

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniera Civil

TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del proyecto:

**“TÉCNICAS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL EN LA REHABILITACIÓN DE
EDIFICACIONES PATRIMONIALES”**

Autor:

Enma Luzmila Delgado Caizaguano

Tutor:

Ing. Jorge Núñez Vivar

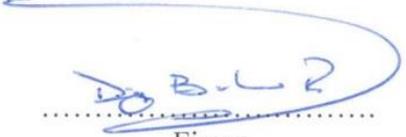
Riobamba - Ecuador
Año 2019

REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: “TÉCNICAS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL EN LA REHABILITACIÓN DE EDIFICACIONES PATRIMONIALES” presentado por **Delgado Caizaguano Enma Luzmila** y dirigida por: Ing. Jorge Núñez. Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

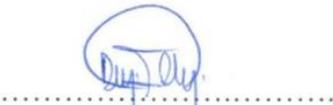
Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Diego Barahona
Miembro del Tribunal



Firma

Ing. Diego Hidalgo
Miembro del Tribunal



Firma

Ing. Jorge Núñez
Director del Proyecto



Firma

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Jorge Núñez, en calidad de Tutor de Tesis, cuyo tema es: “TÉCNICAS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL EN LA REHABILITACIÓN DE EDIFICACIONES PATRIMONIALES”, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo, ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo a las Señorita **Enma Luzmila Delgado Caizaguano** para que se presente ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

Atentamente,



Ing. Jorge Núñez
TUTOR DE TESIS

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de graduación, corresponde exclusivamente a: Enma Luzmila Delgado Caizaguano y al Ing. Jorge Núñez; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



.....
Srta. Enma Luzmila Delgado Caizaguano
C.I. 0605156959

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
3. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1. Elementos principales de edificaciones patrimoniales.....	4
3.1.1. Cimentaciones.....	4
3.1.2. Muros de adobe.....	4
3.1.3. Entrepiso.	6
3.1.4. Cubiertas.	8
3.2. Adobe como material de construcción	10
3.3. Comportamiento sísmico en las construcciones de adobe	11
3.4. La madera como elemento estructural	13
3.5. Patologías en elementos de madera.....	14
3.5.1. Daños comunes en las estructuras de madera.	14
3.5.2. Patologías de origen estructural.....	14
3.6. Niveles de intervención en bienes patrimoniales tangibles.....	16
3.7. Técnicas de reforzamiento en inmuebles antiguos.....	18
3.8. Aplicación de refuerzos externos en muros de adobe	20
3.8.1. Refuerzo con malla electro soldada.	20
3.9. Reforzamiento de cimentaciones	22

3.10.	Reforzamiento en elementos de madera	22
3.11.	Rehabilitación en elementos de madera	25
3.11.1.	Cubierta	25
3.11.2.	Entrepiso.....	26
4.	METODOLOGÍA.....	28
4.1.	Proceso de la metodología.....	28
4.1.1.	Selección de edificación de estudio.....	29
4.1.2.	Inspección visual.....	30
4.1.3.	Ensayo de bloques de adobe.....	32
4.1.4.	Levantamiento planimétrico.....	32
4.1.5.	Levantamiento de falas en la edificación.....	33
4.1.6.	Determinación de cargas y combinaciones a usar.....	34
4.1.7.	Determinación del espectro.....	36
4.1.8.	Cálculo del cortante basal.....	38
4.1.9.	Modelación estado inicial.....	38
4.1.10.	Selección de técnica de reforzamiento.....	41
4.1.11.	Modelación estado reforzado	44
4.1.12.	Controles.....	45
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
5.1.	Descripción de la edificación de estudio.....	51

5.1.1. Elementos estructurales.	53
5.2. Resultados del ensayo de compresión.	53
5.3. Levantamiento planimétrico.	54
5.3.1. Planimetría de edificación en estado inicial.	54
5.4. Resultados de fallas presentes en la edificación.	57
5.5. Fallas en elementos de madera.	60
5.6. Condición de la cimentación.	64
5.7. Cargas en estado inicial.	64
5.8. Modelación en estado inicial.	65
5.8.1. Periodo Fundamental.	66
5.8.2. Torsión en planta.	67
5.8.3. Derivas en muros.	68
5.8.4. Esfuerzos en muros.	68
5.9. Aplicación de técnicas de reforzamiento y rehabilitación de la edificación.	72
5.9.1. Cimentación.	72
5.9.2. Muros.	73
5.9.3. Entrepiso.	76
5.9.4. Cubierta.	77
5.10. Cargas en estado reforzado.	79
5.11. Modelación en estado reforzado.	80

5.11.1.	Periodo Fundamental.....	80
5.11.2.	Torsión en planta.....	81
5.11.3.	Derivas en muros.....	82
5.11.4.	Esfuerzos en muros.	82
5.11.5.	Chequeo de secciones de la cubierta.	91
5.11.6.	Chequeo de deflexiones.	95
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
5.1.	Conclusiones.....	97
5.2.	Recomendaciones.	99
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
7.	ANEXOS	105
	Anexo 7.1. Ficha de características del Inmueble en estudio.	105
	Anexo 7.2. Ficha de elementos de la edificación.....	106
	Anexo 7.2.1. Ficha de muros exterior.....	106
	Anexo 7.2.2. Ficha de muros interior	106
	Anexo 7.2.3. Ficha de cimentaciones.	107
	Anexo 7.2.3. Ficha de cubierta.	108
	Anexo 7.2.4. Ficha de entrepiso.....	109
	Anexo 7.2.5. Ficha de cielo raso.....	109
	Anexo 7.3. Propiedades de los materiales para la modelación.	110

Anexo 7.3.1. Estado inicial.....	110
Anexo 7.3.2. Estado reforzado.....	111
Anexo 7.4. Secciones de los elementos para la modelación.....	112
Anexo 7.4.1. Estado inicial.....	112
Anexo 7.4.2. Estado reforzado.....	112
Anexo 7.5. Tabulación de fallas en muros.....	112
Anexo 7.5.1. Primer piso.....	112
Anexo 7.5.1. Segundo piso.....	114
Anexo 7.6. Análisis de cargas.....	118
Anexo 7.6.1. Cuantificación de carga muerta.....	118
Anexo 7.6.2. Cuantificación de viento.....	120
Anexo 7.6.3. Resumen de cargas en Estado inicial.....	122
Anexo 7.6.4. Resumen de cargas en Estado reforzado.....	122
Anexo 7.7. Datos para el cálculo del espectro de diseño.....	122
Anexo 7.8. Cálculo tipo de chequeos.....	123
Anexo 7.8.1. Muros.....	123
Anexo 7.8.2. Elementos de madera.....	125
Anexo 7.9. Registro fotográfico.....	130
Anexo 7.10. Reforzamiento por concentración de esfuerzos.....	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de cimentación.....	4
Figura 2. Muros de adobe.	5
Figura 3. Dimensiones de un bloque de adobe.	6
Figura 4. Vanos de puerta u ventana.....	6
Figura 5. Sistema de entrepiso.	7
Figura 6. Detalle de acabados del entrepiso.	7
Figura 7. Esquema de cubierta.....	8
Figura 8. Entechado.	9
Figura 9. Cielo raso.....	10
Figura 10. Clasificación de la madera.	14
Figura 11. Proceso de reforzamiento de muros de adobe.	21
Figura 12. Reforzamiento de cimentaciones.....	22
Figura 13. Rehabilitación de cubierta tipo español.....	25
Figura 14. Rehabilitación del entrepiso.	27
Figura 15. Diagrama de procesos de la metodología del proyecto de investigación.	28
Figura 16. Tipo de tejas.	31
Figura 17. Espectro elástico.....	36
Figura 18. Mapa de zonificación sísmica de los suelos de Riobamba.....	37
Figura 19. a)Ejes locales de un elemento Shell, b)Ejes locales elementos tipo Membrane ...	40
Figura 20. Espesores de muros reforzados..	44
Figura 21. Curva Esfuerzo vs Deformación..	53
Figura 22. Planimetría – Primer piso.	54

Figura 23. Planimetría – Segundo piso.....	55
Figura 24. Vista frontal calle Tarqui.....	55
Figura 25. Vista lateral calle Veloz..	56
Figura 26. Vista superior- Cubierta..	56
Figura 27. Vista 3D edificación inicial a modelar.....	56
Figura 28. Porcentaje de fallas por piso.....	59
Figura 29. Fallas presentes en cada piso.....	59
Figura 30. Porcentaje y fallas de la edificación completa..	60
Figura 31. Excavación alrededor de la cimentación.....	64
Figura 32. Modelo inicial.....	65
Figura 33. Sección transversal de entrepiso en estado inicial.....	66
Figura 34. Espectro de diseño para la edificación inicial..	67
Figura 35. Ubicación de los muros con mayores esfuerzos actuantes.....	69
Figura 36. Esfuerzos F22-Eje 1, bajo combinación: $1.1D+0.275L+Ex$; Estado inicial.	69
Figura 37. Esfuerzos M22-Eje 1, bajo combinación: $0.9D+0.275L-Ey$; Estado inicial.	70
Figura 38. Esfuerzos F22-Eje 8, bajo combinación: $1.1D+0.275L+Ex$; Estado inicial.	70
Figura 39. Esfuerzos M11-Eje 8, bajo combinación: $0.9D+0.275L-Ey$; Estado inicial.....	70
Figura 40. Esfuerzos F22-Eje A, bajo combinación: $1.1D+0.275L+Ey$; Estado inicial.	71
Figura 41. Esfuerzos M11-Eje A, bajo combinación: $0.9D+0.275L+Ex$; Estado inicial.	71
Figura 42. Esfuerzos F22-Eje F, bajo combinación: $1.1D+0.275L+Ey$; Estado inicial.	71
Figura 43. Esfuerzos M11-Eje F, bajo combinación: $1.1D+0.275L+Ex$; Estado inicial.....	72
Figura 44. Esfuerzos F11-entrepiso, bajo la combinación $1.1D+0.275L+Ey$, estado inicial.	72
Figura 45. Vista en planta de refuerzo en juntas esquineras, dimensiones en metros.	74

Figura 46. Vista en planta de refuerzo en encuentro de paredes.	74
Figura 47. Vista frontal de conectores.....	75
Figura 48. Muros primera planta, Estado Inicial.	76
Figura 49. Muros primera planta, Estado Rehabilitado.....	76
Figura 50. Diafragma.....	77
Figura 51. Configuración de la cubierta rehabilitada Techo 1 y 4.	78
Figura 52. Configuración de la cubierta rehabilitada Techo 2 y 3..	78
Figura 53. Configuración de la cubierta rehabilitada, ver Tabla 24..	78
Figura 54. Modelo reforzado.	80
Figura 55. Espectro de diseño para la edificación reforzada..	80
Figura 56. Esfuerzos F22-Eje 1, bajo combinación: $1.1D+0.275L+Ex$; Estado reforzado....	83
Figura 57. Esfuerzos M22-Eje 1, bajo combinación: $0.9D+0.275L-Ey$; Estado reforzado....	84
Figura 58. Esfuerzos F22-Eje 8, bajo combinación: $1.1D+0.275L+Ex$; Estado reforzado. ...	84
Figura 59. Esfuerzos M11-Eje 8, bajo combinación: $0.9D+0.275L-Ey$; Estado reforzado....	84
Figura 60. Esfuerzos F22-Eje A, bajo combinación: $1.1D+0.275L+Ey$; Estado reforzado.. .	85
Figura 61. Esfuerzos M11-Eje A, bajo combinación: $0.9D+0.275L+Ex$; Estado reforzado. .	85
Figura 62. Esfuerzos F22-Eje F, bajo combinación: $1.1D+0.275L+Ey$; Estado reforzado....	85
Figura 63. Esfuerzos M11-Eje F, bajo combinación: $1.1D+0.275L+Ex$; Estado reforzado. .	86
Figura 64. Esfuerzos F11 del entrepiso, bajo la combinación $1.1D+0.275L+Ey$ en estado reforzado..	86
Figura 65. Cercha del techo 1.	93
Figura 67. Cercha del techo 3.	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Mecanismos de colapso y patrones de agrietamiento en mampostería de adobe	11
Tabla 2 Daños típicos en edificaciones de adobe.	13
Tabla 3 Patologías en elementos de madera.	15
Tabla 4 Clasificación de edificaciones patrimoniales en función de protección	17
Tabla 5 Técnicas de reforzamiento en Inmuebles Antiguos.	18
Tabla 6 Uso, recomendaciones y restricciones para la aplicación de técnicas de refuerzo. ...	19
Tabla 7 Sistema de reforzamiento estructural existente.....	23
Tabla 8 Elementos de una cubierta tipo español.....	26
Tabla 9 Resumen Bienes Inmuebles Antiguos en Estudio	29
Tabla 10 Parámetros para determinar la condición general de la edificación.	31
Tabla 11 Simbología de la edificación en planta	33
Tabla 12 Escala de calificación de elementos de madera	33
Tabla 13 Cargas actuantes en la edificación.	35
Tabla 14 Combinaciones de carga	35
Tabla 15. Datos para el cálculo del Espectro de Diseño para la ciudad de Riobamba	37
Tabla 16. Tipos de elementos tipo Shell	39
Tabla 17 Propiedades del adobe.....	40
Tabla 18. Propiedades del Eucalipto.....	41
Tabla 19 Nivel de intervención en función del porcentaje de fallas	41
Tabla 20 Refuerzo de muros en función de su esbeltez	42
Tabla 21 Propiedades mecánicas de muretes reforzados con malla electro soldadas.....	48
Tabla 22. Factores de reducción para esfuerzos admisibles	50

Tabla 23. Propiedades mecánicas del eucalipto.....	50
Tabla 24 Descripción de la edificación patrimonial de estudio.	51
Tabla 25. Resultados del ensayo de compresión.....	54
Tabla 26. Fallas presentes en la edificación de estudio.	57
Tabla 27 Estado de conservación de elementos de madera	61
Tabla 28 Fallas estructurales en elementos de madera	62
Tabla 29 Calificación de los elementos de madera.....	63
Tabla 30 Cargas por metro cuadrado primera planta en estado inicial	64
Tabla 31 Cargas por metro cuadrado para la cubierta en estado inicial	65
Tabla 32. Altura equivalente para la modelación del entrepiso en estado inicial	66
Tabla 33 Períodos de vibración en estado inicial.....	66
Tabla 34. Participación modal de la masa en estado inicial.....	67
Tabla 35 Derivas de la edificación inicial, sentido “x”.....	68
Tabla 36 Derivas de la edificación inicial, sentido “y”.....	68
Tabla 37. Chuequeo de las dimensiones la cimentación.....	73
Tabla 38 Reforzamiento para muros	73
Tabla 39 Índice de densidad.....	75
Tabla 40 Índice de densidad.....	76
Tabla 41 Partes de la cubierta	78
Tabla 42 Cargas por metro cuadrado primera planta en estado reforzado.....	79
Tabla 43 Cargas por metro cuadrado para la cubierta en estado reforzado	79
Tabla 44 Períodos de vibración en estado reforzado	81
Tabla 45. Participación modal de la masa en estado reforzado	81

Tabla 46 Derivas de la edificación reforzada, sentido “x”	82
Tabla 47 Derivas de la edificación reforzada, sentido “y”	82
Tabla 48 Esfuerzos F22 en muros en sentido “x”	82
Tabla 49 Esfuerzos F22 en muros en sentido “y”	83
Tabla 50 Esfuerzos M22 en muros en sentido “x”	83
Tabla 51 Esfuerzos M22 en muros en sentido “x”	83
Tabla 52. Chequeo de la ecuación unitaria del muro 11	87
Tabla 53. Chequeo a tracción del muro 11	87
Tabla 54. Chequeo por esbeltez del muro 11	88
Tabla 55. Chequeo de la ecuación unitaria del muro 21	88
Tabla 56. Chequeo a tracción del muro 21	88
Tabla 57. Chequeo por esbeltez del muro 21	89
Tabla 58. Chequeo de la ecuación unitaria del muro 2	89
Tabla 59. Chequeo a tracción del muro 2	89
Tabla 60. Chequeo por esbeltez del muro 2	90
Tabla 61. Chequeo de la ecuación unitaria del muro 15	90
Tabla 62. Chequeo a tracción del muro 15	90
Tabla 63. Chequeo por esbeltez del muro 15	91
Tabla 64. Control de la correa a flexo-tracción	91
Tabla 65. Control de la correa a corte	92
Tabla 66. Control de la columna a compresión en función de la esbeltez	92
Tabla 67. Control de arriostres a tracción	93
Tabla 68. Control de rigidizador a compresión	93

Tabla 69. Dimensiones de la cercha-Techo 1	93
Tabla 70. Control de todos los elementos de la cercha-Techo 1.....	94
Tabla 71. Dimensiones de la cercha-Techo 3	94
Tabla 72. Control de todos los elementos de la cercha-Techo 3.....	94
Tabla 73. Control de deflexiones Correa-Techo 1	95
Tabla 74. Control de deflexiones Correa-Techo 3.....	95
Tabla 75. Control de deflexiones Cercha-Techo1	96
Tabla 76. Control de deflexiones Cercha-Techo3	96

RESUMEN

Patrimonio tangible son todos los elementos materiales, muebles e inmuebles, que han producido las diversas culturas del país y que tienen una significación histórica, artística, científica o simbólica para la identidad de una colectividad y del país. En la localidad existen once edificaciones privadas de adobe reconocidas como patrimonio tangible. En su mayoría este tipo de construcciones poseen cimentación de piedra, muros de adobe, entrepiso y cubierta de madera.

Las fallas en muros provocadas por el paso del tiempo, movimientos telúricos y su poca resistencia a tracción, indican su mal comportamiento sísmico, por tal razón el propósito de esta investigación es aplicar técnicas de reforzamiento adecuadas que mejoren sus condiciones sísmicas, precautelando la compatibilidad de materiales y conservando la autenticidad cultural, considerando el nivel de intervención. Para esto se desarrolló un levantamiento de fallas en muros y elementos de madera, seguidamente una modelación para el estado inicial y otra en la que se modela las técnicas de reforzamiento como: colocación de una placa de concreto en el entrepiso, el refuerzo de muros con mallas electro soldadas y la restauración de la cubierta.

Al modelar la edificación en los dos casos, primero se determinó el periodo fundamental, continuando con el control de torsión en planta y chequeos de los esfuerzos. Adicionalmente en el modelo reforzado se ejecutó chequeos en los muros y en secciones de madera. Las técnicas de reforzamiento aplicadas mejoraron las condiciones de la edificación bajo un análisis sísmico precautelando así la vida de los ocupantes.

Palabras clave: Edificación patrimonial, estructura con muros portantes, técnicas de reforzamiento, rehabilitación, análisis sísmico.

Abstract

Tangible heritage is all the material elements, movable and immovable property that have produced the different cultures of the country and that has a historical, artistic, scientific, or symbolic significance for the identity of a community and a country. In the town, there are eleven private adobe buildings recognized as tangible heritage. For the most part, this type of construction has a stone foundation, adobe walls, mezzanine, and a wooden roof. Failures in walls caused by overtime, telluric movements, and their low tensile strength, indicate their bad seismic behavior, for this reason, the purpose of this research is to apply adequate reinforcement techniques that improve their seismic conditions, taking care of the compatibility of materials and preserving cultural authenticity, considering the level of intervention. For this, a failure was developed in walls and wooden elements, then modeling for the initial state and another in which the reinforcement techniques are modeled, such as placement of a concrete plate on the mezzanine, the reinforcement of walls with electro-welded meshes and roof restoration. When modeling the building in both cases, the fundamental period was first determined, continuing with the control of torsion in the plant and checking of the efforts. Additionally, in the reinforced model, checks were carried out on the walls and in wooden sections. The reinforcement techniques applied improved the conditions of the building under a seismic analysis, thus protecting the life of the occupiers.

Keywords: Heritage building, *structure with bearing walls*, *reinforcement techniques*, *rehabilitation*, *seismic analysis*.



Translation reviewed by: Trujillo, Myriam
Linguistic Competences Professor



1. INTRODUCCIÓN

En el centro histórico de la ciudad de Riobamba las edificaciones patrimoniales poseen técnicas y materiales tradicionales a las décadas de 1950 a 1960. Actualmente se cuenta con cuatro bienes públicos y quince bienes patrimoniales privados. De este último, once edificaciones son de adobe.

Debido a la época de su construcción, se estima que en todos los casos la cimentación es de piedra; dentro de los muros y paredes, los materiales predominantes son el ladrillo y el adobe. Tanto las columnas, las vigas y las escaleras son de madera en referencia a la investigación de (Espinoza, 2018).

De las quince edificaciones privadas el 73% poseen muros de adobe, un 20% paredes de ladrillo y el 7% de ladrillo y bloque.

Con el transcurrir del tiempo hasta la fecha, dichas estructuras se ven afectadas con varios daños en sus elementos estructurales, lo que conlleva a una disminución de su resistencia.

Los daños predominantes que afectan a la estructura son: la humedad, apolillado, fisuras y deflexión, siendo el más común la humedad presente en todos los elementos y las fisuras como patología predominante (Espinoza, 2018).

Las fallas que ocurren en las edificaciones de adobe frente a acciones sísmicas, de acuerdo a estudios realizados en el Ecuador son: el fisuramiento en las uniones de los muros (juntas y encuentros) y en su centro hacia la parte superior; fisuramientos en los muretes que separan una abertura de puerta o ventana; fisuramientos en las porciones de muro que cierran lateralmente el sistema de cubierta a "cuatro aguas"; fisuras diagonales en los muros que se desarrollan en un plano paralelo a la componente principal de la acción sísmica; fisuras en las esquinas de las aberturas de puertas y ventanas, según (Fernández, 2015).

Por todo lo mencionado, es necesario aplicar técnicas adecuadas de reforzamiento para este tipo de edificaciones, que principalmente busquen aumentar la resistencia de los elementos estructurales para su conservación. De acuerdo al (INPC, 2016) las edificaciones y conjuntos arquitectónicos de la época colonial y republicana que contengan un valor cultural e histórico, pertenecen al patrimonio cultural tangible del Ecuador. Además, se hace mención en el Art. 67 que se prohíbe la destrucción total o parcial de bienes del patrimonio cultural nacional y cuando se trate de edificaciones patrimoniales se debe promover su conservación y rehabilitación.

El inmueble de análisis pertenece a la época republicana construida en el año de 1950, la cual se encuentra dentro de la clasificación de edificaciones y conjuntos con protección condicionada, por lo que es susceptible a modificaciones con la finalidad de recuperar o mejorar sus condiciones de habitabilidad, manteniendo los materiales y su volumetría.

Por tal razón surge el tema de investigación que consiste en plantear técnicas de reforzamiento estructural existentes y adecuadas para la rehabilitación de una edificación patrimonial, que posee una tipología estructural de muros portantes de adobe, cimentación de piedra y una cubierta de madera. Es preciso mencionar que la edificación de adobe no posee algún tipo de refuerzo y tampoco dispone de elementos que vinculen adecuadamente los muros, no obstante, las técnicas de reforzamiento utilizadas serán, para este caso específico, considerando los mismos materiales que posee el inmueble.

Sobre la base de las consideraciones anteriores, esta investigación parte de la hipótesis de que, si al aplicar técnicas adecuadas de reforzamiento mejorará el comportamiento de la edificación.

2. OBJETIVOS

2.1.Objetivo General

- Aplicar técnicas existentes de reforzamiento en la rehabilitación de una edificación patrimonial.

2.2.Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico de los elementos estructurales determinando el tipo de materiales y patologías para sugerir una técnica de reforzamiento que mantenga la compatibilidad de materiales.
- Modelar la edificación utilizando el análisis modal para encontrar una respuesta dinámica mediante los periodos de vibración de la estructura en condiciones iniciales y al aplicar técnicas adecuadas de reforzamiento estructural.
- Determinar las derivas de la edificación y los esfuerzos actuantes en los muros.
- Realizar chequeos de secciones en elementos de madera.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Elementos principales de edificaciones patrimoniales

3.1.1. Cimentaciones.

Por medio de la cimentación se trasladan todas las cargas del edificio al terreno sobre el que se apoya. El sistema de cimentación en un inmueble de valor patrimonial es la cal y canto: piedra y cal. Todos ellos quedan generalmente ocultos o enterrados después de su construcción (Carlucci, 2016).

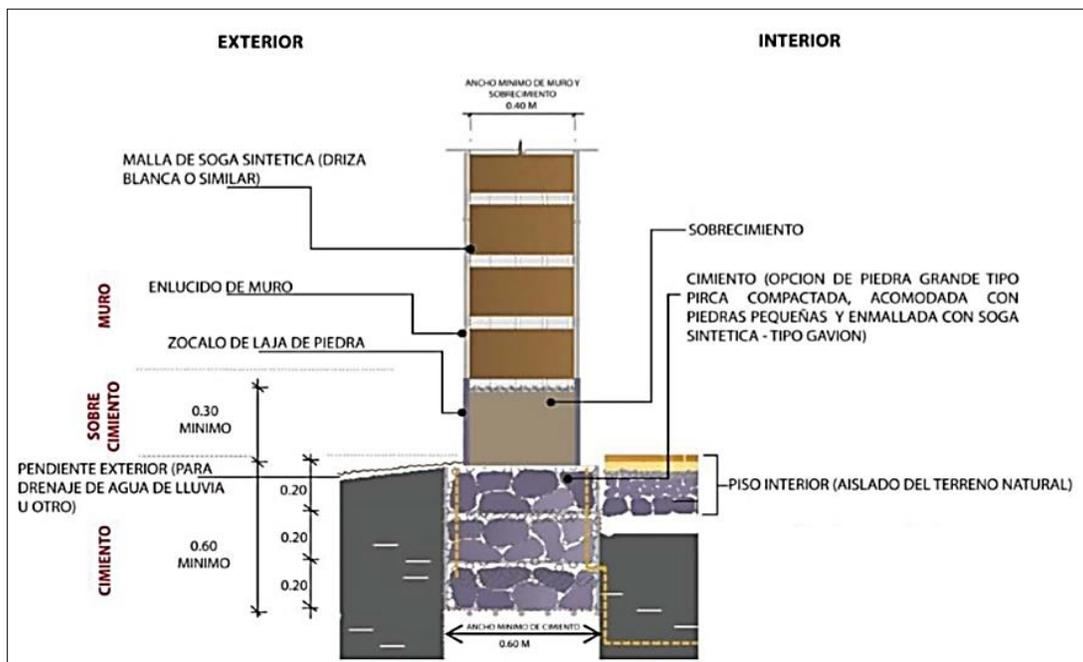


Figura 1. Esquema de cimentación. **Fuente:** (E.080, 2017).

3.1.2. Muros de adobe.

Son elementos que tienen la función, no solo, de cerrar y dividir las habitaciones, sino también cumplen la función de soporte estructural (soporta carga vertical del entrepiso o cubierta). Los muros son los elementos más importantes en la resistencia, estabilidad y comportamiento sísmico de la estructura de una edificación de tierra reforzada. El diseño de los

muros debe realizarse usando criterios basados en la resistencia, estabilidad y desempeño, complementariamente. (E.080, 2017).

Las juntas de las paredes se realizan únicamente conectándolas mediante el sistema de "trabe", el que consiste en alternar las juntas verticales entre las unidades de adobe en cada hilera, de manera que se presente una junta vertical pasando una hilera en la misma sección. El "trabe" pretende vincular las paredes que son perpendiculares entre sí, en esquinas o encuentros exteriores, y en encuentros interiores (Fernández, 2015).

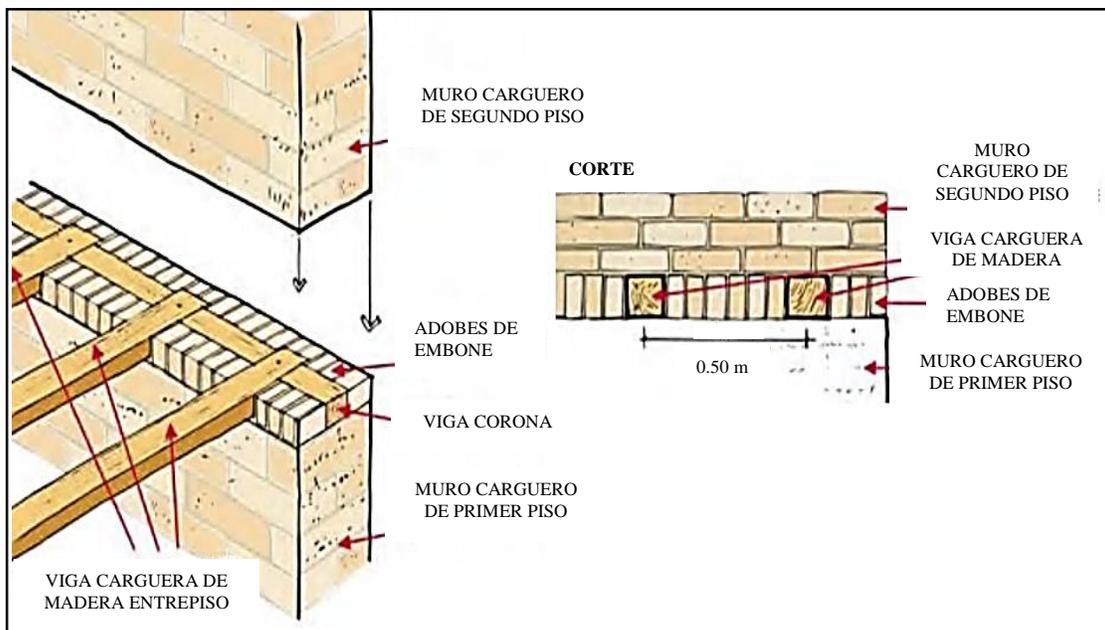


Figura 2. Muros de adobe. **Fuente:** (Rivero, 2010)

Las dimensiones de las piezas en los muros de adobe son muy variables y responden tanto a la tradición como a criterios constructivos. En el Ecuador se pueden encontrar adobes con dimensiones que van entre los siguientes rangos: largo 25-60 cm, ancho 14-20 cm y altura 10-17 cm, cuanto mayores sean las dimensiones, más importante será el que sean aligerados con paja (Aching B, Zúñiga L, Van Balen, & Abad R, 2013).



Figura 3. Dimensiones de un bloque de adobe. **Fuente:** (Fronteiras, 2010)

3.1.2.1. Vanos de puertas y ventanas.



Figura 4. Vanos de puerta u ventana. **Fuente:** (Rivero, 2010)

3.1.3. Entrepiso.

Elemento estructural, generalmente horizontal, capaz de transmitir las cargas que soporta, así como su propio peso a los demás elementos de la estructura (vigas, pilares, muros, etc.), hasta que todas las cargas lleguen a la cimentación, que descansa sobre el terreno. (Carlucci, 2016). El entrepiso de edificaciones patrimoniales posee los siguientes elementos:

- Vigas cargueras de entrepiso: Transmite la carga de las vigas corona de entrepiso, las cuales a su vez se apoyan directamente sobre los muros cargueros. Suelen ser de sección circular (0.15m a 0.20 m de diámetro) o rectangular (Sección de 0.2x0.20), la separación de vigas cargueras es de 0.50 m a 1 m o más.

- Vigas corona: La viga corona sencilla se instala generalmente en el centro del ancho del muro carguero, las vigas corona doble se instalan en forma paralela y simétrica en el muro carguero, una a cada costado del muro. Estas vigas tienen en general dimensiones menores a las cargueras y a las vigas corona sencillas. (Rivero, 2010)

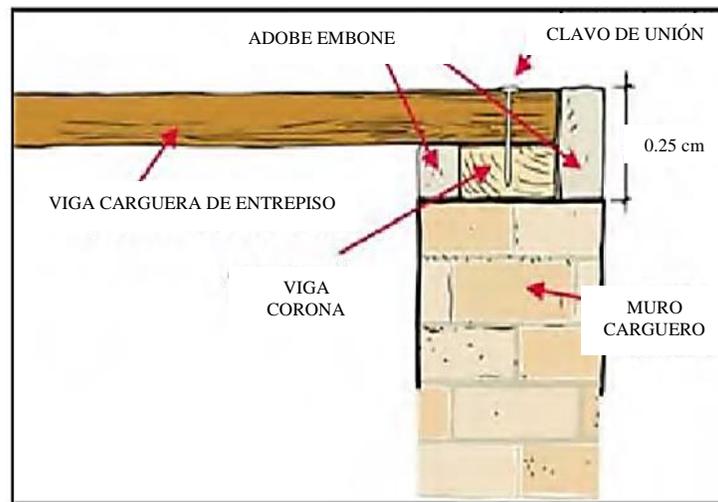


Figura 5. Sistema de entrepiso. **Fuente:** (Rivero, 2010)

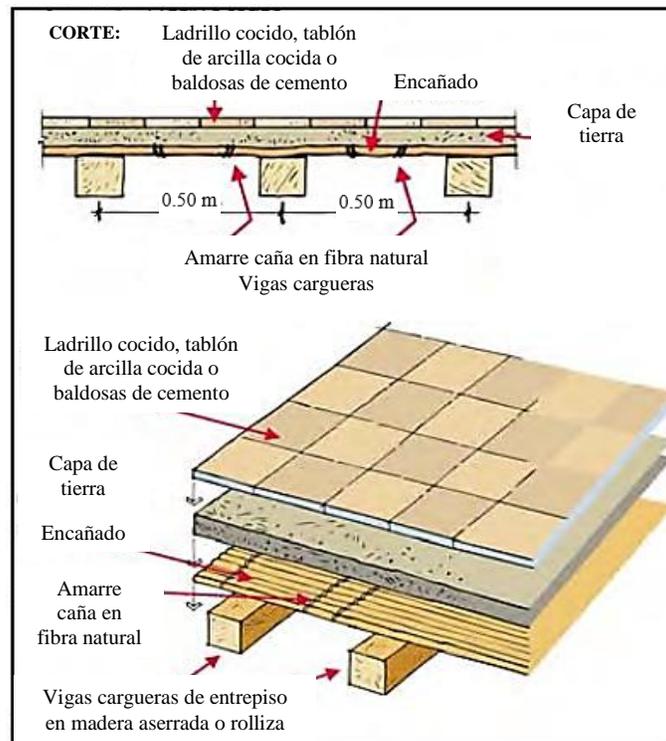


Figura 6. Detalle de acabados del entrepiso. **Fuente:** (Rivero, 2010)

3.1.4. Cubiertas.

Paramentos generalmente inclinados, que protegen la parte superior del edificio de inclemencias meteorológicas y especialmente de la lluvia, por esto es importante su cuidado. Las viviendas en adobe y tapia pisada presentan gran variedad de tipos de estructura de cubierta. En general se presenta predominio de elementos de madera rolliza, o de elementos aserrados en algunos casos individuales. Una de las estructuras dominantes conocidas como la de par y nudillo incluye los siguientes elementos principales:

- Viga cumbrera: conformada la viga longitudinal principal y recibe las correas.
- Vigas correas: vigas principales que sostiene el encañado de techo.
- Pares: elementos diagonales.
- Tirantes: viga de madera que atraviesan el vano y reciben las vigas soleras.
- Soleras: vigas instaladas en las cajas de los tirantes. Reciben las correas y las vigas pares.
- Nudillos: elementos longitudinales de amarre entre vigas correas y vigas pares (Rivero, 2010).

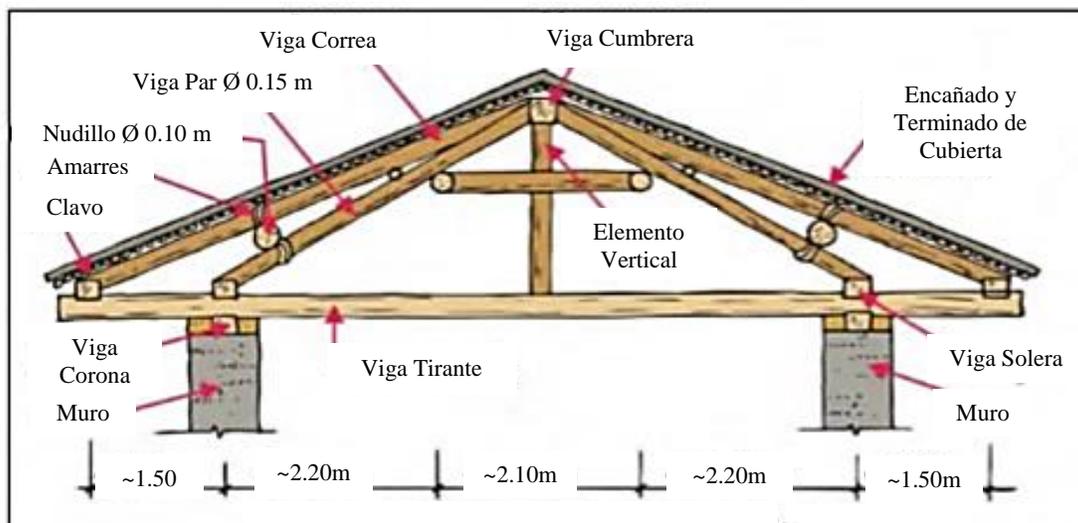


Figura 7. Esquema de cubierta. **Fuente:**(Rivero, 2010)

3.1.4.1. Entechado.

El entechado más común consiste en un encañado con fibra natural apoyado sobre las vigas correas. Sobre el tendido de caña se coloca una capa de tierra sobre la cual se apoyaba directamente la teja de barro cocido (Rivero, 2010).

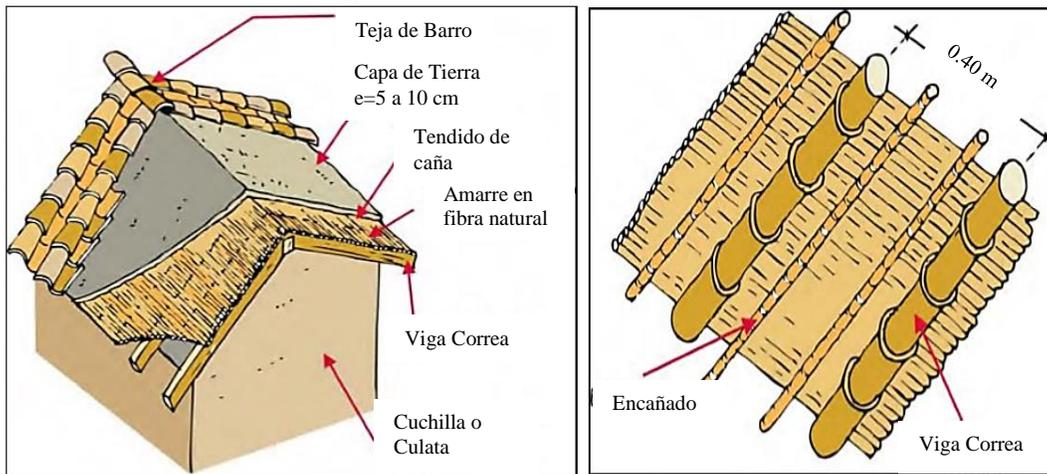


Figura 8. Entechado. Fuente:(Rivero, 2010)

3.1.4.2. Cielo raso.

Consiste en el rendido de caña o guadua el cual se descuelga por medio de cuerdas desde unos elementos de madera horizontales instalados a presión entre las vigas cargueras de entrepiso.

El terminado final se realiza mediante una capa de mortero, decorada en algunas ocasiones con yeso y pintura (Rivero, 2010).

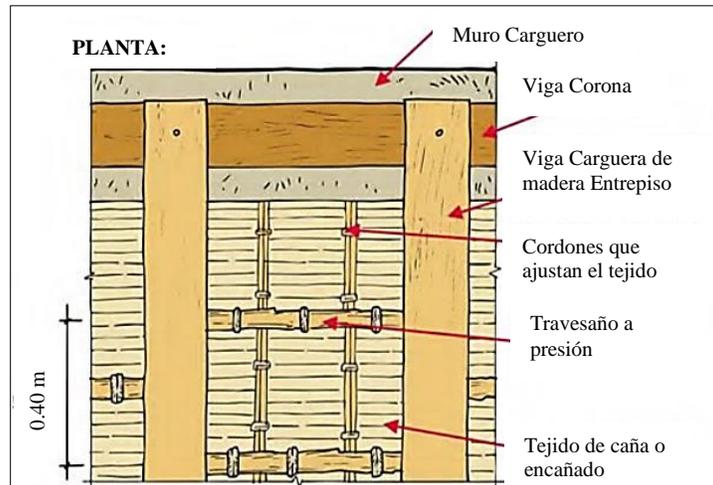


Figura 9. Cielo raso. **Fuente:**(Rivero, 2010)

3.2. Adobe como material de construcción

La mayor parte de las edificaciones de adobe existentes en el Ecuador, cuyo material principal el adobe, es el que está disponible en el mismo lugar, sin considerar sus características granulométricas, las cuales tienen importancia en cuanto a sus propiedades mecánicas, su permeabilidad y resistencia a agentes ambientales. La norma peruana NTE E 080 propone los siguientes porcentajes en volumen para la tierra: arcilla 10% a 20%, limo 15% a 25%, y arena 55% a 70%. Adicionalmente, se utilizan otros materiales como fibras vegetales (paja), estiércol y/o pelos de animal para evitar la fisuración por secado. El uso de la paja además reduce la resistencia a la compresión. En general, la resistencia a compresión del adobe se encuentra entre 1,3 Mpa y 2,1 MPa. Para lograr una óptima estabilización del suelo, es decir cambiar sus características con el fin de mejorar su comportamiento mecánico o físico, se sugiere que la resistencia a la compresión oscile entre 2,0 MPa y 2,5 MPa. La resistencia a la tracción es difícil de medir debido a los efectos de las grietas de contracción; sin embargo, oscila entre 0,370 a 0,834 MPa (Aching B et al., 2013). En la ciudad de Cuenca el módulo de elasticidad de edificaciones patrimoniales que datan de 1930 y 1920 son de 17 MPa y 68.50 MPa

respectivamente, determinados por un ensayo de compresión aplicando la Norma E0.80 (Aguilar & Quezada, 2017).

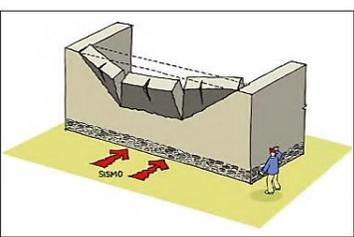
Si el elemento en exceso es arcilla, las unidades elaboradas, en la etapa de secado tienden a fisurarse, con lo que la integridad del elemento se afecta y por ello su resistencia mecánica. Los mampuestos son vulnerables a la humedad ambiental y a las precipitaciones, ya que la presencia de humedad dilata al elemento y el siguiente proceso de secado lo retrae, formando así nuevas grietas y de mayor dimensión. En el caso que el material predominante sea la arena, se puede preveer una baja resistencia mecánica la unidad. Si existe la disponibilidad de fibras como paja o tamos, y su precio es accesible en la región, se las incluye como elementos adicionales en el adobe. Estas fibras tienen importancia en lo referente a la fragilidad de falla de las unidades. Cuando la capacidad de los mampuestos es excedida, las fibras le brindan una cierta resistencia a la tensión impidiendo su colapso inmediato (Fernández, 2015).

3.3.Comportamiento sísmico en las construcciones de adobe

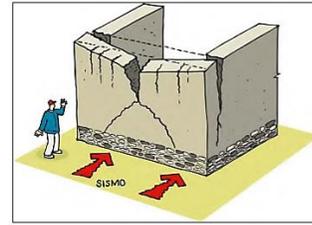
Durante terremotos severos, debido a su gran peso, estas estructuras desarrollan niveles elevados de fuerza sísmica, que son incapaces de resistir y por ello fallan violentamente. Las fallas en las construcciones de adobe pueden atribuirse, principalmente, a su poca resistencia en tracción y reducida adherencia entre el adobe y el mortero.

Tabla 1

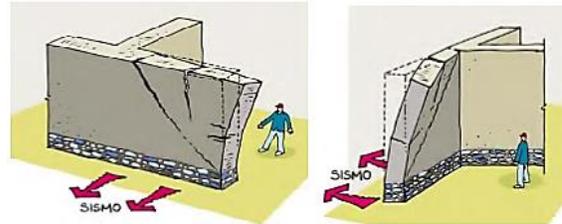
Mecanismos de colapso y patrones de agrietamiento en mampostería de adobe

Tipo de Falla	Esquema
<p>Flexión perpendicular al plano del muro. Agrietamiento horizontal en la base o a una altura intermedia y agrietamientos verticales adicionales. Esto se presenta frecuentemente en muros largos.</p>	

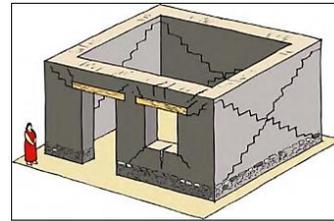
Falla por flexión perpendicular al plano del muro con agrietamiento vertical en la zona central. Agrietamiento diagonal que constituye el mecanismo de falla y fisuración en la parte superior por falta de refuerzo y confinamiento. Este tipo de falla se presenta particularmente en muros altos y cortos p muros largos con restricciones laterales poco espaciadas.



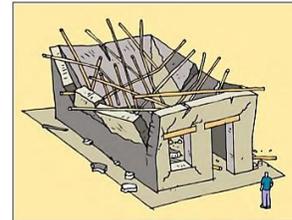
Falla por flexión perpendicular al plano en las esquinas no confinadas de muros sueltos, o en esquinas no conectadas efectivamente con los muros transversales.



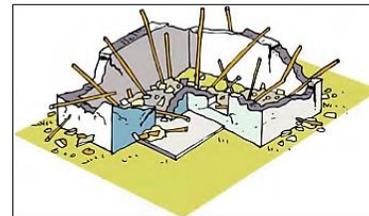
Falla por cortante en el plano del muro asociada a altos empujes horizontales. En muchos casos estos agrietamientos están asociados a entrepisos o cubiertas muy pesadas y se ven magnificados con las aberturas correspondientes a las puertas y ventanas en los muros.



Caída de la cubierta hacia el interior de la vivienda, por encontrarse mal apoyada sobre los muros. Se genera una falla en la zona superior de los muros.



Falla generalizada de la cubierta por ausencia de un apoyo adecuado o por mala estructuración de ella. Este tipo de mecanismo de falla es frecuente en edificaciones con cubiertas muy pesadas, mal concebidas estructuralmente o con alto grado de deterioro.



Falla que se presenta por mala conexión de los muros del primer piso con los del segundo. En este mecanismo de falla el entrepiso rompe los muros principales en forma casi horizontal, generando la inestabilidad del segundo piso



Fuente: (Rivero, 2010)

En diversos terremotos ocurridos en el Ecuador, así como en la región andina, se ha observado que en general las estructuras con sistemas constructivos tradicionales, entre ellas las de adobe, presentan un pobre comportamiento sísmico, llegando incluso al colapso en forma muy rápida, aun frente a sismos moderados. Algunos de los daños típicos, observados en este tipo de estructuras, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2

Daños típicos en edificaciones de adobe.

Daño	Descripción
Fisuras en el centro y las uniones de las paredes o muros portantes	Acción de fuerzas sísmicas actuando en forma perpendicular al plano de la pared, las mismas que generan tracciones por flexión en el centro y tienden a empujar los muros separándolos en las uniones
Fisuras en el triángulo superior que conforma el tímpano	Utilizado para formar los techos a cuatro aguas, donde la viga del cumbrero produce empujes importantes sobre la pared, provocando usualmente su desplome o grandes boquetes.
Fisuramiento en puertas y ventanas	Las fisuras se inician a 45° desde las esquinas y se propagan en forma curva hacia arriba. Cuando las fuerzas sísmicas son mayores, aparecen las grietas a 45° en ambas direcciones, dejando la bien conocida "X" o marca del sismo.

Fuente:(CERESIS, 2015)

3.4.La madera como elemento estructural

La madera presenta características favorables para su aplicación en la construcción, tales como: menor densidad que otros materiales, buenas propiedades acústicas, rapidez de montaje y sobre todo un verosímil comportamiento estructural. La madera de acuerdo a sus cualidades físicas se divide en dos grupos: Maderas suaves o coníferas y maderas dura o frondosas.

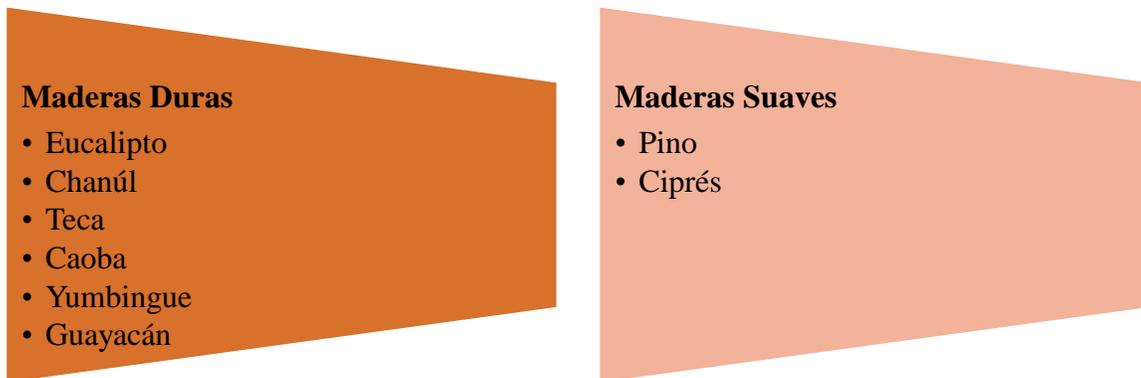


Figura 10. Clasificación de la madera. **Fuente:** (Rivero, 2010)

3.5. Patologías en elementos de madera

3.5.1. Daños comunes en las estructuras de madera.

La mayoría de las estructuras deterioradas presentan un similar problema que es causado por xilófagos, los cuales encuentran en la madera su principal alimento. En primer lugar, los insectos u hongos necesitan que la madera este con un porcentaje de humedad superior al 20% algo que siempre depende de la exposición al exterior o ambientes húmedos, así como fallos de las instalaciones internas de suministro y evacuaciones de aguas de las edificaciones. El daño por xilófagos puede presentar se a través de dos formas, con un causante común: la perdida de sección original. Mientras los insectos y hongos de ciclo larvario devastan a la madera superficialmente y los daños son evidentes, no ocurre lo mismo con las termitas o mejen, pues estas ocasionan grandes destrozos al interior del elemento y pueden pasar totalmente ocultos pues la superficie en muchos casos no se ve afectada.

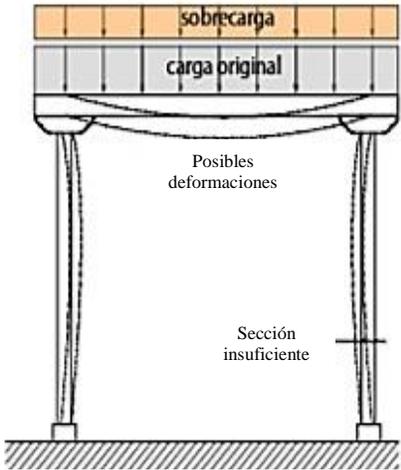
3.5.2. Patologías de origen estructural.

Desde el punto de vista patológico, cada problemática que pueden presentar las estructuras de madera, requiere como punto previo el conocimiento de la madera a proteger, su contexto (humedad, temperatura, insolación, etc.), agentes patológicos y, además, los factores

propios de la madera que son de gran interés tales como: estructura de la madera, composición, contenido de humedad y durabilidad.

Tabla 3

Patologías en elementos de madera.

Patología	Descripción	Esquema
Sección insuficiente en elementos estructurales	<p>Ocasionado por el aumento de cargas con respecto al origen, provocando deformaciones muy notorias. La deformación de una viga de madera correctamente dimensionada es de $L/400$, para condiciones de carga total. Para el caso de columnas de madera, la falta de sección puede hacer que el elemento pandee. También puede fallar por aplastamiento o combinación de las dos, todo depende de la esbeltez de la pieza (Longitud sobre la menor dimensión de la sección) $\lambda=L/d$. Donde se considera columna corta cuando $\lambda < 10$, columna intermedia cuando $10 < \lambda < 18.34$. Columna Larga $\lambda > 18.34$.</p>	 <p>Pórtico de madera con cargas constantes más una sobrecarga</p>
Deformaciones causadas por el efecto de madera húmeda	<p>La deformación puede variar según la cantidad de humedad que pueda presentar la madera. Las piezas a utilizar deben alcanzar una estabilidad del 12% -15% de CH, de esta manera, se está garantizando que las piezas no presenten deformaciones exageradas y que no repercutan en la resistencia de todo el conjunto estructural.</p>	

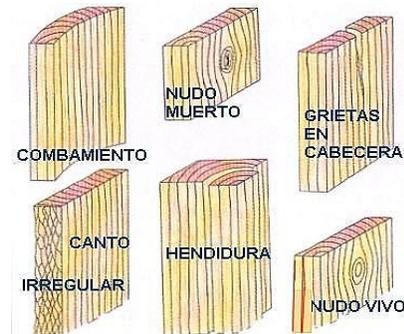
Fallos en las uniones, ocasionadas por un mal diseño.

Es necesario prestar mayor atención a los detalles constructivos de las uniones, de esta manera se detectará si existen aplastamientos, fisuras, roturas o simples aberturas en los ensambles y uniones. El caso típico de uniones defectuosas se presenta entre columna y una viga de madera, la cual ha sido resuelta tradicionalmente mediante una caja y espiga. Con el paso del tiempo esta unión de vuelve deficiente debido a la escasa dimensión que puede presentar la espiga. Entonces parte de una adecuada rehabilitación, está en corregir todas las uniones o ensambles deficientes.



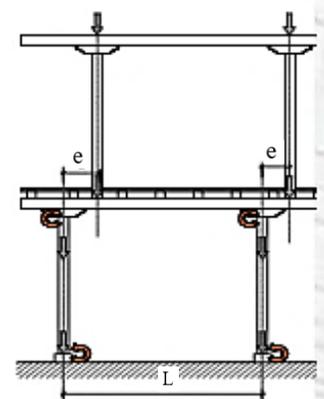
Roturas locales, propias de la pieza afectada.

Es muy normal encontrar en las estructuras nudos que han provocado, en algunos casos, deformaciones o roturas. En caso de que una viga presente nudos en las partes más críticas, es decir, en las zonas donde los momentos son mayores, la actuación deberá consistir en mejorar al elemento en dicha zona; recuerde que los nudos disminuyen notablemente la resistencia de la madera y mucho más, si el nudo está muerto.



Excentricidad por mala distribución de cargas.

El termino excentricidad hace referencia a la distancia o desplazamiento que existe entre las fuerzas con respecto a sus apoyos, ya sean estas de compresión o de tracción, es decir, cuando una carga no se aplica directamente sobre el centro de la columna, existe excentricidad. Cabe recalcar que, cuando la excentricidad es pequeña, la flexión que puede presentar el elemento es prácticamente despreciable; mientras que si esta crece, los efectos de flexión serán mayores y más notorios.



Pórtico de madera con cargas excéntricas y momentos en sus extremos

Fuente: (Rivero, 2010)

3.6. Niveles de intervención en bienes patrimoniales tangibles.

La catalogación de bienes patrimoniales tangibles son por antigüedad; valor tipológico; valor arquitectónico, técnico constructivo; significado simbólico, (histórico, tecnológico, hito

urbano, científico entre otros) y relación con el entorno (AME, 2016). La catalogación aplicada de edificaciones patrimoniales se muestra en la Tabla 3, que resumirá la clasificación a cada edificación en uno de los cuatro grupos considerados.

Tabla 4

Clasificación de edificaciones patrimoniales en función de protección

Grupo	Descripción
<i>1. Edificaciones y conjuntos con protección absoluta.</i>	Son aquellas edificaciones patrimoniales que, por su alta valoración arquitectónica, individual, de conjunto, de contexto y de entorno, pasan a formar parte de la memoria colectiva, inclusive de la Nación, debiendo conservarse en toda su magnitud y unidad, manteniendo sus características originales y los aportes realizados en el tiempo. En caso de ser necesario, se recuperarán las mismas a través de intervenciones especializadas como: conservación orientada al mantenimiento, restauración, consolidación, reintegración, liberación de elementos no compatibles. También calificarán en este grupo las edificaciones monumentales y las de interés especial que lo ameriten.
<i>2. Edificaciones y conjuntos con protección parcial.</i>	Conocidas también como rehabilitables, son aquellas que siendo también patrimoniales, son susceptibles de modificación con la finalidad de recuperar o mejorar sus condiciones de habitabilidad, lo cual implica que en la catalogación correspondiente constarán los elementos que deban conservarse obligatoriamente y aquellos que puedan modificarse, así como sus grados y tipos de intervención, que están contenidos en la rehabilitación arquitectónica, siendo el factor predominante de la intervención la recuperación de elementos tipológicos de fachada, cubierta, implantación y características volumétricas. Se permite también la realización de obra nueva con diseño integrado como complemento a las demandas funcionales, las que deberán integrarse a las características del entorno tanto del paisaje construido como el natural.
<i>3. Edificaciones y conjuntos con protección condicionada.</i>	La edificación y conjunto tiene un grado de protección condicionada por ser de Interés Patrimonial, en donde sus interiores poseen un alto nivel de deterioro o de intervención lo que ha ocasionado la pérdida de sus características tipológicas originales. Se conservará las características volumétricas, compositivas y de materiales, básicamente al exterior por su aporte al conjunto e imagen urbanas.
<i>4. Edificaciones con catalogación negativa.</i>	Son aquellas edificaciones que no presenten valores arquitectónicos representativos ni relevantes, que no tienen significación ni histórica ni cultural, y que no forman parte de un conjunto arquitectónico homogéneo o que si lo integra vaya en contra de su unidad y armonía

arquitectónicas y espaciales y de las características del entorno, natural o construido. Aquellas que afecten a la imagen de los conjuntos patrimoniales (zonas urbanas de primero y segundo orden) se recomendará su demolición o rediseño con fines de rehabilitación o sustitución por una nueva edificación aplicando los conceptos de diseño nuevo integrad.

(AME, 2016)

3.7. Técnicas de reforzamiento en inmuebles antiguos

El trabajo de rehabilitación consiste en un “Conjunto de técnicas y métodos que sirven para recuperar una función o actividad que ha disminuido o se ha perdido a causa de algún fenómeno físico como natural” (Garabito López, Rodríguez Sáiz, Junco Petrementc, & Garabito López, 2015). Para conseguir una rehabilitación es necesario aplicar técnicas de reforzamiento como se menciona en la siguiente tabla.

Tabla 5

Técnicas de reforzamiento en Inmuebles Antiguos.

Técnica	Descripción
Anclaje	El anclaje de un elemento, mediante barras o cables de acero, ayuda a mejorar la estabilidad de la estructura o impedir deformaciones excesivas.
Costuras Armadas	Esta técnica se basa en la realización de vacíos en los elementos a reforzar, en donde se introducen barras de metal (acero inoxidable, titanio, etc.), las cuales son después recubiertas, generalmente con mortero. Esta técnica no es muy recomendable ya que es altamente invasora y no es reversible.
Encamisados de Concreto	Cuando se presente grandes esfuerzos de compresión, una deformación lateral o se requiera mejorar la continuidad de los elementos, se puede construir una estructura de concreto armado que recubra al elemento original. Se recomienda que, para obtener un trabajo eficiente de los elementos de concreto, éstos se deben colocar a ambos lados del muro, así como que tengan una buena conexión entre ellos. Esta técnica se recomienda principalmente para reforzar cimentaciones, ya que es altamente invasora, pues al recubrir el elemento original se pierde parte de la identidad arquitectónica del inmueble. Obviamente, esta técnica no se puede aplicar cuando el elemento contenga pinturas murales u otro tipo de adorno arquitectónico o artístico.

Inyección Esta técnica consiste en inyectar mortero o resinas epóxicas a través de grietas o agujeros previamente realizados, para rellenar las cavidades y vacíos al interior de los elementos tratados; así como para rellenar grietas. Esto permite mejorar las características mecánicas del material. Sin embargo, esta técnica no es reversible y debería realizarse con materiales que hayan mostrado su compatibilidad con los materiales originales, como el mortero de cal y arena

Refuerzo Externo La aplicación de refuerzo en las caras externas de los elementos utilizando material de alto rendimiento (como son las FRP, mallas de acero, polímeros, etc.) permite incrementar su capacidad. Este refuerzo se une con el elemento original mediante resinas epóxicas, morteros o pegamentos.

Fuente:(Mondragón & Lourenço, 2012).

Las técnicas constructivas que permitan corregir el daño y apariencia de los elementos estructurales considerando la compatibilidad de materiales y beneficios que proporcionan las técnicas de reforzamiento mencionadas se presentan en la Tabla 7.

Tabla 6

Uso, recomendaciones y restricciones para la aplicación de técnicas de refuerzo.

Técnica	Uso	Recomendación	Restricción
Anclaje	Cubiertas, techos, muros	Mejora la estabilidad de la estructura. Impedir deformaciones excesivas	Perturbación visual Corrosión del acero.
Costuras Armadas	Muros	Aumenta su capacidad a la tracción Mejora la capacidad portante	Peligro de corrosión Cambia las características mecánicas de los elementos
Encamisados de Concreto	Muros, columnas, cimentaciones	Aumenta su capacidad a compresión	Alta invasión en los elementos Técnica irreversible
Inyección	Mampostería, muros, reparación de grietas	Reforzamientos Mejora la resistencia a compresión	Sensibilidad a la temperatura Dificultad en curado Compatibilidad de las características físicas, químicas y mecánicas
Refuerzo Externo	Muros, columnas	Mejora el comportamiento sísmico de las estructuras Conexiones eficaces de muros	Intrusión visual Aumento de la masa de los elementos

Fuente:(Espinoza, 2018)

3.8. Aplicación de refuerzos externos en muros de adobe

Los elementos aplicados en las intervenciones, buscan reforzar la estructura aumentando la capacidad resistente de los muros, bajo los principios de la mínima intervención y de reversibilidad de las actuaciones (Torres Gilles & Jorquera Silva, 2018).

3.8.1. Refuerzo con malla electro soldada.

El refuerzo de muros con mallas metálicas electro soldadas ha sido estudiado científicamente por ingenieros peruanos, asegurando que con ellas se aumenta el nivel de seguridad sísmica de las viviendas de tierra, ya que se incrementa la resistencia de los muros, se controla su desplazamiento y se pospone el colapso. Estos modelos realizados en laboratorios y sometidos a ensayos de resistencia en mesa sísmica han sufrido daños, sin llegar al colapso de la estructura.

El refuerzo de mallas se limita a la aplicación en los elementos más críticos de la construcción, como encuentro de esquinas y contorno de vanos, mientras en Chile, dada las características constructivas basadas en grandes espesores y altura de los muros, se aconseja aplicar el confinamiento de malla en toda la extensión de los paramentos.

El uso de mallas metálicas electro soldadas se aplica normalmente para colaborar en la resistencia frente a las tracciones producidas por empujes horizontales perpendiculares al plano del muro, los cuales generan flexiones en los paramentos de albañilerías de adobe (Torres Gilles & Jorquera Silva, 2018).

Cuando el espesor del muro sea menor o igual a 40 cm, o cuando la dureza de las unidades de adobe sea elevada, la colocación del refuerzo puede realizarse únicamente retirando el enlucido de la pared, de tal forma que el refuerzo se ubique directamente sobre la superficie del muro. Si no existiera enlucido, el refuerzo se colocará directamente sobre la superficie de la pared en la zona indicada. Por otro lado, cuando el espesor del muro sea cercano a 1 m, se

permite, elaborar un canal en la pared de adobe para colocar el refuerzo. Esto, con el fin de mantener la apariencia original sin resaltes (Fernández, 2015).

Las mallas (cuadrícula de 15x15 cm, e=3.5 mm) que se encuentran en cada lado de la pared, deben estar vinculadas entre sí, mediante unos conectores de acero, los que pueden ser varillas $\varnothing \geq 4$ mm con un gancho en cada extremo, espaciadas a 30 cm en sentido horizontal y 45 cm en sentido vertical. Cada gancho deberá tener por lo menos 20 cm doblado a 90°. Los traslapes de la malla, donde se requiera realizarlos, deberán tener por lo menos 30 cm. Finalmente deberá estar protegido por una capa de mortero de cemento – arena de 4 cm aproximadamente (Fernández, 2015).



Figura 11. Proceso de reforzamiento de muros de adobe. **Fuente:** (Fernández, 2015)

3.9.Reforzamiento de cimentaciones

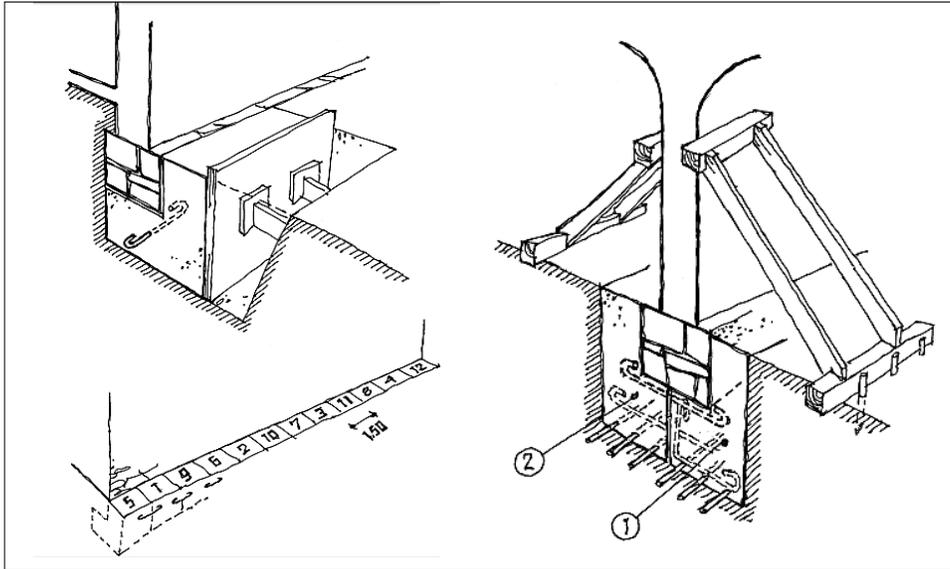


Figura 12. Reforzamiento de cimentaciones. **Fuente:** (Gómez, 2012)

Uno de los métodos consiste en consolidar y recalzar las cimentaciones existentes añadiendo una masa suplementaria, fijándola a la cimentación antigua mediante tensores de acero, pernos de anclaje, así como también otros tipos de ataduras, para crear un sistema de cimentación que no permita que se muevan lateralmente. Las cimentaciones suplementarias deberán ser realizadas en conexión con la zona antigua mediante la utilización de barras, cables, etc (Gómez, 2012).

Los sistemas que se fundamentan en el aumento en anchura de la base de cimentación, por la dificultad de absorber los esfuerzos de corte en los contactos entre el nuevo y el viejo cimiento, siendo asimismo escaso el uso de los pilotes convencionales, por el abultado utillaje que requieren, o los de mejora de terrenos por inyección de productos químicos, aptos solamente en determinados tipos de terrenos de adecuada permeabilidad (Gómez, 2012).

3.10. Reforzamiento en elementos de madera.

Para el caso de edificaciones patrimoniales, lo más importante es saber hasta qué punto se va mantener la estructura existente, ya que según conceptos de conservación se deberá en lo posible

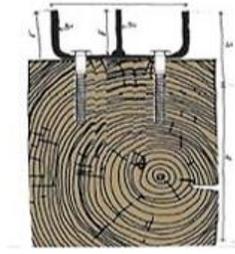
mantener la originalidad del bien a intervenir. Para una correcta actuación sobre una estructura con lesiones de diferente nivel de gravedad, se debe tener en cuenta dos criterios:

- El análisis total de las propiedades mecánicas de la estructura en su estado actual. El deterioro de las propiedades mecánicas, según los años de antigüedad, de maderas de 50 años, presentan una disminución del 10% con un factor de reducción de 1.05; mientras que, las maderas de 100 años disminuyen sus capacidades en un 30%, y mediante un factor de 1.42. Estos datos son muy importantes para estimar la pérdida de resistencia, ya que se basan sus resultados en un análisis técnico, respecto a una muestra nueva de madera de eucalipto.
- El correcto conocimiento de las técnicas de reforzamiento. (García, 2014)

Tabla 7

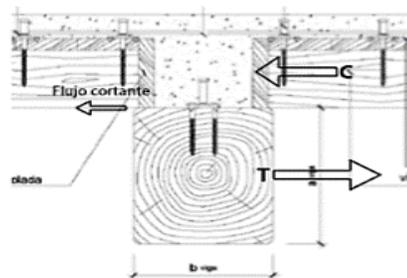
Sistema de reforzamiento estructural existente.

Reforzamiento	Ilustración	Descripción
Piezas de madera		<p>Para obtener un sistema correctamente aplicado, depende en la ubicación y orientación adecuada del refuerzo en función de la dirección de sus fibras. A más de recuperar la capacidad portante del elemento, esta técnica puede ser aplicada para complementar secciones que presente deterioros o elementos en fendado, rajaduras y acebolladuras. Refuerzo se encuentra ubicado por los tres lados de la pieza de madera, con el objetivo de mejorar esfuerzos de flexión (laterales) y disminuir vibraciones (superior).</p>
Perfiles metálicos por la cara superior.		<p>La ubicación de un refuerzo metálico dependerá de la condición en la que se encuentre la estructura, ya que resulta más rápido acceder a un elemento por su parte superior, pero técnicamente no contrarresta directamente los</p>



esfuerzos de tracción. El principal objetivo es mejorar las capacidades resistentes de una estructura de madera independientemente de su ubicación. La cantidad de acero es mínima, esto hace referencia a que el usar 1cm^2 de acero equivale a usar 25.42 cm^2 de madera nueva de eucalipto. La disponibilidad de usar perfiles metálicos resulta muy amplia, el caso más común es el uso del perfil C, el cual ha sido objeto de varias modificaciones para mejorar la eficiencia de resistencia, colocando una platina perpendicular a las fibras aumentando la rigidez. La posición de la platina por debajo de la correa dentro del elemento mejora considerablemente los esfuerzos a flexión y cortante.

Secciones de hormigón



La rigidez del hormigón puede transmitirla a la madera mejorándola notablemente, disminuyendo la vibración en elementos de entrepiso. Las propiedades a incrementarse también son la inercia y el peso del elemento, una alternativa es el uso de hormigón ligero. Este sistema implica un uso limitado del material que se encuentra adherido a la pieza de madera mediante conectores metálicos.

Fibras de carbono



Consiste en aplicar pequeñas platinas de material sintético con fibra de carbono de alta resistencia estructural y resistentes a la corrosión. Poseen un peso prácticamente depreciable y una dimensión que pasa desapercibidas. De acuerdo a los datos técnicos de las platinas especifican que su uso ayuda a incrementar la capacidad de soporte de carga, aumento de la capacidad a flexión de los elementos de madera y puede solucionar errores de diseño por



dimensiones insuficientes. La colocación se ejecuta mediante fijaciones a través de resinas epóxicas, la desventaja es el costo ya que llega a costar \$75 por metro lineal.

Fuente: (García, 2014)

3.11. Rehabilitación en elementos de madera

El proceso de rehabilitación depende del estado en que se encuentre los elementos, quizá el reemplazar o sustituir elementos sea el sistema más viable estética o económicamente. Sin embargo, no se debe olvidar de la composición original del bien, y pretender guardar la misma armonía entre todas las piezas del conjunto (Enriquez, 2014).

3.11.1. Cubierta.

En la actualidad todas las uniones se resuelven con chapas metálicas. Estos soportes y fijaciones se fabrican en medidas estándar pero también se suelen hacer uniones con planchuelas confeccionadas para cada caso particular. Estos elementos han solucionado todos los problemas de uniones que antiguamente se resolvían mediante un elaborado trabajo de carpintería (Lefevre & Cano, 2016).

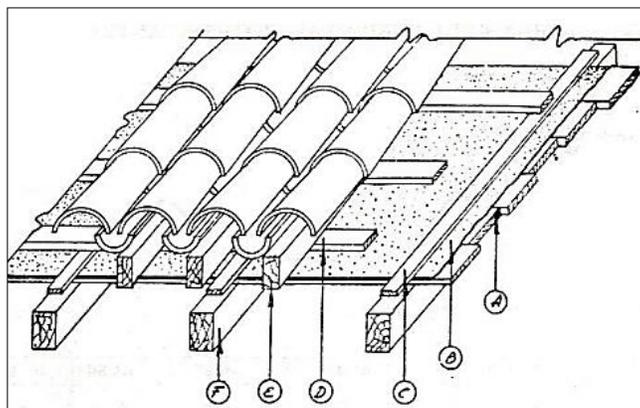


Figura 13. Rehabilitación de cubierta tipo español. **Fuente:** (Lefevre & Cano, 2016).

Tabla 8

Elementos de una cubierta tipo español

Símbolo	Descripción
A	Entablado de 1"
B	Un fieltro o techado en seco
C	Un listón sobre cada cabio para fijar el fieltro
D	Alfajía de 1"x3" c/30 cm
E	Listón caballete 1"x3 1/2" c/22 cm
F	Cabio (escuadría variable) c/60 cm

Fuente: (Lefevre & Cano, 2016).

Las tejas superiores se clavan sobre E; las tejas cobijas se clavan sobre D. Madera de pino spruce. Peso por m²: 85kg. Peso de cada teja: 2.10 kg. Recubrimiento de las tejas: 10 cm espesor total: 20 cm aproximadamente. Dimensiones: 41x(19.5x14.5). Espesor: 12 cm.

3.11.2. Entrepiso.

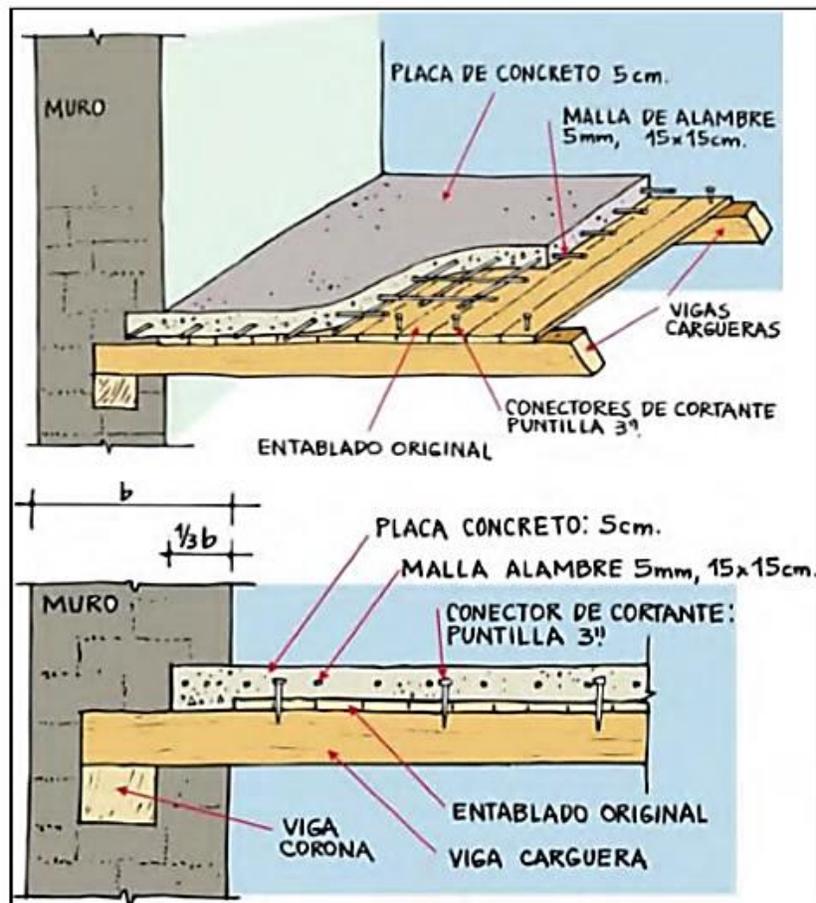


Figura 14. Rehabilitación del entrepiso. **Fuente:** (Rivero, 2010)

Un diafragma efectivo permite distribuir las fuerzas de manera adecuada a los elementos verticales más resistentes y permite absorber los efectos de torsión debido a las irregularidades de la construcción.

4. METODOLOGÍA

4.1. Proceso de la metodología

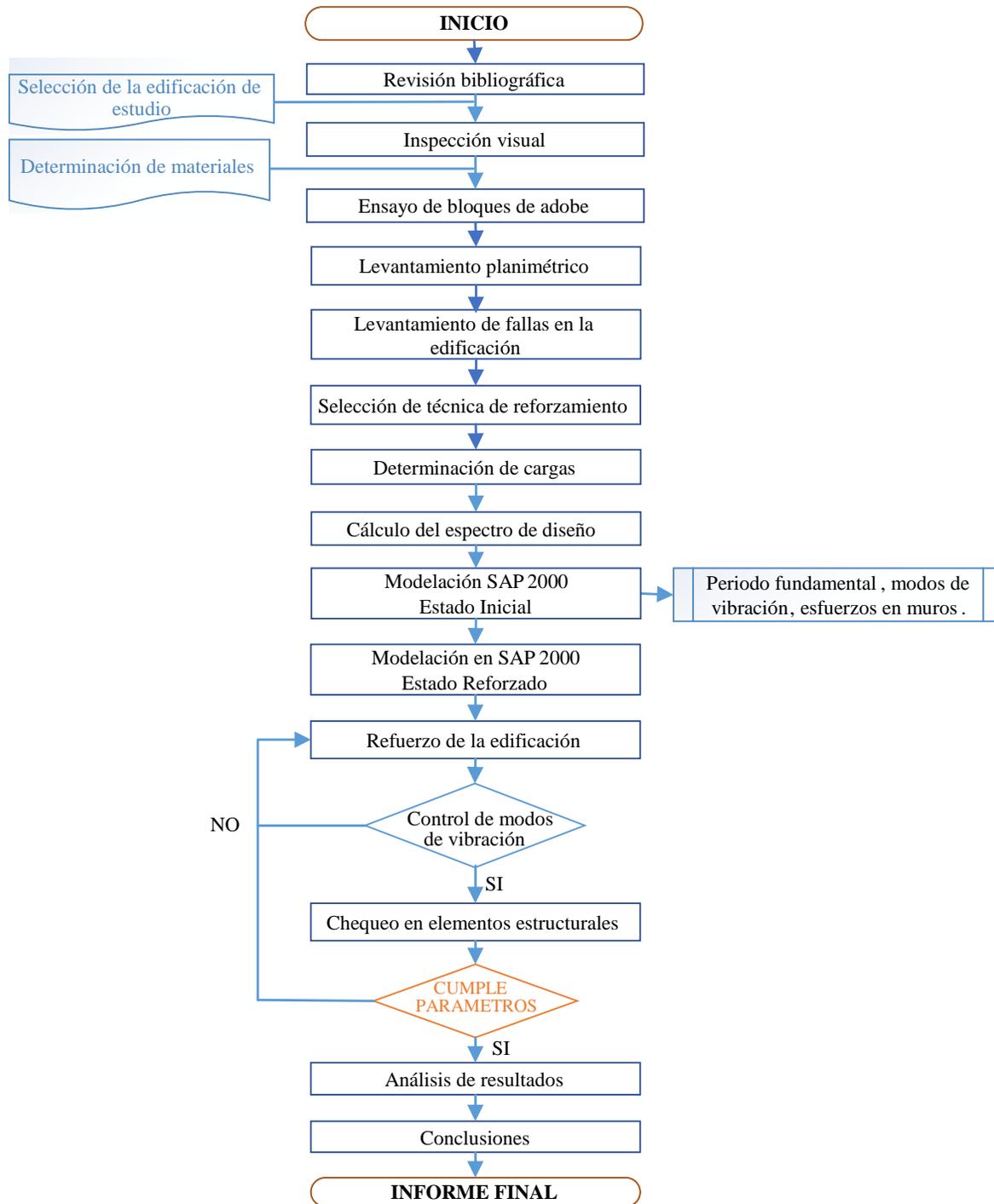


Figura 15. Diagrama de procesos de la metodología del proyecto de investigación. **Fuente:** Autoría propia.

4.1.1. Selección de edificación de estudio.

En la ciudad existen 19 bienes inmuebles antiguos de los cuales dos no poseen intervenciones (Espinoza, 2018). La selección de una edificación es el inicio de la investigación ya que esta debe ser una estructura no intervenida y debe pertenecer a las edificaciones patrimoniales privada de la ciudad para obtener una facilidad de acceso al inmueble para el levantamiento de información. La edificación que se tomó como objeto de estudio es el número 6 con el código EBIA-06 de la Tabla 9. Posee una tipología de muros portantes de adobe con una cimentación de piedra y una cubierta de madera y teja de acuerdo a la ficha de evaluación de las características de bienes inmuebles (Véase **Anexo1**) cuyos datos son validados con la inspección y levantamiento de información.

Tabla 9
Resumen Bienes Inmuebles Antiguos en Estudio

Nº	Nombre	Código	Ubicación	Propietario	Fecha de Construcción	Observaciones
1	Residencia	EBIA-01	Espejo entre Junín y Argentinos	Particular	1950	Si posee intervenciones.
2	Residencia	EBIA-02	Argentinos y Espejo, esq.	Particular	1950	Si posee intervenciones.
3	Residencia	EBIA-03	Velasco y Orozco	Particular	1950	Si posee intervenciones.
4	Jardín General Lavalle	EBIA-04	España y Veloz	Público	1950	No entra en el estudio al ser un bien inmueble público
5	Residencia	EBIA-05	Veloz y España, esq.	Particular	1950	Si posee intervenciones.
6	Residencia	EBIA-06	Veloz y Tarqui, esq.	Particular	1950	No posee intervenciones.
7	Banco Nacional de Fomento	EBIA-07	Primera Constituyente y 5 de Junio	Estatal	1955-1960	No entra en el estudio al ser un bien inmueble público
8	Residencia	EBIA-08	Guayaquil entre Carabobo y Rocafuerte	Particular	1950	No posee intervenciones.
9	Residencia	EBIA-09	Guayaquil y García Moreno, esq.	Particular	1950	Si posee intervenciones.

10	Residencia	EBIA-10	10 de Agosto entre García Moreno y Pichincha	Particular	1950-1960	Si posee intervenciones.
11	Residencia	EBIA-11	Pichincha y Guayaquil, esq.	Particular	1955-1960	Si posee intervenciones.
12	Residencia	EBIA-12	Benalcazar y Guayaquil	Particular	1950	Si posee intervenciones.
13	Residencia	EBIA-13	Velasco entre 10 de Agosto y Guayaquil	Particular	1950	Si posee intervenciones.
14	Colegio María Auxiliadora	EBIA-14	5 de Junio, Guayaquil, Tarqui y Olmedo	Público	1950	No entra en el estudio al ser un bien inmueble público
15	Residencia	EBIA-15	Larrea entre Guayaquil y Olmedo	Particular	1950	Si posee intervenciones.
16	Residencia	EBIA-16	Olmedo entre García Moreno y Pichincha	Particular	1950	Si posee intervenciones.
17	Residencia	EBIA-17	Olmedo y Carabobo	Particular	1950	Si posee intervenciones.
18	Edificio-Residencia	EBIA-18	5 de Junio y Olmedo	Particular	1960	Si posee intervenciones.
19	Dirección de Sistema de Pensiones IEES	EBIA-19	Av. Unidad Nacional	Estatal	1950	No entra en el estudio al ser un bien inmueble público

Fuente: (Espinoza, 2018)

4.1.2. Inspección visual.

Mediante la inspección visual se determinó los elementos estructurales y los tipos de materiales con los que se encuentran construidos, ya que los materiales y técnicas son tradicionales a la época. Para tener mayor referencia del tipo de materiales se realizó una revisión bibliográfica en las fichas de la investigación “Diagnóstico de estado actual de bienes inmuebles antiguos y privados desde 1950 hasta 2017 en la ciudad de Riobamba”.

4.1.2.1. Condición general de la edificación.

Se determinó los elementos de la edificación patrimonial mediante una “Ficha de elementos de la edificación” (Véase **Anexo 2**) tomando en cuenta los siguientes parámetros.

Tabla 10

Parámetros para determinar la condición general de la edificación.

Elemento	Parámetro	Descripción
Cimentación	Tipo	Piedra grande tipo pirca compactada, acomodada con piedras pequeñas. Concreto Ciclópeo. Albañilería de piedra con mortero de cemento o cal y arena gruesa (E.080, 2017).
	Dimensiones	Medición de base y altura.
Sobre cimiento	Tipo	Albañilería de piedra con mortero de cemento o cal y arena gruesa; Concreto ciclópeo (E.080, 2017).
	Dimensiones	Medición de base y altura.
Muros	Tipo	Externo o interno
	Material	Verificar el material de los muros.
	Dimensiones	Medición de espesor y altura
Entrepiso	Material	Tipo de madera
	Dimensiones	Secciones de vigas y entablado
Cubierta	Tipo	Determinar tipo de aguas de cada techo.
	Partes	Identificación de las partes de la cubierta y sus dimensiones
	Materiales	Tipo de madera
		Tipo de teja (Véase Figura 16)
Cielo raso	Materiales	Materiales usados
	Dimensiones	Medición de secciones

Fuente: Autoría propia.

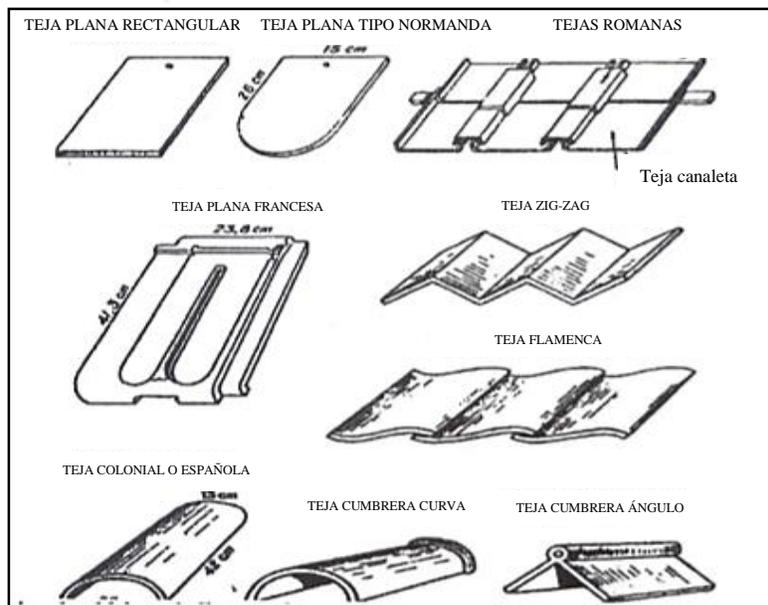


Figura 16. Tipo de tejas. **Fuente:** (Lefevre & Cano, 2016)

4.1.2.2. Identificación de elementos estructurales y sus materiales.

Parte con la verificación de entre todos los elementos de la estructura cuales son los elementos que soportan y transmiten cargas.

4.1.3. Ensayo de bloques de adobe.

El material predominante de la edificación es el adobe por lo que se realizó un ensayo para determinar el módulo de elasticidad ya que no existen estudios locales que determinen este valor.

4.1.3.1. Muestras.

A pesar de la dificultad de obtener los bloques de adobe se logró recolectar tres muestras con las siguientes dimensiones: 13x23x46cm, 13x23.5x46.5cm, 12.5x23x45cm.

4.1.3.2. Tipo de ensayo.

Mediante un ensayo de compresión del adobe es posible obtener el módulo de elasticidad ya que los especímenes presentan mayor resistencia y mayor cantidad de registros de deformación. El comportamiento es muy irregular y diferente a cada espécimen, su parte elástica no está claramente definida, ante esta dificultad se calculó la pendiente entre cada punto y punto de la gráfica de esfuerzo vs deformación (Aguilar & Quezada, 2017).

4.1.3.3. Norma de referencia.

Para obtener el módulo de elasticidad de los especímenes figurados de un bloque adobe (3 cubos de 10x10x10) se empleó la normativa peruana de Diseño y Construcción con Tierra Reforzada E.080. Para determinar el esfuerzo máximo a compresión se empleó 2 bloques de adobe bajo la misma normativa.

4.1.4. Levantamiento planimétrico.

Para tener una concepción de la distribución de los espacios de la edificación se realizó un levantamiento planimétrico y estructural. Con las medidas recopiladas se representa la

distribución arquitectónica de cada habitación a las cuales se les dio una simbología para identificar el nivel, poseen una letra (P=Primera piso y S=Segunda piso) y un número. Los números de color azul representa el número de pared. Los muros están representados de línea continua de color rojo para el primer piso y de color verde para el segundo piso, si no poseen continuidad se los representó con línea entrecortada. Las paredes de madera y virio con línea entrecortada de color amarillo.

Tabla 11

Simbología de la edificación en planta

Símbolo	Representación
	Muro primer piso (Rojo)
	Muro segundo piso (Verde)
	Pared de madera y vidrio (Amarillo)
	Balcón (Celeste)
1	Número de pared
P1; S1	Código de habitación
S/M	Sin muro, debido a la caída del muro.

Fuente: Autoría propia.

4.1.5. Levantamiento de fallas en la edificación

4.1.5.1. Levantamiento de fallas en muros y en elementos de madera.

El levantamiento de fallas se registró en función de “*Mecanismos de colapso y patrones de agrietamiento en mampostería de adobe*” y “*Patologías en elementos de madera*”.

La calificación de la madera se ejecutó en función de sus daños y patologías de origen estructural, se planteó una escala de calificación presentada en la siguiente tabla.

Tabla 12

Escala de calificación de elementos de madera

Puntuación	Significado	Acción a tomar
0	Colapso	Reconstrucción
1	Muy mala	Reemplazo

2	Mala	
3	Normal	Reforzamiento
4	Buena	
5	Muy buena	Preservar

Fuente: Autoría propia.

4.1.5.2. Verificación del estado de la cimentación.

Una de las causas fundamentales para presenciar ciertas alteraciones en los cimientos, tiene origen en transformaciones en los terrenos próximos al edificio como son:

- Nuevas construcciones.
- Excavaciones aledañas al edificio.
- Obras subterráneas.
- Modificaciones a la topografía del terreno: cortes y excavaciones.
- Rellenos de tierra.
- La corriente subterránea de agua y las fugas de conducciones enterradas de agua o de redes sanitarias, pueden alterar el terreno y por consiguiente pueden causar daños en los cimientos (Carlucci, 2016).

4.1.6. Determinación de cargas y combinaciones a usar.

4.1.6.1. Cargas.

Los sistemas constructivos de tierra en edificaciones patrimoniales consisten principalmente en muros de adobe; diseñados para soportar cargas verticales (peso propio, entrepisos, cubiertas y otros) y de servicio (carga viva) (Carlos & Torres, 2012). En el desarrollo del proyecto se consideró para el entrepiso una carga viva de 2 kN/m² para vivienda de acuerdo a la NEC-SE-CG y para cargas muertas su peso propio. Para la cubierta se consideró la carga muerta, viva y de viento. Para el cálculo de cargas muertas se debe tener en cuenta el peso unitario de los materiales en estado inicial de la edificación y al ser rehabilitada.

4.1.6.2. Combinaciones de carga.

Para efectos de rehabilitación, las acciones gravitacionales y sísmicas se combinan de manera distinta a la utilizada en el diseño (NEC-SE-RE, 2015). De acuerdo a las cargas actuantes en la estructura presentada en la Tabla 13, se ejecutó las combinaciones de carga en la Tabla 14 (NEC-SE-SG, 2015), considerando los efectos más desfavorables para la estructura representados por las envolventes.

Tabla 13

Cargas actuantes en la edificación

Símbolo	Carga
D	Carga Muerta
L	Carga Viva
W	Carga de viento
Ex	Carga estática de sismo sentido X, definido por el cortante basal.
Ey	Carga estática de sismo sentido Y, definido por el cortante basal
EQx	Carga del espectro de aceleraciones en sentido X.
EQy	Carga del espectro de aceleraciones en sentido Y.

Fuente: (SGR, MIDUVI, PNUD, & ECHO, 2016b)

Tabla 14

Combinaciones de carga

N°	Combinación
1	1.2D+1W+L
2	1.2D-1W+L
3	0.9D+1W
4	0.9D-1W
5	1.1D+0.275L+1Ex
6	1.1D+0.275L-1Ex
7	1.1D+0.275L+1Ey
8	1.1D+0.275L-1Ey
9	1.1D+0.275L+1EQx
10	1.1D+0.275L-1EQx
11	1.1D+0.275L+1EQy
12	1.1D+0.275L-1EQy
13	0.9D+0.275L+Ex

14	0.9D+0.275L-Ex
15	0.9D+0.275L+Ey
16	0.9D+0.275L-Ey
17	0.9D+0.275L+EQx
18	0.9D+0.275L-EQx
19	0.9D+0.275L+EQy
20	0.9D+0.275L-EQy
21	ENV-XX(1-2-3-4-5-6-9-10-13-14-17-18)
22	ENV-YY(1-2-3-4-7-8-11-12-15-16-19-20)

Fuente: (NEC-SE-SG, 2015);(NEC-SE-RE, 2015)

4.1.7. Determinación del espectro.

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a , expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, se proporciona en la Figura 17, consistente con:

- El factor de zona sísmica Z ,
- El tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura,
- La consideración de los valores de los coeficientes de amplificación de suelo F_a , F_d , F_s .

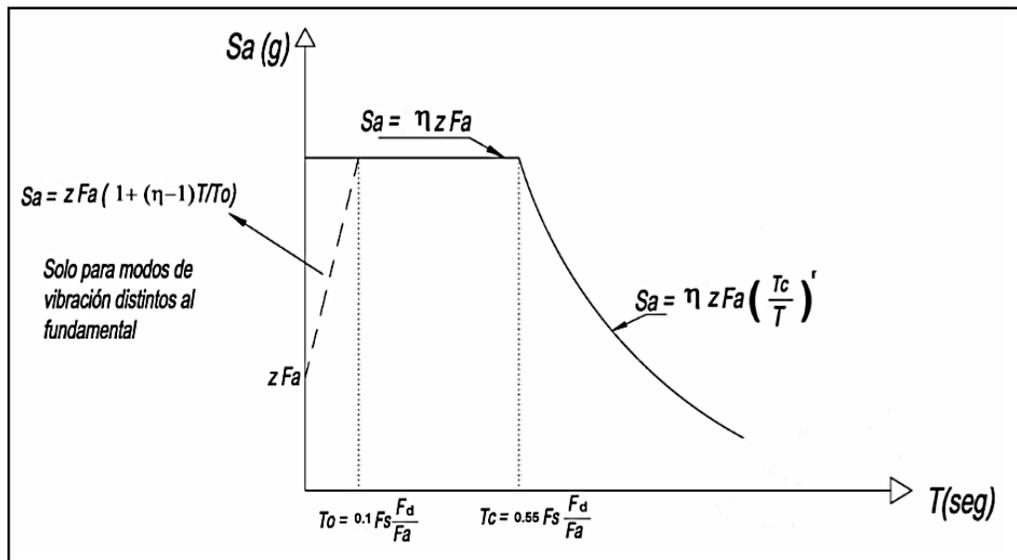


Figura 17. Espectro elástico. **Fuente:** (NEC - SE - DS, 2015).

Tabla 15.

Datos para el cálculo del Espectro de Diseño para la ciudad de Riobamba

Datos	Valor	Referencia
Perfil de suelo	D	(Barahona, Vargas, & Casignia, 2013)
Zona sísmica	V	(Mora, 2012)
Coefficiente de reducción de respuesta estructural R	1	(SGR et al., 2016b)

Para la determinación del perfil del suelo, se localizó el predio en el mapa microzonificación sísmica de suelos de la ciudad de Riobamba representada mediante la Figura 18, que en función de la NEC-11 corresponde a un suelo tipo D.

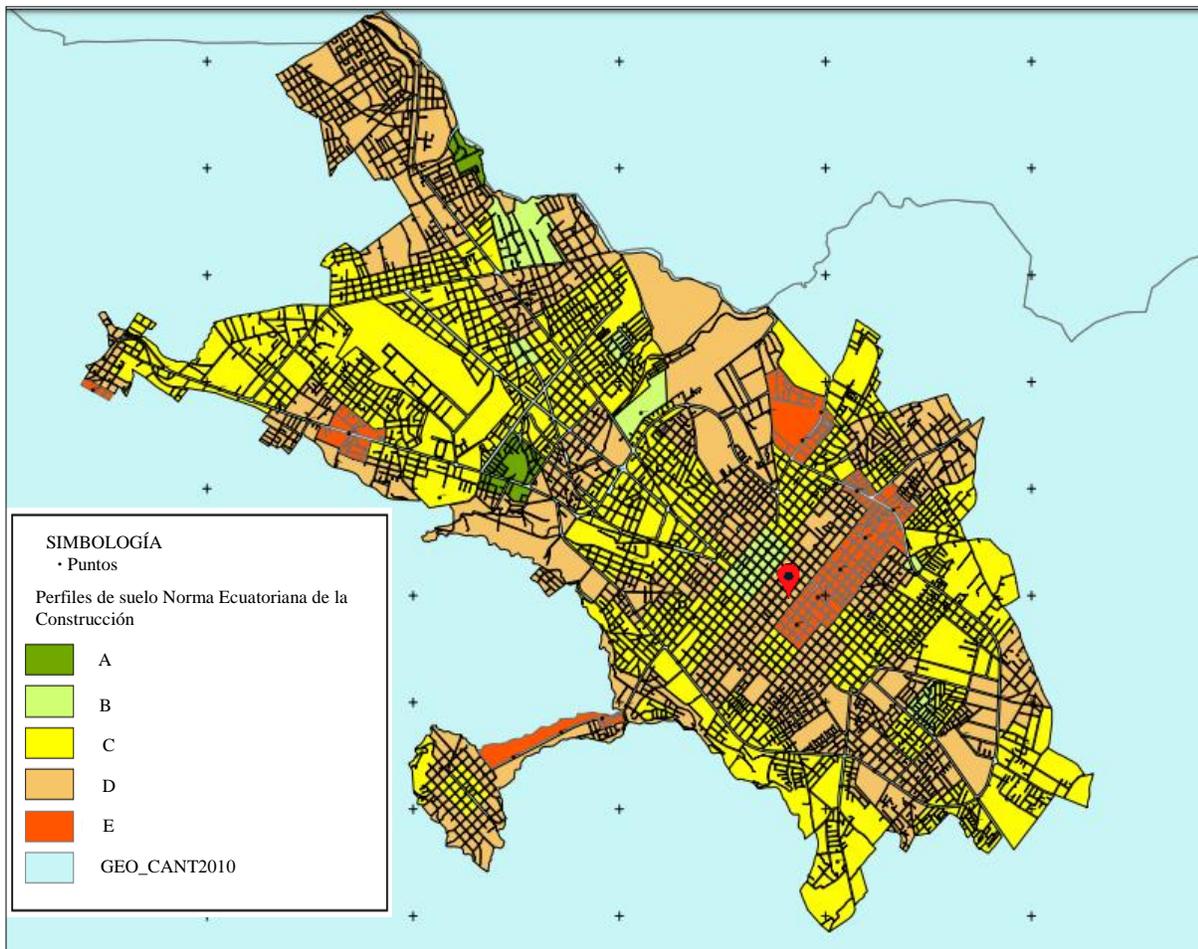


Figura 18. Mapa de zonificación sísmica de los suelos de Riobamba. **Fuente:** (Barahona et al., 2013)

4.1.8. Cálculo del cortante basal.

Es la fuerza total de diseño por cargas laterales, aplicada en la base de la estructura, resultado de la acción del sismo de diseño con o sin reducción, de acuerdo con las especificaciones. El cortante basal total de diseño V , a nivel de cargas últimas, aplicado a una estructura en una dirección especificada, se determinará mediante la siguiente expresión (NEC - SE – DS, 2015).

$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_P \phi_E} W$$

Donde:

$S_a(T_a)$ Espectro de diseño en aceleración, en función del periodo de vibración

$\phi_P \phi_E$ Coeficiente de configuración en planta y elevación

I Coeficiente de importancia

R Factor de reducción de resistencia sísmica.

V Cortante basal de diseño

W Carga sísmica reactiva

4.1.9. Modelación estado inicial.

Al tener la geometría del sistema, identificado los elementos estructurales y sus propiedades, se procede a modelar los muros de la edificación usando un DEMO del software SAP2000 v20. bajo cargas sísmicas, aplicando el análisis modal para las condiciones iniciales y para la estructura rehabilitada. En condición inicial de la edificación no se consideró la cubierta ni los muros derrumbados.

Los elementos lineales como las columnas y los elementos de la cubierta se consideraron para la modelación de tipo Frame. Para la representación del entrepiso se utilizó elementos tipo Membrane la cual solo transmite las cargas hacia los muros, este último se representó mediante elementos Shell debido a que resiste acciones co-planares al área, y perpendiculares al plano. Los

espesores de los muros exteriores al ser diferentes a los muros interiores, es importante considerar el tipo de elemento Shell a usar bajo las siguientes consideraciones.

Tabla 16.

Tipos de elementos tipo Shell

Tipo	Condición	Referencia
Shell Thin (Delgada)	$L/h > 20$	Formulación de Kirchoff
Shell Thick (Gruesa)	$L/h \leq 20$	Formulación de Reissner-Mindlin

Nota: L es la longitud global del elemento área, h es el espesor del elemento.

Dentro de la definición de elementos Shell existe dos espesores, donde el espesor Membrane representa la rigidez axial y Bending para rigidez a flexión, ya que el muro posee cargas axiales y perpendiculares al plano, se consideró los dos espesores iguales. Para la determinación del espesor del entrepiso se calculó una altura equivalente en función de la inercia.

4.1.9.1. Método de elementos finitos

El método de elementos finitos para la modelación, se basa en transformar un medio continuo en un medio discreto, donde se obtiene un modelado formado por un número finito de partes (elementos) unidos en sus puntos nodales, con la finalidad de garantizar la compatibilidad de deformaciones entre los elementos adyacentes conectados adecuadamente, garantizando además que posean los mismos grados de libertad. En cada nodo se obtiene 5 grados de libertad (tres traslacionales U1, U2, U3 y dos rotaciones R1, R2) para elementos tipo Shell y 2 grados de libertad (traslacionales U1, U2) para elementos tipo Membrane.

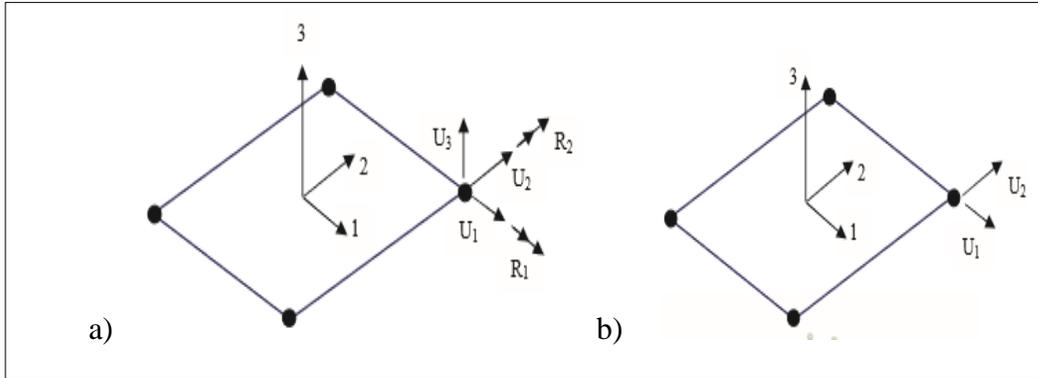


Figura 19. a)Ejes locales de un elemento Shell, b)Ejes locales elementos tipo Membrane **Fuente:** (Hernández, 2014)

Al tener definidos los criterios para el modelo, es necesario considerar la definición del material del que está compuesto los muros. El adobe es un material anisotrópico y heterogéneo, sin embargo, para la modelación con elementos finitos se deben tomar como isotrópico y homogéneo ya que la teoría de elementos finitos utilizada establece estas condiciones. (Bonilla & Merino, 2017b).

Para la modelación de la estructura de adobe en estado inicial se debe tener en cuenta ciertas propiedades descritas en la siguiente tabla.

Tabla 17

Propiedades del adobe

Propiedad	Valor/Unidad	Referencia
Peso Unitario	16 kN/m ³	(NEC-SE-SG, 2015)
Coefficiente de Poisson	0.15	(Bonilla & Merino, 2017a)
Coefficiente de expansión térmica	0.012 mm/m°C	(Fronteiras, 2010)

De acuerdo a (Siza & Martínez, 2009) “El Eucalipto y otras maderas poseen un tipo de simetría Ortotrópico, posee tres módulos de corte, tres módulos de elasticidad y seis módulos de Poisson definidos por los tres ejes ortogonales; pero se puede asumir homogéneo en este aspecto”. Por lo dicho para la investigación se consideró las siguientes propiedades:

Tabla 18.*Propiedades del Eucalipto*

Propiedad	Valor	Unidad	Referencia
Peso Unitario	0.79	T/m ³	(Chimbo & Granda, 2016)
Masa Unitaria	8.056E-07	Kg	(Chimbo & Granda, 2016)
Módulo de Elasticidad E	8701.15	Mpa	(Chimbo & Granda, 2016)
Coeficiente de Poisson U	0.4		(Siza & Martínez, 2009)
Coeficiente de expansión térmica A	0.000003	1/° C	(Siza & Martínez, 2009)
	0.000025	1/° C	
	0.000015	1/° C	
Módulo de corte	3480.46	T/m ²	(Siza & Martínez, 2009)

Nota: El módulo de corte de determino mediante $\tau = E/25$

De acuerdo a (García, 2014) “El deterioro de las propiedades mecánicas, según los años de antigüedad, de maderas de 50 años, presentan una disminución del 10%; mientras que, las maderas de 100 años disminuyen sus capacidades en un 30%”, por lo mencionado se consideró un deterioro del 18% para las maderas de la edificación que posee 69 años de antigüedad. Esta reducción fue aplicada al módulo de elasticidad y corte. Sobre la base de las consideraciones anteriores, para la definición de los materiales véase **Anexo 7.3.1.**

4.1.10. Selección de técnica de reforzamiento.

Para determinar el nivel de intervención en la edificación se determinó el tipo de protección que posee mediante el porcentaje de fallas.

Tabla 19*Nivel de intervención en función del porcentaje de fallas*

Nivel de intervención	Porcentaje
Edificaciones y conjuntos con protección absoluta.	< 25%
Edificaciones y conjuntos con protección parcial.	25 – 50 %
Edificaciones y conjuntos con protección condicionada.	50 – 75 %
Edificaciones con catalogación negativa.	>75%

Fuente: (Aching B et al., 2013)

4.1.10.1. Cimentación.

Para determinar si requiere algún tipo de reforzamiento se realizó una evaluación de los siguientes parámetros.

- Evitar que la humedad ascienda hacia los muros de tierra.
- Todo cimiento debe tener una profundidad mínima de 0.60 m. (medida a partir del terreno natural) y un ancho mínimo de 0.60 m.
- En el caso del sobrecimiento debe elevarse sobre el nivel del terreno no menos de 0.30 metros y tener un ancho mínimo de 0.40 metros (Carlucci, 2016).

4.1.10.2. Muros.

Considerando que los muros son los elementos más importantes en la resistencia, estabilidad y comportamiento sísmico de la estructura de una edificación patrimonial, y que además pueden presentar fallas, deben ser reforzados.

El reforzamiento se determinó considerando la esbeltez (relación entre la altura libre del muro y un promedio de los espesores); mediante la tabla 13 se verifica que tipo de refuerzo es el más adecuado.

Tabla 20

Refuerzo de muros en función de su esbeltez

Esbeltez	Arriostres y Refuerzos Obligatorios	Espesor mín. Muro (m)	Altura mín. Muro (m)
$\lambda \leq 6$	Solera	0.4-0.5	2.4-3.0
$6 \leq \lambda \leq 8$	Solera + elementos de refuerzos horizontal y vertical en los encuentros de muros	0.3-0.5	2.4-4.0

$8 \leq \lambda \leq 9$	Solera + elementos de refuerzos horizontal y vertical en toda la longitud de los muros	0.3-0.5	2.7-4.5
-------------------------	--	---------	---------

Fuente: (E.080, 2017)

Una de las técnicas que cumple con elementos de refuerzos horizontal y vertical son las mallas electro soldadas, por lo que para ésta investigación se consideró el uso de esta técnica para el reforzamiento de muros, además es una de las que se menciona en la Norma E0.80.

La configuración estructural y densidad de muros en planta en un inmueble de mampostería portante reforzada se determina la cantidad de muros estructurales en las dos direcciones, la cuantía mínima en cada dirección debe ser mayor que 1.5% del área total de los muros en la dirección en análisis sobre el área total de la edificación (SGR et al., 2016b).

$$d\% = \frac{A_w}{A_p} > 1.5\%$$

Donde:

$d\%$ Índice de densidad de muros en cada dirección.

A_w Sumatoria de las secciones transversales de los muros confinados en la dirección de análisis.

A_p Área total en planta de la vivienda.

4.1.10.3. Cubierta.

Mediante el levantamiento de patologías en estructuras de madera se determina el deterioro de la cubierta, por lo que para su rehabilitación se consideró el reemplazo de la cubierta disminuyendo su peso, manteniendo testigos de maderas. En la zona que presenta la caída total de la cubierta se plantea una reconstrucción.

4.1.10.4. Entrepiso.

El entrepiso al ser uno de los elementos de la edificación que transmite cargas al muro, también debe ser intervenida mediante el reemplazo de las vigas y el entablado por su alto deterioro, adicionando una losa de hormigón de 5cm.

4.1.11. Modelación estado reforzado

La representación de la de los muros reforzados se consideró como un sistema monolítico que trabaja en conjunto sin ninguna separación. Además, es necesario tomar en cuenta que los muros colapsados van a ser reconstruidos. Para la modelación de los muros, es necesario considerar el aumento del espesor por los reforzamientos.

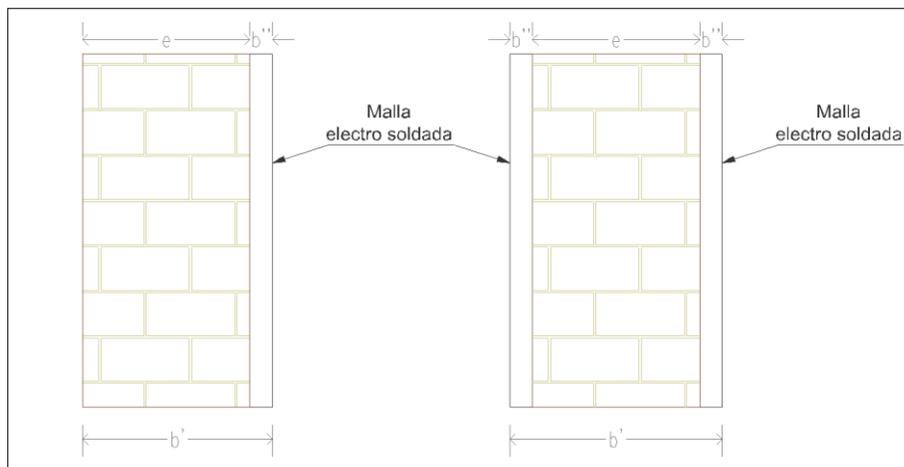


Figura 20. Espesores de muros reforzados. **Fuente:** Autoría propia.

De acuerdo a la JUNAC, las secciones de diseño para maderas son menores a las secciones comerciales por efecto de corte, cepillado y contracción de secado. De manera general, se establece una equivalencia de 1cm menor a las secciones comerciales. Véase **Anexo 7.4.1**.

“El módulo de elasticidad cumple un papel importante en la Rigidez de la estructura por lo que se considera a los adobes la propiedad mecánica del refuerzo” (Arce & Aridriguez, 2014). Por lo dicho en el modelo reforzado para los muros se consideró el módulo de elasticidad de muretes reforzados con malla electro soldada bajo un ensayo de compresión determinado por

(Juárez, Caballero, & Morales, 2010). Para el entrepiso se utilizó el módulo de elasticidad del concreto. Sobre la base de las consideraciones anteriores, para la definición de los materiales véase **Anexo 7.3.2**.

4.1.12. Controles.

Se representó toda la información de la investigación, partiendo de la descripción de la edificación, fallas en muros, patologías en estructuras de madera. Se ejecutó una comparación entre el estado inicial y rehabilitado del periodo fundamental, torsión en planta, los esfuerzos presentes en el entrepiso y muro.

4.1.12.1. Control normativo.

Se determinó las derivas en puntos más desplazados de los muros mediante la siguiente expresión.

$$\Delta_{inelastico} = \Delta_{elastico} * R * 0.75 * 100$$

El coeficiente de reducción R es igual a 1 para mampostería no reforzada y R=3 para mampostería reforzada, tal como lo menciona en la NEC - SE – DS-15, donde $\Delta_{inelastico}$ no debe ser mayor al 1%.

4.1.12.2. Chequeo en muros.

En base a la Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras (SGR, MIDUVI, PNUD, & ECHO, 2016a) se ejecutaron tres controles para muros donde actúan la mayor carga y momento.

- Ecuación unitaria

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1$$

Donde:

f_a : Esfuerzo de compresión calculado en la mampostería, debido solo a carga axial

$$f_a = 1.5 * f_m$$

$$f_m = 0.4 * \phi_e * f'_m$$

f'_m : Esfuerzo máximo a compresión de una pila de adobe.

ϕ_e : Factor de esbeltez <0.75, cuando el factor de esbeltez no está definido $\phi_e = 0.2$

f_b : Esfuerzo de compresión calculado en la mampostería, debido solo a flexión

F_b : Esfuerzo de compresión admisible disponible para resistir solo flexión, y se calcula:

$$F_b = \left(\frac{1}{3}\right) f'_m$$

F_a : Esfuerzo de compresión admisible disponible para resistir solo carga axial; se calcula según

las condiciones dadas por la relación de esbeltez:

$$F_a = 0.25 f'_m \left[1 - \left(\frac{h}{140 r} \right)^2 \right] \quad \text{para } \frac{h}{r} \leq 99$$

$$F_a = 0.25 f'_m \left[1 - \left(\frac{70}{h/r} \right)^2 \right] \quad \text{para } \frac{h}{r} > 99$$

r : Radio de giro.

- Esfuerzos a tracción

$$f_t = \frac{M * c}{I} - \frac{P}{A} \leq F_t$$

Donde:

f_t : Esfuerzo de tracción calculado en la mampostería debido a flexión.

I : Momento de inercia de la mampostería.

P : Carga axial total.

M : Momento actuante.

A : Área transversal del elemento.

c : Distancia desde la fibra más deformada por compresión al eje neutro.

F_t : Esfuerzo de tracción admisible disponible para resistir la flexión.

- Esbeltez

En lugar de límites de esbeltez, utilizar límites en la carga de pandeo para restringir más racionalmente la relación de esbeltez:

$$P_u \leq \left(\frac{1}{4}\right) P_e$$

Donde:

P_u : Carga axial última a compresión.

P_e : Carga de pandeo de Euler.

$$P_e = \frac{\pi^2 * E_m * I_n}{h^2} \left(1 - 0.577 \frac{e}{r}\right)^3$$

La resistencia a compresión de una adobera es de 1.24 MPa, mientras que de una edificación patrimonial que data de 1930 es 0.62 MPa, lo que indica que la resistencia a compresión de la adobera es 50% mayor que la resistencia de una edificación patrimonial ($0.5 * 1.24 = 0.62$); Estos valores son de especímenes con aristas de 10cm (Juárez et al., 2010).

Bajo la consideración mencionada se tomó valores de las propiedades mecánicas de adobe reforzados de una investigación en función de la resistencia máxima de compresión de bloques de adobe de la edificación en análisis ($0.5fp = 4.54$).

Tabla 21

Propiedades mecánicas de muretes reforzados con malla electro soldadas

Propiedad mecánica	Valor	Unidad
fp:	9.12	MPa
fb:	0.44	MPa
Ft:	1.24	MPa
f'm:	4	MPa
Em:	960	MPa

Nota: fp es la resistencia a compresión de piezas de adobe sin refuerzo; $E_m = 240 * f'_m$.

Fuente:(Juárez et al., 2010)

4.1.12.3. Chequeo en elementos de madera.

Para los elementos de madera se ejecutó un chequeo de secciones para las correas, columnas, arriostres y armaduras, que cuenten con condiciones desfavorables. Por último, se determinó las deflexiones en los elementos sometidos a flexión como las correas y armaduras en función del manual de Diseño para maderas del grupo Andino de la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1984).

- Flexo-compresión.

$$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{K_m/M/}{Z * f_m} < 1$$

Donde:

N : Carga axial aplicada.

Z : Módulo de la sección transversal respecto al eje alrededor del cual se produce flexión.

f_m : Esfuerzos admisibles en flexión.

N_{adm} : Carga axial admisible, calculada en función de la esbeltez.

$$\lambda_x = \frac{l_{ef}}{h} \quad ; \quad \lambda_y = \frac{l_{ef}}{b}$$

Para

$$\lambda < 10 : \quad N_{adm} = f_c * A$$

$$10 < \lambda < C_k : \quad N_{adm} = f_c * A \left(1 - \frac{1}{3} * \left(\frac{\lambda}{C_k} \right)^4 \right) \quad ; \quad C_k = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}}$$

$$\lambda > 50 : \quad N_{adm} = 0.329 * \frac{E * A}{\lambda^2}$$

K_m : Factor de magnificación de momentos debido a la presencia de carga axial.

$$K_m = \frac{1}{1 - 1.5 * \frac{N}{N_{cr}}} \quad ; \quad \text{donde} \quad N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{l_{ef}^2}$$

$/M/$: Valor absoluto del momento flector máximo en el elemento.

- Compresión.

$$N_{adm} > N_u$$

- Tracción.

$$N = f_t * A > N_u$$

- Flexo-Tracción.

$$\frac{N}{f_t * A} + \frac{/M/}{Z * f_m} < 1$$

Donde:

$/M/$: Valor absoluto del momento flector máximo en el elemento.

N : Carga axial aplicada (tracción).

A : Área de la sección transversal.

f_t : Esfuerzo admisible en tracción.

Z : Módulo de sección con respecto al eje alrededor del cual se produce la flexión.

El criterio de diseño bajo esfuerzos admisibles para madera, consiste en no mayorar las cargas y reducir el esfuerzo último mediante factores.

Por lo mencionado para la investigación en los dos estados se utilizó los siguientes factores de reducción:

Tabla 22.

Factores de reducción para esfuerzos admisibles

Esfuerzos	Factor
fc:	0.50
fm:	0.31
ft:	0.87

Fuente: Calculado en función de (JUNAC, 1984)

Tabla 23.

Propiedades mecánicas del eucalipto

Propiedad mecánica	Valor	Unidad
Emin:	8701.15	MPa
fc:	5.71	Mpa
fm:	28.94	Mpa
ft:	49.86	Mpa

Fuente: (Chimbo & Granda, 2016)

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Descripción de la edificación de estudio

La edificación patrimonial tomada como caso de estudio pertenece a la época Republicana construida en el año de 1950. Es una edificación de dos pisos donde los materiales usados son correspondientes a la época; en la Tabla 24 se menciona la descripción detallada de los elementos de la edificación. De acuerdo a la tipología, la estructura consta de muros de adobe con fibra natural (paja), cubierta y entrepiso de madera y cimentación de piedra.

Tabla 24

Descripción de los elementos de la edificación patrimonial de estudio.

Elemento	Foto	Descripción
Cimentación		Tipo: Albañilería de piedra de canto rodado con mortero de cemento o cal y arena gruesa. Dimensiones: Muros exterior h=0.70 m b=0.95m Muro interior h=0.70 m b=0.70m
Sobrecimiento		Tipo: Albañilería de bloques de piedra con mortero de cemento o cal y arena gruesa. Dimensiones: Muros exterior h=0.30 m b=0.75m Muro interior h=0.30 m b=0.30m Ubicados solo en muros que están expuestos a la intemperie.

Muro exterior



Conformado por bloques de adobe con fibra natural (paja), colocados de manera trabada y unidas con un mortero de tierra de 2 cm sin fibra natural, el espesor total del muro es de 75 cm, con una altura de entrepiso 3,60 m además posee un recubrimiento de 1 cm del mismo material.

Muro interior



Conformado por bloques de adobe con fibra natural (paja), colocados de manera trabada y unidas con un mortero sin fibra natural de 2 cm, un espesor total 30 cm y un recubrimiento de 1cm. La altura de los muros es de 3,6 m

Sistema de entrepiso



Es de madera donde las vigas que soportan el sistema de entrepiso se encuentran apoyadas directamente sobre los muros de adobe, sin ningún tipo de repartidor de esfuerzos entre ellas y la pared (viga solera). La altura del entrepiso es de 25 cm.
Entablado de madera. Ancho: 0.1 m;
 $e=0.02m$
Sección vigas: 0.1x0.2 m
Material de vigas: Eucalipto

Cubierta



El techo está conformado por tejas de barro cocido tipo colonial que se encuentran colocadas sobre carrizo. Además, cuenta con cerchas de madera (eucalipto) unidas mediante clavos mientras que las correas de palos de eucalipto se encuentran sujetadas mediante cuerdas. La cubierta es tipo español con cuatro aguas, con una inclinación respecto a la horizontal de 30°.

Dimensiones:

Vigas: 0.10x0.20 m

Correas: $\varnothing=0.10$ m

Teja: 0.24 x 0.32, $e=0.01$ m

Palos perpendicular a las correas:

$\varnothing=0.05$ m



Cielo raso



Compuesto por:
Palos de eucalipto de $\varnothing=0.05$ m
Carrizo de caña de $\varnothing=0.02$
Estera de totora de $e=0.005$ m
Recubrimiento de tierra con $e=0.01$

Fuente: Autoría propia.

5.1.1. Elementos estructurales.

Mediante la inspección visual se determinó que los muros de adobe, la cimentación de piedra y las cerchas de madera son elementos estructurales principales, pero el sistema de entrepiso también es considerado como un elemento estructural ya que distribuye las cargas hacia el muro.

5.2. Resultados del ensayo de compresión.

5.2.1. Módulo de elasticidad del adobe.

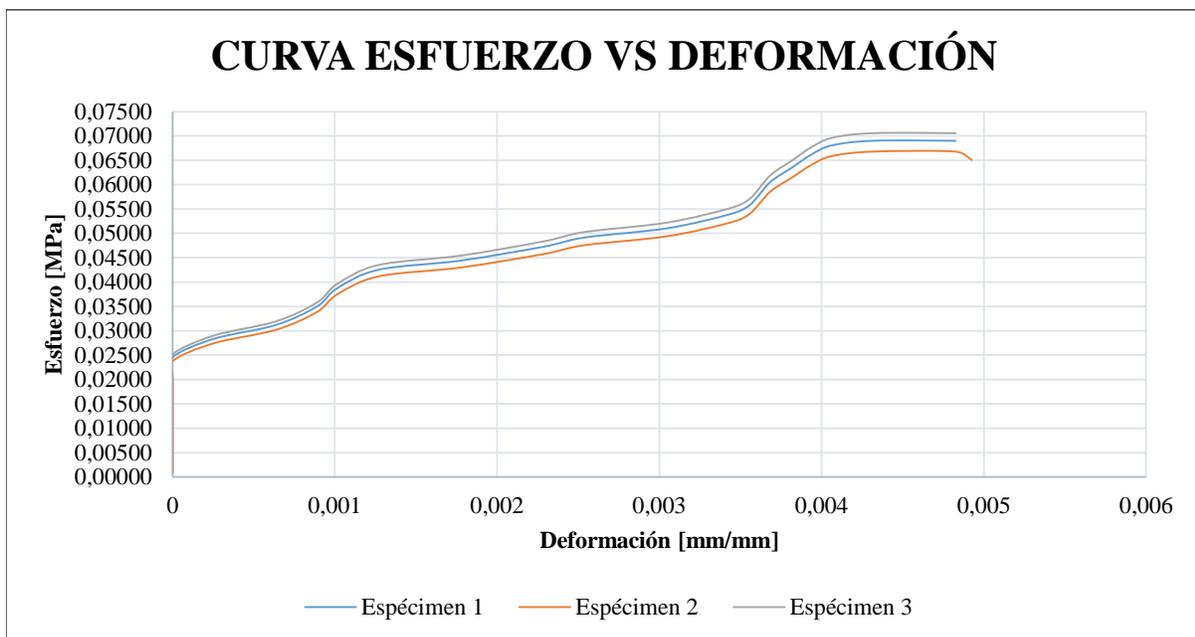


Figura 21. Curva Esfuerzo vs Deformación. Fuente: Autoría propia.

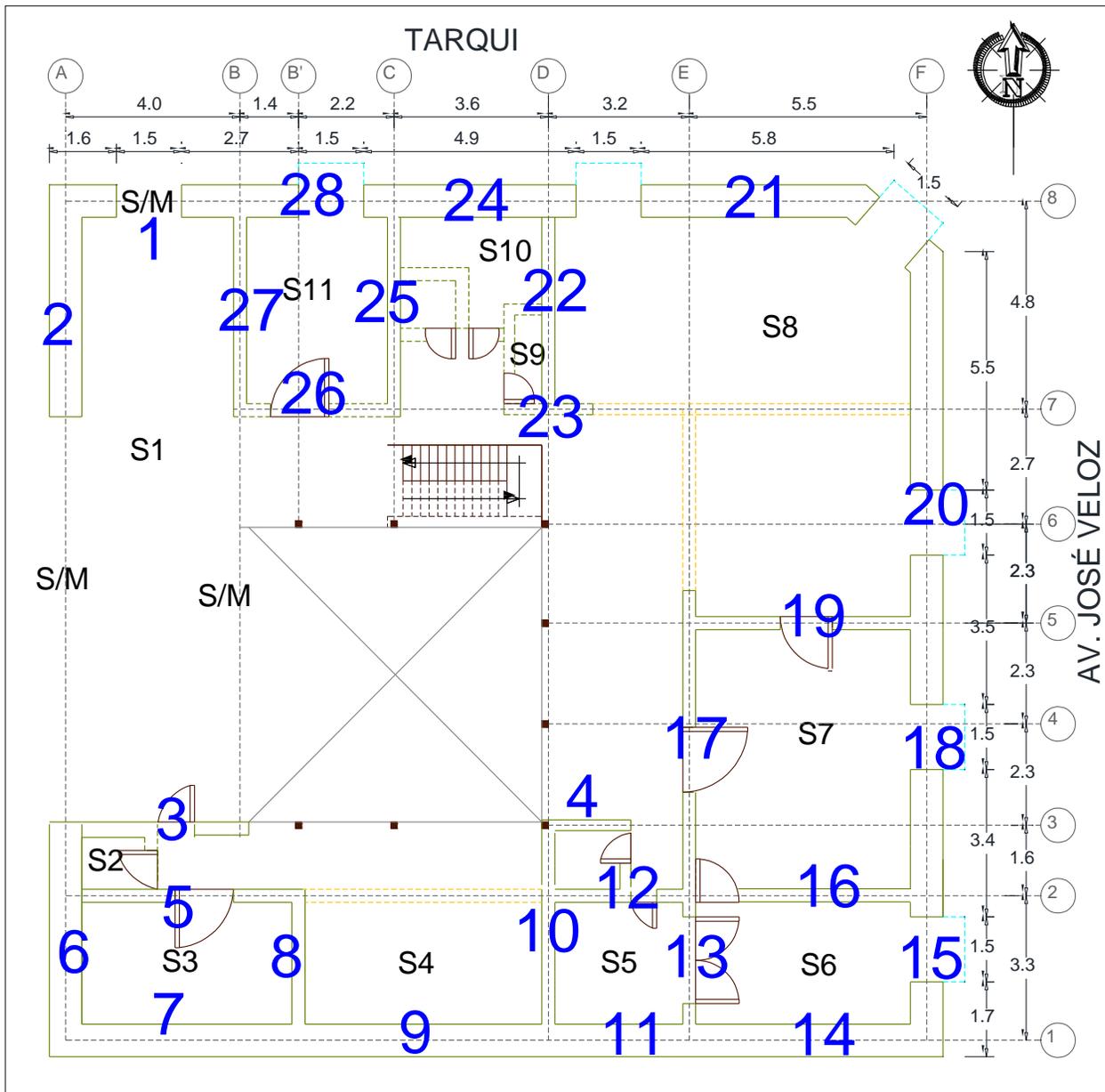


Figura 23. Planimetría – Segundo piso. **Fuente:** Autoría propia.

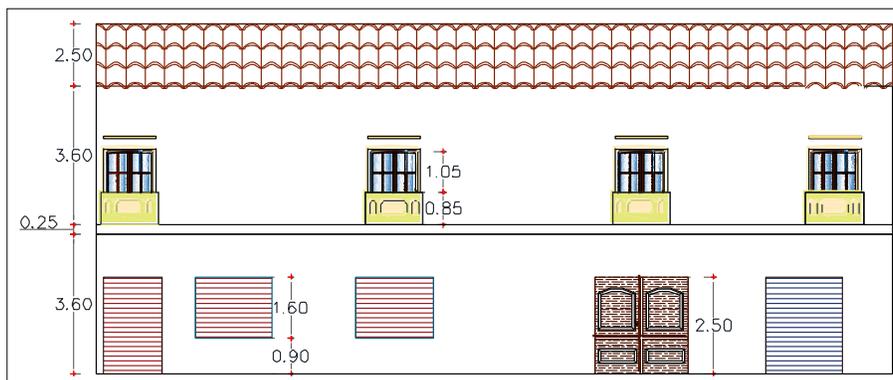


Figura 24. Vista frontal calle Tarqui. **Fuente:** Autoría propia.

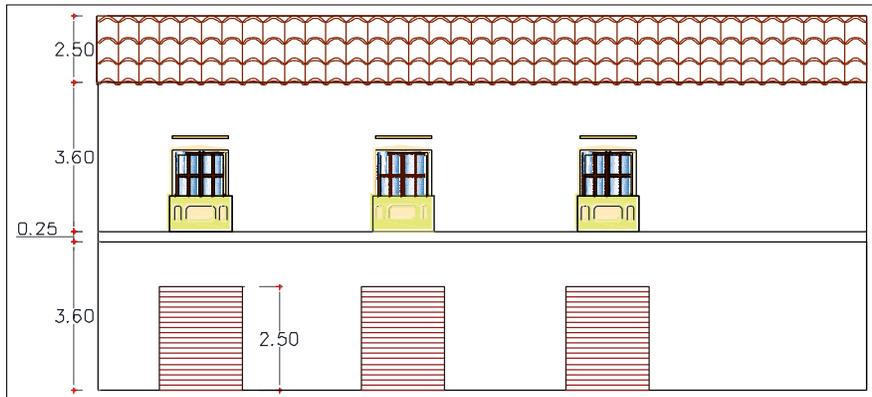


Figura 25. Vista lateral calle Veloz. **Fuente:** Autoría propia.

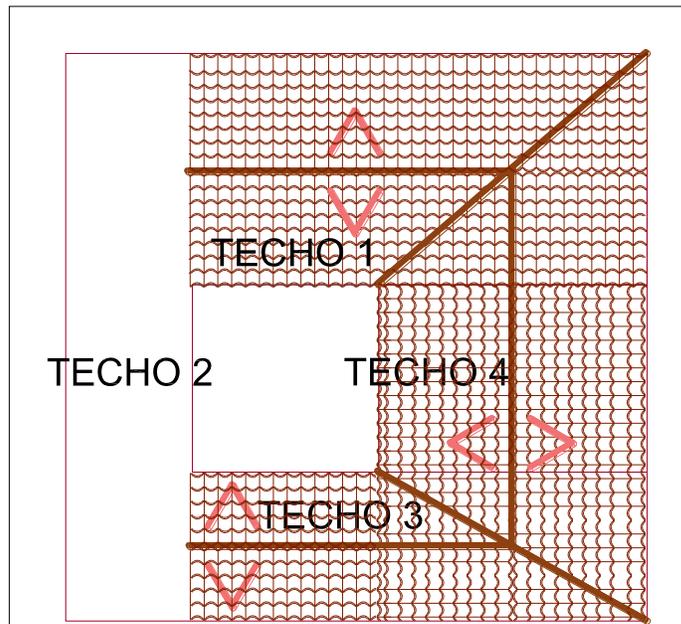


Figura 26. Vista superior- Cubierta. **Fuente:** Autoría propia.

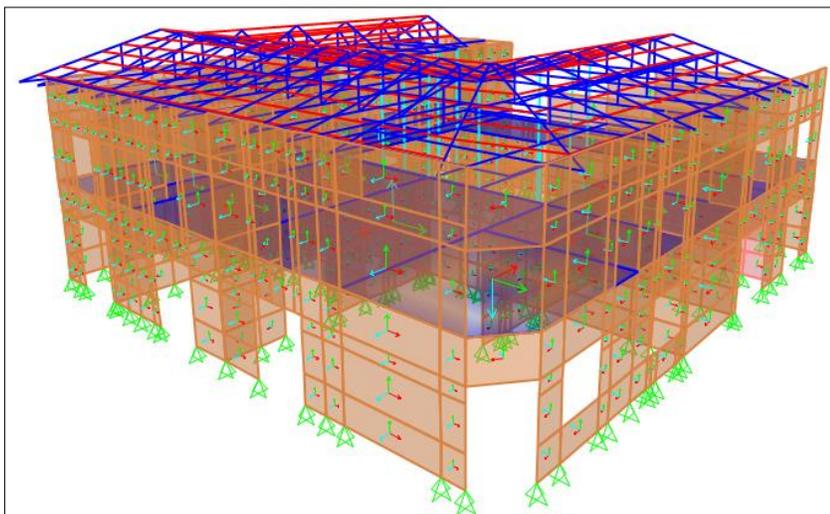


Figura 27. Vista 3D edificación inicial a modelar. **Fuente:** Autoría propia.

5.4. Resultados de fallas presentes en la edificación

Al realizar el levantamiento de campo se identificó las fallas presentes en la edificación de estudio, obteniendo fallas comunes como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 26.

Fallas presentes en la edificación de estudio.

Tipo de Falla	Foto	Descripción
<p><i>Falla 1:</i> Agrietamiento horizontal en la base más agrietamiento vertical.</p>		<p>Presencia de agrietamiento en la base del muro S1-2 debido a que es un muro largo 14.40 m que a consecuencia de la falla provocó la caída de 9.40 m de muro el cual se encuentra reemplazado por una mampostería de ladrillo.</p>
<p><i>Falla 2:</i> Agrietamiento vertical en la zona central.</p>		<p>Presencia de flexión y fisuras en un muro interno de 3.6 m y 2 m de longitud, en la habitación S7-16 y S8-20 respectivamente, la causa de estos dos se debe a que los muros largos. Adicionalmente en el muro S1-3 presenta una falla vertical pero esto se debe a que este muro es corto con una restricción transversal.</p>
<p><i>Falla 3:</i> Falla por flexión perpendicular al plano en las esquinas y muros sueltos.</p>		<p>Presencia de fisuras en todas las esquinas lo que indica que no se encuentran conectadas efectivamente con los muros transversales y desprendimiento de bloques en esquinas de un muro suelto por falta de confinamiento S8-7. Fallas en esquinas: P1-3; P2-5; P3-8; P5-16; P6-18; P7-23; S2-3; S3-5; S4-8; S4-10; S5-13; S6-16; S7-19; S8-22; S11-25; S11-27</p>

Falla 4:
Falla por cortante en el plano del muro.



Fisuras en dinteles de puertas presente en todas las paredes de la segunda planta y en una de la primera planta. Lo que indica que la cubierta y el entrepiso son muy pesados.

Falla en puertas: P2-5; S1-3; S3-5; S5-13; S6-16; S7-17; S7-19; S8-20; S11-26.

Falla 5:
Caída de la cubierta hacia el interior de la vivienda



Caída total de la cubierta del sector S1 debido a que no cuenta con un muro para su apoyo. Caída de los elementos de la cubierta en los sectores S8 y S9 mal apoyo sobre las paredes de madera y vidrio que se encuentran en deterioro

Falla 6:
Falla generalizada de la cubierta.



Alto grado de deterioro por presencia de humedad y apolillado S11. Además, en el sector S2 y S3 presentan indicios de algún incendio.

Falla 7:
Falla por mala conexión de muros del primer piso con el segundo.



Ausencia de un diafragma rígido en el entrepiso en toda la habitación S1. Deterioro de todo el entablado en todas las habitaciones de la segunda planta.



Fuente: Autoría propia.

De acuerdo el levantamiento se determina el porcentaje de fallas por piso y de toda la edificación expresada en las siguientes figuras.



Figura 28. Porcentaje de fallas por piso. **Fuente:** Autoría propia.

Las gráficas indican que la segunda planta posee mayor porcentaje de deterioro debido a que presenta fallas en las cubiertas lo que genera el ingreso de las aguas lluvias provocando humedad en los elementos de madera. El peso de la cubierta y sus malos apoyos generan fallas en los muros a más de las fisuras provocadas por sismos (fallas 1,2 y 3).

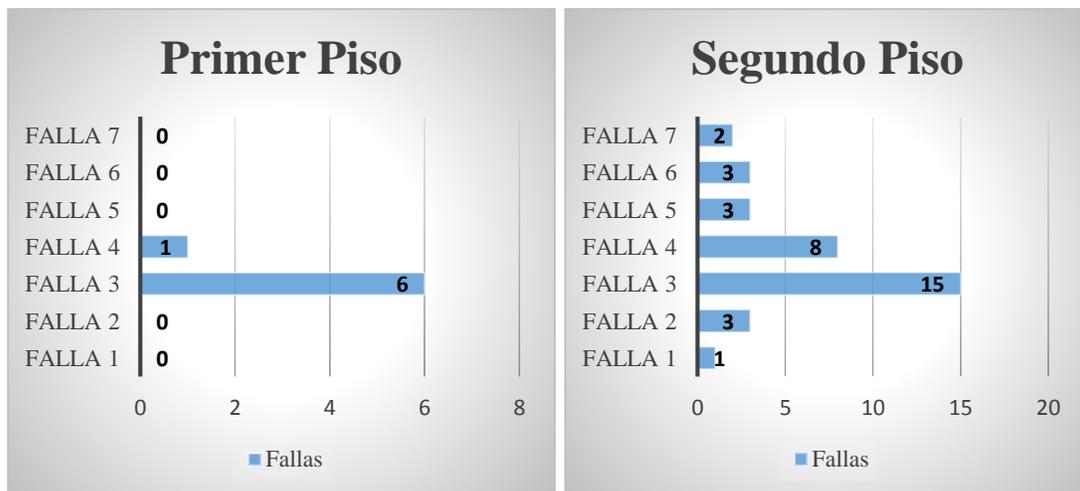


Figura 29. Fallas presentes en cada piso. **Fuente:** Autoría propia.

La Figura 29 representa en el eje de las abscisas la frecuencia de las fallas ubicadas en el eje de las ordenadas. Para las fallas 1,2 y 3 en los muros de acuerdo al levantamiento, trabajan a flexión y los muros que presentan la falla 4 trabajan a corte. Las fallas 5 y 6 representan la

condición de la cubierta en las habitaciones del segundo piso, así como la falla 7 representa la condición del entrepiso.

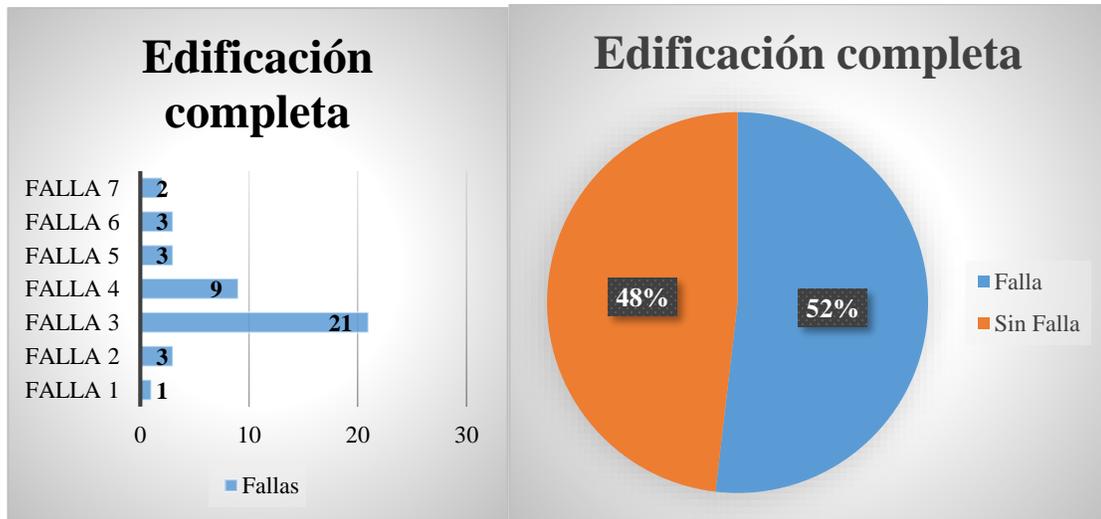


Figura 30. Porcentaje y fallas de la edificación completa. **Fuente:** Autoría propia.

La Figura 30 representa que el 52% de la edificación presenta fallas, correspondiente a edificaciones y conjuntos con protección condicionada. La falla 3 la que más prevalece, por lo que requiere una técnica de reforzamiento los muros. De manera preliminar por el deterioro de la cubierta y el entrepiso se debería realizar un reemplazo de estos elementos manteniendo la configuración con la que se encuentran construidas, pero aplicando algún método que genere un reforzamiento de sus elementos.

5.5. Fallas en elementos de madera

Las columnas, vigas, entrepiso y cubierta componen los elementos de madera de la edificación siendo además elementos estructurales, por lo que se desarrolló el levantamiento del estado de conservación y fallas presentes en este material.

Tabla 27

Estado de conservación de elementos de madera

Elemento	Descripción	Fotografía
Columnas	En todos los elementos de madera expuestos a la intemperie poseen un alto grado de deterioro debido a la humedad por lo que produce presencia de xilófagos, principal causante de la disminución de sección y por tal una disminución en la resistencia.	
Entrepiso	El deterioro en vigas del sistema de entrepiso posee de igual forma un alto grado de deterioro, debido a la presencia de apollillado y por tal la disminución de secciones.	 
Cubierta	El deterioro de la cubierta es muy elevado ya que la presencia de aves que han anidado sobre los elementos y la deficiente impermeabilidad de la totora y tejado provoca el ingreso de las aguas lluvia, causando humedad no solo a los elementos de madera sino también el daño en el cielo raso y muros. Adicionándole las malas conexiones realizadas entre las cerchas y corres que se encuentra enlazadas mediante cuerda que ya están totalmente deterioradas.	

Fuente: Autoría propia.

Tabla 28

Fallas estructurales en elementos de madera

Falla	Descripción	Fotografía
1. Sección insuficiente en elementos estructurales	Las cerchas no presentan deflexiones. Las columnas no presentan pandeo	
2. Deformaciones causadas por el efecto de madera húmeda	Deformación en vigas de entrepiso con una flecha de 0.5 cm.	
3. Fallos en las uniones, ocasionadas por un mal diseño.	Presencia de fisuras en el extremo de la columna.	
4. Roturas locales, propias de la pieza afectada.	Presencia de fisuras en nudos muertos	

5. Excentricidad por mala distribución de cargas.

Presencia de excentricidad de 20cm en una columna del área libre.



Fuente: Autoría propia.

Tabla 29

Calificación de los elementos de madera.

Elemento	Puntuación	Falla estructural presente	Acción a tomar
Columnas	1	3,4,5	Reemplazo
Entrepiso	1	2	Reemplazo
Cubierta			
<i>Techo 1</i>			
Cercha	2	3, 4	Reemplazo
Tejado	1	3	Reemplazo
<i>Techo 2</i>			
Cercha	0	-	Reconstrucción
Tejado	0	-	Reconstrucción
<i>Techo 3</i>			
Cercha	1	3, 4	Reemplazo
Tejado	1	3	Reemplazo
<i>Techo 4</i>			
Cercha	2	3, 4	Reemplazo
Tejado	1	3	Reemplazo

Nota: El tejado está compuesto por las correas, cabio y tejas de barro. **Fuente:** Autoría propia.

La tabla 29 describe la puntuación de las condiciones de los elementos de madera y las fallas estructurales presentes en estos elementos con sus respectivas acciones a tomar.

5.6. Condición de la cimentación

De acuerdo al levantamiento la cimentación del muro P1-4, presenta una excavación aledaña al muro que existía para la construcción de columnas de concreto reforzado los cuales deben ser derrocadas para la rehabilitación. Las demás cimentaciones no presentan ninguna alteración al su alrededor.



Figura 31. Excavación alrededor de la cimentación. **Fuente:** Autoría propia.

5.7. Cargas en estado inicial

Las cargas de la primera planta se colocaron sobre el entrepiso (Membrane). Para la cubierta, la carga muerta y viva se colocan en las correas mientras que las cargas de viento en las cuerdas superiores. En las siguientes tablas se presentan las cargas por metro cuadrado, para transformarlas a cargas distribuidas linealmente se transformó a cargas puntuales para luego dividir las por la longitud de análisis.

Tabla 30

Cargas por metro cuadrado primera planta en estado inicial

Carga	Valor [Kg/m²]	Ubicación
Carga Muerta	41.68	Entrepiso
Carga viva	203.94	Entrepiso

Fuente: Autoría propia.

Tabla 31

Cargas por metro cuadrado para la cubierta en estado inicial

Carga	Valor [Kg/m²]	Ubicación
Carga Muerta	92.62	Correas
	22.72	Cuerda inferior
Carga Viva	137.74	Correa Central
	201.38	Correa Aleros
Carga de Viento	5.86	Cuerda Superior-Barlovento
	-10.65	Cuerda Superior-Sotavento

Fuente: Autoría propia.

Para la cuantificación de la carga viva en la primera planta se consideró el valor estipulado por la norma, mientras que el valor de la carga de la cubierta se determinó mediante la suma de la carga por mantenimiento más la carga generada por ceniza ya que este último fue mayor que la carga generada por el granizo, véase el **Anexo 7.6** el análisis de cargas.

5.8.Modelación en estado inicial

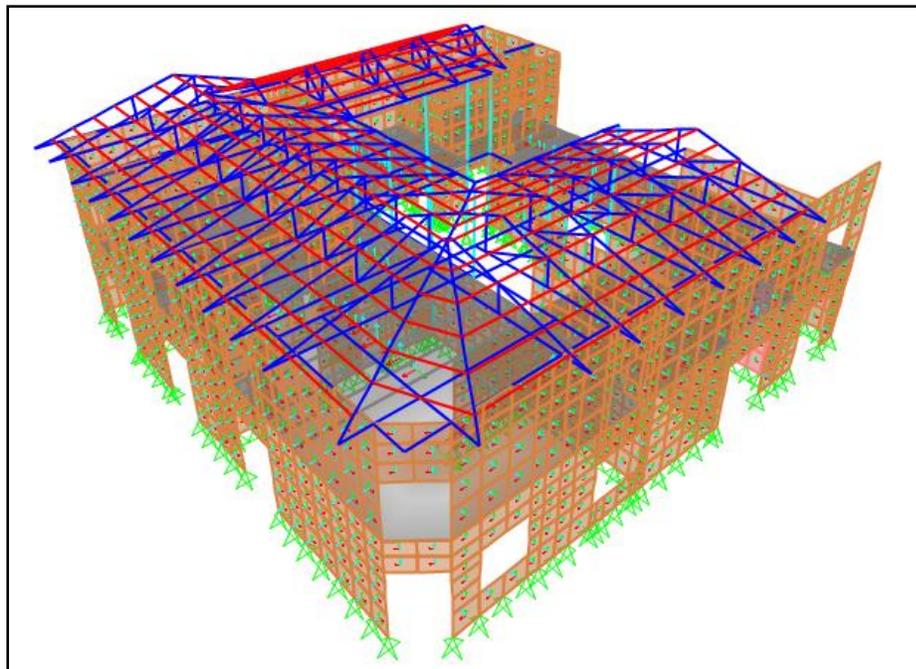


Figura 32. Modelo inicial. **Fuente:** Autoría propia. *Nota:* Véase en **Anexo 3** las propiedades de los materiales.

Entre las consideraciones iniciales para la modelación, son los apoyos en la base de los muros considerados como un apoyo fijo ya que posee una cimentación corrida con poca profundidad de 0.70m, la cual permite rotación, pero no desplazamientos.

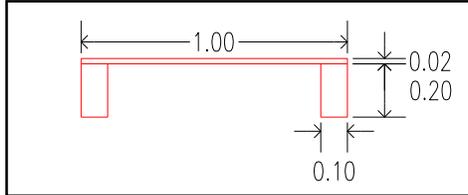


Figura 33. Sección transversal de entrepiso en estado inicial. **Fuente:** Autoría propia

Tabla 32.

Altura equivalente para la modelación del entrepiso en estado inicial

Estado inicial	
$I_{TOTAL}: 6733.33 \text{ cm}^4$	$h_{eq} : 9.31 \text{ cm}$

Fuente: Autoría propia

La altura equivalente para el entrepiso está en función de la inercia. En el **Anexo 4** se presenta las secciones para los muros y cubierta.

5.8.1. Periodo Fundamental.

Tabla 33

Períodos de vibración en estado inicial

Período [s]	
1	1.095
2	1.051
3	1.047

Fuente: Autoría propia.

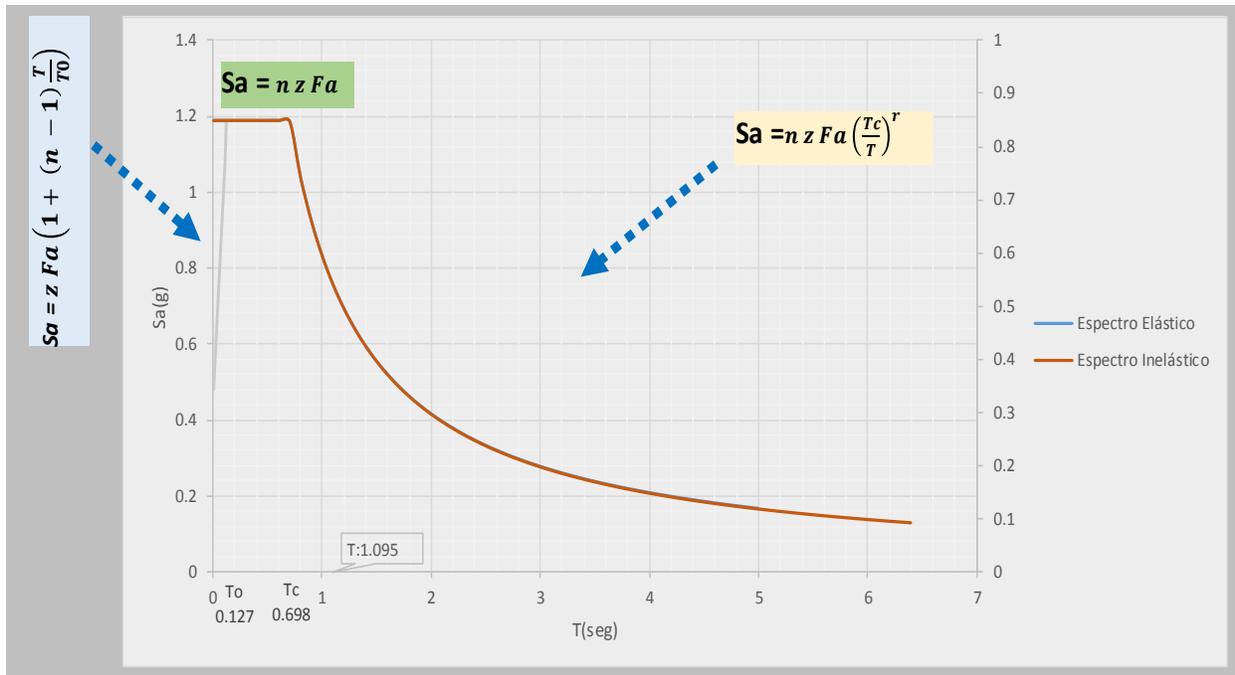


Figura 34. Espectro de diseño para la edificación inicial. **Fuente:** Autoría propia.

El periodo fundamental de la edificación inicial se encuentra fuera de la meseta, esto se debe a que existen muros sueltos. Posee un $S_a=0.759$ y un cortante basal de 0.759 .

5.8.2. Torsión en planta.

El comportamiento ideal se obtiene cuando en los dos primeros modos son traslacionales con un porcentaje de participación de la masa igual o mayor al 90% y el tercero sea rotacional.

Tabla 34.

Participación modal de la masa en estado inicial

UX	UY	RZ
24.27	80.20	46.71
41.62	13.73	53.10
34.11	6.07	0.19
Comportamiento No Ideal		

Fuente: Autoría propia.

5.8.3. Derivas en muros.

Los valores de los periodos están ligados a las propiedades del material que se modeló la edificación, en un inicio se utilizó solo las propiedades del adobe para los muros y el eucalipto para elementos de madera.

Partiendo que el módulo de elasticidad es inversamente proporcional a la deformación se determinó las derivas de un punto de la edificación inicial.

Tabla 35

Derivas de la edificación inicial, sentido “x”

Story	Nodo	Load Case/Combo	UX [mm]	ΔE [s.u]	ΔM [s.u]	CONTROL
N+7.2	184	ENV-XX	272.380133	0.0259	0.0195	No cumple
N+3.6	178	ENV-XX	179.0044	0.0497	0.0373	No cumple

Fuente: Autoría propia.

Tabla 36

Derivas de la edificación inicial, sentido “y”

Story	Nodo	Load Case/Combo	UY [mm]	ΔE [s.u]	ΔM [s.u]	CONTROL
N+7.2	184	ENV-YY	778.093248	0.1934	0.1451	No cumple
N+3.6	178	ENV-YY	81.738136	0.0227	0.0170	No cumple

Fuente: Autoría propia.

5.8.4. Esfuerzos en muros.

Para realizar una comparación entre los esfuerzos actuantes en los muros en estado inicial y reforzado se consideró los ejes *I*, *8*, *A* y *F*, ya que es donde los muros 2, 11, 15 y 21 presentan mayores esfuerzos. Las unidades se encuentran en T- m.

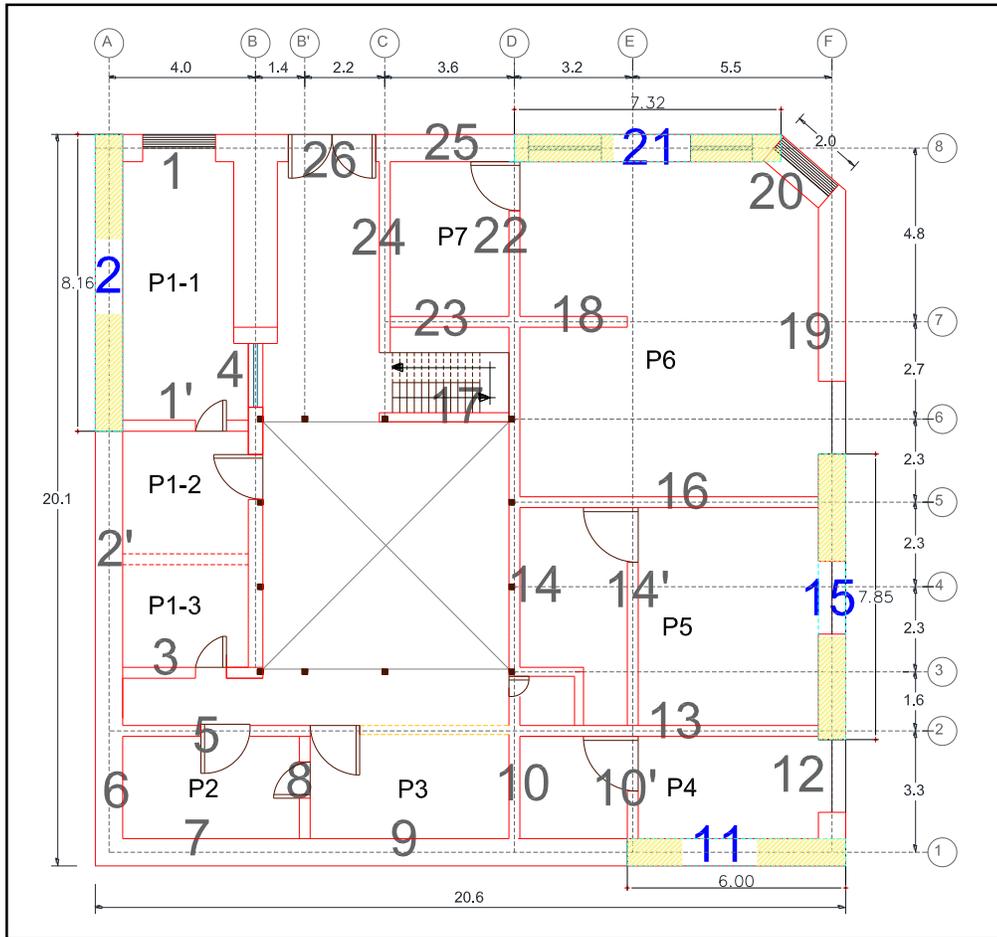


Figura 35. Ubicación de los muros con mayores esfuerzos actuantes. **Fuente:** Autoría propia.

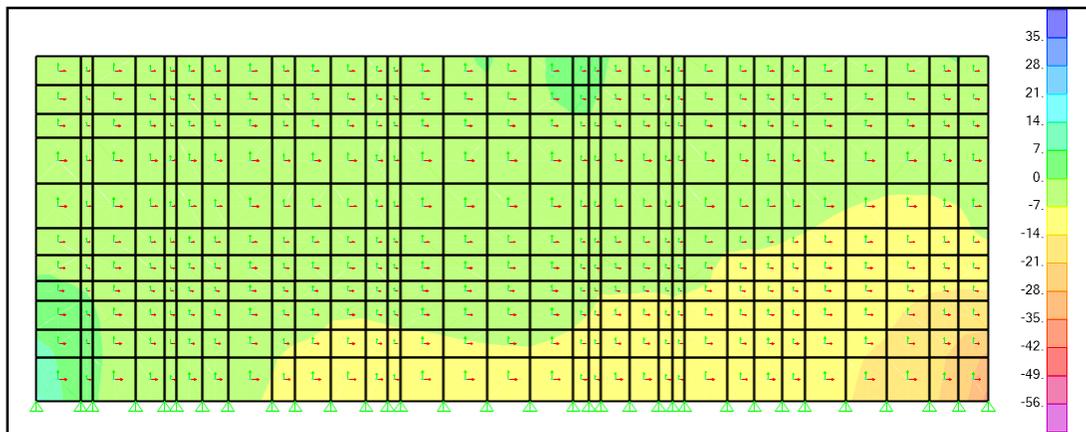


Figura 36. Esfuerzos F22-Eje 1, bajo combinación: $1.1D+0.275L+Ex$; Estado inicial. **Fuente:** Autoría propia.

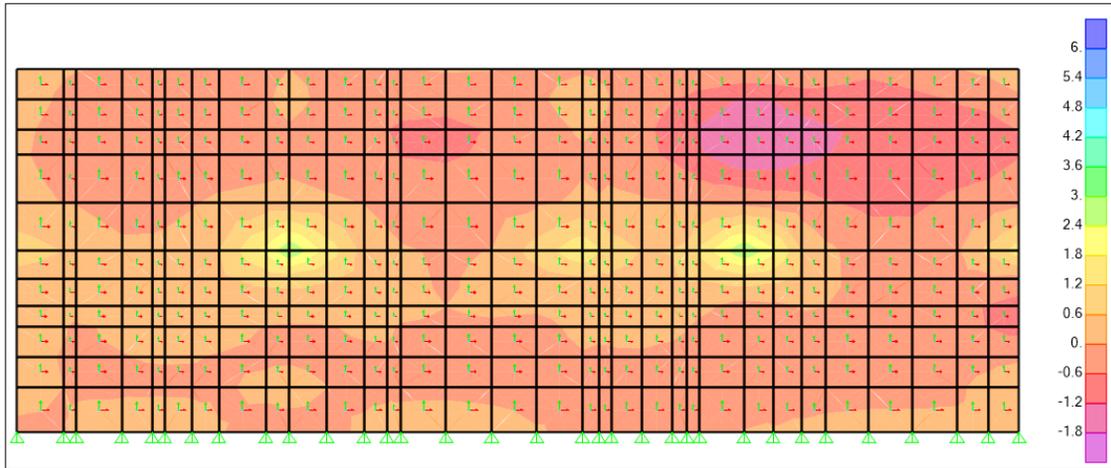


Figura 37. Esfuerzos M22-Eje 1, bajo combinación: $0.9D+0.275L-E_y$; Estado inicial. **Fuente:** Autoría propia.

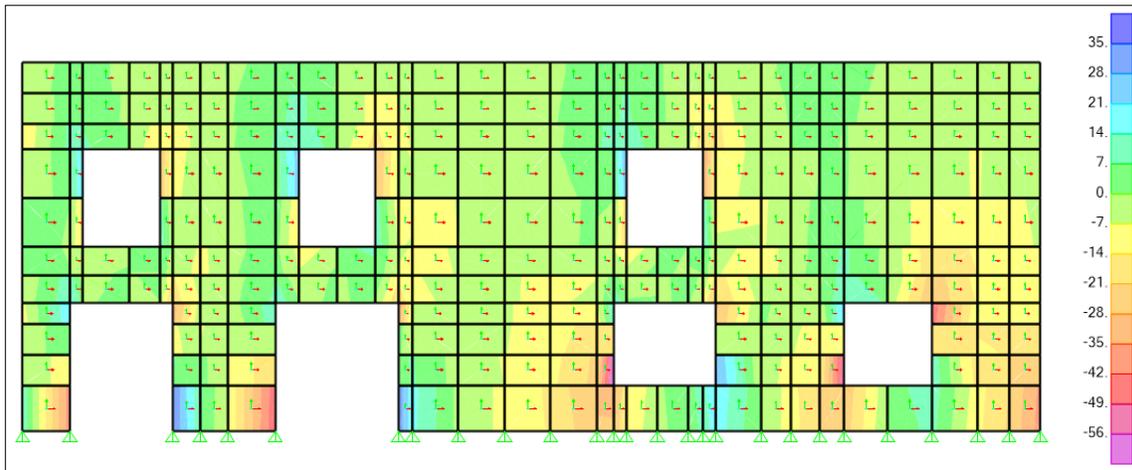


Figura 38. Esfuerzos F22-Eje 8, bajo combinación: $1.1D+0.275L+Ex$; Estado inicial. **Fuente:** Autoría propia.

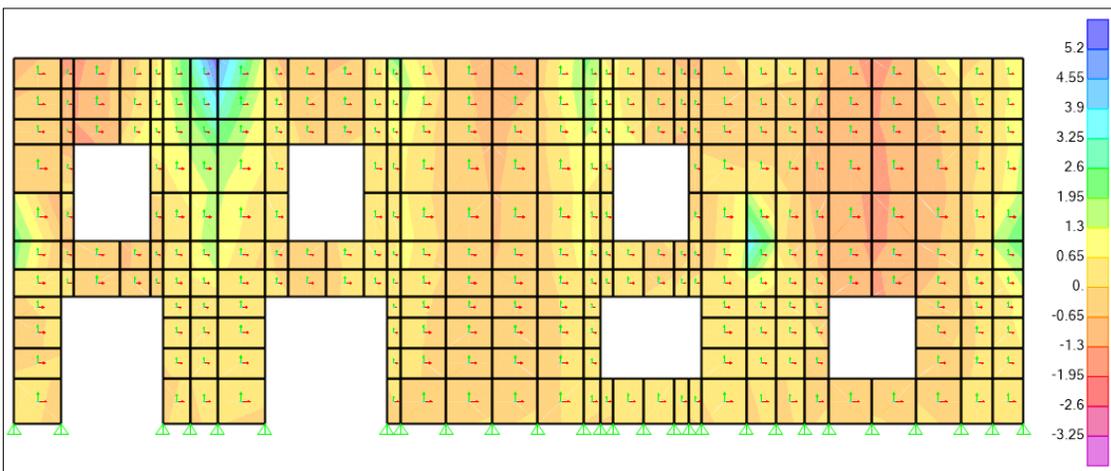


Figura 39. Esfuerzos M11-Eje 8, bajo combinación: $0.9D+0.275L-E_y$; Estado inicial. **Fuente:** Autoría propia.

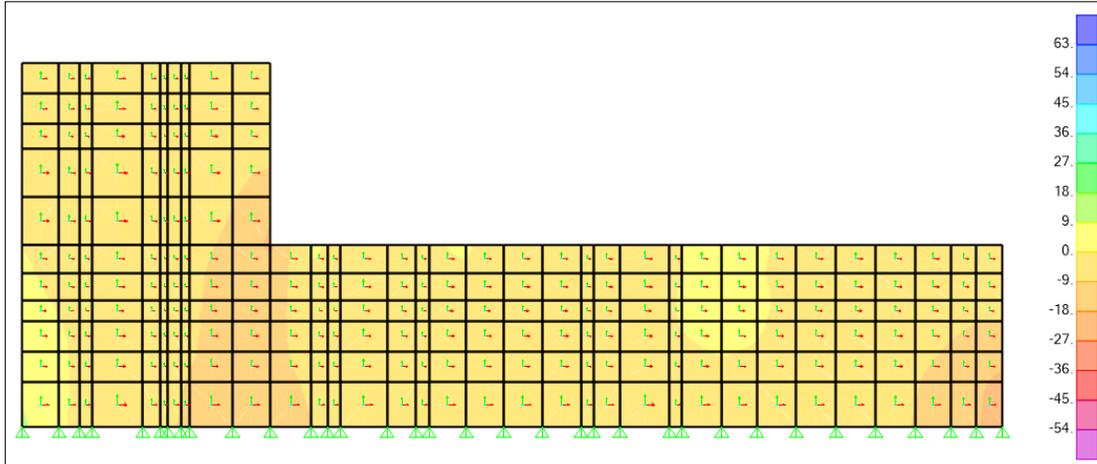


Figura 40. Esfuerzos F22-Eje A, bajo combinación: $1.1D+0.275L+E_y$; Estado inicial. **Fuente:** Autoría propia.



Figura 41. Esfuerzos M11-Eje A, bajo combinación: $0.9D+0.275L+E_x$; Estado inicial. **Fuente:** Autoría propia.



Figura 42. Esfuerzos F22-Eje F, bajo combinación: $1.1D+0.275L+E_y$; Estado inicial. **Fuente:** Autoría propia.

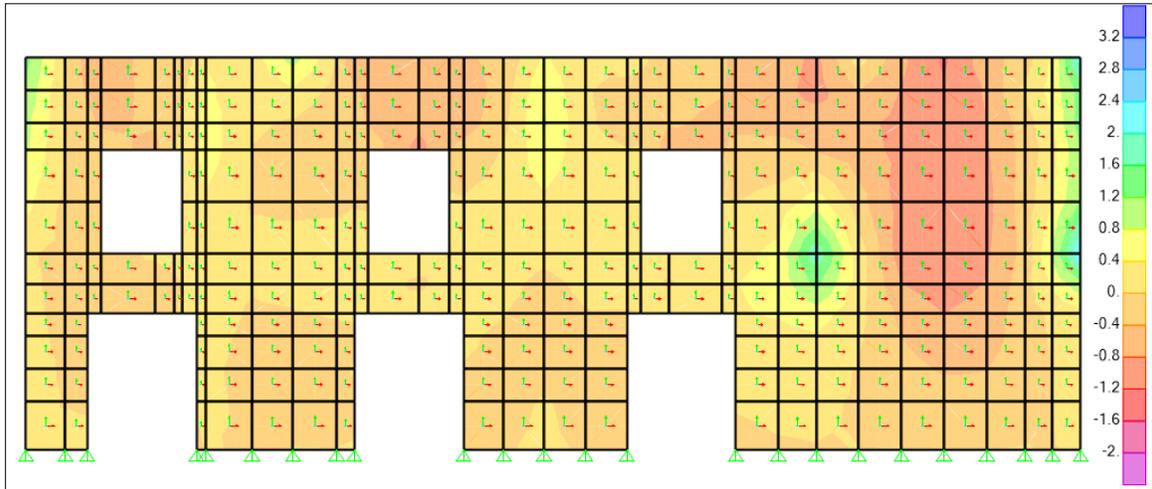


Figura 43. Esfuerzos M11-Eje F, bajo combinación: 1.1D+0.275L+Ex; Estado inicial. **Fuente:** Autoría propia.

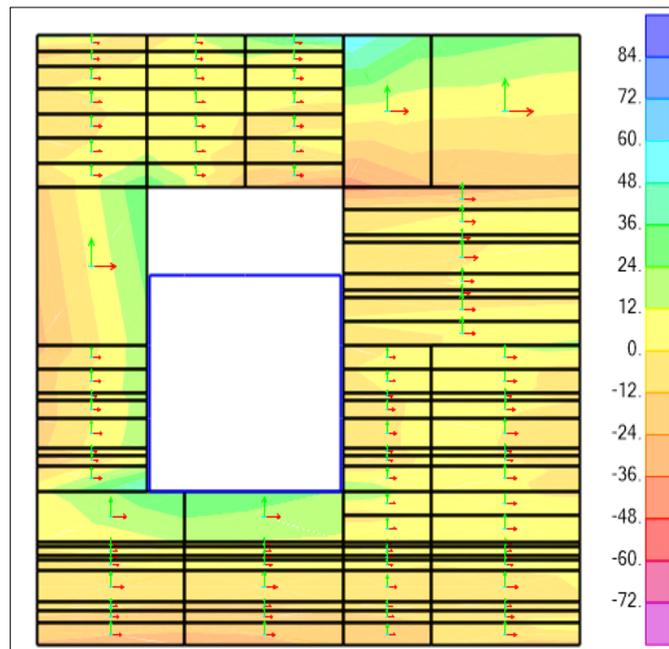


Figura 44. Esfuerzos F11 del entrepiso, bajo la combinación 1.1D+0.275L+Ey en estado inicial. **Fuente:** Autoría propia.

En estado inicial, el entrepiso tiene un esfuerzo actuante máximo de 90.557 T/m.

5.9. Aplicación de técnicas de reforzamiento y rehabilitación de la edificación

5.9.1. Cimentación.

Tabla 37.*Chuequeo de las dimensiones la cimentación*

Elemento	Norma	Muro exterior	Muro interior
Cimentación Sobre cimiento	Profundidad 0.6	0.7 OK	0.7 OK
	Ancho 0.6	0.95 OK	0.7 OK
	Altura 0.3	0.30 OK	0.30 OK
	Ancho 0.4	0.75 OK	0.4 OK

Nota: Todas las dimensiones están en metros. **Fuente:** Autoría propia.

Al verificar las dimensiones de la cimentación, se determina que no requiere ningún tipo de reforzamiento. Además, en la inspección a la edificación no posee ningún asentamiento lo que indica que se encuentra en óptimas condiciones.

5.9.2. Muros.

Con un espeso de 0.5 m promediado y una altura de 3.6 se obtiene una esbeltez de 7.2 lo que se obtiene el siguiente reforzamiento:

Tabla 38*Reforzamiento para muros*

Esbeltez	Arriostres y Refuerzos Obligatorios	Espesor mín. Muro (m)	Altura mín. Muro (m)
$6 \leq \lambda \leq 8$	Solera + elementos de refuerzos horizontal y vertical en los encuentros de muros	0.3-0.5	2.4-4.0

Fuente: (E.080, 2017)

El método aplicado como técnica de reforzamiento es la colocación de mallas electro soldadas en todas las paredes para aumentar la resistencia ante sollicitaciones sísmicas. La solera se considera en los muros de la segunda planta sobre la cual se apoya la cubierta para una distribución de cargas de manera uniforme, considerando un recubrimiento con pintura para los conectores, lo cual evitará su corrosión.

Entre los materiales mínimos para la colocación son:

- Malla electro soldada \emptyset 3.5mm con una apertura de 15x15 cm.

- Varilla de acero corrugado \varnothing 8 mm.
- Alambre galvanizado # 18.

En las siguientes figuras se especifica los detalles constructivos del muro reforzado con malla electro soldada en base a (Fernández, 2015).

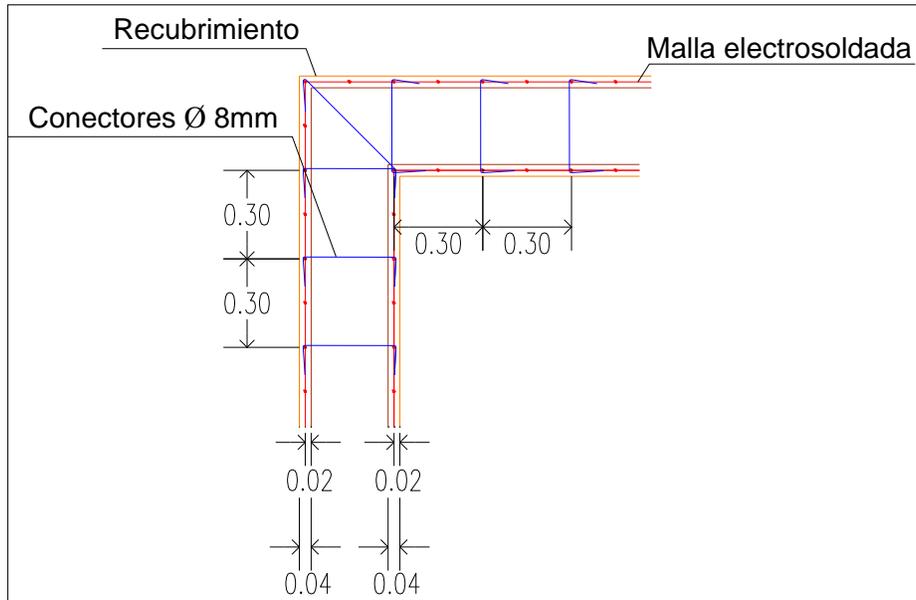


Figura 45. Vista en planta de refuerzo en juntas esquineras, dimensiones en metros. **Fuente:** Autoría propia.

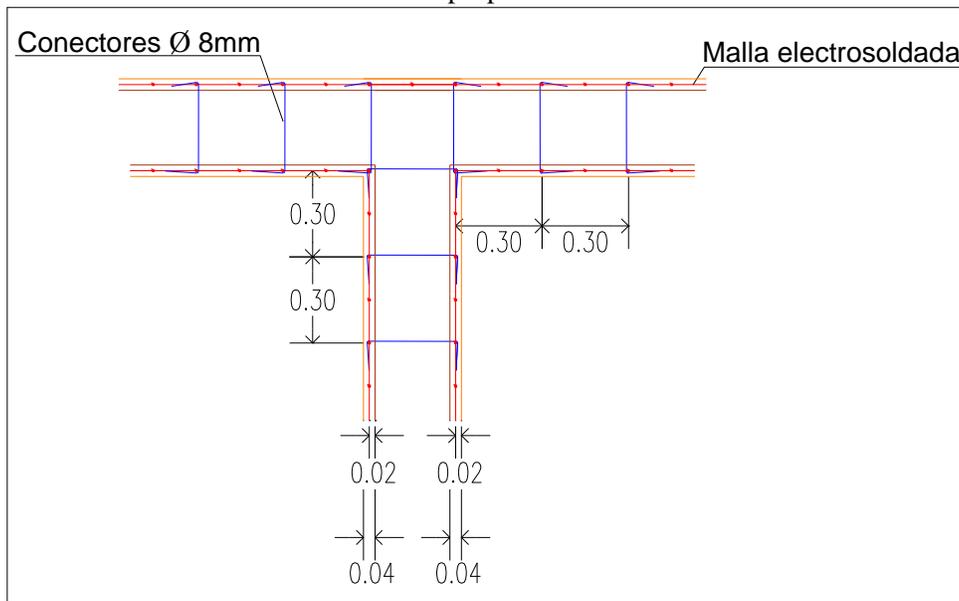


Figura 46. Vista en planta de refuerzo en encuentro de paredes. **Fuente:** Autoría propia.

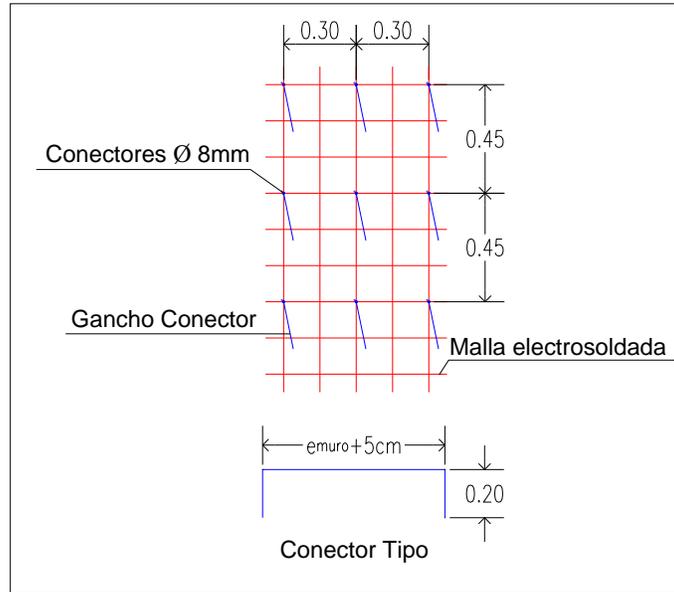


Figura 47. Vista frontal de conectores. **Fuente:** Autoría propia.

Cuando se refuerza los muros es necesario determinar el índice de densidad de muros el cual indica en qué sentido se debe aumentar las secciones para obtener un índice casi igual en las dos direcciones.

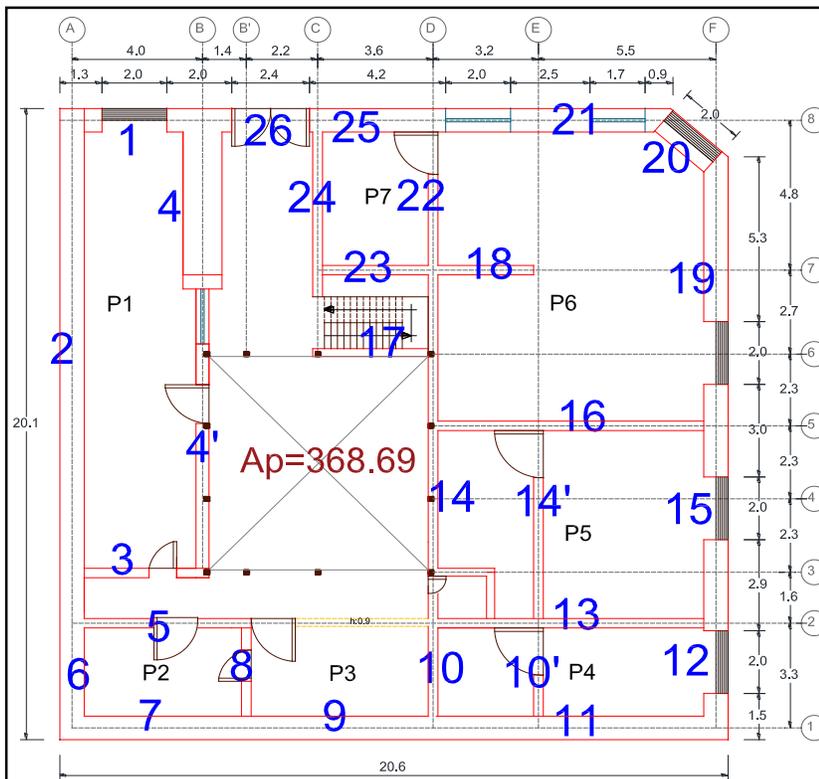


Tabla 39

Índice de densidad

Sentido	Aw	d%	Control
X	40.56	11.00	OK
Y	48.19	13.07	OK

Fuente: Autoría propia.

Figura 48. Muros primera planta, Estado Inicial. **Fuente:** Autoría propia

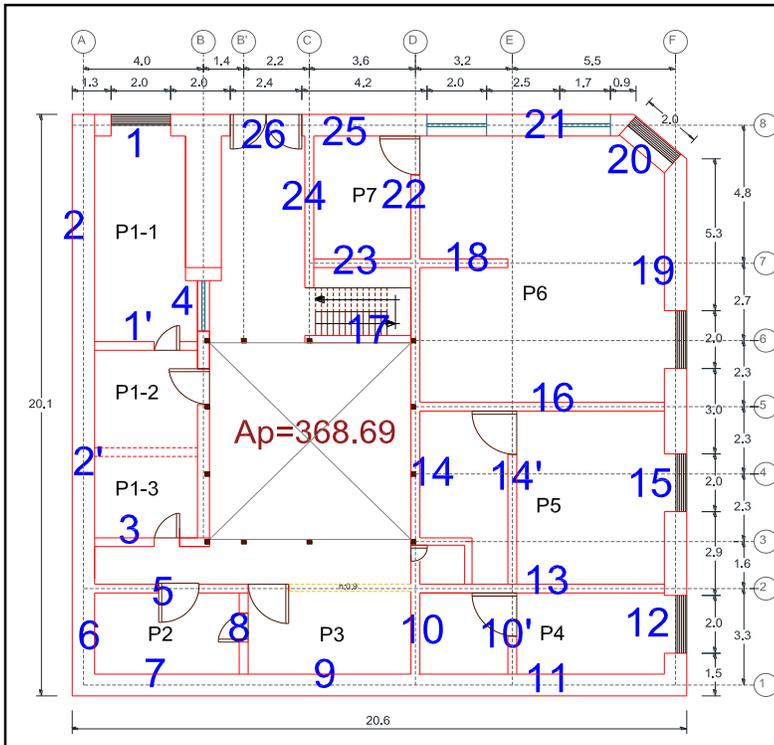


Tabla 40

Índice de densidad

Sentido	Aw	d%	Control
X	45.22	12.27	OK
Y	51.29	13.91	OK

Fuente: Autoría propia.

Figura 49. Muros primera planta, Estado Rehabilitado. **Fuente:** Autoría propia.

La edificación inicial posee una diferencia entre la densidad de los sentidos de un 2% mientras que en el estado Rehabilitado-Reforzado solo se tiene una diferencia del 1% lo que indica que el reforzamiento mejoró el índice de densidad para lo cual se reconstruyeron los muros caídos, y además se aumentó el reforzamiento en el muro 13 con un espesor total de 41 cm y el eje F de 81cm.

5.9.3. Entrepiso.

Un diafragma efectivo permite distribuir las fuerzas de manera adecuada a los elementos verticales más resistentes. Se plantea la siguiente alternativa en función del manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapias pisada, manteniendo las vigas de eucalipto.

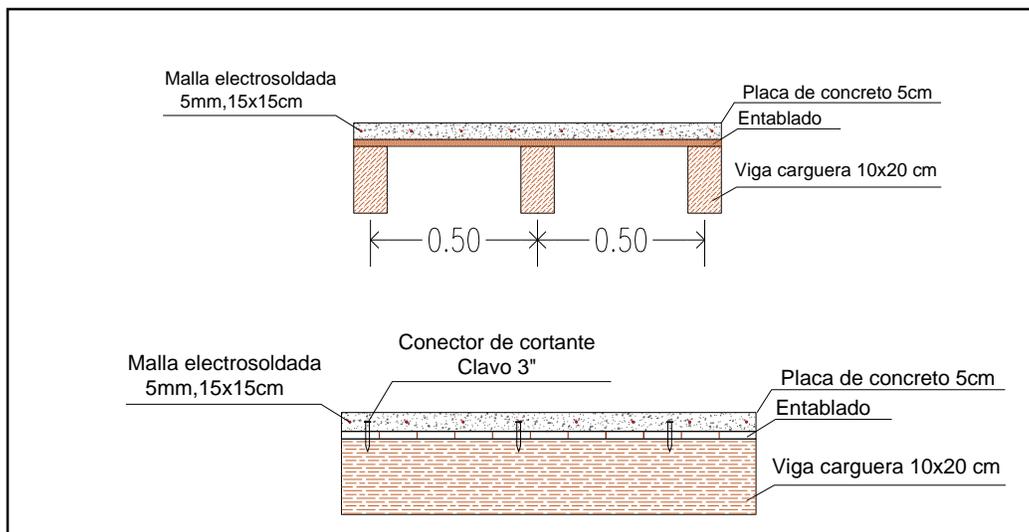


Figura 50. Diafragma. **Fuente:** Autoría propia.

5.9.4. Cubierta

De acuerdo al levantamiento de elementos de madera proporciona que la cubierta posee un alto grado de deterioro, por lo cual se requiere realizar el reemplazo de las cerchas, correas, tejado y cielo raso de los techos 1 y 4, para la conservación del diseño original, se consideró dejar seis testigos de cerchas, tres en el techo 1 y tres en el techo 4 con un tipo de tratamiento de madera. Para la modelación se supusieron sin carga y están ubicados entre la mitad de las nuevas cerchas.

El techo 3 se plantea la restauración total de los elementos, para el techo 2 la reconstrucción por su condición de colapso total, bajo las consideraciones ya mencionadas como lo es manteniendo la composición volumétrica y de materiales.

Los techos 2 y 3 se apoyan sobre muros adosados, para lo cual se planteó la rehabilitados con una sola pendiente (una agua) por facilidad de evacuación de aguas, previniendo la humedad a los muros. adosados.

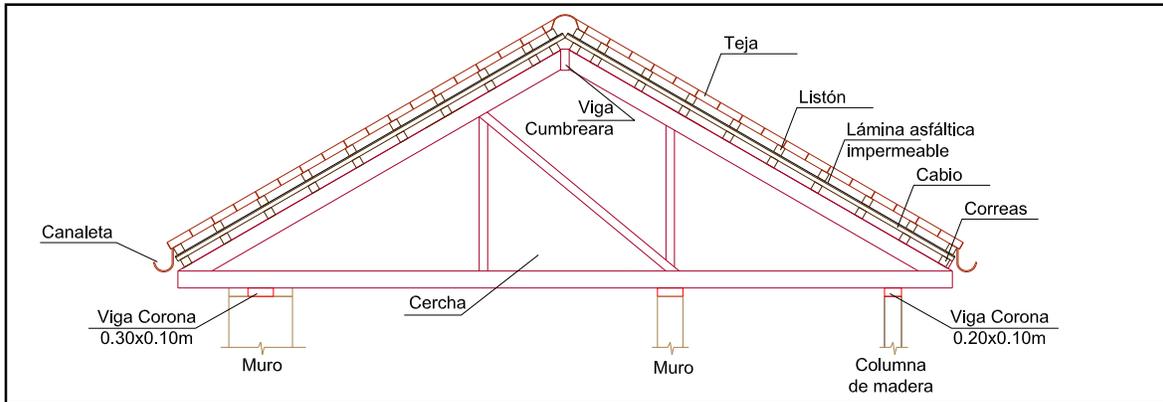


Figura 51. Configuración de la cubierta rehabilitada Techo 1 y 4. **Fuente:** Autoría propia.

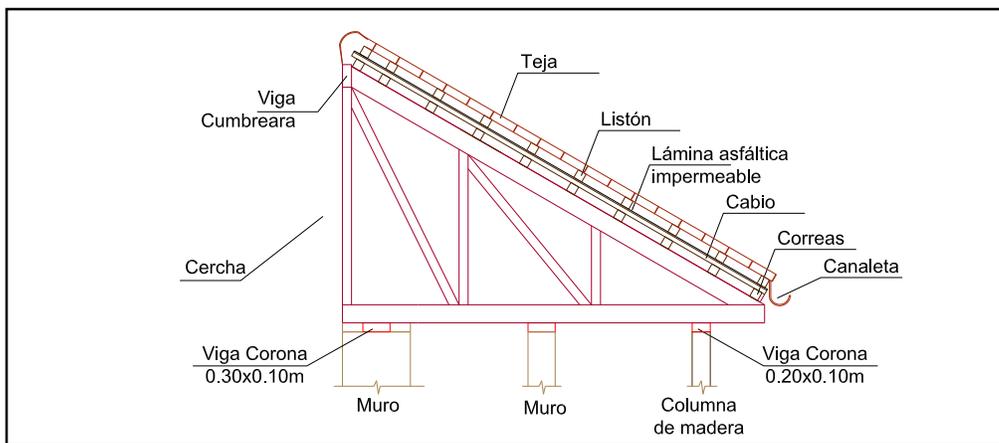


Figura 52. Configuración de la cubierta rehabilitada Techo 2 y 3. **Fuente:** Autoría propia.

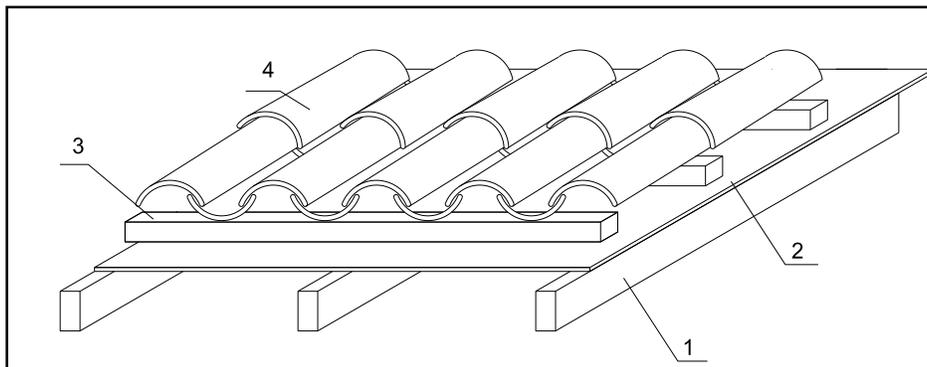


Figura 53. Configuración de la cubierta rehabilitada, ver Tabla 41. **Fuente:** Autoría propia.

Tabla 41

Partes de la cubierta

Código	Descripción
Cercha	Vigas de eucalipto, 10x20 cm.
Correas	Vigas de eucalipto @50cm, 10x10 cm.

1	Cabio @60cm, 5x5 cm; Eucalipto.
2	Lámina asfáltica impermeabilizante
3	Listón longitudinal de Eucalipto @ 30cm, 5x5 cm.
4	Teja redonda paralela de arcilla. Largo: 31.5 cm; Ancho: 15cm; Altura: 5cm; Espesor: 12mm; Peso: 31.09 kg/m ²

Fuente: Autoría propia.

5.10. Cargas en estado reforzado

Tabla 42

Cargas por metro cuadrado primera planta en estado reforzado

Carga	Valor [Kg/m ²]	Ubicación
Carga Muerta	339.83	Entrepiso
Carga viva	203.94	Entrepiso

Fuente: Autoría propia.

Tabla 43

Cargas por metro cuadrado para la cubierta en estado reforzado

Carga	Valor [Kg/m ²]	Ubicación
Carga Muerta	60.77	Correas
	20.39	Cuerda inferior
Carga Viva	137.74	Correa Central
	201.38	Correa Aleros
Carga de Viento	5.86	Cuerda Superior-Barlovento
	-10.65	Cuerda Superior-Sotavento

Fuente: Autoría propia.

La carga muerta en la primera planta en estado inicial es menor al estado reforzado-rehabilitado, esto se debe a que se planteó el uso de una placa de concreto de 5 cm lo cual eleva su peso, pero es necesario ya que este actúa como un diafragma al momento de que se presente el sismo. Para cargas muertas en la cubierta en estado inicial es mayor al del estado reforzado-rehabilitado, esto se debe a que se reemplazó las tejas de barro cocido con mortero por tejas redondas paralelas de arcilla, bajando así el peso de la cubierta, además se cuenta un buen apoyo lo cual disminuye el riesgo que este genere fuerzas que muevan el muro ante un evento sísmico.

5.11. Modelación en estado reforzado

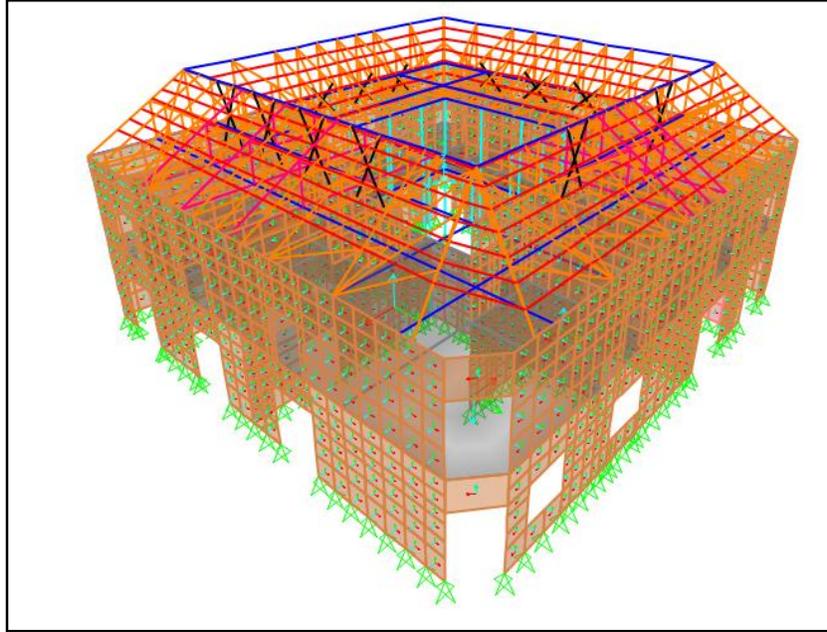


Figura 54. Modelo reforzado. **Fuente:** Autoría propia. *Nota:* Véase en **Anexo 3** las propiedades de los materiales.

5.11.1. Periodo Fundamental.

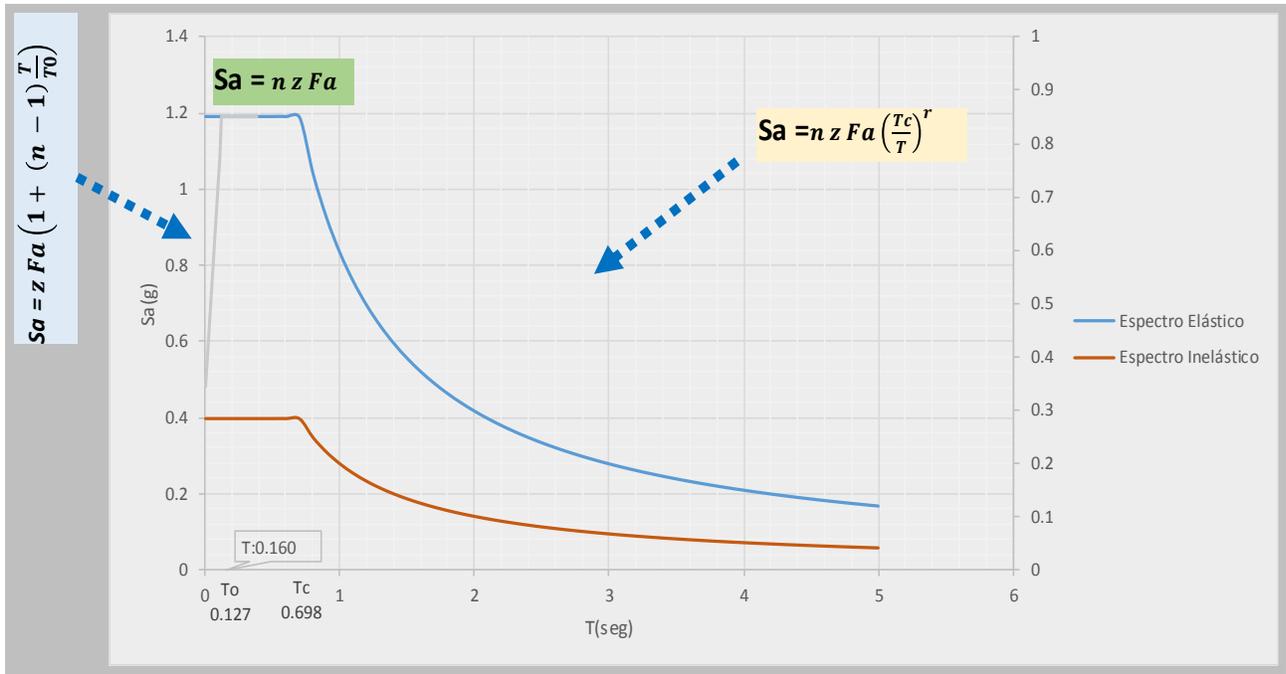


Figura 55. Espectro de diseño para la edificación reforzada. **Fuente:** Autoría propia.

Tabla 44*Períodos de vibración en estado reforzado*

Período [s]	
1	0.1595
2	0.1418
3	0.1312

Fuente: Autoría propia.

El período fundamental de la edificación reforzada se encuentra entre T_o y T_c con un $S_a=1.1904$ y un cortante basal de 0.3968 lo que indica que la edificación absorbe mayor fuerza del sismo. Se puede apreciar que a mayor período posee menor aceleración.

5.11.2. Torsión en planta.

Al presentar torsión en el segundo modo se controló aumentando el espesor del refuerzo en el muro N°16, obtenido un espesor total de 38cm. Entre los procedimientos de rehabilitación se plantea la reconstrucción de muros que presentaban un colapso total, siendo el caso del muro N° 1'. Una vez controlado los muros se procedió a colocar arriostres entre las cerchas de la cubierta, el material usado es eucalipto con dimensiones de 4x6.5 cm. Obteniendo el siguiente comportamiento.

Tabla 45.*Participación modal de la masa en estado reforzado*

UX	UY	RZ
96.55	2.59	32.22
2.83	93.36	43.12
0.62	4.06	24.67
Comportamiento Ideal		

Fuente: Autoría propia.

5.11.3. Derivas en muros.

En el segundo modelo se utilizó el módulo de elasticidad de muros reforzados con mallas electro soldadas.

Tabla 46

Derivas de la edificación reforzada, sentido “x”

Story	Nodo	Load Case/Combo	UX [mm]	ΔE [s.u]	ΔM [s.u]	CONTROL
N+7.2	184	ENV-XX	10.805246	0.0013	0.0010	OK
N+3.6	178	ENV-XX	6.072888	0.0017	0.0013	OK

Fuente: Autoría propia.

Tabla 47

Derivas de la edificación reforzada, sentido “y”

Story	Nodo	Load Case/Combo	UY [mm]	ΔE [s.u]	ΔM [s.u]	CONTROL
N+7.2	184	ENV-YY	7.207836	0.0009	0.0007	OK
N+3.6	178	ENV-YY	4.026855	0.0011	0.0008	OK

Fuente: Autoría propia.

El módulo de elasticidad en estado inicial es mucho menor al usado en el estado reforzado ($143.06 \text{ kg/cm}^2 < 9600 \text{ kg/cm}^2$) por lo que las derivas de la edificación inicial son mayores al de la edificación reforzada, con esto se demuestra que el módulo de elasticidad es inversamente proporcional a los desplazamientos.

5.11.4. Esfuerzos en muros.

Tabla 48

Esfuerzos F22 en muros en sentido “x”

Muros en X					
Eje	Nºmuro	Fmax	Pu (T/m)	Pu(N/mm)	Combinación
1	11	F22	-34.907	-342.32	1.1D+0.275L+Ex
8	21	F22	-62.277	-610.73	1.1D+0.275L+Ex

Fuente: Autoría propia.

Tabla 49*Esfuerzos F22 en muros en sentido “y”*

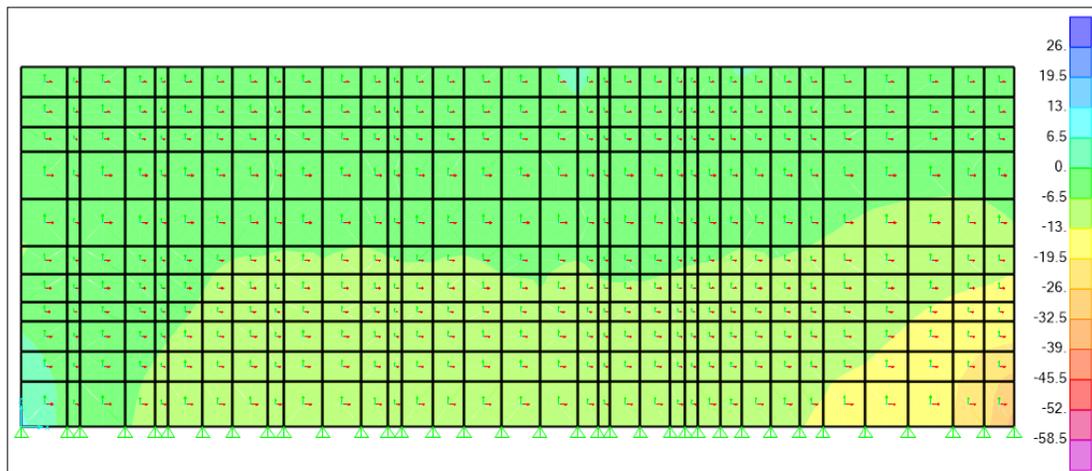
Muros en Y					
Eje	Nºmuro	Fmax	Pu (T/m)	Pu(N/mm)	Combinación
A	2	F22	-30.351	-297.64	1.1D+0.275L+Ey
F	15	F22	-46.737	-458.33	1.1D+0.275L+Ey

Fuente: Autoría propia.**Tabla 50***Esfuerzos M22 en muros en sentido “x”*

Muros en X					
Eje	Nºmuro	Mmax	M (Tm/m)	M (N*mm/mm)	Combinación
1	11	M22	3.12947	30689.64	0.9D+0.275L-Ey
8	21	M11	2.92812	28715.06	0.9D+0.275L-Ey

Fuente: Autoría propia.**Tabla 51***Esfuerzos M22 en muros en sentido “x”*

Muros en Y					
Eje	Nºmuro	Fmax	M (Tm/m)	M (N*mm/mm)	Combinación
A	2	M11	4.00669	39292.2	0.9D+0.275L+Ex
F	15	M11	4.08344	40044.86	1.1D+0.275L+Ex

Fuente: Autoría propia.**Figura 56.** Esfuerzos F22-Eje 1, bajo combinación: 1.1D+0.275L+Ex; Estado reforzado. **Fuente:** Autoría propia.

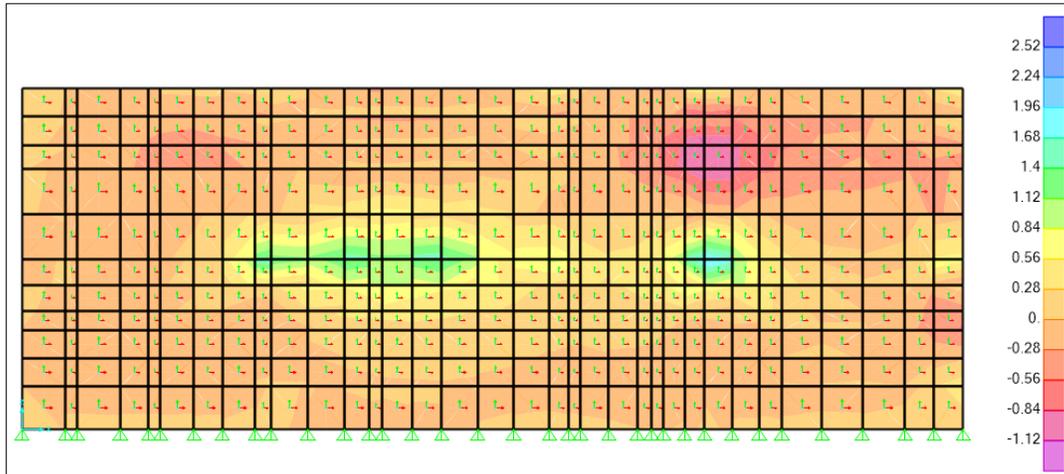


Figura 57. Esfuerzos M22-Eje 1, bajo combinación: $0.9D+0.275L-Ey$; Estado reforzado. **Fuente:** Autoría propia.

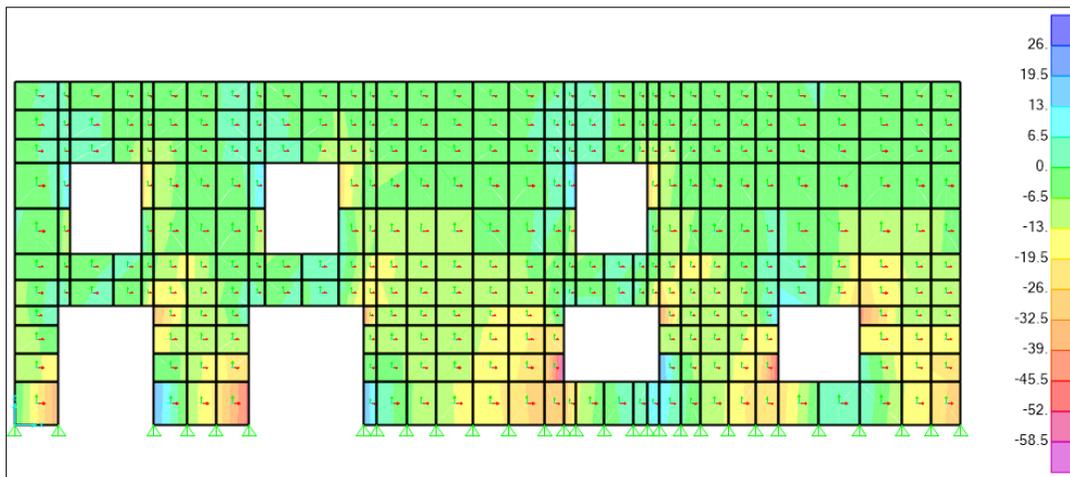


Figura 58. Esfuerzos F22-Eje 8, bajo combinación: $1.1D+0.275L+Ex$; Estado reforzado. **Fuente:** Autoría propia.

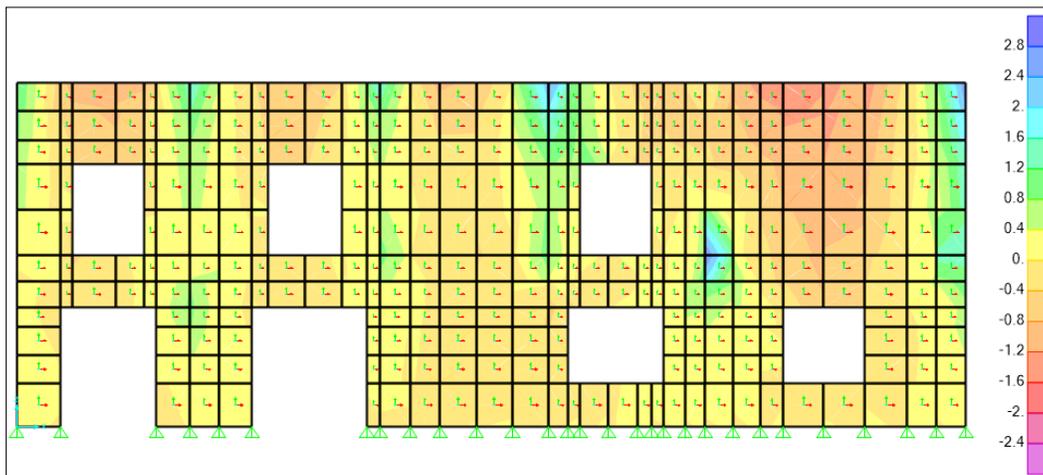


Figura 59. Esfuerzos M11-Eje 8, bajo combinación: $0.9D+0.275L-Ey$; Estado reforzado. **Fuente:** Autoría propia.

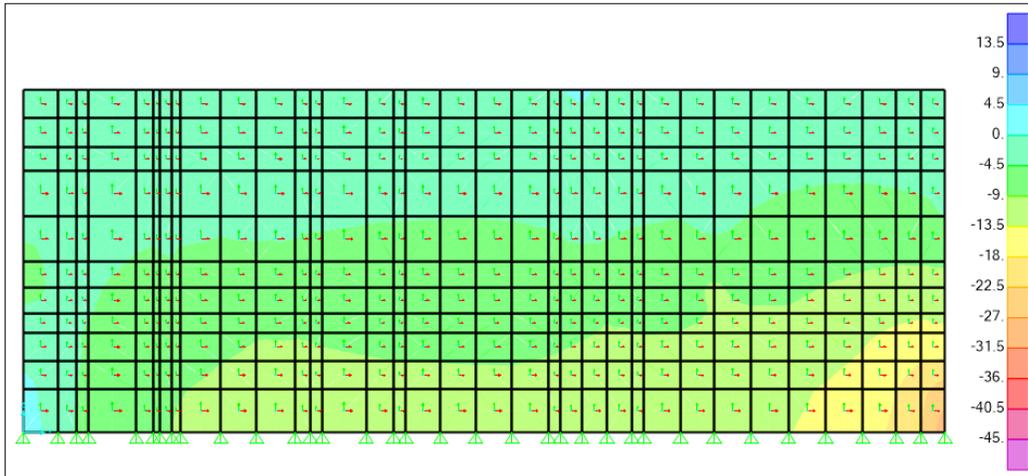


Figura 60. Esfuerzos F22-Eje A, bajo combinación: $1.1D+0.275L+E_y$; Estado reforzado. **Fuente:** Autoría propia.

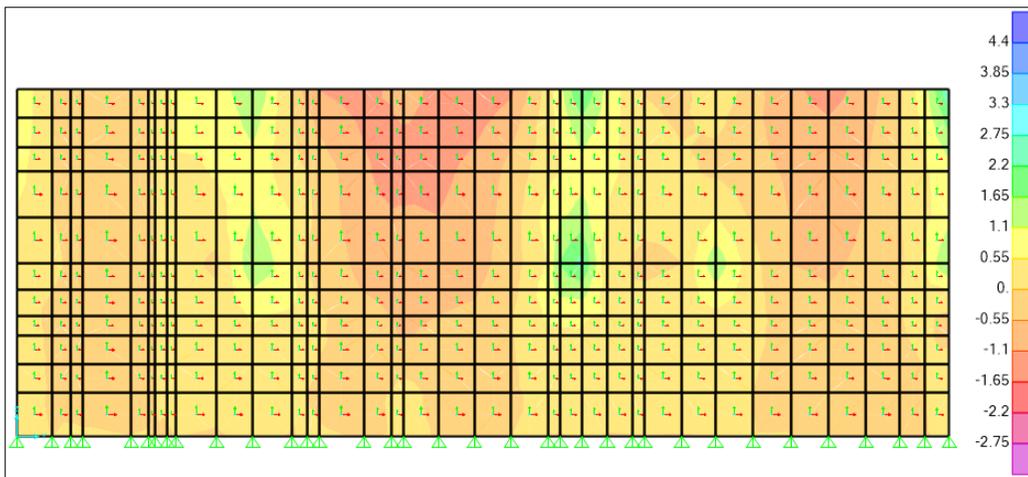


Figura 61. Esfuerzos M11-Eje A, bajo combinación: $0.9D+0.275L+Ex$; Estado reforzado. **Fuente:** Autoría propia.

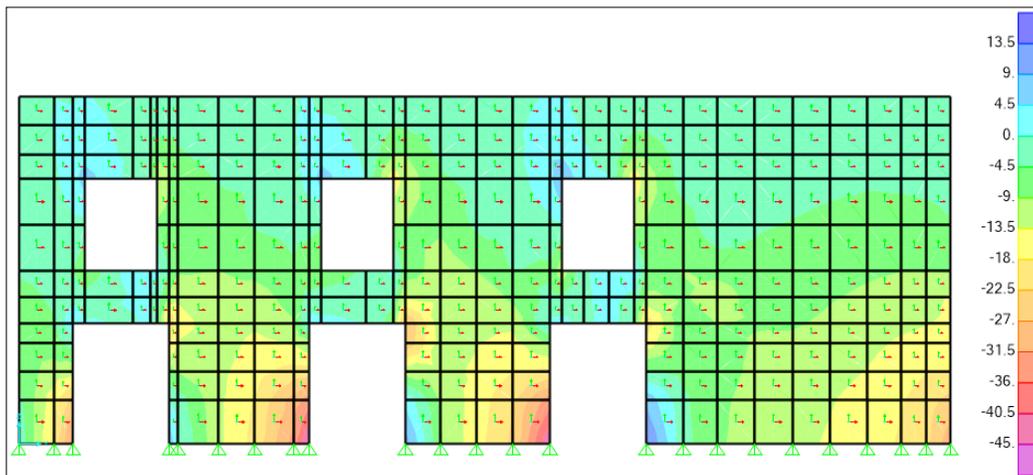


Figura 62. Esfuerzos F22-Eje F, bajo combinación: $1.1D+0.275L+E_y$; Estado reforzado. **Fuente:** Autoría propia.

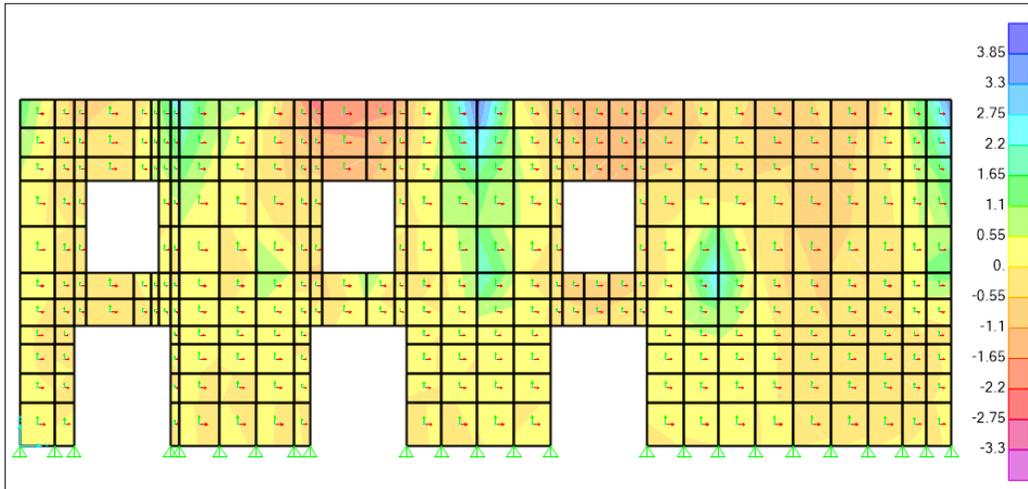


Figura 63. Esfuerzos M11-Eje F, bajo combinación: $1.1D+0.275L+Ex$; Estado reforzado. **Fuente:** Autoría propia.

Claramente se visualiza que la concentración de esfuerzos disminuye en los muros de la edificación reforzada, para verificar si el refuerzo es adecuado se ejecutó chequeos en los muros 11, 21, 2 y 15. En el muro 2 los esfuerzos M11 en estado reforzados es mayor a la inicial, esto se debe a que en un inicio no cuenta con la cubierta y por lo tanto no está soportando cargas.

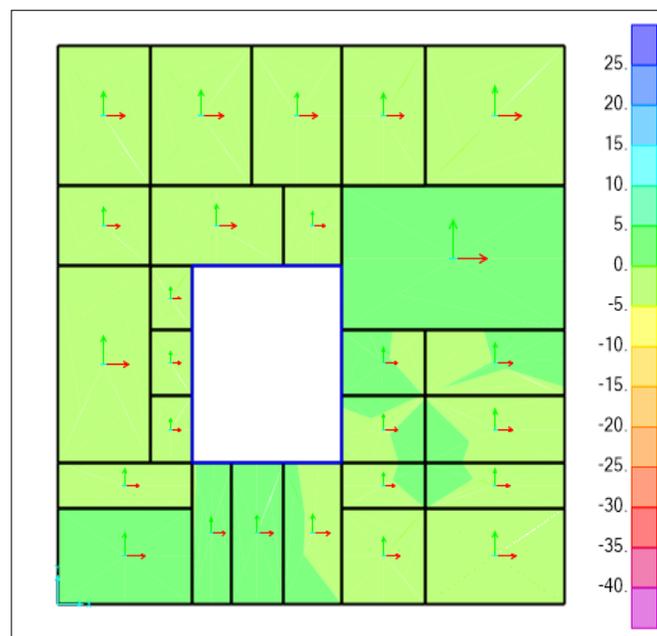


Figura 64. Esfuerzos F11 del entrepiso, bajo la combinación $1.1D+0.275L+Ey$ en estado reforzado. **Fuente:** Autoría propia.

En el estado reforzado es de 0.675 T/m, dadas por la envolvente en el sentido y. La acción de las fuerzas en el entrepiso reforzado es menor a comparación del estado inicial, esto se debe a que el hormigón es un material más rígido que la madera, lo cual favorece en la acción de fuerzas provocadas por las envolventes.

Para verificar si el reforzamiento aplicado en los muros, se ejecutó el chequeo se esfuerzos en muros críticos.

5.11.4.1. Muro 11.

- Ecuación unitaria.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1$$

Tabla 52.

Chequeo de la ecuación unitaria del muro 11

	0.810	\leq	1	OK
fa:	0.480 [N/mm2]		Fa: 0.999 [N/mm2]	
fb:	0.440 [N/mm2]		Fb: 1.333 [N/mm2]	

Fuente: Autoría propia.

- Esfuerzos a tracción.

$$f_t = \frac{M * c}{I} - \frac{P}{A} \leq F_t$$

Tabla 53.

Chequeo a tracción del muro 11

	-0.51 N/mm2	\leq	1.24 N/mm2	OK
M:	1.84E+08 N*mm		P: 2464704 N	
c:	3600 mm		A: 4620000 mm2	
I:	2.4E+13 mm4		Ft: 1.24 [N/mm2]	

Fuente: Autoría propia.

- Esbeltez.

$$P_u \leq \left(\frac{1}{4}\right) P_e$$

Tabla 54.

Chequeo por esbeltez del muro 11

	2464704 N	≤	570588365 N	OK
Pu:	2464704 N		Pe: 2282353462 N	

Fuente: Autoría propia.

5.11.4.2. Muro 21.

- Ecuación unitaria.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1$$

Tabla 55.

Chequeo de la ecuación unitaria del muro 21

	0.810	≤	1	OK
fa:	0.480 [N/mm2]		Fa: 0.999 [N/mm2]	
fb:	0.440 [N/mm2]		Fb: 1.333 [N/mm2]	

Fuente: Autoría propia.

- Esfuerzos a tracción.

$$f_t = \frac{M * c}{I} - \frac{P}{A} \leq F_t$$

Tabla 56.

Chequeo a tracción del muro 21

	-0.73	N/mm2	≤	1.24	N/mm2	OK
M:	210194239.2		N*mm	P:	4397256	N
c:	3600		mm	A:	5782800	mm2
I:	2.45722E+13		mm4	Ft:	1.24	[N/mm2]

Fuente: Autoría propia.

- Esbeltez.

$$P_u \leq \left(\frac{1}{4}\right) P_e$$

Tabla 57.*Chequeo por esbeltez del muro 21*

4397256	N	≤	530495854.2	N	OK
Pu:	4397256	N	Pe:	2121983417	N

Fuente: Autoría propia.**5.11.4.3. Muro 2.**

- Ecuación unitaria.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1$$

Tabla 58.*Chequeo de la ecuación unitaria del muro 2*

0.810	≤	1	OK
fa: 0.480	[N/mm2]	Fa: 1.000	[N/mm2]
fb: 0.440	[N/mm2]	Fb: 1.333	[N/mm2]

Fuente: Autoría propia.

- Esfuerzos a tracción.

$$f_t = \frac{M * c}{I} - \frac{P}{A} \leq F_t$$

Tabla 59.*Chequeo a tracción del muro 2*

-0.34	N/mm2	≤	1.24	N/mm2	OK
M:	320624352	N*mm	P:	2143008	N
c:	3600	mm	A:	6283200	mm2
I:	2.53809E+14	mm4	Ft:	1.24	[N/mm2]

Fuente: Autoría propia.

- Esbeltez.

$$P_u \leq \left(\frac{1}{4}\right) P_e$$

Tabla 60.*Chequeo por esbeltez del muro 2*

2143008	N	≤	9331153444	N	OK
Pu:	2143008	N	Pe:	37324613776	N

Fuente: Autoría propia.**5.11.4.4. Muro 15.**

- Ecuación unitaria.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1$$

Tabla 61.*Chequeo de la ecuación unitaria del muro 15*

0.810	≤	1	OK
fa: 0.480	[N/mm2]	Fa: 1.000	[N/mm2]
fb: 0.440	[N/mm2]	Fb: 1.333	[N/mm2]

Fuente: Autoría propia.

- Esfuerzos a tracción.

$$f_t = \frac{M * c}{I} - \frac{P}{A} \leq F_t$$

Tabla 62.*Chequeo a tracción del muro 15*

-0.53	N/mm2	≤	1.24	-0.53	OK
M:	314352151	N*mm	P:	3299976	N
c:	3600	mm	A:	6201500	mm2
I:	2.44166E+14	mm4	Ft:	1.24	[N/mm2]

Fuente: Autoría propia.

- Esbeltez.

$$P_u \leq \left(\frac{1}{4}\right) P_e$$

Tabla 63.*Chequeo por esbeltez del muro 15*

3299976	N	≤	8897527455	N	OK
Pu:	3299976	N	Pe:	35590109820	N

Fuente: Autoría propia.**5.11.5. Chequeo de secciones de madera.**

Los elementos de madera se diseñan bajo el criterio de esfuerzos admisibles, donde las combinaciones de cargas no poseen un factor de mayoración, pero los esfuerzos últimos del material son afectados por factores de reducción obteniendo así un esfuerzo admisible.

En consideración a lo anterior se realizó los chequeos de secciones que poseen mayores esfuerzos actuantes determinados por el programa de análisis estructural.

5.11.5.1. Correas.

La correa posee dos estados de análisis, ya que por la acción de la carga muerta y viva provoca una flexión y al mismo tiempo trabaja a tracción por tal se ejecuta un análisis a Flexo-Tracción de la correa central del techo 1, siendo este la sección más desfavorable bajo la combinación 5. Además, es necesario realizar un control de cortante paralelo a las fibras a una distancia h de la correa que equivale a su altura, correspondiente al techo 4 bajo la primera combinación.

- Flexión-Tracción.

$$\frac{N}{f_t * A} + \frac{M}{Z * f_m} < 1$$

Tabla 64.*Control de la correa a flexo-tracción*

0.20	<	1	OK
N:	639.5 kg	M:	19.97 kg m
ft:	4335652.17 kg/m ²	Z:	0.0001215 m ³

A:	0.0081 m ²	fm:	905947.83 kg/m ²
----	-----------------------	-----	-----------------------------

Fuente: Autoría propia

- Corte

$$\tau = \frac{3}{2} * \frac{V}{b * h} < f_v$$

Tabla 65.

Control de la correa a corte

$\tau = 64849.01 \text{ kg/m}^2$	<	$f_v = 140250 \text{ kg/m}^2$	OK
V:	350.18	kg	
b:	0.09	m	
h:	0.09	m	

Fuente: Autoría propia

5.11.5.2. Columnas.

Para el chequeo a compresión se consideró a la columna que posee un mayor esfuerzo axial provocada por la combinación 7.

$$N_{adm} = f_c * A \left(1 - \frac{1}{3} * \left(\frac{\lambda}{C_k} \right)^4 \right) < N$$

Tabla 66.

Control de la columna a compresión en función de la esbeltez

$N_{adm} = 10110.82 \text{ kg}$	>	$N = 7116.5 \text{ kg}$	OK
fc:	285500.0kg/m ²	A:	0.0361m ²
λ:	18.94736842	Ck:	38.78

Fuente: Autoría propia.

5.11.5.3. Arriostres.

Los arriostres trabajan solo axialmente por lo que se realizó el chequeo a tracción y a compresión, el mayor valor registrado en el arriostre del techo 4 es bajo la combinación 8 para tracción, mientras que el mayor valor de compresión se encuentra en los arriostres del techo 3 bajo la combinación 6.

$$N = f_t * A > N_u$$

Tabla 67.

Control de arriostres a tracción

$N = 11272.70 \text{ kg}$	>	$N_u = 348.9 \text{ kg}$	OK
ft: 4335652.17 kg/m ²		A: 0.0026 m ²	

Fuente: Autoría propia.

$$N_{adm} = f_c * A \left(1 - \frac{1}{3} * \left(\frac{\lambda}{C_k} \right)^4 \right) < N$$

Tabla 68.

Control de rigidizador a compresión

$N_{adm} = 589.13 \text{ kg}$	>	$N = 444.8 \text{ kg}$	OK
fc: 285500.0 kg/m ²		A: 0.0026 m ²	
λ : 38.78		Ck: 38.78	

Fuente: Autoría propia

5.11.5.4. Armaduras.

Los elementos de la cercha que poseen cargas, se ejecutó un chequeo de flexo-tracción o flexo-compresión dependiendo del esfuerzo determinada por la modelación, mientras que los demás elementos se realizó un chequeo a compresión o tracción.

Tabla 69.

Dimensiones de la cercha-Techo 1

Elemento	Longitud [m]	Sección [mxm]
A	2.775	0.09x0.19
B	2.425	0.09x0.19
C	2.425	0.09x0.19
D	3.32	0.09x0.19
E	1.82	0.09x0.19
F	2.9	0.09x0.19
G	1.59	0.09x0.19
H	2.9	0.09x0.19
I	1.24	0.09x0.19
J	1.66	0.09x0.19

Fuente. Autoría propia

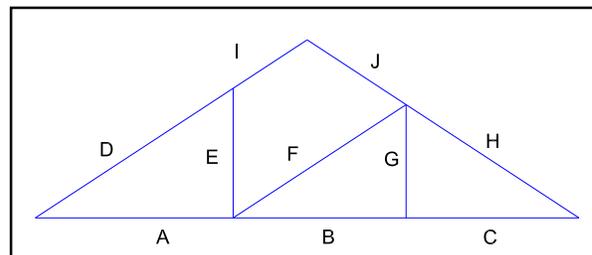


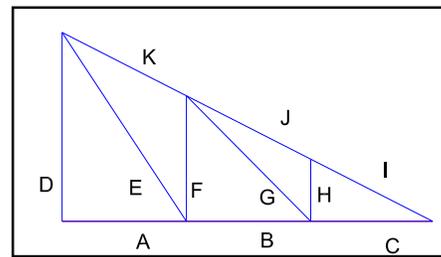
Figura 65. Cercha del techo 1. **Fuente.** Autoría propia

Tabla 70.*Control de todos los elementos de la cercha-Techo 1*

Elemento	Tipo de análisis	Control		
A	Flexo-Compresión	0.329	< 1.00	OK
B	Flexo-Tracción	0.056	< 1.00	OK
C	Flexo-Tracción	0.036	< 1.00	OK
D	Flexo-Compresión	0.464	< 1.00	OK
E	Compresión	4832.775	> 288.10	OK
F	Compresión	4564.409	> 678.80	OK
G	Tracción	74139.652	> 529.00	OK
H	Flexo-Compresión	0.520	< 1.00	OK
I	Flexo-Compresión	0.397	< 1.00	OK
J	Flexo-Compresión	0.361	< 1.00	OK

Fuente. Autoría propia**Tabla 71.***Dimensiones de la cercha-Techo 3*

Elemento	Longitud [m]	Sección [mxm]
A	1.64	0.09x0.19
B	1.64	0.09x0.19
C	1.61	0.09x0.19
D	2.50	0.09x0.19
E	3	0.09x0.19
F	1.66	0.09x0.19
G	2.33	0.09x0.19
H	0.82	0.09x0.19
I	1.845	0.09x0.19
J	1.84	0.09x0.19
K	1.81	0.09x0.19

**Figura 66.** Cercha del techo 3. **Fuente.** Autoría propia**Fuente.** Autoría propia**Tabla 72.***Control de todos los elementos de la cercha-Techo 3*

Elemento	Tipo de análisis	Control		
A	Flexo-Tracción	0.03	< 1.00	OK
B	Flexo-Tracción	0.03	< 1.00	OK
C	Flexo-Tracción	0.03	< 1.00	OK
D	Compresión	4706.62	> 674.10	OK
E	Tracción	74139.65	> 901.90	OK
F	Compresión	4847.95	> 488.30	OK
G	Tracción	74139.65	> 776.40	OK
H	Compresión	4847.95	> 183.30	OK

I	Flexo-Compresión	0.41	<	1.00	OK
J	Flexo-Compresión	0.40	<	1.00	OK
K	Flexo-Compresión	0.26	<	1.00	OK

Fuente. Autoría propia

5.11.6. Chequeo de deflexiones.

5.11.7. Correas

Las correas poseen el criterio de una viga que están simplemente apoyada por lo cual el cálculo de deformación se ejecutó considerando la deformación total incluyendo la deformación diferida lo cual es representado por un factor de 1.8 a la carga muerta sumado a la carga viva.

$$\Delta = \frac{5}{384} * \frac{w * Li^4}{E * I} < \frac{L}{250}$$

Tabla 73.

Control de deflexiones Correa-Techo 1

$\Delta=0.1097$	<	$L/250=3.05$	OK
w:	2.10 kg/cm	E:	87011.5 kg/cm ²
Li:	117.5 cm	I:	546.75 cm ⁴

Fuente. Autoría propia

Tabla 74.

Control de deflexiones Correa-Techo 3

$\Delta=0.1097$	<	$L/250=1.96$	OK
w:	2.10 kg/cm	E:	87011.5 kg/cm ²
Li:	117.5 cm	I:	546.75 cm ⁴

Fuente. Autoría propia

5.11.8. Armaduras.

A diferencia de las correas las cargas actuantes para las armaduras en el cálculo de deflexiones no se deben mayorar con el factor 1,8.

$$\delta_f = 1.75 * \left(1.15 * \delta + \frac{w * l^4 * 10^4}{E * I} \right) < \frac{L}{300}$$

Tabla 75.*Control de deflexiones Cercha-Techo1*

$\delta_f = 0.67$	<	L/300=2.54	OK
δ : 0.0351 cm		l : 2.78 m	
w: 257.85 kg/m		L: 762.5 cm	
E: 87011.5 kg/cm ²		I: 5144.25 cm ⁴	

Fuente. Autoría propia

Tabla 76.*Control de deflexiones Cercha-Techo3*

$\delta_f = 0.21$	<	L/300=1.63	OK
δ : 0.07025 cm		l : 1.64 m	
w: 257.85 kg/m		L: 490 cm	
E: 87011.5 kg/cm ²		I: 5144.25 cm ⁴	

Fuente. Autoría propia

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

La edificación analizada posee una cubierta y entrepiso de madera, una cimentación de piedra y muros de adobe; este último posee propiedades cuyos valores varían de acuerdo a la localidad, por lo cual fue necesario contar con las propiedades de los materiales locales para la modelación en estado inicial. El módulo de elasticidad del adobe se obtuvo mediante un ensayo de compresión cuyo valor es de 14.03 MPa, el cual es aceptable en base a un estudio realizado en Cuenca, donde los especímenes poseen un módulo de elasticidad de 17 MPa. Para los elementos de madera se optó por utilizar los valores de muestras ensayadas en la ciudad de análisis.

De acuerdo al INPC, el inmueble corresponde a edificaciones y conjuntos con protección condicionada determinada mediante un levantamiento de fallas con un 52% de deterioro. Esto indica que se debe conservar las características volumétricas, compositivas y de materiales de los elementos principalmente de fachadas. Considerando este criterio, se plantearon las técnicas de reforzamiento y reconstrucciones de techos.

La verificación si es conveniente o no una técnica de reforzamiento, se realizó en función de las patologías que presentan los elementos estructurales de la edificación; tal es el caso de la cubierta, que al presentar un alto grado de deterioro, se consideró su reemplazo.

La edificación en estudio data del año de 1950 y no presenta ningún tipo de asentamientos, lo cual indica que las secciones de la cimentación son óptimas para este tipo de construcción, esto se confirmó mediante la comparación de dimensiones reales con las dimensiones mínimas estipuladas en la Norma E.080, concluyendo que no requiere ningún tipo de reforzamiento.

La falla por flexión en esquinas de los muros secundarios o interiores es el más común, lo que indica que requiere elementos de refuerzos horizontal y vertical en los encuentros de muros. Unos de los sistemas de refuerzo planteados en la norma E0.80 es el uso de mallas electro soldadas. Esta técnica es adecuada a las tipologías constructivas utilizadas en el país.

Para ser modelado el reforzamiento de muros se determinó un ancho equivalente considerando además el módulo de elasticidad para muretes reforzados. Entre las ventajas que se obtuvo de este tipo de reforzamiento es la disminución del periodo fundamental de $T=1.10s$ a $T=0.16s$ lo que indica que la edificación se comporta de manera monolítica, además este período se encuentra entre $T_0=0.127$ y $T_c=0.698$ lo que indica que este tipo de estructuras son rígidas, siendo indispensable ejecutar reforzamientos estructurales que absorban la carga sísmica correspondiente.

Entre los factores que mejoró a la edificación por la aplicación de técnicas de reforzamiento está el control de torsión en planta, ya que en estado inicial presentaba torsión en el segundo modo, lo que indica que no tiene la capacidad de desarrollar un comportamiento sísmico adecuado. Esto se mejoró tratando de tener un índice de densidad similar en las dos direcciones, obteniendo así los dos primeros modos de vibración traslacionales mayor al 90% y el tercero rotacional.

Las derivas en los muros en estado inicial no cumplían porque existían muros sueltos, para el estado reforzado mejoraron de tal forma que fueron menor al 1%.

Los esfuerzos actuantes en estado reforzado son menores al estado inicial en su mayoría, excepto en el muro 2, en *MII*, bajo la combinación $0.9D+0.275L+Ex$, ya que originalmente la cubierta no está apoyada. Además, se ejecutó un control numérico mediante la ecuación unitaria del ACI530-13, esfuerzos a tracción y esbeltez en muros reforzados, los cuales fueron

favorables. Por lo mencionado se concluye que el reforzamiento usado en muros mejoró el comportamiento de la edificación bajo la acción sísmica.

Por último, en función de las modificaciones ejecutadas en la cubierta se realizó un chequeo se secciones de columnas, correas y cerchas obteniendo resultados favorables ya que todos los elementos pasaron los controles, lo que indica que no requieren algún tipo de reforzamiento estructural.

5.2. Recomendaciones.

Se recomienda hacer ensayos de compresión a los bloques de adobe para determinar el módulo de elasticidad, ya que este valor a nivel nacional varía de acuerdo a los materiales usados para su elaboración. De esta forma se puede garantizar resultados más precisos.

Los conectores al estar en contacto con el adobe presentan el riesgo de corrosión, por lo cual se recomienda dar un recubrimiento de pintura sintética automotriz, el cual se debe aplicar a las mallas electro soldadas y los conectores de varillas.

Se recomienda realizar un tratamiento de madera para los testigos ubicados en la cubierta, garantizando así su conservación. Se puede colocar un líquido inmunizante para madera, con base en insecticidas y fungicidas, luego aplicar barniz en toda la superficie para mejorar su presentación.

Al modelar los muros de la edificación es recomendable usar una sola malla para una buena discretización, garantizando la conexión de todos nodos de los muros. En la modelación de la cubierta, es recomendable exportar la geometría en formato *DXF al programa de análisis estructural.

La discretización de los elementos tipo Shell y Membrane proporciona mayor exactitud al modelo, por lo que es recomendable discretizarlo, para el primer tipo en dos direcciones y para

elementos Membrane en una sola dirección caso contrario para este último, el modelo lo considera como elementos desconectados.

Antes de correr el modelo, para los elementos Frame de la cercha, se recomienda dividir las líneas en los puntos de intersección y liberando M33, lo que representa articulación. Para las correas se recomienda dividir en los puntos de intersección con las cuerdas superiores de las cerchas y considerándolos simplemente apoyados. Por último, para los arriostres se debe considerar que trabajen axialmente, liberando M22 y M33.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aching B, M. C., Zúñiga L, M., Van Balen, K., & Abad R, L. (2013). Sistema de registro de daños para determinar el estado constructivo en muros de adobe. *Revista Semestral de La DIUC*, 4(2), 71–84. <https://doi.org/10.1017/S1751731111001698>
- Aguilar, E., & Quezada, R. (2017). *Caracterización física y mecánica del ADOBE en el cantón de Cuenca* (Universidad de Cuenca). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/>
- AME. (2016). 31 Ordenanza de Patrimonio Cultural. Retrieved from www.ame.gob.ec
- Arce, R., & Aridriguez, V. (2014). *Propuesta del empleo del adobe refozado con geomalla en la construcción de viviendas unifamiliares de un piso en el pueblo Joven Yanama-Ayacucho*. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Barahona, D., Vargas, V., & Casignia, J. (2013). *Mapa microzonificación sísmica de suelos de la ciudad de Riobamba*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Bonilla, D., & Merino, J. (2017a). *Estudio de las propiedades físicas de la caña guadúa y su aplicación como refuerzo en la construcción de estructuras de adobe* (Escuela Politécnica Nacional). Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17267>
- Bonilla, D., & Merino, J. (2017b). *ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA CAÑA GUADÚA Y SU APLICACIÓN COMO REFUERZO EN LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE ADOBE*. Escuela Politécnica Nacional.
- Carlos, J., & Torres, R. (2012). El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda : caracterización con fines estructurales *. *APUNTES - Journal of Cultural Heritage Studies*, 25, 164–181.
- Carlucci, R. (2016). Guía de mantenimiento de inmuebles patrimoniales. *AICS*, 2, 15.
- CERESIS. (2015). *Reforzamiento contra Terremotos de Edificaciones Existentes de Adobe en el*

Ecuador. 12–14.

Chimbo, J., & Granda, R. (2016). *Determinación de la madera más óptima comercializada en la ciudad de Riobamba, obteniendo sus propiedades físicas y mecánicas para la aplicación de la norma NEC-SE-MD para diseño de elementos estructurales*. (Universidad Nacional de Chimborazo). Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/1375>

E.080. (2017). Norma E.080 diseño y construcción con tierra reforzada. *Normas Legales*, 24.

Enriquez, D. (2014). *Reforzamiento estructural para forjados de madera en edificaciones patrimoniales y contemporáneas*. Universidad de Cuenca.

Espinoza, E. (2018). Diagnóstico del estado actual de bienes inmuebles antiguos y privados desde 1950 hasta 2017 en la ciudad de Riobamba. Universidad Nacional de Chimborazo.

Espinoza Vaca, E. S. (2018). Diagnóstico del estado actual de los bienes inmuebles antiguos y privados desde 1950 hasta 2017 en la ciudad de Riobamba.

Fernández, J. (2015). *REFORZAMIENTO SISMICO DE VIVIENDA DE ADOBE EN IMBABURA-ECUADOR*. 1–21.

Fronteiras, S. (2010). Ficha técnica: sistema constructivo adobe/tapial. *ASIAPRODI*, 25.

Garabito López, J., Rodríguez Sáiz, Á., Junco Petrement, C., & Garabito López, J. C. (2015). Intervenciones en cubiertas históricas de madera: ¿Restaurar o reconstruir? = Intervention in historical timber roofs: Restore or rebuild? *Anales de Edificación*, 1(1), 16.
<https://doi.org/10.20868/ade.2015.3035>

García, H. (2014). *Reforzamiento estructural para forjados de madera en edificaciones patrimoniales y contemporáneas* (Universidad de Cuenca). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20241/1/Tesis.pdf>

Gómez, C. D. (2012). Las técnicas de rehabilitación: reforzar las estructuras. *Informes de La*

Construcción.

- Hernández, E. (2014). SAP2000. *CARIBE*, p. 363.
- INPC. (2016). Ley Orgánica de la Cultura. Retrieved from PROYECTO DE LEY ORGÁNICA DE CULTURA website: <http://www.culturaypatrimonio.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/01/Ley-Orgánica-de-Cultura-APROBADA-Y-PUBLICADA.pdf>
- Juárez, L. A., Caballero, T., & Morales, V. (2010). Ventajas del reforzamiento de muros de bloques de tierra compactados (BTC), como opción para el rescate de viviendas rurales. *Informes de La Construcción*, 62(518), 25–32. <https://doi.org/10.3989/ic.08.000>
- JUNAC. (1984). Manual de diseño para masderas del grupo andino. In *PADT-REFORT*. Retrieved from <https://civilgeeks.com/2014/01/18/manual-de-diseno-para-maderas-del-grupo-andino/>
- Lefevre, R., & Cano, L. (2016). Estructuración de cubiertas de madera y accesorios. *Instituto Politécnico*, 39.
- Mondragón, F. P., & Lourenço, P. B. (2012). Criterios Para El Refuerzo Antisísmico De Estructuras Históricas. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 87(87), 47–66.
- Mora, S. (2012). *Espectros de diseño locales para la ciudad de Riobamba a partir de mediciones de vibracion ambiental* (Universidad Nacional de Chimborazo). Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/559/1/UNACH-EC-IG.TUR-2012-0002.pdf>
- NEC-SE-RE. (2015). Rehabilitación Sísmica de Estructuras. *Norma Ecuatoriana de La Construcción*, 41. Retrieved from <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-RE.pdf>
- NEC-SE-SG. (2015). Cargas (no sísmicas).

NEC - SE – DS. (2015). Peligro sísmico.

Rivero, S. (2010). Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada.

SGR, MIDUVI, PNUD, & ECHO. (2016a). Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras. *Guía de Diseño*, 5, 185. Retrieved from <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-5-EVALUACION-Y-REHABILITACION1.pdf>

SGR, MIDUVI, PNUD, & ECHO. (2016b). Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras. *Guía de Diseño*, 5, 185.

Siza, J., & Martínez, J. (2009). *Propiedades Físico-Mecánicas del Eucalipto y aplicación al diseño estructural de una vivienda parte de una granja integral, ubicada en El Iasa I* (Escuela Politécnica del Ejército). Retrieved from <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2050/1/T-ESPE-021896.pdf>

Torres Gilles, C., & Jorquera Silva, N. (2018). Técnicas de refuerzo sísmico para la recuperación estructural del patrimonio arquitectónico chileno construido en adobe. *Informes de La Construcción*, 70(550), 252. <https://doi.org/10.3989/ic.16.128>

7. ANEXOS

Anexo 7.1. Ficha de características del Inmueble en estudio.

Ficha de Evaluación de las Características de los Bienes Inmuebles				
Universidad Nacional de Chimborazo			Ficha	Registro
Facultad de Ingeniería			6	EBIA-06.xlsx
Escuela de Ingeniería Civil			Evaluación de Bienes Inmuebles	
Realizado	Codigo Inventario 2007	Código Investigación	Denominación del Inmueble	
Edgar Espinoza	4H4-07-154	EBIA-06	Residencia	
Ocupación			Localización	
Uso Original	Uso Actual	Provincia: Chimborazo	Ciudad: Riobamba	Zona: Centro
Vivienda	Comercio	Parroquia: Maldonado	Dirección: Veloz y Tarqui	Nº: 23-54
		Cantón: Riobamba	esquina	Mz: 66
Régimen de Propiedad: Particular		Ubicación: 		
Nombre del Propietario:				
Tipo de Tenencia: Arrendamiento Propietario				
Época de Construcción: Republicana				
Fecha de Construcción: 1950				
Tipología: Tradicional				
Nº Retiros:	Nº Pisos: 2			
Nº Frentes: 2	Valoración: Conjunto Urbano			
Entorno de áreas de verdes: NO				
DESCRIPCIÓN DE LA FACHADA				
Curva				
Niveles o Pisos: 2				
Vanos Abiertos: PB-8 - PA-6				
Zócalo: Piedra				
Balcones: 6				
Color: Blanco - Rojo				
Textura: Lisa				
ESTRUCTURA		Fotografía: 		
Tipo: Muros Portantes				
Cimentación: Piedra				
Paredes: Adobe				
Cubierta: Estructura de madera y Teja				
ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL INMUEBLE				
Fachada: Buena				
Cubierta: Regular				
Estructura: Regular				
Intervenciones: NO				
Observaciones:				

Fuente: (Espinoza Vaca, 2018).

Anexo 7.2. Ficha de elementos de la edificación.

Anexo 7.2.1. Ficha de muros exterior

Ficha de elementos de la edificación			
Elemento:	Muro Exterior		
	Altura (m)	Espesor (m)	Material
Muro	3.6	0.75	Adobe con fibra natural
Mortero	-	0.02	Tierra
Recubrimiento	-	0.01	Tierra

Foto

A photograph showing the interior of a room. The walls are painted a light green color and show signs of wear and peeling. A red door is visible on the left side, leaning against a wooden ladder. The floor is made of dark wood.

Anexo 7.2.2. Ficha de muros interior

Ficha de elementos de la edificación			
Elemento:	Muro Interior		
	Altura (m)	Espesor (m)	Material
Muro	3.6	0.3	Adobe con fibra natural
Mortero	-	0.02	Tierra
Recubrimiento	-	0.01	Tierra

Foto

A close-up photograph of a damaged interior wall. The wall is made of adobe and shows significant deterioration, with large sections missing and exposed wooden framing. The remaining surface is white and peeling.

Anexo 7.2.3. Ficha de cimentaciones.

Ficha de elementos de la edificación

Elemento: **Cimentación y Sobrecimiento**

Dimensiones (m)

Diagram 1: External wall width 0.75m, overburden height 0.30m, foundation height 0.70m, base width 0.95m.

Diagram 2: External wall width 0.30m, overburden height 0.30m, foundation height 0.70m, base width 0.70m.

	Material	Tipo
Sobrecimiento	Bloque de piedra	Albañilería de piedra con mortero de cemento o cal y arena gruesa
Cimiento	Piedra bola	Albañilería de piedra con mortero de cemento o cal y arena gruesa.

Foto

Anexo 7.2.3. Ficha de cubierta.

Ficha de elementos de la edificación

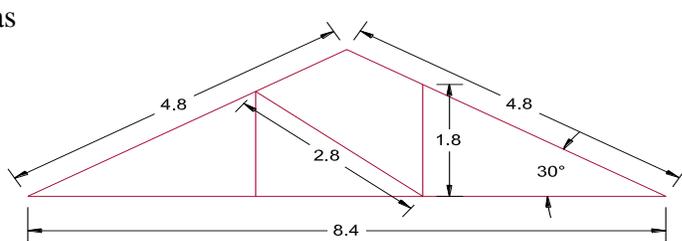
Elemento: Cubierta

Tipo: Dos aguas Inclinación: 30°

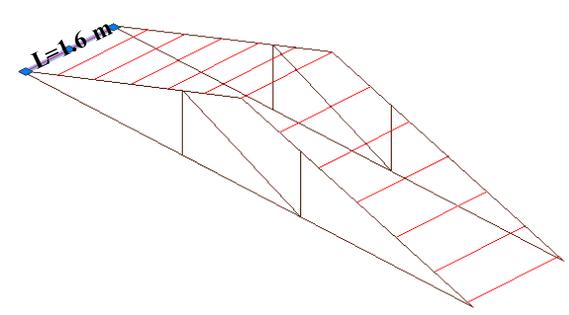
Dimensiones (m)

	Sección	Material
Vigas	0.10 x 0.20	Eucalipto
Correas	Ø=0.15 L=1.6	Eucalipto
Palos	Ø=0.10	Eucalipto
Teja Colonial	0.24 x 0.32 e=0.01	Barro cocido

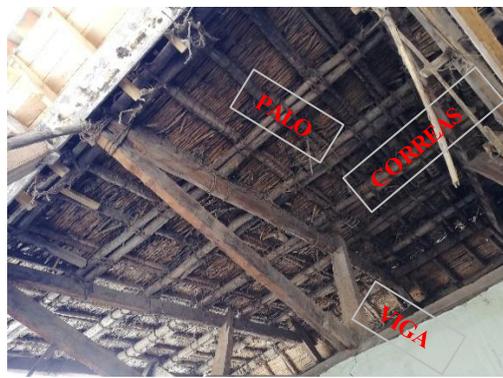
Vigas



Correas



Foto



Cubierta

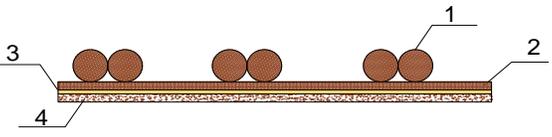


Teja

Anexo 7.2.4. Ficha de entrepiso.

Ficha de elementos de la edificación		
Elemento: Entrepiso h TOTAL: 0.25m		
Dimensiones (m)		
	Sección	Material
Vigas	0.10 x 0.20	Eucalipto
Tablas	ancho=0.1 e= 0.02	Eucalipto
Foto		
		

Anexo 7.2.5. Ficha de cielo raso.

Ficha de elementos de la edificación			
Elemento: Cielo Raso			
Dimensiones (m)			
		Sección	Material
1	Palos	$\varnothing=0.05$	Eucalipto
2	Carrizo	$\varnothing=0.02$	Caña
3	Estera	e= 0.005	Totora
4	Recubrimiento	e= 0.01	Tierra
Esquema			
			
Foto			
			

Anexo 7.3. Propiedades de los materiales para la modelación.

Anexo 7.3.1. Estado inicial.

Material Property Data

General Data	
Material Name and Display Color	Adobe1
Material Type	Other
Material Grade	
Material Notes	Modify/Show Notes...

Weight and Mass		Units
Weight per Unit Volume	1.632E-03	Kgf, cm, C
Mass per Unit Volume	1.664E-06	

Isotropic Property Data	
Modulus Of Elasticity, E	143.06
Poisson, U	0.15
Coefficient Of Thermal Expansion, A	1.200E-05
Shear Modulus, G	62.2

Material Property Data

Material Name	Material Type	Symmetry Type
Eucalipto	Other	Orthotropic

Modulus of Elasticity		Weight and Mass	Units	
E1	7134.943	Weight per Unit Volume	0.79	Tonf, m, C
E2	7134.943	Mass per Unit Volume	0.0806	
E3	7134.943			

Poisson	
U12	0.4
U13	0.4
U23	0.4

Coeff of Thermal Expansion	
A1	3.000E-06
A2	2.500E-05
A3	1.500E-05

Shear Modulus	
G12	2853.9772
G13	2853.9772
G23	2853.9772

Advanced Material Property Data	
Nonlinear Material Data...	Material Damping Properties...
Time Dependent Properties...	Thermal Properties...

Anexo 7.3.2. Estado reforzado.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: Adobe1

Material Type: Other

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 1.632E-03

Mass per Unit Volume: 1.664E-06

Units: Kgf, cm, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 9600.

Poisson, U: 0.15

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.200E-05

Shear Modulus, G: 4173.913

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: CONC210

Material Type: Concrete

Material Grade: fc 210

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 2.243E-03

Mass per Unit Volume: 2.288E-06

Units: Kgf, cm, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 215381.06

Poisson, U: 0.2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 9.900E-06

Shear Modulus, G: 89742.11

Other Properties For Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, fc: 210.

Expected Concrete Compressive Strength: 210.

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

Material Property Data

Material Name: Eucalipto

Material Type: Other

Symmetry Type: Orthotropic

Modulus of Elasticity

E1: 870115.

E2: 870115.

E3: 870115.

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 0.79

Mass per Unit Volume: 0.0806

Units: Tonf, m, C

Poisson

U12: 0.4

U13: 0.4

U23: 0.4

Coeff of Thermal Expansion

A1: 3.000E-06

A2: 2.500E-05

A3: 1.500E-05

Shear Modulus

G12: 34804.6

G13: 34804.6

G23: 34804.6

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties...
Time Dependent Properties... Thermal Properties...

OK Cancel

Anexo 7.4. Secciones de los elementos para la modelación.

Anexo 7.4.1. Estado inicial.

Elemento tipo Frame [cm]	Elemento tipo Shell [cm]	Elemento tipo Membrane
Cercha 9x19	Muro exterior e= 75	Entrepiso e= 9.31 cm
Correas Ø=9	Muro interior e= 30	
Vigas 9x19	Muro interior e= 120	
Columnas 19x19		

Fuente: Autoría propia.

Anexo 7.4.2. Estado reforzado.

Elemento tipo Frame [cm]	Elemento tipo Shell [cm]	Elemento tipo Membrane
Arriostre 6.5x4	Muro exterior e=81	Entrepiso e= 5 cm
Columnas 19x19	Muro exterior e=79	
Cercha 9x19	Muro exterior e=77	
Correas 9x9	Muro interior e=34	
Vigas 9x19	Muro interior e=41	
	Muro interior e=124	

Fuente: Autoría propia.

Anexo 7.5. Tabulación de fallas en muros.

Anexo 7.5.1. Primer piso.

Código	Sin Falla	Falla 1 (m)	Falla 2 (m)	Falla 3 (m)	Falla 4 (m)	Falla 5 (m)	Falla 6 (m)	Falla 7 (m)	Fotografía Falla	Observaciones
	Vertical	Diagonal	Muro Suello	Esquina	Ventana	Puerta				
P1-1	0									
P1-2	0									
P1-3				3.6						
P1-4										Caída de arco de una longitud de 1.75 m; Caída de muro en tramos con una longitud de 2; 0.7; y 2 m

Código	0	Vertical	Diagonal	Muro Suelo	Esquina	Ventana	Puerta							Fotografía Falla	Observaciones
	Sin Falla	Falla 1 (m)	Falla 2 (m)	Falla 3 (m)	Falla 4 (m)	Falla 5 (m)	Falla 6 (m)	Falla 7 (m)							
P2-5					3.6		1								
P2-6	0														
P2-7	0														
P3-8					2										
P3-9	0														
P3-10	0														
P4-11	0														
P4-12	0														
P4-13	0														
P5-14	0														
P5-15	0														Presencia de humedad
P5-16					3.6										
P6-17	0														
P6-18					2										

	Sin Falla	Falla 1 (m)	Falla 2 (m)	Falla 3 (m)	Falla 4 (m)	Falla 5 (m)	Falla 6 (m)	Falla 7 (m)		
Código	0	Vertical	Diagonal	Muro Suelo	Esquina	Ventana	Puerta			
P6-19	0									
P6-20	0									
P6-21	0									
P7-22	0									
P7-23				1.2						
P7-24	0									
P7-25	0									
P7-26	0									

Anexo 7.5.1. Segundo piso.

	Sin Falla	Falla 1 (m)	Falla 2 (m)	Falla 3 (m)	Falla 4 (m)	Falla 5 (m)	Falla 6 (m)	Falla 7 (m)		
Código	0	Vertical	Diagonal	Muro Suelo	Esquina	Ventana	Puerta			
S1-1				3.6					SI	 <p>Presencia de humedad en muro y apollado en las vigas de entrepiso. Alto deterioro de la cubierta. Caída de muro adobe de 14.5 m y reemplazo con ladrillo. Presencia de humedad en muro de adobe S1-2 de 4.8m. Caída de un tramo de muro S1-1. Deterioro del entrepiso</p>
S1-2		9.6							SI	
S1-3			3.6		3.6		1.2			

Código	Sin Falla	Falla 1 (m)	Falla 2 (m)	Falla 3 (m)		Falla 4 (m)		Falla 5 (m)	Falla 6 (m)	Falla 7 (m)	Fotografía Falla	Observaciones
	0	Vertical	Diagonal	Muro Suelto	Esquina	Ventana	Puerta					
S2-4					3.6				SI			Presencia de humedad. Alto grado de deterioro de la cubierta
S3-5					3.6	1.2						Presencia de humedad en el muro. Alto grado de deterioro de la cubierta
S3-6	0											Presencia de humedad en el muro. Alto grado de deterioro de la cubierta
S4-8					3.6							Presencia de humedad en el muro. Alto grado de deterioro de la cubierta
S4-9									SI			Presencia de humedad en el cielo falso y muro. Alto grado de deterioro del entrepiso
S4-10					3.6							Presencia de humedad en el cielo falso y muro. Alto grado de deterioro del entrepiso

Código	Sin Falla	Falla 1 (m)	Falla 2 (m)	Falla 3 (m)		Falla 4 (m)	Falla 5 (m)	Falla 6 (m)	Falla 7 (m)	Fotografía Falla	Observaciones
	Vertical	Diagonal	Muro Suelto	Esquina	Ventana	Puerta					
S5-11	0										Deterioro de las tablas de entrepiso. Flexión en el cielo falso.
S5-12					2						
S5-13							2				
S6-14	0										
S6-15	0										
S6-16		2			3.6		1.5				Fisuras en el borde del cielo falso y presencia de humedad.
S7-17				3.6	3.6		1.5				Presencia de humedad en el muro. Fisuras en el borde del cielo falso, flexión y presencia de humedad.
S7-18	0										
S7-19					3.6		1.5				

Código	Sin Falla	Falla 1 (m)	Falla 2 (m)	Falla 3 (m)		Falla 4 (m)		Falla 5 (m)	Falla 6 (m)	Falla 7 (m)	Fotografía Falla	Observaciones
	0	Vertical	Diagonal	Muro Suelto	Esquina	Ventana	Puerta					
S8-20		3.6			3.6		2					Presencia de humedad en el muro. Fisuras en el borde del cielo falso, flexión y presencia de humedad.
S8-21	0							SI				
S8-22					3.6							
S9-23								SI				
S10-24	0											
S11-25					3.6			SI				

Código	Sin Falla	Falla 1 (m)	Falla 2 (m)	Falla 3 (m)		Falla 4 (m)		Falla 5 (m)	Falla 6 (m)	Falla 7 (m)	Fotografía Falla	Observaciones
	0	Vertical	Diagonal	Muro Suelto	Esquina	Vertical	Puerta					
S11-26							1					Caída del cielo falso y filtración del techo.
S11-27					3.6							
S11-28	0											

Anexo 7.6. Análisis de cargas

Anexo 7.6.1. Cuantificación de carga muerta

CIELO RASO -ESTADO INICIAL

	B /Ø (m)	L (m)	e (m)	A (m2)	V(m3)	Peso Unitario T/m3	Peso (T)	Cantidad	Peso (T/m2)
Palos	0.05	1		0.00196	0.001963	0.79	0.00155	4	0.0067
Recubrimiento de tierra	1	1	0.01	1	0.01	1.6	0.016	1	0.0160
									0.0227

ENTREPISO-ESTADO INICIAL

	Cantidad	a (m)	b (m)	e(m)	V (m3)	Peso Unitario(Kg/m3)	D(Kg/m2)
Viga	2	0.1	1	0.2	0.020	790	15.80
Tablas	10	0.2	1	0.02	0.004	790	3.16
Cielo raso							22.72
							41.68

CUBIERTA-ESTADO INICIAL

	B /Ø (m)	L (m)	e (m)	A(m2)	V(m3)	Peso Unitario (T/m3)	Peso (T)	Cantidad	Peso (T/m2)
Teja	0.24	0.32	0.01	0.0768	0.000768	0.051	3.916E-05	13	0.001
Cabio	0.1	1		0.00785	0.00785398	0.79	0.0062046	6	0.037
Correas	0.15	1		0.01767	0.01767146	0.79	0.0139605	3	0.042
Mortero					0.001088	1.835	0.001997	7	0.013
									0.093

ENTREPISO-ESTADO REFORZADO

	Cantidad	b (m)	L (m)	e(m)	V (m3)	Peso Unitario(Kg/m3)	D(Kg/m2)
Placa de concreto	1	1	1	0.05	0.05	2243.38	112.17
Entablado	10	1	1	0.02	0.20	790.00	158.00
Vigas	2	0.1	1	0.20	0.04	670.00	26.80
Malla electrosoldada	1						2.07
Acabados	1						20.39
Cielo Raso	1						20.39
							339.83

CUBIERTA-ESTADO REFORZADO

	Separación	Cantidad	b (m)	h (m)	L(m)	V (m3)	Peso Unitario(Kg/m3)	D(Kg/m2)
Correas	c/0.5	2	0.10	0.10	1	0.02	790.00	15.8
Cabio	c/0.6	2	0.05	0.05	1	0.005	790.00	3.95
Liston longitudinal	c/0.3	3	0.05	0.05	1	0.0075	790.00	5.925
Lámina asfáltica impermeabilizante							3.06	4.00
Teja								31.09
								60.77

CARGA VIVA-CUBIERTA

	Ubicación	a (m)	b (m)	e (m)	V(m3)	Peso Unitario (Kg/m3)	PC (Kg/m2)	L (Kg/m2)	
Ceniza	Central/Borde	1	1	0.03	0.03	2212	66.36	137.74	Central
Granizo	Cental	1	1	0.03	0.03	1000	30	201.38	Aleros
	Alero	1	1	0.1	0.1	1000	130		
Carga por mantenimiento							71.3797		

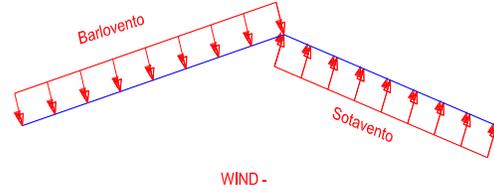
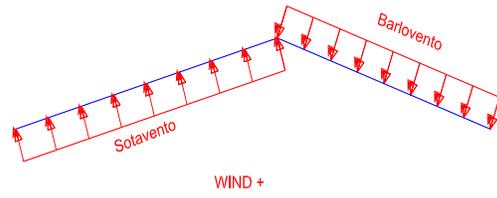
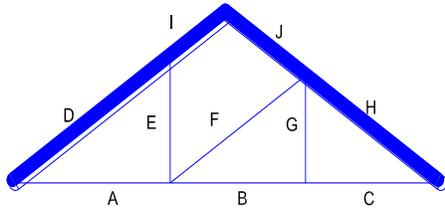
Anexo 7.6.2. Cuantificación de viento

Parámetro	Valor	Unidades
V	21	m/s
V	75.6	Km/h
Categoría de exposición	B	-
Hn	8.55	m
σ	0.8884	-
Vb	18.6564	m/s
ρ Aire	1.25	kg/m ³
Ce	0.8	-
Vb	18.6564	m/s
ρ Aire	1.25	kg/m ³
Ce	0.8	-

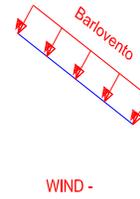
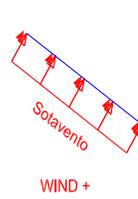
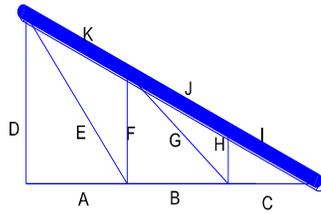
Parametro	Barlovento	Sotavento	Unidades
Cfl	0.33	-0.60	
Pv1	57.43	-104.42	Pa
Pv1	5.86	-10.65	Kg/m²

Dirección de barlovento y sotavento de cada techo en estado rehabilitado.

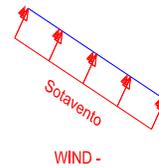
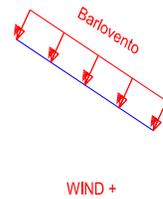
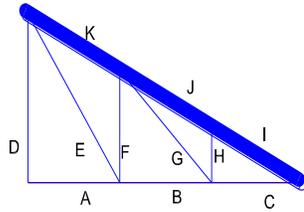
TECHO 1



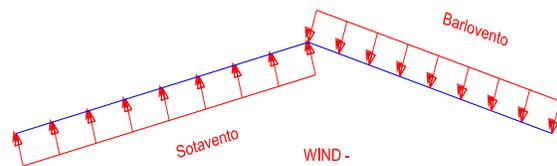
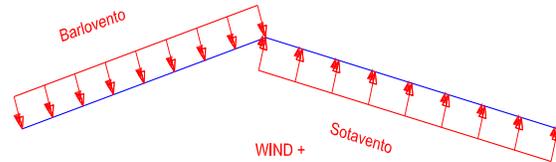
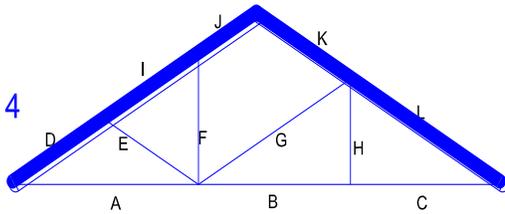
TECHO 2



TECHO 3



TECHO 4



Anexo 7.6.3. Resumen de cargas en Estado inicial.

Techo	Carga Muerta [Kg/m]			Carga Viva [Kg/m]		Carga de viento [Kg/m]-Cuerda superior			
	Correas		Cuerda Inferior	Correas		Centrales		Borde	
	Centrales	Aleros		Centrales	Aleros	Barlovento	Sotavento	Barlovento	Sotavento
1	78.73	39.36	193.13	117.08	298.04	9.96	-18.10	4.98	-9.05
3	56.50	28.25	111.34	84.02	151.03	15.23	-27.68	7.61	-13.84
4	74.10	37.05	218.13	110.19	205.41	8.78	-15.97	4.39	-7.99

Anexo 7.6.4. Resumen de cargas en Estado reforzado.

Techo	Carga Muerta [Kg/m]			Carga Viva [Kg/m]		Carga de viento [Kg/m]-Cuerda superior			
	Correas		Cuerda Inferior	Correas		Centrales		Borde	
	Centrales	Aleros		Centrales	Aleros	Barlovento	Sotavento	Barlovento	Sotavento
1	39.50	19.75	155.51	89.53	196.35	6.88	-12.51	3.44	-6.26
2	51.04	25.52	107.07	110.19	253.74	7.96	-14.48	3.98	-7.24
3	48.61	24.31	99.93	110.19	241.66	6.88	-12.51	3.44	-6.26
4	36.46	18.23	177.94	82.64	362.48	8.20	-14.91	4.10	-7.45

Anexo 7.7. Datos para el cálculo del espectro de diseño.

Datos	Valor	Referencia
Perfil de suelo	D	(Mora, 2012)
Zona sísmica	V	
Coefficiente de reducción de respuesta estructural R, mampostería sin reforzamiento.	1	(SGR et al., 2016b)
Coefficiente de reducción de respuesta estructural R, mampostería con reforzamiento.	3	Calculado en función de (NEC - SE – DS, 2015)
Irregularidad en planta (207.03 > 46.25)	1	Calculado en función de (NEC - SE – DS, 2015)
Irregularidad en elevación	1	Calculado en función de (NEC - SE – DS, 2015)
Coefficiente I, (otras estructuras)	1	Calculado en función de (NEC - SE – DS, 2015)
Localidad	Riobamba	

Símbolo	Valor
n:	2.48
z:	0.4
Fa:	1.2

Fd:	1.19
Fs:	1.28
r:	1

Fuente: (NEC - SE – DS, 2015)

Anexo 7.8. Cálculo tipo de chequeos

Anexo 7.8.1. Muros

Datos del muro				Datos Material Reforzado			
Sentido:	X			fb:	0.44	MPa	[N/mm ²]
h:	7200	mm		Ft:	1.24	MPa	[N/mm ²]
e:	790	mm		f'm:	4	MPa	[N/mm ²]
L:	7320	mm		Em:	960	MPa	[N/mm ²]
				Øe:	0.2		

Datos de la Modelación			
Muro:	21		
F22:	-610.73	N/mm	
M11:	28715.06	N*mm/mm	
Lpared (m):	7320	mm	
Pactuante:	4397256	N	
Mactuante:	210194239	N*mm	

- Ecuación unitaria.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1$$

$$f_m = 0.4 * \phi_e * f'_m = 0.4 * 0.2 * 4 = 0.32 \text{ N/mm}^2$$

$$I_x = \frac{b * h^3}{12} = \frac{790 * 7320^3}{12} = 2.45722E + 13 \text{ mm}^4$$

$$A = b * h = 790 * 7320 = 5782800 \text{ mm}^2$$

$$r = \sqrt{I_x/A} = \sqrt{2.45722E + 13/5782800} = 2061.354004 \text{ mm}$$

$$h/r = 7320/2061.35 = 3.49$$

$$f_a = 1.5 * f_m = 1.5 * 0.32 = 0.48 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$F_a = 0.25f'_m \left[1 - \left(\frac{h}{140r} \right)^2 \right] \quad \text{para } 3.49 \leq 99$$

$$F_a = 0.25 * 4 * \left[1 - \left(\frac{7200}{140 * 2061.35} \right)^2 \right] = 0.999377551 \text{ N/mm}^2$$

$$F_b = \frac{1}{3} * f'_m = \frac{1}{3} * 4 = 1.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{0.48}{0.999} + \frac{0.44}{1.33} \leq 1$$

$$0.81 \leq 1 \quad \text{OK}$$

- Esfuerzos de tracción.

$$f_t = \frac{M * c}{I} - \frac{P}{A} \leq F_t$$

$$M = 210194239.2 \text{ N} * \text{mm}$$

$$P = 4397256 \text{ N}$$

$$c = h/2 = 7200/2 = 3600 \text{ mm}$$

$$I_x = \frac{b * h^3}{12} = \frac{790 * 7320^3}{12} = 2.45722E + 13 \text{ mm}^4$$

$$A = b * h = 790 * 7320 = 5782800 \text{ mm}^2$$

$$f_t = \frac{210194239.2 * 3600}{2.45722E + 13} - \frac{4397256}{5782800} \leq 1.24$$

$$-0.73 \leq 1.24 \quad \text{OK}$$

- Esbeltez.

$$P_u \leq \left(\frac{1}{4} \right) P_e$$

$$P_u = 4397256 \text{ N}$$

$$E_m = 960 \text{ N/mm}^2$$

$$I_x = \frac{b * h^3}{12} = \frac{790 * 7320^3}{12} = 2.45722E + 13 \text{ mm}^4$$

$$h = 7200 \text{ mm}$$

$$e = 790 \text{ mm}$$

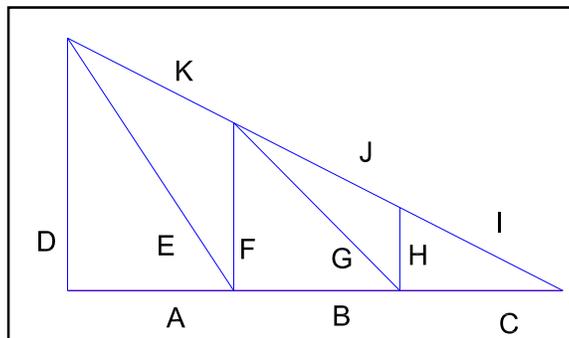
$$P_e = \frac{\pi^2 * 960 * 2.45722E + 13}{7200^2} \left(1 - 0.577 \frac{790}{7200}\right)^3 = 2121983417 \text{ N}$$

$$4397256 \leq \left(\frac{1}{4}\right) 212198341$$

$$4397256 \leq 530495854.2 \quad \text{OK}$$

Anexo 7.8.2. Elementos de madera

Elemento	Longitud [m]	Sección [mxm]
A	1.64	0.09x0.19
B	1.64	0.09x0.19
C	1.61	0.09x0.19
D	2.5	0.09x0.19
E	3	0.09x0.19
F	1.66	0.09x0.19
G	2.33	0.09x0.19
H	0.82	0.09x0.19
I	1.845	0.09x0.19
J	1.84	0.09x0.19
K	1.81	0.09x0.19



Datos del material

Emin: 870115000.00 kg/m2	Factor	fc: 285500 kg/m2
fc: 5.71 Mpa	0.500	fm: 905947.826 kg/m2
fm: 28.94 Mpa	0.313	ft: 4335652.17 kg/m2
ft: 49.86 Mpa	0.870	

Cargas

q (cuerda superior)	199.055465 kg/m2	233.890172 Kg/m	Muerta +Viva +Barlovento
q (cuerda inferior)	20.3943243 kg/m2	23.963331 Kg/m	Cielo raso

- Flexo-compresión

Datos del elemento		
Elemento:	I	
l _{1_inclinada} :	1.845	m
l _{2_inclinada} :	1.84	m
l _{1_horizontal} :	1.64	m
l _{2_horizontal} :	1.64	m
b:	0.09	m
h:	0.19	m
Espaciamiento:	1.175	m

$$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{K_m/M/}{Z * f_m} < 1$$

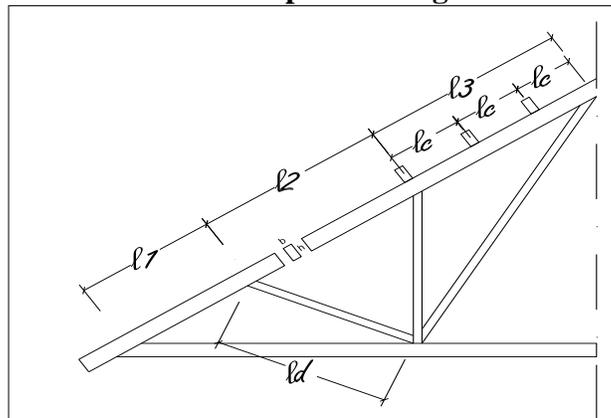
$$N_{actuante SAP200} = 595.9 \text{ kg}$$

$$A = b * h = 0.09 * 0.19 = 0.0171 \text{ m}^2$$

$$I_x = \frac{b * h^3}{12} = \frac{0.09 * 0.19^3}{12} = 5.14425E - 05 \text{ m}^4$$

$$Z_x = \frac{b * h^2}{6} = \frac{0.09 * 0.19^2}{6} = 0.0005415 \text{ m}^3$$

Consideraciones para la longitud efectiva

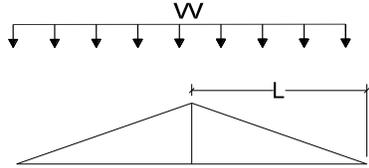
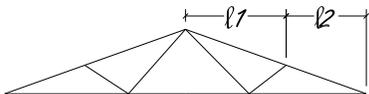
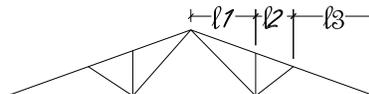


Elemento	d	lef
Cuerda (Plano Armadura)	h	0.4*(l1+l2) ó 0.4*(l2+l3)
Entrecorreas	b	lc
Montante o diagonales	b	0.8*ld

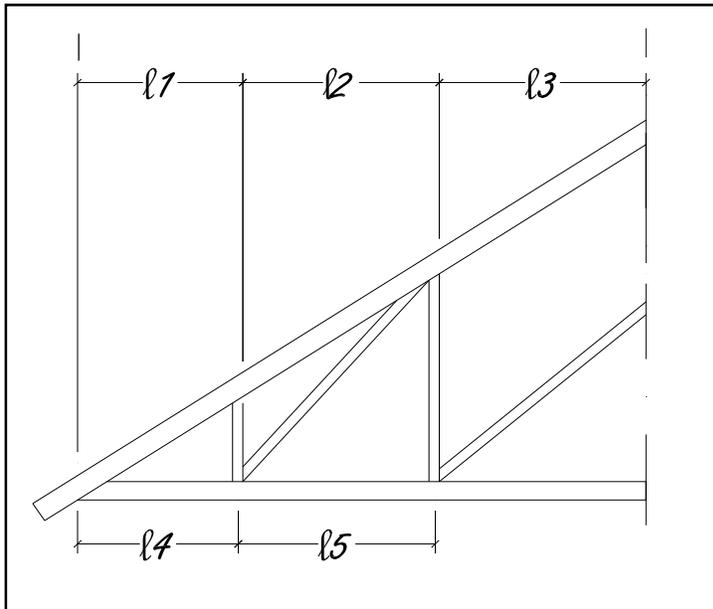
Fuente: (JUNAC, 1984)

$$l_{ef} = 0.4 * (l_{1inclinado} + l_{2inclinado}) = 0.4 * (1.845 + 1.84) = 1.474 \text{ m}$$

$$d = 0.19 \text{ m}$$

Momentos Flectores	
Cuerdas Superiores	
$M = \frac{w * L^2}{9}$	
$M = \frac{w * L^2}{10}$	
$M = \frac{w * L^2}{11}$	
Cuerda Inferior	$M = \frac{w * L^2}{8}$ L: Mayor promedio de dos tramos consecutivos

Fuente: (JUNAC, 1984)



$$L = \frac{l_1 + l_2}{2} \quad \text{ó} \quad L = \frac{l_2 + l_3}{2}$$

Fuente: (JUNAC, 1984)

$$L = \frac{l_{1horizontal} + l_{2horizontal}}{2} = \frac{1.64 + 1.64}{2} = 1.64 \text{ m}$$

$$M = \frac{w * L^2}{10} = \frac{233.89 * 1.64^2}{10} = 62.91 \text{ kg * m}$$

$$C_k = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} = 0.7025 \sqrt{\frac{870115000}{285500}} = 38.78$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{d} = \frac{1.474}{0.19} = 7.75$$

Para $\lambda < 10$: $N_{adm} = f_c * A$

$$N_{adm} = 285500 * 0.0171 = 4882.05 \text{ kg}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{l_{ef}^2} = \frac{\pi^2 * 870115000 * 5.14425E - 05}{1.474^2} = 203330.95 \text{ kg}$$

$$K_m = \frac{1}{1 - 1.5 * \frac{N}{N_{cr}}} = \frac{1}{1 - 1.5 * \frac{595.9}{203330.95}} = 203330.95 \text{ kg}$$

$$\frac{595.9}{4882.05} + \frac{1.004 * 62.91}{0.0005415 * 905947.83} < 1$$

$$0.251 < 1 \text{ OK}$$

$$l_{c_construido} < l_c = \lambda * b$$

$$0.65 < 7.758 * 0.09$$

$$0.65 < 0.70 \text{ OK}$$

- Compresión.

Datos del elemento		
Elemento:	D	
b:	0.09	m
h:	0.19	m
ld:	2.5	m

$$N_{adm} > N_u$$

$$N_{actuante \text{ SAP200}} = 625.1 \text{ kg}$$

$$A = b * h = 0.09 * 0.19 = 0.0171 \text{ m}^2$$

$$l_{ef} = 0.8 * l_d = 0.8 * 2.5 = 2 \text{ m}$$

$$d = 0.09 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{d} = \frac{2}{0.09} = 22.22$$

$$C_k = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} = 0.7025 \sqrt{\frac{870115000}{285500}} = 38.78$$

Para $10 < \lambda < C_k$:
$$N_{adm} = f_c * A \left(1 - \frac{1}{3} * \left(\frac{\lambda}{C_k} \right)^4 \right)$$

$$N_{adm} = 285500 * 0.0171 * \left(1 - \frac{1}{3} * \left(\frac{22.22}{38.78} \right)^4 \right) = 4706.62 \text{ kg}$$

4706.62 kg > 625.1 kg OK

- Tracción.

Datos del elemento		
Elemento:	E	
b:	0.09	m
h:	0.19	m

$$N = f_t * A > N_u$$

$$N_{actuante \text{ SAP200}} = 811.2 \text{ kg}$$

$$A = b * h = 0.09 * 0.19 = 0.0171 \text{ m}^2$$

$$N = 4335652.174 * 0.0171 > 811.2$$

74139.65 > 811.2 OK

- Flexo-tracción.

Datos del elemento		
Elemento:	A	
b:	0.09	m
h:	0.19	m
l _{horizontal} :	1.64	m
l _{horizontal} :	1.61	m

$$\frac{N}{f_t * A} + \frac{|M|}{Z * f_m} < 1$$

$$N_{actuante \text{ SAP200}} = 808.9 \text{ kg}$$

$$A = b * h = 0.09 * 0.19 = 0.0171 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{l_{1\text{horizontal}} + l_{2\text{horizontal}}}{2} = \frac{1.64 + 1.61}{2} = 1.625 \text{ m}$$

$$M = \frac{w * L^2}{8} = \frac{23.96 * 1.625^2}{8} = 7.91 \text{ kg * m}$$

$$Z_x = \frac{b * h^2}{6} = \frac{0.09 * 0.19^2}{6} = 0.0005415 \text{ m}^3$$

$$\frac{808.9}{4335652.174 * 0.0171} + \frac{7.90}{0.0005415 * 905947.8261} < 1$$

$$0.027034101 < 1 \text{ OK}$$

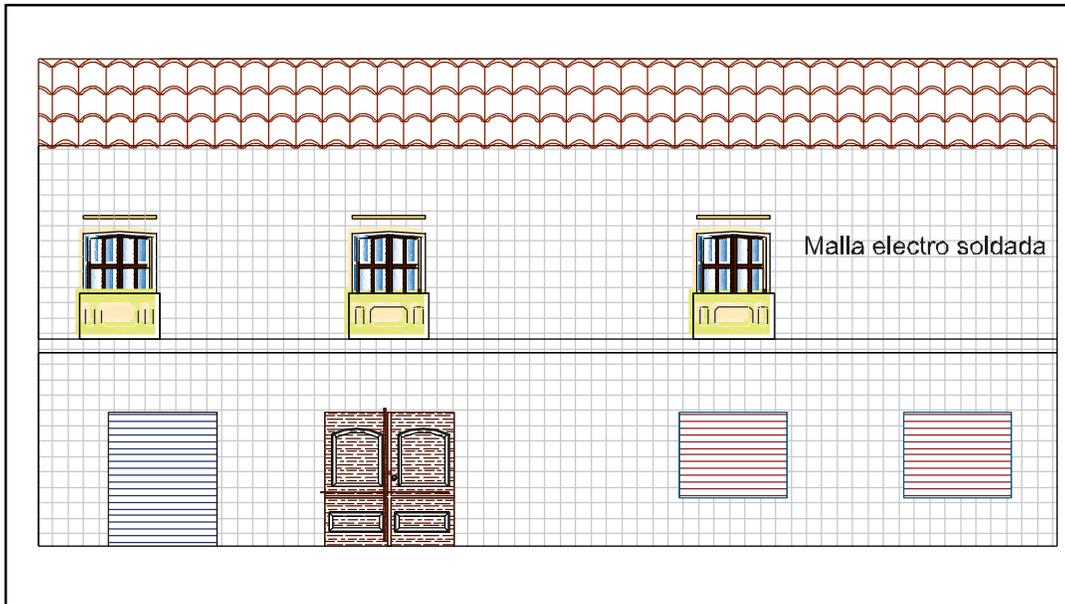
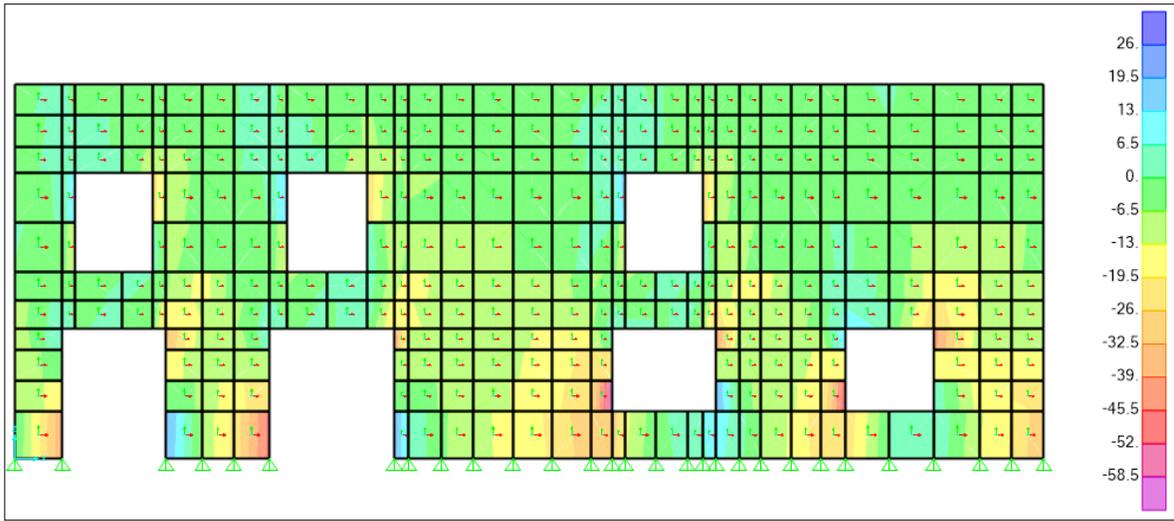
Anexo 7.9. Registro fotográfico



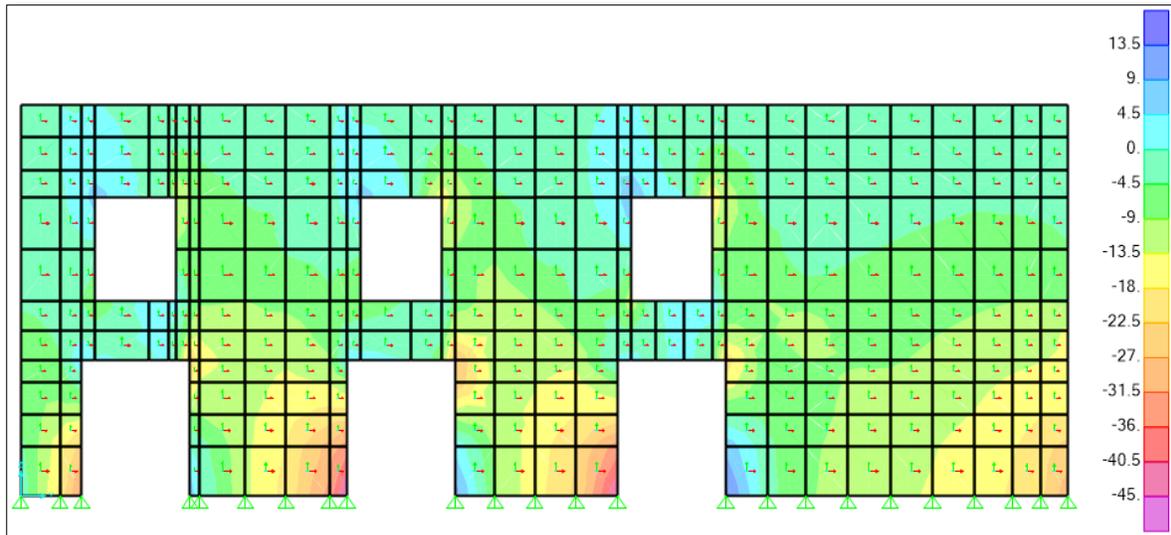
Anexo 7.10. Reforzamiento por concentración de esfuerzos

El reforzamiento con mallas electro soldadas fueron colocadas en todos los muros, los ejes 8 y F presentaron mayor concentración de esfuerzos.

- Eje 8



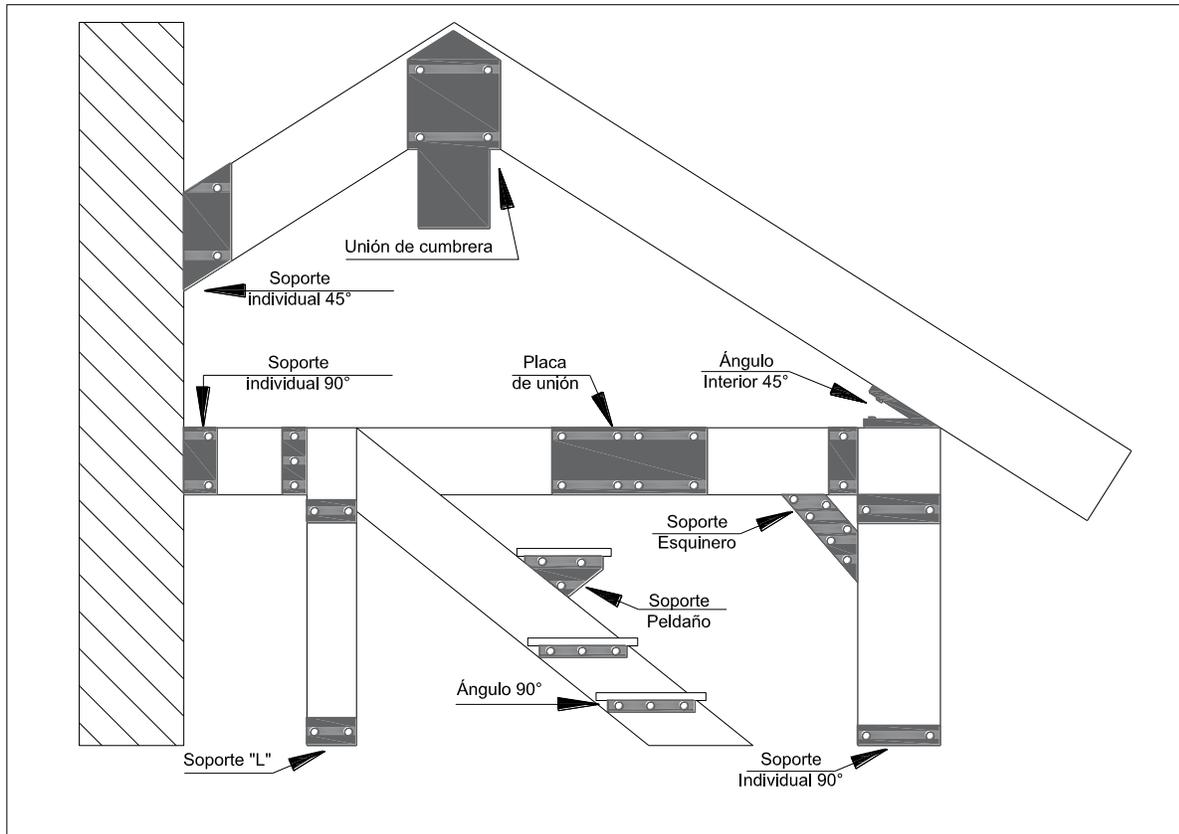
- Eje F



Anexo 7.11. Uniones de elementos de madera

Las uniones estructurales de los elementos de madera se pueden realizar mediante calvos, pernos, tirafondos, zunchos, pletinas y ángulos metálicos, pero en la actualidad las uniones se resuelven con chapas metálicas. El sistema empelado en este tipo de edificación es el entramado

plataforma, el cual permite fabricar los componentes en forma artesanal o industrial para luego ser montados en obra (JUNAC, 1984).



Fuente: (Lefevre & Cano, 2016)