



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**PROPUESTA DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA CASA
PATRIMONIAL UBICADA EN EL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Civil

AUTORES: DIEGO MAURICIO MOROCHO SIMBAÑA

BRYAM JOEL OBELENCIO MARIN

TUTOR: ING. JONNATHAN DARÍO SANTOS BENÍTEZ, MSc.

Cuenca - Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Diego Mauricio Morocho Simbaña con documento de identificación N° 0302767827 y Bryam Joel Obelencio Marin con documento de identificación N° 0105997944; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 28 de julio del 2024

Atentamente,



Diego Mauricio Morocho Simbaña

0302767827



Bryam Joel Obelencio Marin

0105997944

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Diego Mauricio Morocho Simbaña con documento de identificación N° 0302767827 y Bryam Obelencio Marin con documento de identificación N° 015997944, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Propuesta de reforzamiento estructural de una casa patrimonial ubicada en el centro histórico de Cuenca”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 28 de julio del 2024

Atentamente,



Diego Mauricio Morocho Simbaña

0302767827



Bryam Joel Obelencio Marin

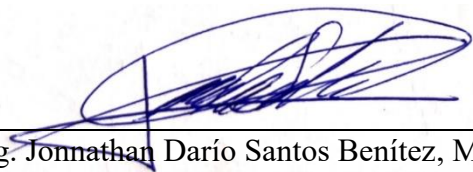
0105997944

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jonnathan Darío Santos Benítez con documento de identificación N° 0105088058, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “PROPUESTA DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA CASA PATRIMONIAL UBICADA EN EL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA”, realizado por Diego Mauricio Morocho Simbaña con documento de identificación N° 0302767827 y Bryam Obelencio Marin con documento de identificación N° 0105997944, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 28 de julio del 2024

Atentamente,



Ing. Jonnathan Darío Santos Benítez, MSc.

0105088058

Agradecimiento

Bryam Obelencio Marin

En primer lugar, agradezco a mis padres Luis Alberto Obelencio Cuenca y Narcisa de Jesús Marin Chica, por todo el apoyo y sacrificio que han hecho por mí, ustedes son mi ejemplo y son quienes me motivaron a seguir adelante a pesar de las adversidades. También son los que me han brindado apoyo material y económico para concentrarme en mis estudios, por lo cual estoy plenamente agradecido ya que sin su apoyo no lo hubiera podido conseguir.

A mis hermanas Janneth Estefanía Cabrera Marin y Jessica Andrea Cabrera Marin, gracias por su apoyo y confianza que pusieron en mí, ustedes han estado alentándome a seguir adelante y a nunca rendirme. Gracias por recorrer este camino conmigo.

A mis increíbles amigos que han estado conmigo dándome consejos y sobre todo su comprensión en este tiempo. Es reconfortante saber que tengo a mi lado a personas con las que puedo contar siempre.

Agradecimiento

Diego Mauricio Morocho Simbaña

"Cuando algo es lo suficientemente importante, lo haces incluso si las probabilidades no están a tu favor"

Elon Musk

La vida está llena de incertidumbres; cada día trae nuevas oportunidades de experimentar alegrías y tristezas. Estas experiencias se viven mejor acompañado, y por eso quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi madre y a mi abuela, mujeres fuertes y responsables cuyo amor ha formado los cimientos de mi existencia. Gracias por ser únicas, estar siempre a mi lado y creer en mí, proporcionándome amor y fuerza a lo largo de mi vida. Quiero dar las gracias a mis hermanas Gady, Georgina y Nathaly por su compañía, paciencia y comprensión. Su apoyo silencioso ha sido fundamental para completar esta etapa de mi vida.

Me gustaría dar las gracias a mi hermana mayor, Verónica, por haber sido una hermana mayor tan estupenda a lo largo de los meses anteriores, insistiendo siempre en el final de esta etapa e inspirándome para seguir adelante.

A todos, quiero expresarles que sus ánimos y su fe en mí me han ayudado a culminar esta meta. Llevaré conmigo las lecciones que he aprendido, el apoyo que he recibido y el amor incondicional que me han demostrado.

Finalmente expresar mi más sincero agradecimiento a mis profesores de toda la carrera, especialmente a mi tutor de tesis. Su dedicación y compromiso con la enseñanza han sido una fuente constante de inspiración y motivación. Gracias por impartirnos sus conocimientos y guiarnos con paciencia y sabiduría. Su trabajo ha tenido un impacto indeleble en mi crecimiento profesional y personal.

Resumen

Las edificaciones patrimoniales existentes tienen un significado histórico, artístico y simbólico para la identidad del país, ya que fueron elaboradas con una tecnología simple para su época. Estas edificaciones fueron usadas como viviendas y centros de comercio, fue tal su desarrollo que pese al pasar de los años y sumado a los fenómenos naturales como lluvia y sismos, estas edificaciones se mantienen en pie.

Con todos estos antecedentes podemos comprender la importancia de conservar estos registros históricos y para ello se tiene en cuenta el mantenimiento y reforzamiento para preservarlas. Los fallos en los elementos estructurales como lo son los muros, provocado por los eventos sísmicos y su poca resistencia a la tracción indican su mal comportamiento frente movimientos telúricos y para esto se hizo la investigación de técnicas de reforzamiento adecuadas que ayuden a mejorar la condición de la edificación. Esto se llevó a cabo mediante un levantamiento planimétrico de la estructura para así poder identificar el tipo de fallos que posee la estructura, todo esto seguido de una modelación inicial de la edificación para ver los resultados de los desplazamientos que presenta, seguido de esto se realizó la modelación con las técnicas de refuerzo relacionado con el tipo de fallos que presenta la estructura. El refuerzo de mallas electrosoldadas para los muros es lo que se consideró teniendo en cuenta el principio de preservar su diseño arquitectónico.

Al realizar la modelación con los dos casos, se determinó el período fundamental. Además, se llevaron a cabo los chequeos de los esfuerzos en los muros mediante la modelación del estado reforzado. La técnica de reforzamiento aplicada contribuyó a mejorar las condiciones de la edificación durante el análisis sísmico.

Palabras clave: Edificaciones patrimoniales, técnicas de reforzamiento, rehabilitación, vulnerabilidad sísmica.

Abstract

The existing heritage buildings have a historical, artistic and symbolic significance for the country's identity, since they were built with a simple technology for their time. These buildings were used as homes and commercial centers, and such was their development that despite the passing of the years and the addition of natural phenomena such as rain and earthquakes, these buildings remain standing. With all this background we can understand the importance of preserving these historical records and for this purpose maintenance and reinforcement are taken into account to preserve them. The failures in the structural elements such as the walls, caused by seismic events and their low tensile strength indicate their poor behavior in the face of telluric movements and for this reason the investigation of appropriate reinforcement techniques that help to improve the condition of the building was carried out. This was carried out through a planimetric survey of the structure in order to identify the type of failures that the structure has, followed by an initial modeling of the building to see the results of the displacements it presents, followed by the modeling with the reinforcement techniques related to the type of failures that the structure presents. The reinforcement of electrowelded mesh for the walls was considered taking into account the principle of preserving its architectural design. By performing the modeling with the two cases, the fundamental period was determined. In addition, the stress checks on the walls were carried out by modeling the reinforced state. The applied strengthening technique contributed to improve the conditions of the building during the seismic analysis.

Keywords: Heritage buildings, strengthening techniques, rehabilitation, seismic vulnerability.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Importancia y alcance.....	4
2. OBJETIVOS.....	6
2.1. Objetivo general.....	6
2.2. Objetivos específicos.....	6
3. DELIMITACIÓN.....	7
4. MARCO TEÓRICO.....	8
4.1. Elementos de una edificación patrimonial.....	8
4.1.1. Las cimentaciones.....	8
4.1.2. Muros de Adobe.....	9
4.1.3. Entrepisos.....	10
4.1.4. Cubiertas.....	12
4.2. Características del adobe en la construcción.....	14
4.3. Características de la madera en la construcción.....	16
4.3.1. Propiedades físicas de la madera estructural.....	17
4.3.2. Propiedades mecánicas de la madera estructural.....	19
4.4. Vulnerabilidad sísmica.....	22
4.4.1. Vulnerabilidad sísmica por origen.....	22

4.4.2.	Vulnerabilidad sísmica progresiva	23
4.4.3.	Amenaza sísmica.....	23
4.5.	Reforzamiento.....	23
4.6.	Refuerzos en estructuras patrimoniales.....	23
4.7.	Reforzamiento estructural de muros.....	25
4.7.1.	Refuerzo con malla electrosoldada.....	25
4.8.	Reforzamiento de cimentaciones.....	27
4.9.	Reforzamiento en elementos de madera.....	27
4.10.	Rehabilitación en elementos de madera	28
4.10.1.	Cubierta.....	28
4.10.2.	Entrepiso	29
5.	METODOLOGÍA.....	29
5.1.	Análisis y selección de la tipología del lugar de estudio.....	29
5.2.	Inspección visual.....	30
5.3.	Determinación de las condiciones actuales de la edificación	30
5.3.1.	Condición en que se encuentra la edificación.....	30
5.3.2.	Identificación de los elementos estructurales presentes y sus materiales	31
5.3.3.	Levantamiento planimétrico.....	31
5.3.4.	Levantamiento de fallos en muros.....	32
5.3.5.	Características del adobe y la madera estructural.	32
5.3.6.	Determinación de las cargas en la edificación.....	34

5.3.7.	Procedimiento para determinar cargas verticales.....	34
5.3.8.	Procedimiento para determinar cargas laterales o fuerzas dinámicas	35
5.3.9.	Zonas sísmicas del Ecuador y factor zona (Z).....	35
5.4.	Determinación del espectro elástico	40
5.4.1.	Coeficiente de importancia y categoría de la edificación	41
5.4.2.	Coeficiente de regularidad estructural en planta y elevación	43
5.4.3.	Factor de reducción de resistencia sísmica R.....	46
5.4.4.	Cálculo del cortante basal V.....	47
5.4.5.	Determinación del período de vibración aproximado T_a	48
5.5.	Combinaciones de carga.....	49
5.6.	Selección de la técnica de reforzamiento	49
5.6.1.	Muros.....	49
5.6.2.	Presentación de muros con refuerzo.....	51
5.6.3.	Chequeo en muros.....	51
5.7.	Modelación estructural.....	53
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
6.1.	Descripción de la edificación.....	53
6.1.1.	Elementos estructurales.....	55
6.2.	Levantamiento planimétrico.....	55
6.2.1.	Planimetría inicial.	55
6.3.	Resultados de fallos en la estructura.....	60

6.4.	Cargas en estado inicial.....	61
6.5.	Resultado de las propiedades mecánicas de los materiales.....	62
6.6.	Espectro sísmico elástico de aceleraciones.....	63
6.6.1.	Caracterización del tipo de perfil del suelo.....	63
6.6.2.	Período fundamental (T).....	65
6.7.	Cortante basal para la edificación en su estado inicial.....	67
6.7.1.	Fuerza sísmica por piso de la estructura.....	67
6.8.	Modelaje estructural de la edificación en su estado inicial.....	69
6.8.1.	Definición de materiales.....	71
6.8.2.	Definición de secciones de los elementos estructurales en el modelo.....	72
6.8.3.	Definición de los estados de carga presentes en la estructura.....	74
6.8.4.	Asignación de las combinaciones de cargas.....	76
6.8.5.	Configuración geométrica de muros estructurales.....	77
6.8.6.	Asignación de cargas en la estructura computacional.....	79
6.8.7.	Asignación de cargas laterales dinámicas (espectro inelástico).....	79
6.8.8.	Análisis estructural computacional.....	82
6.8.9.	Participación modal.....	86
6.8.10.	Control de derivas.....	86
6.9.	Aplicación de las técnicas de reforzamiento de la estructura.....	87
6.9.1.	Muros.....	87
6.10.	Modelación en estado reforzado.....	91

6.10.1.	Cargas en estado reforzado.....	91
6.10.2.	Definición de materiales reforzados.....	92
6.10.3.	Período fundamental (T) en estado reforzado	94
6.10.4.	Cortante basal para la edificación en su estado reforzado	94
6.10.5.	Esfuerzos en Muros.....	95
6.10.6.	Participación modal.....	99
6.10.7.	Control de derivas en estado reforzado.....	99
6.11.	Chequeo de muros.....	100
6.11.1.	Muro X21.....	100
6.11.2.	Muro X2.....	100
6.11.3.	Muro X3.....	101
6.11.4.	Muro X5.....	101
6.11.5.	Muro Y10.....	101
6.11.6.	Muro X10.....	102
6.11.7.	Muro X19.....	102
6.11.8.	Muro Y5.....	102
6.11.9.	Muro X1.....	103
6.11.10.	Muro X8.....	103
6.11.11.	Muro X17.....	103
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
7.1.	Conclusiones.....	104

7.2. Recomendaciones.....	104
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
9. ANEXOS	111
9.1. Resumen de los resultados de las áreas y pesos de muros.....	111
9.2. Resumen de los resultados de los pesos de las columnas.....	112
9.3. Resumen de los resultados de los pesos del entrepiso.	113
9.4. Resumen de los resultados de los pesos de la cubierta.	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Clasificación de madera estructural</i>	17
Tabla 2. <i>Esfuerzos admisibles de la madera estructural</i>	21
Tabla 3. <i>Módulo de elasticidad de la madera estructural</i>	22
Tabla 4. <i>Técnicas de reforzamiento</i>	24
Tabla 5. <i>Uso y recomendaciones para las técnicas de refuerzo</i>	25
Tabla 6. <i>Parámetros para determinar la condición de la estructura</i>	31
Tabla 7. <i>Simbología de la estructura</i>	32
Tabla 8. <i>Escala de calificación de los elementos</i>	32
Tabla 9. <i>Resumen de propiedades características del adobe</i>	33
Tabla 10. <i>Resumen de propiedades características de la madera</i>	34
Tabla 11. <i>Valores del factor Z según la zona sísmica</i>	37
Tabla 12. <i>Clasificación de los perfiles del suelo</i>	37
Tabla 13. <i>Fa, coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto</i>	39
Tabla 14. <i>Fd, amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca</i>	39
Tabla 15. <i>Fs, comportamiento no lineal de los suelos</i>	40
Tabla 16. <i>Tipo de uso e importancia de edificaciones</i>	42
Tabla 17. <i>Coeficiente de irregularidad en elevación, ϕ_e</i>	44
Tabla 18. <i>Coeficiente de irregularidad en elevación, ϕ_p</i>	45
Tabla 19. <i>Coeficiente R para sistemas de poca ductilidad</i>	46
Tabla 20. <i>Coeficiente para el cálculo del período fundamental</i>	48
Tabla 21. <i>Refuerzos de muros según la esbeltez</i>	50
Tabla 22. <i>Descripción de los elementos de la estructura</i>	54
Tabla 23. <i>Fallos existentes en la estructura</i>	61

Tabla 24. <i>Cargas por metro cuadrado primer piso.</i>	61
Tabla 25. <i>Cargas por metro cuadrado cubierta.</i>	62
Tabla 26. <i>Propiedades mecánicas del adobe utilizadas en este proyecto.</i>	63
Tabla 27. <i>Propiedades mecánicas del eucalipto.</i>	63
Tabla 28. <i>Criterios para clasificar suelos según los perfiles C, D o E.</i>	64
Tabla 29. <i>Datos esenciales para el espectro sísmico.</i>	64
Tabla 30. <i>Aceleración espectral para diferentes períodos.</i>	66
Tabla 31. <i>Datos para el cálculo del cortante basal.</i>	67
Tabla 32. <i>Fuerzas sísmicas por nivel de estructura.</i>	69
Tabla 33. <i>Cargas adicionales presentes en la estructura.</i>	79
Tabla 34. <i>Datos para la gráfica del espectro inelástico.</i>	81
Tabla 35. <i>Esfuerzos en estado inicial de la estructura.</i>	83
Tabla 36. <i>Participación modal en los ejes principales.</i>	86
Tabla 37. <i>Control de deriva por nivel en el sentido x.</i>	87
Tabla 38. <i>Control de deriva por nivel en el sentido y.</i>	87
Tabla 39. <i>Reforzamiento de muros.</i>	88
Tabla 40. <i>Índice de densidad de muros de la primera planta estado inicial.</i>	90
Tabla 41. <i>Índice de densidad de muros de la segunda planta estado reforzado.</i>	91
Tabla 42. <i>Cargas por metro cuadrado de entepiso en estado reforzado.</i>	91
Tabla 43. <i>Cargas por metro cuadrado de cubierta en estado reforzado.</i>	92
Tabla 44. <i>Datos para el cálculo del cortante basal en estado reforzado.</i>	94
Tabla 45. <i>Fuerzas sísmicas por nivel de estructura. Estado reforzado.</i>	95
Tabla 46. <i>Esfuerzos en estado reforzado de la estructura.</i>	96
Tabla 47. <i>Participación modal en los ejes principales.</i>	99
Tabla 48. <i>Control de deriva por nivel en el sentido x.</i>	99

Tabla 49. <i>Control de deriva por nivel en el sentido y</i>	99
Tabla 50. <i>Chequeo de la ecuación unitaria del muro X21</i>	100
Tabla 51. <i>Chequeo de la ecuación unitaria del muro X2</i>	100
Tabla 52. <i>Chequeo de la ecuación unitaria del muro X3</i>	101
Tabla 53. <i>Chequeo de la ecuación unitaria del muro X5</i>	101
Tabla 54. <i>Chequeo de la ecuación unitaria del muro Y10</i>	101
Tabla 55. <i>Chequeo de la ecuación unitaria del muro X10</i>	102
Tabla 56. <i>Chequeo de la ecuación unitaria del muro X19</i>	102
Tabla 57. <i>Chequeo de la ecuación unitaria del muro Y5</i>	102
Tabla 58. <i>Chequeo de la ecuación unitaria del muro X21</i>	103
Tabla 59. <i>Chequeo de la ecuación unitaria del muro X8</i>	103
Tabla 60. <i>Chequeo de la ecuación unitaria del muro X17</i>	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Delimitación de la zona de estudio</i>	7
Figura 2. <i>Esquema de cimentación en estructuras de tierra</i>	8
Figura 3. <i>Elementos de un Entrepiso</i>	11
Figura 4. <i>Acabados de Entrepiso</i>	12
Figura 5. <i>Distribución de tensiones en cubierta</i>	13
Figura 6. <i>Elementos de Cubierta</i>	14
Figura 7. <i>Moldeado del bloque de Adobe</i>	15
Figura 8. <i>Composición del tronco y ejes principales</i>	18
Figura 9. <i>Mapa de peligro sísmico para un periodo de retorno de 475 años</i>	36
Figura 10. <i>Espectro elástico de aceleraciones</i>	41
Figura 11. <i>Espesor de los muros con reforzamiento</i>	51
Figura 12. <i>Vista Principal de la Casa Patrimonial</i>	55
Figura 13. <i>Planimetría primer piso</i>	56
Figura 14. <i>Planimetría segundo piso</i>	57
Figura 15. <i>Vista frontal</i>	58
Figura 16. <i>Vista lateral de la cubierta</i>	59
Figura 17. <i>Vista superior cubierta</i>	60
Figura 18. <i>Espectro elástico de la edificación patrimonial en condiciones iniciales</i>	65
Figura 19. <i>Modelo tridimensional de la edificación</i>	69
Figura 20. <i>Definición de la grilla</i>	70
Figura 21. <i>Definición de las propiedades del adobe</i>	71
Figura 22. <i>Definición de las propiedades de la madera</i>	72
Figura 23. <i>Definición de las secciones de madera</i>	73
Figura 24. <i>Definición del muro de adobe</i>	74

Figura 25. <i>Definición de los estados de carga</i>	75
Figura 26. <i>Asignación de coeficientes para carga sísmica</i>	75
Figura 27. <i>Distribución de los muros de adobe en planta baja</i>	77
Figura 28. <i>Distribución de los muros de adobe en planta alta</i>	78
Figura 29. <i>Grafica del espectro elástico e inelástico</i>	80
Figura 30. <i>Espectro Inelástico de la Ciudad de Cuenca</i>	82
Figura 31. <i>Esfuerzo S11 (kg/m²) en estado inicial, con la combinación 1.1D + 0.275L + ISx</i>	84
Figura 32. <i>Esfuerzo S22 (kg/m²) en estado inicial, con la combinación 1.1D + 0.275L + ISx</i>	84
Figura 33. <i>Esfuerzo S11 (kg/m²) – Entrepiso, estado inicial, con la combinación 1.1D + 0.275L + ISx</i>	85
Figura 34. <i>Esfuerzo S22 (kg/m²) – Entrepiso, estado inicial, con la combinación 1.1D + 0.275L + ISx</i>	85
Figura 35. <i>Vista en planta de refuerzo de juntas esquineras</i>	89
Figura 36. <i>Vista en planta del refuerzo para paredes con encuentro</i>	89
Figura 37. <i>Vista frontal de conectores</i>	90
Figura 38. <i>Definición de las propiedades del adobe reforzado</i>	93
Figura 39. <i>Definición del muro de adobe</i>	93
Figura 40. <i>Esfuerzo S11 (kg/m²) en estado reforzado, con la combinación 1.1D + 0.275L + ISx</i> . 97	
Figura 41. <i>Esfuerzo S22 (kg/m²) en estado reforzado, con la combinación 1.1D + 0.275L + ISx</i> . 97	
Figura 42. <i>Esfuerzo S11 (kg/m²) – Entrepiso, estado reforzado, con la combinación 1.1D + 0.275L + ISx</i>	98
Figura 43. <i>Esfuerzo S22 (kg/m²) – Entrepiso, estado reforzado, con la combinación 1.1D + 0.275L + ISx</i>	98

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Cortante Basal	47
Ecuación 2: Período de vibración aproximado	48
Ecuación 3: Índice de densidad de muros	50
Ecuación 4: Ecuación unitaria	52
Ecuación 5: Esfuerzo de compresión en mampostería	52
Ecuación 6: Esfuerzo en pila de adobe	52
Ecuación 7: Esfuerzo de compresión admisible	52
Ecuación 8: Esfuerzo de compresión admisible para carga axial	52
Ecuación 9: Esfuerzo de compresión admisible para carga axial	52
Ecuación 10: Período fundamental aproximado inicial.....	65
Ecuación 11: Cortante basal en función de w.....	67
Ecuación 12: Fuerza lateral por piso de la estructura	68
Ecuación 13: Coeficiente (k).....	68
Ecuación 14: Combinación 1 de Rehabilitación	76
Ecuación 15: Combinación 2 de Rehabilitación	76
Ecuación 16: Combinación 3 de Rehabilitación	76
Ecuación 17: Combinación 4 de Rehabilitación	76
Ecuación 18: Combinación 5 de Rehabilitación	76
Ecuación 19: Combinación 6 de Rehabilitación	76
Ecuación 20: Combinación 7 de Rehabilitación	76
Ecuación 21: Combinación 8 de Rehabilitación	76
Ecuación 22: Combinación 9 de Rehabilitación	76
Ecuación 23: Combinación 10 de Rehabilitación	76
Ecuación 24: Combinación 11 de Rehabilitación	76

Ecuación 25: Combinación 12 de Rehabilitación	76
Ecuación 26: Combinación 13 de Rehabilitación	76
Ecuación 27: Combinación 14 de Rehabilitación	76
Ecuación 28: Combinación 15 de Rehabilitación	76
Ecuación 29: Combinación 16 de Rehabilitación	76
Ecuación 30: Combinación 17 Envolvente dirección X.....	76
Ecuación 31: Combinación 18 Envolvente dirección Y.....	76
Ecuación 32: Deriva Máxima.....	86
Ecuación 33: Cortante basal, coeficiente (C). Estado reforzado.....	94
Ecuación 34: Cortante Basal. Estado reforzado.....	94
Ecuación 35: Fuerza lateral por piso de la estructura.....	95
Ecuación 36: Ecuación unitaria.....	100

1. INTRODUCCIÓN

La ascendencia de los españoles en América Latina ha dejado muchos legados, entre ellos las construcciones de edificaciones que fueron usadas como viviendas y centros de comercio con materiales y métodos de la época, que dinamizaban la economía y la sociedad. Fue tal su desarrollo constructivo que las edificaciones, hasta la actualidad, en varias ciudades del mundo se han mantenido de pie y continúan siendo útil para su uso. Además, son consideradas patrimonio a raíz de la Convención para la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural, establecida en 1972, que busca dar testimonio de la gran diversidad y riqueza de las formas de expresión de los seres humanos a lo largo del tiempo.

Al declarar ciudades como patrimonio, lo hacen desde una visión centrada en lo material, precisamente en lo monumental y lo edificado, con una perspectiva cultural (Jara, 2021). De las ciudades antiguas se busca preservar su identidad, su memoria y su belleza, así como promover su desarrollo sostenible y su conocimiento entre las generaciones presentes y futuras. De esta manera, la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura), con el fin de contribuir al mantenimiento de la paz reforzando la colaboración entre los pueblos a través de la educación, la ciencia y la cultura, declaró cerca de 40 ciudades históricas latinoamericanas como Patrimonio de la Humanidad (Centre, 2023).

Las construcciones patrimoniales fueron elaboradas con una tecnología simple y de bajo costo, en la actualidad son vulnerables frente a fenómenos naturales como la lluvia y sismos. Los sismos a estos tipos de estructuras causan severos daños que pueden llevar al colapso, causan pérdidas económicas, patrimoniales y sobre todo pérdidas de vidas humanas como uno de los eventos más desafortunados.

Ecuador tiene zonas de alta amenaza y peligrosidad sísmica al estar ubicado en el denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, debido a esto a suscitado movimientos telúricos como el de 1906 que

alcanzó una magnitud 8.8 convirtiéndose en uno de los sismos más grandes de la historia (Quinde Martínez & Reinoso Angulo, 2016).

El respeto por el patrimonio cultural existe tanto en lo tangible como en lo invisible. Debemos mantener y aplicar medidas para salvaguardar la viabilidad del patrimonio, lo que incluye la identificación, la documentación, el estudio, la conservación, la protección, la promoción, la valorización, la transmisión, principalmente a través de la educación formal y no formal, y la revitalización de este legado en sus diferentes aspectos (UNESCO, 2005). En Latinoamérica entre algunos lugares que se deben conservar, es la ciudad de Oaxaca (en México) y la zona arqueológica de Monte Albán ya que forman un sitio cultural que muestra la fusión de las culturas indígenas y españolas, así como la importancia de la civilización zapoteca, en Perú el complejo arquitectónico de Chankillo es uno de los sitios más antiguos del mundo dedicados a la observación del sol, sus trece torres alineadas sobre una colina permitían seguir el movimiento del astro a lo largo del año.

1.1. Antecedentes

La ciudad de Quito capital de los ecuatorianos, fue una de las primeras ciudades en ser inscritas en la lista del patrimonio mundial en 1978, por su conjunto histórico colonial que conserva edificios religiosos y civiles de gran valor. Achig-Balarezo & Tenze (2019) mencionan que el 95% de las propiedades patrimoniales en Ecuador están a mano de propiedad privada o de religiosos. La ciudad de Cuenca, específicamente el Centro Histórico de Santa Ana fue declarado “Patrimonio Cultural de la Humanidad” en 1999 (Centre, 2023). Pero no fue hasta el siguiente año que se le otorgó el título por el magnífico estado de conservación de su casco colonial, cuyas casas son de adobe como material principal.

Cuenca ha experimentado una reconfiguración urbana auspiciada por los gobiernos para mejorar su imagen, conservar su legado e incrementar el turismo (Jara, 2021). El crecimiento poblacional, comercial y turístico ha llevado a la búsqueda de más espacios óptimos para distintos fines, ya sean

de habitabilidad o comercio. El centro histórico ha sido una opción para muchos, pero la mayoría de estas edificaciones no están en condiciones de uso, ya que carecen de mantenimiento adecuado y con el paso de los años se han ido deteriorando. A esto se suma las técnicas de construcción artesanal, ancestral y sin supervisión técnica suponen inestabilidad de las estructuras para los usos que demanda la actualidad. Las organizaciones como el ICOMOS (Consejo Internacional de Monumentos y Sitios) y la UNESCO no han emitido documentos con reglas o especificaciones para la intervención de estos bienes, ya que depende de la relación que existe del patrimonio con el entorno al que pertenece (Rojas y Pesántes, 2017).

Según el reporte de la agencia de noticias EFE News Service en 2017, uno de los sismos más relevantes de los últimos años es del 2016 por su tamaño y daños que ocasionó. Ocurrió en la provincia de Manabí con una magnitud de 7.8, dejando más de 670 muertos, miles de afectados y millonarias pérdidas. En la actualidad, ha ocurrido más movimientos de masas registrada el 18 de marzo de 2023, con una magnitud 6.8, que sacudió la costa sur de Ecuador (*Informes de los Últimos Sismos - Instituto Geofísico - EPN*, 2023). Este causó 14 muertos y más de 400 heridos. También provocó daños estructurales en edificios, carreteras y puentes, especialmente en las ciudades de Machala, Cuenca y Balao. Estos eventos fortuitos se deben a que en el país no se cuenta con un estricto cumplimiento de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y la misma carece de actualización por no existir estudios de efectos locales. Con estos antecedentes, se comprende la importancia del reforzamiento estructural para conservar la arquitectura antigua de las edificaciones presentes en el centro histórico de Cuenca y poder sumarse a la comunidad que busca el mantenimiento de edificios patrimoniales. Por esta razón, es necesario encontrar alternativas viables que se puedan emplear en la mayoría de las edificaciones y adaptables a la realidad local. La Norma Ecuatoriana de Construcción expone que el refuerzo estructural para estas edificaciones debe de hacerse en base a normas internacionales y no da lineamientos específicos que sean adaptables para cada lugar.

La antigüedad de estas estructuras, así como otras condiciones ambientales, contribuyen a su alta vulnerabilidad, ya que tienden a deteriorarse debido a la lluvia o al agua de infiltración. Por todas estas razones, las construcciones en tierra se caen, con la consiguiente pérdida de vidas humanas, económicas, culturales y patrimoniales. Otras causas de este problema, según estudios realizados en otros países como Perú y México, se deben a una serie de características deficientes, entre las que destacan los altos pesos de losas y techos, deficiencia de una unión adecuada entre muros, falta de diafragmas rígidos, estructuración inadecuada de los techos y ausencia de un material cementicio con buen desempeño mecánico (Valencia et al., 2012).

1.2. Importancia y alcance

Las pérdidas provocadas por los sismos pueden mitigarse o evitarse con una rehabilitación sísmica adecuada (Bostrom et al. 2006). En concreto, la aplicación de medidas de mitigación sísmica de los edificios propensos a los sismos puede reducir significativamente los daños provocados por los terremotos en el entorno construido. Tradicionalmente, muchos países situados en zonas sísmicas activas se han centrado en gran medida en tres enfoques para reducir las pérdidas provocadas por los desastres sísmicos: comprender la naturaleza científica de los terremotos, desarrollar soluciones técnicas de diseño y utilizar marcos normativos. Sin embargo, estos esfuerzos aún no han dado resultados satisfactorios

Las técnicas de reforzamiento y reconstrucción deben seleccionarse adecuadamente en función de la estructura y las características del material. Las edificaciones históricas no tienen su importancia cultural exclusivamente como reliquias del pasado, y el valor del patrimonio arquitectónico no reside únicamente en su apariencia, sino también la tecnología de construcción específica de su época. Los métodos, enfoques y herramientas deben estar relacionados con la minimización de la vulnerabilidad sísmica, así como la sostenibilidad y la seguridad sísmica que pueden mejorar el rendimiento del patrimonio cultural. Se utilizaron los resultados de trabajos, incluyendo documentación y fotografías

de la localidad, para determinar el estado de los objetos de investigación, así como posibles intervenciones con fines de restauración y conservación (Aleksić et al., 2022).

Podemos mencionar que Colombia es uno de los países que han dado relevancia a las estructuras patrimoniales pues se puede ver en (Ruiz Valencia et al., 2023a) las investigaciones realizadas y así mismo las normas presentes en dicho país. Esto que ha llevado a proponer alternativas muy eficaces para la rehabilitación de edificaciones en tierra, ya que son capaces de soportar cargas de compresión, pero su resistencia a la tracción es mínima. El objetivo principal es restaurar la arquitectura original en la medida de lo posible. Se ha creado un sistema de refuerzo a base de malla y mortero. La restauración con malla aumenta la ductilidad estructural, prolongando la vida de la estructura durante un terremoto y retrasando el derrumbe. Esta solución utiliza cerchas para limitar los muros en el suelo, que son de madera prismática o de acero. Otra opción utilizada es la colocación de placas de acero, que es una estrategia eficaz ya que reduce las vibraciones sísmicas hasta un 20%. Este refuerzo controla eficazmente las derivas, reduciendo los desplazamientos relativos entre pisos hasta en un 66% (Ruiz Valencia et al., 2023).

El presente trabajo se centra en analizar y guiarse en las diferentes Normativas acerca de la construcción en tierra y formas de reforzamiento, dado que en nuestro país no contamos con una normativa que ayude al reforzamiento en estructuras de adobe. Aquí se establecerán los criterios y procedimientos que se deben seguir para evaluar las vulnerabilidades que tienen las estructuras de tierra e intervenir las estructuras patrimoniales de adobe respetando los niveles de intervención establecidos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Aportar con una propuesta de reforzamiento estructural que no comprometa significativamente el valor histórico y cultural de un bien inmueble patrimonial emplazado en el centro histórico de la ciudad de Cuenca.

2.2. Objetivos específicos

- Analizar y seleccionar la tipología estructural, con base en estudios realizados anteriormente en los que se obtienen los parámetros iniciales.
- Determinar las condiciones actuales de la estructura seleccionada, mediante investigación o pruebas de laboratorio.
- Proponer el reforzamiento con base en normativas ya establecidas para dar estabilidad a las construcciones de tierra.

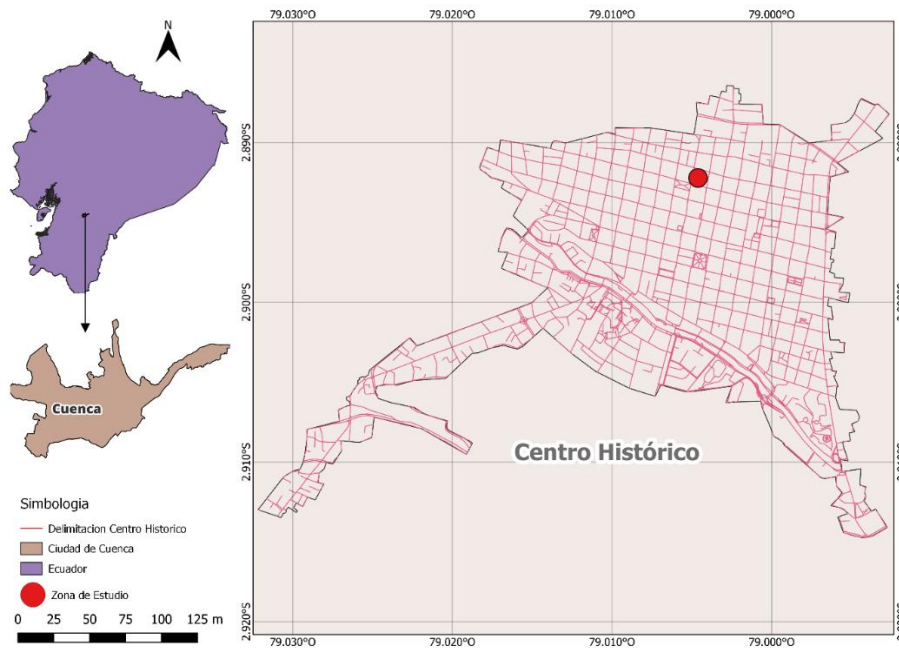
3. DELIMITACIÓN

La ciudad de Cuenca está ubicada en el valle interandino de la Sierra Austral en Ecuador, capital de la provincia del Azuay, cuenta con un importante sistema hidrográfico que lo conforman cuatro ríos principales que atraviesan la ciudad de oeste a este, que son los ríos Tomebamba, Yanuncay, Machángara y Tarqui. Adicionalmente, a esta ciudad lo caracteriza su riqueza arquitectónica y cultura que se ven reflejados en su centro histórico que abarca 200 hectáreas, se encuentra edificaciones de estilo colonial y republicanas, convirtiéndola así en una de las zonas residenciales más antiguas.

En este apartado se define los límites del centro histórico para posteriormente detallar el lugar de estudio. Mediante el programa QGIS y con la base de datos geográficos más recientes presentes en páginas de internet gubernamentales como la página del Sistema Nacional de Información (SNI) se elabora la cartografía que plasma el centro histórico de la Ciudad.

Figura 1.

Delimitación zona de estudio.



Fuente: Autores.

4. MARCO TEÓRICO

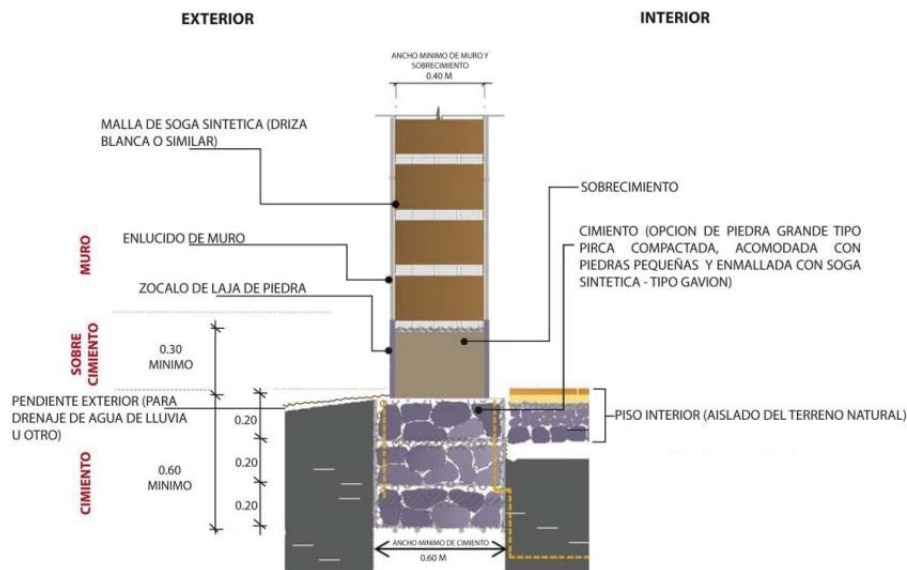
4.1. Elementos de una edificación patrimonial

4.1.1. Las cimentaciones

La construcción con adobe ha resistido el paso del tiempo y los movimientos sísmicos con algunos daños significativos. Las cimentaciones en estas construcciones se han realizado sin una ciencia exacta, pero ha cumplido el objetivo principal de este elemento que es el de transmitir las cargas hasta un suelo firme. Aunque se han desarrollado técnicas y prácticas a lo largo de los siglos, la construcción con adobe se ha realizado de manera empírica y sin asistencia técnica. Como resultado, los proyectos de adobe más contemporáneos han causado varias muertes, ya que no proporcionan una seguridad permanente frente a los movimientos sísmicos. La norma peruana de Diseño y Construcción con Tierra Armada (Norma E.080) especifica los componentes de una cimentación común en las construcciones de adobe, así como las dimensiones mínimas de seguridad.

Figura 2.

Esquema de cimentación en estructuras de tierra.



Fuente: (E.080, 2017).

4.1.2. Muros de Adobe

Los muros, más allá de ser usados para delimitar áreas dentro de una edificación, son una parte importante en un sistema estructural. Cuando estos son usados para transmitir las cargas a las cimentaciones, soportan las cargas verticales distribuyéndolas a lo largo de la estructura, asegurando que este tipo de fuerzas se disipen de manera uniforme. Los muros de adobe, ya sean solo divisorios o estructurales, se apoyan directamente sobre el embone o encoroce del entrepiso en la segunda planta, sin necesidad de ninguna conexión especial (Rivero, 2010).

Las cualidades mecánicas de un muro de adobe varían en función de su disposición y adherencia, así como de la dirección de los pesos soportados. Debido a la debilidad de los planos de rigidez de sus juntas, su comportamiento no es estrictamente isótropo ni uniforme (Rodríguez-Mariscal & Solís, 2020). La unión de los muros en sus diferentes ejes se realiza mediante un sistema llamado *trabe*. Este método consiste en colocar los adobes uno encima de otro, y cada adobe se superpone parcialmente con el bloque adyacente, creando así una unión sólida entre los bloques. El *trabe* busca vincular las paredes que son perpendiculares entre sí, en esquinas o encuentros exteriores, y en encuentros interiores (Rivero, 2010).

Además, existen otros métodos como el uso de mortero de barro entre los bloques de adobe, la adición de elementos de amarre y, en algunas ocasiones, el reforzamiento en esquinas con escuadras de madera (Rivero, 2010). La elección de la técnica dependerá de las tradiciones locales, las condiciones climáticas y las consideraciones estructurales específicas para cada construcción.

Los bloques de adobe que forman el muro son realizados in situ, por lo cual es difícil definir las dimensiones de este. Moscoso-Cordero (2019) menciona que el tamaño del bloque de adobe es variable y, en Ecuador, el tamaño varía entre 45 y 61 centímetros de longitud, de 19 a 30 centímetros de ancho y de 10 a 16 centímetros de altura.

El muro de adobe, más allá de sus características estructurales, actúan como reguladores naturales de temperatura. Mantienen ambientes frescos en climas cálidos y retienen el calor en climas fríos, convirtiéndose en excelentes aisladores térmicos y promoviendo la eficiencia energética.

4.1.3. Entrepisos

Estos elementos tienen la función estructural, reciben y transmiten las cargas que soportan hasta poder distribuirlas en la cimentación y se ubican de manera horizontal. Proporcionan estabilidad y funcionalidad, ya que forman los diferentes niveles, también conocidos como pisos, de una edificación entre la planta baja y la última planta. Sobre esta estructura se construye una plataforma, sobre la cual posteriormente se construye espacios habitables y de trabajo.

La plataforma del entrepiso, o entramado horizontal, se construye con vigas principales, secundarias, cadenetas y tablas, dependiendo de la configuración de cada construcción. Estos elementos se unen mediante conexiones mecánicas, tales como clavos helicoidales o corrientes y tornillos (Fritz & Ubilla, 2012).

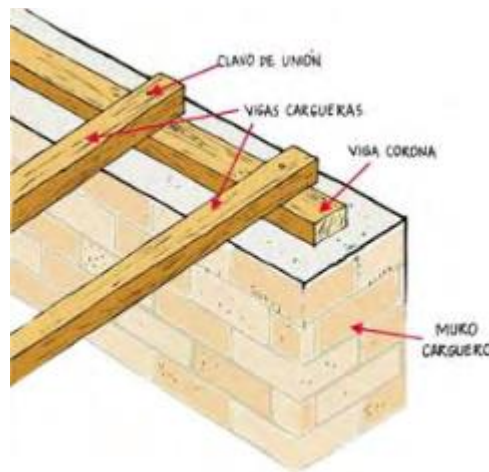
Rivero (2010) detalla que los elementos que conforman los entrepisos de las edificaciones patrimoniales son las siguientes:

- Vigas cargueras de entrepiso, son la base de soporte de la plataforma de este, y se extienden entre los muros de adobe. Estas vigas transfieren la carga a las vigas corona del entrepiso, que se apoyan directamente sobre los muros de carga y su unión se refuerza mediante clavos de acero. Se emplean diferentes tipos de madera, ya sea madera redonda con un diámetro entre 0,15 m y 0,20 m, o madera de sección rectangular o cuadrada con dimensiones de 0,20 m x 0,20 m. La separación típica entre las vigas cargueras es de alrededor de 0,50 m, aunque puede llegar a valores de hasta 1 m o más.

- Vigas corona de entrepiso, su ubicación es sobre los muros de adobe, proporcionando soporte directo a las vigas del entrepiso y transfiriendo tanto cargas verticales como horizontales a las demás estructuras como los muros. Las vigas corona sencillas se ubican generalmente en el centro del ancho del muro de carga correspondiente. Por otro lado, las vigas corona dobles se instalan de manera paralela y simétrica a ambos lados del muro. Estas vigas suelen tener dimensiones menores en comparación con las cargueras y las vigas corona sencillas.

Figura 3.

Elementos de un Entrepiso.

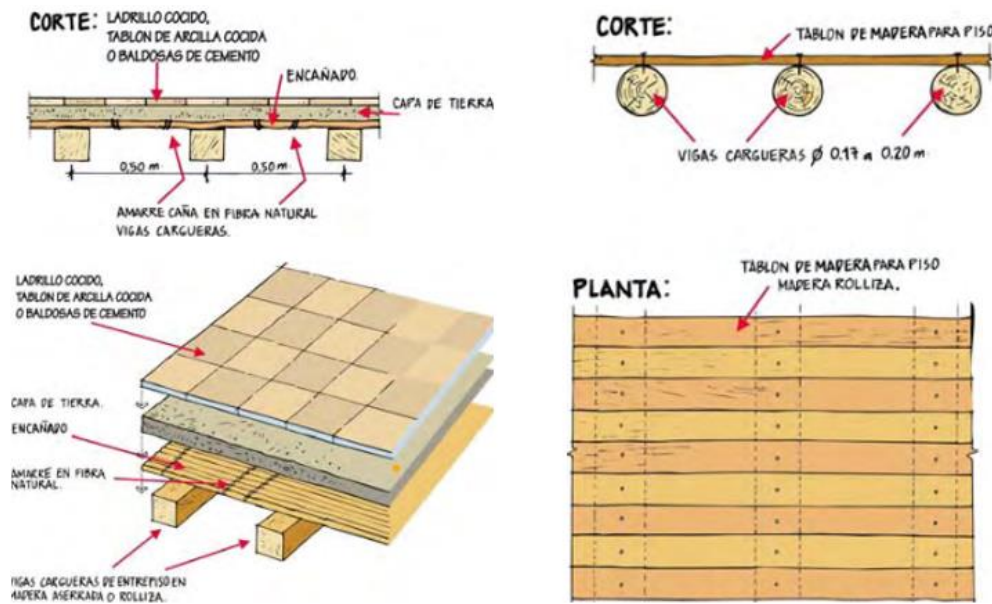


Fuente: (Rivero, 2010).

Acabado de entrepiso, se realizan comúnmente con tiras de madera que se colocan directamente sobre las vigas cargueras. Para lograr un mayor aislamiento, otra opción es instalar listones de madera, esterilla de guadua o caña brava sobre las vigas cargueras. Sobre estas piezas de soporte, se aplica una capa de tierra ligeramente compactada, seguida del acabado final del suelo, que puede ser de ladrillo cocido colocado siguiendo un patrón, tablón de arcilla cocida o baldosa de cemento.

Figura 4.

Acabados de Entrepiso.



Fuente: (Rivero, 2010).

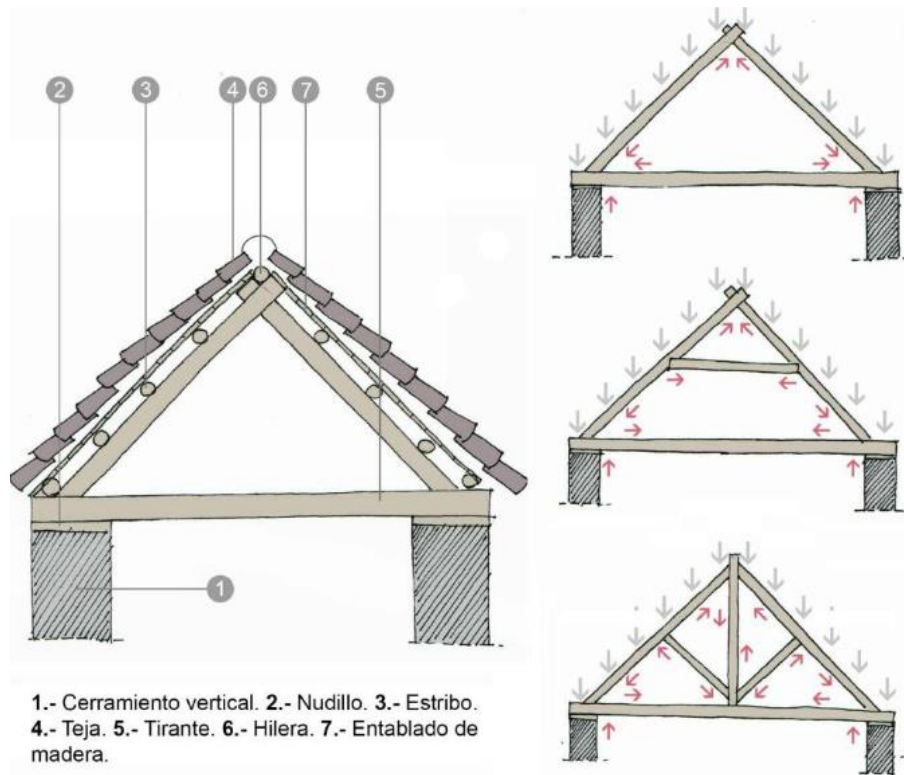
4.1.4. Cubiertas.

Todo proyecto de edificación debe detallar la estructura que dará protección ante las diferentes condiciones climáticas, como lo es la cubierta. La cubierta surge como un elemento arquitectónico en el exterior que cumple la función de resguardar un espacio interior de los agentes ambientales superando las limitaciones de la gravedad (Villalobos, 2011).

A lo largo del tiempo, se han utilizado diversos materiales para construir techos tradicionales. Sin embargo, en todos los casos, se siguieron patrones similares: los materiales se extraían de las cercanías para evitar costosos y largos transportes. Estos materiales incluían desde los más simples, como tablas, barro, paja o piedra, hasta morteros y tejas utilizados como recubrimientos (Manzano, 2016).

Figura 5.

Distribución de tensiones en cubierta.



Fuente: (Manzano, 2016).

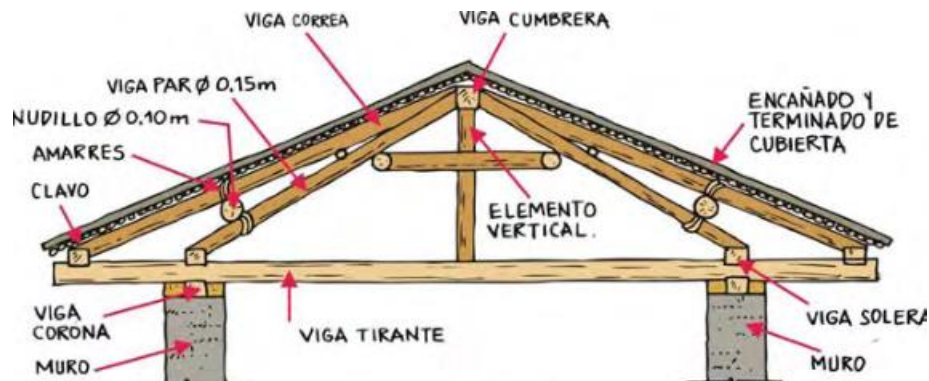
Dado que las cubiertas están compuestas por diversos elementos que desempeñan funciones tanto prácticas como estéticas, podemos identificar los siguientes componentes:

- La estructura de soporte, conformada por vigas, correas y tirantes, sostiene la cubierta y proporciona estabilidad estructural.
- La cubierta exterior, expuesta a los elementos, puede estar formada por materiales tradicionales como tejas, pizarras o madera, reflejando el estilo arquitectónico y la época de construcción.
- La cubierta interior, integrando cielos rasos y acabados decorativos, contribuye a la estética del espacio interior.

- Los canalones y desagües se encargan de alejar el agua de lluvia de la estructura, mientras que elementos decorativos, como los aleros tallados, añaden detalles únicos.

Figura 6.

Elementos de Cubierta.



Fuente: (Rivero, 2010).

4.2. Características del adobe en la construcción

El empleo del adobe en la construcción antigua ha representado un hito significativo debido a su carácter sostenible y resistente, con características distintivas de la época. El procedimiento para su fabricación in situ implica la formación de bloques, con la materia prima (tierra) extraída del suelo cercano al lugar de construcción, posteriormente se secan al sol, para que resalte su capacidad de aislamiento térmico y la regulación de la humedad. Aunque posee resistencia estructural, esta puede variar según la ubicación de construcción. La ausencia de un proceso técnico y estandarizado afecta sus ventajas, requiriendo mantenimiento regular para preservar su integridad a lo largo del tiempo.

Para Rodríguez-Mariscal & Solís (2020) el adobe se define como un bloque de tierra cruda, arena y fibras naturales que se moldea y posteriormente se seca al aire. La cohesión y las propiedades mecánicas del material están significativamente influenciadas por la composición y proporción de arena y arcilla presentes en la tierra durante el proceso de fabricación.

Figura 7.

Moldeado del bloque de Adobe.



Fuente: (Aguilar Alberca y Quezada Zambrano, 2017).

El artículo de Moscoso-Cordero (2019) menciona que la relación óptima del suelo oscila entre el 20% y el 40% de limo y la proporción de arcilla entre el 10% y el 25%. Para lograr una buena mezcla y batido del barro, tradicionalmente se realizaba mediante el pisado del material, con la ayuda del ser humano o con animales como los burros o caballos.

Las fibras naturales empleadas en la fabricación de bloques de adobe desempeñaban un papel crucial en la mejora de las propiedades mecánicas y estructurales de este material de construcción ancestral. Estos componentes proveían rigidez y favorecían el proceso de retracción, reforzando así los compuestos del adobe para adicionar mayor resistencia (Aguilar Alberca & Quezada Zambrano, 2017). Estas fibras se extraían de fuentes vegetales como la paja, el junco, el pasto, el pelo de animales o incluso el estiércol, y se incorporaban a la mezcla de tierra, arcilla, arena y agua durante el proceso de elaboración de los bloques.

La cantidad que se utilizaba de estas fibras era un factor importante, ya que una cantidad adecuada aseguraba una distribución homogénea en los bloques de adobe, mientras que un exceso de fibras resultaba en una mezcla más difícil de trabajar. Por lo tanto, la cantidad de fibras era esencial para lograr un equilibrio óptimo entre resistencia y manejabilidad durante la fabricación.

Actualmente, el adobe es investigado y clasificado como una manifestación tradicional y no como arquitectura contemporánea. Esto ha dado lugar a su desuso debido a la falta de una legislación nacional que permita validar los conocimientos constructivos formales y, al mismo tiempo, revalorizar la tierra cruda como material adecuado para la construcción de viviendas urbanas y rurales (Rivera-Salcedo et al., 2020).

4.3. Características de la madera en la construcción

Si bien es cierto que en las casas patrimoniales el adobe es el material que más abunda, la madera ha sido uno de los recursos naturales locales más utilizados en las cubiertas tradicionales, especialmente como sistema de apoyo y estructural. Aunque ha tenido otros usos, como el revestimiento de las cubiertas a través de las ripias de madera, estos han sido muy minoritarios. La capacidad de absorción y expulsión de humedad de este material actúa como regulador de la humedad contenida en el ambiente, lo que previene múltiples problemas de salud que pueden derivar de la misma, como el reuma o los daños en las vías respiratorias. Además, una de las mayores virtudes de este material es su carácter reciclable, reutilizable y recuperable (Manzano, 2016).

La madera ha sido un material de buen uso en la construcción. Desde sus primeros usos hace muchos años atrás en edificaciones de mediana y pequeña escala, se ha mantenido por sus buenas propiedades y rendimiento, siendo parte fundamental de la evolución de la arquitectura e ingeniería. La madera es un material ligero pero resistente, lo que la convierte en una opción versátil para una variedad de aplicaciones. Su capacidad para soportar cargas, combinada con su flexibilidad, la hace ideal para la construcción de edificaciones que pueden resistir fuerzas naturales como vientos fuertes o incluso

terremotos. La madera al ser un material de origen vegetal posee diferentes propiedades aun siendo de la misma especie, pues su desarrollo está ligado a las condiciones climáticas y características de la zona en donde el árbol crezca.

Tabla 1.

Clasificación de madera estructural.

País	Grupo	Nombre Común	Nombre Científico
Ecuador	A	Caimitillo	<i>Chrysophyllum cainito</i>
		Guayacán pechiche	<i>Minquartia guianensis</i>
	B	Chanul	<i>Humiriastrum procesrum</i>
		Moral fino	<i>Chlorophora tinctoria</i>
		Pituca	<i>Clarisia recemosa</i>
	C	Fernansánchez	<i>Triplaris guayaquilensis</i>
		Mascarey	<i>Hieronyma chocoensis</i>
		Sande	<i>Brosimim utile</i>

Fuente: (JUNAC, 1984).

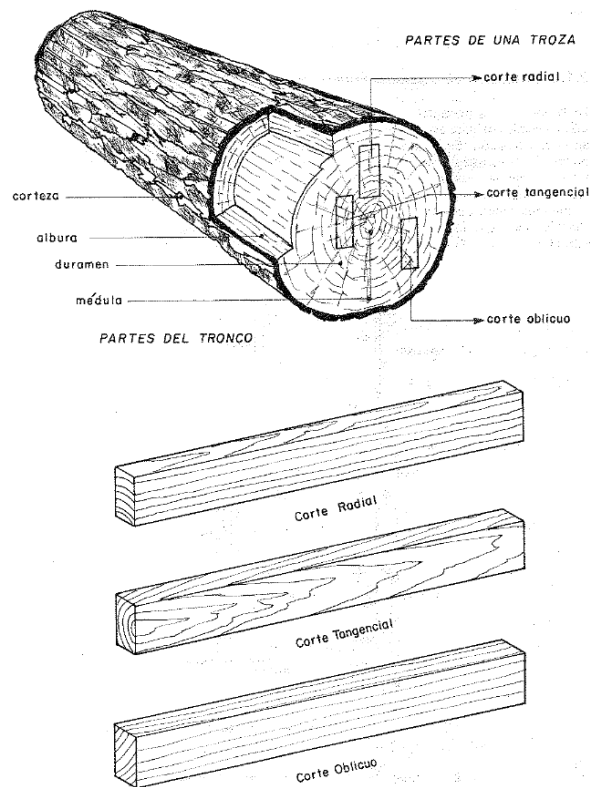
4.3.1. Propiedades físicas de la madera estructural

Ledesma (2022) define la madera como una sustancia orgánica, porosa, heterogénea, anisótropa e higroscópica. La organicidad de la madera se refiere a la presencia de moléculas que contienen carbono. Su porosidad es proporcional a la cantidad de espacio libre en su volumen, lo que le permite absorber líquidos y gases. La heterogeneidad de la madera se debe a la presencia de múltiples tipos de células. La higroscopicidad se describe como la capacidad de un material para recoger o liberar humedad en función de la humedad relativa de su entorno. La anisotropía de la madera muestra que sus cualidades varían en varias direcciones, incluidas las orientaciones longitudinal, radial y

tangencial, de manera general resiste hasta 200 veces más en el sentido del eje del árbol que en la dirección transversal.

Figura 8.

Composición del tronco y ejes principales.



Fuente: (NEC-SE-MD, 2015).

Además de estas propiedades fundamentales, existen otras que describen aún más el comportamiento que tendrá en el ámbito de la construcción:

- **La humedad:** Por el origen de la madera esta se ve formada por agua, pero posee la capacidad de liberar y absorber agua según las condiciones climáticas a las que esté expuesta, lo que afecta su peso, resistencia y dimensiones.

La madera puede dividirse en tres categorías según esta característica y su cantidad en el material: madera para uso exterior, que tiene un contenido de agua que oscila entre el 12%

y el 17% en relación con su peso en seco; madera para uso interior, que tiene un contenido de agua que oscila entre el 8% y el 13% en relación con su peso en seco; y madera verde, que tiene un contenido de agua que oscila entre el 50% y el 200% en relación con su peso en seco (Ledesma, 2022).

- **Conductividad térmica:** Describe la capacidad de conducir el calor, la cual varía según la especie y la humedad. Esta capacidad le permite a la madera regular las temperaturas en el interior de las edificaciones, actuando como aislante térmico.
- **Densidad:** Esta propiedad básica se refiere a la cantidad de masa en un volumen determinado. Esta propiedad también varía según la especie y del lugar de origen del árbol. Al relacionarla con la resistencia de cada especie se puede obtener una clasificación.

En el Manual de Diseño para Maderas del Pacto Andino se encuentran tres grupos de madera: tipo A, que posee una densidad entre 0.71 y 0.90 Ton/m³; tipo B, con una densidad de 0.56 a 0.70 Ton/m³; y tipo C, con densidad entre 0.40 y 0.55 Ton/m³.

4.3.2. Propiedades mecánicas de la madera estructural

Las propiedades mecánicas de la madera son aquellas que requieren un esfuerzo mecánico para su determinación. Estas permiten entender el comportamiento bajo cargas y fuerza diversas, lo cual es un gran aporte a la aplicación de diseño estructural. Según el Acuerdo de Cartagena (1984), las siguientes propiedades más relevantes son:

- **Resistencia a la tracción:** El objeto de esta propiedad es medir la capacidad de la madera para resistir la fuerza que la estiran. El valor de la resistencia varía según la dirección, ya sea paralela o perpendicular a la madera. Generalmente es más alta a lo largo de las fibras que perpendicular a ellas. Los valores comunes de esta propiedad, con el esfuerzo de rotura, varían entre 500 a 1500 kg/cm².

- **Resistencia a la compresión:** Valora la capacidad de la madera para resistir las fuerzas cuando estas buscan comprimirlas, reduciendo las pequeñas cavidades existentes. La humedad es relevante en esta propiedad, pues cuando esta es baja, la resistencia tiende a aumentar, al igual que cuando su peso específico es mayor.
- **Resistencia al corte:** Esta propiedad es importante en elementos estructurales que funcionan como vigas y conexiones puesto que las fuerzas que soportan tienden a cortarla. Entonces la resistencia al corte valora la capacidad para resistir fuerzas que buscan separar una parte de la madera deslizándose sobre la parte adyacente. Es más fuerte la resistencia en corte paralelo que en corte perpendicular a las fibras.
- **Resistencia a la flexión:** La resistencia a la flexión es una propiedad importante que determina la capacidad de la madera para soportar cargas aplicadas en ángulo recto a sus fibras. La madera, como ya se ha dicho, es anisótropa, lo que significa que su resistencia a la flexión varía en función de cómo estén alineadas las fibras. Cuando se diseñan o se analizan vigas y otros componentes estructurales que deben soportar cargas distribuidas, esta propiedad es imprescindible.

Estas propiedades principales permiten establecer los esfuerzos admisibles para los diferentes grupos de madera, que posteriormente se utilizara para el diseño o análisis de estas estructuras.

Tabla 2.*Esfuerzos admisibles de la madera estructural.*

Esfuerzos Admisibles (MPa)					
Grupo	Flexión	Tracción paralela	Compresión paralela	Compresión perpendicular	Corte paralelo
	<i>fm</i>	<i>ft</i>	<i>fc</i>	<i>fcL</i>	<i>fv</i>
A	21	14.5	14.5	4	1.5
B	15	10.5	11	2.8	1.2
C	10	7.5	8	1.5	0.8

Fuente: (NEC-SE-MD, 2015).

- **El módulo de elasticidad:** También conocido como módulo de Young, es un parámetro fundamental en la madera. Indica la capacidad que tiene la madera para resistir deformaciones, lo que permitirá predecir y controlar las deformaciones de los elementos estructurales fabricados con este material. En la madera estructural, existen dos valores para el módulo de elasticidad: el valor mínimo (E_{\min} o $E_{0.05}$), que se aplica a vigas o columnas, y el valor promedio (E_{promedio}), que se utiliza para estructuras que actúan en conjunto, como viguetas o pies derechos (NEC-SE-MD, 2015).

Tabla 3.

Módulo de elasticidad de la madera estructural.

Módulo de Elasticidad (MPa)		
Grupo	E_{\min} ($E_{0.05}$)	E_{promedio}
A	9500	13000
B	7500	10000
C	5500	90000

Fuente: (NEC-SE-MD, 2015).

4.4. Vulnerabilidad sísmica

Se define vulnerabilidad sísmica como la probabilidad de que un determinado tipo de estructura resulte dañada por una determinada intensidad de un evento sísmico que se presenta con ciertas características.

La vulnerabilidad sísmica frente a un evento sísmico de determinadas características es una propiedad propia de cada estructura y es independiente de la peligrosidad del lugar ya que en distintos casos hubo edificaciones con sistema estructural similar, pero con daños diferentes. Se puede decir que una estructura puede tener vulnerabilidad sísmica pero no necesariamente estar en riesgo si se encuentra en un sitio con una considerable peligrosidad sísmica (Barbat et al., 2005).

4.4.1. Vulnerabilidad sísmica por origen

Este tipo de vulnerabilidad se encuentra propiamente en edificaciones que desde su planificación no cuentan con un buen criterio de diseño mucho menos con un criterio de construcción sísmo resistente, esto puede cambiar mediante rehabilitaciones y reforzamientos estructurales sísmo resistentes (Arteaga Mora, 2016).

4.4.2. Vulnerabilidad sísmica progresiva

Es una vulnerabilidad que se desarrolla en determinado tipo de edificaciones a lo largo del tiempo y está relacionada con la pérdida de propiedades físico-mecánicas de los materiales de construcción, siendo los desencadenantes específicos factores climáticos y naturales (Arteaga Mora, 2016).

4.4.3. Amenaza sísmica.

El peligro o peligrosidad sísmica se define desde el punto de vista estadístico y se puede entender como la probabilidad con la que ocurre un fenómeno sísmico con ciertas características como la magnitud e intensidad esperadas de una cierta área o región y por un tiempo específico (Arteaga Mora, 2016).

4.5. Reforzamiento.

El reforzamiento estructural es un proceso importante para garantizar la seguridad y funcionalidad de los inmuebles. En algunos casos una estructura puede requerir refuerzo debido a cambios en su uso o carga, deterioro natural o condiciones ambientales extremas. La necesidad de reforzar la estructura puede aparecer si se observan deformaciones, grietas o fisuras. También es importante señalar que incluso si una estructura no muestra signos evidentes de debilidad, es posible que sea necesario fortalecerla como medida preventiva para evitar un desastre (Estructural, 2023).

Hay varias formas de fortalecer una estructura y la elección de una técnica de fortalecimiento adecuada depende de varios factores, como el tipo de estructura, la causa de la debilidad y magnitud de las cargas aplicadas en ella. En general, el propósito del refuerzo es mejorar la resistencia de una estructura a cargas o deformaciones, lo que se puede lograr de varias maneras (Estructural, 2023).

4.6. Refuerzos en estructuras patrimoniales

El trabajo de rehabilitación o reforzamiento se define como un conjunto de métodos y técnicas para poder reparar la función que se perdió por causa de algún agente físico o natural. (Garabito López et al., 2015). Para esto se requiere una técnica de reforzamiento como se menciona en la tabla.

Tabla 4.*Técnicas de reforzamiento.*

Técnicas	Descripción
Costuras armadas	Esta técnica se basa en introducir barras de metal mediante la realización de vacíos en los elementos para luego ser recubiertas con mortero, esta técnica no es muy recomendable porque no es reversible.
Anclaje	Se ancla un elemento mediante barras de acero, esto ayuda a la estabilidad y a deformaciones excesivas.
Encamisados de concreto	Cuando se presenta grandes esfuerzos de compresión se puede construir una estructura de concreto que recubra al elemento inicial. Se recomienda principalmente para reforzar cimentaciones.
Inyección	Consiste en inyectar mortero a través de los tipos de grieta que presentes en los elementos. Esto permite mejorar las características mecánicas del material.
Refuerzo externo	Consiste en la aplicación de refuerzo en las caras externas del elemento para ello se utiliza material de alto rendimiento como mallas de acero o polímeros, este refuerzo se une mediante morteros o pegamentos.

Fuente: (Mondragón y Lourenco, 2012).

Las Técnicas constructivas para mejorar el daño y apariencia de piezas estructurales, se consideran teniendo en cuenta las ventajas de compatibilidad de materiales y técnicas de refuerzo.

Tabla 5.*Uso y recomendaciones para las técnicas de refuerzo.*

Técnica	Uso	Recomendación	Restricción
			Cambia las
Costuras Armadas	Muros	Aumenta la capacidad de tracción	características mecánicas de los elementos
Anclaje	Muros, techos	Mejor la estabilidad e impide deformaciones	Corrosión del acero.
Encamisados de Concreto	Muros, cimentaciones, columnas	Aumenta la capacidad de compresión	Técnica irreversible
Inyección	Muros, reparación de grietas	Resistencia a la compresión	Compatibilidad de las características físicas, químicas
Refuerzo Externo	Muros, columnas	Mejora el comportamiento sísmico	Aumento de la masa de los elementos

Fuente: (Espinoza, 2018).

4.7.Reforzamiento estructural de muros

Los diferentes elementos aplicados, buscan reforzar la estructura aumentando la capacidad de resistencia de los muros, todo esto bajo el concepto de la mínima intervención de las actuaciones.

4.7.1. Refuerzo con malla electrosoldada

El refuerzo de los muros con mallas electrosoldadas ha sido estudiado científicamente con resultados que aseguran que aumentan el nivel de seguridad sísmica de las estructuras de tierra, debido a que

aumentan la resistencia de los muros y además controla su movimiento y su colapso se retrasa. Estos modelos que se probaron y realizaron en laboratorio, cuya durabilidad se probó en una mesa sísmica y cuyos resultados comprobaron que sufrieron daños, pero no llegaron al colapso estructural (Torres Gilles & Jorquera Silva, 2018).

La malla de alambre electrosoldada se utiliza a menudo para aumentar la resistencia a la tracción causada por fuerzas de empuje horizontales perpendiculares al plano de la pared que provocan la flexión de las paredes de mampostería. (Torres Gilles & Jorquera Silva, 2018).

Si el espesor de la pared es menor o igual a 40 cm o si la dureza de las unidades de Adobe es alta, la instalación del refuerzo sólo se podrá realizar retirando el yeso de la pared de manera que el refuerzo quede colocado directamente sobre la pared. Si no hay yeso, el refuerzo se coloca directamente sobre la superficie de la pared en la zona indicada. Por otro lado, si el espesor del muro es cercano a 1 m, se puede crear un canal en el muro de adobe para acomodar las barras de refuerzo, esto mantiene el aspecto original (Torres Gilles & Jorquera Silva, 2018).

Las mallas a ambos lados de la pared (malla 15x15 cm, $e=3,5$ mm) deben conectarse entre sí con conectores de acero, que pueden ser varillas $\varnothing \geq 4$ mm con ganchos en ambos extremos. 30 cm en horizontal y 45 cm en vertical. Cada gancho debe estar doblado al menos 20 cm en un ángulo de 90° . Si es necesario, los solapamientos de las redes deben ser de al menos 30 cm. Finalmente se debe proteger con unos 4 cm de mortero cemento-arena (Fernández, 2015).

Proceso de reforzamiento de muros de adobe

- Preparación del muro. Perforación, colocación de conectores
- Colocación de malla electrosoldada
- Sujeción de malla con conectores
- Rellenar los orificios con mortero de cal y arena
- Recubrimiento de la malla con mortero

4.8.Reforzamiento de cimentaciones

Una opción es fortalecer y soportar los cimientos existentes agregando masa adicional y uniéndolos a los cimientos antiguos con acero, pernos de anclaje y otros tipos de amarres para crear un sistema de cimientos que evite que se muevan lateralmente y así evitar su colapso. Las cimentaciones suplementarias deberán realizarse en conexión con la zona antigua mediante la utilización de barras o cables (Gómez et al., 2021).

Los sistemas se basan en aumentar el ancho de la base de la cimentación debido a la dificultad de absorber los esfuerzos cortantes de los contactos entre la cimentación nueva y la antigua, el uso de pilotes tradicionales también se ve limitado debido al espesor de las herramientas. o inyectar productos químicos mejoradores del suelo que sólo son adecuados para ciertos tipos de suelos con una permeabilidad adecuada. (Gómez et al., 2021).

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

- Evitar que la humedad suba hacia los muros de tierra.
- Todo cimiento debe tener una profundidad mínima de 0.60m 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 (Achig et al., 2013).

4.9.Reforzamiento en elementos de madera

En el caso de las edificaciones patrimoniales, lo más importante es saber en qué medida se conserva la estructura en pie, ya que, según los conceptos de preservación, se debe preservar en lo posible la originalidad de la edificación. Se deben considerar dos criterios para el correcto funcionamiento de una estructura con diferentes grados de daño:

- Análisis general de las propiedades mecánicas de la estructura en su estado actual. El deterioro de las propiedades mecánicas de la madera de 50 años a medida que envejece se

reduce con un factor de reducción del 10% de 1,05; mientras que un árbol de 100 años reduce su capacidad en un 30% y 1,42 veces. Estos datos son muy importantes para la evaluación de la pérdida de durabilidad, debido a que sus resultados se basan en el análisis técnico de una nueva muestra de madera de eucalipto.

- Correcto conocimiento sobre las técnicas de reforzamiento (Morocho Enríquez, 2014).

4.10. Rehabilitación en elementos de madera

El proceso de restauración depende del estado del objeto o elementos, quizás la reposición o cambio sea lo más rentable tanto a nivel estético como económico. Pero no debemos olvidar la composición original de la estructura para mantener la misma armonía entre todas las partes (Morocho Enríquez, 2014).

4.10.1. Cubierta

El techo debe estar conectado a las paredes con juntas que aseguren su estabilidad y la transferencia de fuerzas sísmicas suficientes. Si se requiere la cubierta se debe reconstruir utilizando elementos de madera en buen estado. Se debe proporcionar un soporte adecuado a la estructura del techo para mejorar el rendimiento frente a cargas verticales y horizontales. Se pueden utilizar tejas de barro sobre una capa de papel asfáltico para separar las tejas de la madera. Deben estar lo suficientemente atados para que no se resbalen (Ruiz Valencia et al., 2023).

Actualmente todas las uniones se solucionan con placas metálicas. Estos soportes y fijaciones se fabrican con dimensiones estándar, pero las uniones también suelen realizarse con placas hechas a medida. Estos elementos solucionaron todos los problemas habituales.

Mapeando las patologías de las estructuras de madera se determina el daño del techo, por lo que para restaurarlo se puede considerar reemplazar el techo, reduciendo el peso y preservando los testigos de madera. Se propone reconstruir la zona donde el techo se derrumbó por completo.

4.10.2. Entrepiso

Un diafragma eficaz permite distribuir correctamente la fuerza hacia los elementos verticales más fuertes y amortigua los efectos de torsión resultantes de los desniveles de la estructura.

El entrepiso, que es uno de los elementos que transfiere cargas al muro del edificio, por lo cual se recomienda intervenir y reemplazar las vigas y el piso, una de las formas es agregando una losa de concreto de 5 cm debido a su gran deterioro.

5. METODOLOGÍA

5.1. Análisis y selección de la tipología del lugar de estudio.

Para la selección del lugar de estudio en donde se obtendrá la tipología que presente la estructura en su estado actual, se ha considerado dos criterios; El primero consiste en identificar las calles y sectores que tengan relevancia cultural con la ciudad y con la conservación del patrimonio, así como sus materiales y técnicas utilizadas en su construcción. El segundo criterio es en base al uso actual que brinda el bien inmueble, ya sean estas de habitabilidad o comercial, para intuir los daños y el impacto que representaría, ante eventos catastróficos en el lugar por la falta de mantenimiento o rehabilitación estructural. El tercer y último criterio será seleccionar una edificación que no se haya intervenido y que pertenezca al sector privado para facilitar el acceso al proceso de levantamiento de información.

Esta etapa se lo realizara con la investigación de documentación y planos estructurales, mediciones y recorrido in situ. Rojas Delgado & Pesántez Guzmán (2017) recomiendan realizar el levantamiento planimétrico de la edificación con diferentes métodos y equipos, para posteriormente representarlo en programas de dibujo asistido por computadora.

Las cargas actuales presentes, que son datos primordiales para el análisis numérico, se obtendrán en base a los pesos de los distintos materiales presentes en la edificación y según lo especificado en la NEC.

En la ciudad de Cuenca, específicamente en el centro histórico se encuentran las viviendas patrimoniales. Para la selección de la edificación se tuvo en cuenta que la estructura no haya sido intervenida previamente y debe pertenecer a las edificaciones privadas para tener un mayor acceso al inmueble para el levantamiento de la información. La edificación que se eligió tiene claras evidencias de deterioro tanto externa como internamente, la tipología que posee es la de muros portantes de adobe ya que estos se apoyan unos sobre otros, en el caso de la cubierta es de madera y teja.

5.2. Inspección visual

Mediante la inspección que se realizó, se pudo determinar los elementos estructurales y los materiales con los que está construido, ya que estos son tradicionales a la época. Para una mayor referencia se conversó con los actuales dueños de la edificación para tener en cuenta datos más relevantes que ayuden al estudio de la edificación.

5.3. Determinación de las condiciones actuales de la edificación

5.3.1. Condición en que se encuentra la edificación

Se determinó los elementos que están presentes en la edificación mediante una “Ficha de elementos presentes en la edificación” tomando en cuenta los parámetros elegidos.

Tabla 6.

Parámetros para determinar la condición de la estructura.

Elemento	Parámetro	Descripción
Cimentación	Tipo	Piedra grande compactada y acomodaba con piedras pequeñas, concreto ciclópeo.
	Dimensiones	Mediciones de base y altura
Muros	Tipo	Externo e interno
	Material	Verificación del material
	Dimensiones	Mediciones de espesor y altura
Entrepiso	Material	Tipo de madera
	Dimensiones	Secciones de vigas y entablado
Cubierta	Tipo	Tipo de aguas de cada techo
	Partes	Identificar sus partes y dimensiones
	Materiales	Tipo de madera

Fuente: Autores.

5.3.2. Identificación de los elementos estructurales presentes y sus materiales

Parte de la investigación de cómo está estructurada la edificación y cuáles son los elementos que soportan y transmiten cargas. Para ello se hizo la inspección pertinente en toda la edificación, ya que esta estructura es muy antigua, se partió de la información que se pudo recopilar con ayuda del dueño actual de la edificación.



5.3.3. Levantamiento planimétrico.

Para tener una percepción de cómo está distribuido los espacios de la edificación, se realizó un levantamiento estructural y planimétrico. Esto se pudo hacer con la ayuda de un distanciómetro y

teniendo en cuenta todos los espacios con los que cuenta la edificación. Con las medidas que se obtuvo se representa la distribución de la edificación tanto del primero y segundo piso.

Tabla 7.

Simbología de la estructura.

Símbolo	Representación
	Muros Primer Piso
	Muros Segundo Piso

Fuente: Autores.

5.3.4. Levantamiento de fallos en muros.

Esto se realizó con la ayuda de una tabla de calificación de los elementos estructurales en función de sus daños de origen estructural.

Tabla 8.

Escala de calificación de los elementos.

Puntuación	Significado	Acciones
0	Colapso	Reconstrucción
1	Muy mala	Reemplazo
2	Mala	Reemplazo
3	Regular	Reforzamiento
4	Buena	Conservar

Fuente: Autores.

5.3.5. Características del adobe y la madera estructural.

La caracterización de los materiales presentes en la estructura seleccionada son el adobe y la madera, en la revisión de la literatura; expone los estudios de las diferentes propiedades físico-mecánicas de bloques de adobe y demás elementos como la madera, cuyos materiales son más comunes en las casas

patrimoniales. Para determinar estas capacidades estructurales, los ensayos de laboratorio se lo realizaron en una máquina de ensayo a compresión que dan el resultado de la resistencia que tiene el adobe y demás materiales presentes en la estructura, siguiendo parámetros especificados en la Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada de Perú, la norma colombiana AIS-610-EP-2017 y la norma American Society for Testing and Materials (ASTM) que especifica el método que se debe ensayar las diferentes muestras.

Con la revisión de investigaciones ya realizadas, las propiedades que se encuentra varían unas con otras. Estas propiedades mecánicas se obtienen mediante ensayos simples y con densidad de muestreo baja, en donde se considera solamente valores promedio en todo el volumen del muro (Chacón Sánchez et al., 2021).

Tabla 9.

Resumen de propiedades características del adobe.

Propiedades Mecánicas del Adobe					
Referencia	Peso Especifico γ kg/m ³	Módulo de Elasticidad E kg/cm ²	Módulo de Corte o Rigidez Gm kg/cm ²	Modulo Poisson μ	Coefficiente de dilatación térmica α °C-1
(Aguilar y Quezada, 2017)	1631.55	173.35	---	---	---
(Enma Luzmila, 2019)	1631.55	698.51	---	0.15	0.012
(Chacón Sánchez et al., 2021)	---	2100	500	---	---

Fuente: Autores.

Tabla 10.*Resumen de propiedades características de la madera.*

Propiedades Mecánicas de la Madera					
Referencia	Peso Especifico	Módulo de Elasticidad	Módulo de Corte	Módulo Poisson	Coeficiente de dilatación térmica
	γ	E	Gm	μ	α
	kg/cm ³	kg/cm ²	kg/cm ²		°C-1
(Espinosa et al., 2018)	0.00046	122365.95	7657.87	---	---
(Enma Luzmila, 2019)	0.00079	713.493	285.397	0.4	3.00E-06

Fuente: Autores.**5.3.6. Determinación de las cargas en la edificación**

Esta edificación, al igual como la gran mayoría de edificaciones patrimoniales, basan su construcción en muros de adobe y madera. Estos soportan las cargas que estarán presentes a lo largo de su vida útil y de la ocupación que esta recibirá. Se resume en dos tipos de cargas; las de origen gravitacional y las producidas por las fuerzas sísmicas.

5.3.7. Procedimiento para determinar cargas verticales.

Las que provienen de la gravedad (cargas verticales) se dividen en dos tipos; las cargas muertas y las cargas vivas. La primera se refiere al peso de los elementos estructurales y, en el desarrollo del proyecto, se tomó en cuenta los muros, las vigas, la cubierta y el entablado. Esto se calcula multiplicando el volumen del elemento por el peso específico, que es propio de cada material. Las cargas vivas son las que estarán en movimiento sobre dentro de la edificación. Estas pueden ser las personas, el mobiliario y las sobrecargas que están presentes como del viento y el granizo. Para

determinar todas estas cargas, se utiliza la ayuda de la norma técnica de construcción presente en el país, específicamente la NEC-SE-CG.

5.3.8. Procedimiento para determinar cargas laterales o fuerzas dinámicas

Las cargas de origen sísmico son críticas para cualquier estructura, ya que son fuerzas producidas por la aceleración del suelo durante este evento natural. También son conocidas como cargas laterales porque que actúan en el sentido X y Y. La normativa establece parámetros para poder determinar estas fuerzas, pues depende de ciertas características como el tipo de edificación, las características de los suelos y de factores de importancia que tienen las edificaciones.

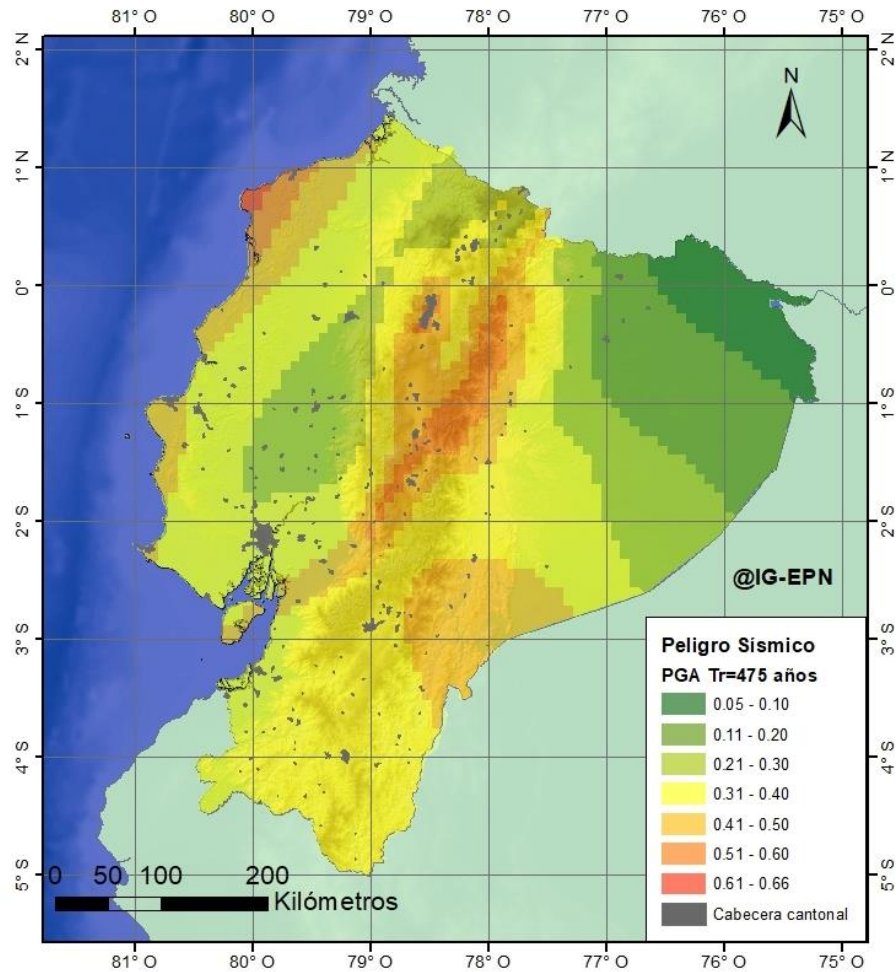
Para obtener estas cargas es necesario empezar por la elaboración del espectro sísmico, con definición de varios aspectos principalmente para posteriormente poder calcular el cortante basal y distribuirlo a lo alto de la edificación.

5.3.9. Zonas sísmicas del Ecuador y factor zona (Z)

En la planificación de edificaciones, la normativa considera un suceso sísmico con un 10% de probabilidad de superarse en un lapso de 50 años (que equivale a un período de retorno de 475 años). Esto se ha determinado a partir de un estudio de la peligrosidad sísmica del lugar donde se ubica o ubicará la estructura, en la cual se obtuvo un mapa de peligro sísmico que presenta la normativa NEC-SE-DS. También otra metodología que se utiliza para determinar la peligrosidad sísmica, como lo hacen, consiste en usar varios acelerogramas que reflejan las características dinámicas representativas de los entornos tectónicos, geológicos y geotécnicos del lugar.

Figura 9.

Mapa de peligro sísmico para un periodo de retorno de 475 años.



Fuente: (Informes de los Últimos Sismos - Instituto Geofísico - EPN, 2023).

El mapa presenta 6 zonas sísmicas en Ecuador, todo el territorio está establecido como de amenaza sísmica alta e intermedia. Para facilitar el análisis, la normativa nos presenta un factor Z que varía según la peligrosidad del sismo en los diferentes lugares de análisis o diseño estructural catalogados por provincias, cantones y parroquias.

Tabla 11.

Valores del factor Z según la zona sísmica.

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

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).

La normativa nos presenta seis tipos de perfil del suelo, siendo los más comunes los perfiles A, B, C y D. Al momento de indicar la zona sísmica correspondiente al lugar del emplazamiento de la edificación, se deberá seleccionar el factor Z de entre aquellos que se detallan a continuación.

Tabla 12.

Clasificación de los perfiles del suelo.

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

Tipo de perfil	Descripción	Definición
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$V_s < 180 \text{ m/s}$ $IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
F	<p>Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación por un ingeniero geotécnico. Se contemplan las siguientes subclases:</p> <p>F1—Suelos susceptibles al fallo causado por la excitación sísmica, como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos, etc.</p> <p>F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).</p> <p>F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)</p> <p>F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)</p> <p>F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca.</p> <p>F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.</p>	

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).

Para los distintos tipos de perfiles del suelo, se han establecido los coeficientes F_a , F_d y F_s .

Tabla 13.*Fa, coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto.*

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1	0.85

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).**Tabla 14.***Fd, amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca.*

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).

Tabla 15.

F_s, comportamiento no lineal de los suelos.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	≥ 0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.4
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2

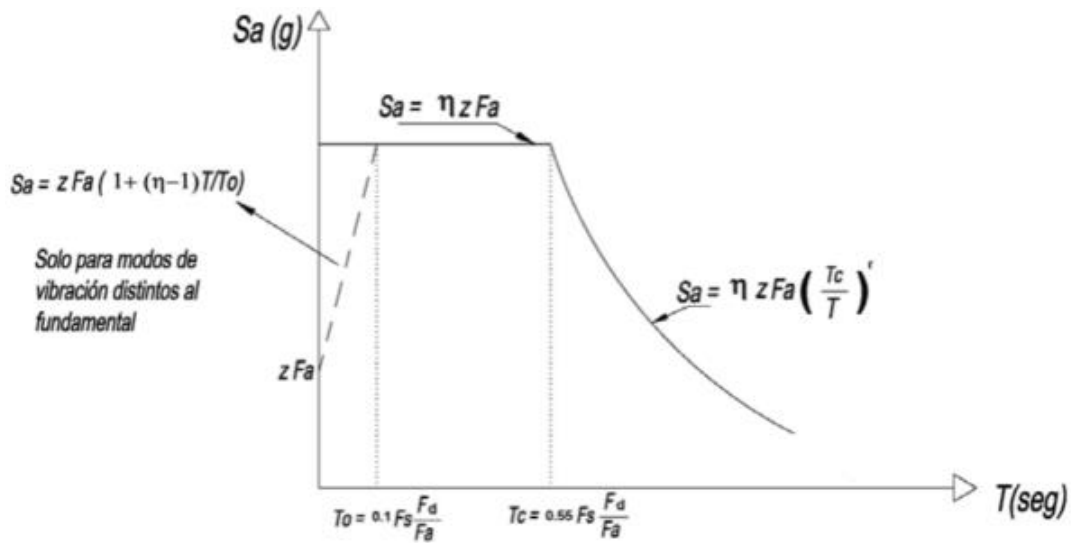
Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).

5.4. Determinación del espectro elástico

En la construcción del espectro de respuesta elástica de aceleraciones (S_a), se considera todos los parámetros anteriormente mencionados, tales como el factor de zona sísmica (Z), el tipo de perfil del suelo y los coeficientes de amplificación del suelo F_a , F_d y F_s .

Figura 10.

Espectro elástico de aceleraciones.



Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).

Los factores r y η dependen de la ubicación geográfica de la edificación.

5.4.1. Coeficiente de importancia y categoría de la edificación

El objetivo del coeficiente de importancia (I) es una forma de “penalización”, incrementando la demanda sísmica. Este coeficiente, que varía dependiendo del uso o la importancia reflejada, debe ser usado adecuadamente con el fin de menorar los daños durante o después de eventos sísmicos.

Tabla 16.*Tipo de uso e importancia de edificaciones.*

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

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).

5.4.2. Coeficiente de regularidad estructural en planta y elevación

Las irregularidades en planta o elevación pueden afectar a la estructura durante eventos sísmicos. Por lo tanto, el coeficiente asociado a estas irregularidades incrementa el valor de la fuerza cortante, con el objeto de proporcionar una mayor resistencia a la estructura. La normativa NEC-SE-DS constituye cuatro diferentes tipos de irregularidades en planta: irregularidad torsional, retrocesos exagerados en las esquinas, discontinuidades en el sistema de piso y la no simetría de los ejes estructurales.

En cuanto a la irregularidad de elevación, existe tres tipos: irregularidad geométrica, el cambio de masa de iguales pisos y cuando un piso de la misma estructura es más flexible que los adyacentes.

A todas estas irregularidades la normativa les asigna el coeficiente de 0.9 tanto en elevación (α_e) como en planta (α_p). En casos donde la estructura no presenta irregularidades, se tomará el valor de 1 en ambos coeficientes. La tabla de a continuación presenta estos tipos de irregularidades más frecuentes en las estructuras.

Tabla 17.

Coefficiente de irregularidad en elevación, ϕ_e .

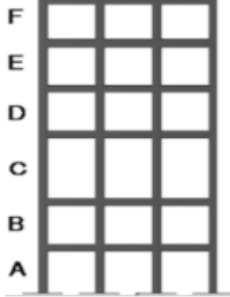
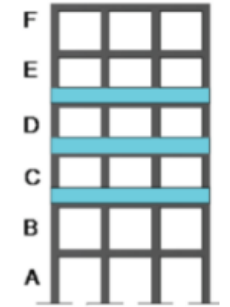
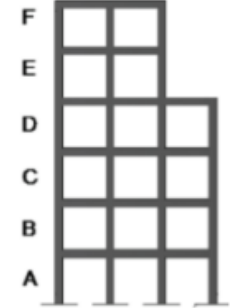
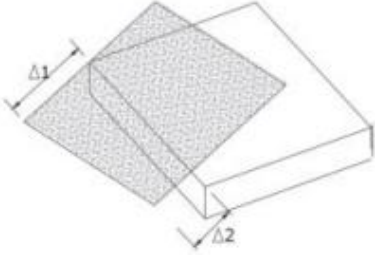
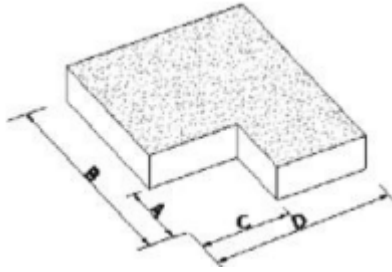
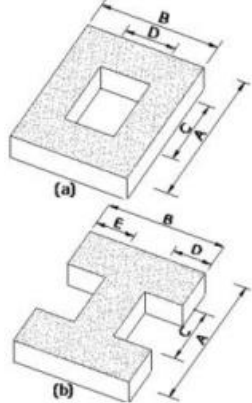
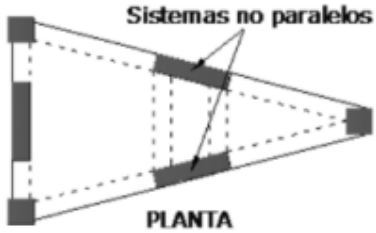
<p>Tipo 1 – Piso flexible $\phi_{Ei} = 0.9$ Rigidez $K_c < 0.70$ Rigidez K_D $Rigidez > 0.80 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}$ Cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	
<p>Tipo 2 – Distribución de masa $\phi_{Ei} = 0.9$ $m_D > 1.50 m_E$ ó $m_D > 1.50 m_C$ Cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p>	
<p>Tipo 3 – Irregularidad geométrica $\phi_{Ei} = 0.9$ $a > 1.3 b$ Cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	

Tabla 18.

Coefficiente de irregularidad en elevación, ϕp .

<p>Tipo 1 – Irregularidad torsional</p> <p>$\phi P_i = 0.9$ $\Delta > 1.2 \frac{(\Delta_1 + \Delta_2)}{2}$</p> <p>Cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura incluyendo la torsión y perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1.2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia.</p>	
<p>Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas</p> <p>$\phi P_i = 0.9$</p> <p>$A > 0.15B$ y $C > 0.15D$</p> <p>Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	
<p>Tipo 3 -Discontinuidades en el sistema de piso</p> <p>$\phi P_i = 0.9$</p> <p>a) $C \times D > 0.5A \times B$; b) $[C \times D + C \times E] > 0.5A \times B$</p> <p>Cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p>	
<p>Tipo 4 - Ejes estructurales no paralelos</p> <p>$\phi P_i = 0.9$</p> <p>Cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).

5.4.3. Factor de reducción de resistencia sísmica R

El factor de reducción R reduce las fuerzas sísmicas, esto es aceptable si las estructuras y sus conexiones están diseñadas para proporcionar mecanismos de fallo predecibles y son suficientemente flexibles. A través de este factor se calcula el espectro inelástico, que difiere del espectro elástico. La magnitud de este factor depende de los tipos de sistemas estructurales. En este caso específico al tratarse de viviendas patrimoniales, se presenta una limitación en su ductilidad. La normativa aborda esta situación presentando los siguientes coeficientes.

Tabla 19.

Coefficiente R para sistemas de poca ductilidad.

Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada	R
Pórticos resistentes a momento	
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM , limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.	3
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM con armadura electrosoldada de alta resistencia.	2.5
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.	2.5
Muros estructurales portantes.	
Mampostería no reforzada, limitada a un piso.	1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.	3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.	3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.	3

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).

5.4.4. Cálculo del cortante basal V

El cortante basal (V) se da en la parte más baja de la estructura, ubicándose así a nivel de la superficie. Esta fuerza se produce por la acumulación progresiva de cada fuerza cortante generada por los diferentes niveles que conforman la estructura. Estas fuerzas se producen cuando la edificación se ve afectada por movimientos en su base, como ocurre durante un sismo, debido a la inercia de cada piso.

El cálculo de esta cortante basal se lleva con la finalidad de distribuir las fuerzas sísmicas a lo alto de la edificación, las cuales constituye las cargas laterales. La normativa NEC-SE-DS proporciona las pautas para determinar el cortante basal aplicado a una estructura en una dirección específica mediante la siguiente expresión.

$$V = \frac{I \cdot Sa(Ta)}{R \cdot \phi_p \cdot \phi_E} \cdot W \quad (1)$$

Donde:

$S a(Ta)$: Espectro de diseño en aceleración, en función del período 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

Al analizar la formula, se puede observar el corte basal se considera como un porcentaje de la carga reactiva (peso total de la estructura).

5.4.5. Determinación del período de vibración aproximado T_a

La obtención del período de vibración para las estructuras de edificación sigue el método establecido por la normativa vigente, que implica realizar una estimación inicial razonable del período estructural. Este procedimiento es importante para el cálculo de las fuerzas sísmicas asociadas.

$$T = C_t \cdot h_n^\alpha \quad (2)$$

Donde:

C_t : Espectro de diseño en aceleración, en función del período de vibración

h_n : Coeficiente de configuración en planta y elevación

T : Coeficiente de importancia

Tabla 20.

Coeficiente para el cálculo del período fundamental.

Tipo de estructura	C_t	α
Estructura de acero		
Sin arriostramiento	0.072	0.8
Con arriostramiento	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadores	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadores y para otras estructuras basadas en muros y mampostería estructurales	0.055	0.75

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).

5.5. Combinaciones de carga.

El objetivo de combinar los diferentes tipos de cargas para su análisis es encontrar la más desfavorable en la estructura, evaluándola bajo diferentes escenarios. Con esto, realizar los análisis necesarios para evaluar las condiciones ante posibles cambios futuros en el uso o condiciones comunes del entorno.

Las simbologías de estos tipos de cargas y sus combinaciones más comunes las presenta la NEC-SE-CG.

Donde:

D: carga permanente

E: carga sísmica (esta actúa en X y Y)

L: sobrecarga (carga viva)

Lr: sobrecarga cubierta (carga viva)

W: carga de viento

5.6. Selección de la técnica de reforzamiento

Para la selección de la técnica de reforzamiento nos basamos en la tabla 1. Con esto se eligió la que permita corregir mejor el daño de los elementos estructurales considerando la compatibilidad de los materiales

5.6.1. Muros

En el caso de las estructuras de adobe los muros son los elementos más importantes en cuanto a la resistencia, estabilidad y comportamiento sísmico. El diseño de estos debe realizarse de acuerdo con los criterios basados en la resistencia, estabilidad y su desempeño. Se puede utilizar muros curvos o muros para plantas poligonales. Para el reforzamiento se consideró en base a la esbeltez (relación entre la altura del muro y espesores).

Tabla 21.*Refuerzos de muros según la esbeltez.*

Esbeltez	Arriostres y refuerzos obligatorios	Espesor mín.	Altura mín.
		Muro (m)	Muro (m)
$\lambda \leq 6$	Solera.	0.4-0.5	2.4-3.0
	Solera + elementos de refuerzos		
$6 \leq \lambda \leq 8$	horizontal y vertical en el encuentro del muro.	0.3-0.5	2.4-4.0
	Solera + elementos de refuerzos		
$8 \leq \lambda \leq 9$	horizontal y vertical en la longitud del muro.	0.3-0.5	2.7-4.5

Fuente: (E.080, 2017).

Una técnica correspondiente a elementos de refuerzo horizontales y verticales es la malla electrosoldada, por lo que en este estudio se analizó el uso de esta técnica para el refuerzo de muros, además es una norma E0.80 mencionado. En una edificación con mampostería de carga reforzada, la composición estructural y densidad de los muros en ambas direcciones determinan el número de muros estructurales, el número mínimo en ambas direcciones debe ser mayor al 1,5% el área total de los muros en la dirección en análisis sobre el área total de la edificación (SGR et al., 2016b).

$$d\% = \frac{Aw}{Ap} > 1.5\% \quad (3)$$

Donde

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

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

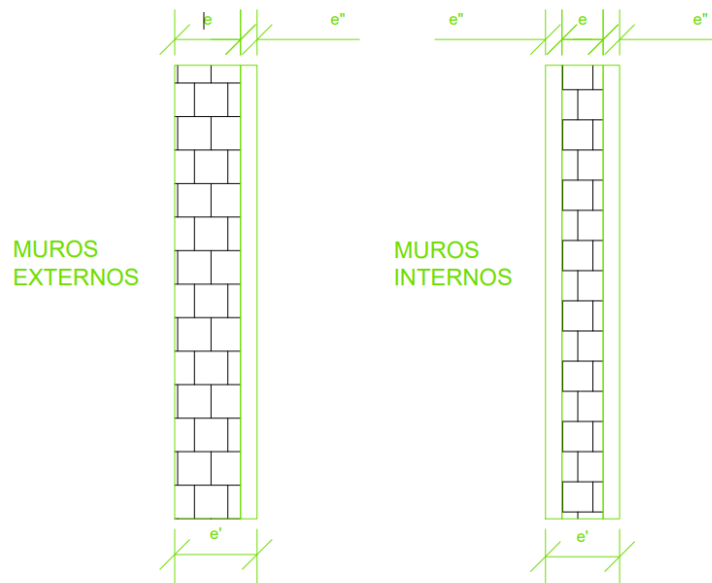
Ap : Área total en planta de la vivienda.

5.6.2. Presentación de muros con refuerzo.

Para la representación de los muros en estado reforzado se analizó y considero como un sistema monolítico que al trabajar en conjunto no se tiene separación. La estructura no cuenta con muros colapsados por lo que no es necesario que se vuelva a reconstruir. Para la modelación de los muros debemos tener en cuenta el espesor por los reforzamientos.

Figura 11.

Espesor de los muros con reforzamiento.



Fuente: Autores.

5.6.3. Chequeo en muros

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

Los elementos sometidos a compresión axial o flexión combinadas deberán diseñarse para satisfacer esta ecuación.

La ecuación unitaria es una ecuación de interacción unitaria que es un de las tensiones admisibles disponibles a las cargas aplicadas, las cargas y ecuación se usan para diseñar mampostería para esfuerzos de compresión axial y flexión (Masonry Standards Joint Committee et al., 2013).

- Ecuación unitaria

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1 \quad (4)$$

Donde:

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

$$f_a = 1.5 \cdot f_m \quad (5)$$

$$f_m = 0.4 \cdot \phi_e \cdot f'_m \quad (6)$$

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 $\phi_e=0.5$

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:

$$F_b = \left(\frac{1}{3}\right) f'_m \quad (7)$$

F_a : Esfuerzo de compresión admisible disponible para resistir solo carga axial; se calcula según las condiciones dadas por la relación de esbeltez:

$$F_a = 0.25 f'_m \left(1 - \left(\frac{h}{140r}\right)^2\right) \quad \text{para } \frac{h}{r} \leq 99 \quad (8)$$

$$F_a = 0.25 f'_m \left(1 - \left(\frac{70}{h/r}\right)^2\right) \quad \text{para } \frac{h}{r} > 99 \quad (9)$$

r: Radio de giro.

5.7. Modelación estructural

En el análisis estructural, tanto en estado inicial como reforzado, se utiliza el software comercial ETABS (Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems) en su versión v21.1.0, que posibilita la representación gráfica y la obtención de resultados a través de informes detallados. Esto permite comprender el comportamiento estructural de la edificación patrimonial frente a diversas cargas y condiciones a las que está expuesta. La herramienta proporciona una visualización precisa con análisis estáticos y dinámico exhaustivos, facilitando la evaluación de la respuesta de la estructura ante diferentes escenarios y contribuyendo así a un análisis más preciso y seguro.

La cubierta no se incluye en el modelo estructural, pero se tiene en cuenta su peso, que afecta los demás componentes estructurales. Los muros se definen como elementos tipo Shell, que permiten definir diversos materiales mediante capas (CSI España-ETABS, 2024). Los muros se analizan mediante el enfoque de elementos finitos, que convierte un medio continuo en discreto, dando lugar a un modelo con un número finito de elementos unidos en sus puntos nodales. Este enfoque asegura la compatibilidad de deformaciones entre partes adyacentes y sirve como herramienta para visualizar el flujo de fuerzas en estructuras, información crítica para el análisis y diseño estructural (Quinto, 2017).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Descripción de la edificación.

Es una edificación de dos pisos en la cual los materiales con los que está construida son correspondientes a adobe y madera. En la tabla se detalla los elementos de la estructura. La estructura cuenta con muros de adobe con fibra (paja), entrepiso y cubierta de madera.

Tabla 22.*Descripción de los elementos de la estructura.*

Elemento	Descripción
Muro exterior	Está conformado por bloques de adobe con fibra(paja), estos están colocados de manera trabada y unidad con mortero de tierra de 2cm, es espesor total del muro es de 40cm con una altura de 2.75m
Muro interior	Está conformado por bloques de adobe con fibra(paja), estos están colocados de manera trabada y unidad con mortero de tierra de 2cm, es espesor total del muro es de 25cm con una altura de 2.75m
Sistema de entepiso	El sistema es de vigas que soportan el entepiso y se encuentran apoyadas directamente sobre los muros de adobe. La altura de entepiso es de 25cm.
Cubierta	El techo está conformado por tejas de barro colocadas sobre correas de palos de eucalipto con una inclinación respecto a la horizontal de 11°. Dimensiones: Vigas solera: 0.2x0.2m Viga cumbrera: 0.1x0.11m Correa de madera: 0.05x0.04m Entablado: 0.057x0.014m Teja: 0.26x0.4x0.012m

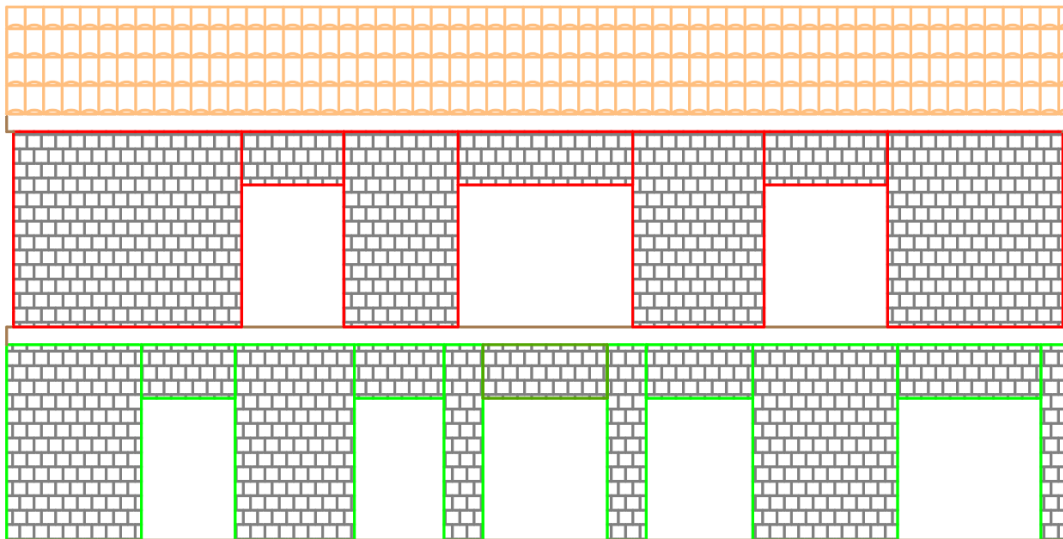
Fuente: Autores.

6.1.1. Elementos estructurales.

Al momento de realizar la inspección inicial, se pudo determinar que los sistemas estructurales principales de la estructura corresponden a los muros de adobe y las vigas de madera. En cuanto al entrepiso, también se consideró como elemento estructural ya que este distribuye las cargas hacia los muros.

Figura 12.

Vista Principal de la Casa Patrimonial.



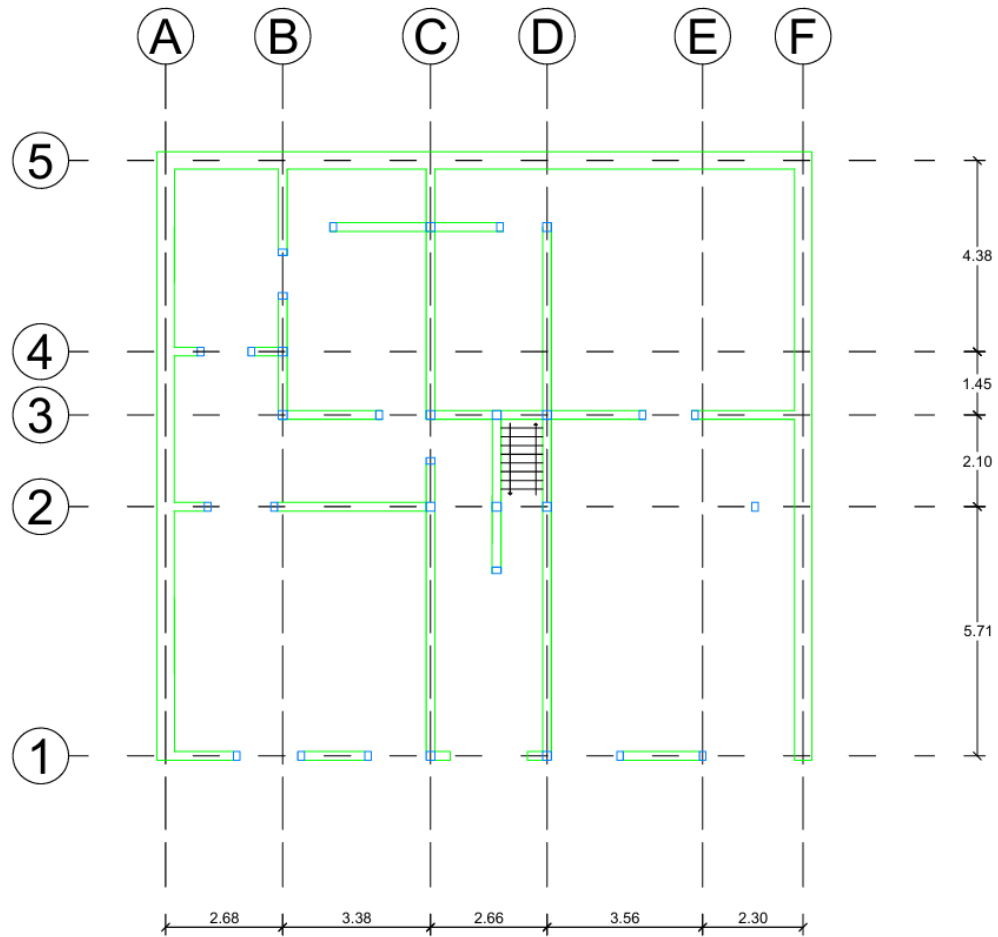
Fuente: Autores.

6.2. Levantamiento planimétrico.

6.2.1. Planimetría inicial.

Figura 13.

Planimetría primer piso.

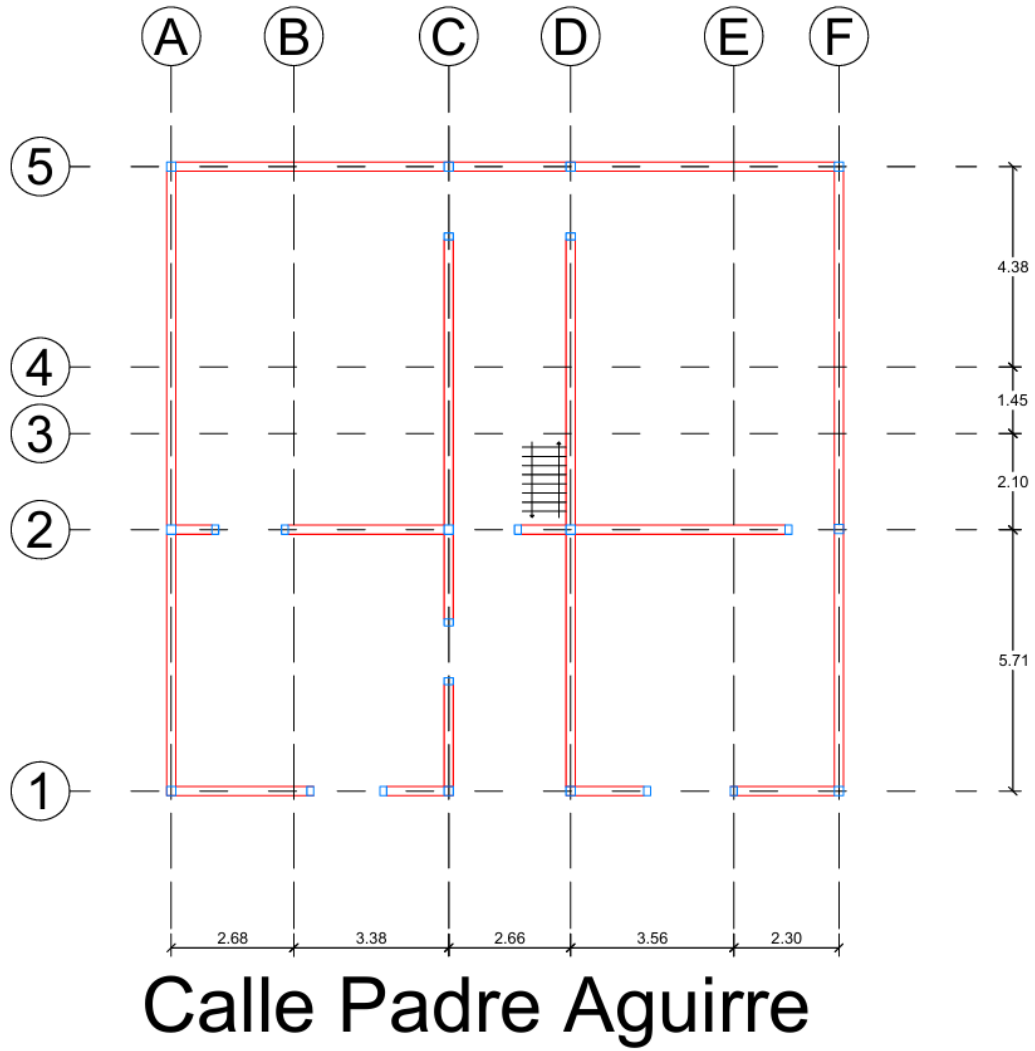


Calle Padre Aguirre

Fuente: Autores.

Figura 14.

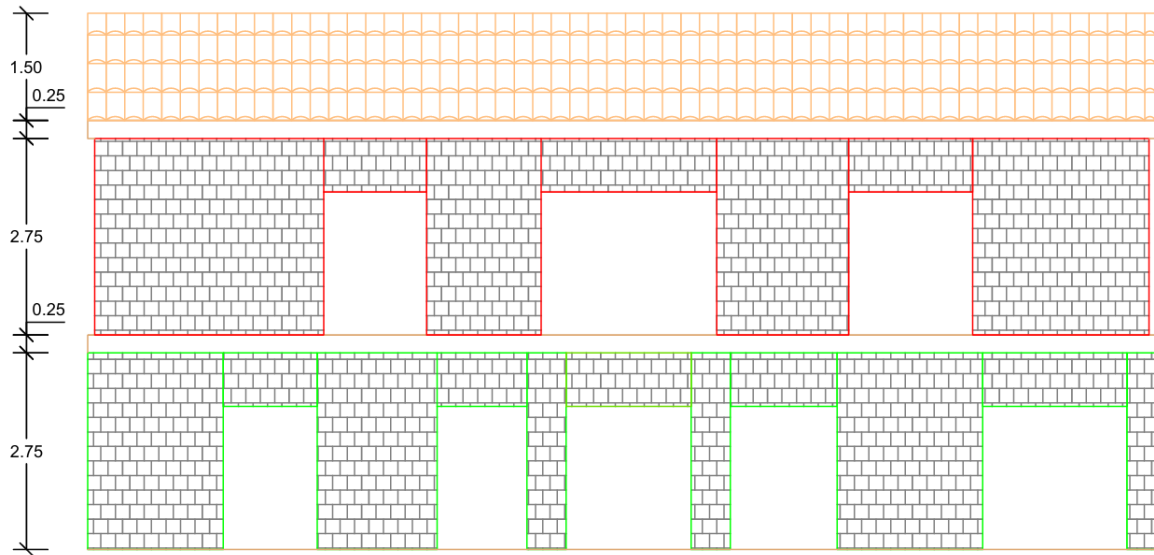
Planimetría segundo piso.



Fuente: Autores.

Figura 15.

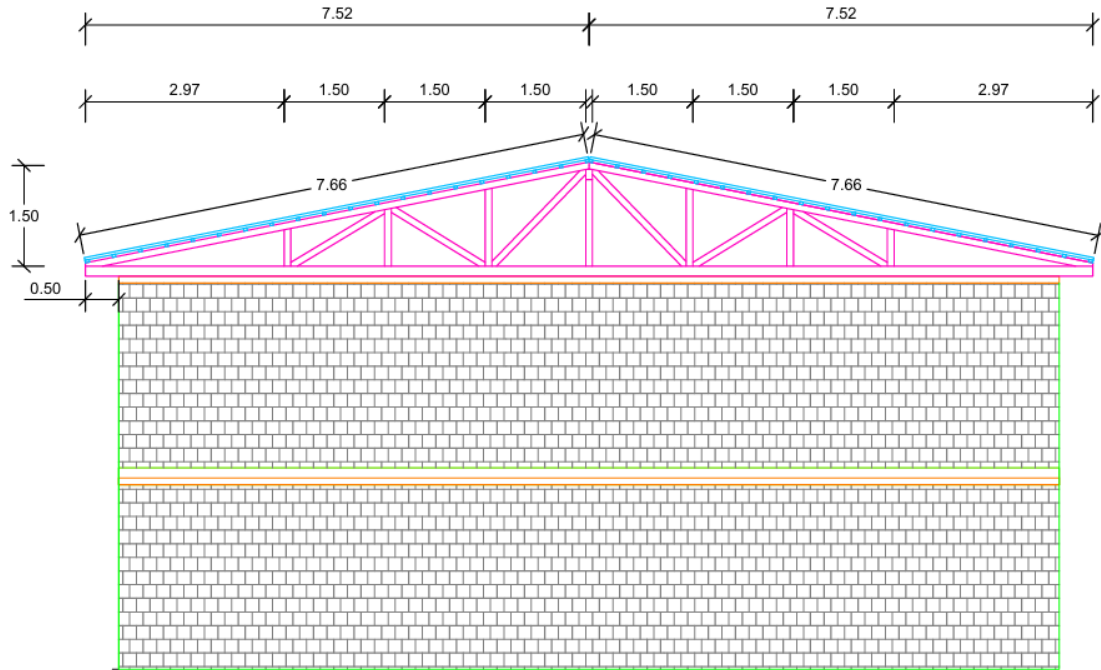
Vista frontal.



Fuente: Autores.

Figura 16.

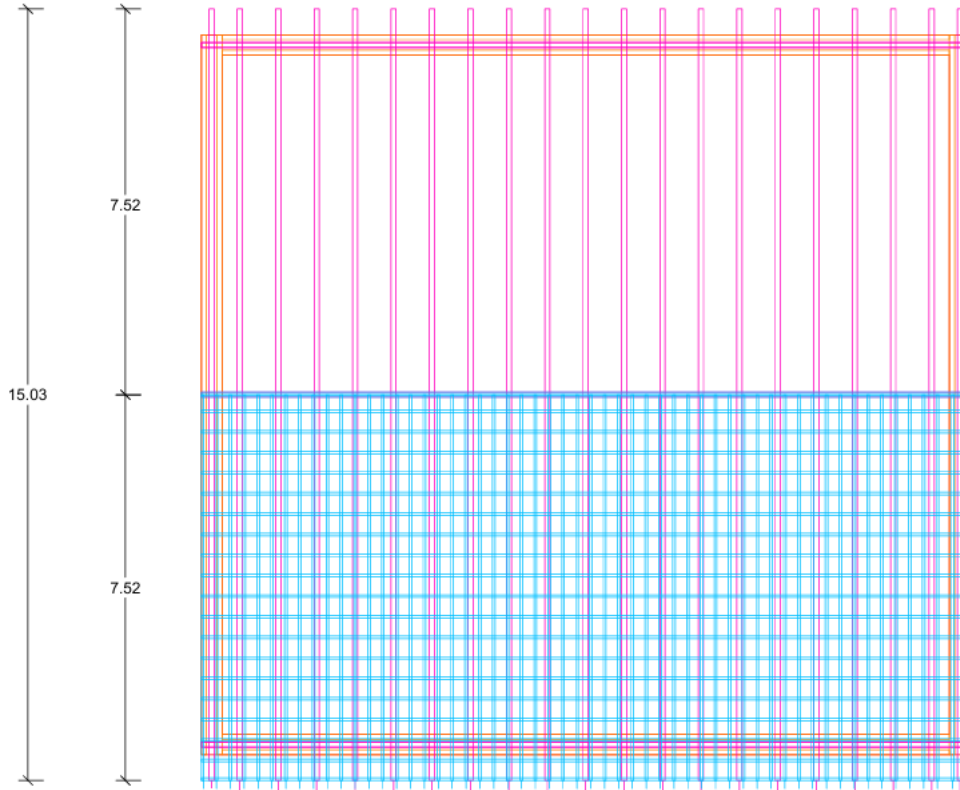
Vista lateral de la cubierta.



Fuente: Autores.

Figura 17.

Vista superior cubierta.



Fuente: Autores.

6.3. Resultados de fallos en la estructura.

Al momento de realizar el levantamiento planimétrico se pudo identificar los tipos de fallos existentes en la edificación, se registró fallos comunes como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 23.*Fallos existentes en la estructura.*

Tipo de fallo	Descripción
Agrietamiento en forma horizontal en la base	Agrietamiento en las bases de los muros que tiene una mayor longitud.
Agrietamiento en el centro de los muros	Presencia de grietas y flexión en los muros externos al ser los de mayor longitud.
Fallo por cortante en muro	Fisuras en los dinteles de las puertas, comúnmente en los muros del segundo piso.
Fallo por flexión de forma perpendicular al plano en la parte de las esquinas.	Presencia de grietas en todas las esquinas, lo que indica que no están efectivamente conectadas con los muros transversales y la separación de bloques en las esquinas de los muros son por falta de compactación.

Fuente: Autores.**6.4. Cargas en estado inicial.****Tabla 24.***Cargas por metro cuadrado primer piso.*

Carga	Valor (kg/m²)	Ubicación
Carga muerta	10.18	Entrepiso
Carga viva	203.94	Entrepiso

Fuente: Autores.

Tabla 25.

Cargas por metro cuadrado cubierta.

Carga	Valor (Kg/m²)	Ubicación
Carga muerta	75.62	Cubierta
Carga viva	203.94	Cubierta
Carga de viento	13.12	Cubierta

Fuente: Autores.

6.5. Resultado de las propiedades mecánicas de los materiales

Las propiedades que se van a considerar para el adobe y la madera se resumen en esta sección. El criterio utilizado para la elección entre diversas opciones se basa en seleccionar aquella que se la más actualizada y que mejor se ajuste a la realidad del entorno donde se encuentra empleada la estructura. Entre las propiedades relevantes se encuentra el peso específico, el cual es fundamental para el cálculo de las cargas presentes en el habitáculo. También se incluye el módulo de elasticidad, que refleja la capacidad de estos materiales para resistir cargas sin deformarse excesivamente y su capacidad para recuperar su forma original.

Por la naturaleza de la zona, se sabe que las construcciones antiguas empleaban la madera de eucalipto como elemento principal en sus edificaciones. Sin embargo, se presentan dificultades al intentar encontrar este material dentro de las normativas, especialmente en el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, que es la base de la normativa ecuatoriana NEC. En su clasificación de los grupos de madera no se encuentra al eucalipto. Por lo tanto, fue necesario optar por las propiedades del chanul. En la clasificación de los tipos de madera en Ecuador realizada por JUAN(2020), el eucalipto comparte características mecánicas con el chanul al pertenecer a la misma clase de resistencia C30.

Tabla 26.*Propiedades mecánicas del adobe utilizadas en este proyecto.*

Adobe como material de construcción				
Peso Especifico	Módulo de Elasticidad	Módulo de Corte o Rigidez	Modulo Poisson	Coefficiente de dilatación térmica
γ	E	Gm	μ	α
kg/m ³	kg/cm ²	kg/cm ²		°C-1
1631.55	173.35	500	0.15	0.012

Fuente: Autores.**Tabla 27.***Propiedades mecánicas del eucalipto.*

Madera como elemento estructural					
Peso Especifico	Módulo de Elasticidad	Módulo de Corte	Modulo Poisson	Coefficiente de dilatación térmica	Grupo Madera
γ	E	Gm	μ	α	
kg/m ³	kg/cm ²	kg/cm ²		°C-1	
460	713.49	285.40	0.4	0.000003	B

Fuente: Autores.

6.6. Espectro sísmico elástico de aceleraciones

6.6.1. Caracterización del tipo de perfil del suelo

Avilés Tapia & Barzallo Urgilés (2016) con el estudio de las propiedades mecánicas del sitio y la aplicación de los diferentes métodos, logra determinar el perfil de velocidad de las ondas de corte (Vs) para la ciudad de Cuenca que va de 333 a 530 m/s. Con este dato se puede clasificar el tipo de perfil del suelo para nuestro proyecto, según los criterios de la NEC-SE-DS.

Tabla 28.*Criterios para clasificar suelos según los perfiles C, D o E.*

Tipo de Perfil	V_s	N o N_{ch}	S_u
C	entre 360 y 760 m/s	mayor que 50	mayor que 100 kPa
D	entre 180 y 360 m/s	entre 15 y 50	entre 100 y 50 kPa
E	menor de 180 m/s	menor de 15	menor de 50 kPa

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015).

Con el perfil de suelo debidamente determinado y con conocimiento de que el proyecto se emplaza en la provincia de Azuay, específicamente en el cantón Cuenca, ahora es posible determinar el factor Z y los demás datos necesarios. Esta caracterización se lleva a cabo mediante la implementación de las tablas correspondientes que se encuentra detalladas en la normativa.

Tabla 29.*Datos esenciales para el espectro sísmico.*

Datos	Valor
Perfil del suelo	C
Factor Z	0.25
Zona Sísmica	II
Coefficiente Fa	1.3
Coefficiente Fd	1.28
Coefficiente Fs	0.94
η	2.48
r	1

Fuente: Autores.

6.6.2. Período fundamental (T)

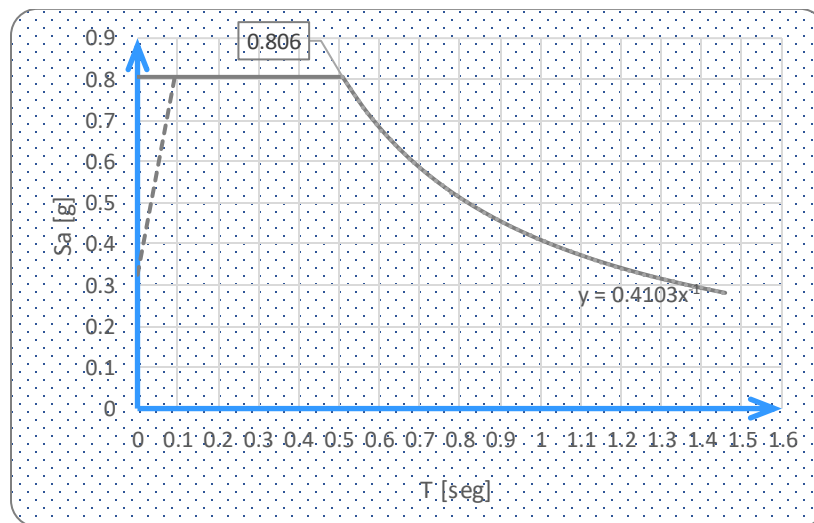
El período fundamental aproximado se obtiene con ayuda de la ecuación (2) indicada en la normativa NEC, en el cual es necesario el uso del coeficiente C_t de 0.055 y α de 0.75 para el tipo de estructura basado en muros y mampostería estructurales. Nuestra edificación patrimonial tiene una altura máxima de 5.95 metros.

$$T = 0.055 \cdot 5.95^{0.75} = 0.21 \quad (10)$$

El resultado obtenido es una estimación inicial, pero esta debe ser validada y ajustada para asegurar un correcto análisis sísmico con la ayuda de herramientas más precisas como el software ETABS. Este software utiliza métodos numéricos avanzados, considera la geometría, las propiedades de los materiales y las condiciones de cargas de la estructura. Con un cálculo más preciso del software, se obtiene un período de 0.85 segundos, con el cual se determinó la aceleración espectral (S_a) de 0.483 (g).

Figura 18.

Espectro elástico de la edificación patrimonial en condiciones iniciales.



Fuente: Autores.

Tabla 30.

*Aceleración espectral para diferentes
períodos.*

Espectro Elástico	
T	Sa
(seg)	(g)
0.0000000	0.8060000
0.05090462	0.8060000
0.10180923	0.8060000
0.15271385	0.8060000
0.20361846	0.8060000
0.25452308	0.8060000
0.30542769	0.8060000
0.35633231	0.8060000
0.40723692	0.8060000
0.45814154	0.8060000
0.50904615	0.8060000

0.55904615	0.73391293
0.60904615	0.67366192
0.65904615	0.62255306
0.70904615	0.57865232
0.75904615	0.54053525
0.80904615	0.50712954
0.85904615	0.47761252
0.90904615	0.45134254
0.95904615	0.42781174
1.00904615	0.40661292
1.05904615	0.38741579
1.10904615	0.36994962
1.15904615	0.35399039
1.20904615	0.33935115
1.25904615	0.32587463
1.30904615	0.31342760
1.35904615	0.30189644

1.40904615	0.29118365
1.45904615	0.28120509

Fuente: Autores.

6.7. Cortante basal para la edificación en su estado inicial

Para el cálculo de esta fuerza, se consideran los datos establecidos anteriormente y se asume que la edificación en análisis no presenta irregularidades ni en planta ni en elevación. Además, se utiliza el factor de reducción (R) para una edificación de mampostería no reforzada.

Tabla 31.

Datos para el cálculo del cortante basal.

Datos	Valor
Coefficiente de regularidad en elevación (ρ_e)	1
Coefficiente de regularidad en planta (ρ_p)	1
Factor de reducción (R)	1
Factor de importancia (I)	1

Fuente: Autores.

Por lo tanto, el cortante basal en función del peso total de la estructura o carga reactiva es considerado como un coeficiente (C).

$$V = \frac{1 \cdot 0.483}{1 \cdot 1 \cdot 1} \cdot w = 0.483 \cdot w \quad (11)$$

La carga reactiva de la estructura es de 188529.983 kilogramos, por lo que se tiene un cortante basal (V) en condiciones iniciales de 91059.98 kilogramos.

6.7.1. Fuerza sísmica por piso de la estructura

Para el cálculo de las fuerzas laterales, producidas por el sismo, presentes en cada nivel se usa la siguiente expresión:

$$F_x = \frac{w_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k} \cdot V \quad (12)$$

Donde:

V: Cortante total en la base de la estructura

F_x: Fuerza lateral aplicada en el piso x de la estructura

n: Número de pisos de la estructura

w_x: Peso aginado al piso o nivel x de la estructura, siendo una fracción de la carga reactiva w

w_i: Peso aginado al piso o nivel i de la estructura, siendo una fracción de la carga reactiva w

h_x: Altura del piso x de la estructura

h_i: Altura del piso i de la estructura

k: Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T

El valor de (k) depende del período fundamental (T). Para este caso de estudio, es igual a 0.85 y la normativa indica que para períodos mayores a 0.5 y menores o iguales a 2.5, el coeficiente se obtiene con la siguiente expresión:

$$k = 0.75 + 0.50 \cdot T = 1.175 \quad (13)$$

Tabla 32.

Fuerzas sísmicas por nivel de estructura.

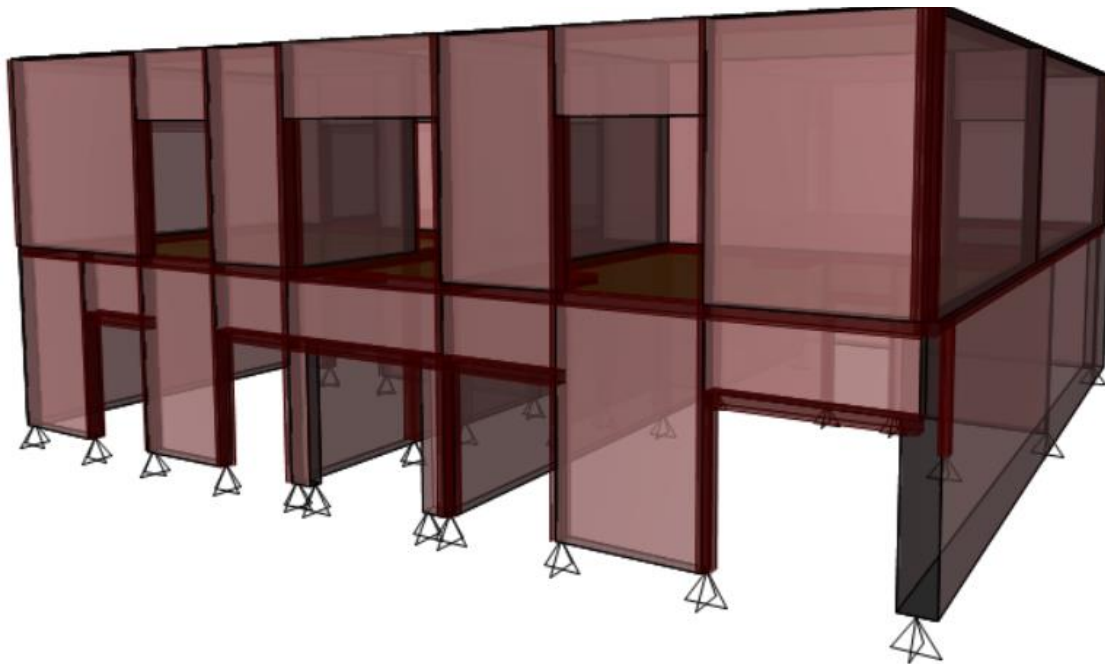
Elevación	Carga sísmica reactiva w_x (kg)	Altura del nivel h_x (m)	Coefficiente k	$w_i \cdot h_i^k$	F_x (kg)
2	64388.44	5.95	1.175	523438.097	49342.72
1	124141.54	2.95	1.175	442545.585	41717.26
w	188529.983		$\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k$	965983.68	

Fuente: Autores.

6.8. Modelaje estructural de la edificación en su estado inicial

Figura 19.

Modelo tridimensional de la edificación.



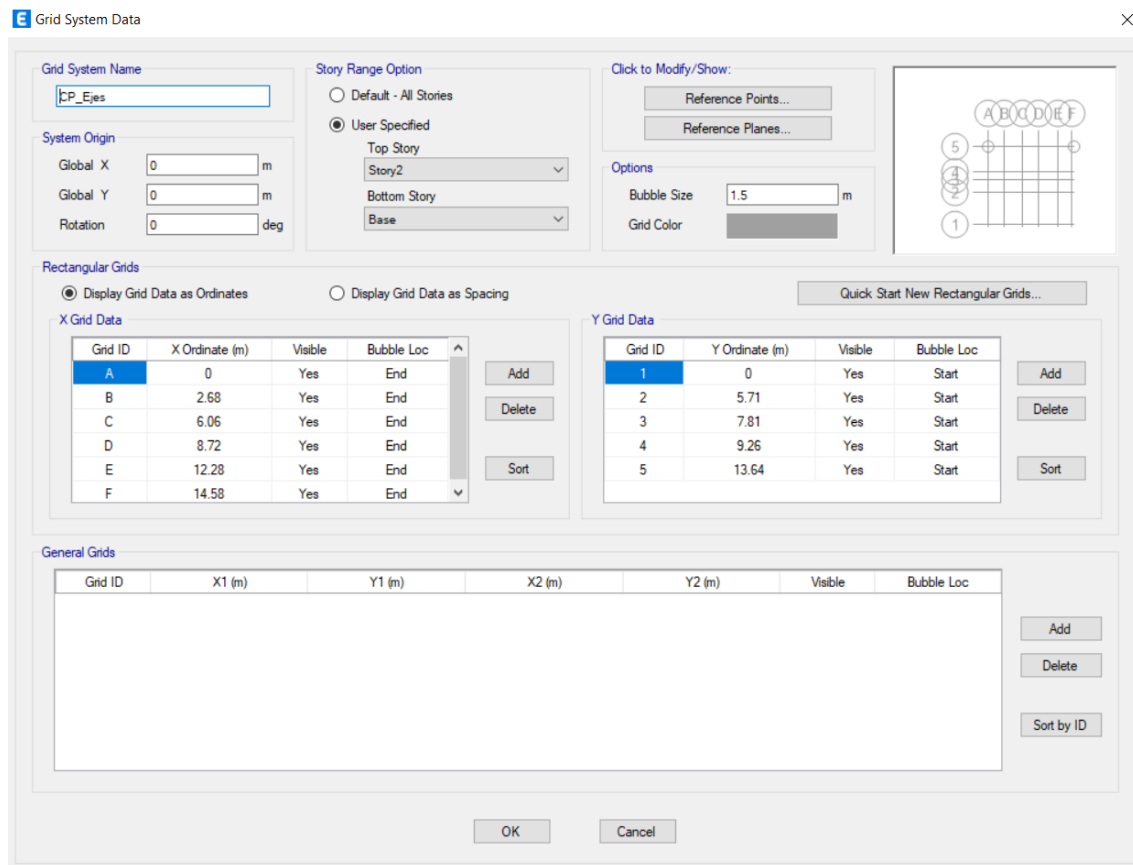
Fuente: Autores.

Con la construcción de la rejilla, se inicia el modelaje, el cual se deriva del levantamiento planimétrico. A través de esto, podemos definir las distancias entre los diversos elementos y ejes de

la edificación. En la primera etapa esto es fundamental para definir con precisión la base geométrica de la estructura dentro del programa. La creación de una rejilla apropiada proporciona un punto de referencia fijo que permite disponer con precisión los muros, columnas, vigas y otros componentes estructurales. Este método mejora la precisión del modelado, garantizando que el modelo virtual refleje con exactitud los atributos reales de la estructura, lo que resulta esencial para un análisis estructural riguroso y normado.

Figura 20.

Definición de la grilla.



Fuente: Autores.

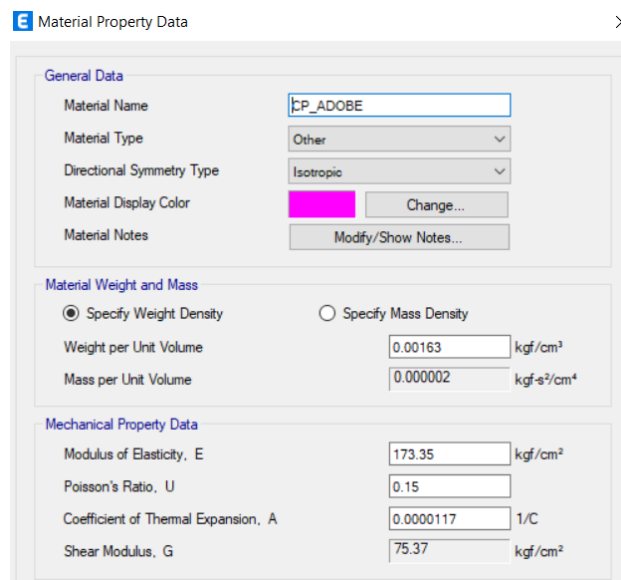
6.8.1. Definición de materiales

Las propiedades propias de cada material son imprescindibles para definir los materiales, estas propiedades son:

- Módulo de elasticidad, E
- Módulo de Poisson, u
- Coeficiente de dilatación térmica
- Peso específico

Figura 21.

Definición de las propiedades del adobe.



Section	Property	Value	Unit
General Data	Material Name	CP_ADOBE	
	Material Type	Other	
	Directional Symmetry Type	Isotropic	
	Material Display Color	Magenta	
	Material Notes		
Material Weight and Mass	Specify Weight Density	<input checked="" type="radio"/>	
	Specify Mass Density	<input type="radio"/>	
	Weight per Unit Volume	0.00163	kgf/cm ³
	Mass per Unit Volume	0.000002	kgf-s ² /cm ⁴
Mechanical Property Data	Modulus of Elasticity, E	173.35	kgf/cm ²
	Poisson's Ratio, U	0.15	
	Coefficient of Thermal Expansion, A	0.0000117	1/C
	Shear Modulus, G	75.37	kgf/cm ²

Fuente: Autores.

Figura 22.

Definición de las propiedades de la madera.

Property	Value	Unit
Material Name	CP_EUCALIPTO	
Material Type	Other	
Directional Symmetry Type	Isotropic	
Material Display Color	[Pink Square]	
Material Notes		
Specify Weight Density	<input checked="" type="radio"/>	
Specify Mass Density	<input type="radio"/>	
Weight per Unit Volume	0.00046	kgf/cm³
Mass per Unit Volume	4.691E-07	kgf-s²/cm⁴
Modulus of Elasticity, E	713.49	kgf/cm²
Poisson's Ratio, U	0.4	
Coefficient of Thermal Expansion, A	0.000003	1/C
Shear Modulus, G	285.4	kgf/cm²

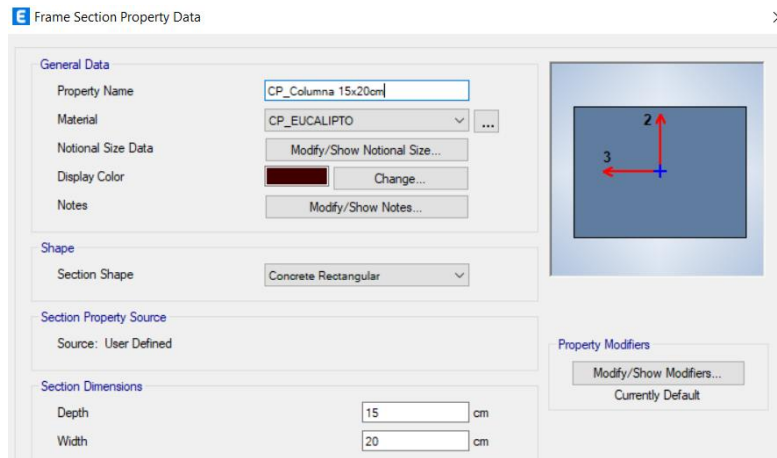
Fuente: Autores.

6.8.2. Definición de secciones de los elementos estructurales en el modelo

Durante el levantamiento e identificación de los elementos principales realizado en la vivienda patrimonial de este estudio, se determinó que las columnas están presentes para las aperturas de puertas en toda la edificación, y las vigas en el entrepiso y la cubierta. La mayoría de las vigas tienen una sección de 20x15 cm, y columnas, de 15x20 cm.

Figura 23.

Definición de las secciones de madera.



Fuente: Autores.

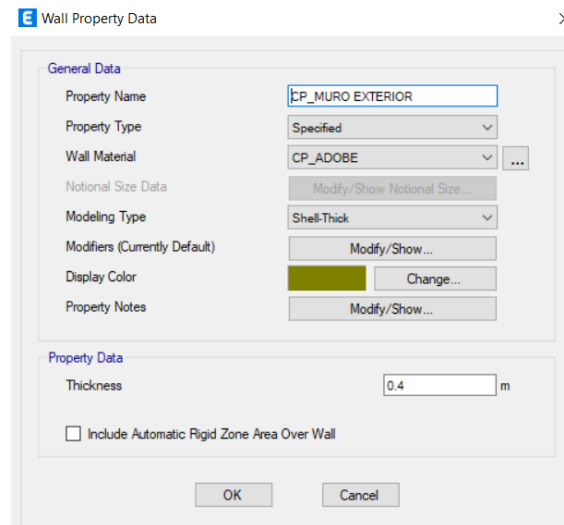
Para generar los modelos de muros de adobe en el programa ETABS, deben analizarse como elementos Shell Thick. Estos elementos Shell representan losas y muros con características específicas que se requieren para evaluar la estabilidad global y local de estos componentes. Las consideraciones importantes incluyen pandeo y probables fallos locales.

El programa aborda el estudio de muros como elementos finitos; la idea principal de este método es dividir una estructura continua en una colección de pequeños elementos conectados por una secuencia de puntos conocidos como nodos. En este caso, se requiere dividir los muros en porciones que imiten segmentos de muros de adobe. La consideración de los muros como elementos de tipo cáscara permite una representación más auténtica de su comportamiento en diversas condiciones, lo que da lugar a un estudio más completo y preciso.

El espesor de los muros que predominan en la edificación es de dos tipos: los muros exteriores de 40 cm, que se ubican en el perímetro del primer piso y los muros interiores de 20cm, presentes en la primera y segunda planta.

Figura 24.

Definición del muro de adobe.



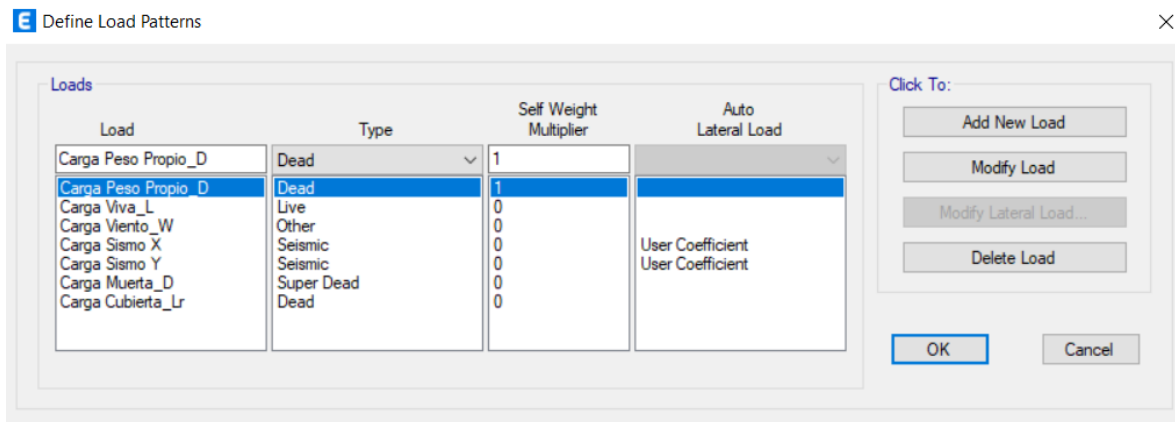
Fuente: Autores.

6.8.3. Definición de los estados de carga presentes en la estructura

Como se definió en capítulos anteriores, los estados de carga, que pueden dañar la estructura de manera ocasional o constante, se refieren a las cargas que soporta la estructura. Para los estados de carga viva, sismos (en el sentido X y Y), se asignan valores de 0, permitiendo que el software mantenga los valores proporcionados manualmente. Es esencial establecer los factores de carga muerta adicionales y para los pesos propios en la estructura con un valor de 1, lo que permite al software determinar el peso total de la estructura.

Figura 25.

Definición de los estados de carga.

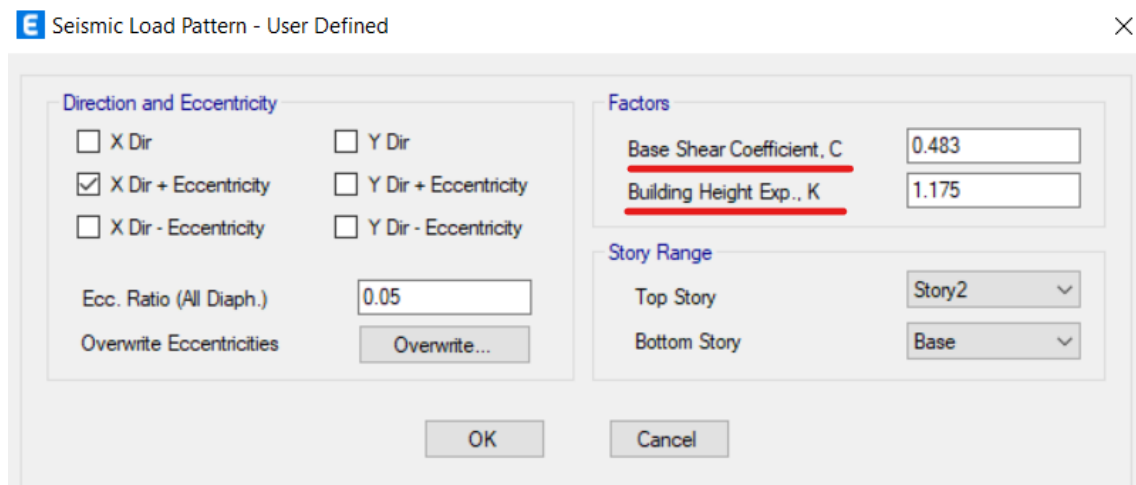


Fuente: Autores.

Las cargas sísmicas se asignan utilizando el coeficiente (C) y el factor (k) definidos anteriormente. Con estos valores, se obtiene el cortante basal (V) de la estructura, calculado mediante ETABS. Este valor debe ser igual al obtenido manualmente utilizando la ecuación (11). La similitud entre ambos valores garantiza la precisión y eficacia del análisis sísmico.

Figura 26.

Asignación de coeficientes para carga sísmica.



Fuente: Autores.

6.8.4. Asignación de las combinaciones de cargas

Las combinaciones de carga para efectos de rehabilitación se combinan de manera diferente tanto las de acción gravitacional y sísmicas en ambos sentidos, X y Y. Se define un tipo de combinación adicional del tipo ENVELOPE, a diferencia de la descritas anteriormente, el objetivo de este tipo de combinación es el analizar la estructura con el máximo valor de los combos.

$$\text{Combo 1} = 0.9D + 0.225L - 1SD_x \quad (14)$$

$$\text{Combo 2} = 0.9D + 0.225L - 1SD_y \quad (15)$$

$$\text{Combo 3} = 0.9D + 0.225L - 1S_x \quad (16)$$

$$\text{Combo 4} = 0.9D + 0.225L - 1S_y \quad (17)$$

$$\text{Combo 5} = 0.9D + 0.225L + 1SD_x \quad (18)$$

$$\text{Combo 6} = 0.9D + 0.225L + 1SD_y \quad (19)$$

$$\text{Combo 7} = 0.9D + 0.225L + 1S_x \quad (20)$$

$$\text{Combo 8} = 0.9D + 0.225L + 1S_y \quad (21)$$

$$\text{Combo 9} = 1.1D + 0.275L - 1SD_x \quad (22)$$

$$\text{Combo 10} = 1.1D + 0.275L - 1SD_y \quad (23)$$

$$\text{Combo 11} = 1.1D + 0.275L - 1S_x \quad (24)$$

$$\text{Combo 12} = 1.1D + 0.275L - 1S_y \quad (25)$$

$$\text{Combo 13} = 1.1D + 0.275L + 1SD_x \quad (26)$$

$$\text{Combo 14} = 1.1D + 0.275L + 1SD_y \quad (27)$$

$$\text{Combo 15} = 1.1D + 0.275L + 1S_x \quad (28)$$

$$\text{Combo 16} = 1.1D + 0.275L + 1S_y \quad (29)$$

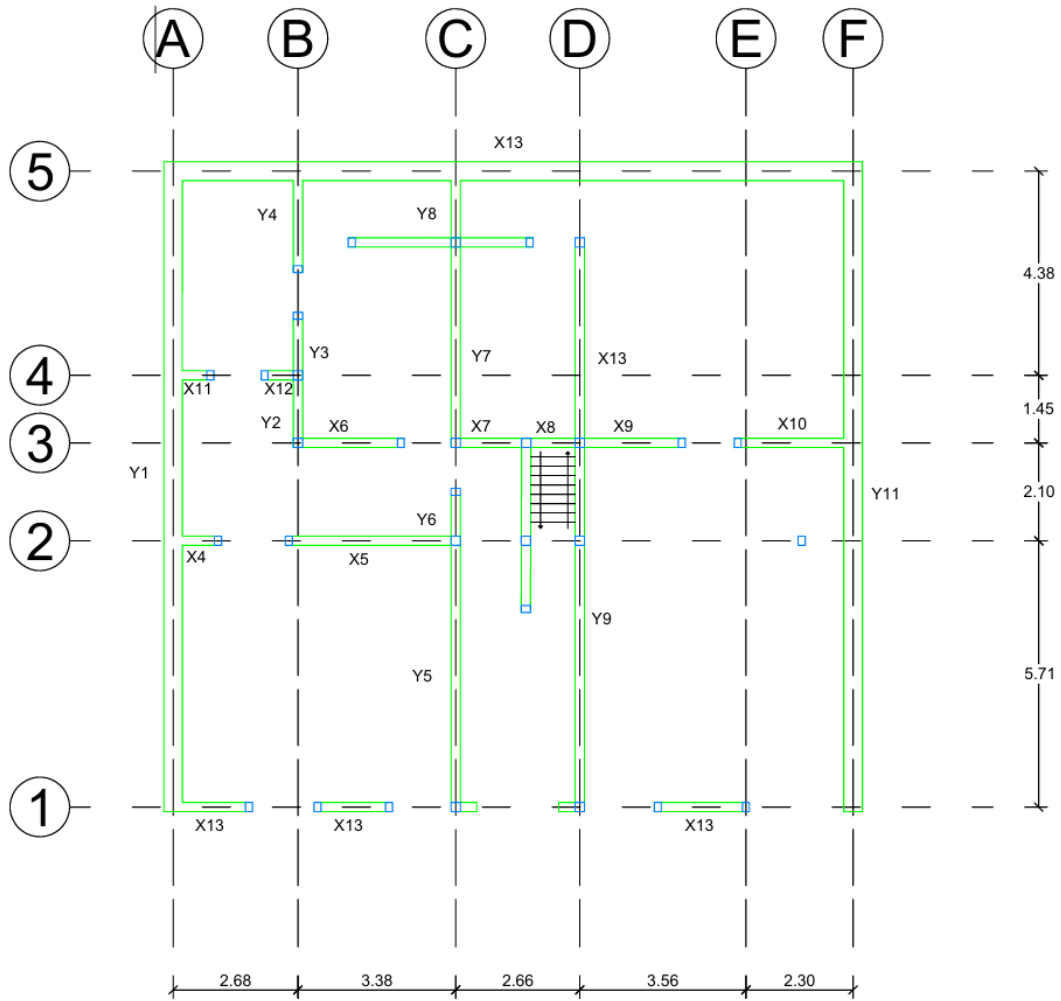
$$\text{Combo 17} = \text{Envolvente X} \quad (30)$$

$$\text{Combo 18} = \text{Envolvente Y} \quad (31)$$

6.8.5. Configuración geométrica de muros estructurales

Figura 27.

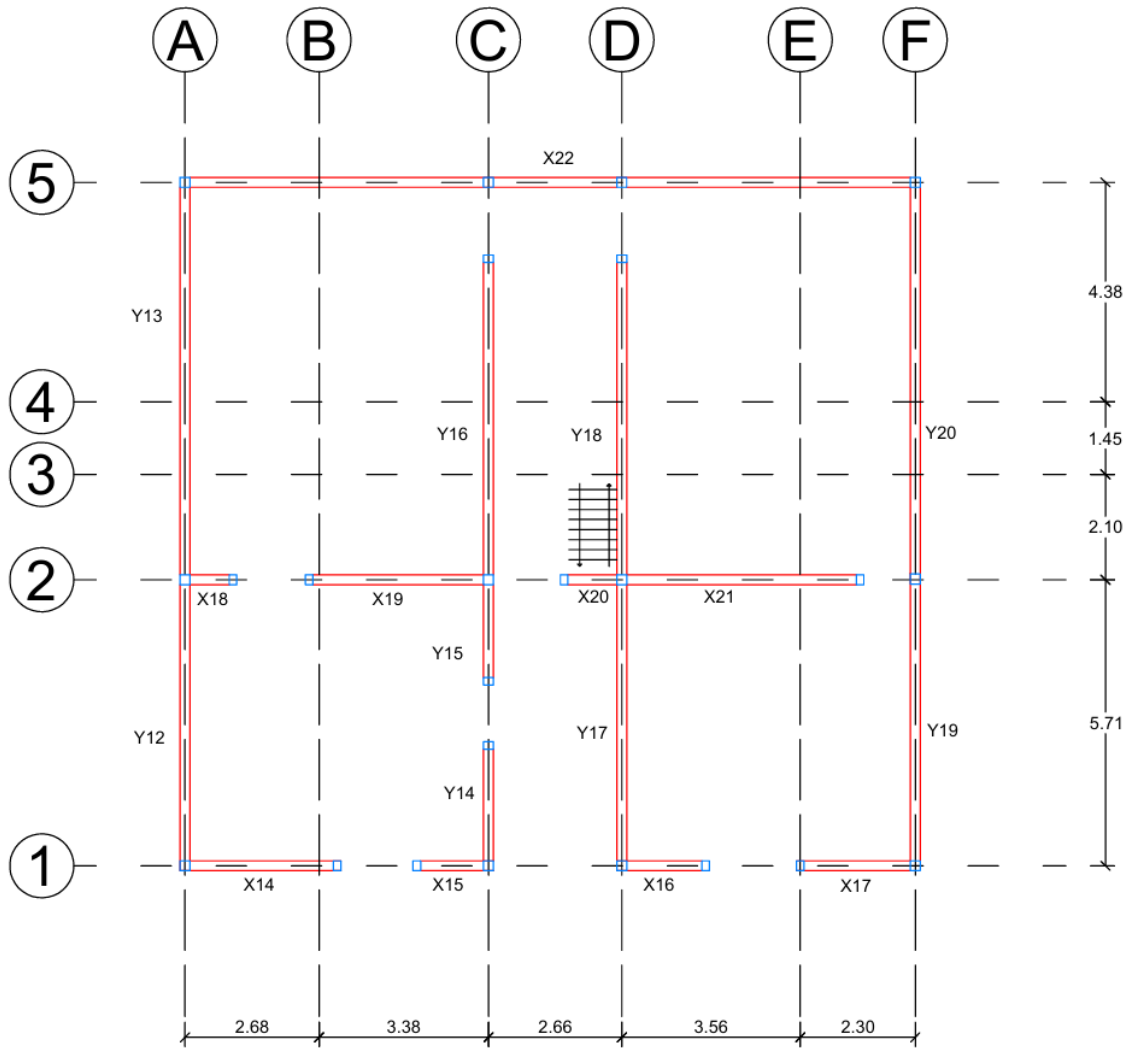
Distribución de los muros de adobe en planta baja.



Fuente: Autores.

Figura 28.

Distribución de los muros de adobe en planta alta.



Fuente: Autores.

Para el modelamiento inicial, los muros deben ser definidos según su distribución en planta (para el eje x y eje y) y reciben etiquetas que permiten identificar en el análisis, de los muros principales, esto se realiza con la ayuda de Pier Label, herramienta disponible en el programa ETABS.

6.8.6. Asignación de cargas en la estructura computacional

Para distribuir las cargas provenientes de los entrepisos y la cubierta en el nivel adecuado, se usó un elemento Slab de tipo Membrane que permite la distribución de estas cargas a las vigas y los muros estructurales. Por lo general, los entrepisos y cubiertas son elementos flexibles, de modo que el elemento tipo Slab se configura para que no trabaje como diafragma rígido y, por lo tanto, sus pesos se distribuyan a los elementos que los soportan.

Tabla 33.

Cargas adicionales presentes en la estructura.

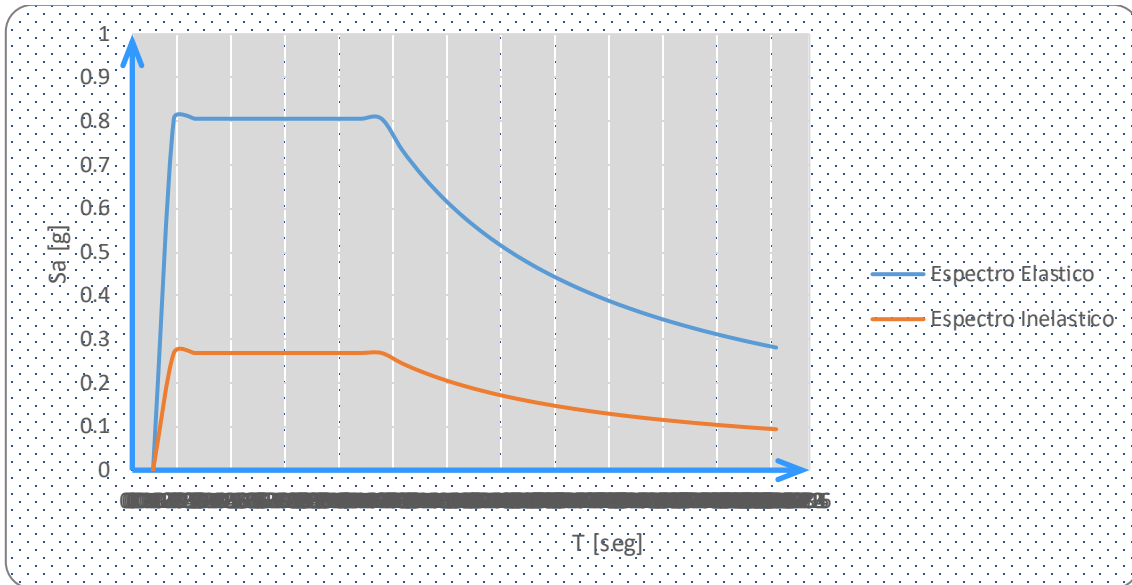
Tipo de Carga	Valor (kg/m²)
Sobrecarga Entablado	10.18
Sobrecarga Cubierta	75.62
Carga viva	203.94
Carga de viento	13.12

Fuente: Autores.

6.8.7. Asignación de cargas laterales dinámicas (espectro inelástico)

Figura 29.

Grafica del espectro elástico e inelástico.



Fuente: Autores.

Para compreender cómo reacciona una estructura a las presiones dinámicas de un terremoto, se emplean ciertas estrategias y procedimientos, como el análisis modal espectral. Este análisis ayuda a comprender la reacción de la estructura a distintas frecuencias sísmicas. Es crucial incorporar fuerzas dinámicas en el diseño sísmico para garantizar que los edificios puedan resistir y mitigar los temblores producidos por un terremoto. Esto no sólo garantiza la seguridad y estabilidad de la estructura, sino que también protege a sus ocupantes. Para el cálculo de las fuerzas sísmicas dinámicas, se introduce la gráfica del espectro inelásticos que se calcula con la siguiente expresión.

Tabla 34.*Datos para la gráfica del espectro inelástico.*

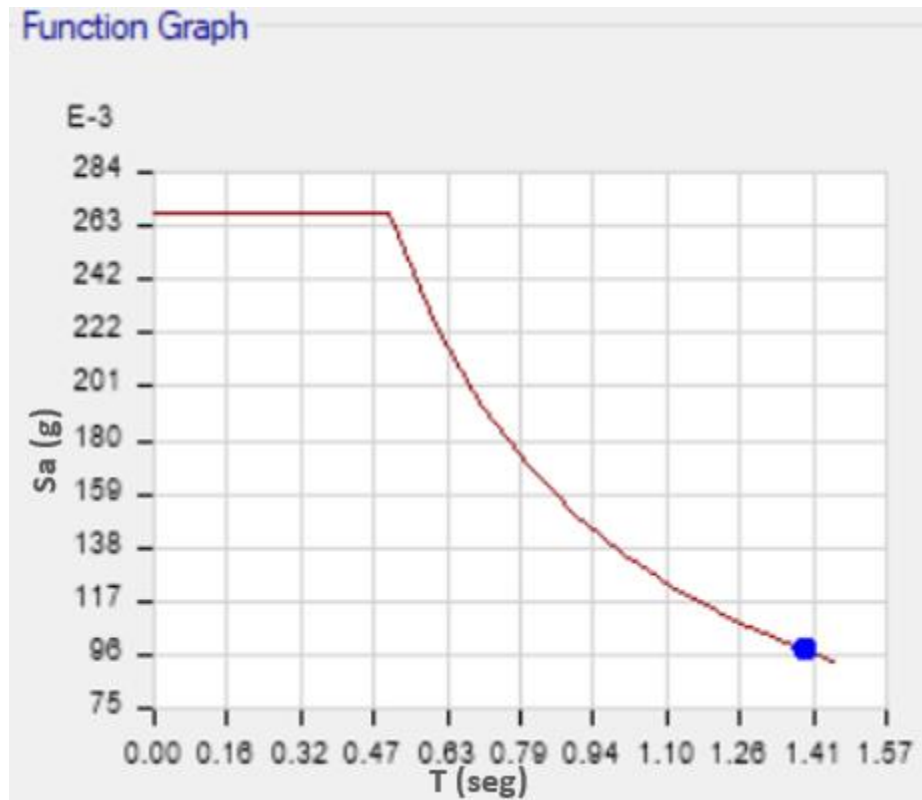
Espectro Inelástico	
T	V
(seg)	(kg)
0.0000000	0.2686667
0.0509042	0.2686667
0.1018093	0.2686667
0.1527135	0.2686667
0.2036186	0.2686667
0.2545238	0.2686667
0.3054279	0.2686667
0.3563321	0.2686667
0.4072362	0.2686667
0.4581414	0.2686667
0.5090465	0.2686667
0.5590465	0.2446374
0.6090465	0.2245537
0.6590465	0.2075179
0.7090465	0.1928841
0.7590465	0.1801782
0.8090465	0.1690438
0.8590465	0.1592047
0.9090465	0.1504471
0.9590465	0.1426031

1.0090465	0.1355374
1.0590465	0.1291386
1.1090465	0.1233164
1.1590465	0.1179968
1.2090465	0.1131175
1.2590465	0.1086248
1.3090465	0.1044757
1.3590465	0.1006325
1.4090465	0.0970612
1.45904615	0.0937353

Fuente: Autores.

Figura 30.

Espectro Inelástico de la Ciudad de Cuenca.



Fuente: Autores.

6.8.8. Análisis estructural computacional

La determinación de los esfuerzos en los muros estructurales de un edificio patrimonial es crucial para evaluar su estabilidad e identificar lugares significativos que faciliten el examen de conformidad con las normas locales. Además de proporcionar información importante sobre la distribución de las cargas, estos factores permiten la construcción de medidas de refuerzo particulares, protegiendo la integridad y autenticidad de los edificios de importancia histórica o cultural. Para mantener la durabilidad y la seguridad a lo largo del tiempo, es esencial comprender cómo afectan estas fuerzas a los muros, especialmente en estructuras patrimoniales cuya conservación es prioritaria.

Para la posterior comparación del estado inicial y reforzado, se seleccionaron los muros de la edificación considerando el valor máximo de los esfuerzos. Por lo tanto, se consideraron los siguientes muros:

Tabla 35.

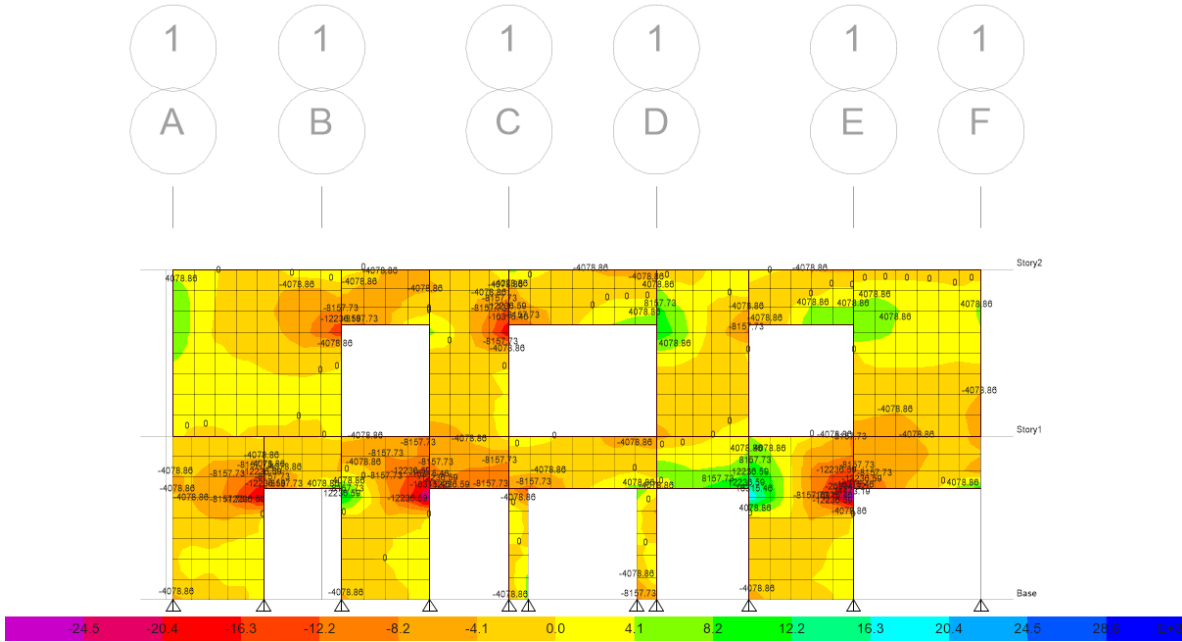
Esfuerzos en estado inicial de la estructura.

Esfuerzos en Muros Seleccionados			
Muro		S11	S22
Etiqueta	Combinación de Carga	kg/m²	kg/m²
X1	CombRehab_1.1D + 0.275L - 1Sx	-21979.15	-17817.32
X2	CombRehab_1.1D + 0.275L + 1Sx	-4636.17	-37251.43
X3	CombRehab_1.1D + 0.275L + 1Sx	22221.26	8698.31
X5	CombRehab_1.1D + 0.275L + 1Sx	-23866.72	-16781.44
X8	CombRehab_1.1D + 0.275L - 1Sx	-21634.37	-9704.58
X10	CombRehab_1.1D + 0.275L - 1Sy	-3619.07	-24170.74
X17	CombRehab_1.1D + 0.275L - 1Sx	-4477.22	-18005.56
X19	CombRehab_1.1D + 0.275L + 1Sx	-19898.85	-16202.53
X21	CombRehab_1.1D + 0.275L + 1Sx	30086.5	13325.99
Y5	CombRehab_1.1D + 0.275L + 1Sx	-4147.16	-30597.67
Y10	CombRehab_1.1D + 0.275L + 1Sy	-1106.49	-21004.28

Fuente: Autores.

Figura 31.

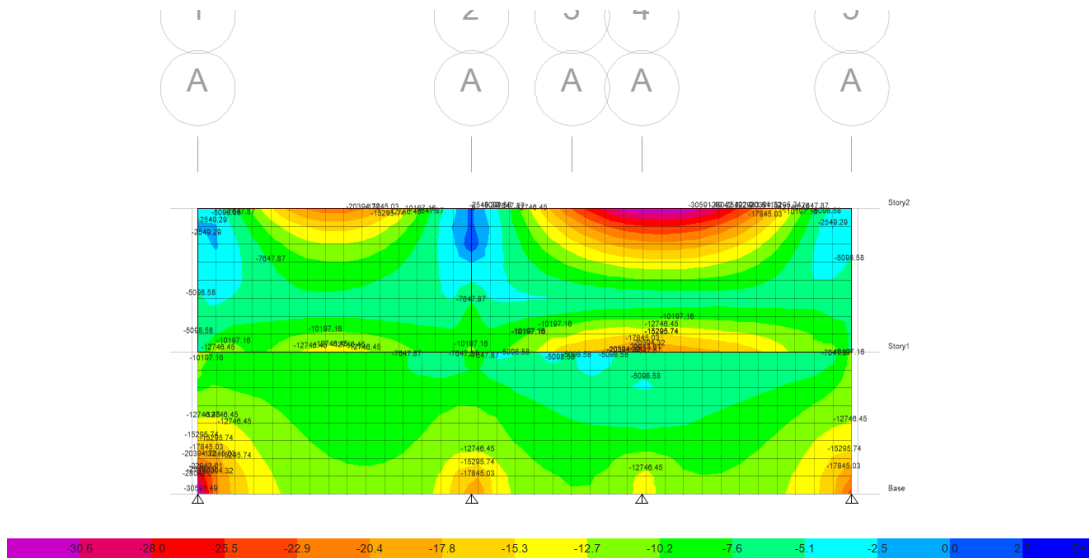
Esfuerzo S11 (kg/m²) en estado inicial, con la combinación 1.1D + 0.275L + 1Sx.



Fuente: Autores.

Figura 32.

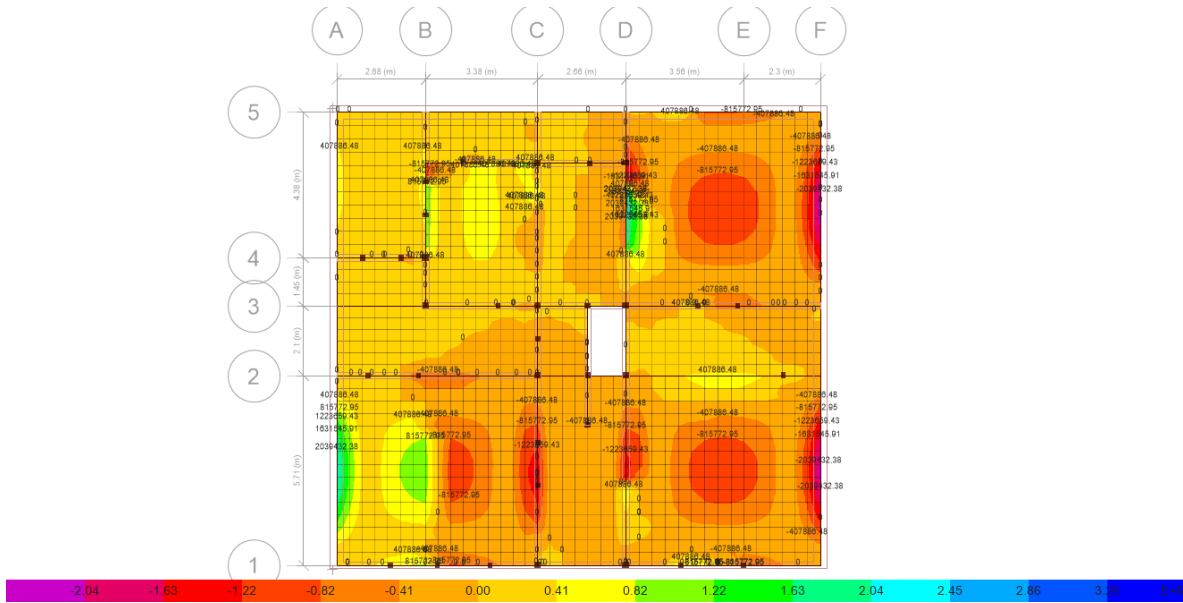
Esfuerzo S22 (kg/m²) en estado inicial, con la combinación 1.1D + 0.275L + 1Sx.



Fuente: Autores.

Figura 33.

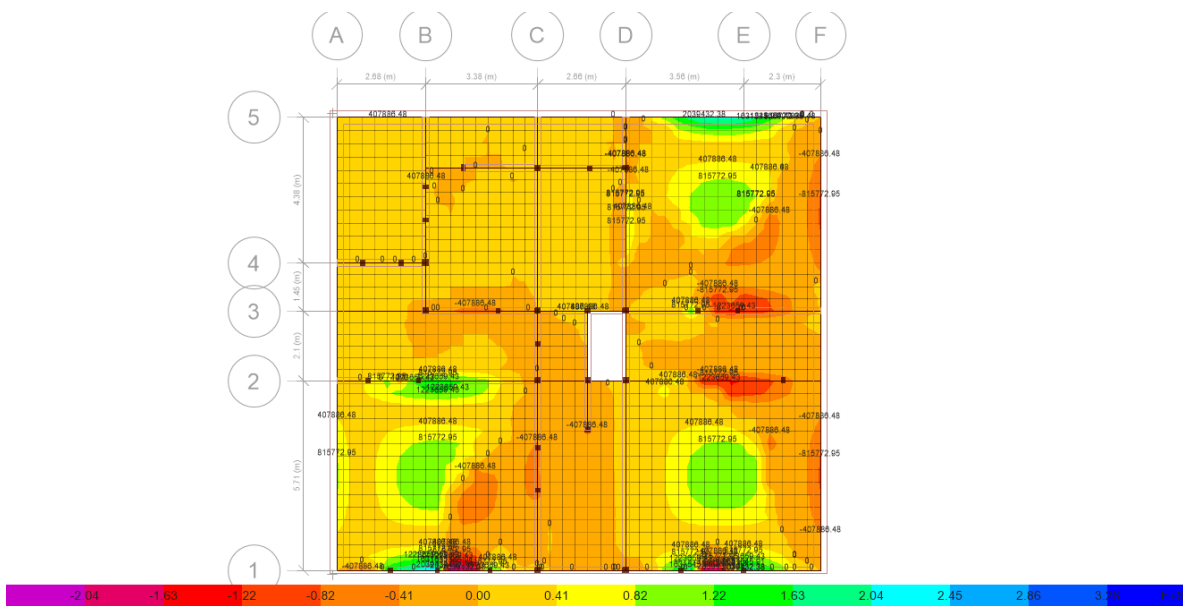
Esfuerzo S11 (kg/m²) – Entrepiso, estado inicial, con la combinación 1.1D + 0.275L + 1Sx.



Fuente: Autores.

Figura 34.

Esfuerzo S22 (kg/m²) – Entrepiso, estado inicial, con la combinación 1.1D + 0.275L + 1Sx.



Fuente: Autores.

6.8.9. Participación modal

La norma indica que los numero de modos para el análisis deben contribuir de manera significativa a la respuesta total de la estructura, con diferentes períodos de vibración, en nuestro caso se usó Eigen como subtipo de caso de carga, este criterio indica en resumen el uso de tres modos por piso de la infraestructura.

En el análisis dinámico la norma indica que los modos que se analicen deben cumplir la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura en cada una de las direcciones horizontales consideradas.

Tabla 36.

Participación modal en los ejes principales.

Dirección	Estático	Dinámico
	%	%
UX	98.63	90
UY	95.60	84.1

Fuente: Autores.

6.8.10. Control de derivas

La deriva máxima (Δ_M máxima), para la estructura de mampostería es igual al 0.01, el cual no debe ser sobrepasado por el cálculo de la deriva máxima inelástica Δ_M .

$$\Delta_M = 0.75 \cdot R \cdot \Delta_E \quad (32)$$

Donde:

Δ_M : deriva máxima inelástica

Δ_E : desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas

R: factor de reducción de resistencia

Tabla 37.

Control de deriva por nivel en el sentido x.

Nivel	Combinación	Dirección	Desplazamiento	Factor	Deriva Max	Verificación
			Δ_E	R	Δ_E	
1	EnvolventeX	X	0.031957	1	0.024	No Cumple
2	EnvolventeX	X	0.020133	1	0.015	No Cumple

Fuente: Autores.

Tabla 38.

Control de deriva por nivel en el sentido y.

Nivel	Combinación	Dirección	Desplazamiento	Factor	Deriva Max	Verificación
			Δ_E	R	Δ_E	
1	EnvolventeY	Y	0.012108	1	0.0091	Cumple
2	EnvolventeY	Y	0.011511	1	0.0086	Cumple

Fuente: Autores.

Como se puede observar en las tablas anteriores, el eje más débil es en la dirección de X, por lo cual se reforzará los muros más críticos en ese sentido, para que cumplan con las derivas máximas permitidas.

6.9. Aplicación de las técnicas de reforzamiento de la estructura.

6.9.1. Muros

En este caso se promedió el espesor de los muros, el cual nos dio 0.33m con una altura de 2.75m, lo cual nos da una esbeltez de 8.33.

Tabla 39.

Reforzamiento de muros.

Esbeltez	Arriostres y refuerzos obligatorios	Espesor mín.	Altura mín.
		Muro (m)	Muro (m)
Solera + elementos de refuerzos			
$8 \leq \lambda \leq 9$	horizontal y vertical en la longitud del muro.	0.3-0.5	2.7-4.5

Fuente: (E.080, 2017).

El método por el cual se optó para el reforzamiento de los muros para aumentar la resistencia ante eventos sísmicos es la colocación de mallas electrosoldadas. La viga solera se tiene en cuenta en los muros de la segunda planta, ya que se apoya la cubierta y así se tiene una mejor distribución de cargas de manera uniforme.

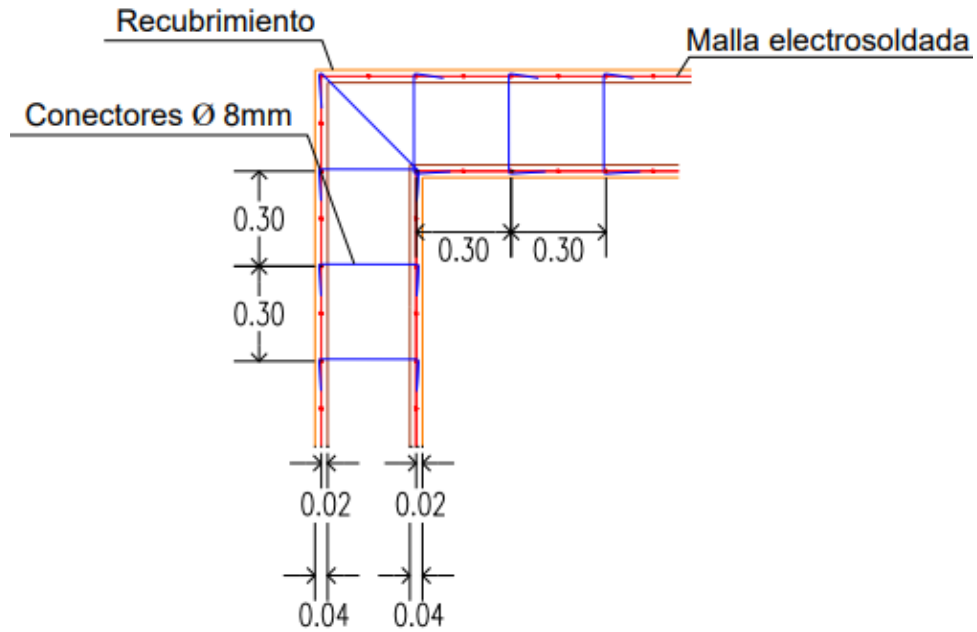
Los materiales con los que se compone son:

- Malla electrosoldada \varnothing 3.5mm con una apertura de 15x15 cm.
- Varilla de acero corrugado \varnothing 8mm.
- Alambre galvanizado # 18.

Las siguientes imágenes muestran la información constructiva de un muro reforzado mediante malla electrosoldada en base a (Fernández, 2015).

Figura 35.

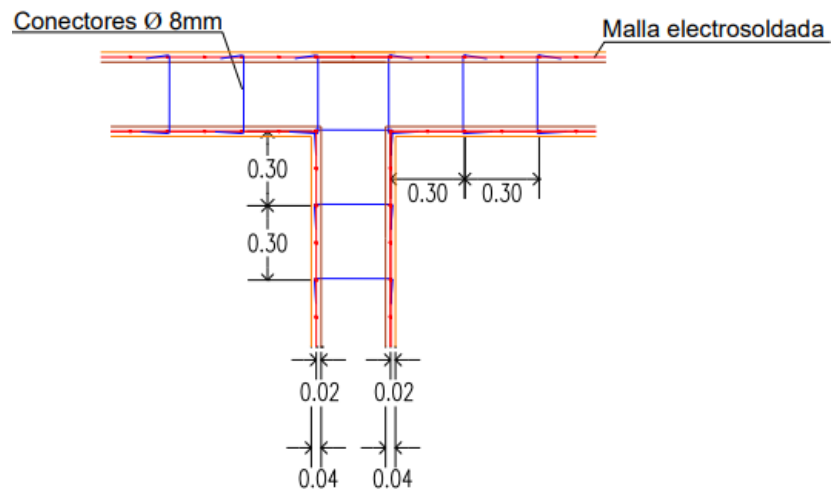
Vista en planta de refuerzo de juntas esquineras.



Fuente: (Delgado Caizaguano, 2019).

Figura 36.

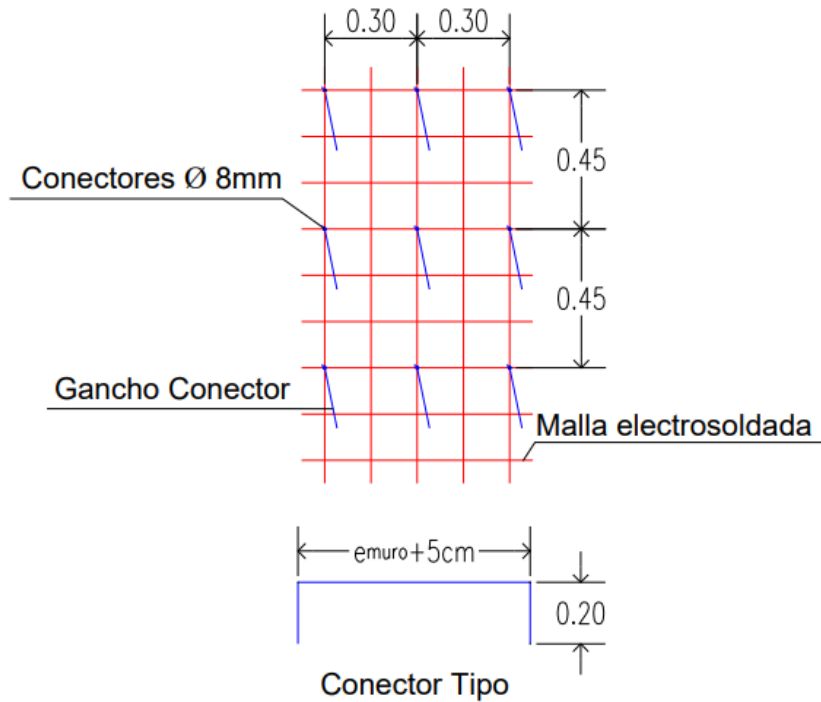
Vista en planta del refuerzo para paredes con encuentro.



Fuente: (Delgado Caizaguano, 2019).

Figura 37.

Vista frontal de conectores.



Fuente: (Delgado Caizaguano, 2019).

Al momento de reforzar los muros es necesario tener presente que debemos determinar el índice de densidad de los muros, lo cual nos indica en cuál de los dos sentidos se debe aumentar las secciones para que nos dé como resultado un índice casi igual en las dos direcciones.

Tabla 40.

Índice de densidad de muros de la primera planta estado inicial.

Sentido	A_w (m ²)	d%	Control
X	10.486	5.03	OK
Y	17.042	8.17	OK

Fuente: Autores.

Tabla 41.*Índice de densidad de muros de la primera planta estado reforzado.*

Sentido	Aw (m²)	d%	Control
X	13.085	6.27	OK
Y	18.003	8.63	OK

Fuente: Autores.

Los resultados de la densidad de los dos sentidos de la estructura inicial se ven reflejados con una diferencia de 3% mientras que en el estado reforzado mejoro el índice dando como resultado una diferencia entre los dos sentidos de 2%. Lo cual nos quiere decir que el reforzamiento ayudo a mejorar el índice de densidad.

6.10. Modelación en estado reforzado.

6.10.1. Cargas en estado reforzado

Tabla 42.*Cargas por metro cuadrado de entrepiso en estado reforzado.*

Cargas	Valor (kg/m²)	Ubicación
Carga muerta	10.18	Entrepiso
Carga viva	203.94	Entrepiso

Fuente: Autores.

Tabla 43.

Cargas por metro cuadrado de cubierta en estado reforzado.

Cargas	Valor (kg/m²)	Ubicación
Carga muerta	75.62	Cubierta
Carga viva	203.94	Cubierta
Carga de viento	13.12	Cubierta

Fuente: Autores.

La carga muerta en la primera planta en estado inicial es igual al estado reforzado rehabilitado, esto se debe a que no se reforzó la parte del entrepiso, por lo tanto, no afecta a las cargas, lo mismo para la cubierta.

6.10.2. Definición de materiales reforzados

Los muros cambian su módulo de elasticidad gracias a la aportación que realiza la malla electrosoldada y los diferentes conectores en el proceso de reforzamiento, por lo que se le consideró el módulo de elasticidad de un ensayo de compresión que se realizó para muretes reforzados con malla electrosoldada dado por (Juárez et al., 2010). Lo cual tuvo un incremento favorable con respecto al estado inicial de la estructura.

Figura 38.

Definición de las propiedades del adobe reforzado.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for a material named 'ADOBE_Reforzado'. The dialog is organized into three sections: General Data, Material Weight and Mass, and Mechanical Property Data.

- General Data:** Material Name is 'ADOBE_Reforzado', Material Type is 'Other', Directional Symmetry Type is 'Isotropic', Material Display Color is a magenta square, and Material Notes is empty.
- Material Weight and Mass:** 'Specify Weight Density' is selected. Weight per Unit Volume is 0.00163 kgf/cm³, and Mass per Unit Volume is 0.000002 kgf-s²/cm⁴.
- Mechanical Property Data:** Modulus of Elasticity, E is 9630.3 kgf/cm², Poisson's Ratio, U is 0.15, Coefficient of Thermal Expansion, A is 0.0000117 1/C, and Shear Modulus, G is 4187.09 kgf/cm².

Fuente: Autores.

Figura 39.

Definición del muro de adobe.

The screenshot shows the 'Wall Property Data' dialog box for a property named 'CP_MURO INTERIOR_Reforzado'. The dialog is organized into two sections: General Data and Property Data.

- General Data:** Property Name is 'CP_MURO INTERIOR_Reforzado', Property Type is 'Specified', Wall Material is 'ADOBE_Reforzado', Modeling Type is 'Shell-Thin', and Display Color is a magenta square.
- Property Data:** Thickness is 25 cm.

Fuente: Autores.

6.10.3. Período fundamental (T) en estado reforzado

Debido a los cambios en los muros estructurales que aumentan la rigidez de la estructura, el período fundamental también sufre un cambio con respecto al estado inicial. Se obtiene un período de 0.382 segundos, con el cual se determinó la aceleración espectral (S_a) de 0.806 (g).

6.10.4. Cortante basal para la edificación en su estado reforzado

Con los datos establecidos anteriormente y con el único cambio del factor de reducción (R), que ahora es para una edificación de mampostería con reforzamiento, se calcula el nuevo valor del cortante basal (V).

Tabla 44.

Datos para el cálculo del cortante basal en estado reforzado.

Datos	Valor
Coefficiente de regularidad en elevación (σ_e)	1
Coefficiente de regularidad en planta (σ_p)	1
Factor de reducción (R)	3
Factor de importancia (I)	1

Fuente: Autores.

Por lo tanto, el cortante basal es:

$$V = \frac{1 \cdot 0.806}{3 \cdot 1 \cdot 1} \cdot w = 0.269 \cdot w \quad (33)$$

$$V = 0.269 \cdot 193933.96 \text{ kg} = 52168.24 \text{ kg} \quad (34)$$

Para el cálculo de las fuerzas laterales presentes en cada nivel se usa la siguiente expresión indicada anteriormente.

$$F_x = \frac{w_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k} \cdot V \quad (35)$$

El valor de (k) depende del período, en estado reforzado es igual a 0.382 y la normativa indica que para períodos menores o iguales a 0.5, el coeficiente es igual a 1.

Tabla 45.

Fuerzas sísmicas por nivel de estructura. Estado reforzado.

Elevación	Carga sísmica reactiva w_x (kg)	Altura del nivel h_x (m)	Coeficiente k	$w_i \cdot h_i^k$	F_x (kg)
2	65689.199	5.95	1	390850.736	26508.99
1	128244.77	2.95	1	378322.059	25659.247
w	193933.96			$\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k$ 769172.79	

Fuente: Autores.

En los valores obtenidos de la ecuación (33) y la Tabla 49, se puede observar que para la asignación de las cargas sísmicas (X y Y), el nuevo coeficiente (C) será de 0.269 y el factor (k) de 1, para la estructura en estado reforzada.

6.10.5. Esfuerzos en Muros

Tabla 46.*Esfuerzos en estado reforzado de la estructura.*

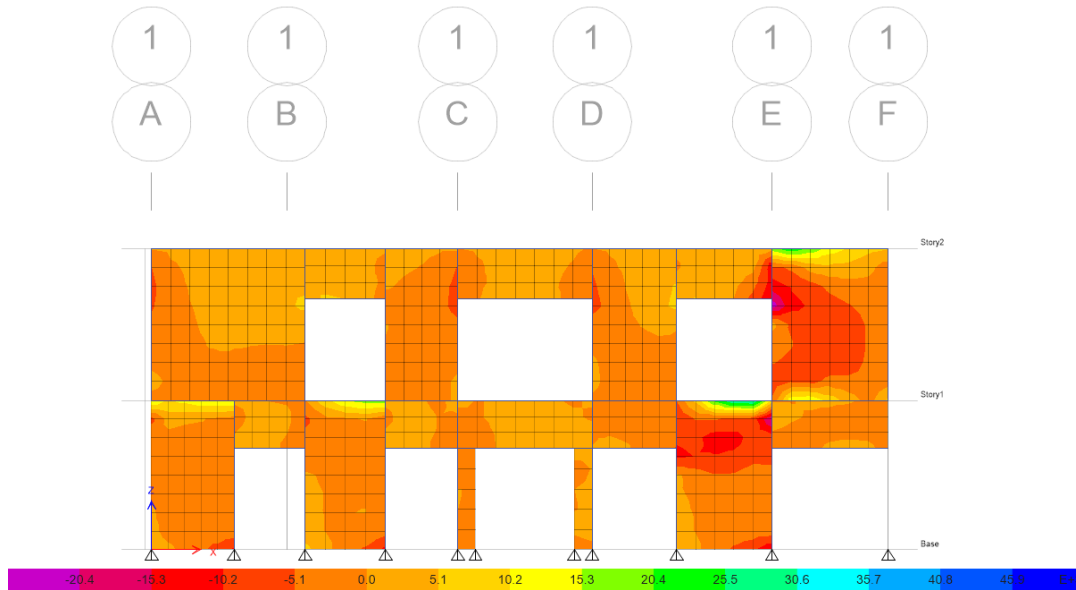
Esfuerzos en Muros Reforzados			
Muro	Combinación de Carga	S11	S22
Etiqueta		kg/m²	kg/m²
X1	CombRehab_1.1D + 0.275L + 1S.Dx	18319.9	35403.13
X2	CombRehab_1.1D + 0.275L - 1Sx	-12054.72	-79971.83
X3	CombRehab_1.1D + 0.275L + 1S.Dx	-58805.91	-224575.16
X5	CombRehab_1.1D + 0.275L - 1Sy	-54392.43	-35513.14
X8	CombRehab_1.1D + 0.275L - 1Sx	36060.11	-9580.11
X10	CombRehab_1.1D + 0.275L - 1Sy	-23110.85	-177467.42
X17	CombRehab_1.1D + 0.275L + 1S.Dx	-27603.6	-187147.91
X19	CombRehab_1.1D + 0.275L - 1Sy	58986.61	77507.77
X21	CombRehab_1.1D + 0.275L + 1Sy	41579.66	-11179.66
Y5	CombRehab_1.1D + 0.275L + 1Sx	-22148.65	-163842.76
Y10	CombRehab_1.1D + 0.275L + 1Sy	-15326.08	-100296.35

Fuente: Autores.

Se puede observar en las siguientes figuras como la concentración de esfuerzos va disminuyendo.

Figura 40.

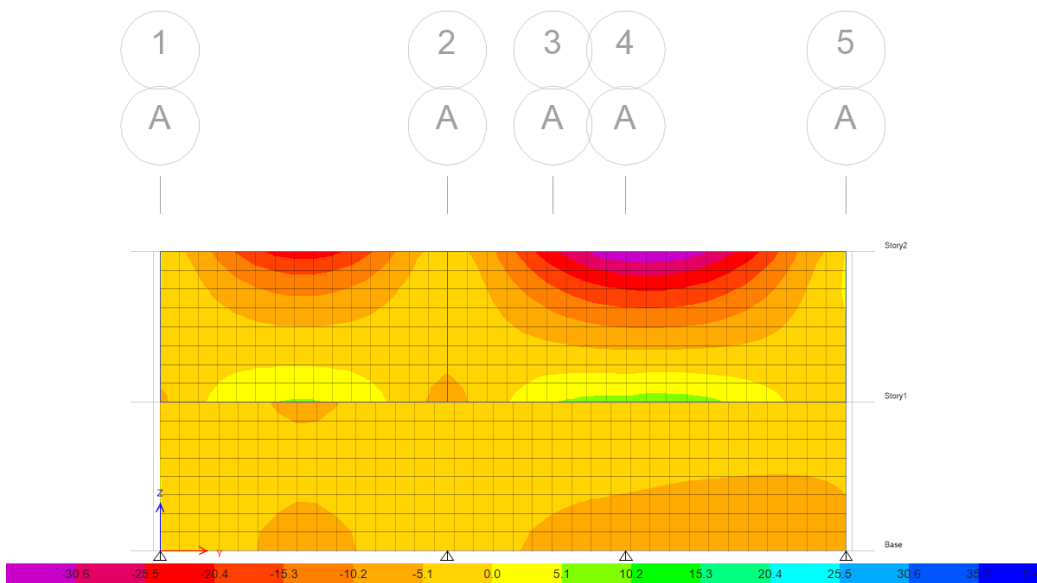
Esfuerzo S11 (kg/m²) en estado reforzado, con la combinación 1.1D + 0.275L + 1Sx.



Fuente: Autores.

Figura 41.

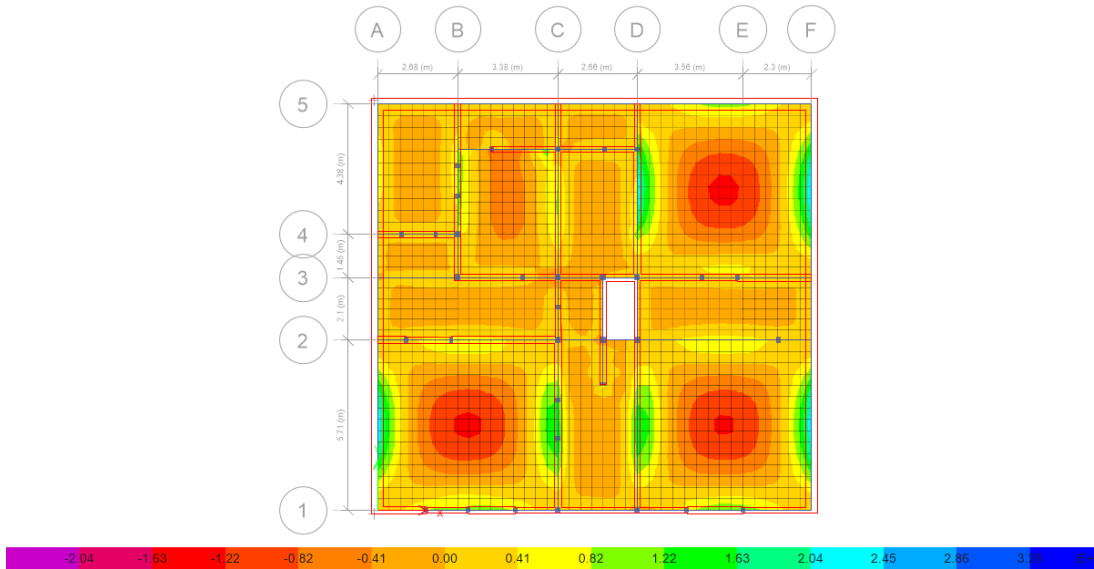
Esfuerzo S22 (kg/m²) en estado reforzado, con la combinación 1.1D + 0.275L + 1Sx.



Fuente: Autores.

Figura 42.

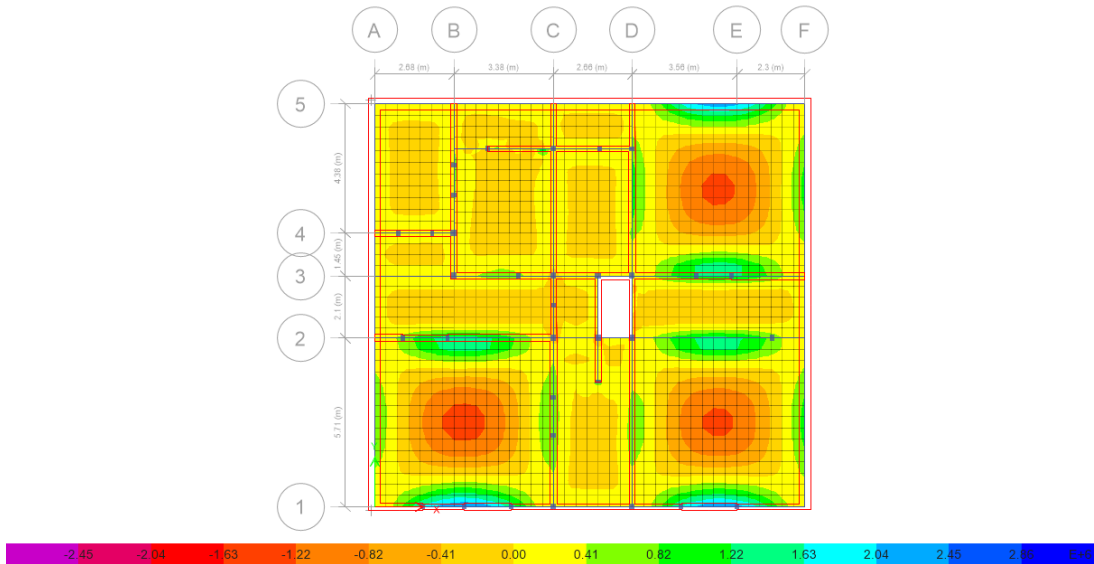
Esfuerzo S_{11} (kg/m^2) – Entrepiso, estado reforzado, con la combinación $1.1D + 0.275L + 1Sx$.



Fuente: Autores.

Figura 43.

Esfuerzo S_{22} (kg/m^2) – Entrepiso, estado reforzado, con la combinación $1.1D + 0.275L + 1Sx$.



Fuente: Autores.

6.10.6. Participación modal

Tabla 47.

Participación modal en los ejes principales.

Dirección	Estático	Dinámico
	%	%
UX	94.88	80.61
UY	98.76	87.71

Fuente: Autores.

6.10.7. Control de derivas en estado reforzado

Tabla 48.

Control de deriva por nivel en el sentido x.

Nivel	Combinación	Dirección	Desplazamiento	Factor	Deriva Max	Verificación
			Δ_E	R	Δ_E	
1	EnvolventeX	X	0.002421	3	0.005	Cumple
2	EnvolventeX	X	0.004028	3	0.009	Cumple

Fuente: Autores.

Tabla 49.

Control de deriva por nivel en el sentido y.

Nivel	Combinación	Dirección	Desplazamiento	Factor	Deriva Max	Verificación
			Δ_E	R	Δ_E	
1	EnvolventeY	Y	0.002202	3	0.005	Cumple
2	EnvolventeY	Y	0.003906	3	0.010	Cumple

Fuente: Autores.

6.11. Chequeo de muros

Para verificar si el reforzamiento aplicado en los muros, se ejecutó el chequeo de esfuerzos en muros críticos, con la siguiente ecuación unitaria.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1 \quad (36)$$

6.11.1. Muro X21.

Tabla 50.

Chequeo de la ecuación unitaria del muro X21.

	0,9503		≤	1	OK
fa:	0.0912	[N/mm ²]	Fa:	0,18977053	[N/mm ²]
fb:	0.119	[N/mm ²]	Fb:	0,25333333	[N/mm ²]

Fuente: Autores.

6.11.2. Muro X2

Tabla 51.

Chequeo de la ecuación unitaria del muro X2.

	0,94994		≤	1	OK
fa:	0.0912	[N/mm ²]	Fa:	0,18991852	[N/mm ²]
fb:	0.119	[N/mm ²]	Fb:	0,25333333	[N/mm ²]

Fuente: Autores.

6.11.3. Muro X3

Tabla 52.

Chequeo de la ecuación unitaria del muro X3.

	0,94996		≤	1	OK
fa:	0.0912	[N/mm ²]	Fa:	0,18991088	[N/mm ²]
fb:	0.119	[N/mm ²]	Fb:	0,25333333	[N/mm ²]

Fuente: Autores.

6.11.4. Muro X5.

Tabla 53.

Chequeo de la ecuación unitaria del muro X5.

	0,9501		≤	1	OK
fa:	0.0912	[N/mm ²]	Fa:	0,18984352	[N/mm ²]
fb:	0.119	[N/mm ²]	Fb:	0,25333333	[N/mm ²]

Fuente: Autores.

6.11.5. Muro Y10

Tabla 54.

Chequeo de la ecuación unitaria del muro Y10.

	0,9502		≤	1	OK
fa:	0.0912	[N/mm ²]	Fa:	0,18980241	[N/mm ²]
fb:	0.119	[N/mm ²]	Fb:	0,25333333	[N/mm ²]

Fuente: Autores.

6.11.6. Muro X10.

Tabla 55.

Chequeo de la ecuación unitaria del muro X10.

	0,95		\leq	1	OK
fa:	0.0912	[N/mm ²]	Fa:	0,18989214	[N/mm ²]
fb:	0.119	[N/mm ²]	Fb:	0,25333333	[N/mm ²]

Fuente: Autores.

6.11.7. Muro X19.

Tabla 56.

Chequeo de la ecuación unitaria del muro X19.

	0,9501		\leq	1	OK
fa:	0.0912	[N/mm ²]	Fa:	0,18984143	[N/mm ²]
fb:	0.119	[N/mm ²]	Fb:	0,25333333	[N/mm ²]

Fuente: Autores.

6.11.8. Muro Y5

Tabla 57.

Chequeo de la ecuación unitaria del muro Y5.

	0,9501		\leq	1	OK
fa:	0.0912	[N/mm ²]	Fa:	0,18984143	[N/mm ²]
fb:	0.119	[N/mm ²]	Fb:	0,25333333	[N/mm ²]

Fuente: Autores.

6.11.9. Muro X1

Tabla 58.

Chequeo de la ecuación unitaria del muro X21.

	0,94995		\leq	1	OK
fa:	0.0912	[N/mm ²]	Fa:	0,18991747	[N/mm ²]
fb:	0.119	[N/mm ²]	Fb:	0,25333333	[N/mm ²]

Fuente: Autores.

6.11.10.Muro X8

Tabla 59.

Chequeo de la ecuación unitaria del muro X8.

	0,9499		\leq	1	OK
fa:	0.0912	[N/mm ²]	Fa:	0,18992717	[N/mm ²]
fb:	0.119	[N/mm ²]	Fb:	0,25333333	[N/mm ²]

Fuente: Autores.

6.11.11.Muro X17

Tabla 60.

Chequeo de la ecuación unitaria del muro X17.

	0,95		\leq	1	OK
fa:	0.0912	[N/mm ²]	Fa:	0,18989619	[N/mm ²]
fb:	0.119	[N/mm ²]	Fb:	0,25333333	[N/mm ²]

Fuente: Autores.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Al momento de seleccionar el lugar de estudio, se tuvieron en cuenta las posibles dificultades que se podían encontrar, tales como permisos del propietario para la inspección de la estructura, accesibilidad a ciertas áreas del inmueble, presencia de mobiliario, elección de un horario apropiado para la toma de datos, así como también la presencia de los demás ocupantes del inmueble. Todos estos obstáculos se lograron superar gracias al compromiso demostrado al propietario, quien facilitó un horario para proceder con los estudios necesarios.
- Las condiciones de la estructura se determinaron en base a ensayos de laboratorio realizados cerca del lugar de estudio, los cuales nos brindaron las características mecánicas de los principales materiales de la edificación, como es el caso del adobe. Estas propiedades influyen en el comportamiento del sistema estructural ante cargas dinámicas. Con estos datos se pudo demostrar que la capacidad mecánica de los muros de adobe es baja en su estado inicial.
- Para la selección de la técnica de reforzamiento, se tuvieron en cuenta los datos obtenidos de la inspección inicial, cuyo resultado indicó que los muros de la estructura estaban en mal estado. Por ello, se optó por un reforzamiento que se centrara directamente en el problema, como es el caso de las mallas electrosoldadas, siendo este además un método menos invasivo para la estructura.

7.2. Recomendaciones

- A pesar de que los ensayos hayan sido realizados con muestras de alrededor de la zona de estudio, se recomienda obtener muestras específicas de la edificación a reforzar. Esto se debe a que cada edificación tuvo diferentes condiciones de construcción y, al no haber aplicado una normativa uniforme, las características de los materiales utilizados varían entre cada edificación patrimonial.

- Se recomienda realizar un tratamiento y mantenimiento de los elementos de madera ubicados en el entrepiso y cubierta para que se garantice su conservación.
- Se recomienda dar un recubrimiento de pintura sintética, ya que el reforzamiento al estar en contacto con el adobe puede presentar un riesgo de corrosión.
- Se recomienda identificar los principales defectos que puede llegar a tener la estructura para que no dificulten su técnica de reforzamiento.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achig, M. C., Zúñiga, M., Van Balen, K. y Abad, L. (2013). *Sistema de registro de daños para determinar el estado constructivo en muros de adobe*. MASKANA, 4(2), 71–84. <https://doi.org/10.18537/mskn.04.02.06>.
- Aguilar Alberca, E. D. y Quezada Zambrano, R. A. (2017). Caracterización física y mecánica del adobe en el cantón Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28143>.
- Avilés Tapia, J. F. y Barzallo Urgilés, B. I. (2016). *Caracterización de suelos del centro histórico de la ciudad de Cuenca mediante métodos geofísicos*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/24201>.
- Centre, U. W. H. (2023). *Historic Centre of Santa Ana de los Rios de Cuenca*. <https://whc.unesco.org/en/list/863/>.
- Chacón Sánchez, J. P., Suquillo Ronquillo, B. J., Sosa Caiza, D. A. y Celi Sánchez, C. A. (2021). *Evaluación y Reforzamiento de una Estructura Patrimonial de Adobe con Irregularidad en Planta*. Revista Politécnica, 47(1), 43–56. <https://doi.org/10.33333/rp.vol47n1.05>.
- CSI España. (2024). *Características y Funcionalidades ETABS*. <http://www.csiespana.com/software-features/5/etabs>.
- UNESCO. (2005). *Convention for the Safeguarding of the Intangible Cultural Heritage*. International Journal of Cultural Property, 12(4), 447–458. <https://doi.org/10.1017/S0940739105050277>.
- Delgado Caizaguano, E. L. (2019). Técnicas de reforzamiento estructural en la rehabilitación de edificaciones patrimoniales. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51022/6149>.
- Dominguez Santos, D. y Alberto Moya Bravo, J. (2022). *Structural and mechanical performance of adobe with the addition of high-density polyethylene fibres for the construction of low-rise buildings*. Engineering Failure Analysis, 139, 106461. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106461>.

- Ministerio Vivienda. (2017). *Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada*.
https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=109376.
- Espinosa, P., Proaño, D. y Barrera, L. (2018). *Catálogo de madera Estructural de Ecuador*.
<https://www.researchgate.net/publication/361899534>.
- Espinoza, E. (2018). *Diagnóstico del estado actual de bienes inmuebles antiguos y privados desde 1950 hasta 2017 en la ciudad de Riobamba*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5039>
- Fernández, J. (2015). *Reforzamiento vivienda Adobe Ibarra Ecuador*.
<https://www.ceresis.org/proyecto-adobe/aplicaciones/Reforzamiento-vivienda-Adobe-Ibarra-Ecuador.pdf>.
- Fritz, A. y Ubilla, M. (2012). *Manual de diseño Construcción montaje y aplicación de envoltentes para la vivienda de madera*. Informes de la Construcción, 208.
- Gómez, L. I. C., Rubio, M. A. C. y Moya, C. A. A. (2021). *Evaluación estructural y propuesta de rehabilitación, para el edificio de estructura metálica correspondiente a la notaria 49, ubicada en la parroquia el Quinche calle Guayaquil y sucre, cantón Quito, provincia Pichincha, en el año 2021*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22179>.
- Juárez, L. A., Caballero, T. y 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 maderas del Grupo Andino*.
https://drive.google.com/file/d/1JVZYsuN4BQ-SdYOp0ba_yb-aGLzwrHdW/view?usp=sharing&usp=embed_facebook.
- Ledesma, N. (2022). *Fundamentos teóricos prácticos de las propiedades físicas y mecánicas de la madera*. <https://fcf.unse.edu.ar/wp-content/uploads/2014/07/sd-47-prop-fisicas-y-mecanicas-madera-HUMBLANDT.pdf>.

- Manzano, S. (2016). *La cubierta de la arquitectura tradicional lecciones de sostenibilidad*.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/94551/MANZANO%20-%20CPA-F0072%20La%20cubierta%20de%20la%20arquitectura%20tradicional%3A%20lecciones%20de%20sostenibilidad.pdf?sequence=1>.
- Masonry Standards Joint Committee, American Concrete Institute, Structural Engineering Institute. y Masonry Society. (2013). *Building code requirements and specification for masonry structures: Containing Building code requirements for masonry structures (TMS 402-13/ACI 530-13 /ASCE 5-13), Specification for masonry structures (TMS 602-13/ ACI 530.1-13/ ASCE 6-13) and companion commentaries*. Masonry Society ; American Concrete Institute; Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers.
- Mondragón Lourenco, F. (2012). *Criterios para el refuerzo antisísmico de estructuras históricas*. 87.
<https://www.redalyc.org/pdf/618/61825179003.pdf>.
- Morocho Enríquez, D. E. (2014). *Reforzamiento estructural para forjados de madera en edificaciones patrimoniales y contemporáneas*.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20241>.
- Moscoso Cordero, M. S. (2019). *El adobe, sus características y el confort térmico*.
<https://www.eumed.net/libros-gratis/actas/2016/filosofia/El-adobe-Moscoso.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). *Normativa Ecuatoriana de Construcción Estructuras Madera*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/11.-NEC-SE-MD-Estructuras-Madera.pdf>.
- Quinto, D. (2017). *Gánale el Juego a los Elementos Finitos (I)*.
<https://es.linkedin.com/pulse/g%C3%A1nale-el-juego-los-elementos-finitos-i-e-derek-a-quinto-c->.

- Rivera Salcedo, H., Valderrama Andrade, O., Daza Barrera, A. y Plazas Jaimes, G. (2020). *Adobe como saber ancestral usado en construcciones autóctonas de Pore y Nunchía Casanare Colombia. Revista de Arquitectura*. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2021.2762>.
- Rivero, C. (2010). *Asociación colombiana de ingeniería sísmica presidencia de la república red de solidaridad social manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada*. https://www.academia.edu/14730477/ASOCIACION_COLOMBIANA_DE_INGENIERIA_SISMICA PRESIDENCIA_DE_LA_REP%C3%9ABLICA_RED_DE_SOLIDARIDAD_SOCIAL_MANUAL_PARA_LA_REHABILITACI%C3%93N_DE_VIVIENDAS_CONSTRUIDAS_EN_ADOBE_Y_TAPIA_PISADA.
- Rodríguez-Mariscal, J. D. y Solís, M. (2020). *Hacia una metodología para la caracterización experimental del comportamiento a compresión de la mampostería de adobe. Informes de la Construcción*, 72(557), 332. <https://doi.org/10.3989/ic.67456>.
- Ruiz Valencia, D. M., Galindo Jaramillo, P. R., Hernández Niño, A. L., Reytez Ortiz, J. C., Restrepo Palacio, M., Barrera Ospina, N., Martínez Murcia, J. G. y López Pérez, C. T. (2023). *Reforzamiento estructural de edificaciones patrimoniales en tierra de 1 y 2 pisos: Aplicación de la normativa AIS-610-EP-2017*. *Informes de la Construcción*, 75(569), e488. <https://doi.org/10.3989/ic.90103>.
- EFE News. (2016). *Sismo de magnitud 6 en provincia de Ecuador, epicentro de terremoto en 2016: Ecuador Sismo*. <https://www.proquest.com/wire-feeds/sismo-de-magnitud-6-en-provincia-ecuador/docview/1971215351/se-2>.
- Torres Gilles, C. y 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>.
- Villalobos, A. (2011). *Un análisis patrimonial de las tipologías de cubiertas en los edificios históricos*.

https://www.academia.edu/33694594/Un_an%C3%A1lisis_patrimonial_de_las_tipolog%C3%ADas_de_cubiertas_en_los_edificios_hist%C3%B3ricos.

9. ANEXOS

9.1. Resumen de los resultados de las áreas y pesos de muros.

TABLA DE RESULTADOS DE ÁREAS Y PESOS DE MUROS DE PRIMER Y SEGUNDO PISO						
PRIMER PISO			SEGUNDO PISO			
ÁREA MUROS EXTERNOS 40cm			ÁREA MUROS EXTERNOS 40CM			
TOTAL ÁREA	126,74	m2	TOTAL ÁREA	124,74	m2	
ÁREA MUROS INTERNOS 20cm			ÁREA MUROS INTERNOS 20cm			
TOTAL ÁREA	128,15	m2	TOTAL ÁREA	85,31	m2	
PRIMER PISO			SEGUNDO PISO			
PESO(Kg) MUROS EXTERNOS 40cm			PESO(Kg) MUROS EXTERNOS 20cm			
PESO TOTAL	78628,38999	Kg	PESO TOTAL	43273,7568	Kg	
PESO(Kg) MUROS INTERNOS 20cm			PESO(Kg) MUROS INTERNOS 20cm			
PESO TOTAL	44456,72546	Kg	PESO TOTAL	29593,2966	Kg	
PESO TOTAL DE MUROS PRIMER Y SEGUNDO PISO					195952,169	Kg

9.2. Resumen de los resultados de los pesos de las columnas.

PRIMER PISO							
DIMENSIONES COLUMNAS							
0,2X0,2X2,75m							
					Nº COLUMNAS	Volumen	
a	20	cm	0,2	m	12	0,11	m3
L	20	cm	0,2	m			
h	275	cm	2,75	m			
TOTAL						1,32	
DIMENSIONES COLUMNAS							
0,2X0,15X2,75m							
					Nº COLUMNAS	Volumen	
a	20	cm	0,2	m	19	0,0825	m3
L	15	cm	0,15	m			
h	275	cm	2,75	m			
TOTAL						1,5675	
TOTAL PRIMER PISO						2,8875	m3
SEGUNDO PISO							
DIMENSIONES COLUMNAS							
0,2X0,2X2,75m							
					Nº COLUMNAS	Volumen	
a	20	cm	0,2	m	12	0,11	m3
L	20	cm	0,2	m			
h	275	cm	2,75	m			
TOTAL						1,32	
DIMENSIONES COLUMNAS							
0,2X0,15X2,75m							
					Nº COLUMNAS	Volumen	
a	20	cm	0,2	m	12	0,0825	m3
L	15	cm	0,15	m			
h	275	cm	2,75	m			
TOTAL						0,99	
TOTAL SEGUNDO PISO						2,31	m3
DATOS							
PESO ESPECÍFICO DE ADOBE				1631,55 Kg/m3			
PESO COLUMNAS PRIMER PISO				PESO COLUMNAS SEGUNDO PISO			
W	4711,1006	Kg		W	3768,8805	Kg	
PESO TOTAL				8479,9811 Kg			

9.3. Resumen de los resultados de los pesos del entrepiso.

DATOS			
VIGA SOLERA			
PESO VIGA SOLERA	254,472 Kg	PESO VIGA SOLERA	271,768 Kg
DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³	DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³
PESO VIGA SOLERA	110,952 Kg	PESO VIGA SOLERA	47,472 Kg
DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³	DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³
PESO VIGA SOLERA	65,136 Kg		
DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³		
VIGA CUMBRERA			
PESO VIGA CUMBRERA	63,618 Kg	PESO VIGA CUMBRERA	27,738 Kg
DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³	DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³
PESO VIGA CUMBRERA	27,186 Kg		
DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³		
ENTABLADO			
PESO TABLA	4,096 Kg	PESO TABLA	3,065 Kg
DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³	DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³
PESO TABLA	3,168 Kg	PESO TABLA	7,161 Kg
DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³	DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³
PESO TABLA	7,419 Kg	PESO TABLA	1,224 Kg
DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³	DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³
PESO TABLA	1,687 Kg		
DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³		

TABLA RESULTADOS		
PESO VIGA SOLERA 0,2X0,2X13,83m		
W=	1017,888	Kg
PESO VIGA SOLERA 0,2X0,2X13,83m		
W=	1087,072	Kg
PESO VIGA SOLERA 0,2X0,2X6,03m		
W=	221,904	Kg
PESO VIGA SOLERA 0,2X0,2X2,58m		
W=	47,472	Kg
PESO VIGA SOLERA 0,2X0,2X3,54m		
W=	65,136	Kg
PESO VIGA CUMBRERA 0,1X0,15X13,83m		
W=	1081,506	Kg
PESO VIGA CUMBRERA 0,1X0,15X6,03m		
W=	27,738	Kg
PESO VIGA CUMBRERA 0,1X0,15X5,91m		
W=	27,186	Kg
PESO TABLA 0,2X0,014X3,18m		
W=	98,30016	Kg
PESO TABLA 0,2X0,014X2,38m		
W=	79,70144	Kg
PESO TABLA 0,2X0,014X2,46m		
W=	139,41312	Kg
PESO TABLA 0,2X0,014X5,56m		
W=	436,83808	Kg
PESO TABLA 0,2X0,014X5,76m		
W=	200,30976	Kg
PESO TABLA 0,2X0,014X0,95m		
W=	8,5652	Kg
PESO TABLA 0,2X0,014X1,31m		
W=	25,3092	Kg
TOTAL	4564,33896	Kg

9.4. Resumen de los resultados de los pesos de la cubierta.

DATOS			
VIGA SOLERA			
PESO VIGA SOLERA	64,538 Kg	PESO VIGA SOLERA	65,182 Kg
DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³	DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³
VIGA CUMBRERA			
PESO VIGA CUMBRERA	103,707 Kg	PESO VIGA CUMBRERA	103,293 Kg
DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³	DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³
PESO VIGA CUMBRERA	52,854 Kg	PESO VIGA CUMBRERA	8,901 Kg
DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³	DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³
PESO VIGA CUMBRERA	7,935 Kg	PESO VIGA CUMBRERA	5,865 Kg
DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³	DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³
PESO VIGA CUMBRERA	3,795 Kg	PESO VIGA CUMBRERA	13,869 Kg
DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³	DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³
PESO VIGA CUMBRERA	11,316 Kg	PESO VIGA CUMBRERA	11,247 Kg
DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³	DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³
CORREA			
PESO CORREA	13,7724 Kg	PESO CORREA	7,0472 Kg
DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³	DENSIDA MADERA EUCALIPTO	460 Kg/m ³
TEJAS DE BARRO			
PESO TEJA DE BARRO	2,0361744 Kg		
DENSIDAD DE BARRO	1631,55 Kg/m ³		

TABLA RESULTADOS	
PESO VIGA SOLERA 0,1X0,1X14,03m	
W=	258,152 Kg
PESO VIGA SOLERA 0,1X0,1X14,17m	
W=	260,728 Kg
PESO VIGA CUMBRERA 0,1X0,15X15,03m	
W=	2177,847 Kg
PESO VIGA CUMBRERA 0,1X0,15X14,97m	
W=	413,172 Kg
PESO VIGA CUMBRERA 0,1X0,15X7,66m	
W=	2219,868 Kg
PESO VIGA CUMBRERA 0,1X0,15X1,29m	
W=	186,921 Kg
PESO VIGA CUMBRERA 0,1X0,15X1,15m	
W=	333,27 Kg
PESO VIGA CUMBRERA 0,1X0,15X0,85m	
W=	246,33 Kg
PESO VIGA CUMBRERA 0,1X0,15X0,55m	
W=	159,39 Kg
PESO VIGA CUMBRERA 0,1X0,15X2,01m	
W=	582,498 Kg
PESO VIGA CUMBRERA 0,1X0,15X1,64m	
W=	475,272 Kg
PESO VIGA CUMBRERA 0,1X0,15X1,63m	
W=	472,374 Kg
PESO CORREA 0,05X0,04X14,97m	
W=	550,896 Kg
PESO CORREA 0,05X0,04X7,66m	
W=	789,2864 Kg
PESO TEJAS DE BARRO	
W=	6642,72373 Kg