 19: Propiedades de los Elementos en Losa Compuesta	45
Tabla 20: Calculo del momento de inercia de la sección equivalente paralelo al eje "X" ..	48
Tabla 21: Calculo del momento de inercia de la sección equivalente paralelo al eje "Y" ..	49
Tabla 22: Calculo del momento de inercia de la sección equivalente de la viga compuesta	51
Tabla 23: Momento de Inercia de la sección equivalente en losa compuesta.....	53
Tabla 24: Dimensiones de elementos en Placa Compuesta	55
Tabla 25: Resultados de ensayo sobre Placas Compuestas.....	56
Tabla 26: Dimensiones Viga Reforzada para ensayo en Laboratorio.....	58
Tabla 27: Resultados de Pruebas de Laboratorio sobre Viga Reforzada.....	61
Tabla 28: Módulos de Elasticidad de los Ensayos	61
Tabla 29: Dimensiones de Losa Compuesta	63
Tabla 30: Resultados de Laboratorio en Losa Compuesta.....	66
Tabla 31: Módulos de Elasticidad de los ensayos Sobre Losa Compuesta.....	66

Tabla 32: Peso de los Elementos del Sistema Estructural.....	73
Tabla 33: Peso de la Placa Compuesta por unidad	75
Tabla 34: Peso total de las placas compuestas	75
Tabla 35: Peso de la viga compuesta por metro lineal.....	75
Tabla 36: Peso total de vigas compuestas	76
Tabla 37: Peso de losa compuesta por metro cuadrado	76
Tabla 38: Peso total de la losa compuesta.....	76
Tabla 39: Peso de la tabiquería por metro lineal.....	76
Tabla 40: Peso total de la tabiquería	77
Tabla 41: Otras cargas muertas a considerar.....	77
Tabla 42: Peso total de la carga viva.....	77
Tabla 43: Modulo de elasticidad de la madera Copaiba	78
Tabla 44: Geometría de los elementos de la vivienda.....	78
Tabla 45: Cortante basal por piso.....	83
Tabla 46: Limite de Desplazamientos Laterales	86
Tabla 47: Derivas inelásticas por sismo estático en el eje "X"	86
Tabla 48: Derivas inelásticas por sismo estático en el eje "Y"	86
Tabla 49: Resumen de Fuerzas Provocadas por Sismo Estático.....	94
Tabla 50: Modulo de elasticidad de la madera para el análisis dinámico	95
Tabla 51: Secciones de elementos para el análisis dinámico.....	95
Tabla 52: Aceleración espectral para $0 \leq T \leq 4$ segundos	96
Tabla 53: Limite de Desplazamientos Laterales	102
Tabla 54: Derivas inelásticas por sismo dinámico en el eje "X"	103
Tabla 55: Derivas inelásticas por sismo dinámico en el eje "Y"	103
Tabla 56: Resumen de Fuerzas por Sismo Dinámico	113
Tabla 57: Fuerzas Máximas en los Elementos	113
Tabla 58: Esfuerzos Máximos Obtenidos en Laboratorio.....	114
Tabla 59: Base de la sección equivalente en madera de la viga compuesta.	117
Tabla 60: Calculo del "I" de la sección equivalente de la viga compuesta.....	117
Tabla 61: Base de la sección equivalente en madera de la losa compuesta.	122
Tabla 62: Calculo del "I" de la sección equivalente de la losa compuesta	122
Tabla 63: Base de la sección equivalente en madera de la viga compuesta.	125
Tabla 64: Calculo del "I" de la sección equivalente de la viga compuesta.....	126
Tabla 65: Base de sección equivalente en madera de la placa compuesta.....	133

Tabla 66: Calculo del "I" de sección equivalente en madera de la placa compuesta para el eje "X"	133
Tabla 67: Calculo del "I" de sección equivalente en madera de la placa compuesta para el eje "Y"	134
Tabla 68: Esfuerzos cortantes en la placa compuesta	137
Tabla 69: Base de la sección equivalente en madera de la losa compuesta	139
Tabla 70: Calculo del "I" de la sección equivalente de la losa compuesta.	139

Lista de imágenes

Imagen 1: Pasos de la investigación.....	8
Imagen 2: Pasos en la metodología de la tesis	9
Imagen 3: Dirección del Grano en la madera.....	14
Imagen 4: Compresión Paralela a la Fibra	14
Imagen 5: Compresión Perpendicular a las Fibras.....	15
Imagen 6: Tracción paralela a la Fibra.....	15
Imagen 7: Corte perpendicular y Paralelo a la Fibra.....	16
Imagen 8: Resistencia a la Flexión paralela a la Fibra.....	16
Imagen 9: Propiedades Elástica de la Madera.....	17
Imagen 10: Malla de gallinero	23
Imagen 11: Pernos de Conexión	26
Imagen 12: Sección de dos Materiales.....	27
Imagen 13: Momento Flector en Sección de Varios Materiales	28
Imagen 14: Placa Compuesta.....	32
Imagen 15: Viga de Madera Reforzada con Acero	33
Imagen 16: Losa Compuesta.....	34
Imagen 17: Unión Madera con Platina de Acero	36
Imagen 18: Etapas de conformación del panel de ferrocemento	37
Imagen 19: Armadura Discreta en Ferrocemento (dimensiones en metros).....	37
Imagen 20: Armadura Difusa en Ferrocemento (dimensiones en metros).....	38
Imagen 21: Perforaciones para la Armadura Discreta en Placa Compuesta	40
Imagen 22: Sección de Placa Compuesta.....	41
Imagen 23: Elementos de Viga de Madera Reforzada.....	41
Imagen 24: Elementos de Losa Compuesta	42
Imagen 25: Dimensiones en metros de los elementos de Placa Compuesta	44
Imagen 26: Dimensiones en metro de Viga Madera Reforzada con Acero	45
Imagen 27: Dimensiones en metros de Losa Compuesta.....	45
Imagen 28: Análisis en Placa Compuesta	46
Imagen 29: Mitad de Sección de Placa Compuesta (dimensiones en metros).....	47
Imagen 30: Mitad de Sección Equivalente de Placa Compuesta en Madera (dimensiones en metros).....	47

Imagen 31: Sección de Placa Compuesta equivalente en Madera (dimensiones en metros)	48
Imagen 32: Sección de Viga Reforzada para el Análisis (dimensiones en metros)	50
Imagen 33: Sección Equivalente en Madera de Viga Reforzada	50
Imagen 34: Desarrollo de Sección Equivalente en Madera de Viga Reforzada (dimensiones en metros)	51
Imagen 35: Sección de Análisis de Losa Compuesta (dimensiones en metros)	52
Imagen 36: Sección Equivalente en Madera de Losa Compuesta (dimensiones en metros)	53
Imagen 37: Desarrollo de Sección Equivalente en Madera de Losa Compuesta	53
Imagen 38: Dimensiones de Placa Compuesta	54
Imagen 39: Dimensiones de Viga Reforzada para el Ensayo de Laboratorio	57
Imagen 40: Modulo de Elasticidad Gráficamente	61
Imagen 41: Dimensiones de Losa Compuesta para el Ensayo en Laboratorio	62
Imagen 42: Procedimiento para la modelación con Software	67
Imagen 43: Arquitectura en planta Primer Nivel	68
Imagen 44: Arquitectura en Planta Segundo Nivel	69
Imagen 45: Arquitectura en Elevación Corte A-A	70
Imagen 46: Arquitectura Elevación Principal	70
Imagen 47: Estructuras de losa y viga en Planta Primer Nivel	71
Imagen 48: Estructuras en Planta de vigas Segundo Nivel	72
Imagen 49: Dimensiones en metros de los elementos estructurales de la Vivienda	73
Imagen 50: Factores sísmicos según la Norma E-030	74
Imagen 51: Esquema de la definición geométrica de la vivienda	79
Imagen 52: Modelo de la Vivienda en Planta y 3D en el Sap 2000	80
Imagen 53: Modelo de la Vivienda en Elevación y 3D en el Sap 2000	80
Imagen 54: Modos de Vibración de la Vivienda obtenidos en el Sap 2000	81
Imagen 55: Cortante Basal por Sismo Estático Calculado por el Sap 2000	82
Imagen 56: Desplazamiento 1° Nivel por Sismo Estático en X, Sap 2000	84
Imagen 57: Desplazamiento 1° Nivel por Sismo Estático en Y, Sap 2000	84
Imagen 58: Desplazamiento 2° Nivel por Sismo Estático en X, Sap 2000	85
Imagen 59: Desplazamiento 2° Nivel por Sismo Estático en Y, Sap 2000	85
Imagen 60: Fuerza Axial por Sismo Estático en Placa Compuesta	87
Imagen 61: Carga Axial Máxima por Sismo Estático Sobre Placa Compuesta	88

Imagen 62: Fuerza Cortante por Sismo Estático Sobre Placa Compuesta.....	88
Imagen 63: Fuerza Cortante Máxima por Sismo Estático Sobre Placa Compuesta	89
Imagen 64: Fuerza Cortante por Sismo Estático Sobre Viga Compuesta.....	89
Imagen 65: Fuerza Cortante Máxima por Sismo Estático Sobre Viga Compuesta	90
Imagen 66: Momento Flector por Sismo Estático Sobre Placa Compuesta.....	90
Imagen 67: Momento Flector Máximo por Sismo Estático Sobre Placa Compuesta	91
Imagen 68: Momento Flector por Sismo Estático Sobre Viga de Madera Reforzada	91
Imagen 69: Momento Flector Máximo por Sismo Estático Sobre la viga de eje B-B.....	92
Imagen 70: Fuerza Cortante por Sismo Estático Sobre Losa Compuesta.....	92
Imagen 71: Momento Flector Negativo por Sismo Estático sobre Losa Compuesta.....	93
Imagen 72: Deformación de la Losa Compuesta	93
Imagen 73: Esquema de definición geométrica para el análisis dinámico.....	97
Imagen 74: Modelo de la Vivienda en Planta y 3D en el Sap 2000, análisis sísmico dinámico	99
Imagen 75: Modelo de la Vivienda en Elevación y 3D en el Sap 2000, análisis sísmico dinámico	99
Imagen 76: Desplazamiento 1° Nivel por Sismo Dinámico en X, Sap 2000.....	100
Imagen 77: Desplazamiento 1° Nivel por Sismo Dinámico en Y, Sap 2000.....	101
Imagen 78: Desplazamiento 2° Nivel por Sismo Dinámico en X, Sap 2000.....	101
Imagen 79: Desplazamiento 2° Nivel por Sismo Dinámico en Y, Sap 2000.....	102
Imagen 80: Cortante Basal Mínima por Sismo Dinámico	104
Imagen 81: Escalonamiento para Sismo Dinámico en "X"	105
Imagen 82: Escalonamiento para Sismo Dinámico en "Y"	105
Imagen 83: Verificación para Sismo Dinámico	106
Imagen 84: Fuerza Axial por Sismo Dinámico en Placa Compuesta	106
Imagen 85: Fuerza Axial Máxima por Sismo Dinámico en Placa Compuesta	107
Imagen 86: Fuerza Cortante por Sismo Dinámico en Placa Compuesta	107
Imagen 87: Fuerza Cortante Máxima por Sismo Dinámico en Placa Compuesta	108
Imagen 88: Fuerza Cortante por Sismo Dinámico en Viga Reforzada	108
Imagen 89: Fuerza Cortante Máxima por Sismo Dinámico en Viga Reforzada.....	109
Imagen 90: Momento Flector por Sismo Dinámico en Placa Compuesta	109
Imagen 91: Momento Flector Máximo por Sismo Dinámico en Placa Compuesta.....	110
Imagen 92: Momento Flector por Sismo Dinámico en Viga de Madera Reforzada con Acero	110

Imagen 93: Momento Flector Máximo por Sismo Dinámico en Viga Reforzada	111
Imagen 94: Fuerza Cortante por Sismo Dinámico en Losa Compuesta	111
Imagen 95: Momento Flector Máximo Negativo por Sismo Dinámico en Losa Compuesta	112
Imagen 96: Deformación de la losa compuesta por Sismo Dinámico	112
Imagen 97: Viga simplemente apoyada	114
Imagen 98: Parámetros para el Pre-dimensionamiento de Vigas Compuestas	116
Imagen 99: Sección equivalente en madera de la viga compuesta.	117
Imagen 100: Sección de Viga compuesta para el diseño de la Vivienda (dimensiones en metros).....	118
Imagen 101: Área tributaria de carga sobre placa compuesta.....	119
Imagen 102: Sección de Placa Compuesta para el diseño de la Vivienda (dimensiones en metros).....	120
Imagen 103: Parámetros para el Pre-dimensionamiento de losa Compuestas	121
Imagen 104: Sección equivalente en madera de la losa compuesta.....	121
Imagen 105: Sección de Losa Compuesta para el diseño de la Vivienda (dimensiones en metros).....	123
Imagen 106: Sección equivalente para el diseño en madera de la viga compuesta.	125
Imagen 107: Sección de viga compuesta por momentos positivos.....	127
Imagen 108: Sección de viga compuesta por momentos negativos.....	128
Imagen 109: Sección equivalente para el diseño en madera de la placa compuesta.....	132
Imagen 110: Diseño por esfuerzo cortante en la placa compuesta.	136
Imagen 111: Sección equivalente para el diseño en madera de la losa compuesta.....	138
Imagen 112: Sección de losa compuesta por momentos positivos.	140
Imagen 113: Sección de losa compuesta por momentos negativos.	141
Imagen 114: Captura de Pantalla Durante Ensayo Sobre VR-1	152
Imagen 115: Captura de Pantalla Durante Ensayo Sobre VR-2	152
Imagen 116: Captura de Pantalla Durante Ensayo Sobre VR-3	153
Imagen 117: Captura de Pantalla Durante Ensayo Sobre VRF-1	153
Imagen 118: Captura de Pantalla Durante Ensayo Sobre VRF-2	154
Imagen 119: Captura de Pantalla Durante Ensayo Sobre VRF-3	154

Lista de gráficos

Grafico 1: Curva esfuerzo Deformación en VR-1	60
Grafico 2: Curva esfuerzo Deformación en VR-2	60
Grafico 3: Curva esfuerzo Deformación en VR-3	61
Grafico 4: Curva esfuerzo Deformación en VRF- 1	65
Grafico 5: Curva esfuerzo Deformación en VRF- 2	65
Grafico 6: Curva esfuerzo Deformación en VRF- 3	66
Grafico 7: Derivas Inelásticas por Sismo Estático	87
Grafico 8: Espectro de Pseudo-aceleración.....	97
Grafico 9: Derivas Inelásticas por Sismo Dinámico	103

Lista de fotografías

Fotografía 1: Armadura discreta	23
Fotografía 2: Mortero para el Ferrocemento	38
Fotografía 3: Aplicación del Mortero de Ferrocemento.....	39
Fotografía 4: Conformado de Encofrado en Losa Compuesta.....	39
Fotografía 5: Mortero de Ferrocemento en Losa Compuesta	40
Fotografía 6: Placa Compuesta con ambas sección de Ferrocemento	41
Fotografía 7: Viga de Madera Reforzada con Acero	42
Fotografía 8: Losa Compuesta	43
Fotografía 9: Acabados en losa compuesta y placa compuesta	43
Fotografía 10: Ensayo de Compresión Diagonal sobre Placa PC-1.....	55
Fotografía 11: Ensayo de Compresión Diagonal sobre Placa PC-2.....	56
Fotografía 12: Ensayo de Compresión Diagonal sobre Placa PC-3.....	56
Fotografía 13: Ensayo de Flexión Simple en VR-1	58
Fotografía 14: Ensayo de Flexión Simple en VR-2	59
Fotografía 15: Ensayo de Flexión Simple en VR-3	59
Fotografía 16: Ensayo de Flexión Simple sobre Losa Compuesta VRF-1	63
Fotografía 17: Ensayo de Flexión Simple sobre Losa Compuesta VRF-2	64
Fotografía 18: Ensayo de Flexión Simple sobre Losa Compuesta VRF-3	64

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo 1. DISEÑO METODOLOGICO	3
1.1. Formulación del Problema General (PG).....	3
1.1.1. Problemas específicos (PE).....	3
1.2. La Necesidad de Viviendas en la Ciudad del Cusco.	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
1.4. Justificación.....	5
1.5. Alcances y Limitaciones.....	5
1.6. Hipótesis.....	5
1.6.1. Hipótesis General.....	5
1.6.2. Hipótesis Específica.....	6
1.7. Tipo de Investigación	6
1.8. Nivel de la Investigación	7
1.9. Diseño de la Investigación.....	7
1.10. Población	7
1.11. Tamaño Muestral.....	7
1.12. Muestra	7
1.13. Técnica de Investigación	8
1.14. Metodología de la Tesis.....	8
1.15. Análisis e Interpretación de Datos.....	9
1.16. matriz de consistencia.....	10
Capítulo 2. MARCO TEORICO CONCEPTUAL	11
2.1. Antecedentes de la Investigación	11
2.1.1. Sistema constructivo en madera.....	11

2.1.2.	Los Sistemas Constructivos en Acero.....	11
2.1.3.	Los Sistemas Constructivos en Ferrocemento.	12
2.2.	Marco Conceptual.....	12
2.2.1.	Madera.	12
2.2.2.	Acero Estructural.	20
2.2.3.	Malla de Acero.....	22
2.2.4.	Cemento:.....	24
2.2.5.	Agregados:	24
2.2.6.	Pernos de Unión.....	25
2.3.	Marco Teórico para el Análisis.	26
2.3.1.	Secciones Compuestas	26
2.4.	Características del Software de Análisis Elegido.	30
Capítulo 3. PROCEDIMIENTO PARA LA FABRICACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL.		32
3.1.	Descripción General del Sistema:.....	32
3.2.	Proceso de Fabricación.....	34
3.2.1.	Habilitación de Materiales.	34
3.2.2.	Anclaje del Refuerzo de Acero a las Columnas, Vigas y Viguetas de Madera. 35	
3.3.	Fabricación de Paneles de Ferrocemento.	36
3.4.	Elaboración de la Placa Compuesta.....	40
3.5.	Conformado de Viga de Madera Reforzada con Acero.	41
3.6.	Elaboración de la Losa Compuesta.	42
3.7.	Acabados Finales.....	43
Capítulo 4. ANÁLISIS ESTRUCTURALES DE LOS SISTEMAS.....		44
4.1.	Características de los Materiales para el Análisis:	44
4.2.	Análisis de Placa Compuesta.....	46
4.3.	Análisis de Viga de Madera Reforzada con Acero.....	49

4.4.	Análisis de Losa Compuesta.....	52
Capítulo 5. ENSAYOS DE LABORATORIO EN ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SISTEMA		54
5.1.	Ensayos Sobre Placa Compuesta.....	54
5.1.1.	Parámetros y Metodología de los Ensayos.	54
5.1.2.	Características de la Placa Compuesta.....	54
5.1.3.	VARIABLES a Considerar.....	55
5.1.4.	Resultados Experimentales.....	55
5.2.	Ensayos Sobre Viga de Madera Reforzada con Acero.....	57
5.2.1.	Parámetros y Metodología de los Ensayos.	57
5.2.2.	Características de la Viga de Madera Reforzada con Acero.....	57
5.2.3.	VARIABLES a Considerar.....	58
5.2.4.	Resultados Experimentales.....	58
5.3.	Ensayos Sobre Losa Compuesta.....	62
5.3.1.	Parámetros y Metodología de los Ensayos.	62
5.3.2.	Características de la Losa Compuesta.....	62
5.3.3.	VARIABLES a Considerar.....	63
5.3.4.	Resultados Experimentales.....	63
Capítulo 6. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA TÍPICA DE DOS NIVELES UTILIZANDO EL SOFTWARE DE CÁLCULO ESTRUCTURAL SAP 2000.....		67
6.1.	Esquema del Procedimiento para la Modelación con Sap 2000.....	67
6.2.	Análisis Sísmico Estático.	75
6.2.1.	El Pre-Proceso.....	75
6.2.2.	El Análisis.....	79
6.2.3.	El Posproceso del análisis sísmico estático.	83
6.3.	Análisis Sísmico Dinámico	94
6.3.1.	El Preproceso.....	94

6.3.2.	Análisis Sísmico Dinámico De La Vivienda	98
6.3.3.	El Posproceso Del Análisis Sísmico Dinámico.	100
6.4.	Comparación de Resultados Entre Ambos Análisis.	113
6.5.	Verificación de Fuerzas Máximas Entre los Análisis Sísmicos y los Resultados de los Experimentos.	113
Capítulo 7. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS ELEMENTOS COMPONENTES DEL SISTEMA.		115
7.1.	Pre-Dimensionamiento	115
7.1.1.	Parámetros y Consideraciones para las Dimensiones de las Secciones Compuestas.	115
7.1.2.	Dimensionamiento de Viga Reforzada con Acero.	115
7.1.3.	Dimensionamiento de Placa Compuesta.	119
7.1.4.	Dimensionamiento de Losa Compuesta.	120
7.2.	Propuesta de Diseño para los Elementos Componentes del Sistema.	124
7.2.1.	Parámetros y Consideraciones para el Diseño.	124
7.2.2.	Diseño de Viga Reforzada con Acero.	124
7.2.3.	Diseño de placa compuesta.	131
7.2.4.	Diseño de Losa Compuesta.	137
Capítulo 8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.		145
Capítulo 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.		147
9.1.	Conclusiones.	147
9.2.	Recomendaciones.	148
Capítulo 10. REFERENCIAS.		149
ANEXOS 151		

INTRODUCCIÓN

Aproximadamente el 75% de las muertes aparentemente causadas por terremotos en el siglo XX fueron realmente provocados por el colapso de edificaciones que no fueron sismorresistentemente diseñadas, construidas con inapropiados materiales o simplemente destruidos por la capacidad de un sismo de grandes proporciones. Las edificaciones de adobe frecuentes en el Perú no solo tienen muros pesados y propensos al colapso sino también cubiertas muy altas y pesadas. Cuando colapsan estos muros y cubiertas afectan de manera significativa a las personas dentro de las viviendas. Por otra parte, las edificaciones de albañilería de ladrillo no reforzada, de menos cantidad que las de adobe, no tienen un comportamiento tan vulnerable como las edificaciones de adobe, tienen un comportamiento frágil ante cargas sísmicas. Las viviendas con estructura en concreto armado son generalmente más seguras y en los últimos años son los de mayor demanda en el Perú, pero estas también pueden ser vulnerables principalmente por los deficientes procesos constructivos, los errores conceptuales de diseño o por no contar con ninguna clase de asesoría técnica profesional para su construcción. Cuando las estructuras de concreto armado colapsan son letales, ya que hieren o matan a sus ocupantes en un porcentaje mayor que las de albañilería de ladrillo no reforzada, (Gallego, Yamin, & Tristancho, 2002). En la segunda mitad del siglo XX, la mayoría de los terremotos que sacudieron los centros urbanos ocasionaron colapsos de edificios de concreto armado y las muertes debidas al colapso de estos edificios fueron cuantiosas, (Ayala Omaña, Delgadillo Santander, & Ferrer Oropeza, 2017).

En el Perú se suscitó el terremoto del 15 de agosto de 2007 en Pisco que tuvo una intensidad de 7.9 grados en la escala de Richter calificándolo como el más desastroso, porque destruyó un elevado porcentaje de las edificaciones de las ciudades de Chincha, Pisco, Ica, Tambo de Mora, Leoncio Prado y otros centros poblados de Lima, Apurímac y Ayacucho, que afectaron rudamente a más de 35 000 familias “damnificadas” que implicó la destrucción de sus viviendas, según el Instituto Nacional de Defensa Civil; y ocasionando la muerte de alrededor de 600 personas, (Alayo Bernal, 2007).

En la ciudad del Cusco se tiene como referencia el terremoto de 1950 que tuvo una intensidad de siete grados en la escala de Mercalli, como consecuencia de esto se tuvo la destrucción de más del 50% de las viviendas y por otro lado el terremoto de 1986 que afectó a la ciudad y sus alrededores, con una intensidad de 5.4 grados en la escala de Richter (Alayo Bernal, 2007).

Para dar solución al problema de la vivienda en el país y sobre todo en la región del Cusco, se necesita de un estudio experimental a fondo de manera que se puedan sustentar y evaluar de forma satisfactoria desde el punto de vista técnico-científico de las fortalezas y debilidades de los sistemas estructurales ante las diferentes solicitaciones de cargas debido a los sismos que son dependientes de la zona sísmica de cada región del país.

Por las razones expuestas, es necesario investigar e implementar sobre los nuevos métodos y sistemas constructivos, optimizando los existentes y desarrollando un nuevo sistema acorde con la realidad y exigencia del país, en los que se utilicen materiales de bajo peso, fácil manejo y bajo costo, que cumplan con los estándares sismorresistentes que exige el reglamento nacional de edificaciones vigente. Partiendo de la base teórica de la madera, acero y ferrocemento como materiales utilizados en la construcción y las propiedades mecánicas que poseen estos, otro aspecto son las diferentes tecnologías de sistemas constructivos, basados independientemente en cada uno de los elementos componentes del sistema propuesto, teniendo en cuenta los aspectos de análisis y diseño estructural como sistema conformante de una vivienda. Se ha realizado también una definición del sistema estructural con el fin de dar a conocer sus elementos, componentes y la función que cumplirán dentro de este sistema estructural que se propone y así realizar un análisis estructural a cada uno de ellos y posteriormente realizar una campaña experimental, motivo por el cual se elaboraron muestras de cada elemento componente del sistemas los mismos que fueron ensayados en laboratorio; estos nuevos sistemas estructurales para las viviendas en la ciudad del Cusco deben ser resistentes, durables, livianos y con costos accesibles a la población.

CAPÍTULO 1. DISEÑO METODOLOGICO

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL (PG)

Según los datos obtenidos del instituto nacional de estadística e información “INEI”, en la ciudad del Cusco el 33.6% de las viviendas son de adobe y más del 85% de estas son construidas sin asistencia técnica, conllevando a una gran problemática en la ciudad, puesto que estas viviendas no ofrecen seguridad ante la presencia de un sismo de intensidad de regular a fuerte, (INEI, 2016).

Esto conlleva a formular el siguiente problema general:

PG.- “Cuál es el comportamiento estructural de un sistema sismo-resistente, a base de paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, para la ciudad del Cusco, periodo 2016”.

1.1.1. PROBLEMAS ESPECÍFICOS (PE).

- **PE1.** Qué elementos de sección compuesta por madera reforzada con acero y paneles de ferrocemento, cumplirán los requisitos sismorresistentes para una vivienda de dos niveles en la ciudad del Cusco, periodo 2016.
- **PE2.** Qué análisis estructural, permitirá realizar un análisis de los elementos de sección compuesta por madera reforzada con acero y paneles de ferrocemento para una vivienda de dos niveles en la ciudad del Cusco, periodo 2016.
- **PE3.** Qué pruebas de laboratorio permitirán la evaluación del sistema sismorresistente, a base de paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, para la ciudad del Cusco, periodo 2016.
- **PE4.** Qué valores serán los necesarios obtener del análisis sísmico estático y dinámico, del sistema sismorresistente, a base de paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, para la ciudad del Cusco, periodo 2016.
- **PE5.-** Qué dimensiones deberán de tener los elementos del sistema sismorresistente, a base de paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, para la ciudad del Cusco, periodo 2016.

1.2. LA NECESIDAD DE VIVIENDAS EN LA CIUDAD DEL CUSCO.

En la ciudad del Cusco se aprecia un crecimiento poblacional del 2.0% en los últimos años, según el INEI 2017, debido al crecimiento económico que ha experimentado la ciudad, esto conlleva a la mayor demanda de viviendas, que según fuentes del Ministerio de Vivienda asciende a un total de 18 063 viviendas para todos los niveles socioeconómicos, los mismos que han sido sopesados en un 11.6% por la construcción de edificios destinados para

departamentos, no obstante esto no es suficiente para cubrir la demanda de la vivienda ya que en la ciudad se aprecia la aparición de nuevos asentamientos humanos y pueblos jóvenes, los que corresponde a niveles socioeconómicos “C” y “D”, los que requieren una total de 15,965 viviendas nuevas, (fuente: ministerio de vivienda)

Esta problemática lleva a plantear una alternativa de construcción para la vivienda unifamiliar, la alternativa que se propone está basada en el uso de secciones compuestas para conformar un sistema estructural que sea capaz de soportar las exigencias de un diseño sismorresistente, al mismo tiempo los elementos componentes del sistema deben de ser capaces de soportar los esfuerzos que ocasiona el análisis sísmico.

La sección compuesta por los materiales madera, acero y ferrocemento fue analizado mediante la teoría de las secciones compuestas el cual proporciona los esfuerzos a los que está sometido cada elemento.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

Analizar un sistema estructural alternativo a base de madera reforzada con acero y paneles de ferrocemento, de bajo peso para la construcción de viviendas sismo-resistentes de dos niveles para la ciudad del Cusco, periodo 2016.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- **OE1.** Definir los elementos y los componentes de estos, que sean de sección compuesta por madera reforzada con acero y paneles de ferrocemento para una vivienda de dos niveles en la ciudad del Cusco, periodo 2016, que satisfagan los requerimientos de un sistema sismoresistente.
- **OE2.** Verificar si la teoría de secciones compuestas permite hacer un análisis estructural de los elementos del sistema sismorresistente, a base de paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, para la ciudad del Cusco, periodo 2016.
- **OE3.** Someter a pruebas de laboratorio los elementos del sistema sismorresistente, a base de paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, para la ciudad del Cusco, periodo 2016, para verificar y comparar los resultados con los hechos por el análisis estructural.
- **OE4.** Obtener los valores máximos y mínimos de carga axial, fuerza cortante y momento flector que actúan sobre los elementos del sistema sismorresistente, a base de paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, para la ciudad del Cusco,

periodo 2016, al realizar el análisis sísmico estático y dinámico en una vivienda de dos niveles, de acuerdo con la norma E-030 del Reglamento nacional de edificaciones, mediante un software de análisis estructural.

- **OE5.** Definir las dimensiones de las secciones del sistema sismorresistente, a base de paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, para la ciudad del Cusco, periodo 2016, que cumplan con los requerimientos máximos de los resultados obtenidos de carga axial, fuerza cortante y momento flector de los análisis sísmicos realizados.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Con la investigación propuesta se generó una nueva tecnología que esté acorde a los requerimientos sismorresistentes y de costo accesible para la población de bajo recursos económicos, así mismo generar una alternativa de sistema estructural que se pueda utilizar en la construcción de viviendas de dos niveles en la ciudad del Cusco. Esta investigación busca también dar a conocer las propiedades estructurales de los elementos de sección compuesta y como estos puede resolver distintas problemáticas, como es el caso de la presente tesis de investigación.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

El alcance de esta tesis de investigación es el de proporcionar un sistema constructivo alternativo, al concreto y adobe que son predominantes en la ciudad del Cusco, mediante la combinación de materiales ya conocidos y estudiados como son la madera, acero y ferrocemento, los mismos que conformaran elementos de secciones compuestas y que a su vez estos serán parte de un sistema constructivo para viviendas de dos niveles que cumpla con las exigencias del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Por otra parte, este proyecto de tesis de investigación está limitado al desarrollo, análisis estructural y experimentación de los elementos componentes del sistema definido (Madera reforzada con Acero y Paneles de Ferrocemento), y su verificación al ser componentes de una vivienda típica de dos niveles.

Para verificar la sismorresistencia del sistema definido se tomaron los parámetros que rigen a un diseño sismorresistente de una vivienda de dos niveles construida en la ciudad del Cusco de acuerdo a lo indicado al Reglamento Nacional de Edificaciones en su norma E-030, que está referida al diseño sismorresistente.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. HIPÓTESIS GENERAL.

El sistema a base de madera reforzada con acero y paneles de ferrocemento para la construcción de viviendas de dos niveles cumple con las exigencias sismorresistentes para

la ciudad del Cusco, periodo 2016, que exige la norma E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

1.6.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA.

- **HE1.** Los elementos de secciones compuestas denominados: placa compuesta, viga de madera reforzada con acero y losa compuesta, son los componentes adecuados para conformar un sistema sismorresistente que cumpla los requerimientos que exige el Reglamento Nacional de Edificaciones, para conformar un sistema a base de paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, para la ciudad del Cusco, periodo 2016, basado en muros de corte.
- **HE2.** Los conceptos teóricos que estudian a los elementos cuyas secciones están compuestas por varios materiales permiten hacer un adecuado análisis sísmico de los elementos componentes del sistema sismorresistente, a base de paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, para la ciudad del Cusco, periodo 2016.
- **HE3.** Los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio de los elementos definidos se asemejan a los obtenidos por el análisis estructural del sistema sismorresistente, a base de paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, para la ciudad del Cusco, periodo 2016.
- **HE4.** El software de análisis estructural Sap 2000 v.15 permite hallar los valores máximos y mínimos de carga axial, fuerza cortante y momento flector que actúan en los elementos definidos para el sistema sismorresistente, a base de paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, para la ciudad del Cusco, periodo 2016, al realizar los análisis sísmicos estáticos y dinámicos de acuerdo con la norma E-30 del Reglamento Nacional de Edificaciones.
- **HE5.** Las dimensiones de las secciones compuestas definidas del sistema sismorresistente, a base de paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, para la ciudad del Cusco, periodo 2016, cumplen con las exigencias de los valores máximos de carga axial, fuerza cortante y momento flector obtenidos del análisis sísmico y dinámico realizado previamente.

1.7. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta los datos y procedimientos que se llevaron a cabo en el desarrollo de la presente tesis de investigación así como los resultados alcanzados, debemos decir que esta investigación corresponde a una cuantitativa analítica ya que se refiere a la proposición de la hipótesis siguiente; “El sistema a base de Madera Reforzada con Acero y Paneles de

Ferrocemento para la construcción de viviendas de dos niveles cumple con las exigencias sismorresistentes para la ciudad del Cusco, periodo 2016, que exige la norma E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones” la misma que se comprueba realizando los estudios mediante la teoría de secciones compuestas por una parte teórica y ensayos de laboratorio para la parte práctica, con esto se comprueba la hipótesis.

1.8. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo al tipo de investigación al cual pertenece el presente tema de tesis, teniendo en cuenta los estudios y conceptos que se llevaron a cabo en el desarrollo de esta y siendo todos estos aspectos los que corresponden a la primera fase para dar a conocer un sistema, basado en paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, que este cumpla los requerimientos que establece un diseño sismorresistente de acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones para este tipo de sistema propuesto, indica que la presente tesis corresponde al nivel exploratorio.

1.9. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Corresponde a un diseño de tipo experimental ya que se produce la manipulación de variables independientes como la madera, acero y ferrocemento los mismos que tendrán efecto sobre las variables dependientes que son la placa compuesta, losa compuesta y viga compuesta, mediante conceptos teóricos de secciones compuesta y experimentales mediante ensayos de laboratorio, en ellos se desea comprobar los efectos de una intervención específica que es el sismo, el mismo estará controlado por el Reglamento Nacional de Edificaciones, que en este caso tiene un papel activo pues se lleva a cabo una intervención directa dando los parámetros de control mínimos que debe cumplir una edificación.

1.10. POBLACIÓN

El tamaño de la población para el desarrollo de esta tesis corresponde a todas las viviendas de dos niveles presentes en la ciudad del Cusco para el periodo 2016, tanto de adobe como de concreto, los que presentan una gran variedad en su estructuración como en su geometría.

1.11. TAMAÑO MUESTRAL

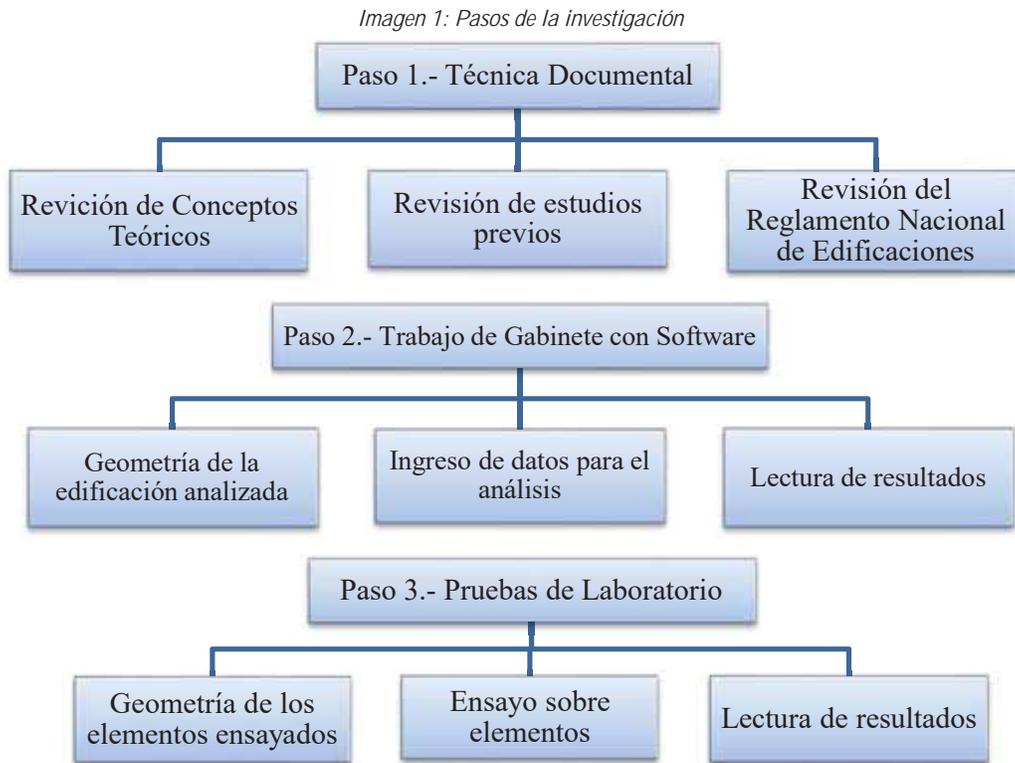
El número de modelamientos a realizar por criterio de juicio de expertos es una sola para el sistema sismorresistente, a base de paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, para la ciudad del Cusco, periodo 2016.

1.12. MUESTRA

Teniendo en cuenta el tamaño muestral, se tomó una sola muestra de los modelamientos realizados al sistema sismorresistente, a base de paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, para la ciudad del Cusco, periodo 2016.

1.13. TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN

Por la forma de la investigación a llevarse a cabo se utilizó los siguientes pasos que se describen en la imagen 1:

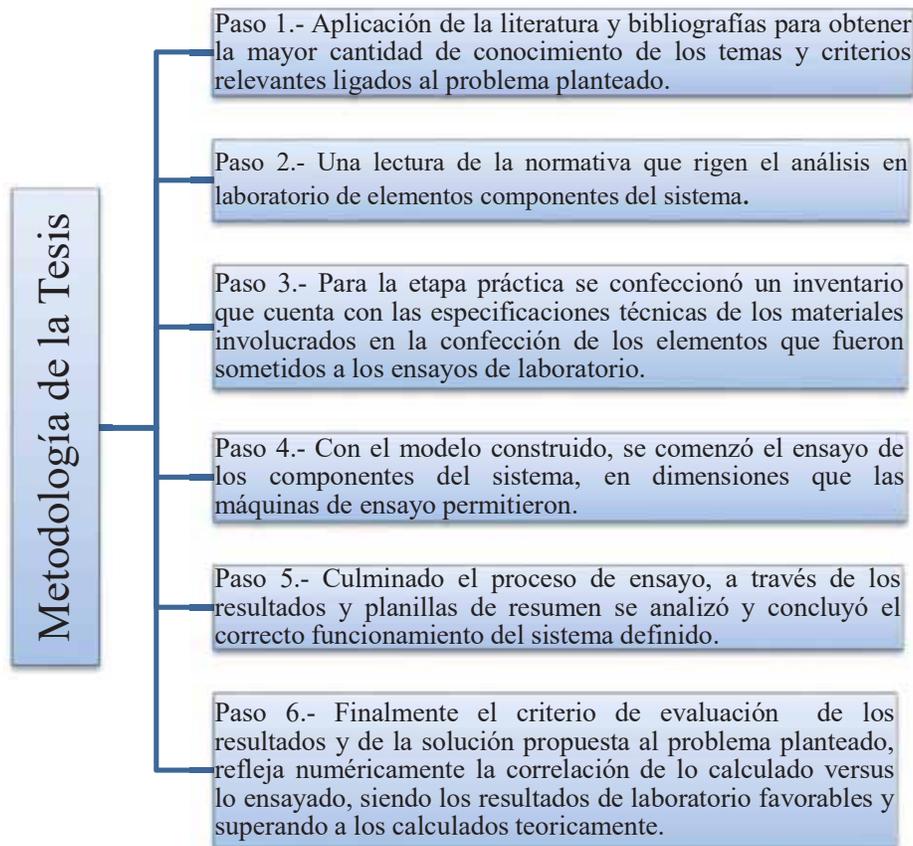


Fuente: Adaptado de (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010)

1.14. METODOLOGÍA DE LA TESIS

Dado la importancia de los resultados, su análisis y vinculación para alcanzar los objetivos planteados, se estableció una metodología de índole práctico porque es necesario la corroboración de manera práctica mediante ensayos de laboratorio de todos los resultados obtenidos mediante conceptos teóricos, por lo que para el desarrollo de esta tesis de investigación se realizaron los siguientes pasos descritos en la imagen 2:

Imagen 2: Pasos en la metodología de la tesis



Fuente: Adaptado de (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010)

1.15. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

En esta sección se analizó e interpretó los resultados obtenidos teniendo en cuenta el marco teórico referencial, los mismos que son contrastados con los resultados obtenidos por otros investigadores, los cuales fueron señalados en la sección de antecedentes, pero ya que esta investigación no lleva una estrecha relación con los antecedentes mencionados solo se mencionaran como una referencia señalando para cada caso las investigaciones en forma independiente en madera, acero y ferrocemento. Los reportes en esta sección incluyen también las limitaciones del estudio, así como la sugerencia de futuras investigaciones que complementen a esta.

1.16. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 1: Matriz de consistencia

Planteamiento de problema	Objetivos	Hipótesis	Variables e indicadores	Instrumento
<p>Pregunta General</p> <p>“Cuál es el comportamiento estructural de un sistema sismorresistente, a base de paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, para la ciudad del Cusco, periodo 2016”</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Analizar un sistema estructural alternativo a base de madera reforzada con acero y paneles de ferrocemento, de bajo peso para la construcción de viviendas sismorresistentes de dos niveles para la ciudad del Cusco.</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>El sistema a base de Madera Reforzada con Acero y Paneles de Ferrocemento para la construcción de viviendas de dos niveles cumple con las exigencias sismorresistentes para la ciudad del Cusco, periodo 2016, que exige la norma E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones.</p>	<p>Variable Independientes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Madera. • Acero. • Ferrocemento. • Numero de niveles (dos niveles). 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis estructural mediante la teoría de las secciones compuestas. • Normas técnicas del reglamento nacional de edificaciones.
<p>Preguntas Especificas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Que elementos de seccion compuesta por madera reforzada con acero y paneles de ferrocemento, satisfagan los requisitos sismorresistentes para una vivienda de dos niveles en la ciudad del Cusco, periodo 2016. • Que teoría del análisis estructural, permitirá realizar un análisis de los elementos de sección compuesta por madera reforzada con acero y paneles de ferrocemento para una vivienda de dos niveles en la ciudad del Cusco, periodo 2016. • Que pruebas de laboratorio permitirán la evaluación del sistema sismorresistente, a base de paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, para la ciudad del Cusco, periodo 2016. • Que valores serán los necesarios obtener del análisis sísmico estático y dinámico, del sistema sismorresistente, a base de paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, para la ciudad del Cusco, periodo 2016. • Que dimensiones deberán de tener los elementos del sistema sismorresistente, a base de paneles de ferrocemento y madera reforzada con acero, para la ciudad del Cusco, periodo 2016. 	<p>Objetivos Especificos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Definir los elementos y los componentes de estos, que sean de sección compuesta por madera reforzada con acero y paneles de ferrocemento que satisfagan los requerimientos de un sistema sismo resistente. • Verificar si la teoría de Secciones Compuestas permite hacer un análisis estructural de los elementos del sistema definido. • Someter a pruebas de laboratorio los elementos del sistema definido, para verificar y comparar los resultados con los hechos por el análisis estructural. • Obtener los valores máximos y mínimos de carga axial, fuerza cortante y momento flector que actúan sobre los elementos del sistema estructural definido, al realizar análisis sísmico estático y dinámico en una vivienda de dos niveles, de acuerdo con la norma E-030 del Reglamento nacional de edificaciones, mediante un software de análisis estructural. • Definir las dimensiones de las secciones que cumplan con los requerimientos máximos de los resultados obtenidos de carga axial, fuerza cortante y momento flector de los análisis sísmicos realizados. 	<p>Hipótesis Especificas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las secciones compuestas denominadas: Placa compuesta, Viga de madera reforzada con acero y Losa compuesta, son los ideales para ser los componentes un sistema basado en muros de corte. • La teoría de secciones compuestas permite hacer un análisis sísmico de los elementos componentes del sistema definido. • Los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio de los elementos definidos se asemejan los obtenidos por el análisis estructural. • El software de análisis estructural Sap 2000 permite hallar los valores máximos y mínimos de carga axial, fuerza cortante y momento flector que actúan en los elementos definidos al realizar los análisis sísmicos estáticos y dinámicos de acuerdo con la norma E-30 del Reglamento nacional de Edificaciones. • Las dimensiones de las secciones compuestas definidas cumplen con las exigencias de los valores máximos de carga axial, fuerza cortante y momento flector obtenidos del análisis sísmico y dinámico hecho previamente. 	<p>Variables Dependientes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Placa Compuesta • Viga Reforzada con acero. • Losa compuesta. 	<p>Diseño</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tipo de Investigación: cuantitativa analítica. • Nivel de Investigación: exploratorio. • Diseño: experimental • Técnicas: documental, gabinete y pruebas de laboratorio.

Fuente: Propio

CAPÍTULO 2. MARCO TEORICO CONCEPTUAL

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Una forma de conocer los avances de las investigaciones de los sistemas constructivos empleados en base a la madera, ferrocemento y acero, es conociendo como cada uno de estos son empleados en la construcción de viviendas en nuestro país, para ello se indicaron los nombres de algunas tesis de investigación publicadas por las universidades y de los cuales tomaremos la información que hagan alusión a los materiales en estudio y que presenten su utilización en la construcción de viviendas.

2.1.1. Sistema constructivo en madera.

- **Tesis:** “Evaluación y Alternativas del Empleo de Madera para Edificaciones de Selva Baja, Pucallpa – Perú”
- **Investigado por:** Arq. Manuel Felix Villena Mavila, Universidad Nacional De Ingeniería Facultad De Arquitectura Urbanismo Y Artes Sección De Post Grado Y Segunda Especialización, Lima - Perú 2010.
- **El problema propuesto es:** “Cuáles han sido los materiales utilizados en las edificaciones durante el proceso de crecimiento de la zona de Pucallpa, comprendido desde los asentamientos nativos iniciales, hasta la gran urbe actual”.
- **Objetivo:** “Mostrar cómo, a pesar de la existencia de materiales y sistemas constructivos adecuados en madera, la población opta por construir con “material noble”.
- **Metodología:** Cuantitativa.
- **La conclusión:** Finalmente se puede inferir que después del análisis de las encuestas sobre condiciones y expectativas de materiales para vivienda, queda demostrado finalmente que la población de Pucallpa prefiere principalmente el piso de concreto por razones económicas, y los muros de ladrillo confinado por razones de seguridad (robo, incendio). En entrepisos, estructura de techos y cielo raso la madera es predominante la elección y como cobertura la calamina.

2.1.2. LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN ACERO.

La investigación se hará teniendo en cuenta su uso como material complementario, los antecedentes de estudios con respecto a este están dentro de los sistemas constructivos tanto de la madera con en ferrocemento.

2.1.3. LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN FERROCEMENTO.

- **Tesis:** “El Ferrocemento En La Construcción De Viviendas”.
- **Investigado por:** Carmen Kuroiwa Horiuchi del Río, Para el Servicio Nacional de Capacitación Para la industria de la Construcción (SENCICO), Lima Perú.
- **Problema propuesto:** “Cuales son las propiedades físicas y mecánicas que debe poseer un elemento de ferrocemento para la elaboración de una vivienda en el Perú”.
- **Objetivo:** “Dar a conocer las propiedades físicas y mecánicas de un elemento estructural para conformar una vivienda en el Perú”,
- **Metodología:** Cuantitativa.
- **Conclusión:** Los paneles dobles unidos entre sí tuvieron un desempeño sísmico muy satisfactorio, con altos valores de rigidez y de resistencia, cumple con amplitud con la capacidad sísmica requerida, así también calculó que los paneles simples resisten casi igual que los muros construidos con ladrillo artesanal.

En el caso del ferrocemento, mencionaremos investigaciones realizadas en los países de Colombia, como la realizada por el Ingeniero Daniel Alveiro Bedoya Ruiz sobre el “Estudio de la Resistencia y Vulnerabilidad Sísmicas de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento” y en Chile la investigación realizada por la Ingeniera Carla Alejandra Barrientos Opazo sobre el “Diseño en Ferrocemento de un Edificio Destinado a Vivienda Social”.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. MADERA.

La madera es el material extraído de la parte dura de los árboles que conforma el tronco de estos en donde se puede distinguir la albura, duramen y la médula, está formada por celulosa, una sustancia que forma el esqueleto de los vegetales, y lignina, que le da rigidez y dureza, (Aguilar Pozzer & Guzowski, 2011).

La madera es un material altamente estudiado y desarrollado, para el desarrollo de esta tesis se enfocó en las características físicas como el contenido de humedad, densidad, peso específico y mecánicas como la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, resistencia al corte y resistencia a la flexión, los que están mencionados en el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú dentro de su norma E-010 de diseño en madera.

2.2.1.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MADERA.

- a. **Contenido de Humedad (CH).** Es el porcentaje en peso, que tiene el agua libre más el agua higroscópica con respecto al peso de la madera anhidra, su procedimiento de obtención lo dicta la norma: ITINTEC 251.011.

$$CH = \frac{\text{Peso humedo} - \text{Peso Anhidro}}{\text{Peso Anhidro}} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

b. Densidad. Es la relación que existe entre la masa y el volumen de un cuerpo, sin embargo la madera por ser un material extraído de un ser vivo y sufrir cambios de peso y volumen durante su proceso de convertirlo en un material para la construcción, es por ello que se pueden distinguir cuatro densidades en este material, (Acuerdo de Cartagena P. A., 1998).

➤ **Densidad Verde (D_v).** Es la relación entre el peso verde (P_v) y el volumen verde (V_v) de la madera, en otras palabras, la densidad que posee la madera del árbol recientemente talado.

$$D_v = \frac{P_v}{V_v}, \text{ en } \left(\frac{kg}{cm^3} \right) \dots \dots \dots (2)$$

➤ **Densidad Seca al Aire (D_{SA}).** Es la relación que se da entre el peso seco al aire (P_{SA}) y el volumen seco al aire (V_{SA}), se puede entender como la densidad de la madera almacenada.

$$D_{SA} = \frac{P_{SA}}{V_{SA}}, \text{ en } \left(\frac{kg}{cm^3} \right) \dots \dots \dots (3)$$

➤ **Densidad Anhidra (D_A).** Es la relación que se da entre el peso anhidro (P_A) y el volumen anhidro (V_A), se puede entender como la densidad de la madera seca al horno, su procedimiento de obtención lo dicta la norma: ITINTEC 251.011.

$$D_A = \frac{P_A}{V_A}, \text{ en } \left(\frac{kg}{cm^3} \right) \dots \dots \dots (4)$$

➤ **Densidad Básica (D_B).** Es la relación que se da entre el peso anhidro (P_A) y el volumen verde (V_v), esta es la menor de las cuatro densidades y la que se considera en nuestro reglamento, su procedimiento de obtención lo dicta la norma: ITINTEC 251.011.

$$D_B = \frac{P_A}{V_v}, \text{ en } \left(\frac{kg}{cm^3} \right) \dots \dots \dots (5)$$

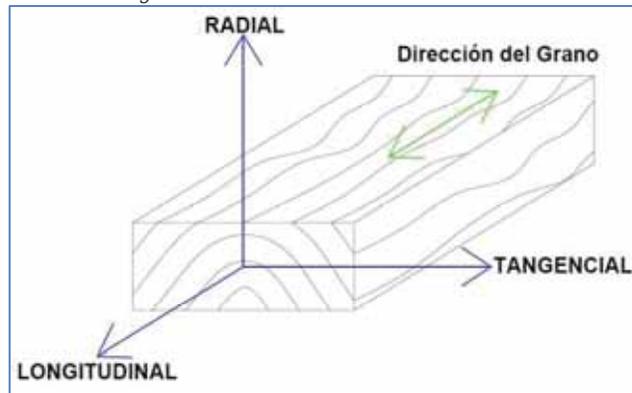
c. Peso Específico (P_e). Es el peso de la madera con un determinado contenido de Humedad (P) multiplicada por la gravedad (g) en relación con el volumen de la madera (V).

$$P_e = \frac{P \times g}{V}, \text{ en } \left(\frac{N}{cm^3} \right) \dots \dots \dots (6)$$

2.2.1.2. PROPIEDADES RESISTENTES DE LA MADERA:

En la madera se pueden diferenciar tres direcciones principales, las mismas que son perpendiculares entre sí, estas son la dirección longitudinal, radial y transversal, en la práctica se consideran dos direcciones: la dirección longitudinal o paralela a la fibra y la dirección transversal o perpendicular al grano, como se muestra en la imagen 3, (Vignote Peña & Martínez Rojas, 2006).

Imagen 3: Dirección del Grano en la madera

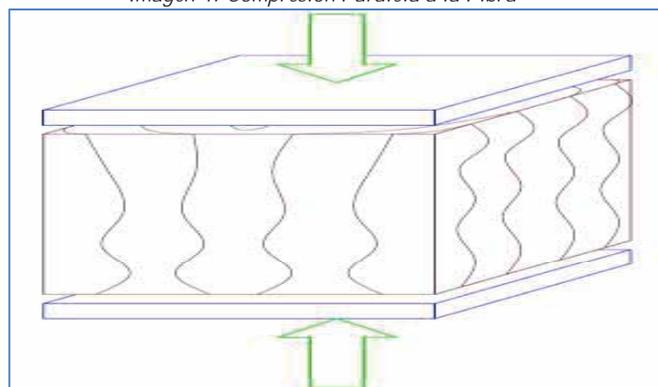


Fuente: Propia

Las propiedades principales resistentes de la madera son: la resistencia a la compresión paralela al grano, la compresión perpendicular al grano, la flexión, la tracción y el corte paralelo al grano, en el Perú estas características se determinan mediante los procedimientos establecidos por la norma ITINTEC 251.104.

a. La Resistencia a la Compresión Paralela: Es la resistencia que presenta la madera a una carga en dirección paralela a sus fibras, para determinar este valor se realiza en columnas cortas, solo cuando la relación de esbeltez (longitud/ancho) es menor a 10 la madera desarrolla toda su resistencia al esforzar la sección a su máxima capacidad, como se muestra en la imagen 4, (Acuerdo de Cartagena P. A., 1998).

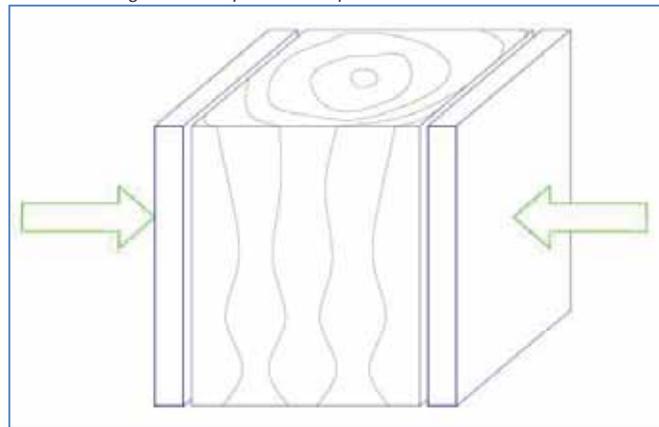
Imagen 4: Compresión Paralela a la Fibra



Fuente: Propia

b. Resistencia a la Compresión Perpendicular: Es la resistencia que presenta la madera a una carga en dirección perpendicular a sus fibras, como se muestra en la imagen 5, con esta tensión aparecen las deformaciones más grandes las cuales dependen de la carga, estructura de madera y uniones de fibras en la dirección longitudinal, esta varía entre 1/4 a 1/5 del esfuerzo al límite proporcional en compresión paralela (Acuerdo de Cartagena P. A., 1998).

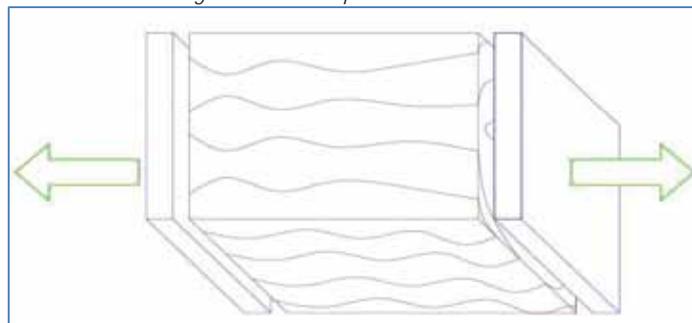
Imagen 5: Compresión Perpendicular a las Fibras



Fuente: Propia

c. Resistencia a la Tracción Paralela: La madera presenta gran resistencia a la tracción paralela a sus fibras, ver imagen 6, esto debido a las exigencias que se hacen presentes en el árbol a lo largo de su vida, esta resistencia se ve afectada por los defectos que pueda presentar la madera (nudosidad y retorcimiento de las fibras), (Acuerdo de Cartagena P. A., 1998).

Imagen 6: Tracción paralela a la Fibra

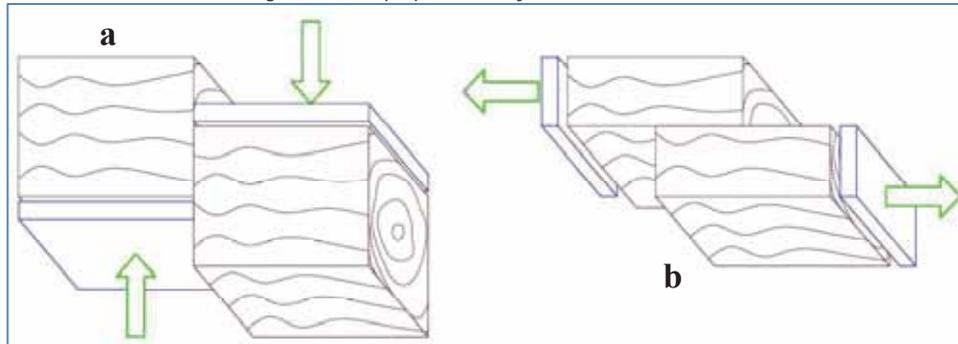


Fuente: Propia

d. Resistencia al Corte: La resistencia al corte de la madera varía de acuerdo a la orientación de sus fibras, el corte paralelo a las fibras puede ser radial tangencial, como se muestra en la imagen 7 (b), la resistencia al corte

en dirección tangencial paralelo a fibras es más grande que en dirección radial, como consecuencia de la estructura de la madera, siendo la menor resistencia al corte aquella paralela a las fibras y que proviene de la capacidad de su “cementante” que es las lignina, la cortante perpendicular a las fibras (ver imagen 7 (a)) es de tres a cuatro veces mayor que en la dirección paralela, (Acuerdo de Cartagena P. A., 1998).

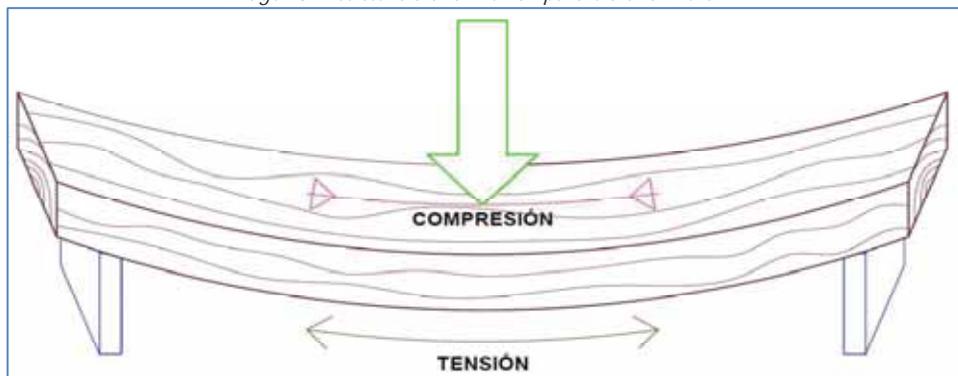
Imagen 7: Corte perpendicular y Paralelo a la Fibra



Fuente: Propia

e. Resistencia a la Flexión Paralela al Grano: La madera presenta una gran resistencia a la flexión, sobre todo si se tiene en cuenta su densidad, la flexión en la madera se origina por un momento flector, el cual produce en la sección de la pieza tensiones de compresión y de tracción paralelas a la fibra, ver imagen 8, que tienen sus valores máximos en las fibras extremas y que son nulas en la fibra neutra (Acuerdo de Cartagena P. A., 1998).

Imagen 8: Resistencia a la Flexión paralela a la Fibra



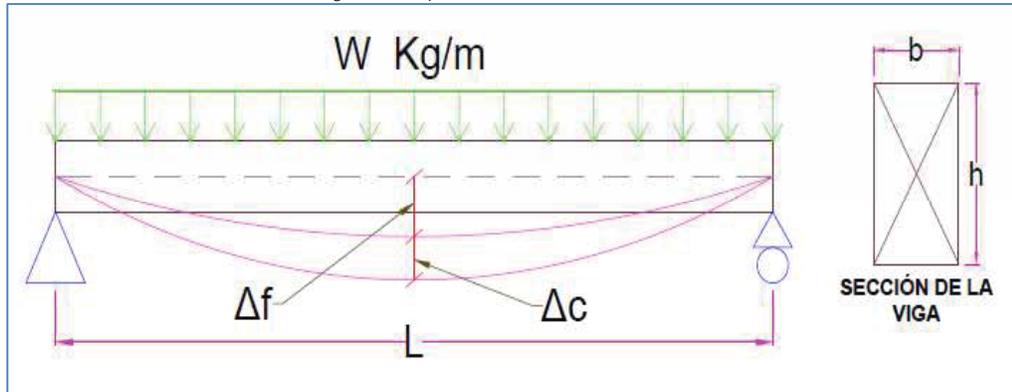
Fuente: Propia

2.2.1.3. PROPIEDADES ELÁSTICAS DE LA MADERA:

Las características elásticas de cualquier material son el módulo de elasticidad, módulo de corte y módulo de Poissón, la madera por ser un material de características ortotrópico presenta tres módulos de elasticidad, tres módulos de corte y tres módulos de Poissón, los cuales están orientados y definidos según sus

tres ejes ortogonales, pero desde el punto de vista de la ingeniería se puede considerar a la madera como un material homogéneo (ver imagen 9), lo que permite considerar solo tres propiedades elásticas (Acuerdo de Cartagena P. A., 1998).

Imagen 9: Propiedades Elástica de la Madera



Fuente: Propia

a. Módulo de Elasticidad (MOE). Este módulo puede ser hallado de forma directa mediante un ensayo de compresión paralela de la cual se obtiene una curva de esfuerzo-deformación. También se halla por métodos indirectos como en los ensayos a flexión. Los ensayos realizados en maderas tropicales, según el Manual de Diseño Para Maderas del Grupo Andino, el MOE en compresión paralela es mayor que el MOE en flexión estática, no obstante, se toma el segundo como genérico para una especie, ya que las deflexiones en elementos a flexión son un criterio básico en su dimensionamiento.

La flexión que se puede observar en la viga de la imagen 8, es la suma de las deflexiones debidas a la flexión y al corte, al calcular el módulo de elasticidad solo se considera la deflexión debida a la flexión y por ende se obtiene un MOE aparente que resulta ser menor que el MOE real, así el valor del MOE obtenido es corregido por el MOE real.

De esta manera hallar el módulo de elasticidad debidos a la flexión y al corte para la viga uniforme de la imagen 9, mediante las siguientes formulas respectivamente:

$$\Delta_f = \frac{15}{96 E} \frac{w L^2}{bh} \left(\frac{L}{h}\right)^2 \dots \dots \dots (7)$$

$$\Delta_c = \frac{14.4}{96 G} \frac{w L^2}{bh} \dots \dots \dots (8)$$

Donde:

- E = MOE
- G = Módulo de Corte
- W = Carga distribuida
- L = Longitud de la Viga
- b,h= Sección de la viga
- Δ = Deformación.

Se sabe que $\Delta_{total} = \Delta_f + \Delta_c$ y por ende se tiene que:

$$\frac{\Delta_f}{\Delta_{total}} = \frac{1}{1 + \frac{14.4 E}{15 G \left(\frac{L}{h}\right)^2}} \dots \dots \dots (9)$$

Así para una relación: $(L/h)=15$ y $(E/G)=16$, se tiene que $\Delta_f = 0.9361\Delta_{total}$, es decir que la deflexión debida la flexión es el 93% de la deflexión total o de la deflexión medida (Acuerdo de Cartagena P. A., 1998).

b. Módulo de Corte o Rigidez (G). Este módulo relaciona las deformaciones o distorsiones con los esfuerzos de corte que les dan origen, existen diferentes valores para este módulo para cada una de las direcciones ortogonales de la madera, siendo la más usada el que sigue la dirección de las fibras, los valores obtenidos, según el Manual de Diseño Para Maderas del Grupo Andino, para esta propiedad varían entre 1/16 y 1/25 del módulo de elasticidad lineal.

$$G = \frac{\tau}{\gamma}; \text{ en } \left(\frac{K}{cm^2}\right) \dots \dots \dots (10)$$

Donde:

τ = Fuerza Cortante. γ = Deformación

c. Módulo de Poissón (v). Es la relación que existe entre la deformación lateral y la deformación longitudinal de un material. La madera posee seis módulos de Poissón siendo el cociente entre la deformación unitaria longitudinal y la deformación unitaria transversal que depende de la dirección de estiramiento debido a que se relacionan las deformaciones de sus direcciones longitudinal, radial y tangencial, (Acuerdo de Cartagena P. A., 1998).

$$v = \frac{\epsilon_{trans}}{\epsilon_{long}} \dots \dots \dots (11)$$

Donde:

ϵ_{trans} = Deformación transversal, en metros.

ϵ_{long} = Deformación longitudinal, en metros.

2.2.1.4. PROPIEDADES DE LA MADERA PARA LA VIVIENDA

PROPUESTA:

Tras conocer las propiedades más importantes de la madera se procedió a escoger una especie para realizar el estudio propuesto, para ello se escogió una especie estudiada por el Manual de Diseño Para Maderas del Grupo Andino, del cual es la especie cuyo nombre común es de **Copaiba** y según los datos que ofrece este manual su densidad básica es 0.61 kg/cm^3 , escogido entonces esta especie se procedió a nombrar sus propiedades de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú, en su norma técnica E-010 de diseño de madera.

a. Densidad básica. Es la relación entre la masa anhidra de una pieza de madera y su volumen verde. Se expresa en g/cm^3 , a continuación, se muestra en la tabla 2 la agrupación de la madera para su uso estructural.

Tabla 2: Densidad Básica de la Madera

Densidad Básica Grupo	Densidad Básica (g/cm^3)
A	0.71
B (Copaiba = 0.61)	0.56 a 0.70
C	0.40 a 0.55

Fuente: Norma Técnica Peruana E-010

b. Módulo de elasticidad para madera húmeda, pero pueden ser usados para madera seca. Para conocer el módulo de elasticidad de la madera escogida “Copaiba” la que pertenece al grupo B, se recurrió a la tabla 3 del que se escogió el módulo de elasticidad mínimo.

Tabla 3: Módulo de Elasticidad para la Madera

Grupo	Módulo de Elasticidad (E) MPa (kg/cm^2)	
	E mínimo	E promedio
A	9 316 (95 000)	12 748 (130 000)
B	7 355 (75 000)	9 806 (100 000)
C	5 394 (55 000)	8 826 (90 000)

Fuente: Norma Técnica Peruana E-010

c. Esfuerzos admisibles para madera húmeda y pueden ser usados para madera seca. Los esfuerzos de diseño admisibles con los cuales se diseñaron los elementos componentes del sistema propuesto se tomaron de la tabla 4, cabe recordar que se tomaran los correspondientes al grupo “B”.

Tabla 4: Esfuerzos Admisibles para la Madera

Grupo	Flexión f_m	Esfuerzos Admisibles MPa (kg/cm ²)			
		Tracción Paralela f_t	Compresión Paralela $f_c//$	Compresión Perpendicular $f_c \perp$	Corte Paralelo f_v
A	20.6 (210)	14.2 (145)	14.2 (145)	3.9 (40)	1.5 (15)
B	14.7 (150)	10.3 (105)	10.8 (110)	2.7 (28)	1.2 (12)
C	9.8 (100)	7.3 (75)	7.8 (80)	1.5 (15)	0.8 (8)

Fuente: Norma Técnica Peruana E-010

2.2.2. ACERO ESTRUCTURAL.

El acero se produce mediante la combinación del mineral hierro y pequeñas cantidades de carbono, estas generalmente son menores al uno por ciento y otros pequeños porcentajes de varios elementos (Castro, 2009), siendo el acero uno de los materiales estructurales más importantes ya que posee muchas propiedades como:

- **Alta Resistencia:** En comparación con otros materiales estructurales el acero posee una gran resistencia en comparación a su peso, (Castro, 2009).
- **La Uniformidad:** Es otra propiedad del acero ya que no cambia apreciablemente con el paso del tiempo, como se aprecia en las estructuras de concreto reforzado, esto se da por el efecto del flujo plástico, (Castro, 2009).
- **La Elasticidad:** En el acero es otra característica importante, ya que es capaz de recuperar su estado inicial después de que se le ha aplicado una fuerza deformante, esto se da si la deformación no ha pasado un límite (límite de elasticidad), este comportamiento sigue la ley de Hooke, (Castro, 2009).
- **La Ductilidad:** En los aceros con bajo contenido de carbono, en la prueba de tensión sufre una reducción considerable en su sección transversal y un gran alargamiento en el punto de falla, antes de llegar a la fractura, (Castro, 2009).
- **La Tenacidad:** Es otra propiedad; el acero cuando se le aplica una fuerza considerable que provoca una gran deformación en su sección transversal, será capaz de resistir mayores fuerzas, (Castro, 2009).
- **La Durabilidad:** Si el mantenimiento de la estructura de acero es adecuado, esta tiende a un ciclo de vida más largo, (Castro, 2009).
- **La Soldabilidad:** Es propiedad por la cual se unen dos metales por presión o fusión, esto se realiza a altas temperaturas (por soplete, etc.), la facilidad en el corte es otra propiedad ya que se puede cortar fácilmente, (Castro, 2009).

El módulo de elasticidad (Es) es una de las propiedades más importantes del acero, relativamente independiente de su resistencia a la fluencia, el módulo de elasticidad para todos los aceros varía entre 1 968 400 kg/cm² a 2 109 000 kg/cm², para el diseño por lo general es de 2 040 000 kg/cm². La densidad del acero estructural es de 7.85 t/m³, (Canet, 2012).

El módulo cortante del acero (G) es otra propiedad y se puede calcular como:

- $$G = \frac{E}{2(1+\mu)}$$

- Donde:
- μ = coeficiente de Poisson, igual a 0.3 para el acero.
- Usando $\mu=0.3$
- $G=784\ 615\ \text{kg/cm}^2$.

El coeficiente de expansión térmica del acero (α): $\alpha = 11.25 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, (Canet, 2012).

El punto de fluencia (Fy) y resistencia última a tensión (Fu). En la tabla 5 se muestran los tipos de aceros estructurales y en la tabla 6, se dan los puntos de fluencia de los varios grados de acero.

Tabla 5: Tipos de Aceros Estructural

TIPOS DE ACERO ESTRUCTURAL	
ASTM A36	Acero estructural
ASTM A529	Acero estructural con límite de fluencia mínimo de 290 MPa (2 950 kg/cm ²).
ASTM A242	Acero estructural de baja aleación y alta resistencia.
ASTM A913	Perfiles de acero de alta resistencia y baja aleación, de calidad estructural, producidos por un proceso de tratamiento térmico especial.
ASTM A992	Acero estructural para perfiles H laminados para uso en edificios.
ASTM A53, (grado B)	Tubos de acero, con o sin costura.
ASTM A500	Tubos de acero al carbono para usos estructurales, formados en frío, con o sin costura, de sección circular o de otras formas.
ASTM A501	Tubos de acero al carbono para usos estructurales, formados en caliente, con o sin costura.

Fuente: Norma Técnica Peruana E-090

Tabla 6: F_u y F_y para el Acero Estructural

Nomenclatura	Punto de fluencia F_y (a)		Resistencia ultima F_u (b)	
	MPa	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²
ASTM				
A 36	250	2 530	400 a 550	4 080 a 5 620
A 529	290	2 950	412 a 585	4 220 a 5 975
A 242	290	2 950	435	4 430
	320	3 235	460	4 710
	345	3 515	485	4 920
A 572	290	2 950	414	4 220
	345	3 515	450	4 570
	414	4 220	515	5 270
A 992	450	4 570	550	5 620
	345	3 515	450 a 620	4 570 a 6 330
A 53	240	2 460	414	4 220
A 500 (c)	320	3 235	430	4 360
A 501	250	2 530	400	4 080

Fuente: Norma Técnica Peruana E-090

(a) Valor mínimo garantizado del esfuerzo correspondiente al límite inferior de fluencia del material.

(b) Esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión. Cuando se indican dos valores, el segundo es el máximo admisible.

(c) ASTM especifica varios grados de acero A500, para tubos circulares y rectangulares.

(d) Para perfiles estructurales; para placas y barras, ASTM especifica varios valores, que dependen del grueso del material.

(e) Depende del grado; ASTM especifica grados 50, 60, 65 y 70.

Conocida las propiedades del acero y las normas que lo rigen en nuestro país estableceremos el tipo de acero estructural del cual se hizo uso para el desarrollo de nuestra investigación, el acero será platina de calidad ASTM A36, de la cual ya se han mencionado sus características y propiedades en las tablas 4 y 5.

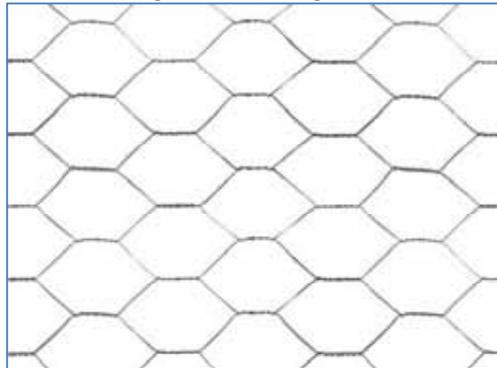
2.2.3. MALLA DE ACERO.

Es parte del ferrocemento y su comportamiento mecánico depende en gran parte del tipo, cantidad, orientación y resistencia del refuerzo y en especial del grado de concentración, y de las dimensiones de las mallas dependerá su comportamiento al agrietamiento, (Wainshtok Rivas, 1998). El refuerzo de malla de acero en el ferrocemento es de dos tipos:

- a. **Armadura Difusa.** Está constituida por mallas de alambres de pequeño diámetro y poco espaciados entre sí, esta malla se encuentra distribuida uniformemente dentro del mortero. Las mallas pueden ser de distintos tipos, pero las

más comunes son, la malla hexagonal (gallinero), como se muestra en la imagen 10, y las mallas electro soldadas.

Imagen 10: Malla de gallinero



Fuente: Propio

La malla a usar en el desarrollo de este estudio será la de una malla hexagonal (gallinero), por ser esta la más común y de fácil acceso, según la Norma ASTM A 641 / A 641 M. Incisos 4.2 (Clase Regular Coating), cuyas propiedades muestra en la tabla 7.

Tabla 7: Propiedades Malla Hexagonal Galvanizada

Tipo	Cocada de la Malla	Peso kg x m ² (aprox.)	Diámetro del alambre	Carga de Ruptura kg
3/4	3/4	0.36	1.2mm	13.8

Fuente: Norma ASTM A641

b. Armadura Discreta. Está compuesta por acero de refuerzo de pequeño diámetro de entre 4mm y 12mm y cuya función en un principio es la de soportar el peso del mortero mientras fragua para luego absorber los esfuerzos de tracción que se presenten ya que el mortero por sí solo no lo soportaría, esta armadura se aprecia en la fotografía 1.

Fotografía 1: Armadura discreta



Fuente: Propio

Para conformar la armadura discreta se usó acero corrugado de diámetro de 1/4" (6.0 mm) que cumple con la norma para acero corrugado ASTM A 615 grado 60 y cuyas propiedades se muestran en la tabla 8.

Tabla 8: Propiedades Acero ASTM A615 Grado 60

Diámetro	Peso (kg/m)	Fy (kg/cm ²)	Fr (kg/cm ²)	Es (kg/cm ²)
6 mm	0.222	4 280	6 320	2x10 ⁶

Fuente: Norma ASTM A615

2.2.4. CEMENTO:

En un sentido amplio, el cemento puede describirse como un material con propiedades de adherencia y cohesión que lo hacen capaz de aglutinar fragmentos minerales en una masa compacta. Desde la antigüedad se ha empleado alguna forma de mortero para aglutinar piedra, grava y algún otro material para propósitos estructurales. A través de los años se ha escrito mucho sobre el tema del concreto y del cemento en sus diversas formas (Paul & Pama, 2014).

En el Perú existen muchos tipos de cementos, así como cementeras que los producen, la fabricación del cemento esta normado por las siguientes normas técnicas:

- NTP 334.009 2013. Cementos Portland. Requisitos. (ASTM C 150)
- NTP 334.090 2013. Cementos Portland Adicionados. Requisitos. (ASTM C595).
- NTP 334.082 2011. Cementos Portland. Especificación de la Performance. (ASTM C1157).
- NTP 334.050 2004. Cemento Portland Blanco. Requisitos. (ASTM C150).
- NTP 334.069 2007. Cemento de Albañilería. Requisitos. (ASTM C091).

El cemento de mayor comercialización en la región del Cusco es el producido por la cementera YURA S.A. con su producto Cemento YURA tipo IP el cual es un cemento que en su composición contiene puzolana, este cemento también está dentro del parámetro establecidos por la NTP 334.090 2013, por la accesibilidad que se tiene hacia este producto este será usado en el desarrollo del mortero de ferrocemento.

2.2.5. AGREGADOS:

Se entiende como agregados del mortero como el material, de origen pétreo, aglutinante del mortero el cual interactuará con el material aglomerante para formar el mortero, los agregados pueden ser finos o gruesos esto de acuerdo con la norma NTP 400.011: 1976 (Agregados. definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos) (Kuroiwa Horiuchi del Río, 2010), para el caso específico del mortero que constituirá al ferrocemento solo se usará el agregado fino en este caso la arena natural de rio que cumpla

con la NTP 400.012: 2001 (Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global) y cuyas especificaciones de muestran en la tabla 9.

Tabla 9: Especificaciones Granulométricas de Áridos Finos para el Ferrocemento

Tamiz N°	Abertura de Tamices (mm)	Porcentaje que Pasa	
		Paneles y Elementos	Barcos
3/8	9.5	100	100
4	4.75	95-100	100
8	2.38	80-100	100
16	1.16	50-85	70-100
30	0.6	25-60	45-70
50	0.3	25-30	25-45
100	0.15	2-10	5-15

Fuente: Ferrocemento Diseño y Construcción, Ing. Hugo Wainshtok

Para la elaboración de los paneles de ferrocemento se escogió el agregado árido proveniente de la cantera de “Kunyac” y cuyas propiedades se muestran en la tabla 10.

Tabla 10: Propiedades de la arena de “Kunyac”

Propiedades	Valor y unidades	
Peso Específico	2.60	kg/m ³
Porcentaje de Absorción	2.29	%
Peso Unitario Suelto	1 456.32	kg/m ³
Peso Unitario Compacto	1 597.26	kg/m ³
Porcentaje de Vacíos Suelto	43.99	%
Porcentaje de Vacíos Compacto	38.57	%
Cantidad de Material que Pasa el Tamiz N° 200	1.46	%
Contenido de humedad	3.81	%
Módulo de Fineza	1.83	

Fuente: Tesis, Diseño de mezclas con los diferentes agregados utilizados en la ciudad del Cusco, 2012-Pág.54

2.2.6. PERNOS DE UNIÓN

Son utilizados en las estructuras de madera para tomar cargas pesadas y concentradas, tal como es el caso del anclaje de muros a las fundaciones, unión de muros por entrepiso y fijación de muros de corte.

Son conectores metálicos utilizados para unir dos o más elementos, en la madera son utilizados para tomar cargas pesadas y concentradas que se dan en las uniones, estos pernos pueden ser de cabeza hexagonal o de cabeza plana (Arauco, 2010).

Existe una gran variedad de pernos, así como de muchas calidades ya que cada uno de estos responde a un propósito en específico, para el desarrollo de esta tesis se utilizó los pernos que se encuentren dentro del Reglamento Nacional de Edificaciones, específicamente los que están dentro de la norma E.090 Estructuras Metálicas, teniendo

en cuenta lo antes mencionado se tomó como pernos de unión a los especificados en la norma E.090 como:

- Pernos de cortante de acero al carbono, de resistencia a la tracción 414 MPa, ASTM A307, como se muestra en la imagen 11(a).
- Pernos estructurales, de acero, tratados térmicamente, de resistencia mínima a la tracción 830 a 725 MPa, ASTM A325, como se muestra en la imagen 11(b).
- Pernos estructurales de acero tratado térmicamente, de resistencia mínima a la tracción 1040 MPa, ASTM A490, como se muestra en la imagen 11(c).

Estos por encontrarse con facilidad en el mercado de la región del Cusco se usaron los pernos ASTM A325, cuyas características se muestran en la tabla 11.

Tabla 11: Propiedades para los Pernos de Conexión

Especificación	Diámetro Nominal	Resistencia Mínima a la Tracción	Resistencia Mínima al Corte (con rosca)
ASTM A325	½” a 1”	6 330 Kg/cm ²	3 370 Kg/cm ²

Fuente: Norma Técnica ASTM A325

Imagen 11: Pernos de Conexión



Fuente: Página web Aceros SEISA

2.3. MARCO TEÓRICO PARA EL ANÁLISIS.

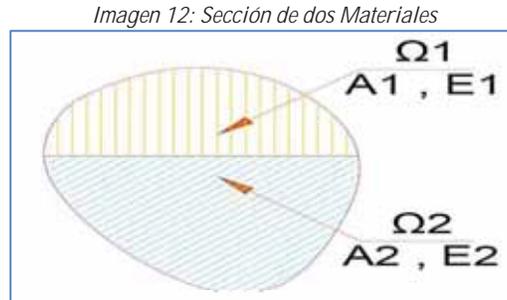
2.3.1. SECCIONES COMPUESTAS

En la práctica de la construcción, aparecen con cierta frecuencia piezas compuestas por diversos materiales, cada uno de ellos con sus propias características tensodeformacionales, como por ejemplo las estructuras mixtas de concreto y acero, el concreto pretensado, etc. (Canet, 2012).

Para el desarrollo del estudio de este tipo de materiales se realizó los siguientes casos de esfuerzos:

- Esfuerzo axial.
- Momento flector.
- Flexión compuesta.
- Esfuerzo cortante.

a. Esfuerzo axial: Se considera una sección conformada por varios materiales y la superficie entre ellos es paralela al plano axial de la sección, es decir que la sección está conformada por porciones Ω_i y cada una de ellas con una área A_i y un módulo de elasticidad E_i , como se muestra en la imagen 12.



Fuente: Propia

Se consideró el material, cuyo módulo de elasticidad es el menor de los dos materiales en estudio, de este modo se tiene una relación “n” entre los dos materiales.

$$n = \frac{E_1}{E_2}$$

$$E_1 = n \cdot E_2 \dots \dots \dots (12)$$

La deformación de la sección se hará de acuerdo a la hipótesis de Navier, de la misma forma que lo hace un material homogéneo, por ende todos los materiales deben de tener la misma deformación ϵ_x , la tensión en un punto del material 2 será:

$$\sigma_x = E_1 \cdot \epsilon_x = n \cdot E_2 \cdot \epsilon_x \dots \dots \dots (13)$$

De la ecuación de equilibrio interno:

$$N = \int_s \sigma_x \cdot ds = \int_s E_1 \cdot \epsilon_x \cdot ds = \int_s n \cdot E_2 \cdot \epsilon_x \cdot ds$$

Donde:

$$A_E = \int_s n \cdot ds; \text{ es el área equivalente}$$

Remplazando en la ecuación de equilibrio interno:

$$N = A_E E_2 \cdot \epsilon_x$$

$$\epsilon_x = \frac{N}{A_E E_2}$$

Se tomó este último valor para la ecuación del esfuerzo:

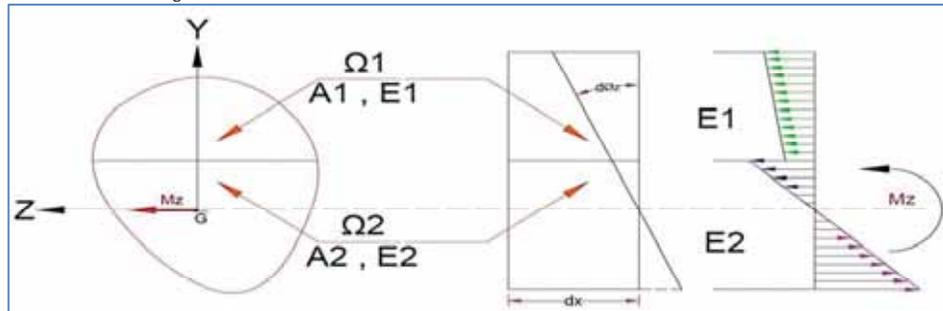
$$\sigma_x = n \cdot E_2 \cdot \epsilon_x = n \cdot E_2 \cdot \frac{N}{A_E E_2}$$

$$\sigma_x = n \frac{N}{A_E} \dots \dots \dots (14)$$

De esta última ecuación se deduce que los materiales más rígidos soportan esfuerzos más elevados, (Canet, 2012).

b. Momento Flector: Del mismo que el esfuerzo axial consideraremos un segmento de sección compuesta, el cual estará sometido a un momento de flexión pura según a uno de sus planos de inercia mecánica como se aprecia en la imagen 13.

Imagen 13: Momento Flector en Sección de Varios Materiales



Fuente: Propia

El momento flector contenido en el plano xy, se supone que esta sección presenta una deformación ϵ_x que según a la hipótesis de Navier, al igual que ocurre en las secciones de un solo elemento, la deformación de las secciones en este caso permanece plana y la deformación longitudinal de una fibra será proporcional a la distancia \hat{Y} al eje neutro paralelo al eje Z, cuya posición es desconocida, por lo que:

$$\epsilon_x = - \frac{\hat{Y}}{\rho_z} \dots \dots \dots (15)$$

Como los distintos materiales cumplen la ley de Hooke, la tensión en una fibra será:

$$\sigma_x = E_1 \cdot \epsilon_x = n \cdot E_2 \cdot \epsilon_x$$

Ya que no existe ninguna fuerza axial actuando sobre la sección, la ecuación de equilibrio interno indica lo siguiente.

$$N = \int_s \sigma_x \cdot ds = \int_s n \cdot E_2 \cdot \epsilon_x \cdot ds = - \frac{E_2}{\rho_z} \int_s n \cdot \hat{Y} \cdot ds = 0$$

Por lo que: $\int_s n \cdot \hat{Y} \cdot ds = 0$

Esto indica que el eje neutro pasa por el centro mecánico de la sección y coincide con el otro eje principal de inercia mecánica (I_{EZ}) de la sección en el eje Z, por lo que $\hat{Y} \equiv Y$

Integrando la ecuación de equilibrio interno obtendremos el momento resultante de las tensiones respecto al eje neutro, se obtiene:

$$M_Z = - \int_S \sigma_x \cdot y \cdot ds = - \frac{E_2}{\rho_Z} \int_S n \cdot y^2 \cdot ds = \frac{E_2 \cdot I_{EZ}}{\rho_Z}$$

Despejando se tiene que:

$$\frac{1}{\rho_Z} = \frac{M_Z}{E_2 \cdot I_{EZ}} \dots \dots \dots (16)$$

Combinando la ecuación 16 obtenida, con la ecuación 14 de esfuerzo axial, se obtiene:

$$\sigma_x = E_1 \cdot \epsilon_x = -n \frac{M_Z \cdot y}{I_{EZ}} \dots \dots \dots (17)$$

(Cervera Ruiz & Blanco Díaz, Mecánica de estructuras, 2003).

c. Flexión Compuesta: Es la acción sobre un elemento de una fuerza axial y un momento flector al mismo tiempo, la flexión compuesta puede ser desarrollada mediante el principio de superposición de fuerzas, como ya se ha desarrollado los temas de fuerza axial y momento flector procederemos a la suma de estas dos ecuaciones 14 y 17, se obtiene la ecuación de flexión compuesta 18.

$$\sigma_x = -n \left(\frac{N}{A_E} - \frac{M_Z \cdot y}{I_{EZ}} \right)$$

$$\sigma_x = n \frac{N}{A_E} \left(1 + \frac{e_y \cdot y}{r_{EZ}^2} \right) \dots \dots \dots (18)$$

Donde:

- * A_E : Área homogenizada.
- * I_{EZ} : Momento principal de Inercia Mecanico respecto al eje Z.
- * $r_{EZ}^2 = \frac{I_{EZ}}{A_E}$: Es el radio de giro mecanico respecto al eje Z.
- * $e_y = \frac{M_Z}{N}$: Es la exentricidad.

(Cervera Ruiz & Blanco Díaz, Mecánica de estructuras, 2003).

d. Esfuerzo Cortante: Como se sabe todo cuerpo que soporta cargas externas desarrolla cargas internas que se pueden descomponer en una componente axial o normal y otra tangencial a la sección, cuando una sección solo experimenta cargas tangenciales se generan en estos esfuerzos cortantes y a la carga se la denomina como corte.

Cuando se habla de corte puro se tiene el siguiente equilibrio:

$$T = \int_S \tau_n \cdot ds = \tau_n \cdot \int_S ds = \tau_n A$$

$$\tau_n = \frac{T}{A} \dots \dots \dots (19)$$

Donde:

- T : Esfuerzo Cortante.
- ds: Diferencial de Superficie.
- τ_n : Tensión Tangencial.
- A: Área de la Sección.

Al tener una sección compuesta de varios materiales y teniendo la necesidad de saber el esfuerzo cortante que estos desarrollan, es necesario realizar primero una sección homogenizada y trabajar sobre ella, de este modo se considera un coeficiente “n” siendo $n=E_1/E_r$, donde E_r , es un módulo de elasticidad referencial.

La fórmula de Collignon tendrá la siguiente forma:

$$\tau_{med} = \frac{T_y \overline{m_z^e}(\Omega)}{\overline{I_z} \cdot l_{AB}} \dots \dots \dots (20)$$

Donde:

- * $\overline{I_z}$: *Momento de Inercia de la sección Homogenizada*
- * $\overline{m_z^e}(\Omega)$: *Es el momento estático del área homogenizada (Ω)*

$$\overline{m_z^e}(\Omega) = \int_S y \cdot n \cdot ds \dots \dots \dots (21)$$

Se debe de tener en cuenta que, el centro mecánico de esfuerzos cortantes se entiende como el centro mecánico de la sección homogenizada, (Cervera Ruiz & Blanco Díaz, Mecánica de estructuras, 2003).

2.4. CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE DE ANÁLISIS ELEGIDO.

El programa SAP2000 está basado en elementos finitos, con interfaz de gráfico 3D orientado a objetos, preparado para realizar de forma totalmente integrada la modelación, análisis y dimensionamiento de los más amplios conjuntos de problemas de ingeniería de estructuras.

Conocido por la flexibilidad de analizar una variedad extensa de estructuras, por su poder de cálculo y por la fiabilidad de sus resultados, el SAP2000 es la herramienta de trabajo diaria para varios ingenieros. La versatilidad en modelar estructuras permite su utilización en el

dimensionamiento de puentes, edificios, estadios, presas, estructuras industriales, estructuras marítimas y todo tipo de infraestructura que necesite ser analizada y dimensionada.

Con respecto a las acciones, es posible generar automáticamente cargas de sismo, viento y vehículos, y posteriormente, hacer el dimensionamiento y comprobación automática de estructuras de concreto armado, perfiles metálicos, de aluminio y conformados en frío, a través de las normativas Europeas, Americanas, Canadienses, Turcas, Indias, Chinas, y otras, (<http://www.csiespana.com>).

CAPÍTULO 3. PROCEDIMIENTO PARA LA FABRICACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL.

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA:

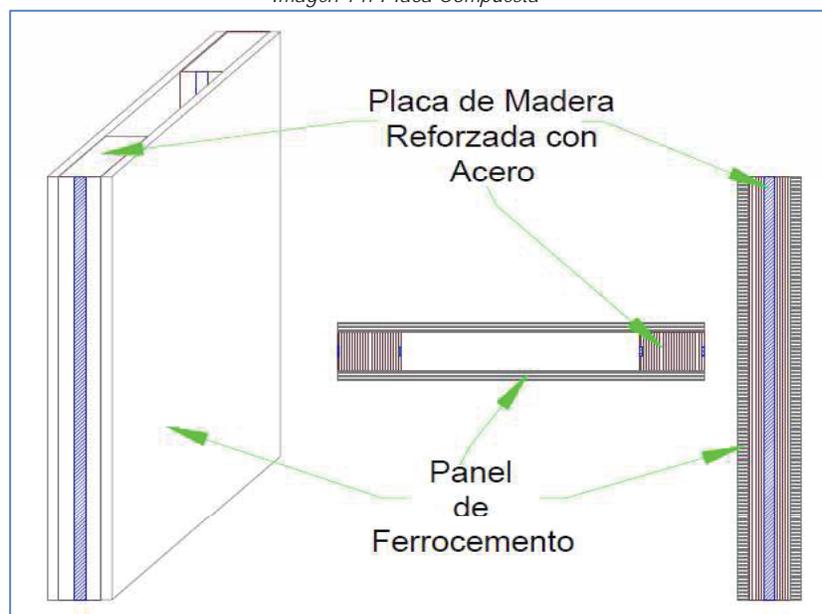
Los elementos del sistema estudiado, así como los materiales que lo componen y la cantidad de estos en cada elemento del sistema se describieron elemento por elemento en el Capítulo 2 Marco teórico, así como las funciones de cada elemento dentro del sistema estudiado, como su interacción con los otros elementos y como estos serán unidos para conformar una sola estructura que sea capaz de cumplir los objetivos propuestos.

Este sistema está enmarcado en la sismorresistencia establecida por la norma técnica E-030 el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), para ello lo primero que se realizó fue definir cada uno de sus elementos principales.

a. Placa Compuesta: Este elemento está conformado por la unión de dos paneles de Ferrocemento y dos Columnas de Madera reforzada con Acero, de tal forma de conformar un elemento cuyo comportamiento estructural sea como los muros estructurales definidos en el R.N.E. dentro de la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismo Resistente.

El comportamiento estructural que se buscó obtener de esta placa compuesta es el de tener un elemento con una elevada rigidez y ductilidad que le permita resistir de forma muy eficaz las cargas laterales debidas a sismos y vientos, así como las cargas axiales que se presenten en la estructura, al igual que un muro estructural, ver imagen 14.

Imagen 14: Placa Compuesta

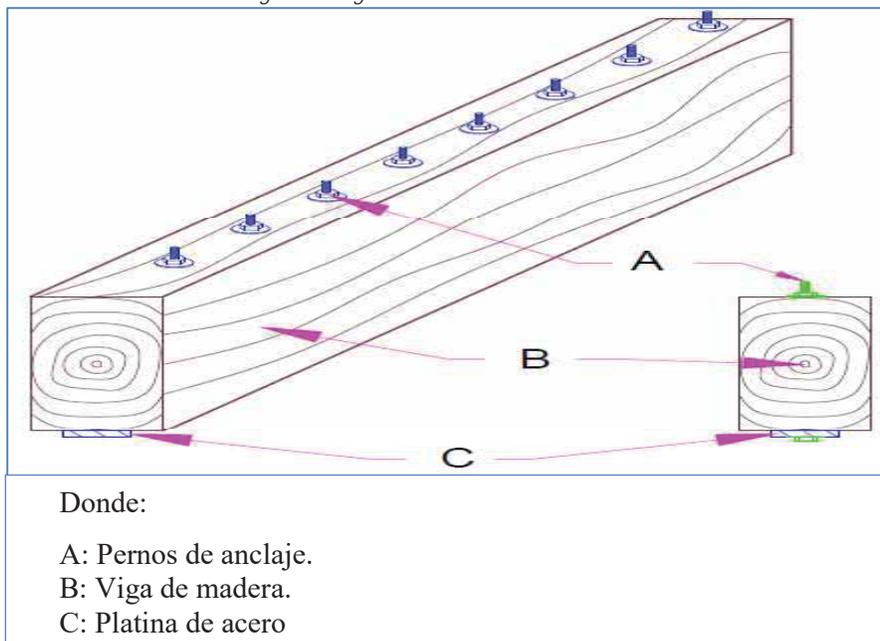


Fuente: Propia

b. Viga de Madera Reforzada con Acero: Este elemento compuesto como indica su nombre es una viga de madera reforzada con acero, concebido de esta forma con la finalidad de aprovechar todas las ventajas que tiene la madera como elemento estructural y reforzarla con una platina de acero, esto para complementar las ventajas de la madera y elevar sus características como material estructural.

Una de las características de un elemento viga es de trabajar a flexión, por otra parte la madera sufre deformaciones por cargas permanentes de flexión, es por ello que un refuerzo de acero en la parte inferior de una viga de madera no solo incremento su resistencia a la flexión si no la de controlar las deformación por las cargas que esta soportar.

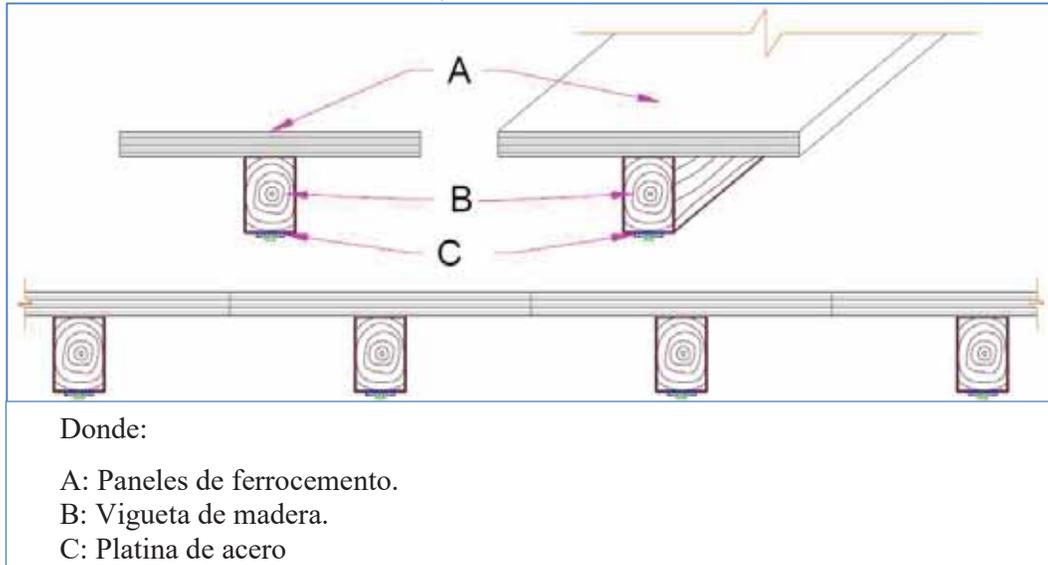
Imagen 15: Viga de Madera Reforzada con Acero



Fuente: Propia

c. Losa Compuesta: Este elemento compuesto está formado por tres materiales (madera, acero y ferrocemento), los cuales serán los componentes de una losa cuyo comportamiento estructural es igual al de una losa aligerada de concreto armado. Tomando en cuenta las ventajas que ofrece un material compuesto como los descritos tanto en la placa compuesta como en las vigas de madera reforzada con acero, daremos el sustento necesario a la losa compuesta ya que esta soporta las cargas de la edificación al mismo tiempo que actúa como un diafragma rígido.

Imagen 16: Losa Compuesta



Fuente: Propia

Una vez establecido y conocido cada uno de los elementos que componen el sistema se procedió a clasificar el sismo en uno a base de madera reforzada con acero y paneles de ferrocemento y el sistema de estructuración predominante como elemento que ha de soportar todas las cargas verticales, de sismos y vientos son las placas compuestas, el diafragma rígido del sistema está conformado por las vigas reforzadas con acero y la losa compuesta, estos elementos serán los encargados de soportar las cargas y sobrecargas que vaya a actuar dentro de la edificación y de transmitir estas cargas a las placas compuestas.

3.2. PROCESO DE FABRICACIÓN.

3.2.1. HABILITACIÓN DE MATERIALES.

Los materiales a usar son la madera, acero y el ferrocemento y la habilitación de estos se realizó enfocada en el dimensionamiento de la madera, la conformación de las placas compuestas, viga reforzada con acero y losa compuesta, del mismo modo el refuerzo de acero que requieren los elementos antes mencionados. Por otra parte, se procedió a la dosificación del cemento, arena y agua que conformaran el mortero de los paneles de ferrocemento así como del refuerzo de acero (armadura difusa y armadura discreta), este dimensionamiento será elemento por elemento de la siguiente manera:

- a. **Madera:** Este material será de la especie copaiba y su uso en los distintos elementos conformantes del sistema, así como sus dimensiones se muestran en la tabla 12.

Tabla 12: Secciones de Madera en los Elementos

Elemento	Tipo de Madera	Sección	
		b	h
Placa Compuesta	Copaiba	10cm.	15cm.
Viga Reforzada con Acero	Copaiba	10cm.	25cm.
Losa Compuesta	Copaiba	6.5cm.	12cm.

Fuente: Propia

- b. Acero:** El refuerzo de acero fue de platinas y su calidad es la ASTM A36, las secciones para cada elemento se presentan en la siguiente tabla 13.

Tabla 13: Secciones de Acero en los Elementos

Elemento	Calidad de Acero	Sección	
		h	b
Placa Compuesta	ASTM A36	3/8"	1 1/2"
Viga Reforzada con Acero	ASTM A36	3/8"	2"
Losa Compuesta	ASTM A36	3/8"	1 1/2"

Fuente: Propia

- c. Mortero para Ferrocemento:** Es una mezcla con una relación cemento- arena que varía entre 1-1 a 1-5, esto dependiendo de los usos que se les vaya a dar, la relación de cemento-arena y agua cemento se muestran en la siguiente tabla 14.

Tabla 14: Dosificación para el Ferrocemento

Elemento	Calidad del Cemento	Relación Cemento/Arena	Relación Agua/Cemento
Placa Compuesta	Cemento Portland IP	0.50	0.5
Losa Compuesta	Cemento Portland IP	0.50	0.5

Fuente: Propia

- d. Malla de Acero:** Existen dos tipos de refuerzo de acero, como son la armadura difusa y armadura discreta, en la siguiente tabla 15 se muestran las armaduras para cada elemento:

Tabla 15: Malla de Acero para los Elementos

Elemento	Armadura Difusa		Armadura Discreta	
	Calidad	Cocada	Calidad	Espaciamiento
Placa Compuesta	ASTM A641	3/4"	ASTM A615 Grado 60	20cm
Losa Compuesta	ASTM A641	3/4"	ASTM A615 Grado 60	20cm

Fuente: Propia

3.2.2. ANCLAJE DEL REFUERZO DE ACERO A LAS COLUMNAS, VIGAS Y VIGUETAS DE MADERA.

El anclaje de las platinas de acero con los elementos de madera se hará mediante pernos de anclaje, el espaciamiento de estos se hará de acuerdo a la siguiente tabla 16.

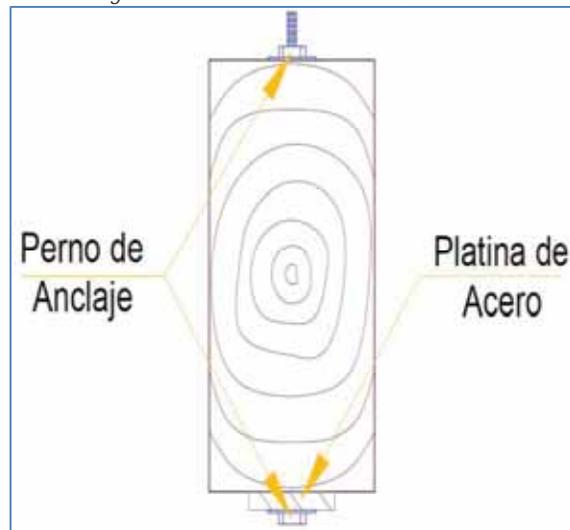
Tabla 16: Diámetro de Pernos y Espaciamiento

	Placa Compuesta	Viga Reforzada con Acero	Losa Compuesta
Espaciamiento	20cm	25cm	15cm
Diámetro del Perno	3/8"	1/2"	3/8"

Fuente: Propia

Para unir las platinas de acero con elementos de madera fue necesario realizar perforaciones a estos elementos mediante las brocas que sean de igual diámetro que los pernos seleccionados, posterior a las perforaciones los dos elementos serán unidos por los pernos los cuales serán asegurados mediante volandas y tuercas, como se aprecia en la imagen 17.

Imagen 17: Unión Madera con Platina de Acero



Fuente: Propia

3.3. FABRICACIÓN DE PANELES DE FERROCEMENTO.

Este proceso se puede dividir en cuatro etapas esenciales las cuales se describen a continuación en la siguiente imagen 18:

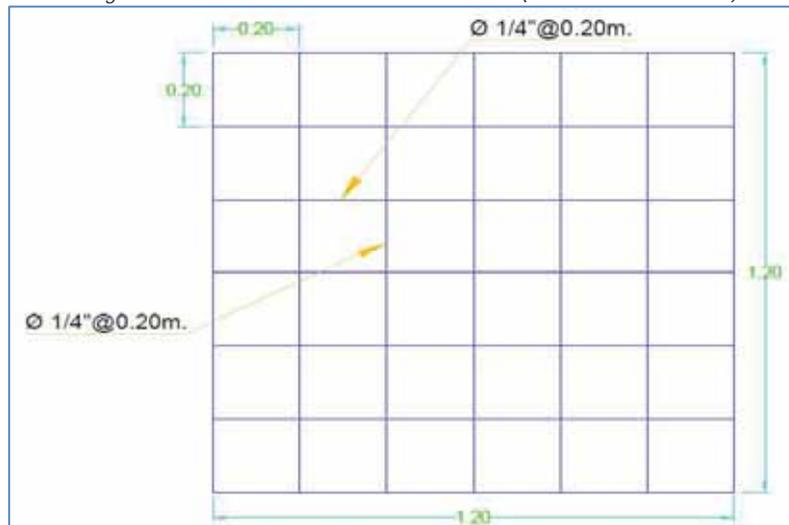
Imagen 18: Etapas de conformación del panel de ferrocemento



Fuente: Propio

1° Conformado de la Armadura Discreta: Esta armadura estará constituida con acero de calidad **ASTM A615 Grado 60** de un diámetro de 1/4" (6mm.), este acero será distribuido en espacios de 20cm tanto en la dirección horizontal como vertical formando así una malla como se aprecia en la imagen 19.

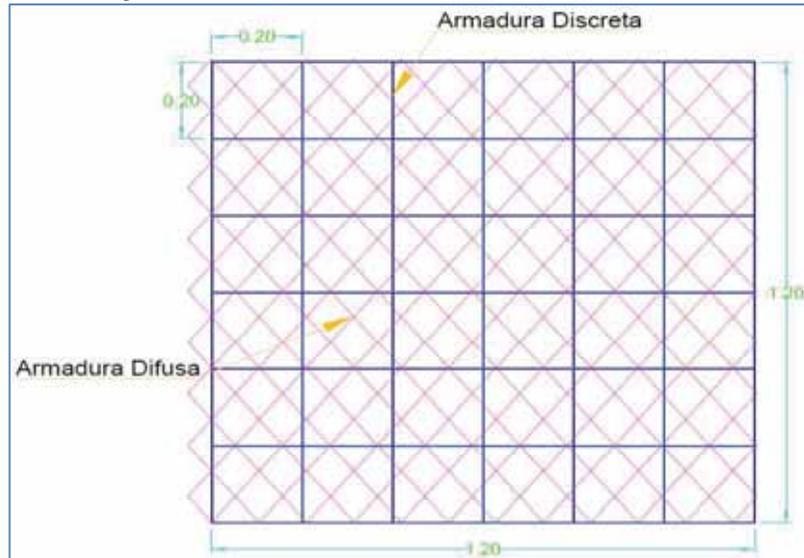
Imagen 19: Armadura Discreta en Ferrocemento (dimensiones en metros)



Fuente: Propia

2° **Conformado de la Armadura Difusa:** Esta armadura está conformada por la malla hexagonal de gallinero y fue colocada sobre la armadura discreta de forma que esta quedo tensionada y sin hendiduras sujetándola en los extremos y lados de la armadura discreta, para así conformar el refuerzo total de acero del panel de ferrocemento, tal como se muestra en la imagen 20.

Imagen 20: Armadura Difusa en Ferrocemento (dimensiones en metros)



Fuente: Propia

3° **Preparación del Mortero:** El mortero fue preparado con la siguiente dosificación, una unidad de cemento, dos unidades de arena y media unidad de agua, el proceso de mezclado se realizó teniendo en cuenta que se mezcló primero el cemento con la arena y posterior a ello se agregara el agua guardando el respectivo cuidado con las proporciones de cada elemento, como se muestra en la fotografía 2.

Fotografía 2: Mortero para el Ferrocemento



Fuente: Propia

4° **Aplicación del Mortero:** Esta etapa se consideró como la más crítica dentro de la fabricación del ferrocemento, previa a esta operación tendrá que comprobar que la estructura de acero se encuentre libre de impurezas y cualquier tipo de aceites, la

aplicación del mortero se hizo en una sola etapa de adentro hacia afuera para posteriormente darle un acabado liso y homogéneo, en la fotografía 3 se aprecia la aplicación del ferrocemento sobre la placa compuesta, la fotografía 4 se muestra los encofrados de la losa compuesta sobre los cuales se aplicara el mortero, en la fotografía 5 se muestra la aplicación del mortero que permitió conformar la losa compuesta teniendo especial cuidado de no dejar espacios vacíos.

Fotografía 3: Aplicación del Mortero de Ferrocemento



Fuente: Propia

Fotografía 4: Conformado de Encofrado en Losa Compuesta



Fuente: Propia

Fotografía 5: Mortero de Ferrocemento en Losa Compuesta

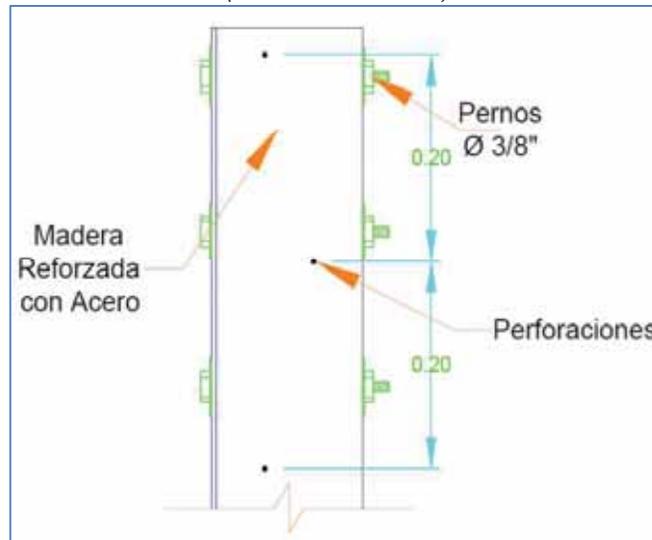


Fuente: Propia

3.4. ELABORACIÓN DE LA PLACA COMPUESTA.

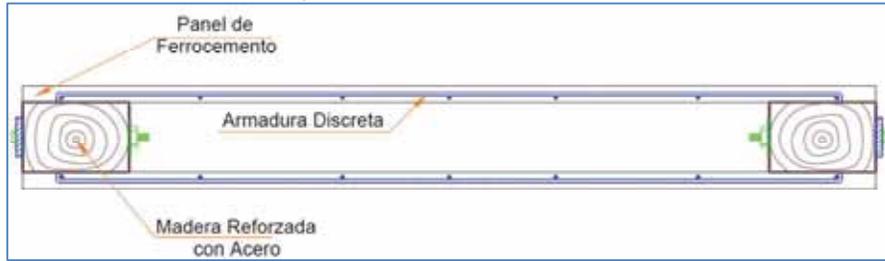
Se realizó perforaciones de 1/4" a la madera reforzada con acero en espacios de 20cm de tal forma que albergó la armadura discreta de los paneles de ferrocemento, para formar un solo elemento, en las imágenes 21 y 22 se pueden apreciar la elaboración de la Placa Compuesta.

Imagen 21: Perforaciones para la Armadura Discreta en Placa Compuesta (Dimensiones en metros)



Fuente: Propia

Imagen 22: Sección de Placa Compuesta



Fuente: Propia

La fotografía 6 muestra la aplicación del mortero de ferrocemento sobre la placa faltante en unas de las caras.

Fotografía 6: Placa Compuesta con ambas sección de Ferrocemento

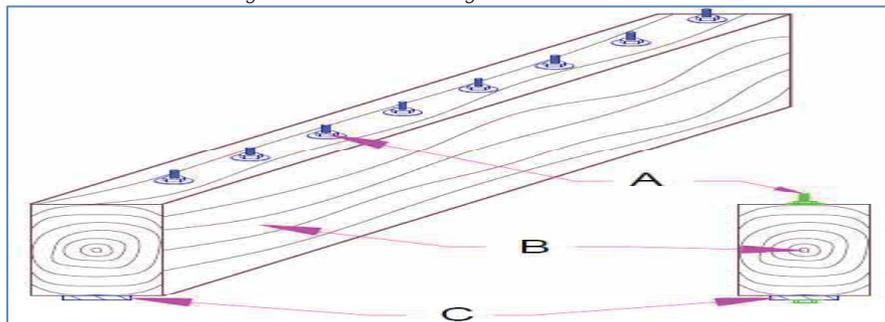


Fuente: Propia

3.5. CONFORMADO DE VIGA DE MADERA REFORZADA CON ACERO.

Para la fabricación de este elemento se realizó perforaciones previas a la madera con brocas para madera de 1/2" espaciados cada 25cm, del mismo modo se realizó perforaciones en la platina de acero con una broca especial para metal y teniendo en cuenta el mismo espaciamiento, la unión de la madera con la platina de acero se hizo mediante pernos de 1/2" asegurados con volandas y tuercas, en la imagen 23 se muestra la viga reforzada con acero y la fotografía 7 se muestra la viga de madera reforzada con acero en la máquina de ensayo.

Imagen 23: Elementos de Viga de Madera Reforzada



Donde:

A: Pernos de anclaje.
C: Platina de acero

B: Viga de madera.

Fuente: Propia

Fotografía 7: Viga de Madera Reforzada con Acero



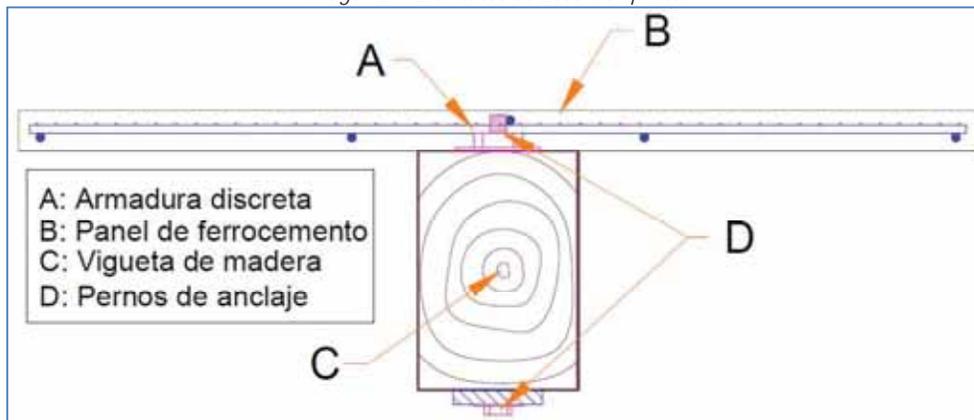
Fuente: Propia

3.6. ELABORACIÓN DE LA LOSA COMPUESTA.

Se realizó siguiendo los siguientes pasos a continuación descritos:

1. Se elaboró la viga de madera reforzada con acero previamente constituida, como se indicó en la sección 3.4, pero en este caso se utilizó una sección de madera de 6.5cm de base y una altura de 12cm y una platina de 3/8" de espesor y un ancho de 1.5".
2. Se sujetó las varas corrugadas de 1/4" que formaron la armadura discreta de la losa de ferrocemento a los salientes de los pernos que unen a la madera con la platina de acero para así poder constituir un solo elemento.
3. Se unió la armadura difusa sobre la conformada armadura discreta tensándola en los extremos de forma tal de que se obtuvo una superficie tensada y plana.
4. Se procedió con el vaciado del mortero de ferrocemento sobre la armadura de acero previamente encofrada, en la imagen 24 se muestra los elementos de la losa compuesta y en la fotografía 8 se muestra la losa compuesta ya conformada.

Imagen 24: Elementos de Losa Compuesta



Fuente: Propia

Fotografía 8: Losa Compuesta



Fuente: Propia

3.7. ACABADOS FINALES.

Se realizó para el ferrocemento el siguiente acabado:

1. Culminado el vaciado del mortero de ferrocemento sobre la losa compuesta y placa compuesta se procedió a dar un acabado liso con el uso de la plancha de albañil eliminando las irregularidades y excedentes, a las dos horas de su endurecimiento se procedió a echar una capa muy fina de cemento sobre la superficie del ferrocemento, esto con el fin de otorgarle una capa más lisa en su acabado, posterior a las ocho horas se procedió al curado de los elementos de ferrocemento durante los siete días siguientes de forma continua cubriéndolos del sol y humedeciendo constantemente con agua en toda su superficie.

En las fotografías 9 (a y b) se aprecia los acabos finales con plancha de albañil en la losa compuesta y placa compuesta respectivamente.

Fotografía 9: Acabados en losa compuesta y placa compuesta



Fuente: Propio

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS SISTEMAS.

4.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PARA EL ANÁLISIS:

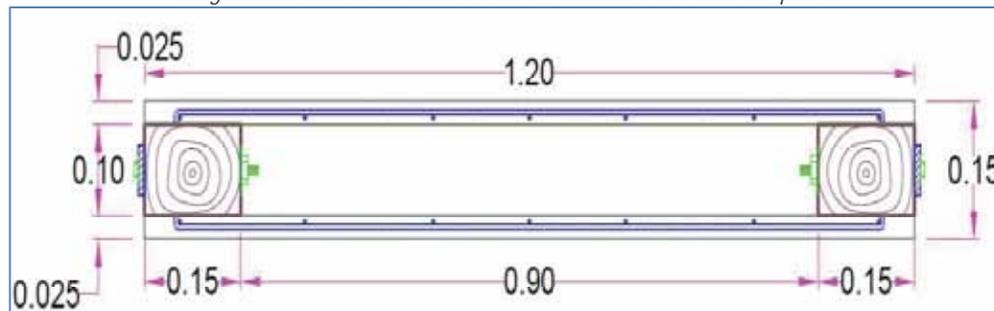
Los materiales componentes del sistema como son la madera, platina de acero y ferrocemento, los que ya han sido mencionados y descritos con anterioridad en el capítulo 2, son necesarios para el desarrollo del presente capítulo, en las siguientes tablas 17, 18 y 19 se adjuntan los detalles de las propiedades físicas y mecánicas de cada elemento componente del sistema propuesto, la forma geometría de cada uno de los elementos se muestra en las imágenes 25, 26 y 27.

Tabla 17: Elementos en Placa Compuesta

Placa Compuesta			
Material	Sección (bxh)	N° de Elementos	Módulo de Elasticidad E (Kg/cm ²)
Madera	10cm x 15cm	2	75 000
Acero	3.81cm x 9.53mm	2	2 100 000
Ferrocemento	120cm x 2.5cm	2	100 000

Fuente: Propia

Imagen 25: Dimensiones en metros de los elementos de Placa Compuesta



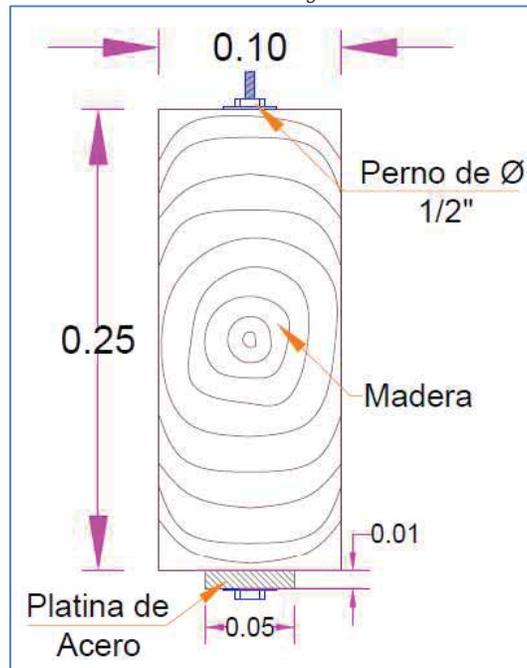
Fuente: Propia

Tabla 18: Propiedades de los elementos en Viga Reforzada

Viga de Madera Reforzada con Acero			
Material	Sección (bxh)	N° de Elementos	Módulo de Elasticidad E (Kg/cm ²)
Madera	10cm x 25cm	1	75 000
Acero	5.08cm x 9.53mm	1	2 100 000

Fuente: Propia

Imagen 26: Dimensiones en metro de Viga Madera Reforzada con Acero



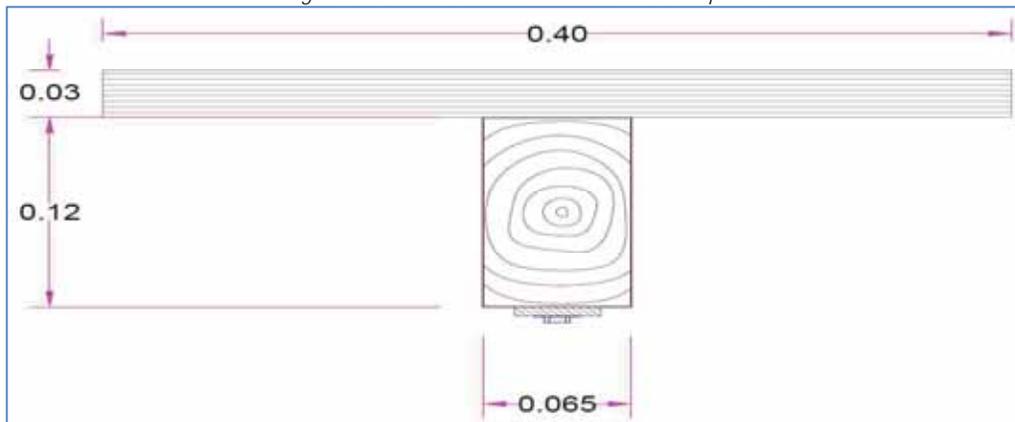
Fuente: Propia

Tabla 19: Propiedades de los Elementos en Losa Compuesta

Losa Compuesta			
Material	Sección (bxh)	Nº de Elementos	Módulo de Elasticidad E (Kg/cm ²)
Madera	10cm x 15cm	1	75 000
Acero	1.5" x 3/8"	1	2 100 000
Ferrocemento	40cm x 3 cm	1	100 000

Fuente: Propia

Imagen 27: Dimensiones en metros de Losa Compuesta



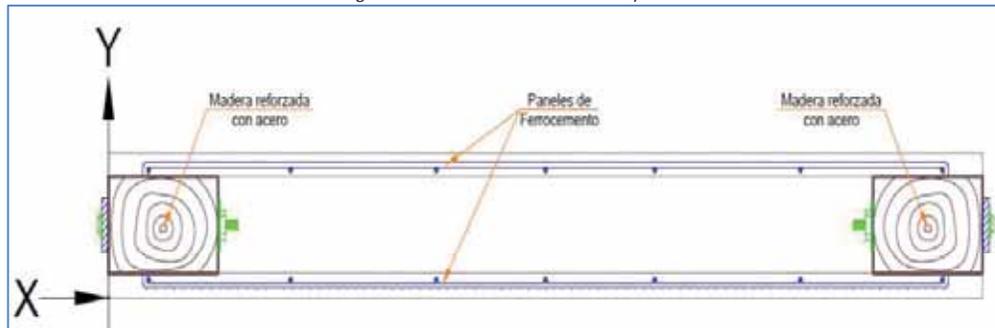
Fuente: Propia

4.2. ANÁLISIS DE PLACA COMPUESTA.

Para el análisis de este elemento compuesto mediante la teoría de secciones compuesta se realizó un pequeño ajuste a la sección de la platina de acero, como se recuerda la planita a usar es de 3/8" x 1.5", el cual para el análisis se consideró una sección de 1cm x 3.63 cm, esto con el fin de facilitar el cálculo y mantener el área del acero.

Sección Equivalente: Se desarrollaron las secciones equivalentes teniendo en cuenta una de las caras de la sección compuesta, como se muestra en la imagen 28.

Imagen 28: Análisis en Placa Compuesta



Fuente: Propia

1° Se Mantiene Constante la Cara de 1.22m: Para la transformación en la sección equivalente se tomó un módulo de elasticidad equivalente que será igual al de la madera por ser el menor.

Factor de Transformación (n_1):

$$n_1 = \frac{E_A}{E_M} = \frac{2\ 100\ 000}{75\ 000} = 28$$

$$n_1 = \frac{E_M}{E_M} = \frac{75\ 000}{75\ 000} = 1$$

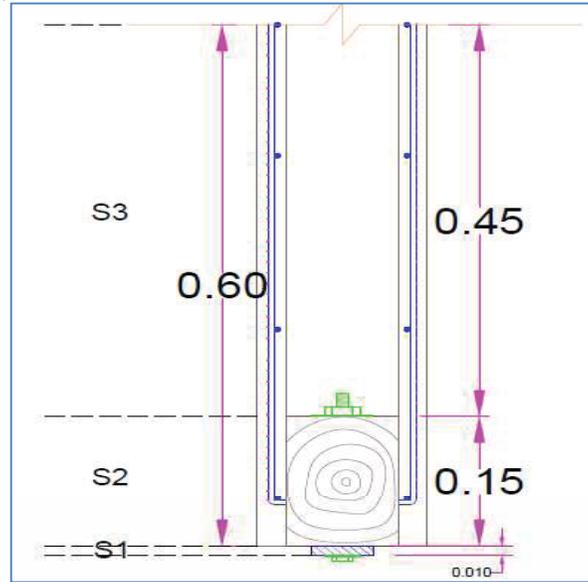
$$n_1 = \frac{E_F}{E_M} = \frac{100\ 000}{75\ 000} = 1.33$$

Donde:

- E_A : Módulo de Elasticidad del Acero.
- E_M : Módulo de Elasticidad de la Madera.
- E_F : Módulo de Elasticidad del Ferrocemento.

2° Transformación de la Base b_n a las bases de Madera: Para realizar esta transformación se consideró la mitad de la sección de la placa compuesta ya que esta es simétrica y al mantener constante el ancho de 1.20m la mitad de este será de 0.60m, por lo tanto, la transformación en una sección equivalente que se realizó en la parte inferior, se realizó también en la parte superior, como se muestra en la imagen 29.

Imagen 29: Mitad de Sección de Placa Compuesta (dimensiones en metros)



Fuente: Propia

La transformación en una sección equivalente se realizó teniendo en cuenta las secciones S1, S2, y S3 de la imagen 30 y 31, el procedimiento es el siguiente.

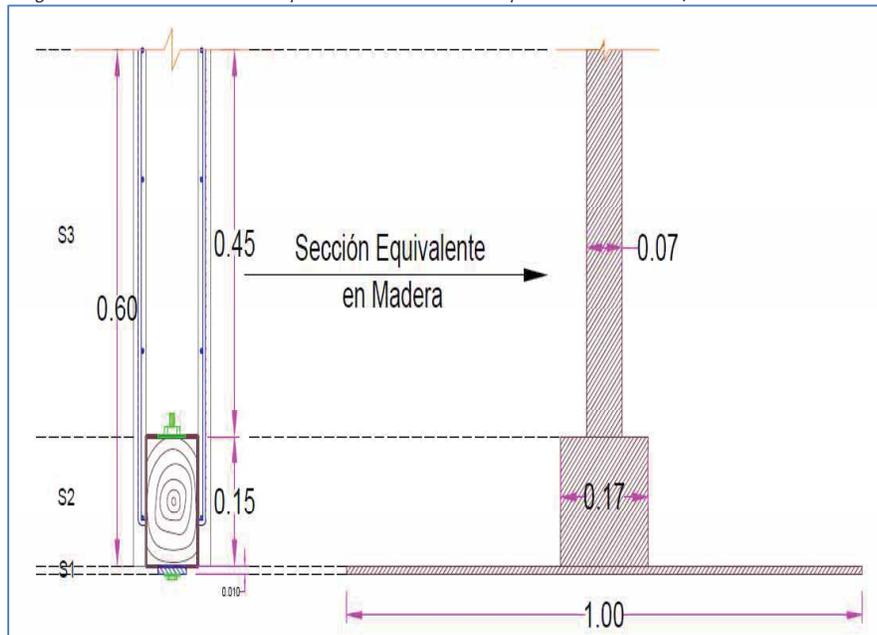
* $S_1 = n \times b_1^A = 28 \times 0.0363 = 1.00 \text{ m} \dots \text{Para el Acero}$

* $S_2 = n \cdot b_1^F + n \cdot b_1^M + n \cdot b_1^F = 1.33 \times 0.025 + 1 \times 0.10 + 1.33 \times 0.025$

* $S_2 = 0.17 \text{ m} \dots \text{Para el Ferrocemento y la Madera}$

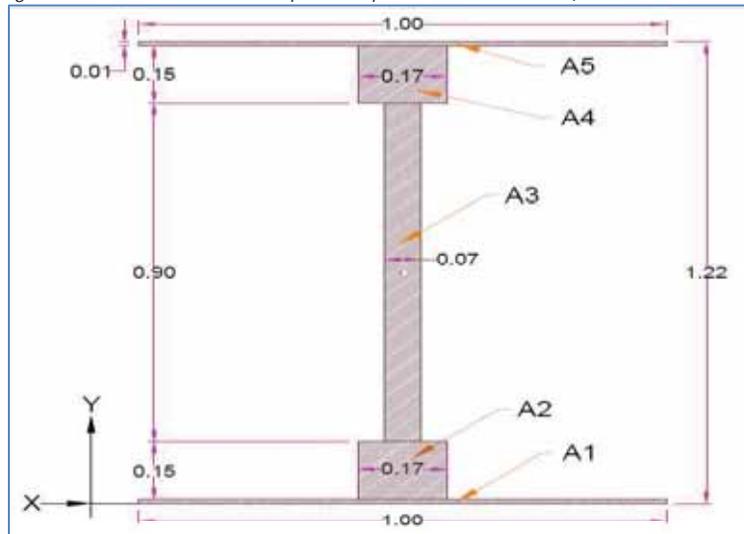
* $S_3 = 2 \cdot n \cdot b_1^F = 2 \times 1.33 \times 0.025 = 0.07 \text{ m} \dots \text{Para el Ferrocemento}$

Imagen 30: Mitad de Sección Equivalente de Placa Compuesta en Madera (dimensiones en metros)



Fuente: Propia

Imagen 31: Sección de Placa Compuesta equivalente en Madera (dimensiones en metros)



Fuente: Propia

3º Desarrollo de las Propiedades Mecánicas de la Sección Homogenizada: Se analizó en las direcciones “X” e “Y”, ya que se espera que este elemento trabaje en ambas direcciones.

a. Paralelo al eje “X”: Como se puede observar la sección equivalente obtenida es simétrica paralela al eje “X”, por tanto, la línea neutra de la sección equivalente “Cinf” estará ubicada en el medio de la sección, como se comprueba en la tabla 20.

Tabla 20: Calculo del momento de inercia de la sección equivalente paralelo al eje “X”

Cinf= 0.61							
Áreas	h(m)	b(m)	Xi	Ai	Igi (m4)	di=(Cinf-Xi)	Ini (m4)
A1	0.01	1.00	0.005	0.01	8.333×10^{-8}	0.605	0.0037
A2	0.150	0.17	0.085	0.0255	4.781×10^{-5}	0.525	0.0071
A3	0.900	0.07	0.61	0.063	4.253×10^{-3}	0	0.0043
A4	0.15	0.17	1.135	0.0255	4.781×10^{-5}	-0.525	0.0071
A5	0.01	1.00	1.215	0.01	8.333×10^{-8}	-0.605	0.0037
Total=	1.22		$\sum Ai=$	0.134		$\sum Ini=$	0.0257

Fuente: Propio

Donde:

Ai: Es el valor del área de la sección.

Xi: Es la distancia del centro de la sección Ai al eje “X”.

Igi: Momento de inercia de Ai respecto al eje “X”.

di: Es la distancia del eje neutro al centro de la sección Ai.

Ini. Momento de Inercia con respecto al eje Neutro (Cinf) // al eje “X”.

$\sum Ai$: Área total de la sección Equivalente.

$\sum Ini$: Inercia total de la sección Equivalente.

b. Paralelo al eje “Y”: Como se puede observar la sección equivalente obtenida es simetría paralela al eje “Y”, por tanto, la línea neutra de la sección equivalente “Cinf” estará ubicada en el medio de la sección, como se comprueba en la tabla 21.

Tabla 21: Cálculo del momento de inercia de la sección equivalente paralelo al eje “Y”

Cinf= 0.5							
Áreas	h(m)	b(m)	Yi	Ai	Igi (m ⁴)	di=(Cinf-Yi)	Ini (m ⁴)
A1	1.00	0.01	0.5	0.01	8.333x10 ⁻⁴	0	0.0008
A2	0.17	0.150	0.5	0.0255	6.436x10 ⁻³	0	0.0064
A3	0.07	0.900	0.5	0.063	1.578x10 ⁻²	0	0.0158
A4	0.17	0.15	0.5	0.0255	6.436x10 ⁻³	0	0.0064
A5	1.00	0.01	0.5	0.01	8.333x10 ⁻⁴	0	0.0008
				∑Ai=	0.134	∑Ini=	0.0303

Fuente: Propio

Donde:

Ai: Es el valor del área de la sección.

Yi: Es la distancia del centro de la sección Ai al eje “Y”.

Igi: Momento de inercia de Ai respecto al eje “Y”.

di: Es la distancia del eje neutro al centro de la sección Ai.

Ini: Momento de Inercia con respecto al eje Neutro (Cinf) // al eje “Y”.

∑Ai: Área total de la sección Equivalente.

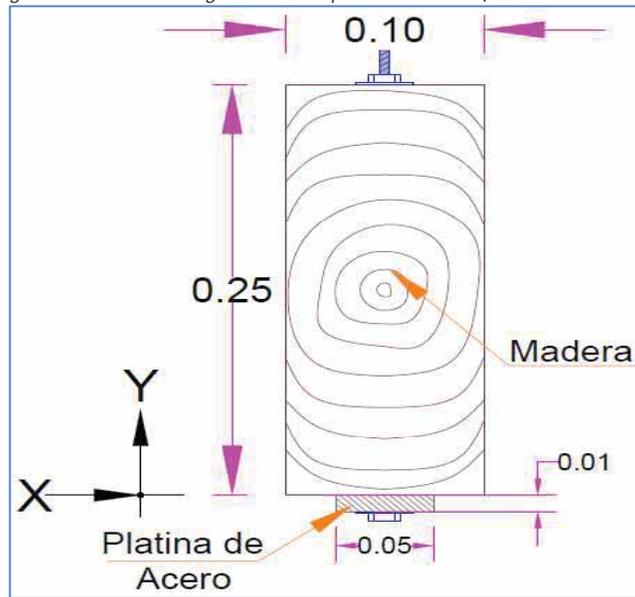
∑Ini: Inercia total de la sección Equivalente.

4.3. ANÁLISIS DE VIGA DE MADERA REFORZADA CON ACERO.

Para el análisis de este elemento compuesto mediante la teoría de secciones compuesta se realizó un ajuste a la sección de la platina de acero, como se recuerda la planita a usar es de 3/8” x 2.0”, la cual para el análisis se consideró una sección de 1 cm x 4.84 cm, esto con el fin de facilitar el cálculo y mantener el área del acero puesto que esta variación no afecta el cálculo del resultado final.

Sección Equivalente: Se desarrollaron las secciones equivalentes teniendo en cuenta una de las caras de la sección compuesta, como se muestra en la imagen 32.

Imagen 32: Sección de Viga Reforzada para el Análisis (menciones en metros)



Fuente: Propia

1° Se Mantiene Constante la Cara de 0.26m: Para la transformación en la sección equivalente se tomó un módulo de elasticidad equivalente que es igual al de la madera por ser el menor.

Factor de Transformación (n_1):

$$n_1 = \frac{E_A}{E_M} = \frac{2\,100\,000}{75\,000} = 28 \dots \text{Para el Acero}$$

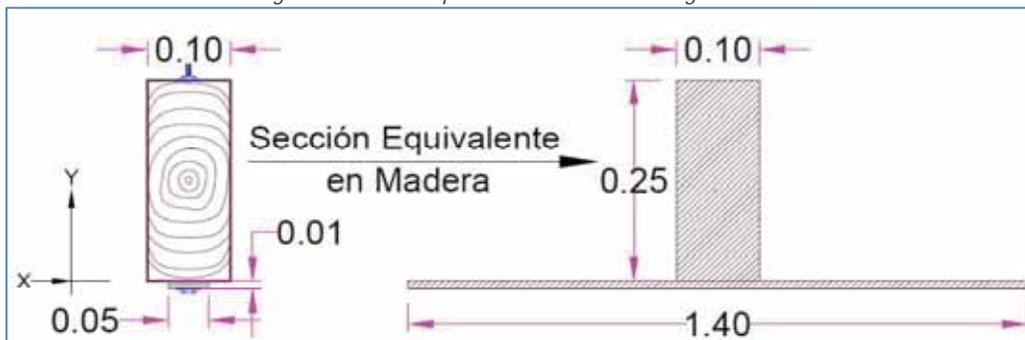
$$n_1 = \frac{E_M}{E_M} = \frac{75\,000}{75\,000} = 1 \dots \text{Para la Madera}$$

2° Transformación de la Base b_n a las bases de Madera: Para realizar esta transformación se mantuvo constante la altura de 0.21 m que tiene la viga como peralte, tal como se observa en la imagen 33.

$$* b_1^M = n \times b_1^A = 28 \times 0.05 = 1.40 \text{ m} \dots \text{Para el Acero}$$

$$* b_2^M = n \times b_1^M = 1 \times 0.10 = 0.10 \text{ m} \dots \text{Para la Madera}$$

Imagen 33: Sección Equivalente en Madera de Viga Reforzada

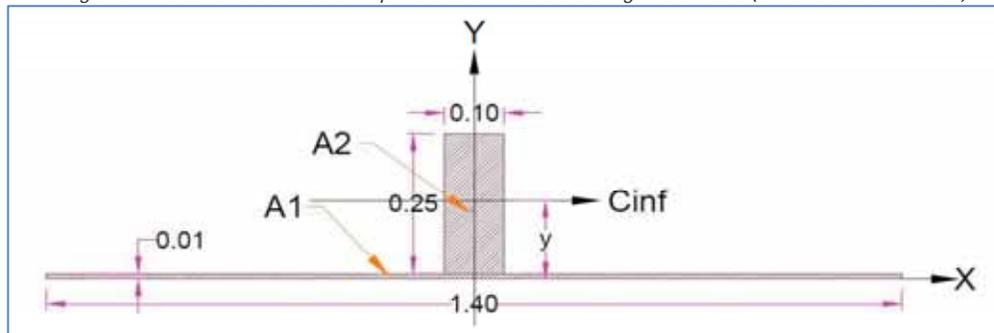


Fuente: Propia

3° Desarrollo de las Propiedades Mecánicas de la Sección Homogenizada: Se analizó en las direcciones paralela al eje “X”, ya que se espera que este elemento trabaje con fuerzas en dirección “Y”

a. Paralelo al eje “X”: Como se puede observar la sección equivalente obtenida es simétrica paralela al eje “Y”, por tanto, la línea neutra de la sección equivalente “Cinf” está ubicada sobre este eje de simetría, como se comprueba en la tabla 22 y se puede observar en la imagen 34.

Imagen 34: Desarrollo de Sección Equivalente en Madera de Viga Reforzada (dimensiones en metros)



Fuente: Propia

$$C_{inf} = \frac{A_1 \times Y_1 + A_2 \times Y_2}{A_1 + A_2}$$

$$C_{inf} = \frac{0.01 \times 1.40 \times 0.005 + 0.25 \times 0.10 \times 0.135}{0.014 + 0.025}$$

$$C_{inf} = 0.088 \text{ m} \dots \text{que es el valor de "y" respecto al eje "x"}$$

Tabla 22: Cálculo del momento de inercia de la sección equivalente de la viga compuesta

Cinf= 0.088							
Áreas	h(m)	b(m)	Yi	Ai	Igi (m4)	di=(Cinf-Yi)	Ini (m4)
A1	0.01	1.40	0.005	0.014	1.167x10 ⁻⁷	0.083	9.734x10 ⁻⁵
A2	0.250	0.10	0.135	0.025	1.302x10 ⁻⁴	-0.047	1.847x10 ⁻⁴
Total=	0.26		∑Ai=	0.039		∑Ini=	0.000282

Fuente: Propia

Donde:

Ai: Es el valor del área de la sección.

Yi: Es la distancia del centro de la sección Ai al eje “X”.

Igi: Momento de inercia de Ai respecto al eje “X”.

di: Es la distancia del eje neutro al centro de la sección Ai.

Ini. Momento de Inercia con respecto al eje Neutro (Cinf) // al eje “X”.

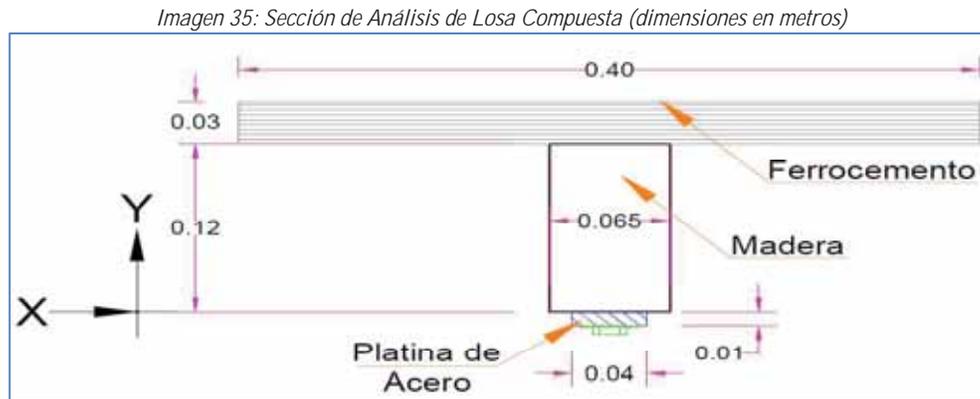
∑Ai: Área total de la sección Equivalente.

∑Ini: Inercia total de la sección Equivalente.

4.4. ANÁLISIS DE LOSA COMPUESTA.

Para el análisis de este elemento compuesto mediante la teoría de secciones compuestas se realizó un ajuste a la sección de la platina de acero, como se recuerda la planita usada fue de 3/8" x 1.5", y para el análisis se consideró una sección de 1cm x 3.63 cm, esto con el fin de facilitar el cálculo y mantener el área del acero puesto que esta variación no afecta el cálculo del resultado final.

Sección Equivalente: Se desarrollaron las secciones equivalentes teniendo en cuenta una de las caras de la sección compuesta, como se muestra en la imagen 35.



Fuente: Propia

1° **Se Mantiene Constante la Cara de 0.16m:** Para la transformación en la sección equivalente se tomó un módulo de elasticidad equivalente, que será igual al de la madera por ser el menor.

Factor de Transformación (n_1):

$$n_1 = \frac{E_A}{E_M} = \frac{2\ 100\ 000}{75\ 000} = 28 \dots \text{Para el Acero}$$

$$n_1 = \frac{E_M}{E_M} = \frac{75\ 000}{75\ 000} = 1 \dots \text{Para la Madera}$$

$$n_1 = \frac{E_F}{E_M} = \frac{100\ 000}{75\ 000} = 1.33 \dots \text{Para el Ferrocemento}$$

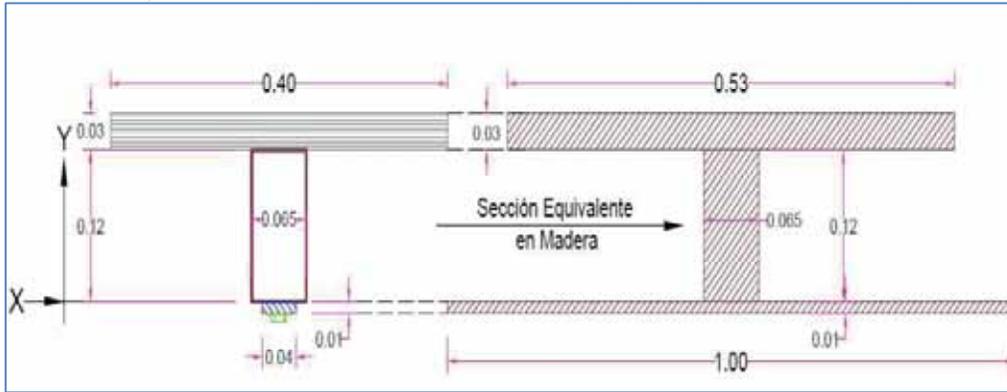
2° **Transformación de la Base b_n a las bases de Madera:** Para realizar esta transformación se mantuvo constante el peralte de la viga el cual tiene una dimensión de 0.16 m, tal como se observa en la imagen 36.

$$* b_1^M = n \times b_1^A = 28 \times 0.0363 = 1.00 \text{ m} \dots \text{Para el Acero}$$

$$* b_2^M = n \times b_1^M = 1 \times 0.065 = 0.065 \text{ m} \dots \text{Para la Madera}$$

$$* b_3^M = n \times b_1^M = 1.33 \times 0.40 = 0.532 \text{ m} \dots \text{Para el Ferrocemento}$$

Imagen 36: Sección Equivalente en Madera de Losa Compuesta (dimensiones en metros)

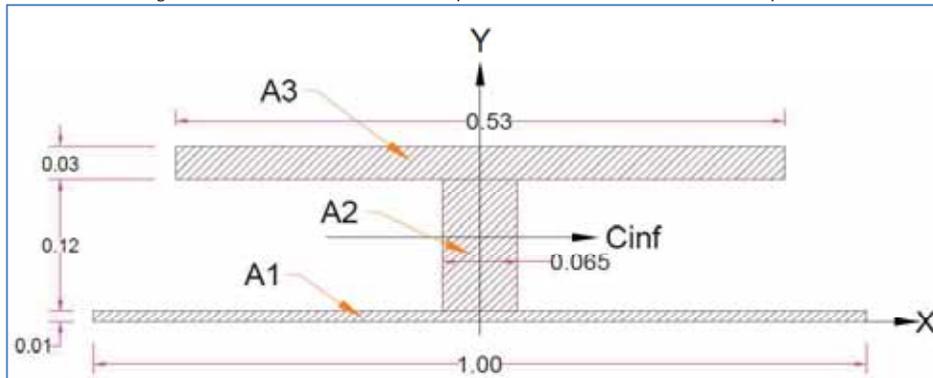


Fuente: Propia

3° Desarrollo de las Propiedades Mecánicas de la Sección Homogenizada: Se analizó en las direcciones paralela al eje “X”, ya que se espera que este elemento trabaje con fuerzas en dirección “Y”.

a. Paralelo al eje “X”: Como se observa la sección equivalente obtenida es simétrica y paralela al eje “Y”, por tanto, la línea neutra de la sección equivalente “C_{inf}” está ubicada sobre este eje de simetría, como se comprueba en la tabla 23 y se observa en la imagen 37.

Imagen 37: Desarrollo de Sección Equivalente en Madera de Losa Compuesta



Fuente: Propia

$$C_{inf} = \frac{A_1 \times Y_1 + A_2 \times Y_2 + A_3 \times Y_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$C_{inf} = 0.085 \text{ m} \dots \text{que es el valor de "y" respecto al eje "x"}$$

Tabla 23: Momento de Inercia de la sección equivalente en losa compuesta

C _{inf} = 0.088							
Áreas	h(m)	b(m)	Y _i	A _i	I _{gi} (m ⁴)	d _i =(C _{inf} -Y _i)	I _{ni} (m ⁴)
A1	0.01	1.07	0.005	0.011	8.890x10 ⁻⁸	0.080	6.785x10 ⁻⁵
A2	0.120	0.07	0.07	0.008	9.360x10 ⁻⁶	0.015	1.104x10 ⁻⁵
A3	0.030	0.53	0.145	0.016	1.200x10 ⁻⁶	-0.060	5.938x10 ⁻⁵
Total=	0.16		∑A _i =	0.034		∑I _{ni} =	0.000138

Fuente: Propia

CAPÍTULO 5. ENSAYOS DE LABORATORIO EN ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SISTEMA

5.1. ENSAYOS SOBRE PLACA COMPUESTA

5.1.1. PARÁMETROS Y METODOLOGÍA DE LOS ENSAYOS.

Para realizar los ensayos fue necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

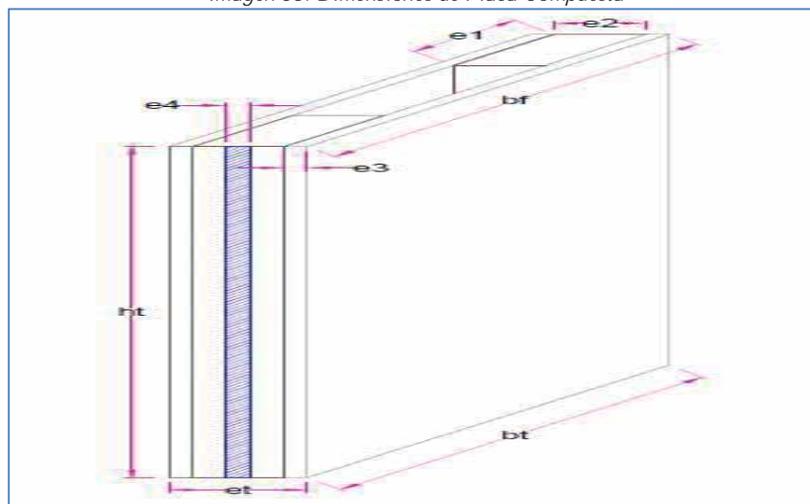
- **Dimensiones de los elementos de la Placa Compuesta.**

La metodología para este ensayo fue la aplicación de una carga directa constante sobre la placa compuesta a lo largo de una de sus diagonales, ya que la muestra ensayada tiene una forma cuadrada y por ende sus diagonales son iguales, para realizar este ensayo se utilizó la máquina de compresión diagonal del laboratorio de Estructuras perteneciente a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

5.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA PLACA COMPUESTA.

La característica a considerar para el ensayo sobre la Placa Compuesta es la geometría de los elementos que lo componen y su geometría total como elemento compuesto al momento del ensayo, ver imagen 38.

Imagen 38: Dimensiones de Placa Compuesta



Fuente: Propia

Donde:

- ht: Altura total de la placa compuesta.
- bt: Base total de la placa compuesta.
- et: Espesor total de la placa compuesta.
- e1, e2, e3: Espesor de la madera, acero y ferrocemento.

En la tabla 24 se muestran las dimensiones de los elementos componentes de la placa compuesta que fue sometida a ensayo (madera, acero y ferrocemento).

Tabla 24: Dimensiones de elementos en Placa Compuesta

Elemento	Altura (m)	Base (m)	Espesor (m)
Madera	$h=0.60$	$b1=0.150$	$e1=0.100$
Acero	$h=0.60$	$b3=0.038$	$e2=0.010$
Ferrocemento	$h=0.60$	$b2=0.60$	$e3=0.025$
Total	$ht=0.60$	$bt=0.60$	$et=0.150$

Fuente: Propia

5.1.3. VARIABLES A CONSIDERAR.

Las variables a considerar son:

- *El valor de la fuerza diagonal máxima soportada y que ocasiona la falla de la placa compuesta.*

5.1.4. Resultados Experimentales.

Fotografías de Pruebas en Laboratorio

En la fotografía 10 se muestra el ensayo de compresión de carga diagonal sobre la placa compuesta N°1 (PC-1), el mismo que soportó una carga máxima de falla de 31.50t.

Fotografía 10: Ensayo de Compresión Diagonal sobre Placa PC-1



Fuente: Propia

En la fotografía 11 se muestra el ensayo de compresión de carga diagonal sobre la placa compuesta N°2 (PC-2), el mismo que soportó una carga máxima de falla de 30.00t.

Fotografía 11: Ensayo de Compresión Diagonal sobre Placa PC-2



Fuente: Propia

En la fotografía 12 se muestra el ensayo de compresión de carga diagonal sobre la placa compuesta N°3 (PC-3), el mismo que soportó una carga máxima de falla de 30.50t.

Fotografía 12: Ensayo de Compresión Diagonal sobre Placa PC-3



Fuente: Propia

En la tabla 25 se muestran los resultados de los ensayos de Laboratorio sobre la placa compuesta.

$$v'_m = \frac{P}{\sqrt{2} \cdot L \cdot t}$$

Tabla 25: Resultados de ensayo sobre Placas Compuestas

Muestra	Área (cm ²)	Carga de Falla (t)	Resistencia v'_m (kg/cm ²)
PC-1	3 600	31.50	24.75
PC-2	3 600	30.00	23.57
PC-3	3 600	30.50	23.96

Fuente: Propia

5.2. ENSAYOS SOBRE VIGA DE MADERA REFORZADA CON ACERO

5.2.1. PARÁMETROS Y METODOLOGÍA DE LOS ENSAYOS.

Para realizar los ensayos fue necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

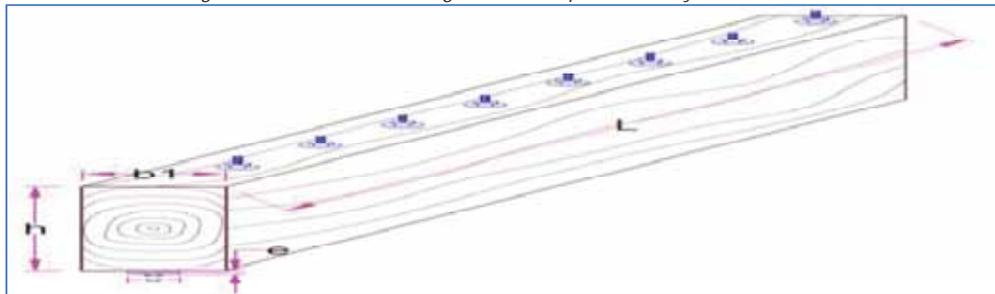
- a. *Sección transversal de la viga de madera reforzada con acero.*
- b. *Longitud de la viga de madera reforzada con acero.*
- c. *Secciones de los elementos componentes de la viga de madera reforzada con acero (madera y platina de acero).*

La metodología para este ensayo fue la aplicación de una carga puntual directa sobre la viga de madera reforzada con acero, esta carga única se aplicó en la cara superior libre de la viga la misma que no está reforzada con la platina de acero, la carga fue ubicada en el medio de la longitud de la viga, este ensayo muestra el comportamiento de una viga simplemente apoyada sometida a una carga puntual, para la realización de este ensayo se utilizó la maquina universal del laboratorio de Estructuras perteneciente a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

5.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA VIGA DE MADERA REFORZADA CON ACERO.

La característica a considerar para el ensayo sobre la Viga de Madera Reforzada con Acero es la geometría de los elementos que lo componen y su geometría total como elemento compuesto al momento del ensayo, ver imagen 39.

Imagen 39: Dimensiones de Viga Reforzada para el Ensayo de Laboratorio



Fuente: Propia

Donde:

- L: Longitud de la viga de madera reforzada con acero.
- h: Altura o peralte de la viga de madera.
- b1: Base de la viga de madera.
- e: Espesor de la platina de acero.

En la tabla 26 se muestran las dimensiones de los elementos componentes de la viga de madera reforzada con acero que fue sometida a ensayo (madera y platina de acero).

Tabla 26: Dimensiones Viga Reforzada para ensayo en Laboratorio

Elemento	Altura (m)	Base (m)	Longitud (m)
Madera	$h=0.250$	$b1=0.100$	$L1=1.00$
Acero	$e=0.010$	$b3=0.051$	$L2=1.00$
Total	$ht=0.260$	$bt=0.100$	$Lt=1.00$

Fuente: Propia

5.2.3. VARIABLES A CONSIDERAR.

Para el análisis de los resultados obtenidos por el ensayo en laboratorio fue necesario tener en cuenta las siguientes variables o datos los que sirvieron para obtener los módulos de elasticidad para cada muestra:

- *El valor de la fuerza aplicada sobre la viga de madera reforzada con acero.*
- *La deformación provocada sobre la viga de madera reforzada con acero por la fuerza aplicada durante el ensayo.*

5.2.4. RESULTADOS EXPERIMENTALES.

Fotografías de Pruebas en Laboratorio

En la fotografía 13 se muestra el ensayo de carga puntual sobre la viga de madera reforzada con acero simplemente apoyada (VR-1), el mismo que soporto una carga máxima de 12 480.00 kg y una deformación máxima de 7.58mm.

Fotografía 13: Ensayo de Flexión Simple en VR-1



Fuente: Propia

En la fotografía 14 se muestra el ensayo de carga puntual sobre la viga de madera reforzada con acero simplemente apoyada (VR-2), el mismo que soporto una carga máxima de 12 559.00 kg y una deformación máxima de 7.67mm.

Fotografía 14: Ensayo de Flexión Simple en VR-2



Fuente: Propia

En la fotografía 15 se muestra el ensayo de carga puntual sobre la viga de madera reforzada con acero simplemente apoyada (VR-3), el mismo que soporto una carga máxima de 12 680.00 kg y una deformación máxima de 7.82mm.

Fotografía 15: Ensayo de Flexión Simple en VR-3



Fuente: Propia

Curva esfuerzo vs Deformación

A continuación, se muestran la graficas 1, 2 y 3 de las curvas carga versus deformación los que fueron obtenidos por la máquina de ensayo universal.

Grafico 1: Curva esfuerzo Deformación en VR-1



Fuente: Propio

Grafico 2: Curva esfuerzo Deformación en VR-2



Fuente: Propio

Grafico 3: Curva esfuerzo Deformación en VR-3



Fuente: Propio

En la tabla 27 se muestran los resultados de los ensayos de laboratorio sobre las vigas de madera reforzadas con platinas de acero.

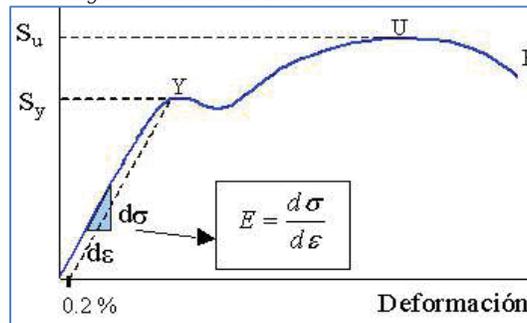
Tabla 27: Resultados de Pruebas de Laboratorio sobre Viga Reforzada

Muestra	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Deformación Máxima (mm)
VR-1	250	12 480.00	7.58
VR-2	250	12 559.00	7.67
VR-3	250	12 648.00	7.82

Fuente: Propio

Determinación del Módulo de Elasticidad de las Sección Compuesta (E_{sc})

Imagen 40: Modulo de Elasticidad Gráficamente



Fuente: <http://www.mecapedia.uji.es>

En la tabla 28 se muestran los módulos de elasticidad para la viga de madera reforzada con platina de acero calculados a partir de los datos obtenidos en los ensayos de la maquina universal.

Tabla 28: Módulos de Elasticidad de los Ensayos

Muestra	Carga (kg)	I (Cm ⁴)	Luz (L cm)	Y (cm)	E_{sc} (kg/cm ²)
VR-1	8 431.00	28 354.02	84.00	0.363	39,123.44
VR-2	8 277.00	28 354.02	84.00	0.350	38,346.62
VR-3	8 364.00	28 354.02	84.00	0.298	35,658.75

Fuente: Propio

5.3. ENSAYOS SOBRE LOSA COMPUESTA.

5.3.1. PARÁMETROS Y METODOLOGÍA DE LOS ENSAYOS.

Para realizar los ensayos fue necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

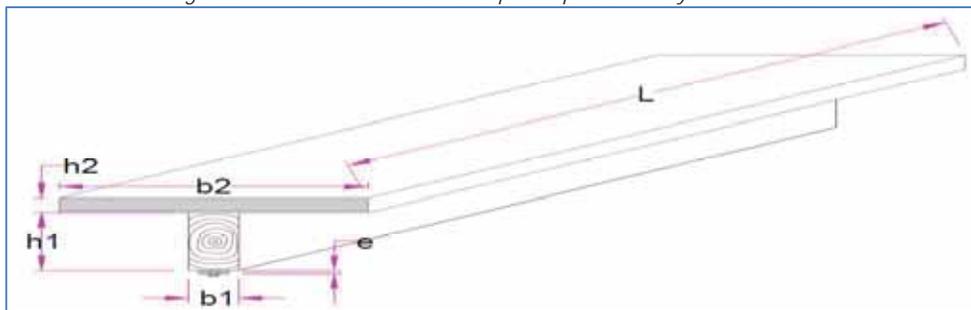
- a. *Sección transversal de la losa compuesta.*
- b. *Longitud de la losa compuesta.*
- c. *Secciones de los elementos componentes de la losa compuesta (madera, platina de acero y ferrocemento).*

La metodología para este ensayo fue la aplicación de una carga puntual directa sobre la losa compuesta, esta carga única se aplicó en la cara superior la que está compuesta por el ferrocemento, la carga fue ubicada en el medio de la longitud de la losa compuesta, este ensayo muestra el comportamiento de una viga simplemente apoyada sometida a una carga puntual, para la realización de este ensayo se utilizó la maquina universal del laboratorio de Estructuras perteneciente a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

5.3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA LOSA COMPUESTA.

La característica a considerar para el ensayo sobre la losa compuesta es la geometría de los elementos que lo componen y su geometría total como elemento compuesto al momento del ensayo, ver imagen 41.

Imagen 41: Dimensiones de Losa Compuesta para el Ensayo en Laboratorio



Fuente: Propio

Donde:

- L : Longitud de la viga de la losa compuesta.
- h_1 y h_2 : Altura o peralte de la viga de madera y el ferrocemento.
- b_1 y b_2 : Base de la viga de madera y base del ferrocemento.
- e : Espesor de la platina de acero.

En la tabla 29 se muestran las dimensiones de los elementos componentes de la losa compuesta que fue sometida a ensayo (madera, platina de acero y ferrocemento).

Tabla 29: Dimensiones de Losa Compuesta

Elemento	Altura (m)	Base (m)	Longitud (m)
Madera	$h=0.120$	$b1=0.065$	$L1=1.00$
Acero	$e=0.010$	$b3=0.038$	$L2=1.00$
Ferrocemento	$h=0.030$	$b2=0.400$	$L3=1.00$
Total	$ht=0.160$		$Lt=1.00$

Fuente: Propio

5.3.3. VARIABLES A CONSIDERAR.

Para el análisis de los resultados obtenidos por el ensayo en laboratorio fue necesario tener en cuenta las siguientes variables o datos los que sirvieron para obtener los módulos de elasticidad para cada muestra de losa compuesta:

- *El valor de la fuerza aplicada sobre la losa compuesta.*
- *La deformación provocada sobre la losa compuesta por la fuerza aplicada durante el ensayo.*

5.3.4. Resultados Experimentales.

Fotografías de Pruebas en Laboratorio

En la fotografía 16 se muestra el ensayo de carga puntual sobre la losa compuesta simplemente apoyada (VFR-1), el mismo que soporto una carga máxima de 4 738.00 kg y una deformación máxima de 3.75mm.

Fotografía 16: Ensayo de Flexión Simple sobre Losa Compuesta VRF-1



Fuente: Propio

En la fotografía 17 se muestra el ensayo de carga puntual sobre la losa compuesta simplemente apoyada (VFR-2), el mismo que soporto una carga máxima de 4 818.00 kg y una deformación máxima de 3.87mm.

Fotografía 17: Ensayo de Flexión Simple sobre Losa Compuesta VRF-2



Fuente: Propio

En la fotografía 18 se muestra el ensayo de carga puntual sobre la losa compuesta simplemente apoyada (VFR-3), el mismo que soporto una carga máxima de 4 704.00 kg y una deformación máxima de 3.69mm.

Fotografía 18: Ensayo de Flexión Simple sobre Losa Compuesta VRF-3



Fuente: Propio

Curvas de esfuerzo vs Deformación

A continuación, se muestran la graficas N°4, N°5 y N°6 de las curvas carga versus deformación los que fueron obtenidos por la máquina de ensayo universal.

Grafico 4: Curva esfuerzo Deformación en VRF- 1



Fuente: Propio

Grafico 5: Curva esfuerzo Deformación en VRF- 2



Fuente: Propio

Grafico 6: Curva esfuerzo Deformación en VRF- 3



Fuente: Propio

Tabla de Resultados de las Pruebas de Laboratorio

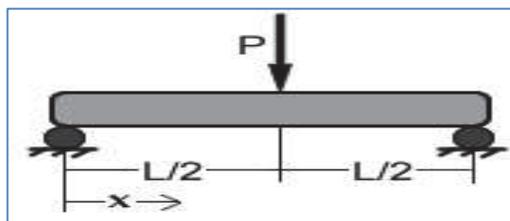
En la tabla 30 se muestran los resultados de los ensayos de Laboratorio sobre las losas compuestas.

Tabla 30: Resultados de Laboratorio en Losa Compuesta

Muestra	Área	Carga Máxima	Deformación Máxima
VRF-1	344.68 cm ²	4 738.00 Kg	3.75 mm
VRF-2	344.68 cm ²	4 818.00 Kg	3.87 mm
VRF-3	344.68 cm ²	4 704.00 Kg	3.69 mm

Fuente: Propio

Determinación del Módulo de Elasticidad de las Sección Compuesta (E_{sc})



Ecuación de la flecha en una viga simplemente apoyada:

$$y_{max} = \frac{PL^3}{48 EI}$$

En la tabla 31 se muestran los módulos de elasticidad para la losa compuesta calculados a partir de los datos obtenidos en los ensayos de la maquina universal.

Tabla 31: Módulos de Elasticidad de los ensayos Sobre Losa Compuesta

Muestra	Carga (kg)	I (Cm ⁴)	Luz (L cm)	Y (cm)	E _{sc} (kg/cm ²)
VRF-1	2 000.00	13 827.594	84.00	0.072	24 805.472
VRF-2	2 000.00	13 827.594	84.00	0.070	25 514.200
VRF-3	2 000.00	13 827.594	84.00	0.074	24 135.054

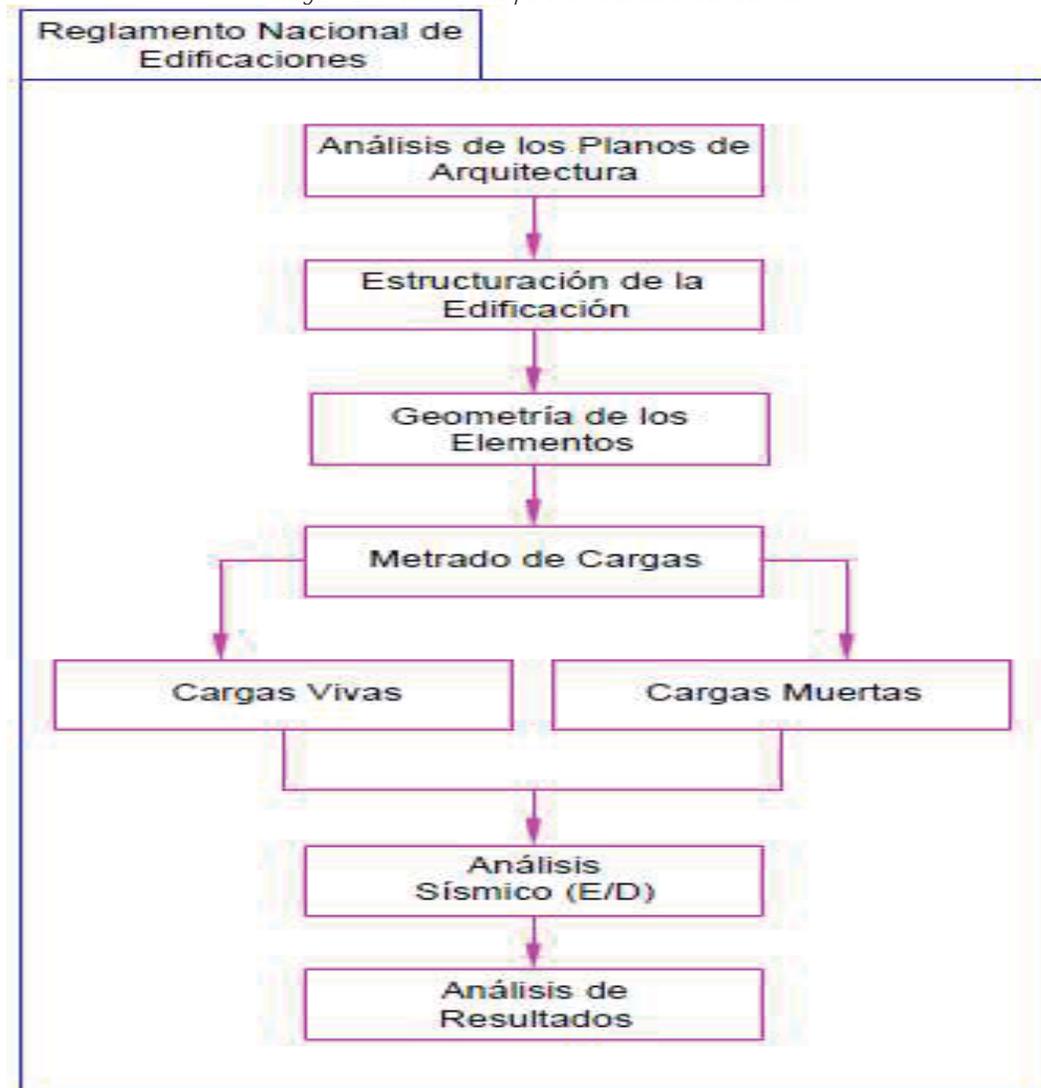
Fuente: Propio

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA TÍPICA DE DOS NIVELES UTILIZANDO EL SOFTWARE DE CÁLCULO ESTRUCTURAL SAP 2000.

6.1. ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO PARA LA MODELACIÓN CON SAP 2000

Para la obtención de resultados confiables por parte de Software escogido fue necesario dotarlo de los datos necesarios que se requieren para hacer un análisis sísmico, el Reglamento Nacional de Edificaciones dicta los parámetros necesarios para realizar este tipo de análisis, por lo cual se siguió en siguiente esquema de trabajo para dicho análisis, ver imagen 42.

Imagen 42: Procedimiento para la modelación con Software

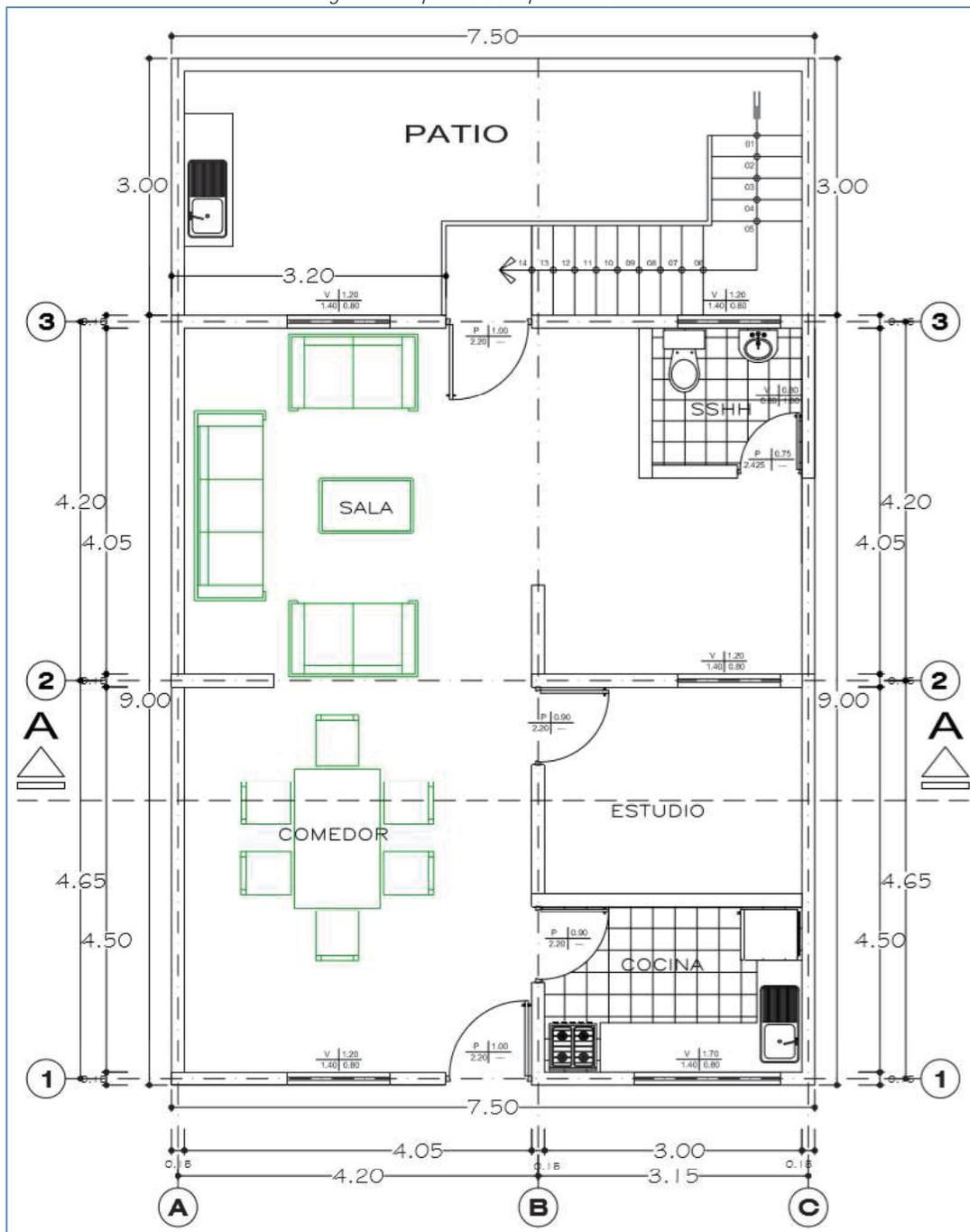


Fuente: Propio

a. Análisis de los Planos de Arquitectura.

La Arquitectura de la vivienda es la siguiente.

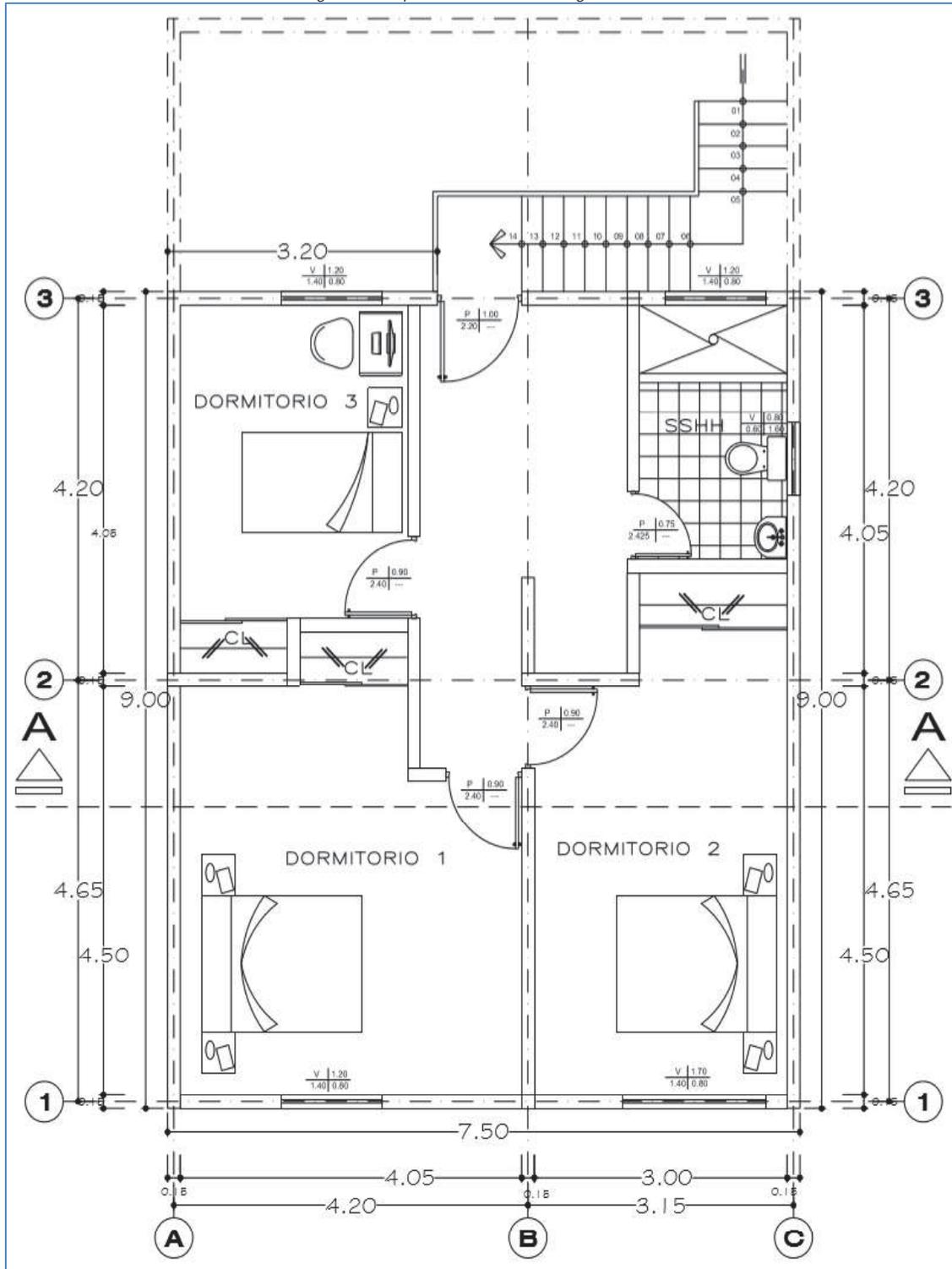
Imagen 43: Arquitectura en planta Primer Nivel



Fuente: Propio

Como se puede apreciar en la imagen 43 el área a construir es de 67.50 m², con 7.50m en la parte del frontis y posterior, los lados cuentan con 9.00m de longitud cada, en el primer nivel se ubican la cocina, el comedor, la sala, estudio, servicios higiénicos y las escaleras al segundo nivel.

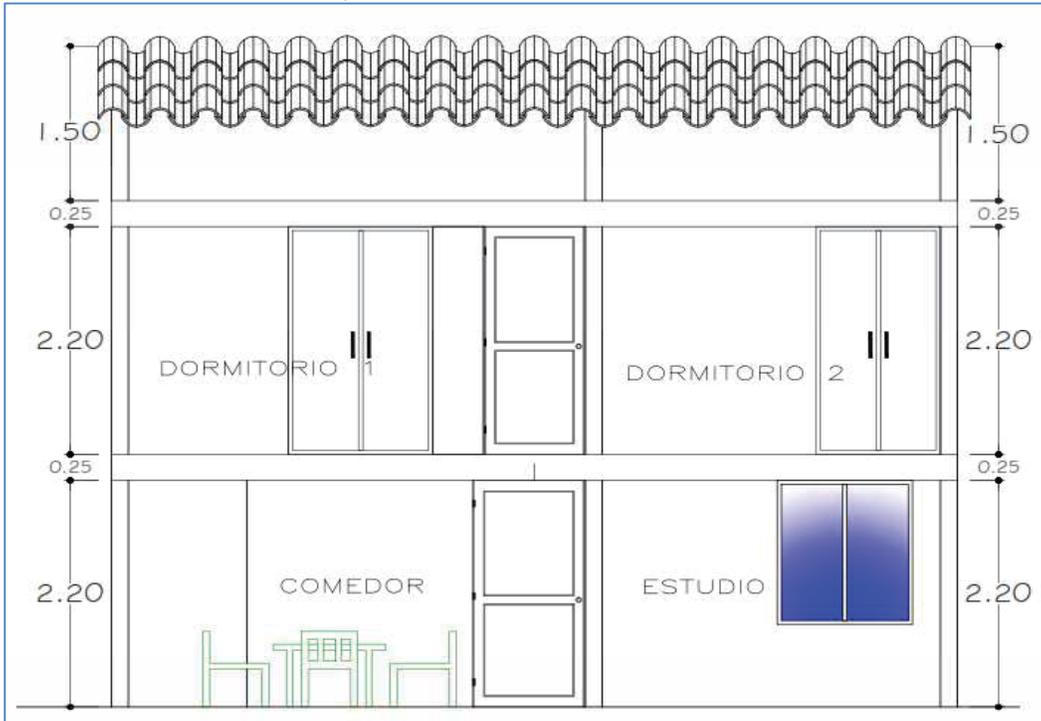
Imagen 44: Arquitectura en Planta Segundo Nivel



Fuente: Propio

Como se puede apreciar en la imagen 44 el área a construir en el segundo nivel es la misma del primero y posee las mismas dimensiones, cuentan con tres dormitorios un servicio higiénico.

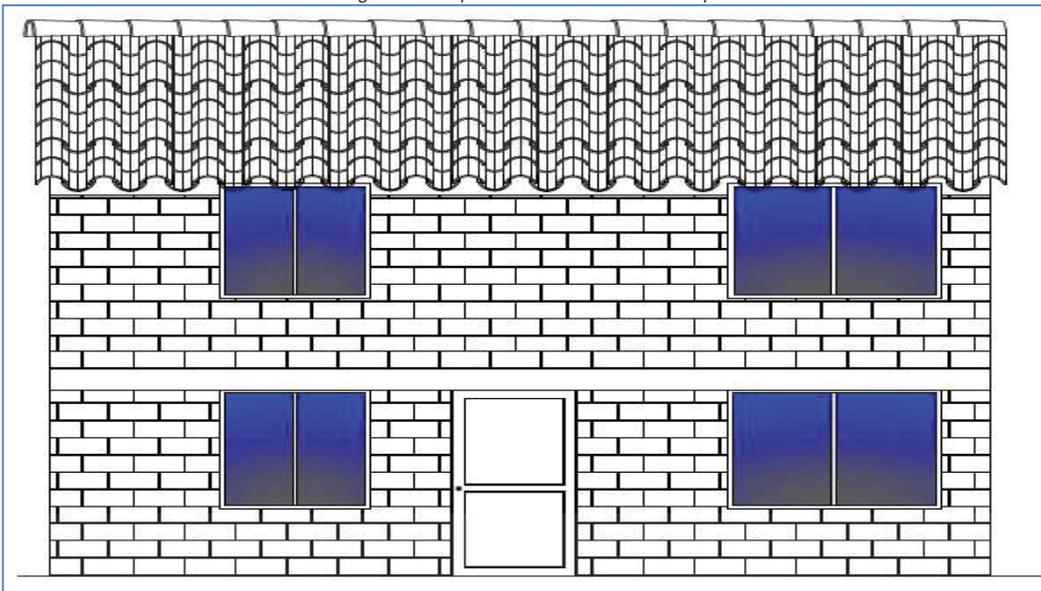
Imagen 45: Arquitectura en Elevación Corte A-A



Fuente: Propio

La imagen 45 muestra el corte A-A de la vivienda donde se aprecia la altura de cada nivel el cual es de 2.20m, se aprecia también una sección de techo siendo este a dos aguas.

Imagen 46: Arquitectura Elevación Principal



Fuente: Propio

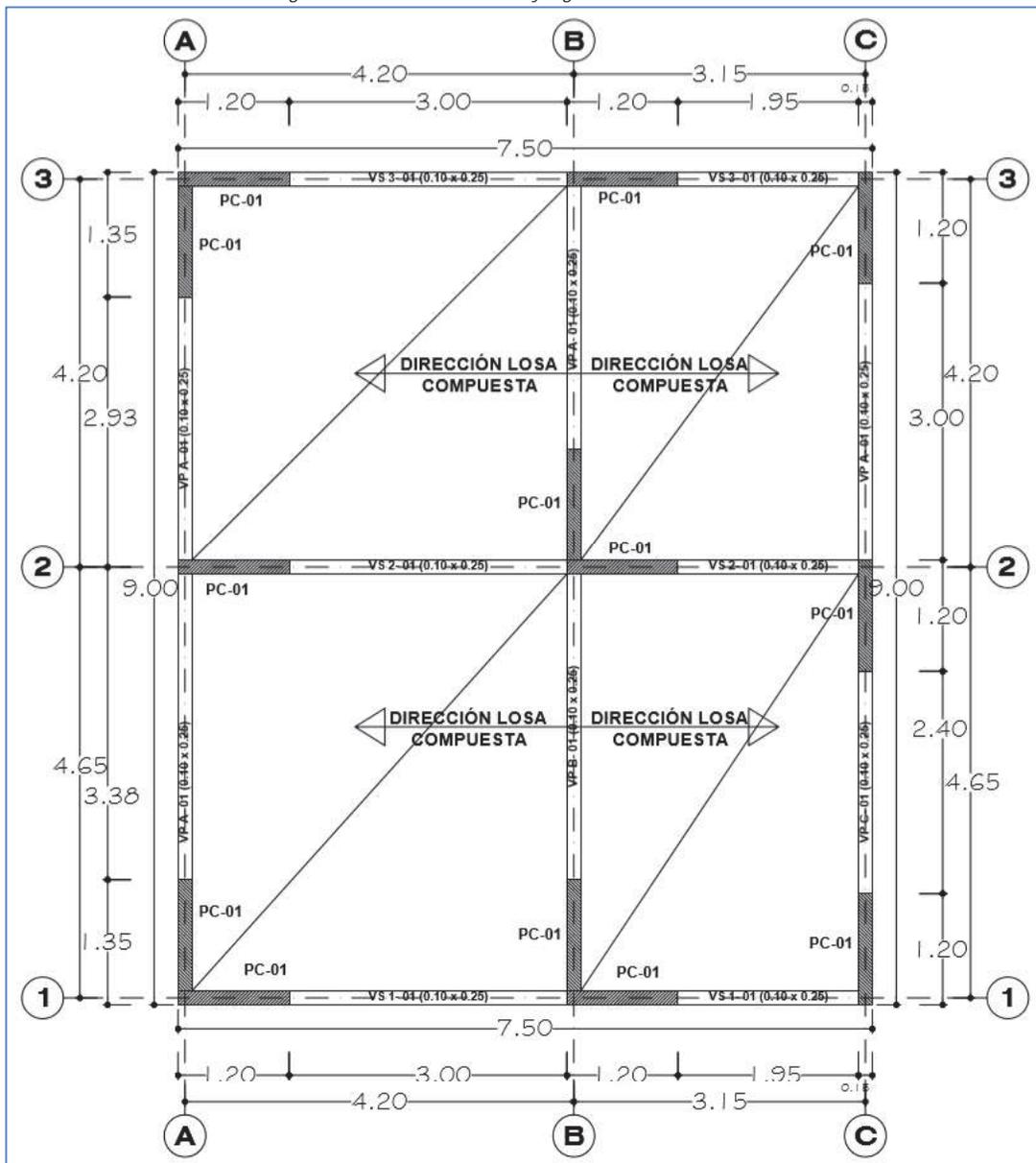
La imagen 46 muestra la fachada de la vivienda, se puede apreciar también el techo el cual estará construido con teja andina.

b. Estructuración de la Edificación.

Se estructuró teniendo en cuenta los elementos verticales que estarán constituidos por las placas compuestas, estos trabajarán soportando todo el peso de la edificación y las cargas de sismo, los elementos horizontales lo constituirán las vigas de madera reforzada con acero, el diafragma rígido lo constituirá la losa compuesta.

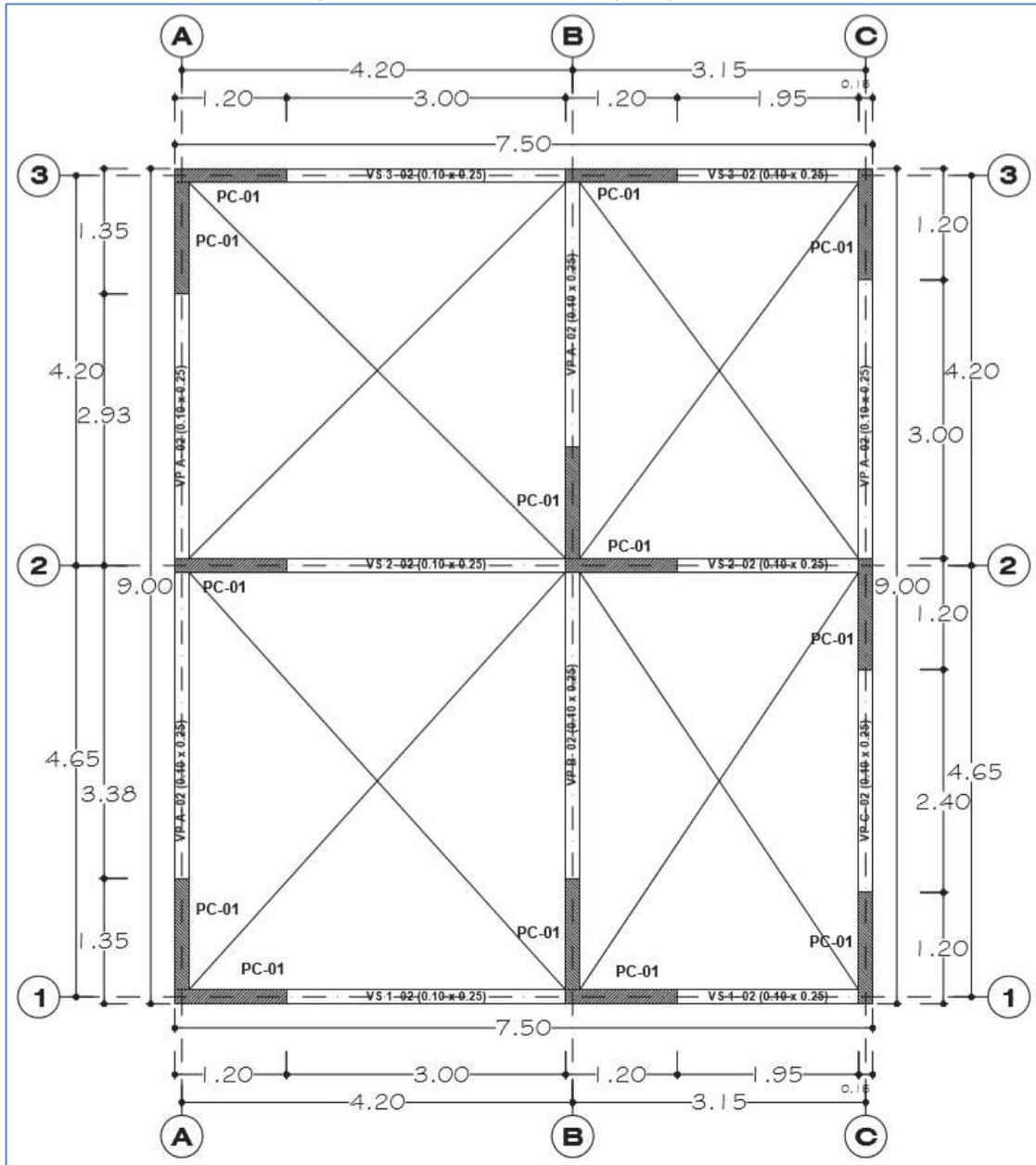
La estructuración elegida está basada en un sistema aporticado, en donde sus elementos lo constituyen las placas compuestas como elementos verticales y las vigas de madera reforzada con acero serán sus elementos horizontales, esto se puede apreciar en la imagen 47:

Imagen 47: Estructuras de losa y viga en Planta Primer Nivel



Fuente: Propio

Imagen 48: Estructuras en Planta de Vigas Segundo Nivel



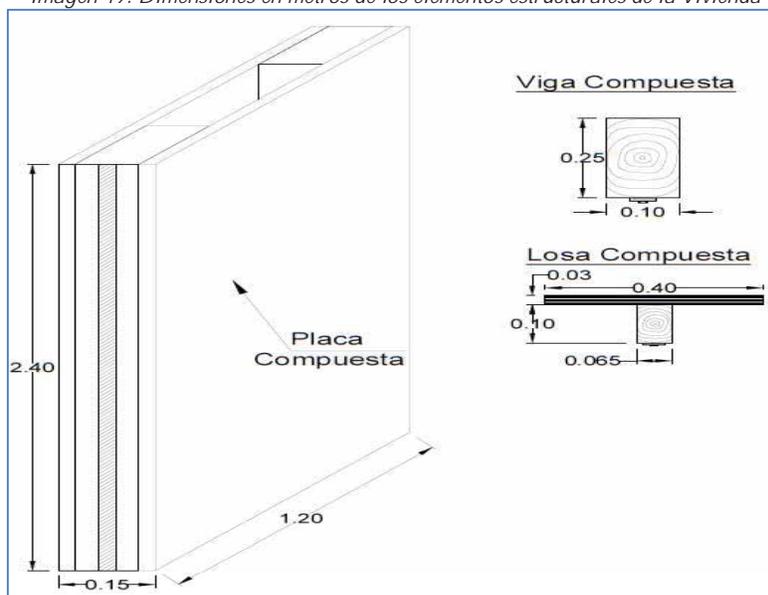
Fuente: Propio

Como se muestra en la imagen 48 la estructuración se realizó mediante pórticos y losa en el primer nivel y para el segundo nivel no se consideró ninguna losa ya que estará cubierta por el techo el cual está armado mediante armaduras de madera y una cubierta con teja andina.

c. Geometría de los Elementos.

Los elementos componentes del sistema estructural denominados: placa compuesta, viga compuesta y losa compuesta tendrán una geometría como se indica en la imagen 49.

Imagen 49: Dimensiones en metros de los elementos estructurales de la Vivienda



Fuente: Propio

d. Metrado de Cargas.

Las cargas a ser consideradas en el análisis del sistema son las indicadas por el reglamento nacional de edificaciones.

Cargas Vivas: Es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos móviles soportados por la edificación, (RNE).

La carga viva a considerar en el diseño será de 250 Kg/m².

Carga Muerta: Es el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos soportados por la edificación, incluyendo su peso propio, que se propone sean permanentes o con una variación en su magnitud, pequeña en el tiempo. Las que fueron utilizadas según (RNE) son las que se presentan en la tabla 32.

Tabla 32: Peso de los Elementos del Sistema Estructural

Material	Peso (Kg/cm ³)
Ferrocemento	2 100
Acero	7 850
Madera (Grupo B)	1 000
Acabado de Pisos	24(Kg/m ²)
Carga de Techo	100 (Kg/m ²)

Fuente: Norma Técnica Peruana E.020 (Cargas)

e. Análisis Sísmico.

Se realizó dos tipos de análisis los cuales son el análisis sísmico estático y el análisis sísmico dinámico, en ambos se siguió lo establecido en el Reglamento Nacional de Edificaciones dentro de su norma E-030 de diseño sismo resistente, para ello se consideraron factores que indica la mencionada norma, ver imagen 50.

Imagen 50: Factores sísmicos según la Norma E-030

Parámetros de Análisis Sísmico			
FACTOR DE ZONA "Z"			
Zona	Factor de Zona "Z"		
2	0.30		
SISTEMA ESTRUCTURAL "R"			
Sistema Estructural	Tipo de Estructura	Coeficiente de Reducción "R"	
Construcción de Madera (Por esfuerzos admisibles)	Regular	7	
CATEGORIA DE EDIFICACIÓN "U"			
Categoría	Importancia	Factor "U"	
C	Edificaciones Comunes	1.00	
PARAMETROS DEL SUELO "S"			
Tipo	Descripción	Tp (s)	Factor "S"
S3	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0.90	1.40

Fuente: Propio

f. Análisis de Resultados.

El primer resultado analizado es el cortante basal obtenido por los análisis sísmicos estático y dinámico, ambas cortantes basales provocaron sobre la vivienda desplazamientos, tanto en la dirección del eje "X" como en "Y" de la vivienda, estos desplazamientos sirven para obtener las derivas inelásticas para cada piso de la edificación los cuales no deben exceder los límites que establece la norma de diseño sismo resiste E-030.

El segundo resultado analizado es la comparación entre la cortante basal estática y la dinámica, ya que la norma E-030 establece que la cortante basal dinámica no debe ser menor al 80% de la cortante basal estática para este tipo de edificación, de ser el caso en el cual la cortante basal dinámica sea menor a lo establecido por la norma se tendrá que realizar un ajuste para cumplir lo que establece la norma.

Del resultado del análisis sísmico se tomaron las fuerzas máximas que estos ocasionan sobre los elementos placa compuesta, viga compuesta y losa compuesta, para ser diseñados y soporten dichas fuerzas.

6.2. ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO.

6.2.1. EL PRE-PROCESO.

Son todos aquellos procedimientos previos y necesarios para realizar un análisis sísmico estático, el pre-proceso contiene los siguientes procedimientos.

6.2.1.1. METRADO DE CARGAS:

- *Metrado de Cargas Muertas:*

En la tabla 33 se muestra el cálculo del peso de la placa compuesta para lo cual se utilizaron los pesos por unidad de volumen de cada uno de sus componentes.

Tabla 33: Peso de la Placa Compuesta por unidad

Elemento	Placa Compuesta "P.C" (kg/und)						Peso por Elemento (kg)
	Altura (m)	Base (m)	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Peso (kg/m ³)	Nº de Elem.	
Madera	2.200	0.150	0.100	0.033	1 000	2	66.000
Acero	2.200	0.038	0.010	0.001	7 850	2	13.125
Ferrocemento	2.200	1.200	0.025	0.066	2 100	2	277.200
Peso Placa Compuesta (Kg/Und)=							356.325

Fuente: Propio

En la tabla 34 se muestra la cantidad y peso de placas compuestas por piso y la totalidad del peso de estos.

Tabla 34: Peso total de las placas compuestas

Nivel	Cantidad (Und)	Peso (Kg/Und)	Peso por Piso
1	14	356.325	4 988.55
2	14	356.325	4 988.55
Peso Total (kg)=			9 977.10

Fuente: Propio

En la tabla 35 se muestra el cálculo del peso de la viga compuesta por metro lineal para lo cual se consideró las dimensiones de sus elementos y sus pesos.

Tabla 35: Peso de la viga compuesta por metro lineal

Elemento	Viga de Madera Reforzada con Acero "V.C" (Kg/ml)						Peso por Elemento (kg)
	Altura (m)	Base (m)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Peso (Kg/m ³)	Nº de Elem.	
Madera	0.250	0.100	1.000	0.025	1000	1	25.00
Acero	0.010	0.051	1.000	0.001	7850	1	4.00
Peso Viga de Madera Reforzada con Acero (Kg/ml)=							29.00

Fuente: Propio

En la tabla 36 se muestra la cantidad y pesos de las vigas compuestas por piso y el peso total de estas.

Tabla 36: Peso total de vigas compuestas

Nivel	Cantidad (ml)	Peso (kg/ml)	Peso por Piso (kg)
1	33.05	29.004	958.5657
2	33.05	29.004	958.5657
Peso Total (kg)=			1917.13

Fuente: Propio

En la tabla 37 se calculó el peso de la losa compuesta por metro cuadrado para lo cual se consideró las dimensiones de sus elementos y sus pesos.

Tabla 37: Peso de losa compuesta por metro cuadrado

Losa "L.C." (Kg/m ²)							
Elemento	Altura (m)	Base (m)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Peso (kg/m ³)	Nº de Elem.	Peso por Elemento (kg)
Madera	0.120	0.065	1.000	0.008	1 000	1	7.800
Acero	0.010	0.038	1.000	0.000	7 850	1	2.983
Ferrocemento	0.030	0.400	1.000	0.012	2 100	1	25.200
Peso Losa Compuesta (Kg/m ²)=							89.958

Fuente: Propio

En la tabla 38 se muestra la cantidad de metros cuadrados de losa compuesta por piso y su peso total.

Tabla 38: Peso total de la losa compuesta

Nivel	Cantidad (m ²)	Peso (kg/m ²)	Peso por Piso
1	63.58	89.958	5 719.62
2	0.00	0.00	0.00
Peso Total (kg)=			5 719.62

Fuente: Propio

En la tabla 39 se calculó el peso de la tabiquería por metro lineal para lo cual se consideró las dimensiones de sus elementos y sus pesos.

Tabla 39: Peso de la tabiquería por metro lineal

Tabiquería "T" (Kg/ml)							
Elemento	Altura (m)	Base (m)	Espesor (m)	Volumen (m ³)	Peso (Kg/m ³)	Nº de Elem.	Peso por Elemento (kg)
Madera	2.20	0.100	0.100	0.022	1000	2	44.000
Ferrocem.	2.20	1.000	0.015	0.033	2100	2	138.600
Peso Placa Compuesta (Kg/ml)=							182.600

Fuente: Propio

En la tabla 40 se muestra la cantidad de metros lineales de tabiquería por piso y su peso total.

Tabla 40: Peso total de la tabiquería

Nivel	Cantidad (ml)	Peso (Kg/ml)	Peso por Piso
1	0.00	0.00	0.00
2	33.95	182.60	6 199.27
		Peso Total (kg)=	6 199.27

Fuente: Propio

En la tabla 41 se muestran los valores de otras cargas muertas a considerar y el valor de cada una de ellas y la totalidad en peso que estas representan.

Tabla 41: Otras cargas muertas a considerar

Otras Cargas "O.C."(Kg)			
Tipo de Carga	Peso (kg/m2)	Área (m2)	Peso Total
Piso Terminado	20.00	63.58	1 271.628
Acabados	100.00	63.58	6 358.140
Carga de Techo	100.00	63.58	6 358.140
		Peso Total Otras Cargas (Kg)=	13 987.9

Fuente: Propio

Conocido el valor del peso total de cada una de los elementos y cuyos valores representan a la totalidad de las cargas muertas se procedió a sumar todas ellas y obtener el peso total.

$$\text{Peso carga muerta} = \text{Peso P.C.} + \text{Peso V.C.} + \text{Peso L.C.} + \text{Peso T} + \text{Peso O.C.}$$

$$\text{Peso carga muerta} = 9\,977.10\text{ kg} + 1\,917.13\text{ kg} + 5\,719.62\text{ kg} + 6\,199.27\text{ kg} + 13\,987.90\text{ kg}$$

$$\text{Peso carga muerta} = 37\,088.40\text{ kg}$$

- **Metrado de Cargas Vivas:**

En la tabla 42 se muestra el cálculo de las cargas vivas que están presentes en la vivienda estas están dadas por metro cuadrado y de acuerdo a la Norma técnica E-020 del R.N.E.

Tabla 42: Peso total de la carga viva

Tipo de Carga	Peso (kg/m2)	Área (m2)	Peso Total (kg)
Viva de Entrepiso	250.00	63.58	15 895.35
Viva de Techo	100.00	63.58	6 358.14
		Peso Total Cargas Vivas (Kg)=	22 253.49

Fuente: Propio

Con el peso total de la edificación se calculó la cortante basal por sismo estático y dinámico, con la siguiente ecuación:

$$\text{Peso de la edificación} = 100\% \text{ de la carga muerta (CM)} + 50\% \text{ de la carga viva (CV)}$$

$$\text{Peso de la edificación} = 100\% \times 37\,088.40\text{ kg} + 50\% \times 22\,253.49\text{ kg.}$$

$$\text{Peso de la edificación} = 48\,215.10\text{ kg}$$

6.2.1.2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

Ya que solo se utilizó la madera para el análisis y diseño de los elementos estructurales de la vivienda y teniendo en cuenta que la madera escogida es la especie “Copaiba” esta pertenece al grupo “B” de la norma E-010 su módulo de elasticidad se expresa en la siguiente tabla 43.

Tabla 43: Modulo de elasticidad de la madera Copaiba

Material	Módulo de Elasticidad E (Kg/cm ²)
Madera	75 000

Fuente: Norma técnica E-010

6.2.1.3. TIPOS DE ELEMENTOS.

Los elementos usados para los análisis sísmicos estático y dinámico son la placa compuesta, viga compuesta y losa compuesta ya que estos elementos serán diseñados para soportar todas las cargas que actúen sobre la edificación, ver tabla 44.

Tabla 44: Geometría de los elementos de la vivienda

Material	Sección (bxh)	Sección (bxh)	Sección (bxh)
	Placa Compuesta	Losa Compuesta	Viga Reforzada
Madera	1.20m x 15.0cm	6.50cm x 12.0cm	10cm x 25.0cm

Fuente: Propio

6.2.1.4. CONDICIONES DE CARGAS.

Estas condiciones de cargas están dadas por las combinaciones de las cargas que afectan a la edificación, la envolvente es la combinación de estas cargas, esta servirá para el diseño de los elementos componentes del sistema, estas combinaciones son según el Reglamento Nacional de Edificaciones son las siguientes.

- $D + L$
- $D + (W \text{ o } 0,70 E)$
- $0.75 [D + L + (W \text{ o } 0,70 E)]$
- $0.75 [D + L]$
- $0.75 [D + (W \text{ o } 0,70 E)]$
- $0.67 [D + L + (W \text{ o } 0,70 E)]$
- Envolvente (Máximos de todas las combinaciones de Cargas)

Donde:

D = Carga muerta.

L = Carga viva.

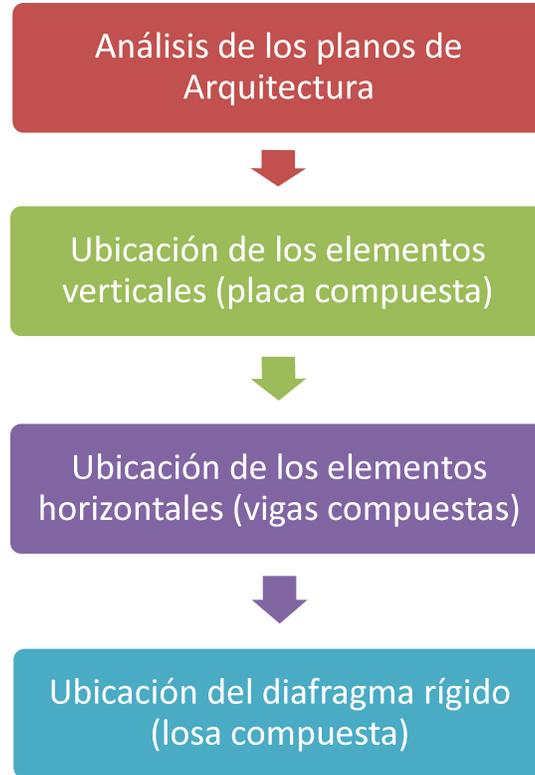
W = Carga de viento.

E = Carga de sismo.

6.2.1.5. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DE LA VIVIENDA.

La geometría se realizó de acuerdo a la estructuración realizada y siguiendo el siguiente esquema de la imagen 51.

Imagen 51: Esquema de la definición geométrica de la vivienda



Fuente: Propio

6.2.2. EL ANÁLISIS.

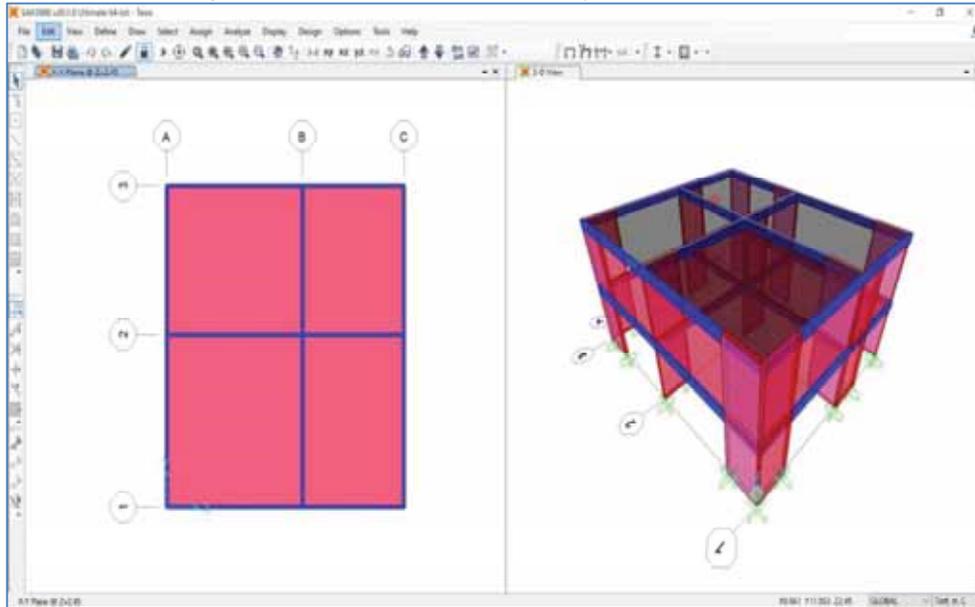
Las características del Análisis son:

a) Modelo Estructural.

Para el análisis sísmico estático de la estructura se utilizó el programa Sap 2000, el cual es un programa de análisis basado en elementos finitos.

En la imagen 52 se observa la geometría de la edificación, así como la de cada uno de sus componentes estructurales, en color azul se muestran las vigas compuestas y de color rojo en el modelo 3d las placas compuestas, en la planta se observa la losa compuesta.

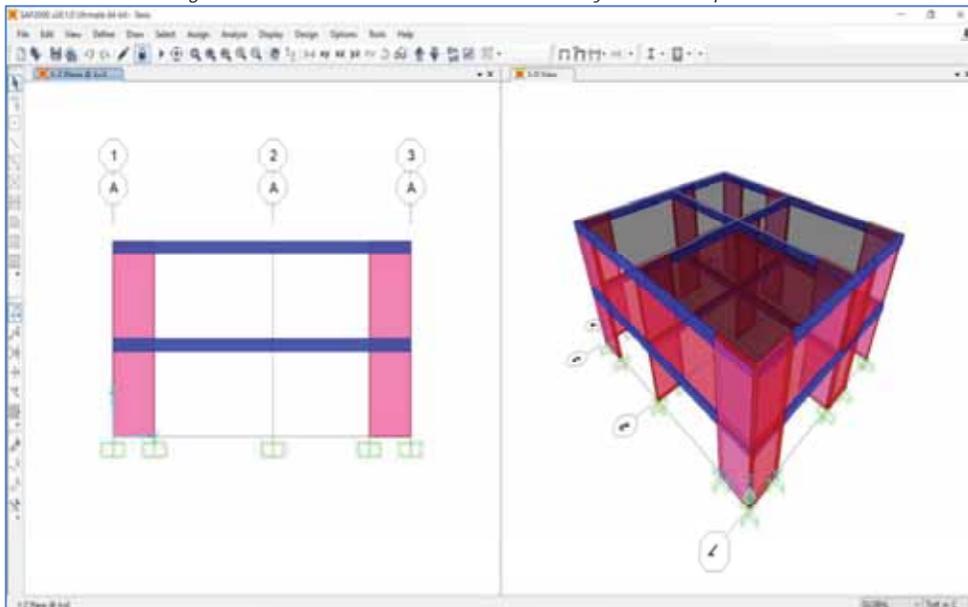
Imagen 52: Modelo de la Vivienda en Planta y 3D en el Sap 2000



Fuente: Propio

En la imagen 53 muestra el 3D de la edificación en el recuadro de la derecha y la elevación correspondiente al eje A-A.

Imagen 53: Modelo de la Vivienda en Elevación y 3D en el Sap 2000



Fuente: Propio

b) Cálculo del Factor de Amplificación Sísmica (C).

Este factor se calcula según lo indica la norma E-030 de diseño sismo resistente con la siguiente ecuación:

$$C = 2.5 \frac{T_P}{T} \leq 2.5$$

Para el cálculo del factor “C” se requiere saber el periodo fundamental de la estructura T y lo obtenemos del análisis modal de programa Sap 2000 el cual se aprecia en la imagen 54.

Imagen 54: Modos de Vibración de la Vivienda obtenidos en el Sap 2000

	OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless
▶	MODAL	Mode	1	0.16086	0.027324	0.000218
	MODAL	Mode	2	0.15522	0.576835	0.163656
	MODAL	Mode	3	0.139071	0.009071	0.10647
	MODAL	Mode	4	0.133565	0.067241	0.121534
	MODAL	Mode	5	0.127979	0.094952	0.356146
	MODAL	Mode	6	0.108884	0.001663	1.603E-07

Fuente: Propio

Donde podemos observar los dos primeros modos de vibración.

- T x-x= 0.16086s.
- T y-y= 0.15522s.
- Para el cálculo tomamos el mayor T = 0.16086.

$$\text{Entonces: } C = 2.5 \frac{T_p}{T} \leq 2.5$$

El valor de T_p, periodo que define la plataforma del espectro para cada tipo de suelo, es de 0.9s según lo indica la norma E-030 ya que el suelo escogido es de tipo S3 que corresponde a un suelo flexible.

$$C = 2.5 \frac{0.9}{0.16086} = 13.987 \leq 2.5$$

Como el valor obtenido es mayor que 2.5 la norma exige lo siguiente:

$$C = 2.5$$

c) Cálculo del Factor (C/R).

Para el cálculo de este factor es necesario saber el valor del coeficiente de reducción de sollicitación sísmica “R” el mismo que tiene un valor de 7 ya la edificación pertenece a un sistema estructural a base de madera.

$$\frac{C}{R} = \frac{2.5}{7} = 0.357$$

d) Cálculo del Factor $\left(\frac{Z.U.C.S}{R}\right)$:

Para calcular este factor es necesario saber los valores del factor de Zona “Z” la ciudad del Cusco pertenece a la zona 2 y su factor de zona “Z” es de 0.30, otro valor

que se necesario es el factor de uso e importancia “U” el cual indica que la vivienda en estudio es de categoría “C” y por ello “U” tiene un valor de 1, por último, el factor de suelo “S” posee un valor de 1.40, todos los factores mencionados están indicados dentro de la norma técnica E-030.

$$Z \cdot U \cdot S * \frac{C}{R} = 0.3 \times 1.00 \times 1.40 \times 0.5555 = 0.150$$

e) Cálculo del Peso le la Edificación (P):

Se calcula con el metrado realizado anteriormente en el índice 6.2.11 y el realizado por el programa Sap2000 de acuerdo con la combinación siguiente:

$$P = 100\% \text{ Carga Muerta (CM)} + 50\% \text{ Carga Viva (CV)}$$

Peso de la estructura (P): 48.2151 t

f) Cálculo De La Cortante Basal:

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V = \left(Z \times U \times S \times \frac{C}{R} \right) \times P = 0.150 \times 48.2151 = 7.2323 \text{ t}$$

El valor de “V” obtenido por el cálculo manual puede ser comprobado mediante el cálculo realizado por el programa Sap2000, este valor se puede observar en la imagen 55.

Imagen 55: Cortante Basal por Sismo Estático Calculado por el Sap 2000

	LoadPat Text	Dir Text	PercentEcc Unitless	EccOverride	UserZ Yes/No	C Unitless	K Unitless	WeightUsed	BaseShear Tonf
▶	Sismo X	X	0.05	No	No	0.15	1	48.2151	7.2323
	Sismo Y	Y	0.05	No	No	0.15	1	48.2151	7.2323

Fuente: Propio

g) Distribución de Fuerzas Cortante por Piso:

La distribución de los esfuerzos cortantes por piso se hará de acuerdo con la siguiente expresión:

$$F_i = \frac{P_i \cdot h_i}{\sum_{j=1}^n P_j \cdot h_j} \cdot (V)$$

De los metrados de cargas se tienen los siguientes valores:

$$\text{Total Peso Primer Nivel} = 32.304 \text{ t}$$

$$\text{Total Peso Segundo Nivel} = 15.912 \text{ t}$$

Del cálculo de la cortante basal se tiene lo siguiente:

$$\text{Cortante Basal (V)} = 7.2323 \text{ t}$$

En la tabla 45 se muestra el cálculo realizado para obtener la fuerza cortante por piso.

Tabla 45: Cortante basal por piso

Nivel	Peso (p) (kg)	Altura (h) (m)	p x h (kg-m)	Cortante por Piso (Fi) (t)
1°	32.304	2.45	79.144	3.643
2°	15.912	4.90	77.966	3.589
		$\Sigma =$	157.11	

Fuente: Propio

6.2.3. EL POSPROCESO DEL ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO.

6.2.3.1. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

Los resultados a considerar para los análisis de la edificación fueron los obtenidos debido a los sismos estáticos en las direcciones “X” y “Y” y los valores máximos de la envolvente de la combinación de las fuerzas de carga serán utilizados para el diseño de los elementos estructurales, por lo tanto, los datos a analizar son los siguientes:

- a) Desplazamientos por Pisos (debido a los sismos estáticos en “X” y “Y”).
- b) Control Deriva de Pisos (debido a los sismos en “X” y “Y”).
- c) Fuerza axial en los elementos verticales (debido a la envolvente).
- d) Fuerza cortante en los elementos (debido a la envolvente).
- e) Momento flector en los elementos (debido a la envolvente).

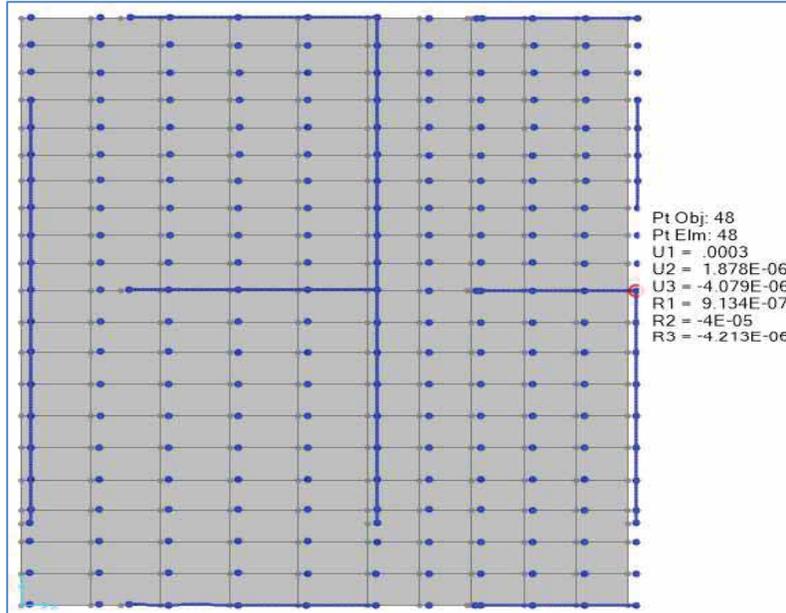
a) Desplazamientos:

Los desplazamientos analizados son los ocasionados por los sismos tanto en la dirección “X” como en la dirección “Y” de la edificación, los cuales son obtenidos por el programa Sap 2000.

Desplazamientos por análisis sísmico estático en el primer nivel

El desplazamiento en la dirección “X” ocasionado por el análisis sísmico estático calculado por el programa Sap 2000 en el entrepiso del primer nivel se muestra en la imagen 56 con el valor de “U1 = 0.0003 m”.

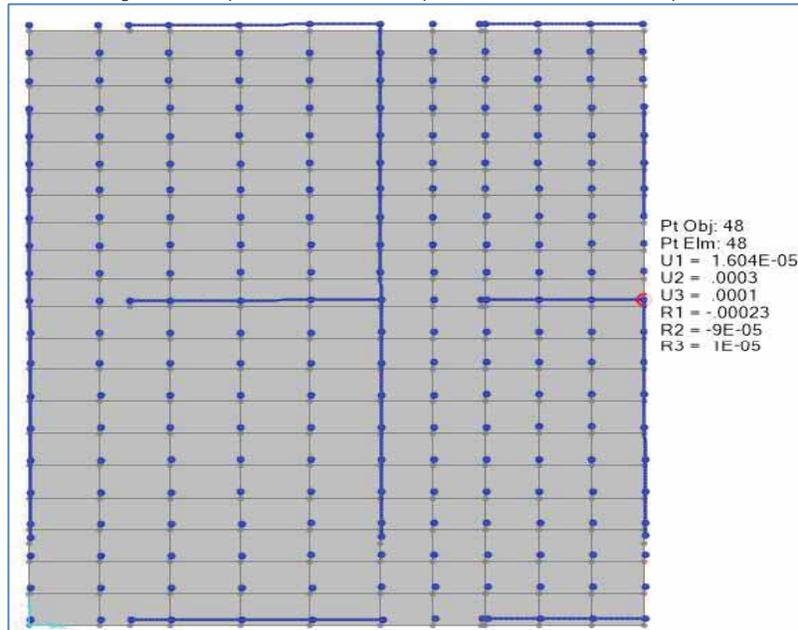
Imagen 56: Desplazamiento 1° Nivel por Sismo Estático en X, Sap 2000



Fuente: Propio

El desplazamiento en la dirección “Y” ocasionado por el análisis sísmico estático calculado por el programa Sap 2000 en el entrepiso del primer nivel se muestra en la imagen 57 con el valor de “U2 = 0.0003 m”.

Imagen 57: Desplazamiento 1° Nivel por Sismo Estático en Y, Sap 2000

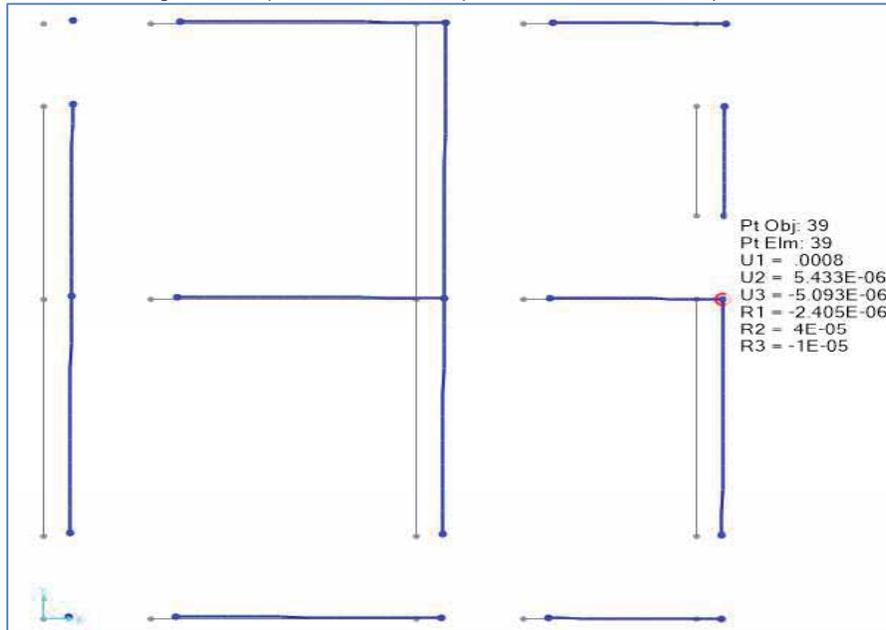


Fuente: Propio

Desplazamientos por análisis sísmico en el segundo nivel

El desplazamiento en la dirección “X” ocasionado por el análisis sísmico estático calculado por el programa Sap 2000 en el entrepiso del segundo nivel se muestra en la imagen 58 con el valor de “U1 = 0.0008 m”.

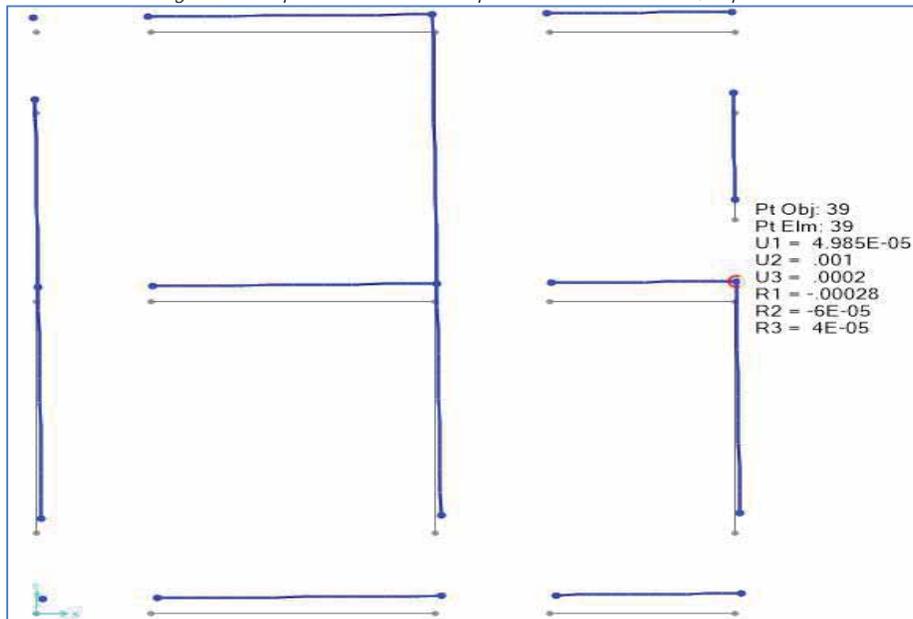
Imagen 58: Desplazamiento 2° Nivel por Sismo Estático en X, Sap 2000



Fuente: Propio

El desplazamiento en la dirección “Y” ocasionado por el análisis sísmico estático calculado por el programa Sap 2000 en el entrepiso del segundo nivel se muestra en la imagen 59 con el valor de “U2 = 0.001 m”.

Imagen 59: Desplazamiento 2° Nivel por Sismo Estático en Y, Sap 2000



Fuente: Propio

b) Control Derivas de Pisos:

Los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por “0.75R” los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para el cálculo de los desplazamientos laterales no se considerarán los valores mínimos de C/R.

Par lo cual se obtienen los desplazamientos obtenidos por el programa en la dirección “X” y “Y” por el sismo estático que se generó en Sap 2000.

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según la norma E-030 no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso que se indica en la Tabla 46.

Tabla 46: Limite de Desplazamientos Laterales

LÍMITES PARA DESPLAZAMIENTOS LATERALES DE ENTREPISO ESTOS LÍMITES NO SON APLICABLES A NAVES INDUSTRIALES	
Materiales Predominantes	(Δ_i / h_{ei})
Madera	0.010

Fuente: Norma E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones

El cálculo realizado para la obtención de las derivas inelásticas por el análisis sísmico estático en la dirección “X” y “Y” se presenta en la tabla 47 y 48, para lo cual se tomó en cuenta la altura de cada piso y los desplazamientos en ambas direcciones de análisis, los cuales fueron obtenidos por el programa Sap 2000.

Tabla 47: Derivas inelásticas por sismo estático en el eje “X”

Nº de Pisos	Pisos	Alturas m	Desp. (mm.)	Derivas $\Delta_{elásticas}$	Derivas Inelásticas $\Delta_{inelásticas}$	Derivas Inelásticas $\Delta(\%)$	Derivas Limite $\Delta_{Limite}(\%)$
2	Piso 2	2.45	1.000	0.000286	0.001500	0.150	1
1	Piso1	2.45	0.300	0.000122	0.000643	0.064	1

Fuente: Propio

Tabla 48: Derivas inelásticas por sismo estático en el eje “Y”

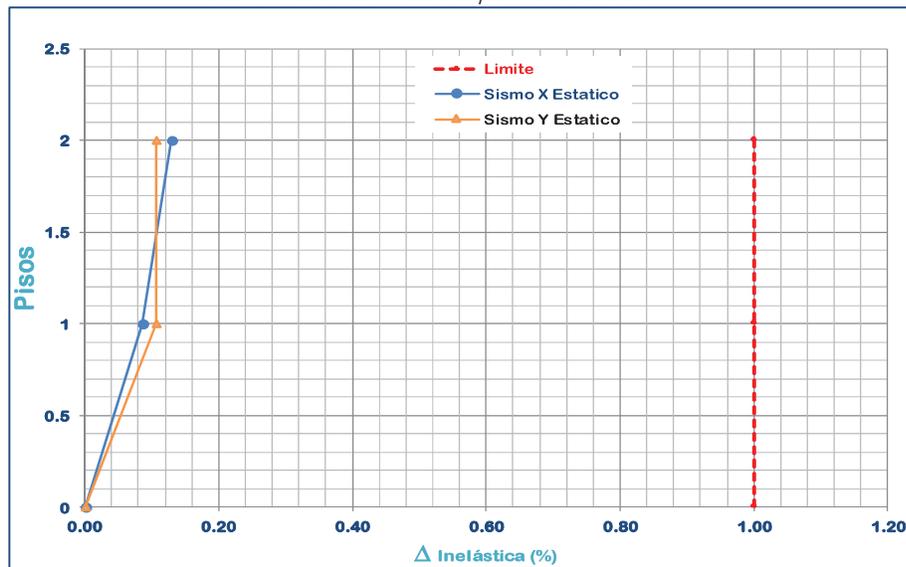
Nº de Pisos	Pisos	Alturas m	Desp. (mm.)	Derivas $\Delta_{elásticas}$	Derivas Inelásticas $\Delta_{inelásticas}$	Derivas Inelásticas $\Delta(\%)$	Derivas Limite $\Delta_{Limite}(\%)$
2	Piso 2	2.45	0.800	0.000204	0.001071	0.107	1
1	Piso1	2.45	0.300	0.000122	0.000643	0.064	1

Fuente: Propio

Para tener un mejor análisis y establecer las comparaciones de las derivas inelásticas obtenidas y los límites que establece la norma técnica E-030 con

respecto a estas, se colocaron en el gráfico 7 y como se observa en ella se cumple lo establecido en la mencionada norma.

Grafico 7: Derivas Inelásticas por Sismo Estático



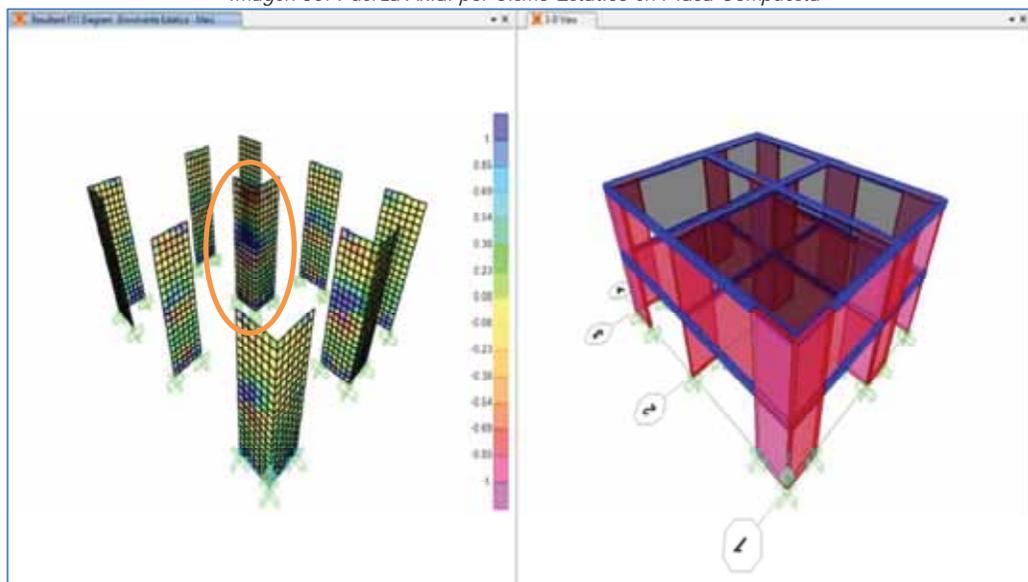
Fuente: Propio

c) Fuerza Axial en Elementos Verticales.

Para realizar el diseño de los elementos placa compuesta es necesario conocer el valor de la fuerza axial máxima ocasionada por todas las cargas que actúan sobre la edificación incluida la fuerza sísmica.

En la imagen 60 la fuerza axial máxima se encuentra en la placa compuesta ubicada en la intersección de los ejes 2-2 y B-B, lo cual es lógico ya que este soporta una mayor área tributaria de cargas.

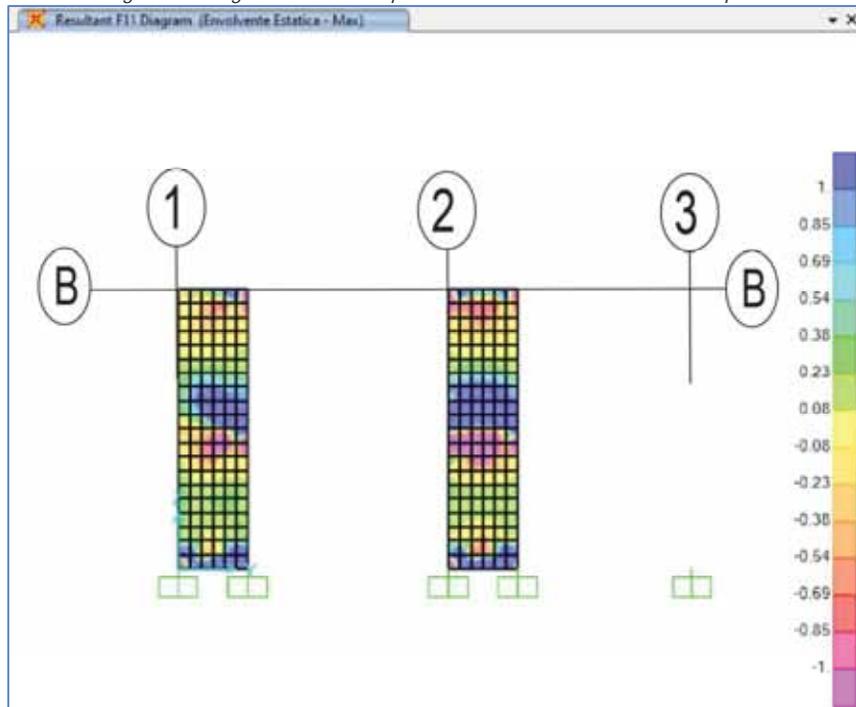
Imagen 60: Fuerza Axial por Sismo Estático en Placa Compuesta



Fuente: Propio

En la imagen 61 se muestra la placa compuesta del primer y segundo nivel entre los ejes 2-2 y B-B la cual soporta la mayor carga axial que se encuentra en el apoyo del eje 2-2 y tiene un valor de 9.1578 t.

Imagen 61: Carga Axial Máxima por Sismo Estático Sobre Placa Compuesta



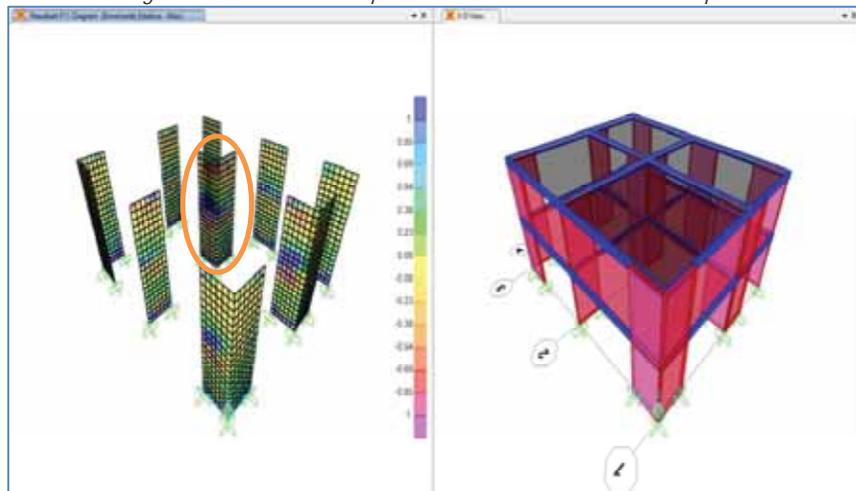
Fuente: Propio

d) Fuerza Cortante en los Elementos.

- **En Placa Compuesta**

Como se aprecia en la imagen 62, la fuerza cortante máxima en las placas compuestas se encuentra en el pórtico del eje 2-2 intersectado con el eje B-B.

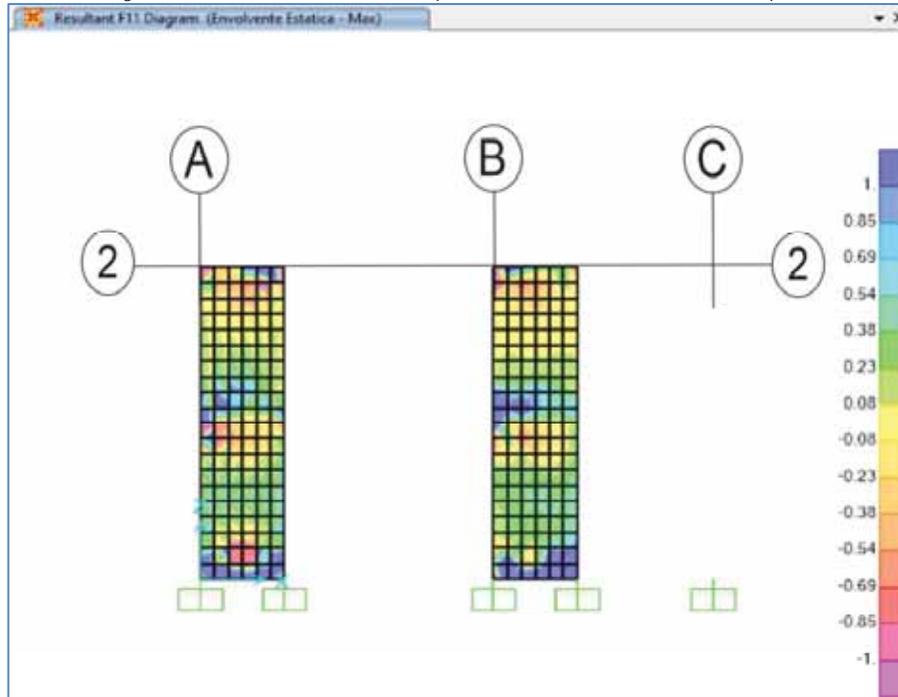
Imagen 62: Fuerza Cortante por Sismo Estático Sobre Placa Compuesta



Fuente: Propio

En la imagen 63 se muestran las fuerzas cortantes que actúan sobre la placa compuesta, la misma que actúa en la unión de la placa compuesta con suelo y tiene un valor de 2.0692 t.

Imagen 63: Fuerza Cortante Máxima por Sismo Estático Sobre Placa Compuesta

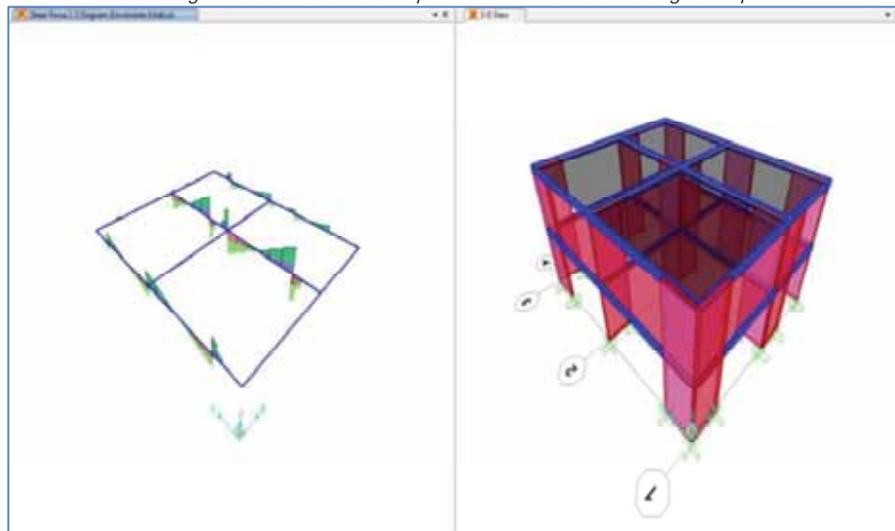


Fuente: Propio

- **En Viga de Madera Reforzada con Acero**

Como se aprecia en la imagen 64 la fuerza cortante máxima en las vigas reforzadas con acero se encuentra en el pórtico del eje B-B, ya que este pórtico soporta la mayor cantidad de carga.

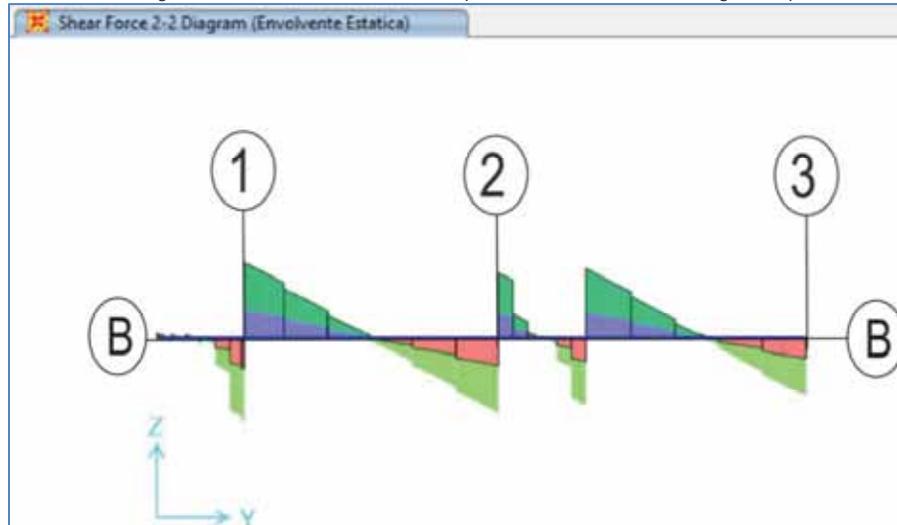
Imagen 64: Fuerza Cortante por Sismo Estático Sobre Viga Compuesta



Fuente: Propio

En la imagen 65 muestra el diagrama de fuerzas cortantes de la viga perteneciente al eje B-B, las fuerzas cortantes actúan en los extremos de las vigas y posee un valor máximo de 3.3994 t.

Imagen 65: Fuerza Cortante Máxima por Sismo Estático Sobre Viga Compuesta



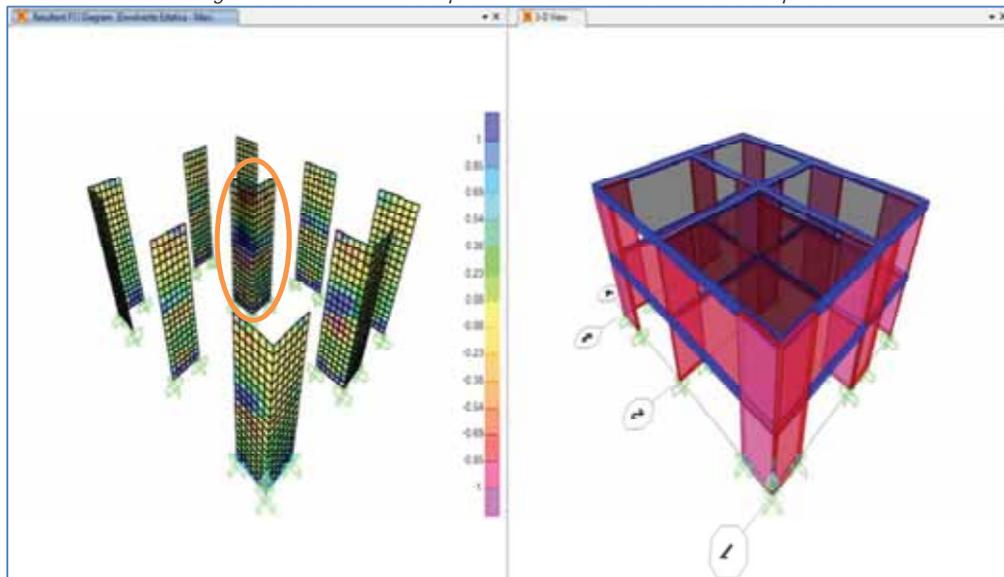
Fuente: Propio

e) Momento Flector en los Elementos.

- En Placa Compuesta.

Como se aprecia en la imagen 66 el momento flector máximo en las placas compuestas se encuentra en el pórtico del eje 2-2, intersectado con el eje B-B.

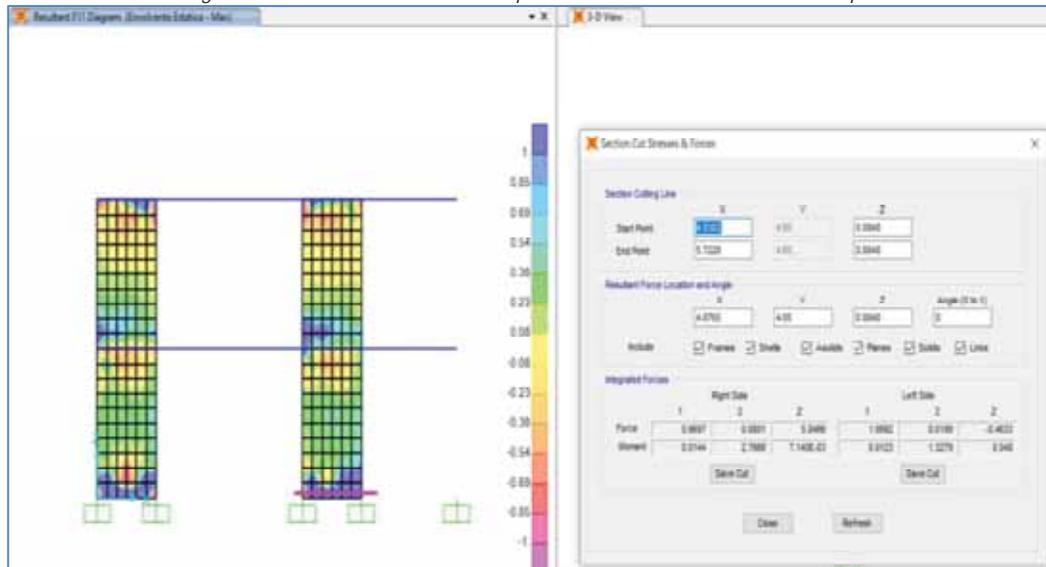
Imagen 66: Momento Flector por Sismo Estático Sobre Placa Compuesta



Fuente: Propio

En la imagen 67 se muestra el momento flector máximo que actúa en las placas compuestas, en la unión de la placa con la losa de entre piso y en la parte superior se puede apreciar su valor máximo de 2.7666 t-m.

Imagen 67: Momento Flector Máximo por Sismo Estático Sobre Placa Compuesta

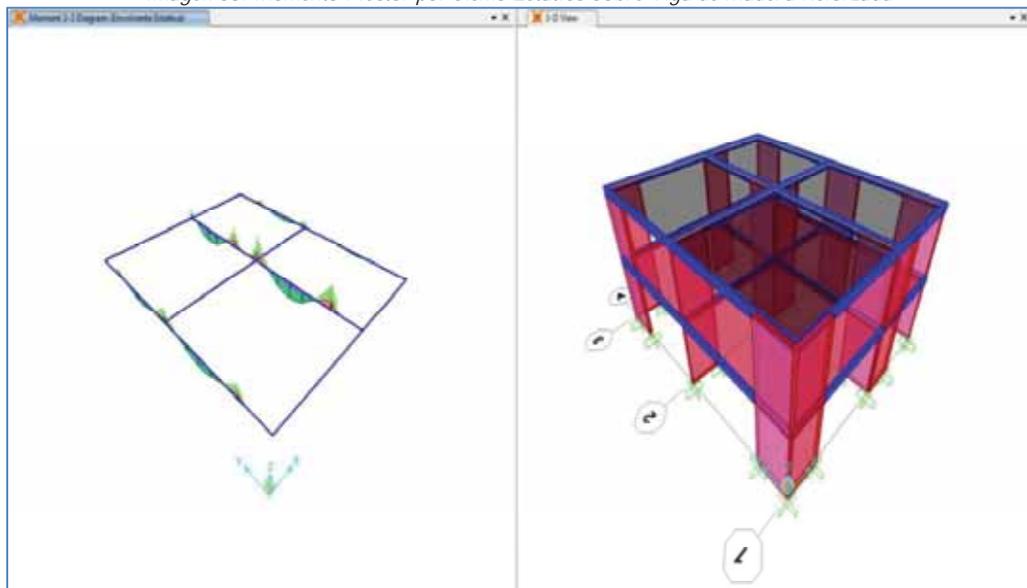


Fuente: Propio

- **En Vigas de Madera Reforzada con Acero.**

Como se aprecia en la imagen 68 el momento flector máximo en las vigas reforzadas con acero se encuentra en el pórtico del eje B-B, ya que este pórtico soporta la mayor cantidad de carga.

Imagen 68: Momento Flector por Sismo Estático Sobre Viga de Madera Reforzada



Fuente: Propio

En la imagen 69 se muestra el diagrama de momentos flectores de la viga perteneciente al eje B-B, los momentos máximos actúan en los extremos de las vigas y posee un valor máximo negativo de $-1.97525 \text{ t}\cdot\text{m}$ y un valor máximo positivo de $1.74375 \text{ t}\cdot\text{m}$.

Imagen 69: Momento Flector Máximo por Sismo Estático Sobre la viga de eje B-B

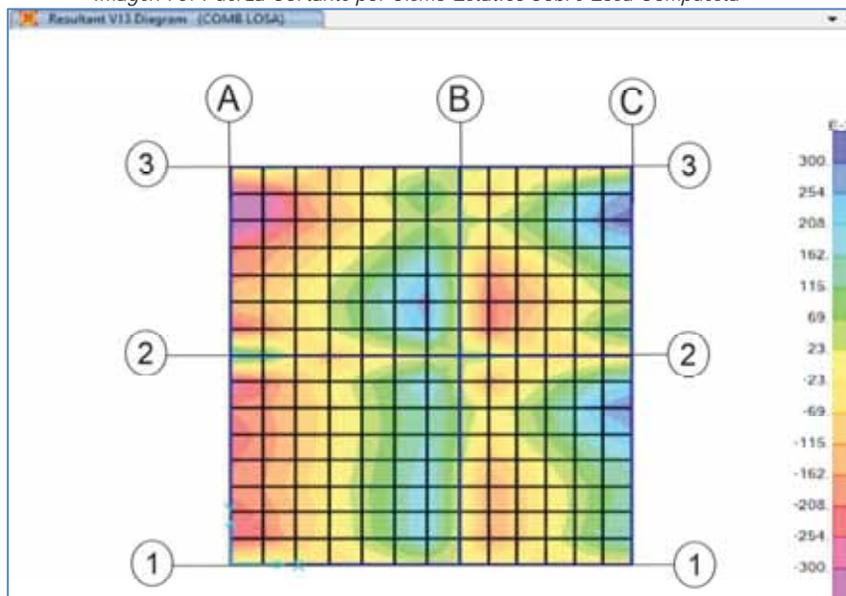


Fuente: Propio

- **Análisis de Losa Compuesta.**

En la imagen 70 se muestra el diagrama de fuerzas cortantes de la losa, teniendo como valor máximo en la intersección de los ejes B-B y 2-2 y posee un valor máximo de 2.217 t/m .

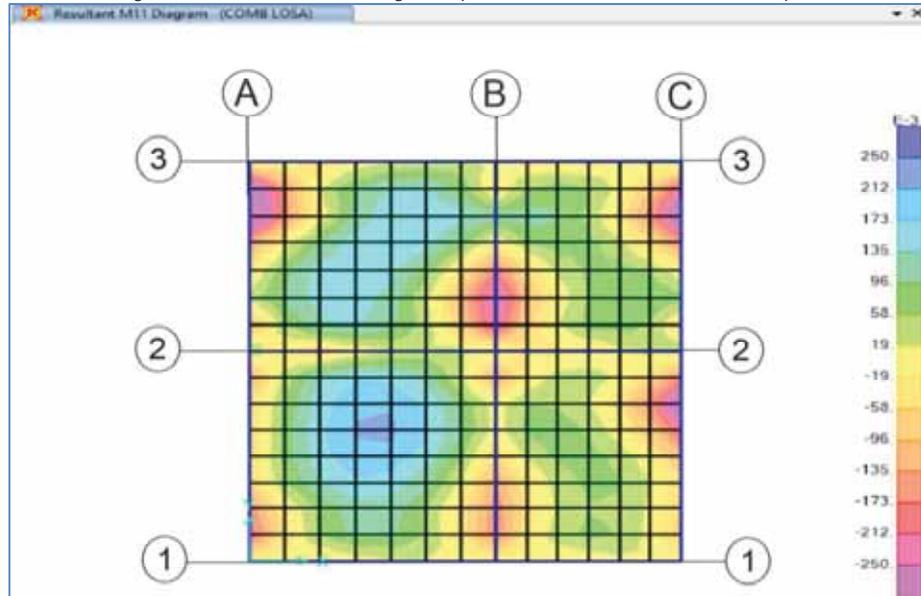
Imagen 70: Fuerza Cortante por Sismo Estático Sobre Losa Compuesta



Fuente: Propio

En la imagen 71 se muestra el momento flector máximo negativo que actúa en la losa compuestas, el cual está en la intersección de los ejes 2-2 y B-B el cual posee un valor máximo de 0.831182 t-m/m.

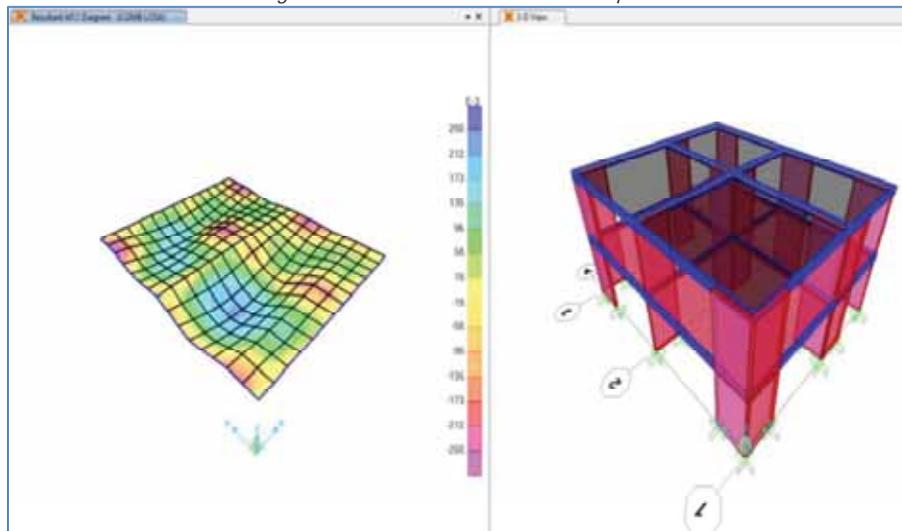
Imagen 71: Momento Flector Negativo por Sismo Estático sobre Losa Compuesta



Fuente: Propio

En la imagen 71 se muestra el momento flector máximo positivo que actúa en la losa compuestas, el cual está ubicado en el pórtico del eje B-B entre los ejes 2-2 y 3-3 y posee un valor máximo de 0.303496 t-m/m.

Imagen 72: Deformación de la Losa Compuesta



Fuente: Propio

• **Tabla de Resumen de Fuerzas de la Envolvente:**

Los resultados de las fuerzas máximas, obtenidas por el análisis sísmico estático, sobre los elementos estructurales de la vivienda servirán para el

diseño de estos, para el diseño de los elementos losa compuesta se tomaron los valores obtenidos por el programa Sap 2000 y multiplicados por su ancho de 0.40m. En la tabla 49 se muestran los datos que servirán para el diseño.

Tabla 49: Resumen de Fuerzas Provocadas por Sismo Estático

Fuerza	Placa Compuesta	Viga Compuesta	Losa Compuesta
Carga Axial (t)	9.1578	-----	-----
Fuerza Cortante (t)	2.0692	3.3994	0.801
Momento Flector (t-m)	Min.= -1.738	Min. = -1.975	Min.= -0.318
	Max.= 2.767	Max.= 1.744	Max.= 0.134

Fuente: Propio

6.3. ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO

6.3.1. EL PRE PROCESO.

6.3.1.1. METRADO DE CARGAS.

El metrado de cargas es el mismo tanto para el análisis sísmico estático como para el análisis sísmico dinámico.

- **Metrado de Cargas Muertas (CM).**

Del metrado de cargas realizado en el análisis sísmico estático se tiene el siguiente valor para la carga muerta:

$$\text{Peso Total de la Carga Muerta} = 37.0884 \text{ t}$$

- **Metrado de Cargas Vivas (CV).**

Del metrado de cargas realizado en el análisis sísmico estático se tiene el siguiente valor para la carga viva:

$$\text{Peso Total de la Carga Viva} = 22.2535 \text{ t}$$

Para el cálculo del peso total de la edificación se usó la siguiente relación:

$$\text{Peso de la edificación} = 100\% \text{ CM} + 50\% \text{ CV}$$

$$\text{Peso de la edificación} = 100\% \times 37.0884 \text{ t} + 50\% \times 22.2535 \text{ t}$$

$$\text{Peso de la edificación} = 48.22151 \text{ t.}$$

6.3.1.2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

Solo se utilizó la madera para el análisis y diseño de los elementos estructurales de la vivienda y teniendo en cuenta que la madera escogida es la especie “Copaiba” esta pertenece al grupo “B” de la norma E-010 su módulo de elasticidad se expresa en la siguiente tabla 50.

Tabla 50: Modulo de elasticidad de la madera para el análisis dinámico

Material	Módulo de Elasticidad E (kg/cm ²)
Madera	75 000

Fuente: Norma E-030

6.3.1.3. TIPOS DE ELEMENTOS.

Estas condiciones de cargas están dadas por las combinaciones de las cargas que afectan a la edificación, la envolvente de la combinación de estas cargas servirá para el diseño de los elementos componentes del sistema, estas combinaciones son según el Reglamento Nacional de Edificaciones son las siguientes, ver tabla 51.

Tabla 51: Secciones de elementos para el análisis dinámico

Material	Sección (bxh) Placa Compuesta	Sección (bxh) Losa Compuesta	Sección (bxh) Viga Reforzada
Madera	1.20m x 15.0cm	6.50cm x 12.0cm	10cm x 25.0cm

Fuente: Propio

6.3.1.4. CONDICIONES DE CARGAS.

Estas condiciones de cargas están dadas por las combinaciones de las cargas que afectan a la edificación, la envolvente de la combinación de estas cargas servirá para el diseño de los elementos componentes del sistema, estas combinaciones son según el Reglamento Nacional de Edificaciones son las siguientes.

- D + L
- D + (W o 0,70 E)
- 0.75 [D + L + (W o 0,70 E)]
- 0.75 [D + L]
- 0.75 [D + (W o 0,70 E)]
- 0.67 [D + L + (W o 0,70 E)]
- Envolvente (Máximos de todas las combinaciones de Carga)

Donde:

D = Carga muerta.

L = Carga viva.

W = Carga de viento.

E = Carga de sismo, según RNE norma E.030.

6.3.1.5. CONDICIONES DE CARGAS SÍSMICAS DINÁMICA.

Para el análisis sísmico dinámico se realizó para cada una de las direcciones de análisis “X” y “Y” un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{ZxUxCxS}{R} x g$$

Donde:

- S_a = Aceleración espectral
- $Z= 2$ “Factor de zona”.
- $U=1$ “Factor de uso”.
- $C \leq 2.50$ “Factor de ampliación sísmica”.
- $R= 7$ “Coeficiente de reducción sísmica”.
- $S= 1.40$ “Factor de suelo”.
- $g= 9.806$ m/s² aceleración de la gravedad.

El factor de ampliación sísmica se calcula de la siguiente relación:

$$C = 2.5 x \left(\frac{T_p}{T} \right) ; \leq 2.50$$

Donde:

- $T_p = 0.90$ s “Periodo que define la plataforma del espectro para cada tipo de suelo”.
- $T \geq 0$ s “Periodo fundamental de la estructura para el análisis estático o periodo de un modo en el análisis dinámico”.

Conocido los valores de las constantes para generar el espectro inelástico de pseudo-aceleraciones del análisis sísmico dinámico se calculó los valores de “ S_a/g ” para los valores de “ T ” mayores a cero segundos hasta un valor de 11 segundos, como se indica en la tabla 52:

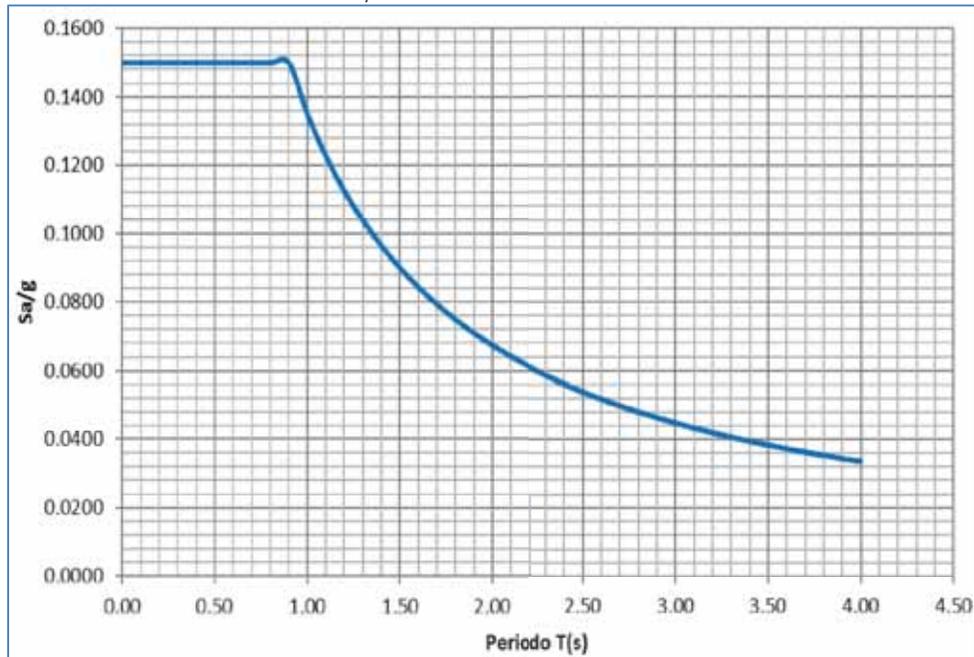
Tabla 52: Aceleración espectral para $0 \leq T \leq 4$ segundos

Factor de Amplificación Sísmica	Periodo	Aceleración Espectral
C	T	Sa/g
2.50	0.00	0.1500
2.50	0.20	0.1500
2.50	0.40	0.1500
2.50	0.60	0.1500
2.50	0.80	0.1500
2.25	1.00	0.1350
1.61	1.40	0.0964
1.25	1.80	0.0750
1.02	2.20	0.0614
0.87	2.60	0.0519
0.75	3.00	0.0450
0.64	3.50	0.0386
0.56	4.00	0.0338

Fuente: Propio

El gráfico conformado por la variación de “ S_a/g ” por los valores asumidos por “ T ” se muestra en el gráfico 8.

Grafico 8: Espectro de Pseudo-aceleración

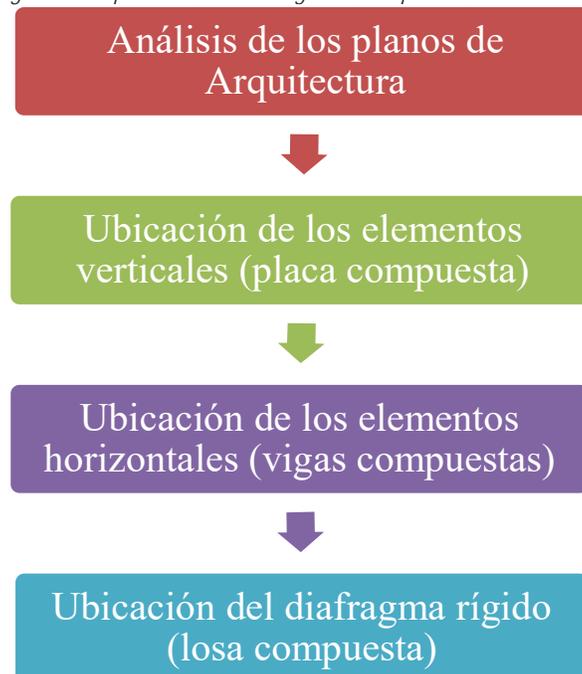


Fuente: Propio

6.2.3.2. Definición Geométrica de la Vivienda.

La geometría se realizó de acuerdo a la estructuración realizada y siguiendo el siguiente esquema para el análisis sísmico dinámico de la imagen 73.

Imagen 73: Esquema de definición geométrica para el análisis dinámico



Fuente: Propio

6.3.2. ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO DE LA VIVIENDA

6.3.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL ANÁLISIS SÍSMICO DINAMICO DE LA VIVIENDA.

a) Generalidades.

El análisis sísmico dinámico se realizó con los mismos objetivos que uno estático, este análisis reúne dos condiciones o dos tipos de análisis los cuales son el análisis modal y el análisis espectral.

Un análisis modal se realizó considerando los periodos naturales y modos de vibración, los cuales son determinados analizando las características de rigidez y la distribución de las masas de la estructura.

La aceleración espectral para cada una de las direcciones se realizó mediante un espectro inelástico de pseudo-aceleración, definido previamente.

La respuesta máxima se estimó mediante la combinación cuadrática completa (CQC), de los valores obtenidos de los modos de vibración y cuya masa considerada sea de por lo menos del 90%.

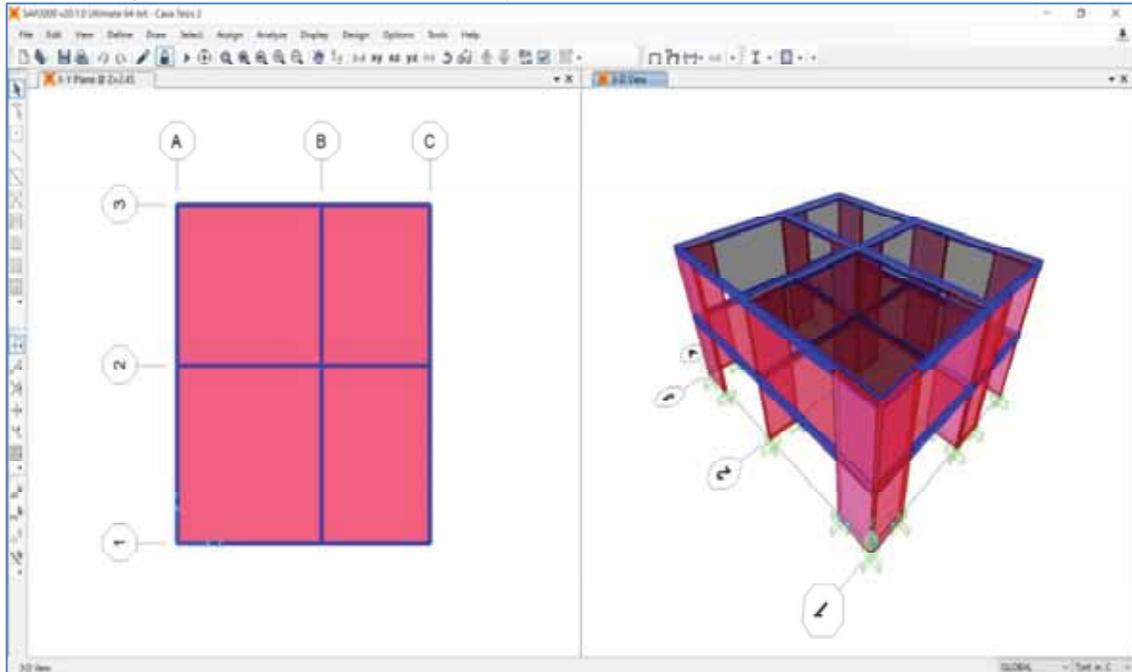
La fuerza cortante mínima basal no será menor que el 80% de la obtenida por el análisis sísmico estático, de darse este caso se realizará un escalamiento para alcanzar el valor mínimo.

b) Modelo Estructural

Para el análisis sísmico estático de la estructura se utilizó el programa Sap 2000, el cual es un programa de análisis basado en elementos finitos.

En la imagen 74 se observa la geometría de la edificación, así como la de sus componentes estructurales, en color azul se muestran las vigas compuestas y de color rojo en el modelo 3D las placas compuestas, en la planta se observa la losa compuesta.

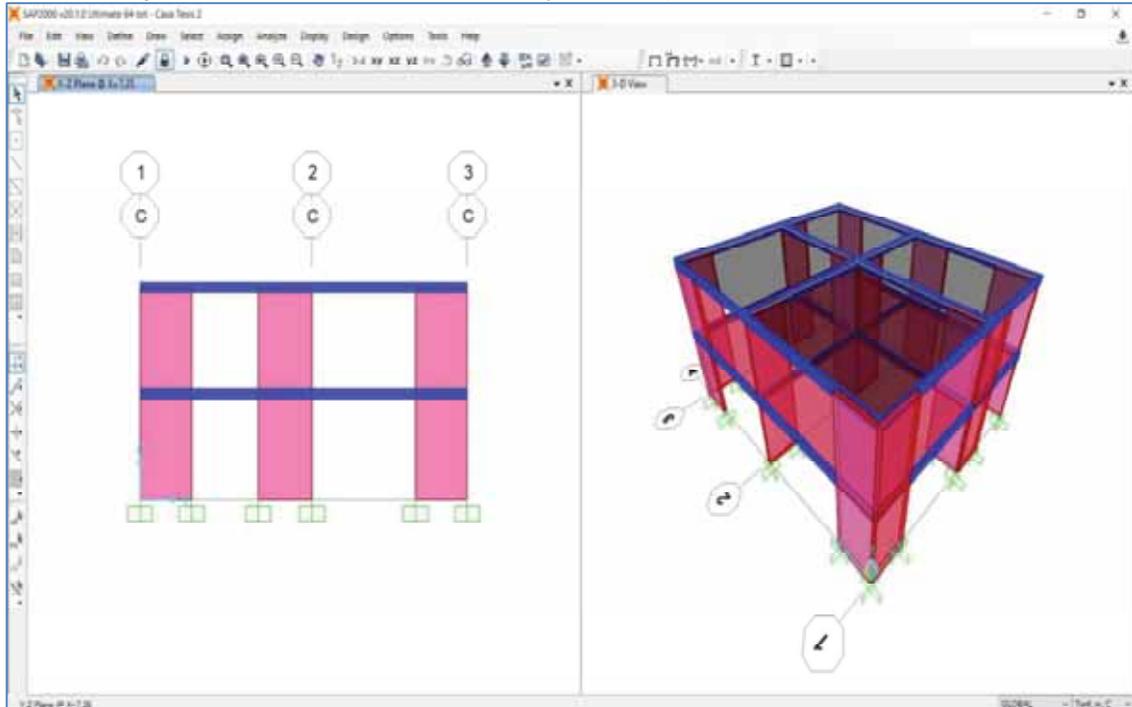
Imagen 74: Modelo de la Vivienda en Planta y 3D en el Sap 2000, análisis sísmico dinámico



Fuente: Propio

En la imagen 75 se muestra el 3D de la edificación en el recuadro de la derecha y la elevación correspondiente al eje A-A en el recuadro de la izquierda.

Imagen 75: Modelo de la Vivienda en Elevación y 3D en el Sap 2000, análisis sísmico dinámico



Fuente: Propio

6.3.3. EL POS PROCESO DEL ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO.

6.3.3.1. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

Los resultados a considerar para los análisis de la edificación fueron los obtenidos debido a los sismos dinámicos en las direcciones “X” y “Y”, y los valores máximos de la envolvente de la combinación de las fuerzas de carga serán utilizados para el diseño de los elementos estructurales, por lo tanto, los datos analizados fueron los siguientes:

- a) Desplazamientos por Pisos (debido a los sismos dinámicos en “X” y “Y”).
- b) Control Deriva de Pisos (debido a los sismos en “X” y “Y”).
- c) Verificación de la cortante basal mínima.
- d) Fuerza axial en los elementos verticales (debido a la envolvente).
- e) Fuerza cortante en los elementos (debido a la envolvente).
- f) Momento flector en los elementos (debido a la envolvente).

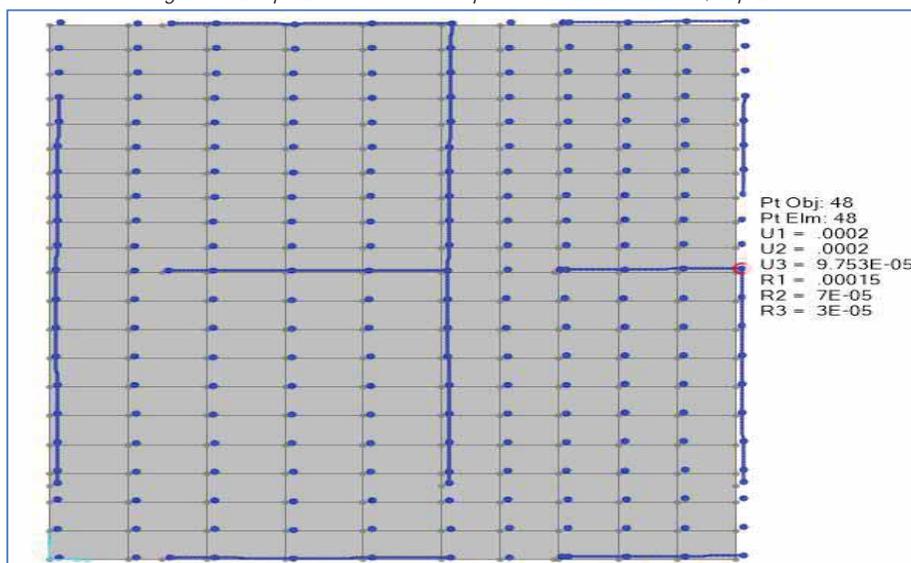
a) Desplazamientos por piso:

Los desplazamientos analizados fueron los ocasionados por los análisis sísmicos dinámicos tanto en la dirección “X” como en la dirección “Y” de la edificación, los cuales fueron obtenidos por el programa Sap 2000.

Desplazamientos por análisis sísmico dinámico en el primer nivel

El desplazamiento en la dirección “X” ocasionado por el análisis sísmico dinámico calculado por el programa Sap 2000 en el entrepiso del primer nivel se muestra en la imagen 76 con el valor de “U1 = 0.0002 m”.

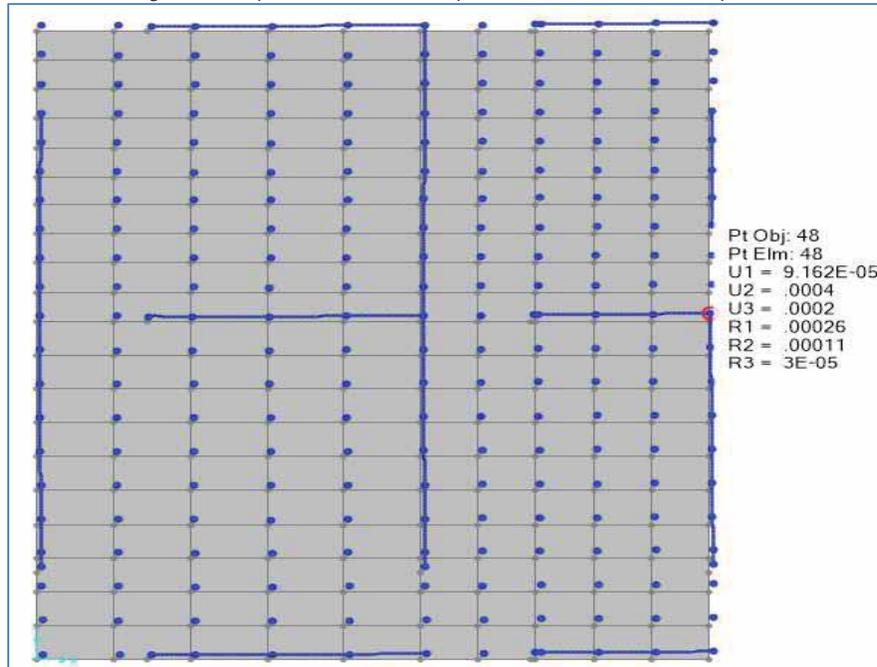
Imagen 76: Desplazamiento 1° Nivel por Sismo Dinámico en X, Sap 2000



Fuente: Propio

El desplazamiento en la dirección “Y” ocasionado por el análisis sísmico dinámico calculado por el programa Sap 2000 en el entrepiso del primer nivel se muestra en la imagen 77 con el valor de “U2 = 0.0004 m”.

Imagen 77: Desplazamiento 1° Nivel por Sismo Dinámico en Y, Sap 2000

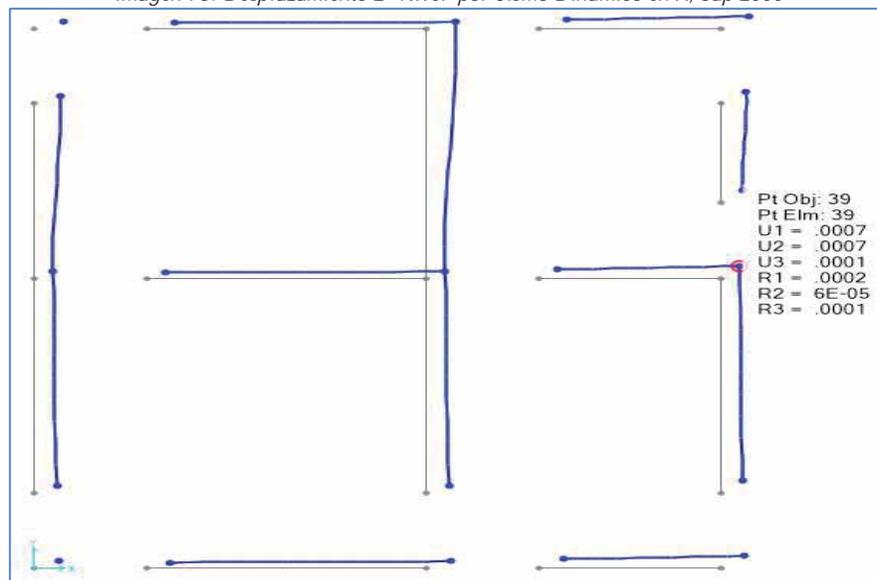


Fuente: Propio

Desplazamientos por análisis sísmico dinámico en el segundo nivel

El desplazamiento en la dirección “X” ocasionado por el análisis sísmico dinámico calculado por el programa Sap 2000 en el entrepiso del segundo nivel se muestra en la imagen 78 con el valor de “U1 = 0.0007 m”.

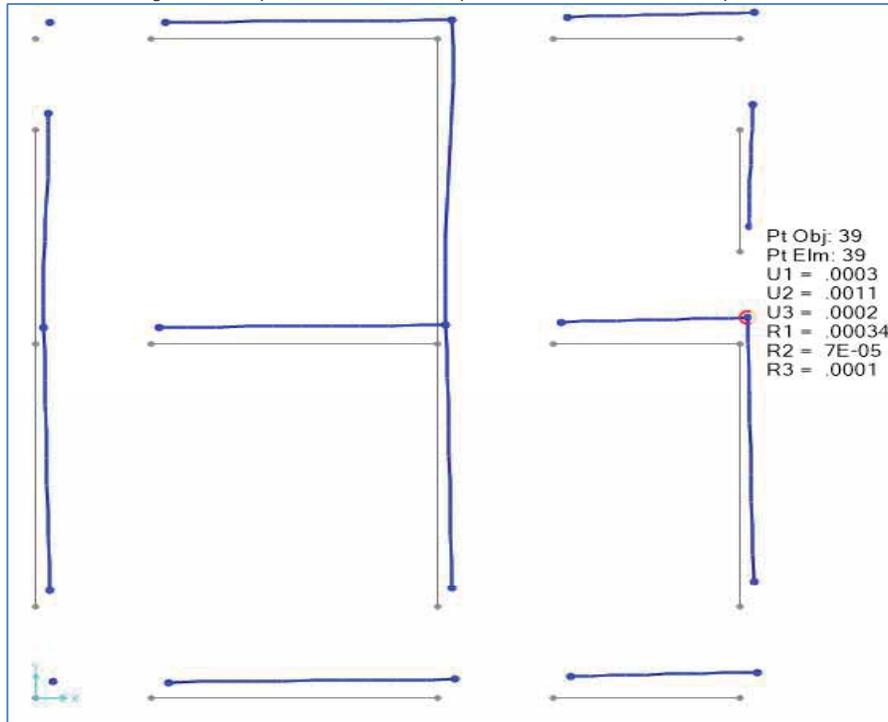
Imagen 78: Desplazamiento 2° Nivel por Sismo Dinámico en X, Sap 2000



Fuente: Propio

El desplazamiento en la dirección “Y” ocasionado por el análisis sísmico dinámico calculado por el programa Sap 2000 en el entrepiso del segundo nivel se muestra en la imagen 79 con el valor de “U2 = 0.0011 m”.

Imagen 79: Desplazamiento 2° Nivel por Sismo Dinámico en Y, Sap 2000



Fuente: Propio

b) Control Derivas de Pisos:

Los desplazamientos laterales se calcularon multiplicando por “0.75R” los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para el cálculo de los desplazamientos laterales no se considerarán los valores mínimos de C/R y para el cálculo de estos desplazamientos se recurrió a los calculados por el programa Sap 2000 en la dirección “X” y “Y” por el sismo dinámico que se generó en el mismo programa.

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según la norma E-030 no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso que se indica en la Tabla 53.

Tabla 53: Limite de Desplazamientos Laterales

LÍMITES PARA DESPLAZAMIENTOS LATERALES DE ENTREPISO ESTOS LÍMITES NO SON APLICABLES A NAVES INDUSTRIALES	
Materiales Predominantes	(Δ_i / h_{ei})
Madera	0.010

Fuente: Norma E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones

El cálculo realizado para la obtención de las derivas inelásticas por el análisis sísmico dinámico en la dirección “X” y “Y” se presenta en la tabla 54 y 55, para lo

cual se tomó en cuenta la altura de cada piso y los desplazamientos en ambas direcciones de análisis, los cuales fueron obtenidos por el programa Sap2000.

Tabla 54: Derivas inelásticas por sismo dinámico en el eje "X"

N° de Pisos	Pisos	Alturas (m)	Desp. (mm.)	Derivas $\Delta_{elásticas}$	Derivas Inelásticas $\Delta_{inelásticas}$	Derivas Inelásticas $\Delta(\%)$	Derivas Limite $\Delta_{Limite}(\%)$
2	Piso 2	2.45	0.700	0.000204	0.001071	0.107	1
1	Piso1	2.45	0.200	0.000082	0.000429	0.043	1

Fuente: Propio

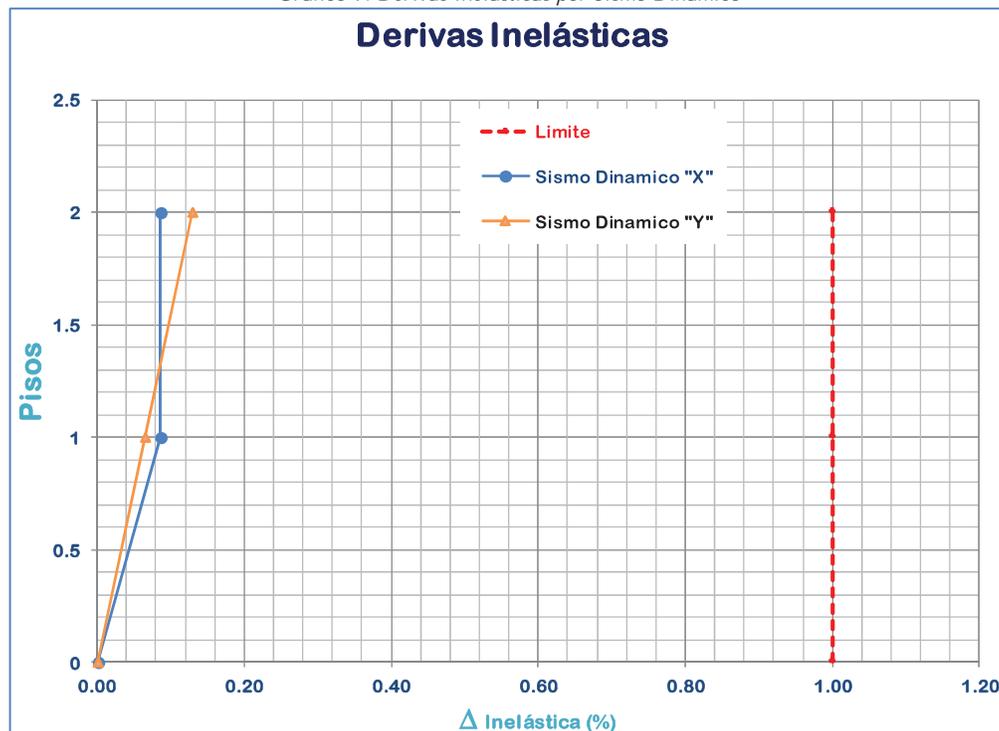
Tabla 55: Derivas inelásticas por sismo dinámico en el eje "Y"

N° de Pisos	Pisos	Alturas (m)	Desp. (mm.)	Derivas $\Delta_{elásticas}$	Derivas Inelásticas $\Delta_{inelásticas}$	Derivas Inelásticas $\Delta(\%)$	Derivas Limite $\Delta_{Limite}(\%)$
2	Piso 2	2.45	1.100	0.000286	0.001500	0.150	1
1	Piso1	2.45	0.400	0.000163	0.000857	0.086	1

Fuente: Propio

Para tener un mejor análisis y establecer las comparaciones de las derivas inelásticas obtenidas y los límites que establece la norma técnica E-030 con respecto a estas, se colocaron en la gráfica 9 y como se observa en ella se cumple lo establecido en la mencionada norma.

Grafico 9: Derivas Inelásticas por Sismo Dinámico



Fuente: Propio

c) Verificación de la Cortante Basal Mínima.

La cortante basal dinámica mínima, según lo establece la norma E-030, no será menor del 80% de la obtenida por el análisis sísmico estático, para verificar ello recurriremos a la imagen 80, donde se observa los valores de la cortante basal obtenidos por el programa Sap2000 para los análisis sísmicos estático y dinámico.

Imagen 80: Cortante Basal Mínima por Sismo Dinámico

	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Tonf	GlobalFY Tonf	GlobalFZ Tonf
	Sismo X	LinStatic		-7.2323	-1.864E-09	1.244E-10
	Sismo Y	LinStatic		-2.077E-09	-7.2323	-1.246E-09
	Sismo X Esp...	LinRespSpec	Max	5.4852	1.6471	0.58
	Sismo Y Es...	LinRespSpec	Max	1.6488	5.2221	0.3647

Fuente: Propio

Los valores de cortante basal por el sismo estático y sismo dinámico son los siguientes:

- $V_{\text{estático}} (X, Y) = 7.2323 \text{ t.}$
- $V_{\text{dinámico}} (X) = 5.4852 \text{ t.}$
- $V_{\text{dinámico}} (Y) = 5.2221 \text{ t.}$

El cálculo de la cortante basal dinámica mínima según lo establece la norma E-030 se calculó con la siguiente expresión:

$$V_{\text{Dinamico}} \geq 0.8 (V_{\text{Estatico}})$$

Para el sismo dinámico en la dirección “X”.

$$V_{\text{Dinamico}} \geq 0.8 (7.2323) = 5.7858 \text{ t.}$$

y como $5.4852 \text{ Ton.} \leq 5.7858 \text{ Ton.}$ **No cumple con la norma E-030**

Para el sismo dinámico en la dirección “Y”.

$$V_{\text{Dinamico}} \geq 0.8 (7.2323) = 5.7858 \text{ t.}$$

y como $5.2221 \text{ Ton.} \leq 5.7858 \text{ Ton.}$ **No cumple con la norma E-030**

Como la condición establecida por la norma E-030 no se cumple se realizó el escalonamiento de la fuerza cortante basal dinámica, mediante un factor de escalonamiento (F_e):

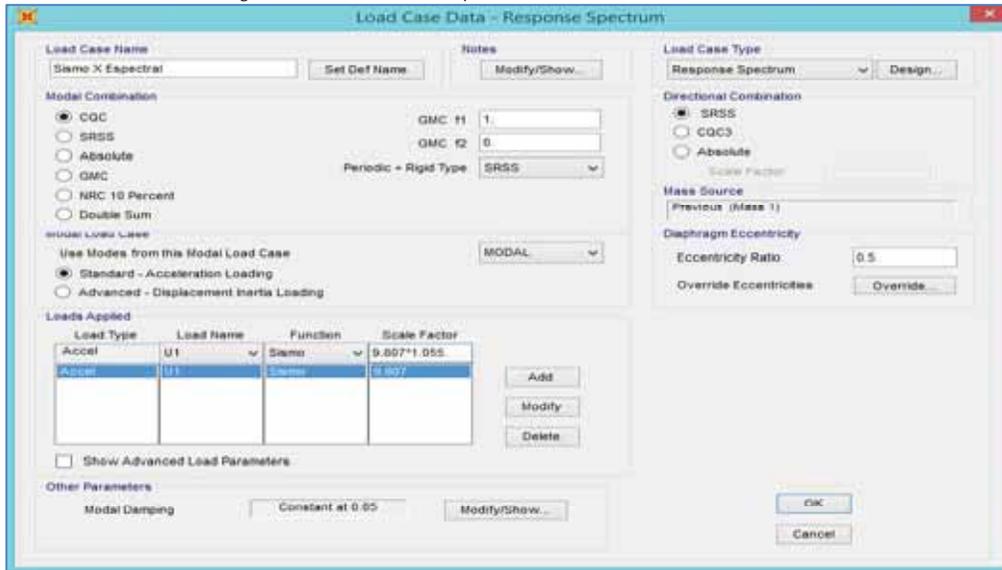
$$F_{e(x)} = 0.8 \left(\frac{V_{\text{Estatico}}}{V_{\text{Dinamico}}} \right) = 0.8 \left(\frac{7.2323}{5.4852} \right) = 1.055$$

$$F_{e(y)} = 0.8 \left(\frac{V_{Estatico}}{V_{Dinamico}} \right) = 0.8 \left(\frac{7.2323}{5.2221} \right) = 1.108$$

Estos factores $F_{e(x)}$ y $F_{e(y)}$ son multiplicados en el espectro de diseño en el programa Sap2000 para cumplir con lo exigido en la norma.

En la imagen 81 se muestra la multiplicación del factor $F_{e(x)}$ calculado en el recuadro de factor de escala del espectro de respuesta en la dirección U1.

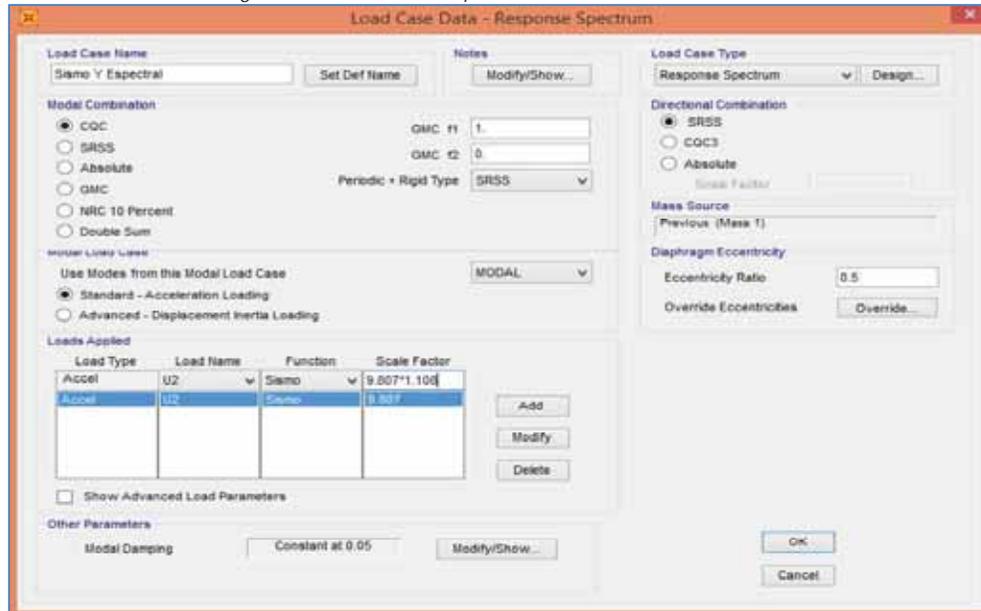
Imagen 81: Escalonamiento para Sismo Dinámico en "X"



Fuente: Propio

En la imagen 82 se muestra la multiplicación del factor $F_{e(y)}$ calculado en el recuadro de factor de escala del espectro de respuesta en la dirección U2.

Imagen 82: Escalonamiento para Sismo Dinámico en "Y"



Fuente: Propio

Como se puede observar en la imagen 83 las fuerzas de reacción en la base de la edificación ocasionada por el análisis sísmico dinámico es de 5.786 t el cual es el 80% de la cortante basal del análisis sísmico estático, con lo cual se cumple con lo establecido con la Norma Técnica E-030.

Imagen 83: Verificación para Sismo Dinámico

	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Tonf	GlobalFY Tonf	GlobalFZ Tonf
▶	Sismo X	LinStatic		-7.2323	-1.864E-09	1.244E-10
	Sismo Y	LinStatic		-2.077E-09	-7.2323	-1.246E-09
	Sismo X Esp...	LinRespSpec	Max	5.7869	1.7377	0.6119
	Sismo Y Es...	LinRespSpec	Max	1.8269	5.7861	0.4041

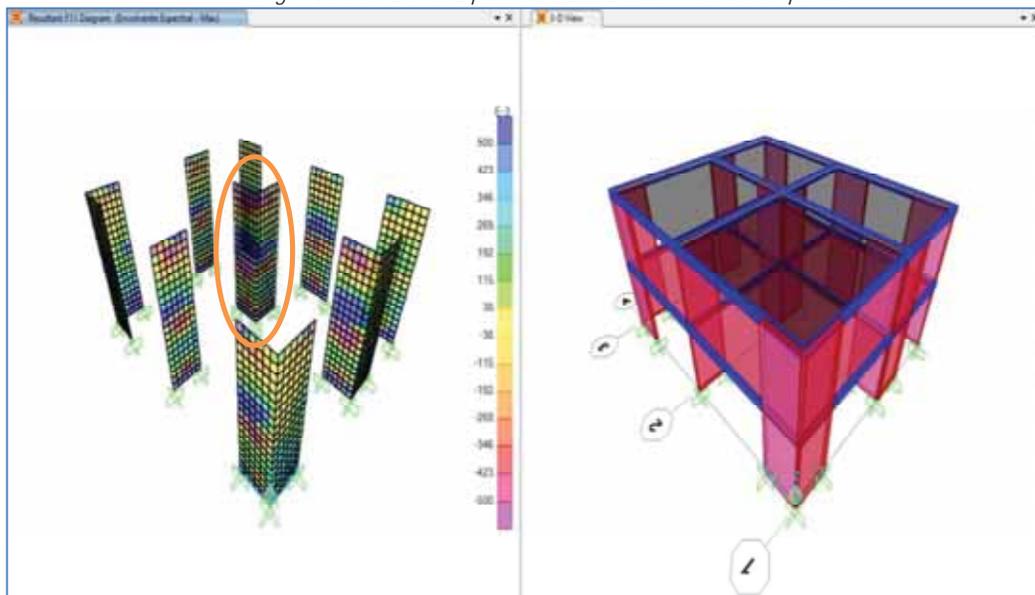
Fuente: Propio

d) Fuerza Axial en Elementos Verticales.

Para realizar el diseño de los elementos placa compuesta es necesario conocer el valor de la fuerza axial máxima ocasionada por todas las cargas que actúan sobre la edificación incluida la fuerza sísmica dinámica.

En la imagen 84 se observa que la fuerza axial máxima se encuentra en la placa compuesta ubicada en la intersección de los ejes 2-2 y B-B.

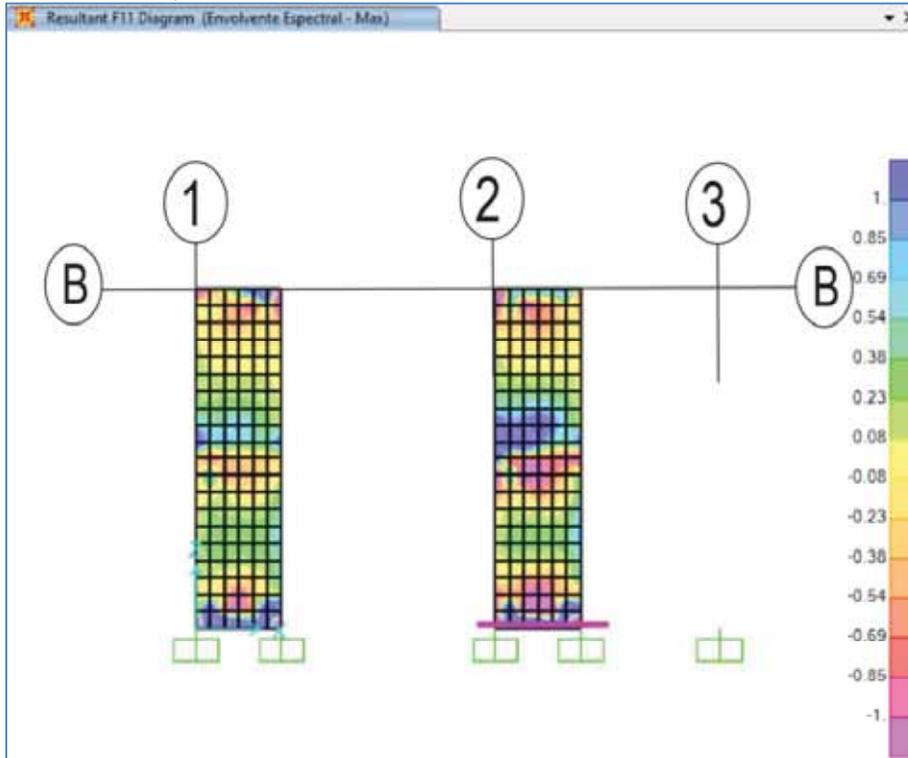
Imagen 84: Fuerza Axial por Sismo Dinámico en Placa Compuesta



Fuente: Propio

En la imagen 85 se muestra la placa compuesta del primer nivel entre los ejes 2-2 y B-B la cual soporta la mayor carga axial que se encuentra en el apoyo del eje B-B y tiene un valor de 9.1587 t.

Imagen 85: Fuerza Axial Máxima por Sismo Dinámico en Placa Compuesta



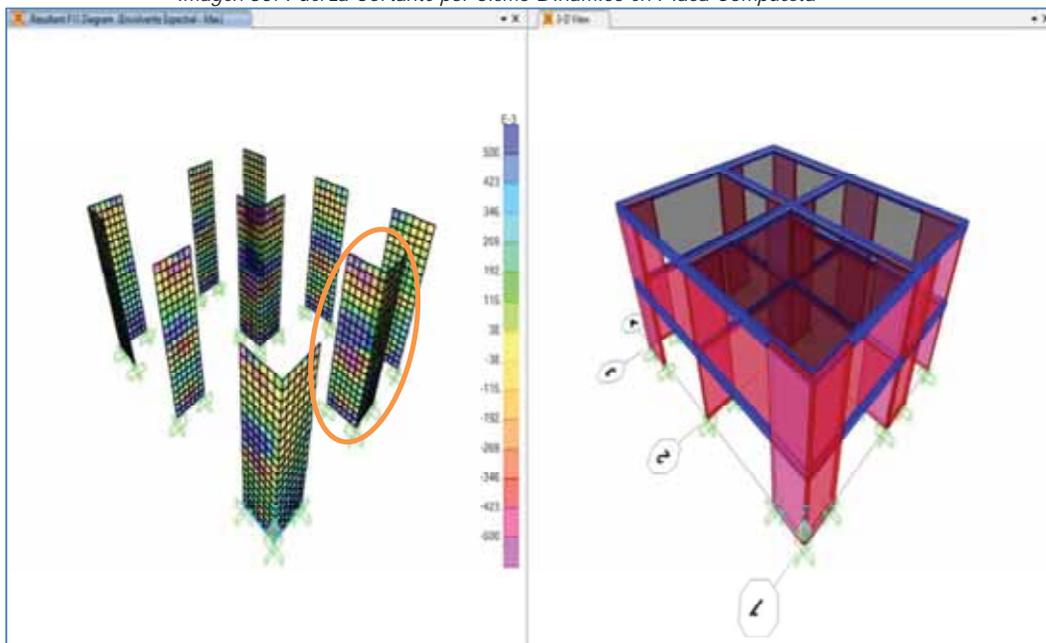
Fuente: Propio

e) Fuerza Cortante en los Elementos.

- En Placa Compuesta

Como se aprecia en la imagen 86, la fuerza cortante máxima en las placas compuestas se encuentra en el pórtico del eje B-B intersectado con el eje 1-1

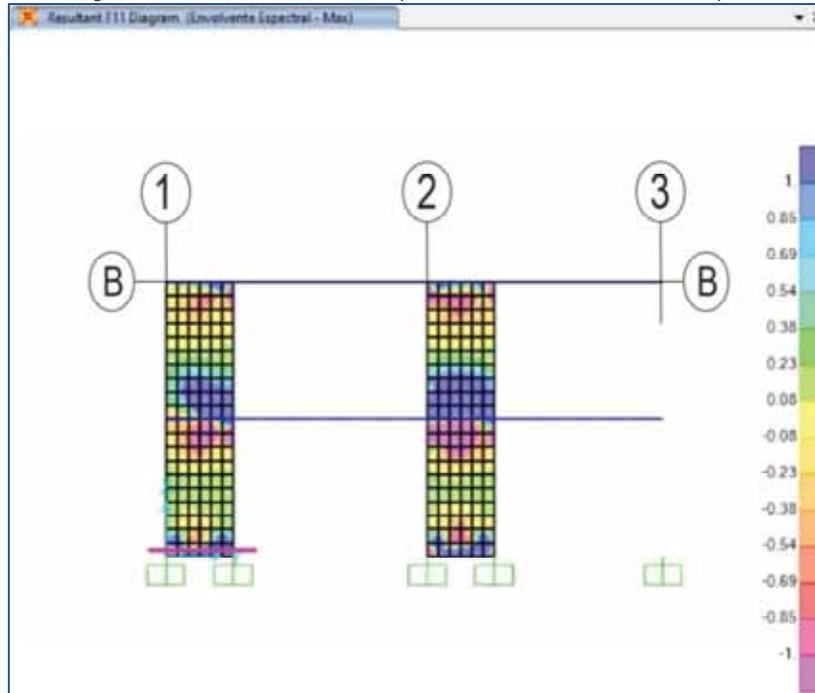
Imagen 86: Fuerza Cortante por Sismo Dinámico en Placa Compuesta



Fuente: Propio

En la imagen 87 se muestran las fuerzas cortantes actúan en unión de la placa compuesta con el suelo de soporte, se puede apreciar la máxima fuerza cortante de la placa compuesta y tiene un valor de 1.2636 t

Imagen 87: Fuerza Cortante Máxima por Sismo Dinámico en Placa Compuesta

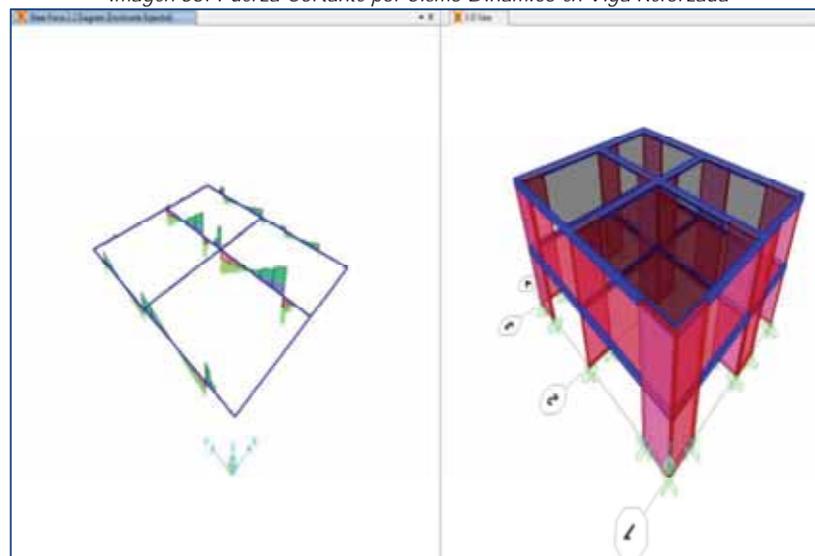


Fuente: Propio

- **En Viga de Madera Reforzada con Acero**

Como se aprecia en la imagen 88 la fuerza cortante máxima en las vigas reforzadas con acero se encuentra en el pórtico del eje B-B, ya que este pórtico soporta la mayor cantidad de carga.

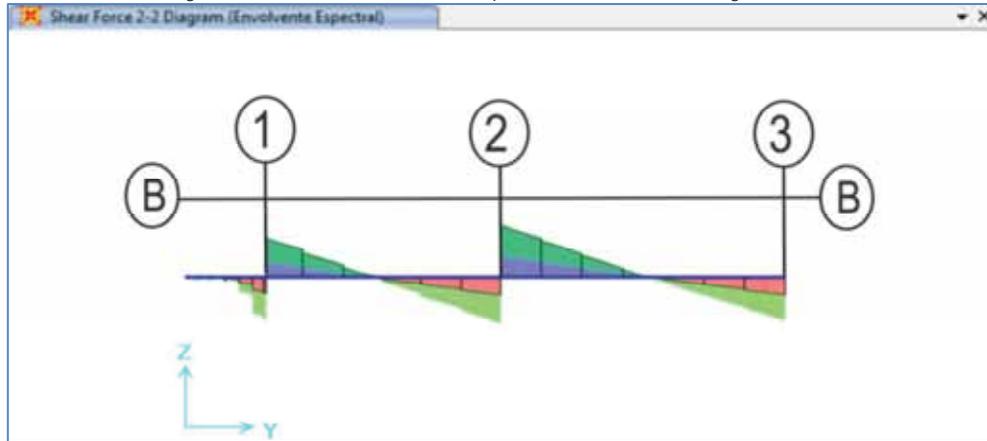
Imagen 88: Fuerza Cortante por Sismo Dinámico en Viga Reforzada



Fuente: Propio

En la imagen 89 se muestra el diagrama de fuerzas cortantes de la viga perteneciente al eje B-B, las fuerzas cortantes actúan en los extremos de las vigas y posee un valor máximo de -3.3994 t.

Imagen 89: Fuerza Cortante Máxima por Sismo Dinámico en Viga Reforzada



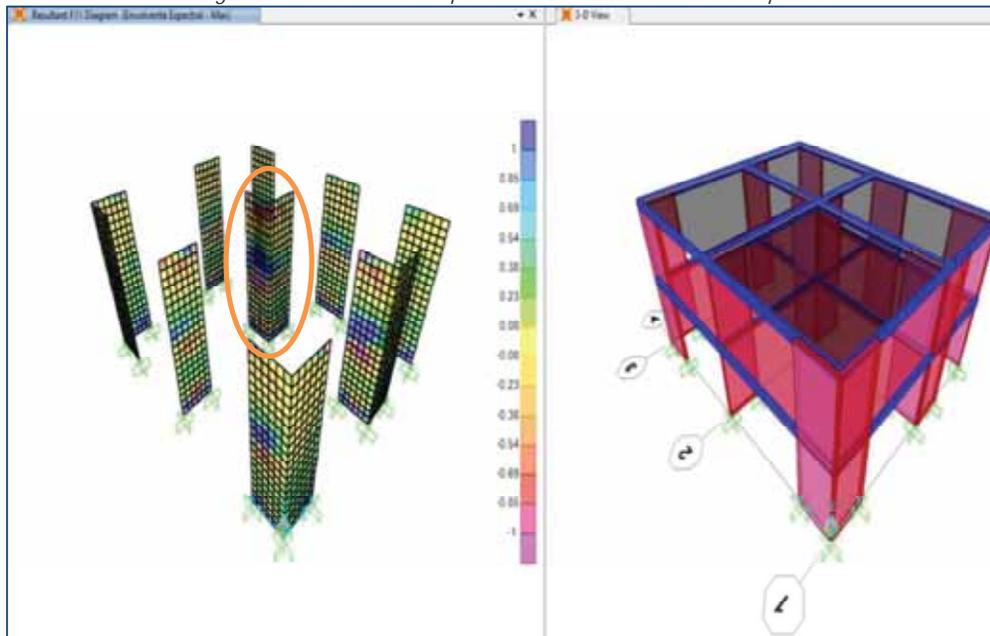
Fuente: Propio

f) Momento Flector en los Elementos.

- En Placa Compuesta

Como se observa en la imagen 90 el momento flector máximo se encuentra en las placas compuestas del pórtico del eje 2-2, intersectado con el eje B-B

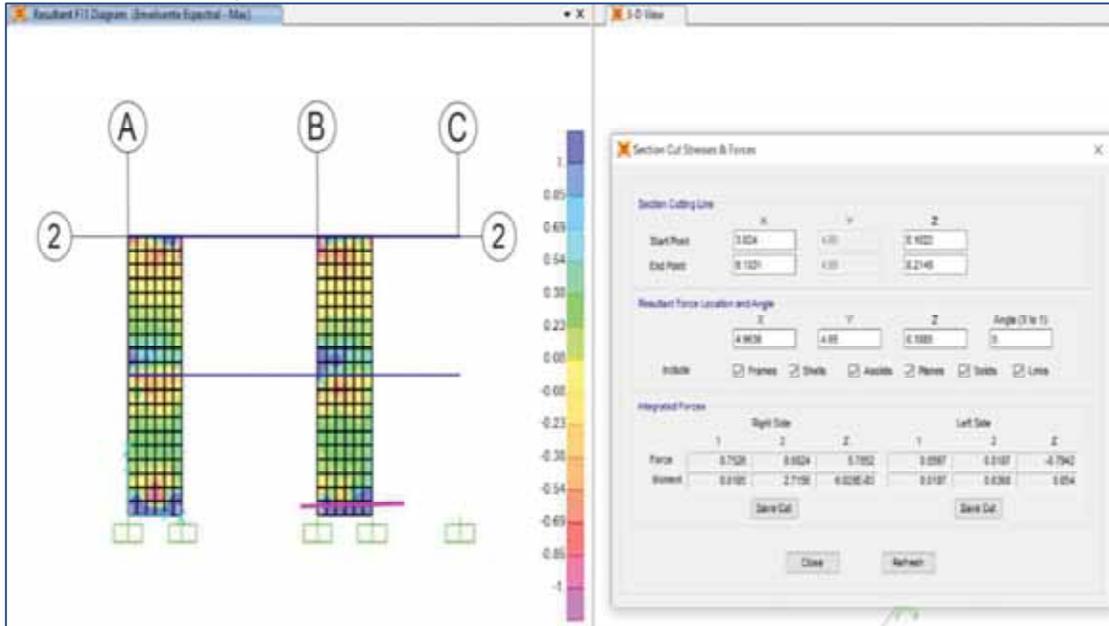
Imagen 90: Momento Flector por Sismo Dinámico en Placa Compuesta



Fuente: Propio

En la imagen 91 se muestra el momento flector máximo que actúa en las placas compuestas, el cual se encuentra en la unión de la placa con la losa de entre piso y en la parte superior se puede apreciar su valor máximo de 2.72 t-m.

Imagen 91: Momento Flector Máximo por Sismo Dinámico en Placa Compuesta

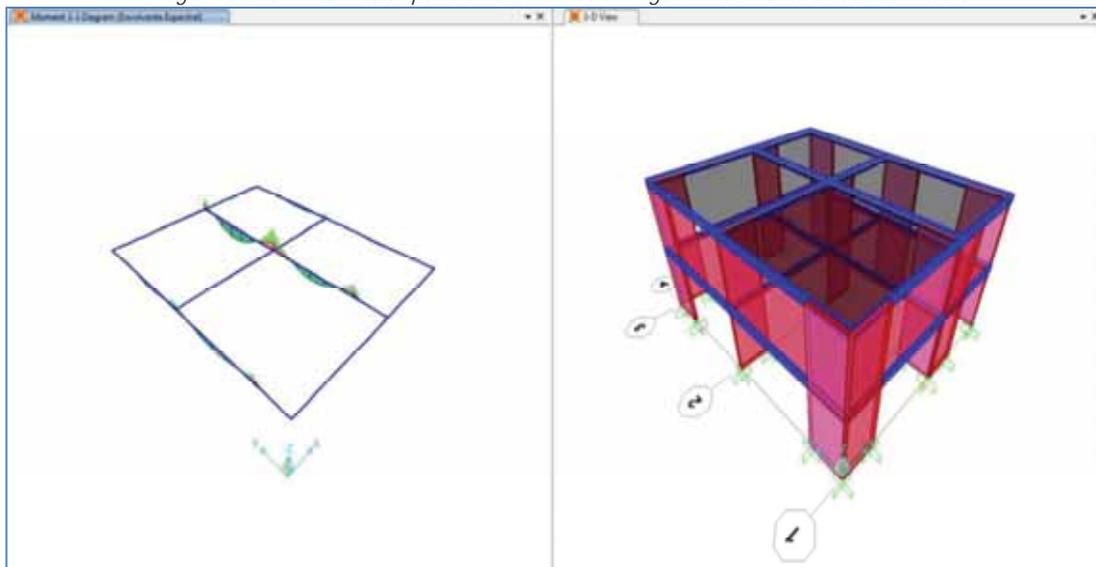


Fuente: Propio

- **En Vigas de Madera Reforzada con Acero**

Como se aprecia en la imagen 92 el momento flector máximo en las vigas reforzadas con acero se encuentra en el pórtico del eje B-B, ya que este pórtico soporta la mayor cantidad de carga.

Imagen 92: Momento Flector por Sismo Dinámico en Viga de Madera Reforzada con Acero



Fuente: Propio

En la imagen 93 muestra el diagrama de momentos flectores de la viga perteneciente al eje B-B, los momentos máximos actúan en los extremos de las vigas y posee un valor máximo negativo de -1.975 t-m y un valor máximo positivo de 1.1384 t-m.

Imagen 93: Momento Flector Máximo por Sismo Dinámico en Viga Reforzada

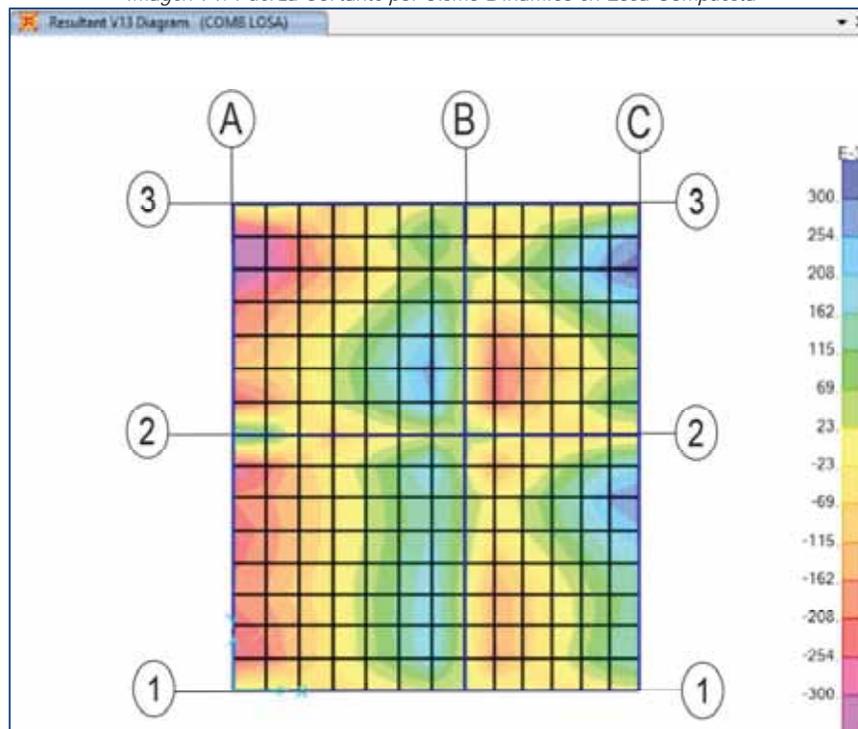


Fuente: Propio

- **Análisis de Losa Compuesta.**

En la imagen 94 muestra el diagrama de fuerzas cortantes de la losa compuesta, teniendo como valor máximo en la intersección de los ejes B-B y 2-2 y posee un valor máximo de -1.504 t/m.

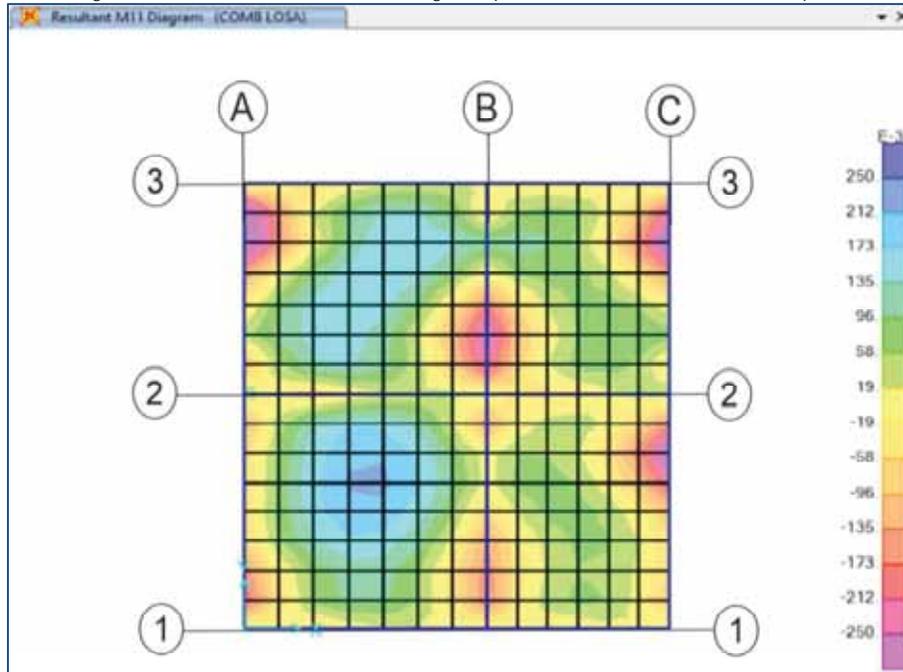
Imagen 94: Fuerza Cortante por Sismo Dinámico en Losa Compuesta



Fuente: Propio

En la imagen 95 se muestra el momento flector máximo negativo que actúa en la losa compuestas, el cual está en la intersección de los ejes 2-2 y B-B el cual posee un valor máximo de 0.229 t-m/m.

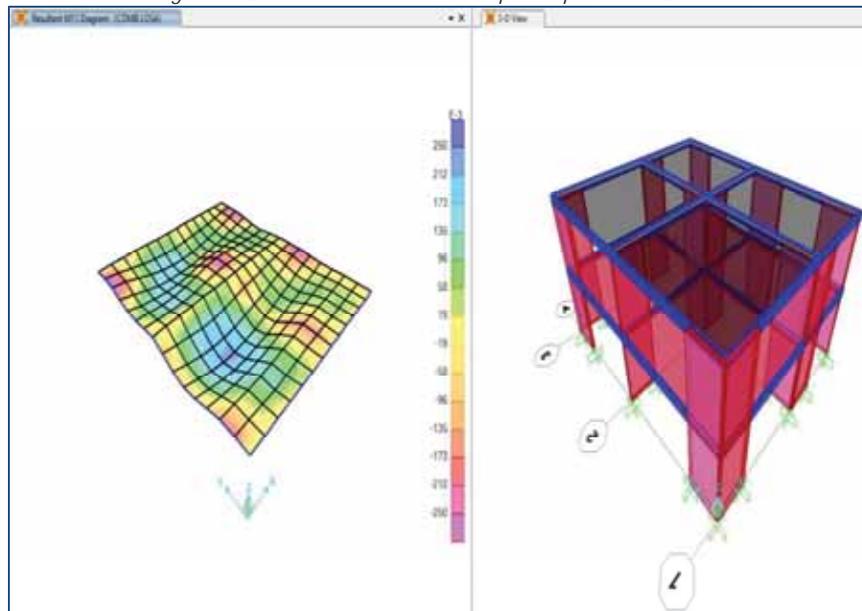
Imagen 95: Momento Flector Máximo Negativo por Sismo Dinámico en Losa Compuesta



Fuente: Propio

En la imagen 95 se muestra el momento flector máximo positivo que actúa en la losa compuestas, el cual está ubicado en el pórtico del eje B-B, A-A y 1-1 2-2 y posee un valor máximo de 0.258 t-m/m

Imagen 96: Deformación de la losa compuesta por Sismo Dinámico



Fuente: Propio

- **Tabla de Resumen de Fuerzas de la Envolvente:**

Los resultados de las fuerzas máximas, obtenidas por el análisis sísmico dinámico, sobre los elementos estructurales de la vivienda sirvieron para el diseño de estos, para el diseño de los elementos se tomaron los valores obtenidos por el programa Sap 2000, para el caso de la losa compuesta los valores se multiplicaron por 0.40m ya que este es el valor del ancho de diseño. En la tabla 56 se muestran estos datos que servirán para el diseño:

Tabla 56: Resumen de Fuerzas por Sismo Dinámico

Fuerza	Placa Compuesta	Viga de Madera R.A.	Losa Compuesta
Carga Axial (t)	9.1578	-----	-----
Fuerza Cortante (t)	1.2636	3.874	0.937
Momento Flector (t-m)	Min.= -1.416	Min. = -1.975	Min.= -0.103
	Max.= 2.7156	Max.= 1.1384	Max.= 0.047

Fuente: Propio

6.4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE AMBOS ANÁLISIS.

Los resultados obtenidos por el análisis sísmico estático son mayores ya que la cortante basal obtenida por este es mayor y por consecuencia los esfuerzos que este ocasiona serán mayores.

El análisis sísmico dinámico dio como resultado esfuerzos para los cuales se diseñan los elementos de la estructura, pero como el objetivo de este estudio es demostrar que el sistema propuesto puede soportar las cargas máximas provocadas por ambos análisis sísmicos se usaron los valores máximos que se aprecian en la tabla 57.

Tabla 57: Fuerzas Máximas en los Elementos

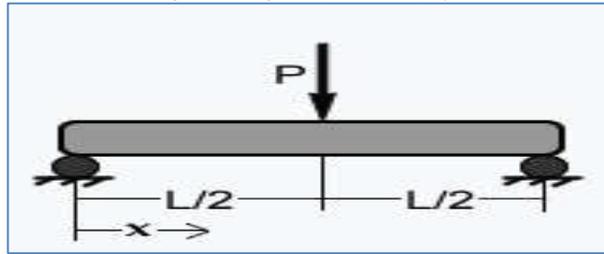
Fuerza	Placa Compuesta	Viga de Madera R.A.	Losa Compuesta
Carga Axial (t)	9.1578	-----	-----
Fuerza Cortante (t)	2.0692	3.3994	0.801
Momento Flector (t-m)	Min.= -1.738	Min. = -1.975	Min.= -0.318
	Max.= 2.767	Max.= 1.744	Max.= 0.134

Fuente: Propio

6.5. VERIFICACIÓN DE FUERZAS MÁXIMAS ENTRE LOS ANÁLISIS SÍSMICOS Y LOS RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS.

Para realizar la verificación de las fuerzas máximas de los resultados obtenidos en laboratorio fue necesario utilizar las ecuaciones de momento flector y fuerza cortante de una viga simplemente apoyada como en la imagen 97.

Imagen 97: Viga simplemente apoyada



Fuente: Daniel De León Martínez

$$M_{max} = \frac{P \cdot L}{4} ; V_{max} = \frac{P}{2}$$

Donde:

M_{max} = Momento máximo.

V_{max} = Cortante máxima

P = Carga puntual.

L = Longitud de la viga.

Los resultados de este análisis se muestran en la tabla 58, como se observa los valores obtenidos mediante los ensayos de laboratorio superan los requerimientos de esfuerzos que exige un análisis sísmico como lo indica la Norma Técnica Peruana de diseño sismo resistente E-030. Con lo cual se cumplen los objetivos establecidos en esta investigación.

Tabla 58: Esfuerzos Máximos Obtenidos en Laboratorio

Muestra	Carga promedio de falla	Cortante en placa	Momento maximo	Cortante maxima
PC	30.67 t	24.09 t	-----	-----
VC	12.56 t	-----	2.64 t-m	6.28 t
LC	4.75 t	-----	1.00 t-m	2.38 t

Fuente: Propio

Donde:

- PC: Placa compuesta.
- VC: Viga de madera reforzada con pletina de acero (Viga Compuesta).
- LC: Losa Compuesta.

CAPÍTULO 7. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LOS ELEMENTOS

COMPONENTES DEL SISTEMA.

7.1. PRE-DIMENSIONAMIENTO

7.1.1. PARÁMETROS Y CONSIDERACIONES PARA LAS DIMENSIONES DE LAS SECCIONES COMPUESTAS.

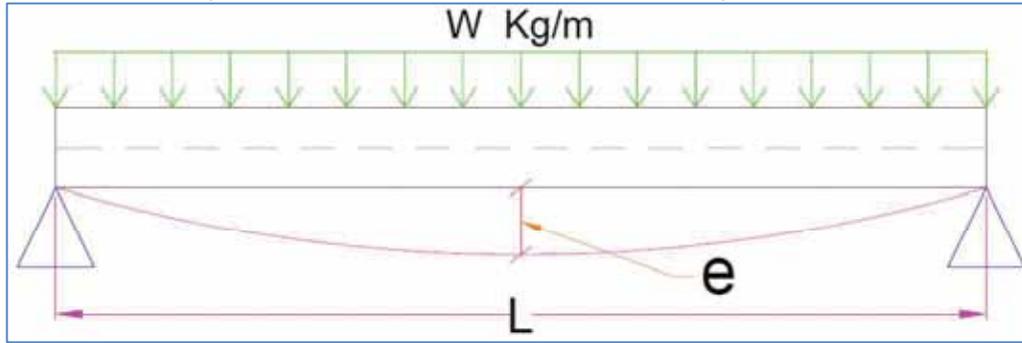
Las dimensiones para lograr la eficiencia en los materiales componentes del sistema están relacionadas con la función que cumplen en la estructura, por lo tanto, es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros.

- *Viga de Madera Reforzada con Acero.*
 - ✓ Área tributaria abarcada.
 - ✓ Luz de la viga.
 - ✓ Área de la sección equivalente.
 - ✓ Momento de inercia de la sección equivalente.
- *En Placa Compuesta.*
 - ✓ Área tributaria abarcada.
 - ✓ Número de placas compuestas por pórticos.
 - ✓ Área de la sección equivalente.
 - ✓ Momento de inercia de la sección equivalente.
- *Losa Compuesta.*
 - ✓ Área tributaria abarcada.
 - ✓ Luz de la losa.
 - ✓ Área de la sección equivalente.
 - ✓ Momento de inercia de la sección equivalente.

7.1.2. DIMENSIONAMIENTO DE VIGA REFORZADA CON ACERO.

Para dimensionar este elemento fue necesario tener en cuenta las exigencias de la norma de diseño en madera concerniente a las deflexiones máximas que pueda presentar este elemento, para ello consideraremos que la viga esta simplemente apoyada y soportando una carga uniformemente distribuida, ya que este tipo de viga da una mayor deformación como se muestra en la imagen 98.

Imagen 98: Parámetros para el Pre-dimensionamiento de Vigas Compuestas



Fuente: Propio

Donde:

- W= Combinación de carga más desfavorable (1.0 D + 1.2 L), donde D=350 kg/m y L=250 kg/m.
- L = Luz máxima de la estructura.
- e = Deformación máxima permitida por la norma (L/k, k=350 o k=300).

La deflexión “e” se puede calcular con la siguiente expresión:

$$e = \frac{5 \times W \times L^4}{384 \times E \times I}$$

Donde:

- E = Modulo de elasticidad de la Madera (E=70000).
- I = Momento de inercia de la sección equivalente.

Por lo tanto, este “e” se puede remplazar por L/k quedando la siguiente ecuación.

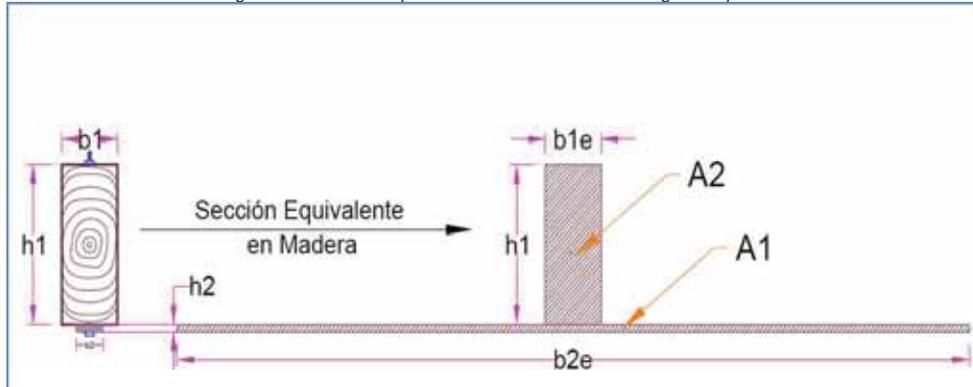
$$I > \frac{5 \times W \times L^3 \times k}{384 \times E} \dots \dots \dots (1)$$

De donde el momento de inercia “I” podrá tomar dos valores tanto para k=300 y k=350 por lo que se escogió el mayor valor para “I”, de esta manera se busca una sección equivalente que cumpla con esta condición, por lo que se siguieron los siguientes pasos:

1) Estudio de la sección equivalente y su comprobación.

Para determinar la sección equivalente en madera del elemento viga compuesta se consideran los módulos de elasticidad de los materiales que lo componen, así como la sección de estos dentro del elemento, para ello se tomaran las secciones según la imagen 99.

Imagen 99: Sección equivalente en madera de la viga compuesta.



Fuente: Propio

Donde:

- b_1 = Base de la sección de madera.
- b_2 = Base de la sección de la platina de acero.
- h_1 = Altura de la sección se la madera.
- h_2 = Altura o espesor de la platina de acero.
- b_{1e} = Base superior de la sección equivalente en madera.
- b_{2e} = Base inferior de la sección equivalente en madera.
- A_2 = Área de la madera transformada en sección equivalente.
- A_1 = Área de la platina de acero transformada en sección equivalente.

La transformación de la viga compuesta en su sección equivalente se realiza determinando en coeficiente “ n_i ” que resulta de la división se los módulos de elasticidad de los materiales que lo componen entre el menor de ellos, para hallar las bases equivalentes manteniendo constantes las alturas, como se observa en la tabla 59.

Tabla 59: Base de la sección equivalente en madera de la viga compuesta.

Materiales	E (kg/cm ²)	n_i	b_i . Orig. (m)	b_{ie} . Equi. (m)
Madera	75 000.0	1.000	0.100	0.100
Acero	2 100 000.0	28.000	0.051	1.422

Fuente: Propio

Conocido las dimensiones de la sección equivalente en madera de la viga compuesta se procede al cálculo de momento de inercia de esta, como se muestra en la tabla 60.

Tabla 60: Calculo del “ I ” de la sección equivalente de la viga compuesta

Áreas	h_i (m)	b_{ie} (m)	Y_i	A_i	I_{gi} (m ⁴)	$d_i=(C_{inf}-Y_i)$	I_{ni} (m ⁴)
A1	0.010	1.422	0.005	0.014	1.185×10^{-7}	0.083	9.777×10^{-5}
A2	0.250	0.100	0.135	0.025	1.302×10^{-4}	-0.047	1.858×10^{-4}
Total=	0.260		$\sum A_i =$	0.039		$\sum I_{ni} =$	0.000284

Fuente: Propio

2) Momento de Inercia Necesario por Limitación de Flexiones

Para comprobar que la sección de la viga compuesta escogida cumple con los requerimientos por flexión se procedió a su cálculo mediante la ecuación (1):

$$I > \frac{5 \times W \times L^3 \times k}{384 \times E}$$

Donde:

- L= 4.10m, luz máxima de la viga compuesta en los planos.
- W= 650 kg/m, Carga máxima sobre la viga compuesta.
- E= 75 000 kg/cm², módulo de elasticidad de la madera.
- K= 300 y 350, constante según norma técnica E-010.

Para K= 300:

$$I > \frac{5 \times 650 \times 4.10^3 \times 300}{384 \times 75\,000}$$

$$I > 23\,332.630 \text{ cm}^4$$

Para K=350:

$$I > \frac{5 \times 650 \times 4.50^3 \times 350}{384 \times 75\,000}$$

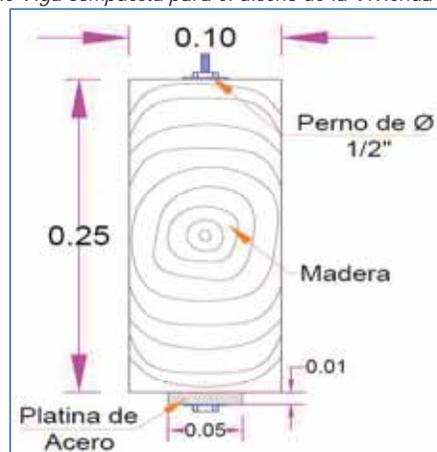
$$I > 27\,221.40 \text{ cm}^4$$

Conocido los valores de los momentos de inercia necesarios por limitaciones de flexión se escoge el mayor de ellos:

$$I_{\text{necesario}} > 27\,221.40 \text{ cm}^4$$

Ya que el momento de inercia de la sección equivalente en madera de la viga compuesta ya calculado en la tabla 59 es de **28 354.021 cm⁴**, se cumplen con las exigencias de flexión, por lo que la sección de la viga compuesta se muestra en la imagen 100.

Imagen 100: Sección de Viga compuesta para el diseño de la Vivienda (dimensiones en metros)

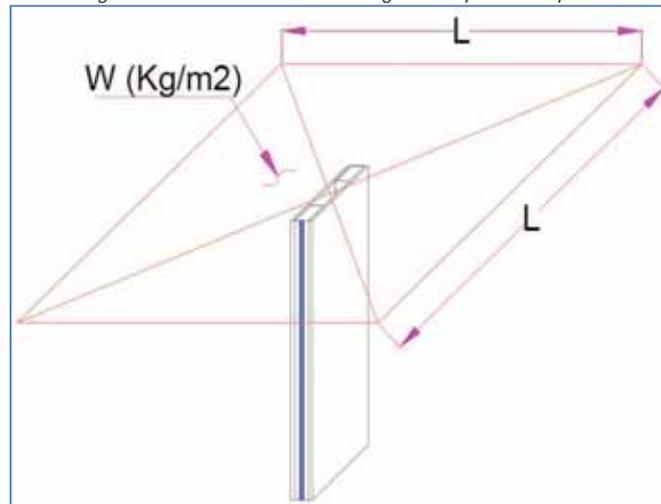


Fuente: Propio

7.1.3. DIMENSIONAMIENTO DE PLACA COMPUESTA.

Se realizó teniendo en cuenta una placa compuesta la cual está soportando una mayor área tributaria, ya que consideraremos que el área equivalente es capaz de soportar la carga de dicha área tributaria, como se muestra en la imagen 101

Imagen 101: Área tributaria de carga sobre placa compuesta.



Fuente: Propio

Donde:

- L = Longitud de la Luz más larga de la estructura.
- W = Combinación de carga más desfavorable ($1.2 D + 1.6 L$), donde $D=350$ Kg/m² y $L=250$ Kg/m².

Para una placa con un área “A” se sabe que debe de ser capaz de soportar una carga axial según la siguiente relación de la norma de diseño en madera.

$$N_{adm} = f_c \times A \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

- N_{adm} = Carga admisible en compresión.
- f_c = Esfuerzo admisible en compresión.
- A = Área de la sección en madera.

De las expresiones anteriores se deduce que la sección de placa compuesta debe de cumplir lo siguiente.

$$N_{adm} > W \times L^2 \dots \dots \dots (3)$$

Ya que los paneles de ferrocemento tendrán como mínimo un espesor de 2.5cm y serán dos placas que suman 5.0cm el cual se sumó al lado menor de las secciones de madera para determinar el espesor total de la placa compuesta.

La longitud de la placa compuesta variara entre: $1.00m \leq L \leq 1.20m$, estos valores se tomaron de la norma de diseño en madera en su artículo concerniente a muros de corte, en este artículo se proporciona una tabla con muros de longitud de 2.40m, esta longitud se redujo a la mitad ya que las placas compuestas constan de dos paneles de ferrocemento que simularan un muro de corte con una mayor resistencia al esfuerzo cortante.

a) Determinación de N_{adm} :

$$N_{adm} = (110 \text{ Kg/cm}^2) \times (2 \times 10 \times 10) \text{ cm}^2$$

$$N_{adm} = 22000 \text{ Kg.}$$

b) Determinación de la carga $W.L^2$:

$$W.L^2 = (1.2 (350) + 1.6 (250)) \text{ Kg/m}^2 \times (4.10)^2 \text{ m}^2$$

$$W.L^2 = (820 \text{ kg/m}^2) \times (20.25) \text{ m}^2$$

$$W.L^2 = 16\,605.00 \text{ Kg}$$

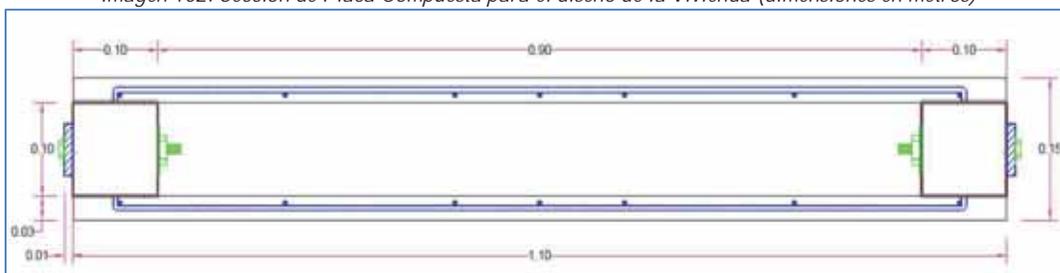
c) Comprobamos que $N_{adm} > W.L^2$:

- $22\,000 > 16\,605$ ----- **con lo cual se cumple esta condición.**

d) Determinación de las secciones de ferrocemento y acero:

Como ya se dijo la sección de ferrocemento tendrán un espesor mínimo de 2.50 cm, la longitud de los paneles de ferrocemento será de 1.00m ya que es la sección mínima que se puede encontrar en la norma de diseño en madera E-010 la cual se llevó al ferrocemento, el refuerzo de acero será una platina de 1.5" x 3/8", la sección de la placa compuesta se observa en la imagen 102.

Imagen 102: Sección de Placa Compuesta para el diseño de la Vivienda (dimensiones en metros)

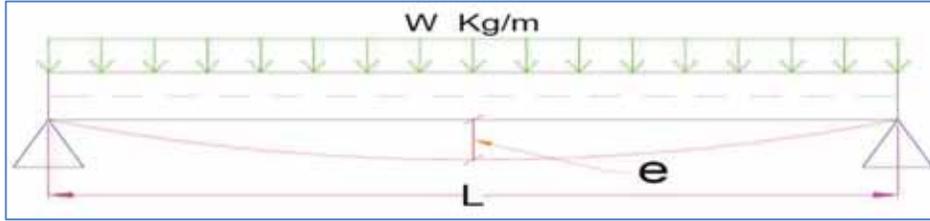


Fuente: Propio

7.1.4. DIMENSIONAMIENTO DE LOSA COMPUESTA.

Para dimensionar este elemento, al igual que para las vigas reforzadas, basaremos en las exigencias de la norma de diseño en madera concerniente a las deflexiones máximas que pueda presentar este elemento, como se muestra en la imagen 103.

Imagen 103: Parámetros para el Pre-dimensionamiento de losa Compuestas



Fuente: Propio

Donde:

- \$W\$ = Combinación de carga más desfavorable para la sección de losa compuesta \$(1.0D + 1.2L)\$, donde \$D=350\$ Kg/m y \$L=250\$ Kg/m.
- \$L\$ = Luz en la dirección de armado de losa compuesta.
- \$e\$ = Deformación máxima permitida por la norma \$(L/k, k=350\$ o \$k=300)\$.

Como se sabe esta deflexión “e” se puede calcular con la siguiente expresión:

$$e = \frac{5 \cdot W \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

Donde:

- \$E\$ = Módulo de elasticidad de la Madera (\$E=70000\$).
- \$I\$ = Momento de inercia de la sección equivalente.

Por lo tanto, esta “e” se puede remplazar por \$L/k\$ quedando lo siguiente.

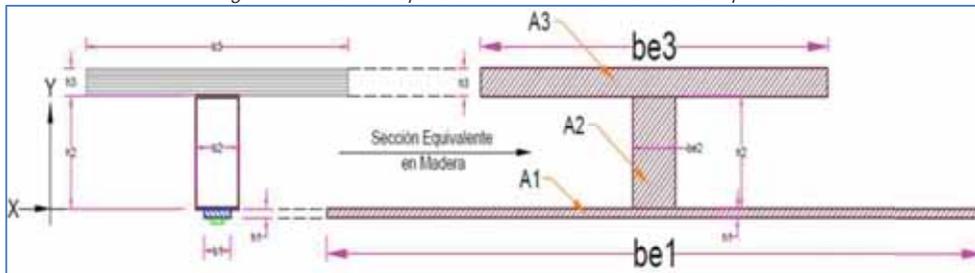
$$I = \frac{5 \cdot W \cdot L^3 \cdot k}{384 \cdot E} \dots \dots \dots (1)$$

De donde el momento de inercia “I” podrá tomar dos valores tanto para \$k=300\$ y \$k=350\$ por lo que se escogió el mayor valor para “I”, de esta manera se busca una sección equivalente que cumpla con esta condición, para lo cual se siguieron los siguientes pasos:

1) Estudio de la sección equivalente y su comprobación.

Para determinar la sección equivalente en madera del elemento losa compuesta se consideran los módulos de elasticidad de los materiales que lo componen, así como la sección de estos dentro del elemento, para ello se tomaran las secciones según la imagen 104.

Imagen 104: Sección equivalente en madera de la losa compuesta.



Fuente: Propio

Donde:

- b1= Base de la sección de la platina de acero.
- b2= Base de la sección de madera.
- b3= Base de la sección de ferrocemento.
- h1= Altura o espesor de la platina de acero.
- h2= Altura de la sección se la madera.
- h3= Altura o espesor del ferrocemento.
- b1e= Base superior de la sección equivalente en madera.
- b2e= Base inferior de la sección equivalente en madera.
- A2= Área de la madera transformada en sección equivalente.
- A2= Área de la platina de acero transformada en sección equivalente.

La transformación de la losa compuesta en su sección equivalente se realiza determinando en coeficiente “ni” que resulta de la división de los módulos de elasticidad de los materiales que lo componen entre el menor de ellos, para hallar las bases equivalentes manteniendo constantes las alturas, como se observa en la tabla 61.

Tabla 61: Base de la sección equivalente en madera de la losa compuesta.

Materiales	E (kg/cm ²)	ni	bi. Orig. (m)	bei. Equi. (m)
Madera	75 000.000	1.000	0.065	0.065
Acero	2 100 000.000	28.000	0.038	1.067
Ferrocemento	100 000.000	1.333	0.400	0.533

Fuente: Propio

Conocido las dimensiones de la sección equivalente en madera de la losa compuesta se procede al cálculo de momento de inercia de esta, como se muestra en la tabla 62.

Tabla 62: Calculo del "I" de la sección equivalente de la losa compuesta

Cinf= 0.085 m							
Áreas	h(m)	b(m)	Yi	Ai(m ²)	Igi (m ⁴)	di=(Cinf-Yi)	Ini (m ⁴)
A1	0.010	1.067	0.005	0.011	8.890x10 ⁻⁸	0.080	6.785x10 ⁻⁵
A2	0.120	0.065	0.070	0.008	9.360x10 ⁻⁶	0.015	1.104x10 ⁻⁵
A3	0.030	0.533	0.145	0.016	1.200x10 ⁻⁶	-0.060	5.938x10 ⁻⁵
Total=	0.160		∑Ai=	0.034		∑Ini=	0.000138

Fuente: Propio

2) Momento de Inercia Necesario por Limitación de Flexiones

Para comprobar la sección de la losa compuesta escogida se procede al cálculo de la inercia de está mediante la expresión siguiente:

$$I > \frac{5 \times W \times L^3 \times k}{384 \times E} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

- L= 3.20 m, luz máxima de la losa compuesta en los planos.
- W= 650 kg/m, Carga máxima sobre la losa compuesta.
- E= 75 000 kg/cm², módulo de elasticidad de la madera.
- K= 300 y 350, constante según norma técnica E-010.

Para K= 300:

$$I > \frac{5 \times 650 \times 3.20^3 \times 300}{384 \times 75\,000}$$

$$I > \mathbf{11\,093.333\ cm^4}$$

Para K=350:

$$I > \frac{5 \times 650 \times 3.20^3 \times 350}{384 \times 75\,000}$$

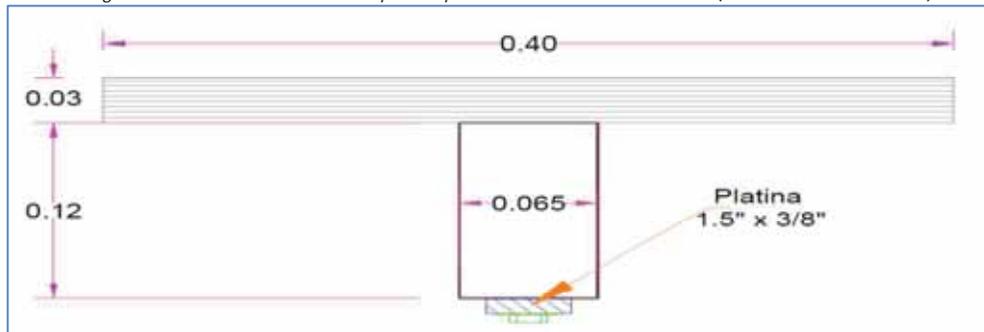
$$I > \mathbf{12\,942.22\ cm^4}$$

Conocido los valores de los momentos de inercia necesarios por limitaciones de flexión se escoge el mayor de ellos:

$$I_{\text{necesario}} > \mathbf{12\,942.22\ cm^4}$$

El momento de inercia de la sección equivalente en madera de la losa compuesta, calculado en la tabla 61, es de **13 827.594 cm⁴** que cumple con las exigencias de flexión, por lo que la sección de la losa compuesta se muestra en la imagen 105.

Imagen 105: Sección de Losa Compuesta para el diseño de la Vivienda (dimensiones en metros)



Fuente: propio

7.2. PROPUESTA DE DISEÑO PARA LOS ELEMENTOS COMPONENTES DEL SISTEMA.

7.2.1. Parámetros y Consideraciones para el Diseño.

Los elementos estructurales se diseñaron teniendo en cuenta criterios de resistencia, rigidez y estabilidad, los cuales se diseñaron en la sección equivalente en madera del elemento compuesto. Se consideraron para cada caso la condición que resulto más crítica; y el diseño de estos elementos estructurales debió de cumplir las siguientes consideraciones de rigidez:

- Las deformaciones deberán evaluarse para las cargas de servicio.
- Las deformaciones de los elementos y sistemas estructurales deben ser menores o iguales que las admisibles.

7.2.2. DISEÑO DE VIGA REFORZADA CON ACERO.

Para el diseño de este elemento se llevarán a cabo los siguientes pasos:

a) *Datos de esfuerzos máximos actuantes sobre la viga compuesta.*

Los esfuerzos máximos que soporta viga compuesta son los provocados por el análisis sísmico estático y son los siguientes:

- Momento máximo (+) = 1743.75 kg-m
- Momento máximo (-) = 1 975.25 kg-m
- Cortante máxima = 3399.40 kg

b) *Esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad de la madera copaiba.*

Estos valores de diseño son tomados de la norma de diseño en madera E-010 de reglamento nacional de edificaciones y son los siguientes:

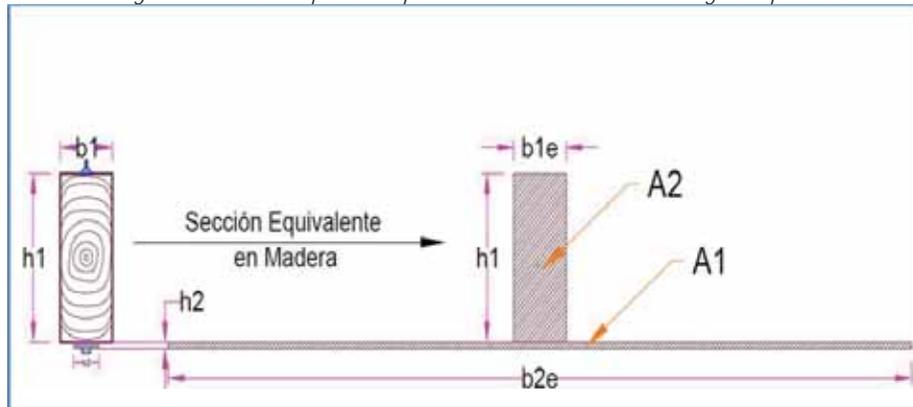
- $E_{min} = 75\ 000\ \text{kg/cm}^2$, módulo de elasticidad mínimo de la madera.
- $f_m = 150\ \text{kg/cm}^2$, esfuerzo admisible en flexión.
- $f_{t//} = 105\ \text{kg/cm}^2$, esfuerzo admisible en tracción paralela al fibra.
- $f_{c//} = 110\ \text{kg/cm}^2$, esfuerzo admisible en compresión paralela a la fibra.
- $f_{v\perp} = 12\ \text{kg/cm}^2$, esfuerzo admisible en corte perpendicular a la fibra.
- $f_{c\perp} = 28\ \text{kg/cm}^2$, esfuerzo admisible en compresión perpendicular a la fibra.

c) *Estudio de la sección equivalente y su comprobación.*

Para determinar la sección equivalente en madera del elemento viga compuesta se consideran los módulos de elasticidad de los materiales que lo componen, así como la

sección de estos dentro del elemento, para ello se tomaran las secciones según la imagen 106.

Imagen 106: Sección equivalente para el diseño en madera de la viga compuesta.



Fuente: Propio

Donde:

- b_1 = Base de la sección de madera.
- b_2 = Base de la sección de la platina de acero.
- h_1 = Altura de la sección de la madera.
- h_2 = Altura o espesor de la platina de acero.
- b_{1e} = Base superior de la sección equivalente en madera.
- b_{2e} = Base inferior de la sección equivalente en madera.
- A_2 = Área de la madera transformada en sección equivalente.
- A_1 = Área de la platina de acero transformada en sección equivalente.

La transformación de la viga compuesta en su sección equivalente se realiza determinando el coeficiente “ n_i ” que resulta de la división de los módulos de elasticidad de los materiales que lo componen entre el menor de ellos, para hallar las bases equivalentes manteniendo constantes las alturas, como se observa en la tabla 63.

Tabla 63: Base de la sección equivalente en madera de la viga compuesta.

Materiales	E (kg/cm ²)	n_i	b_i . Orig. (m)	b_{ie} . Equi. (m)
Madera	75 000.0	1.000	0.100	0.100
Acero	2 100 000.0	28.000	0.051	1.422

Fuente: Propio

Conocidas las dimensiones de la sección equivalente en madera de la viga compuesta se procede al cálculo de momento de inercia de esta, como se muestra en la tabla 64.

Tabla 64: Cálculo del "I" de la sección equivalente de la viga compuesta

Cinf= 0.110 m							
Áreas	hi(m)	bie(m)	Yi	Ai	Igi (m4)	di=(Cinf-Yi)	Ini (m4)
A1	0.010	1.422	0.005	0.014	1.185x10 ⁻⁷	0.105	1.574x10 ⁻⁴
A2	0.300	0.100	0.160	0.030	2.250x10 ⁻⁴	-0.050	2.296x10 ⁻⁴
Total=	0.310		∑Ai=	0.044		∑Ini=	0.000457

Fuente: Propio

d) Momento de Inercia Necesario por Limitación de Flexiones

Para comprobar que la sección de la viga compuesta escogida cumple con los requerimientos por flexión se procede a su cálculo mediante la ecuación (1) siguiente:

$$I > \frac{5 \times W \times L^3 \times k}{384 \times E}$$

Donde:

- L= 4.10m, luz máxima de la viga compuesta en los planos.
- W= 650 kg/m, Carga máxima sobre la viga compuesta.
- E= 75 000 kg/cm², módulo de elasticidad de la madera.
- K= 300 y 350, constante según norma técnica E-010.

Para K= 300:

$$I > \frac{5 \times 650 \times 4.10^3 \times 300}{384 \times 75\,000}$$

$$I > \mathbf{23\,332.630\,cm^4}$$

Para K=350:

$$I > \frac{5 \times 650 \times 4.50^3 \times 350}{384 \times 75\,000}$$

$$I > \mathbf{27\,221.40\,cm^4}$$

Conocido los valores de los momentos de inercia necesarios por limitaciones de flexión se escoge el mayor de ellos:

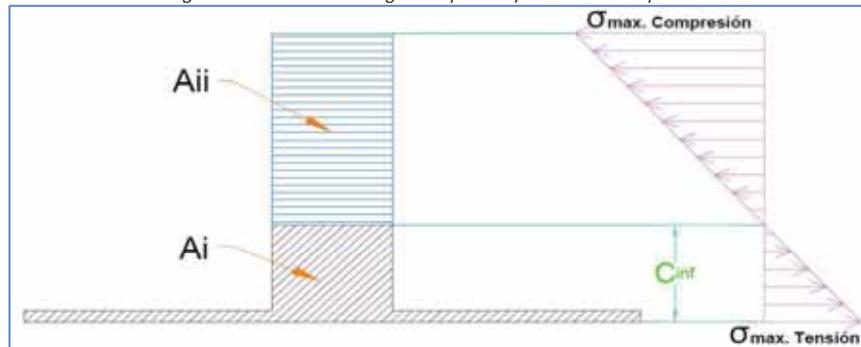
$$I \text{ necesario} > \mathbf{27\,221.40\,cm^4}$$

Ya que el momento de inercia de la sección equivalente en madera de la viga compuesta ya calculado en la tabla 64 es de **45 693.718 cm⁴**, el cual cumple con las exigencias de flexión.

e) *Diseño para momentos positivos:*

Para realizar este diseño es necesario tener en cuenta las áreas de la sección que se encuentran en compresión y las áreas en tracción, para cual se graficó dichas áreas ubicando en el eje neutro como se muestra en la imagen 107.

Imagen 107: Sección de viga compuesta por momentos positivos.



Fuente: Propio

De la teoría de secciones compuestas se tiene la siguiente expresión.

$$\sigma_x = E_1 \cdot \epsilon_x = -n \frac{M_z \cdot y}{I_{EZ}}$$

- Para el esfuerzo máximo en compresión.

$$\sigma_{Max.Copm.} = 1 \times \frac{1743.75 \times 100 \times (31 - 11)}{45\,693.718}$$

$$\sigma_{Max.Copm.} = 76.246 \text{ kg/cm}^2$$

Como el esfuerzo máximo en compresión paralela a la fibra que indica la norma es de 110 kg/cm² se cumple con la siguiente relación.

$$\sigma_{Max.Copm.} \leq \sigma_{adm.Comp.}$$

$$76.246 \text{ kg/cm}^2 \leq 110 \text{ kg/cm}^2$$

- Para el esfuerzo máximo en tensión.

$$\sigma_{Max. Tens.} = 1 \times \frac{1743.75 \times 100 \times (11)}{45\,693.718}$$

$$\sigma_{Max. Tens.} = 42.022 \text{ kg/cm}^2$$

Como el esfuerzo máximo en tensión paralela a la fibra que indica la norma es de 105 kg/cm² se cumple con la siguiente relación:

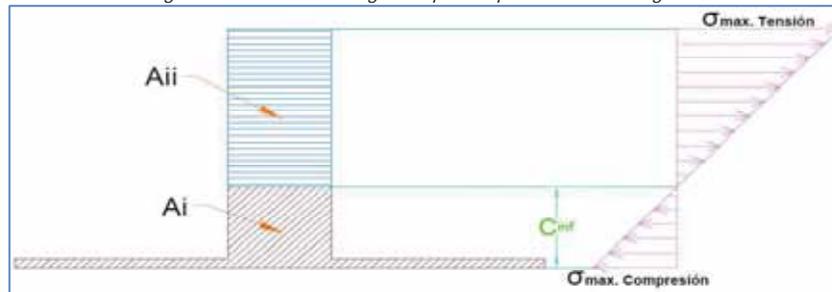
$$\sigma_{Max. Tens.} \leq \sigma_{adm. Tens.}$$

$$42.022 \text{ kg/cm}^2 \leq 105 \text{ kg/cm}^2$$

f) Diseño para momentos negativos.

Para realizar este diseño es necesario tener en cuenta las áreas de la sección que se encuentran en compresión y las áreas en tracción, para lo cual se graficó dichas áreas ubicando en el eje neutro como se muestra en la imagen 108.

Imagen 108: Sección de viga compuesta por momentos negativos.



Fuente: Propio

De la teoría de secciones compuestas se tiene la siguiente expresión:

$$\sigma_x = E_1 \cdot \epsilon_x = -n \frac{M_z \cdot y}{I_{EZ}}$$

- Para el esfuerzo máximo en compresión:

$$\sigma_{Max.Copm.} = 1 \times \frac{1\,975.25 \times 100 \times (11)}{45\,693.718}$$

$$\sigma_{Max.Copm.} = 47.614 \text{ kg/cm}^2$$

Como el esfuerzo máximo en compresión paralela a la fibra que indica la norma es de 110 kg/cm² se cumple con la siguiente relación:

$$\sigma_{Max.Copm.} \leq \sigma_{adm.Comp.}$$

$$47.614 \text{ kg/cm}^2 \leq 110 \text{ kg/cm}^2$$

- Para el esfuerzo máximo en tensión:

$$\sigma_{Max. Tens.} = 1 \times \frac{1\,975.25 \times 100 \times (31 - 11)}{45\,693.718}$$

$$\sigma_{Max. Tens.} = 86.393 \text{ kg/cm}^2$$

Como el esfuerzo máximo en tensión paralela a la fibra que indica la norma es de 105 kg/cm² se cumple con la siguiente relación:

$$\sigma_{Max. Tens.} \leq \sigma_{adm. Tens.}$$

$$86.393 \text{ kg/cm}^2 \leq 105 \text{ kg/cm}^2$$

g) Módulo de la sección “Z” necesario por resistencia.

Para realizar el cálculo de este módulo de sección “Z”, se realizó con respecto al eje alrededor del cual se produce la flexión mediante la expresión siguiente:

$$Z = \frac{I}{C_{inf}}$$

$$Z = \frac{45\,693.718\text{cm}^4}{11\text{ cm}}$$

$$Z = 4\,148.448\text{ cm}^3$$

El módulo de sección que “Z” debe ser mayor a lo establecido en la norma E-010, el cual indica lo siguiente:

$$Z \geq \frac{M_{max.}}{f_m}$$

$$Z \geq \frac{1\,975.25\text{ kg} \cdot \text{m}}{150 \times 100\text{ kg/cm}^2}$$

$$Z \geq 1\,316.833\text{ cm}^3$$

$$\mathbf{4\,148.448 \geq 1\,316.833\text{ cm}^3}$$

Como se observa el modulo “Z” de la sección equivalente en madera de la viga compuesta es mayor a lo establecido en la norma E-010 de diseño en madera.

h) Verificación del esfuerzo cortante (T_{med}).

Para realizar esta verificación se tiene la siguiente expresión de la teoría de secciones compuestas:

$$\tau_{med} = \frac{T_y \cdot \overline{m}_x^e(\Omega)}{\overline{I}_x \cdot l_{AB}}$$

Donde:

- $T_y = 3\,399.40\text{ kg}$, esfuerzo cortante que soporta la viga compuesta.
- $\overline{m}_x^e(\Omega) = (A_{equi.}) \times (C_{inf}) = (442.24\text{ cm}^2) \times (11.00\text{ cm}) = 4\,872.12\text{ cm}^3$.
- $I_x = 45\,693.72\text{ cm}^4$, momento de inercia de la sección equivalente.
- $l_{AB} = 31\text{ cm}$, peralte total de la sección equivalente.

Por consiguiente, se tiene:

$$\tau_{med} = \frac{3\,399.40\text{ kg} \times 4\,872.12\text{ cm}^3}{45\,693.72\text{ cm}^4 \times 31\text{ cm}}$$

$$\tau_{med} = 11.69\text{ kg/cm}^2$$

El valor calculado del esfuerzo cortante que actúa sobre la sección equivalente debe ser menor que el esfuerzo admisible que indica la norma E-010, como se muestra en la expresión siguiente:

$$\tau_{med} \leq \tau_{adm} ; 11.69\text{ kg/cm}^2 \leq 12.00\text{ kg/cm}^2$$

i) Verificación de la estabilidad lateral.

Para realizar esta verificación se tiene la relación de la norma E-010 la cual estable lo siguiente:

$$1 \leq \frac{h}{b} \leq 4$$

Donde:

- $h = 31$ cm, peralte de la viga compuesta.
- $b = 10$ cm, base de la viga compuesta.

$$\frac{h}{b} = \frac{31 \text{ cm}}{10 \text{ cm}} = 3.1$$

Por lo cual según lo indica la norma E-010 la viga compuesta no requiere apoyos laterales.

j) Determinación de la longitud de apoyo "a".

Para calcular el valor de "a" se tiene la relación de la norma E-010 la cual estable lo siguiente:

$$a = \frac{V_{max.}}{b \times f_{c\perp}}$$

Donde:

- $V_{max.} = 3\,399.40$ kg, cortante máxima sobre la viga compuesta.
- $b = 10$ cm, base de la viga compuesta.
- $f_{c\perp} = 28$ kg/cm², esfuerzo admisible al corte perpendicular a la fibra.

$$a = \frac{3\,399.40 \text{ kg}}{10 \text{ cm} \times 28 \text{ kg/cm}^2}$$
$$a = 12.14 \text{ cm}$$

k) Cálculo del espaciamiento "e" de los pernos de conexión:

Los conectores en la zona de apoyo soportaran cada uno una fuerza rasante "R" que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R = \tau_{med} \cdot b \cdot e$$

La teoría elemental del esfuerzo cortante indica lo siguiente:

$$\tau_{con} = \frac{R}{A_{con}} \leq \tau^*$$

De donde el espaciamiento mínimo "e" será:

$$e \leq \frac{\tau^* \cdot A_{con}}{\tau_{med} \cdot b}$$

Donde:

- $\tau^* = 0.75 \times 3 \times 336.915 \text{ kg/cm}^2$ Esfuerzo cortante que soporta cada conector según la norma E-090 tabla 10.3.2.1
- $A_{\text{con.}} = 1.267 \text{ cm}^2$ área de cada conector de 1.27cm de diámetro.
- $\tau_{\text{med}} = 11.062 \text{ kg/cm}^2$, máximo esfuerzo cortante en la unión.
- $b = 10 \text{ cm}$, base de la sección de madera.

Por lo cual “e” será:

$$e \leq \frac{2 \, 522.936 \text{ kg/cm}^2 \times 1.267 \text{ cm}^2}{11.69 \text{ kg/cm}^2 \times 10 \text{ cm}}$$
$$e \leq 27.34 \text{ cm}$$

Por lo que el espaciamiento “e” de para los conectores de media pulgada de diámetro es de 27cm.

7.2.3. DISEÑO DE PLACA COMPUESTA.

Para el diseño de este elemento se llevarán a cabo los siguientes pasos:

a) *Datos de esfuerzos máximos actuantes sobre la viga compuesta.*

Los esfuerzos máximos que soporta la viga compuesta son los provocados por el análisis sísmico estático y son los siguientes:

- Momento máximo (+) = 2 766.60 kg-m
- Momento máximo (-) = 1 738.00 kg-m
- Cortante máxima “V” = 2 069.20 kg
- Carga axial máxima “N” = 9 157.80 kg

b) *Esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad de la madera copaiba.*

Estos valores de diseño son tomados de la norma de diseño en madera E-010 de reglamento nacional de edificaciones y son los siguientes:

- $E_{\text{min.}} = 75 \, 000 \text{ kg/cm}^2$, módulo de elasticidad mínimo de la madera.
- $f_m = 150 \text{ kg/cm}^2$, esfuerzo admisible en flexión.
- $f_{t//} = 105 \text{ kg/cm}^2$, esfuerzo admisible en tracción paralela al fibra.
- $f_{c//} = 110 \text{ kg/cm}^2$, esfuerzo admisible en compresión paralela a la fibra.
- $f_{v\perp} = 12 \text{ kg/cm}^2$, esfuerzo admisible en corte perpendicular a la fibra.
- $f_{c\perp} = 28 \text{ kg/cm}^2$, esfuerzo admisible en compresión perpendicular a la fibra.

c) Propiedades de la placa compuesta como elemento columna de madera.

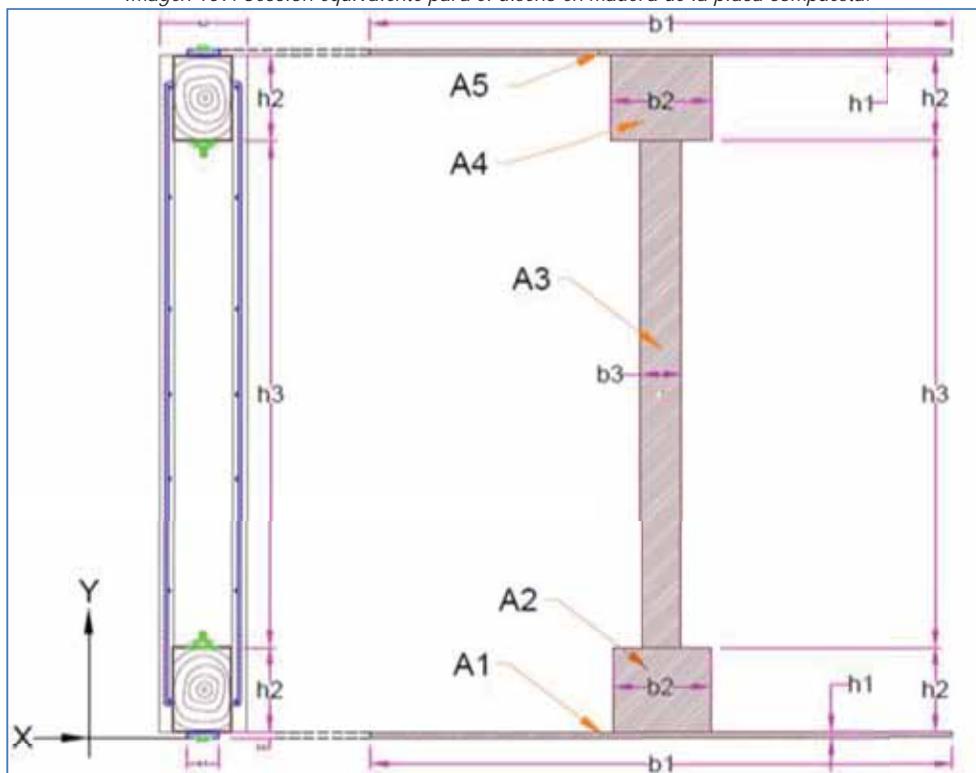
Estas constantes de diseño son tomadas de la norma de diseño en madera E-010 para el diseño de columnas según el reglamento nacional de edificaciones y son los siguientes:

- $L_{ef} = K \times L$, longitud efectiva de la placa compuesta.
- $L = 2.20$ m, longitud de la placa compuesta en los planos
- $K = 1$, columnas doblemente empotradas.
- $C_K = 18.30$, relación de esbeltez límite entre columnas intermedias y largas.

d) Estudio de la sección equivalente y su comprobación.

Para determinar la sección equivalente en madera del elemento placa compuesta se consideran los módulos de elasticidad de los materiales que lo componen, así como la sección de estos dentro del elemento, para ello se tomaran las secciones según se muestra en la imagen 109.

Imagen 109: Sección equivalente para el diseño en madera de la placa compuesta.



Fuente: Propio

Donde:

- $b_1 =$ Base de la sección de la platina de acero.
- $b_2 =$ Base de la sección de madera.
- $b_3 =$ Base de la sección de ferrocemento.

- h_1 = Altura o espesor de la platina de acero.
- h_2 = Altura de la sección se la madera.
- h_3 = Altura o espesor del ferrocemento.
- b_{1e} = Base superior de la sección equivalente en madera.
- b_{2e} = Base inferior de la sección equivalente en madera.
- A_2 = Área de la madera transformada en sección equivalente.
- A_2 = Área de la platina de acero transformada en sección equivalente.

La transformación de la viga compuesta en su sección equivalente se realiza determinando en coeficiente “ n_i ” que resulta de la división se los módulos de elasticidad de los materiales que lo componen entre el menor de ellos, para hallar las bases equivalentes manteniendo constantes las alturas, como se observa en la tabla 65.

Tabla 65: Base de sección equivalente en madera de la placa compuesta

Materiales	E (kg/cm ²)	n_i	Base Original (m)	Base Equi. (m)
Madera	75 000	1.0	0.10	0.100
Acero	2 100 000	28.0	0.04	1.067
Ferrocemento	100 000	1.33	0.03	0.067

Fuente: Propio

Conocido las dimensiones de la sección equivalente en madera de la placa compuesta se procede al cálculo de momento de inercia de esta con respecto al eje “X” como se muestra en la tabla 66 y con respecto al eje “Y” como se muestra en la tabla 67.

a) Con respecto al eje “X”

Tabla 66: Calculo del “I” de sección equivalente en madera de la placa compuesta para el eje “X”

Áreas	h(m)	b(m)	Y_i	A_i (m ²)	I_{gi} (m ⁴)	$d_i=(C_{inf}-Y_i)$	I_{ni} (m ⁴)
A1	0.010	1.067	0.005	0.011	8.890×10^{-8}	0.605	0.0039
A2	0.150	0.170	0.085	0.026	4.781×10^{-5}	0.525	0.0071
A3	0.900	0.070	0.610	0.063	4.253×10^{-3}	0.000	0.0043
A4	0.150	0.170	1.135	0.026	4.781×10^{-5}	-0.525	0.0071
A5	0.010	1.067	1.215	0.011	8.890×10^{-8}	-0.605	0.0039
Total	1.220		$\sum A_i =$	0.135			$\sum I_{ni} =$ 0.0262

Fuente: Propio

b) Con respecto al eje “Y”

Tabla 67: Cálculo del “I” de sección equivalente en madera de la placa compuesta para el eje “Y”

Áreas	h(m)	b(m)	Xi	Ai(m ²)	Igi (m ⁴)	di=(Cinf-Xi)	Ini (m ⁴)
A1	1.067	0.010	0.533	0.011	1.012x10 ⁻³	0.000	0.0010
A2	0.170	0.150	0.533	0.026	7.317x10 ⁻³	0.000	0.0073
A3	0.070	0.900	0.533	0.063	1.795x10 ⁻²	0.000	0.0180
A4	0.170	0.150	0.533	0.026	7.317x10 ⁻³	0.000	0.0073
A5	1.067	0.010	0.533	0.011	1.012x10 ⁻³	0.000	0.0010
Total=	1.067		∑Ai=	0.135		∑Ini=	0.0346

Fuente: Propio

e) Tipo de columna al que pertenece la placa compuesta.

Estos valores de diseño son tomados de la norma de diseño en madera E-010 el cual indica que, se considerará como la medida de esbeltez “λ” la razón entre la longitud efectiva y la menor dirección “d”, de la sección transversal.

$$\lambda = \frac{L_{ef}}{d}$$

Donde:

- $L_{ef} = 2.20$ m.
- $d = 15$ cm.

$$\lambda = \frac{220 \text{ cm}}{15 \text{ cm}} = 14.667$$

La norma indica que, las columnas intermedias son aquellas con relación de esbeltez mayor a 10 y menor que $C_k=18.40$, por lo que la placa compuesta es una columna intermedia.

f) Cálculo del esfuerzo admisible “ N_{adm} ”.

Para las columnas intermedias según lo indica la norma E-010 se calcula mediante la siguiente relación:

$$N_{adm} = f_{c//} \times A_{hom.} \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda}{C_k} \right)^4 \right)$$

Donde:

- $f_{c//} = 110$ kg/cm².
- $A_{hom.} = 1\ 353.40$ cm², área homogenizada de la sección equivalente.
- $\lambda = 14.667$
- $C_k = 18.34$, de la norma E-010.

$$N_{adm} = 110 \frac{kg}{cm^2} \times 1\,353.40 \text{ cm}^2 \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{14.667}{18.34} \right)^4 \right)$$

$$N_{adm} = 128\,573.5 \text{ kg}$$

g) Diseño por esfuerzos admisibles por flexo compresión.

La norma indica que los elementos sometidos a esfuerzos de flexión y compresión combinados deben diseñarse para satisfacer la siguiente expresión:

$$G = \frac{N}{N_{adm}} + \frac{K_m |M|}{Z * f_m}, \text{ con } G < 1$$

Y cuando existen flexión y compresión combinadas sobre el elemento los momentos flectores se amplifican por acción de las cargas axiales. Este efecto de incluirse multiplicando el momento por "K_m".

$$K_m = \frac{1}{1 - 1.5 \frac{N}{N_{cr}}}$$

Donde:

- N = 9 157.80 kg, carga axial máxima aplicada.
- N_{cr} = Carga crítica de Euler para pandeo en la sección en que se aplican los momentos de flexión, se calcula con la siguiente relación:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e f^2}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times 75\,000 \text{ kg/cm}^2 \times 2\,621\,468 \text{ cm}^4}{(2.40 \text{ m})^2}$$

$$N_{cr} = 4.01 \times 10^7 \text{ kg}$$

Calculo del coeficiente "K_m":

$$K_m = \frac{1}{1 - 1.5 \frac{9\,157.80 \text{ kg}}{4.01 \times 10^7 \text{ kg}}}$$

$$K_m = 1.0003$$

Calculo de "G":

$$G = \frac{9\,157.80 \text{ kg}}{128\,573.59 \text{ kg}} + \frac{1.0003 \times |2\,766.60 \times 100 \text{ kg/cm}^2|}{42\,974.897 \text{ cm}^3 \times 150 \text{ kg/cm}^2}$$

$$G = 0.114$$

$$0.114 < 1$$

Con el valor de "G" menor a la unidad se cumple lo exigido por la norma E-010.

h) Diseño por esfuerzos admisibles por flexo tracción.

La norma indica que los elementos sometidos a esfuerzos de flexión y compresión combinados deben diseñarse para satisfacer la siguiente expresión:

$$H = \frac{N}{A_{hom} \cdot x \cdot f_t} + \frac{K_m |M|}{Z \cdot f_m}, \text{ con } H < 1$$

$$H = \frac{9\,157.80 \text{ kg}}{1\,353.4 \text{ cm}^2 \times 105 \text{ kg/cm}^2} + \frac{1.0003 \times |2\,766.60 \times 100 \text{ kg/cm}^2|}{42\,974.897 \text{ cm}^3 \times 150 \text{ kg/cm}^2}$$

$$H = 0.107$$

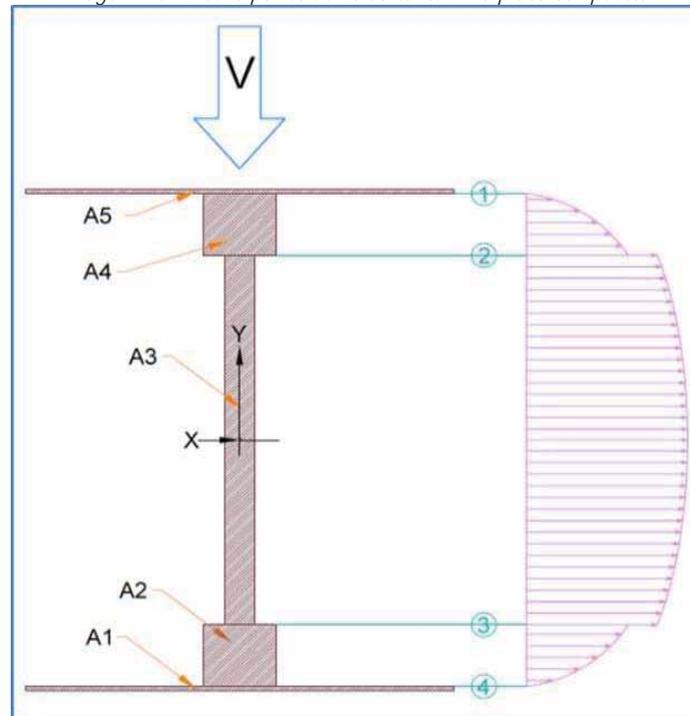
$$0.107 < 1$$

Con el valor de “H” menor a la unidad se cumple lo exigido por la norma E-010

i) Diseño por esfuerzos cortante.

Para este diseño consideraremos que solo el alma de la sección equivalente en madera de la placa compuesta absorbe este corte es decir las áreas A2, A3 Y A4, como se muestra en la imagen 110.

Imagen 110: Diseño por esfuerzo cortante en la placa compuesta.



Fuente: Propio

Para calcular los esfuerzos cortantes producidos por la carga cortante “V” en la sección equivalente en madera de la placa compuesta, usaremos la siguiente expresión:

$$\tau_{med} = \frac{V_y \cdot \overline{m}_x^e(\Omega)}{\overline{I}_x \cdot l_{AB}}$$

El cálculo de los esfuerzos cortantes para los puntos 1, 2, 3 y 4 se presentan en la tabla 68.

Tabla 68: Esfuerzos cortantes en la placa compuesta

Seccion c- c	V. max (kg)	m_x^e (cm ³)	I (cm ⁴)	b _e (cm)	T_{med} (kg/cm ²)	n _i	T_r (kg/cm ²)
1	3 475	0	2,621,468.72	17	0	2.33	0
2s	3 475	13387.50	2621468.7200	17	0.6216	2.33	1.450
2i	3 475	13387.50	2621468.7200	7	1.5096	1.33	2.013
Eje neutro	3 475	20475.00	2621468.7200	7	2.3088	1.33	3.078
3s	3 475	13387.50	2621468.7200	7	1.5096	1.33	2.013
3i	3 475	13387.50	2621468.7200	17	0.6216	2.33	1.450
4	3 475	0	2621468.7200	17	0	2.33	0

Fuente: Propio

En la tabla 68 se calculó que el esfuerzo cortante máximo que provoca la carga cortante “V” sobre la placa compuesta el cual tiene un valor de 2.3088 kg/cm², este valor es menor que el esfuerzo admisible por cortante perpendicular a la fibra “ $f_v^\perp = 12 \text{ kg/cm}^2$ ”, cumpliendo con la norma E-010.

7.2.4. DISEÑO DE LOSA COMPUESTA.

Para el diseño de la losa compuesta se llevaron a cabo los siguientes pasos:

a) Datos de esfuerzos máximos actuantes sobre la viga compuesta.

Los esfuerzos máximos que soporta la losa compuesta son los provocados por el análisis sísmico estático y son los siguientes:

- Momento máximo (+) = 134.00 kg-m
- Momento máximo (-) = 318.00 kg-m
- Cortante máxima = 801.00 kg

b) Esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad de la madera copaiba.

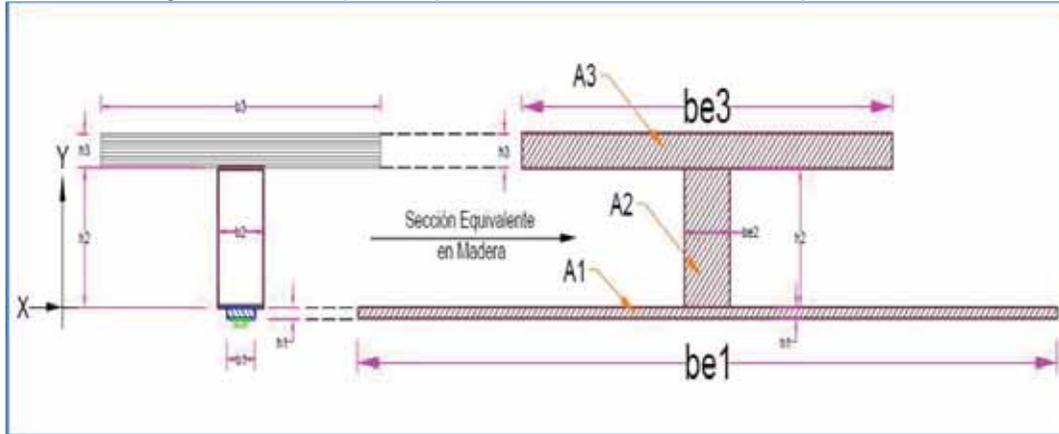
Estos valores de diseño son tomados de la norma de diseño en madera E-010 de reglamento nacional de edificaciones y son los siguientes:

- $E_{min.} = 75\,000 \text{ kg/cm}^2$, módulo de elasticidad mínimo de la madera.
- $f_m = 150 \text{ kg/cm}^2$, esfuerzo admisible en flexión.
- $f_{t//} = 105 \text{ kg/cm}^2$, esfuerzo admisible en tracción paralela al fibra.
- $f_{c//} = 110 \text{ kg/cm}^2$, esfuerzo admisible en compresión paralela a la fibra.
- $f_v^\perp = 12 \text{ kg/cm}^2$, esfuerzo admisible en corte perpendicular a la fibra.
- $f_{c^\perp} = 28 \text{ kg/cm}^2$, esfuerzo admisible en compresión perpendicular a la fibra.

c) *Estudio de la sección equivalente y su comprobación.*

Para determinar la sección equivalente en madera del elemento losa compuesta se consideraron los módulos de elasticidad de los materiales que lo componen, así como la sección de estos dentro del elemento, para ello se tomaran las secciones según la imagen 111.

Imagen 111: Sección equivalente para el diseño en madera de la losa compuesta.



Fuente: Propio

Donde:

- b_1 = Base de la sección de la platina de acero.
- b_2 = Base de la sección de madera.
- b_3 = Base de la sección de ferrocemento.
- h_1 = Altura o espesor de la platina de acero.
- h_2 = Altura de la sección de la madera.
- h_3 = Altura o espesor del ferrocemento.
- b_{1e} = Base superior de la sección equivalente en madera.
- b_{2e} = Base inferior de la sección equivalente en madera.
- A_2 = Área de la madera transformada en sección equivalente.
- A_1 = Área de la platina de acero transformada en sección equivalente.

La transformación de la losa compuesta en su sección equivalente se realiza determinando el coeficiente “ n_i ” que resulta de la división de los módulos de elasticidad de los materiales que lo componen entre el menor de ellos, para hallar las bases equivalentes manteniendo constantes las alturas, como se observa en la tabla 69.

Tabla 69: Base de la sección equivalente en madera de la losa compuesta

Materiales	E (kg/cm ²)	ni	bi. Orig. (m)	bei. Equi. (m)
Madera	75 000.000	1.000	0.065	0.065
Acero	2 100 000.000	28.000	0.038	1.067
Ferrocemento	100 000.000	1.333	0.400	0.533

Fuente: Propio

Conocido las dimensiones de la sección equivalente en madera de la losa compuesta se procede al cálculo de momento de inercia de esta, como se muestra en la tabla 70.

Tabla 70: Cálculo del "I" de la sección equivalente de la losa compuesta.

Cinf= 0.085 m							
Áreas	h(m)	b(m)	Yi	Ai(m ²)	Igi (m ⁴)	di=(Cinf-Yi)	Ini (m ⁴)
A1	0.010	1.067	0.005	0.011	8.890x10 ⁻⁸	0.080	6.785x10 ⁻⁵
A2	0.120	0.065	0.070	0.008	9.360x10 ⁻⁶	0.015	1.104x10 ⁻⁵
A3	0.030	0.533	0.145	0.016	1.200x10 ⁻⁶	-0.060	5.938x10 ⁻⁵
Total=	0.160		∑Ai=	0.034		∑Ini=	0.000138

Fuente: Propio

d) Momento de Inercia Necesario por Limitación de Flexiones.

Para comprobar que la sección de la losa compuesta escogida cumple con los requerimientos por flexión se procede a su cálculo mediante la expresión siguiente:

$$I > \frac{5 \times W \times L^3 \times k}{384 \times E}$$

Donde:

- L= 4.00 m, luz máxima de la viga compuesta en los planos.
- W= 134.00 kg/m, Carga máxima sobre la viga compuesta.
- E= 75 000 kg/cm², módulo de elasticidad de la madera.
- K= 300 y 350, constante según norma técnica E-010.

Para K= 300:

$$I > \frac{5 \times 134 \times 4.00^3 \times 300}{384 \times 75\,000}$$

$$I > \mathbf{2\,233.333\,cm^4}$$

Para K=350:

$$I > \frac{5 \times 134 \times 4.50^3 \times 350}{384 \times 75\,000}$$

$$I > \mathbf{2\,605.56\,cm^4}$$

Conocido los valores de los momentos de inercia necesarios por limitaciones de flexión se escoge el mayor de ellos:

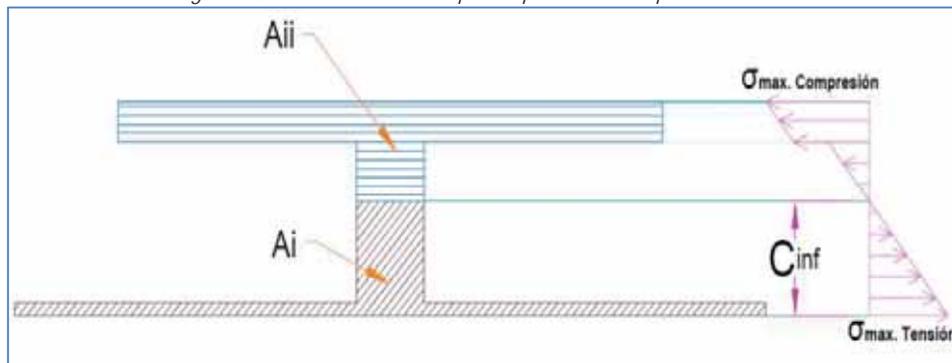
$$I_{\text{necesario}} > 2\,605.56 \text{ cm}^4$$

Ya que el momento de inercia de la sección equivalente en madera de la losa compuesta ya calculado en la tabla 69 es de **13 827.594 cm⁴**, el cumple con las exigencias de flexión.

e) Diseño para momentos positivos:

Para realizar este diseño es necesario tener en cuenta las áreas de la sección que se encuentran en compresión y las áreas en tracción, para lo cual se graficó dichas áreas ubicando en el eje neutro como se muestra en la imagen 112.

Imagen 112: Sección de losa compuesta por momentos positivos.



Fuente: Propio

De la teoría de secciones compuestas se tiene la siguiente expresión:

$$\sigma_x = E_1 \cdot \epsilon_x = -n \frac{M_z \cdot y}{I_{EZ}}$$

- Para el esfuerzo máximo en compresión:

$$\sigma_{Max.Copm.} = 1 \times \frac{134 \times 100 \times (16 - 8.5)}{13\,827.597}$$

$$\sigma_{Max.Copm.} = 7.297 \text{ kg/cm}^2$$

Como el esfuerzo máximo en compresión paralela a la fibra que indica la norma es de 110 kg/cm² se cumple con la siguiente relación:

$$\sigma_{Max.Copm.} \leq \sigma_{adm.Comp.}$$

$$7.297 \text{ kg/cm}^2 \leq 110 \text{ kg/cm}^2$$

- Para el esfuerzo máximo en tensión:

$$\sigma_{Max. Tens.} = 1 \times \frac{134 \times 100 \times (8.5)}{13\,827.597}$$

$$\sigma_{Max. Tens.} = 8.208 \text{ kg/cm}^2$$

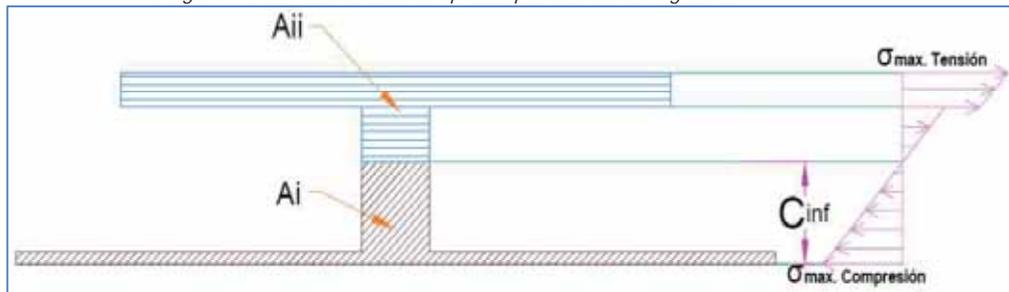
Como el esfuerzo máximo en tensión paralela a la fibra que indica la norma es de 105 kg/cm² se cumple con la siguiente relación:

$$\begin{aligned}\sigma_{Max. Tens.} &\leq \sigma_{adm. Tens.} \\ 8.208 \text{ kg/cm}^2 &\leq 105 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

f) Diseño para momentos negativos.

Para realizar este diseño es necesario tener en cuenta las áreas de la sección que se encuentran en compresión y las áreas en tracción, para lo cual se graficaron dichas áreas ubicando en el eje neutro como se muestra en la imagen 113.

Imagen 113: Sección de losa compuesta por momentos negativos.



Fuente: Propio

De la teoría de secciones compuestas se tiene la siguiente expresión:

$$\sigma_x = E_1 \cdot \epsilon_x = -n \frac{M_z \cdot y}{I_{EZ}}$$

- Para el esfuerzo máximo en compresión:

$$\begin{aligned}\sigma_{Max.Copm.} &= 1 \times \frac{318.00 \times 100 \times (8.5)}{13\,827.594} \\ \sigma_{Max.Copm.} &= 19.478 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Siendo el esfuerzo máximo en compresión paralela a la fibra que indica la norma E-010, de 110 kg/cm² se cumple con la siguiente relación:

$$\begin{aligned}\sigma_{Max.Copm.} &\leq \sigma_{adm.Comp.} \\ 17.318 \text{ kg/cm}^2 &\leq 110 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

- Para el esfuerzo máximo en tensión:

$$\begin{aligned}\sigma_{Max. Tens.} &= 1 \times \frac{318.00 \times 100 \times (16 - 8.5)}{13\,827.594} \\ \sigma_{Max. Tens.} &= 17.318 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Como el esfuerzo máximo en tensión paralela a la fibra que indica la norma E-010, de 105 kg/cm² se cumple con la siguiente relación:

$$\begin{aligned}\sigma_{Max. Tens.} &\leq \sigma_{adm. Tens.} \\ 17.318 \text{ kg/cm}^2 &\leq 105 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

g) Módulo de la sección “Z” necesario por resistencia.

Para realizar el cálculo de este módulo de sección se realizará con respecto al eje alrededor del cual se produce la flexión mediante la expresión siguiente:

$$Z = \frac{I}{C_{inf}}$$
$$Z = \frac{13\,827.594\text{ cm}^4}{8.5\text{ cm}}$$
$$Z = 1\,632.593\text{ cm}^3$$

El módulo de sección “Z” debe ser mayor a lo establecido en la norma E-010, el cual indica lo siguiente:

$$Z \geq \frac{M_{max.}}{f_m}$$
$$Z \geq \frac{318.00\text{ kg} - m}{150 \times 100\text{ kg/cm}^2}$$
$$Z \geq 212.00\text{ cm}^3$$

$$\mathbf{1\,632.593 \geq 212.00\text{ cm}^3}$$

Como se observa el modulo “Z” de la sección equivalente en madera de la losa compuesta es mayor a lo establecido en la norma E-010 de diseño en madera.

h) Verificación del esfuerzo cortante (T_{med}):

Para realizar esta verificación se tiene la siguiente expresión de la teoría de secciones compuestas:

$$\tau_{med} = \frac{T_y \cdot \overline{m}_x^e(\Omega)}{\overline{I}_x \cdot l_{AB}}$$

Donde:

- $T_y = 801.00\text{ kg}$, esfuerzo cortante que soporta la losa compuesta.
- $\overline{m}_x^e(\Omega) = (A_{equi.}) \times (C_{inf}) = (344.68\text{ cm}^2) \times (8.50\text{ cm}) = 2\,919.34\text{ cm}^3$.
- $I_x = 13\,827.594\text{ cm}^4$, momento de inercia de la sección equivalente.
- $l_{AB} = 16\text{ cm}$, peralte total de la sección equivalente.

Por consiguiente, se tiene:

$$\tau_{med} = \frac{801.00\text{ kg} \times 2\,919.34\text{ cm}^3}{13\,827.594\text{ cm}^4 \times 16\text{ cm}}$$
$$\tau_{med} = 10.57\text{ kg/cm}^2$$

El valor calculado del esfuerzo cortante que actúa sobre la sección equivalente debe ser menor que el esfuerzo admisible que indica la norma E-010, como se muestra en la expresión siguiente:

$$\tau_{med} \leq \tau_{adm}; 10.57 \text{ kg/cm}^2 \leq 12.00 \text{ kg/cm}^2$$

j) Verificación de la estabilidad lateral:

Para realizar esta verificación se tiene la relación de la norma E-010 la cual establece lo siguiente:

$$1 \leq \frac{h}{b} \leq 4$$

Donde:

- $h = 16 \text{ cm}$, peralte de la viga compuesta.
- $b = 6.5 \text{ cm}$, base de la viga compuesta.

$$\frac{h}{b} = \frac{16 \text{ cm}}{6.5 \text{ cm}} = 2.46$$

Por lo cual según lo indica la norma E-010 la losa compuesta no requiere apoyos laterales.

j) Determinación de la longitud de apoyo "a".

Para calcular el valor de "a" se tiene la relación de la norma E-010, la cual establece lo siguiente:

$$a = \frac{V_{max.}}{b \times f_{c\perp}}$$

Donde:

- $V_{max.} = 801.00 \text{ kg}$, cortante máxima sobre la viga compuesta.
- $b = 6.5 \text{ cm}$, base de la viga compuesta.
- $f_{c\perp} = 28 \text{ kg/cm}^2$, esfuerzo admisible al corte perpendicular a la fibra.

$$a = \frac{801.00 \text{ kg}}{6.5 \text{ cm} \times 28 \text{ kg/cm}^2}$$

$$a = 4.40 \text{ cm}$$

k) Cálculo del espaciamiento "e" de los pernos de conexión.

Los conectores en la zona de apoyo soportarán cada uno una fuerza rasante "R" que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$R = \tau_{med} \cdot b \cdot e$$

La teoría elemental del esfuerzo cortante indica lo siguiente:

$$\tau_{con} = \frac{R}{A_{con}} \leq \tau^*$$

De donde el espaciamiento mínimo "e" será:

$$e \leq \frac{\tau^* \cdot A_{con}}{\tau_{med} \cdot b}$$

Donde:

- $\tau^* = 0.75 \times 1\,681.984 \text{ kg/cm}^2$ Esfuerzo cortante que soporta cada conector según la norma E-090 tabla 10.3.2.1
- $A_{con.} = 0.713 \text{ cm}^2$ área de cada conector de 0.9525 cm de diámetro.
- $\tau_{med} = 9.193 \text{ kg/cm}^2$, máximo esfuerzo cortante en la unión.
- $b = 6.5 \text{ cm}$, base de la sección de madera.

Por lo cual “e” será:

$$e \leq \frac{1\,261.468 \text{ kg/cm}^2 \times 0.713 \text{ cm}^2}{9.193 \text{ kg/cm}^2 \times 6.5 \text{ cm}}$$

$$e \leq 15.04 \text{ cm}$$

Por lo que el espaciamiento “e” para los conectores de tres octavos de pulgada de diámetro es de 15 cm.

CAPÍTULO 8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

1. Los elementos que componen el sistema sismorresistente propuesto como son; placa compuesta, viga de madera reforzada con acero y losa compuesta sometidos a pruebas de laboratorio presentan resultados favorables dentro de los parámetros establecidos; estos resultados si bien permiten seguir adelante con la investigación, no son el total de los que se pueden obtener para conseguir el conocimiento de todas las propiedades de los elementos compuestos, pero si son los más importantes e indispensables para conseguir un diseño sismorresistente según lo indica la norma E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones.
2. Los conceptos del estudio de las secciones compuestas por varios materiales, ha permitido realizar un análisis estructural sobre los elementos compuestos del sistema estructural en estudio, los cuales fueron estudiados cuando están sometidos a esfuerzos provocados por un análisis sismorresistente, esta teoría recomienda analizar la sección compuesta transformándola en una equivalente conformada únicamente por el material que posea el menor valor de módulo de elasticidad, sin embargo es necesario realizar análisis que complementen la teoría de secciones compuestas tal como la forma de unión entre los elementos componentes del sistema y los esfuerzos que se producen en ellos, sin embargo un aspecto favorable que permite sopesar este análisis son los resultados obtenidos por las pruebas de laboratorio en los cuales no se observó una falla en las uniones entre los elementos lo cual permitió seguir con la investigación.
3. Los resultados de los esfuerzos obtenidos por las pruebas de laboratorio sobre los elementos componentes del sistema, si bien superan a los provocados por el análisis sísmico que exige la norma E-030 de diseño sismo resistente, no son el total de esfuerzos que experimenta un elemento componente del sistema global propuesto, para ello se debería realizar un análisis experimental sobre el global del sistema estructural, sin embargo los resultados favorables obtenidos por las pruebas realizadas de manera independiente a los elementos componentes del sistema pueden anticipar que también de madera global serán favorables.
4. El software Sap 2000 ha permitido la obtención de las derivas de piso que provoca un análisis sismorresistente, los mismos que sirven para demostrar que la edificación cumple con lo establecido por norma, por otra parte no permite conocer valores máximos y mínimos de fuerza axial, fuerza cortante y momento flector provocados por un análisis sísmico, establecido por la norma E-030 de diseño sismo resistente, que actúan sobre los elementos componentes del sistema estructural propuesto, sin embargo el análisis realizado solo se limitó a la obtención de estos esfuerzos para el posterior diseño de elementos.

5. Las dimensiones propuestas para los elementos de sección compuesta que conforman el sistema estructural propuesto, si bien satisfacen las exigencias del diseño sísmo resistente realizado, solo se enfocó en cumplir con este y no con buscar una sección óptima en la cual se varíen las dimensiones de los elementos como el acero, la madera o el ferrocemento y obtener la menor combinación de secciones que cumplan con las exigencias de los esfuerzos que actúan sobre cada elemento compuesto, por otro lado al considerar una mayor sección de elementos que cumplan de manera holgada, pero sin ser exagerada, se otorgó un factor de seguridad para el diseño.

CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

9.1. CONCLUSIONES.

1. Los elementos de sección compuesta por madera, platina de acero y ferrocemento de geometría propuesta en esta investigación, son capaces de satisfacer las exigencias de límites de distorsión de entrepiso de un análisis sísmico según la norma técnica E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones, obteniendo valores de 0.064% y 0.150% para el primer y segundo nivel respectivamente, para las distorsiones en la dirección “X” y valores de 0.064% y 0.107% para el primer y segundo nivel, para las distorsiones en la dirección “Y”, esto para el análisis sísmico estático que es el que genera las mayores distorsiones, los valores obtenidos son todos menores a 1.00% que es el límite que establece la norma para las distorsiones de entrepiso.
2. El uso de los conceptos que proporciona el estudio de las secciones compuestas proporciono un mejor entendimiento del comportamiento estructural de los elementos compuestos, obteniendo valores para el área de sección equivalente de 0.134 m² para la placa compuesta, 0.044 m² para la viga reforzada con platina de acero y de 0.034 m² para la losa compuesta, los momentos de inercia son respectivamente de 0.0303 m⁴, 0.000457 m⁴ y 0.000138 m⁴.
3. Se sometió a pruebas de laboratorio los especímenes obteniéndose valores de resistencia al corte diagonal para la placa compuesta de 24.75, 23.57 y 23.61 kg/cm², para la viga de madera reforzada con platina de acero se obtuvo valores de carga máxima de 12 480.00, 12 559.00 y 12 648.00 kg, por otra parte, los elementos de la losa compuesta obtuvieron valores para la carga máxima de 4 738.00, 4 818.00 y 4 704.00kg.
4. Con el uso de software de análisis estructural Sap 2000 fue posible la obtención de los valores máximos de los esfuerzos de fuerza cortante, carga axial y momento flector a los cuales están sometidos los componentes del sistema estructural, para la carga axial se obtuvo un valor máximo de 9.16578 toneladas que actúa sobre la placa compuesta, la fuerza cortante máxima es de 2.0692, 1.2636 y 0.80 toneladas para la placa compuesta, viga reforzada con platina de acero y losa compuesta respectivamente, los valores máximos del momento flector son de 4.166, 1.225 y 0.318 toneladas por metro.
5. Los elementos de sección compuesta que satisfacen los requerimientos de un diseño sismorresistente son para la placa compuesta de un espesor de 15 cm, ancho de 120 cm, altura de 240cm, las vigas serán de una sección de 10 cm de base y un peralte de 30cm, la vigueta de la losa compuesta será de madera de 6.5cm de espesor y peralte de 12cm.

9.2. RECOMENDACIONES.

- 1.** Se debe tener un control sobre todos los materiales usados en la elaboración de todas las secciones compuestas, estos materiales deben de cumplir con las especificaciones técnicas indicadas en las distintas normas técnicas que las rigen, esto para poder garantizar el correcto comportamiento estructural de los mismos.
- 2.** Para el cálculo del módulo de elasticidad del ferrocemento se deben de realizar pruebas de laboratorio sobre este material para determinar de una manera más certera este módulo.
- 3.** La elaboración de cada una de las secciones compuestas que componen el sistema estructural propuesto deben ser realizados posterior a un diseño en el cual se hayan considerado todos los esfuerzos a los cuales vayan a estar sometidos dentro del sistema.
- 4.** Se debe tener siempre en cuenta la humedad de la madera a utilizar en la elaboración de los distintos elementos, es recomendable la utilización de una madera secada al ambiente natural ya que este será el ambiente en el cual trabaje dicho elemento.
- 5.** Para la unión de los elementos, ferrocemento y madera, se debe utilizar un aditivo epóxico que ayude a la unión de la madera con el ferrocemento de tal forma se garantice el trabajo de dichos elementos como uno solo.

CAPÍTULO 10. REFERENCIAS

- Aguilar Pozzer, J., & Guzowski, E. (2011). Madera. En J. Aguilar Pozzer, & E. Guzowski, *Materiales y materias primas*. Buenos Aires.
- Acuerdo de Cartagena, P. (1983). *Secado y preservación de 105 maderas del grupo andino*. Lima: Junta del Acuerdo de Cartagena.
- Acuerdo de Cartagena, P. A. (1998). *Manual de diseño para maderas del Grupo Andino*. Lima: Junta del Acuerdo de Cartagena, Lima, PE.
- Alayo Bernal, L. (2007). *Cronología Histórica de los Terremotos más Destructivos en el Perú 1533- 2007*. Lima: Centro de Capacitación y Prevención para el Manejo de Emergencias y Medio Ambiente S.O.S Vidas Perú.
- Alejandro García Zamora, M. M. (2008). Comportamiento de vigas de sección compuesta con perfiles de acero laminado y losa de concreto empleando conectores de cortante tipo tornillo grado dos. *INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN*, 11.
- Arauco. (2010). *Ingeniería y Construcción en Madera*. Santiago: Grupo forestal Arauco.
- Ayala Omaña, R. I., Delgadillo Santander, A., & Ferrer Oropeza, C. (2017). Amenaza sísmica en Latinoamérica. *Revista Geográfica Venezolana*.
- Bedoya Ruiz, D. A. (2002). *Tesis: Estudio de resistencia y vulnerabilidad sísmicas de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- C., H. R. (2004). *Mecánica de Materiales*. México, D.F.: CECSA.
- C., I. G. (2011). *Mecánica de Materiales 1*. Santa Cruz: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "GABRIEL RENÉ MORENO".
- Canet, J. M. (2012). *Resistencia de Materiales y Estructuras*. Barcelona: Centro Internacional de Metodos Numericos en Ingeniería (CIMNE).
- Cano, J. C. (2010). Puentes de madera. *Revista Xilema*, 1-6.
- Castro, G. (2009). *Aceros*. Buenos Aires: FIUBA.
- Cervera Ruiz, M., & Blanco Díaz, E. (2001). *Mecánica de estructuras, Libro 1-Resistencia de materiales*. Barcelona: CPET (Centre de Publicacions del Campus Nord).
- Cervera Ruiz, M., & Blanco Díaz, E. (2003). *Mecánica de estructuras*. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya.
- Gallego, M., Yamin, L., & Trisancho, J. (2002). SISTEMA PROBABILÍSTICO DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE AMENAZA SÍSMICA DE COLOMBIA. *Revista de Ingeniería, Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería, Colombia*.

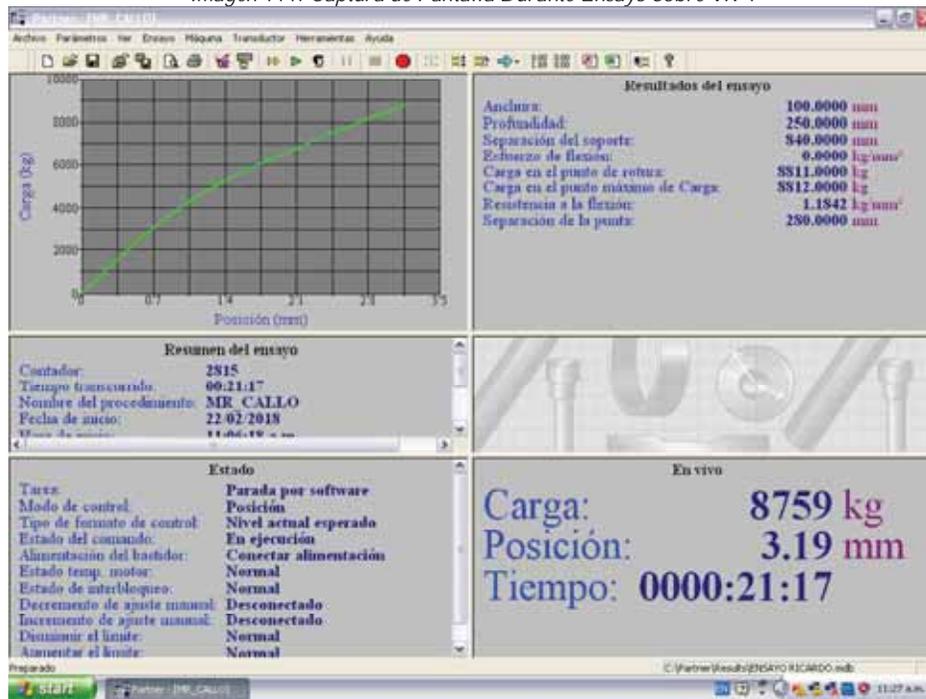
- Hernández Sampieri, D., Fernández Collado, D., & Baptista Lucio, D. (2010). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- ITEA. (2005). *Construcción en acero, Factores económicos y comerciales*. Barcelona: Instituto Técnico de la Estructura en Acero.
- Jacobo, & G. J. (2006). Edificación con madera: prehistoria de una tecnología ecológica. *Univercidad Nacional del Nordeste*, 1-4.
- Johnston, B. y. (1995). *Mecánica de materiales*. México: Mc Graw Hill.
- Kuroiwa Horiuchi del Río, C. (2010). *EL FERROCEMENTO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS*. Lima: SENCICO.
- MADERA, C. C. (2006). *La Construcción de Viviendas en Madera*. SANTIAGO DE CHILE: SANTIAGO .
- McCormac, J. (2010). *Diseño de estructuras de acero*. Mexico: Alfaomega.
- Mott, R. L. (2009). *RESISTENCIA DE MATERIALES*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Nassiff, H. H. (1998). *Calibration of the new ferrocement model, In ferrocement 6: Lambot symposium, proceedings of sixth international on ferrocement, A. E. Naaman*. Michigan: Universidad de Michigan.
- Paul, B., & Pama, R. (2014). *FERROCEMENTO*. México: Limusa-Editorial.
- Salud, O. P. (2003). *Especificaciones Técnicas para el Diseño de Estructuras de Ferrocemento*. Lima: Lima.
- Vignote Peña, S., & Martínez Rojas, I. (2006). *Tecnología de la madera*. México: Mundi-Prensa Libros.
- Wainshtok Rivas, H. (1998). *Ferrocemento diseño y construcción*. La Habana.

ANEXOS

Anexo 1: Gráficos Ensayos de Laboratorio

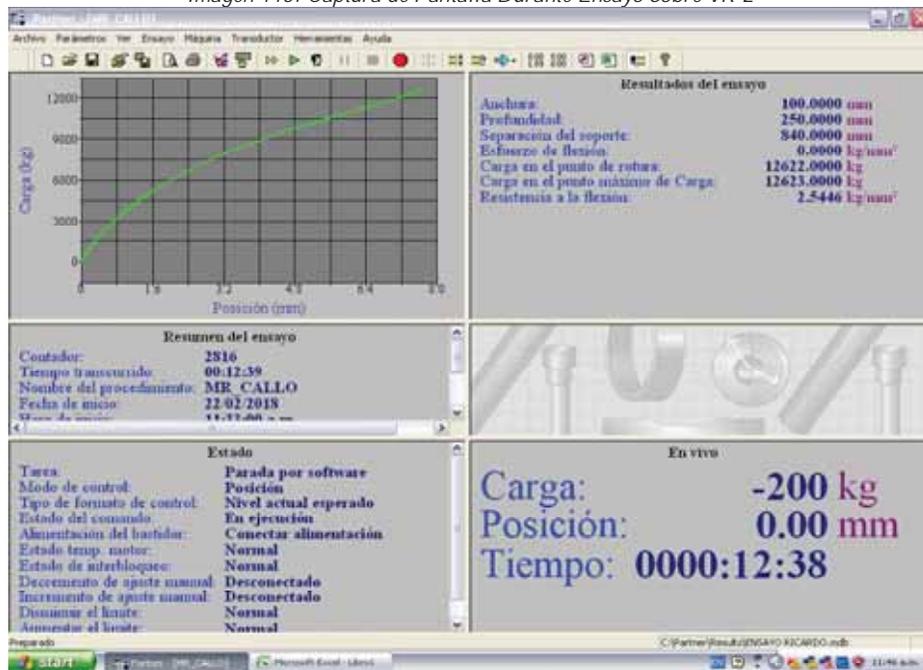
Ensayos Sobre Viga de Madera Reforzada con Acero

Imagen 114: Captura de Pantalla Durante Ensayo Sobre VR-1



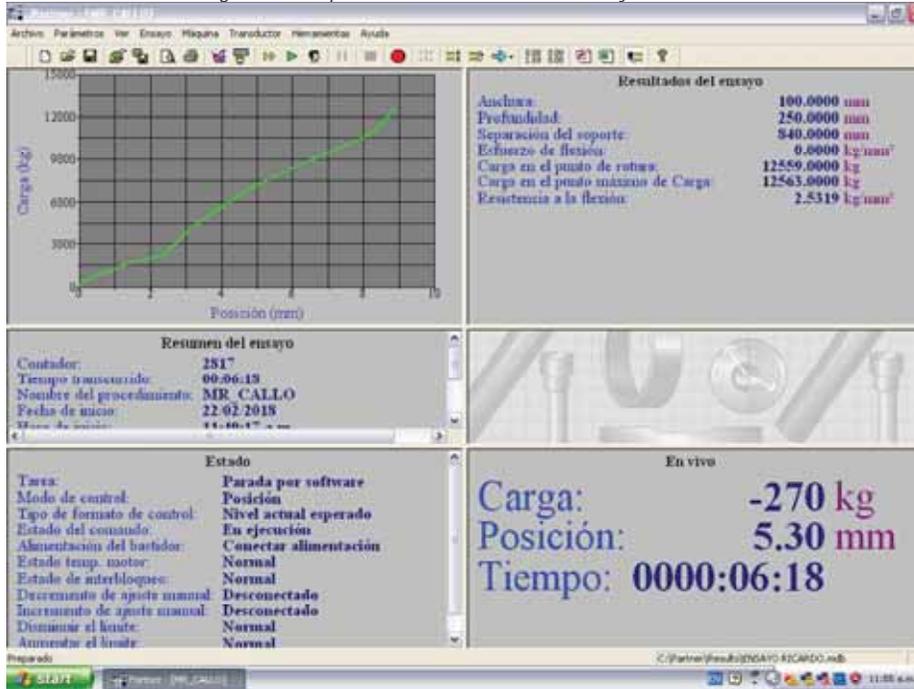
Fuente: Propio

Imagen 115: Captura de Pantalla Durante Ensayo Sobre VR-2



Fuente: Propio

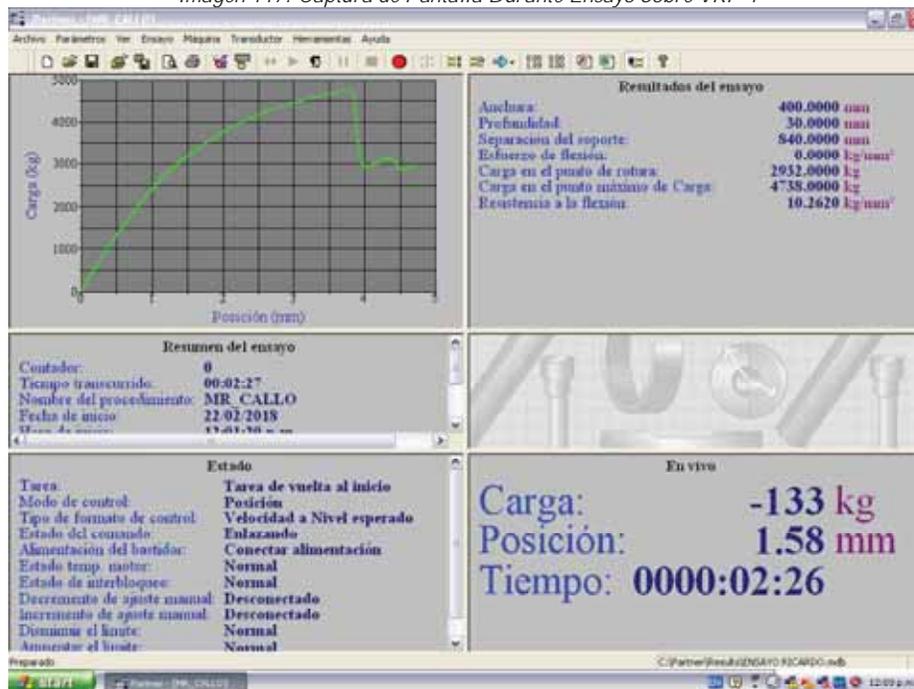
Imagen 116: Captura de Pantalla Durante Ensayo Sobre VR-3



Fuente: Propio

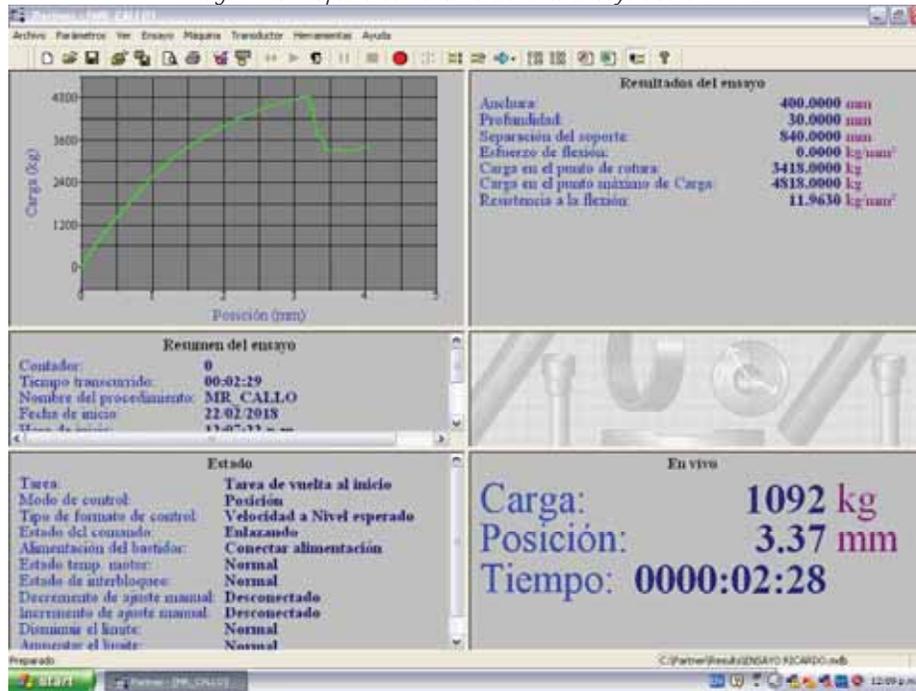
Ensayos Sobre Losa Compuesta

Imagen 117: Captura de Pantalla Durante Ensayo Sobre VRF-1



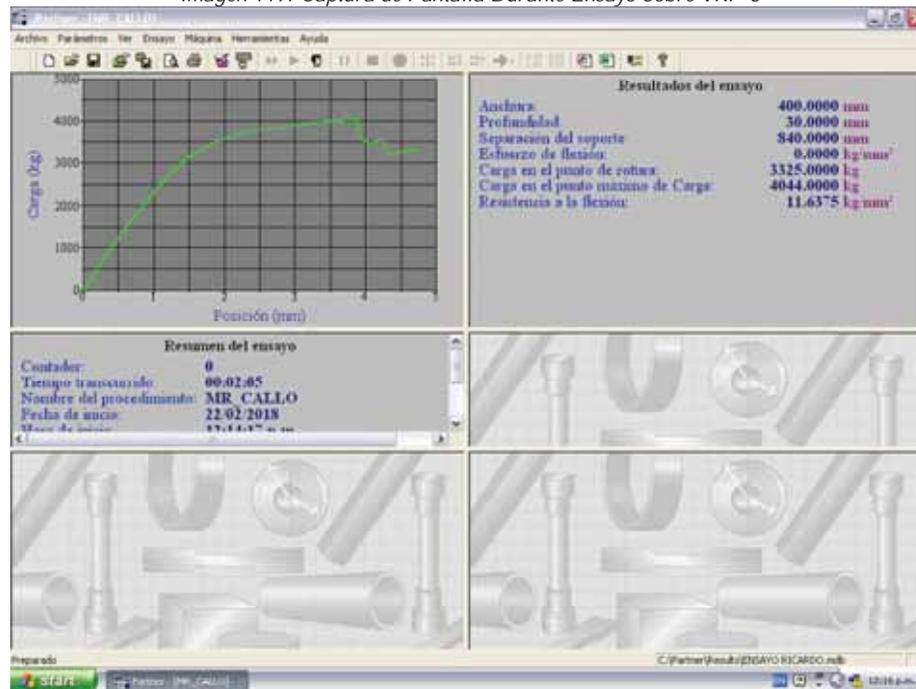
Fuente: Propio

Imagen 118: Captura de Pantalla Durante Ensayo Sobre VRF-2



Fuente: Propio

Imagen 119: Captura de Pantalla Durante Ensayo Sobre VRF-3



Fuente: Propio