

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil

TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO DEL PROYECTO:

**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE TRES PROPIEDADES MECÁNICAS DEL
ADOBE EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES
PATRIMONIALES”**

Autor:

Jhonnatan Alexander Sanchez Urgiles

Tutor:

Ing. Diego Hidalgo, MSc.

Riobamba – Ecuador

Año 2021.

REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de Investigación de título: “ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE TRES PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ADOBE EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES PATRIMONIALES” presentado por **Sanchez Urgiles Jhonnatan Alexander** dirigido por: Ing. Diego Hidalgo. Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final Proyecto de investigación con fines de graduación escrito en el cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Diego Hidalgo, M. Sc.

Director del Proyecto

DIEGO HERNAN HIDALGO
ROBALINO

Fecha:
2021.06.21
12:30:27 -05'00'

.....

Firma

Ing. Oscar Cevallos, PhD.

Miembro del Tribunal

.....

Firma

Ing. Javier Palacios, M. Sc.

Miembro del Tribunal

.....

Firma

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Ing. Diego Hernán Hidalgo Robalino, M. Sc**; en calidad de tutor de Tesis, cuyo tema es: “ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE TRES PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ADOBE EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES PATRIMONIALES”, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo al señor **Sanchez Urgiles Jhonnatan Alexander**, para que se presente ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de la Tesis.

Atentamente.

DIEGO HERNAN
HIDALGO
ROBALINO

Fecha: 2021.06.21
12:30:51 -05'00'

.....
Ing. Diego Hidalgo, MSc.

TUTOR DE TESIS

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación corresponde exclusivamente a: Sanchez Urgiles Jhonnatan Alexander e Ing. Diego Hidalgo, M. Sc; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



.....

Sr. Sanchez Urgiles Jhonnatan Alexander.

C.C. 0603573916

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por brindarme salud, vida, inteligencia y perseverancia para cumplir con esta gran meta.

A mis padres y hermanos por brindarme su apoyo incondicional, por estar conmigo en las buenas y las malas y por ser el pilar fundamental para poder cumplir este sueño.

Un profundo agradecimiento al Ing. Diego Hidalgo por guiarme y brindarme sus conocimientos para el desarrollo de la presente investigación.

A los docentes de la UNACH por contribuir en mi formación académica y llenarme de conocimientos a lo largo de estos 5 años.

Mi más sincero agradecimiento a Raizza Anilema por aconsejarme, darme su apoyo incondicional, por guiarme y motivarme a ser cada día mejor, por brindarme sus conocimientos y creer siempre en mí.

Finalmente, un agradecimiento a todos mis amigos que han estado siempre dispuestos a brindarme su ayuda, aconsejarme y motivarme a salir adelante.

Jhonnatan Alexander Sanchez Urgiles

DEDICATORIA

A mis padres Anita Urgiles y José Sanchez quienes me han alentado siempre a seguir adelante, por ayudarme en los momentos que más he necesitado, por llenarme de amor y enseñanzas día a día y no dejar de confiar en mí.

Para mi abuelita Zulema Arteaga que desde el cielo me ha iluminado y cuidado siempre.

A mi abuelita, hermanos y tíos que han estado presentes en todos momentos para brindarme su apoyo incondicional.

Jhonnatan Alexander Sanchez Urgiles

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT	XII
I.- Introducción	1
II.- Objetivos.....	2
II.I.- Objetivo General.....	2
II.II.- Objetivos Específicos.	2
CAPITULO I.....	3
1 Fundamentación Teórica	3
1.1 Patrimonio Cultural	3
1.1 Edificaciones Patrimoniales.....	4
1.2 Tipología estructural de edificaciones patrimoniales.....	4
1.2.1 Elementos de una edificación patrimonial	5
1.3 El Adobe	9
1.3.1 Propiedades del Adobe	9
1.4 Vulnerabilidad sísmica en viviendas de adobe	14
1.5 Tipos de Falla en edificaciones de adobe	14
1.5.1 Falla por Flexión con Agrietamiento Horizontal	15
1.5.2 Falla por Flexión con Agrietamiento Vertical.....	15
1.5.3 Falla por Flexión en las Esquinas	16
1.5.4 Falla por Cortante.....	16
1.5.5 Falla por Caída de la Cubierta.....	17
1.5.6 Falla en Muros por Mala Conexión.....	17
CAPITULO II.....	19
2 Metodología.....	19
2.1 Método General.....	20
2.2 Método Específico.....	20

2.3	Técnicas e Instrumentos de Investigación.....	20
2.3.1	Muestreo no probabilístico por conveniencia.....	20
2.3.2	Levantamiento de Información.....	21
2.3.3	Levantamiento Topográfico y Planimétrico.....	21
2.4	Modelación Estructural.....	22
2.4.1	Propiedades del Adobe.....	22
2.4.2	Propiedades de la Madera.....	23
2.4.3	Cuantificación de Cargas.....	24
CAPITULO III.....		28
3	Resultados y Discusión.....	28
3.1	Resultados.....	28
3.1.1	Caso de estudio 1: Vivienda Patrimonial regular.....	28
3.1.2	Caso de estudio 2: Vivienda Patrimonial semirregular.....	29
3.1.3	Caso de estudio 3: Vivienda Patrimonial irregular.....	31
3.1.4	Levantamiento Topográfico y Planimétrico.....	33
3.1.5	Cuantificación de Cargas.....	39
3.1.6	Resultados de la modelación.....	41
3.2	Discusión.....	62
3.2.1	Módulo de elasticidad vs periodo fundamental.....	62
3.2.2	Módulo de Elasticidad vs Derivas de piso.....	63
3.2.3	Módulo de Corte vs Periodo Fundamental y Derivas de Piso.....	63
CAPITULO IV.....		64
4	Conclusiones y Recomendaciones.....	64
4.1	Conclusiones.....	64
4.2	Recomendaciones.....	67
5	Bibliografía.....	68
6	Anexos.....	70
6.1	Anexo 1: Levantamiento de información.....	70
6.2	Anexo 2: Modelaciones estructurales Software ETABS.....	73
6.3	Anexo 3: Planos arquitectónicos de las viviendas patrimoniales.....	75

6.4	Anexo 4: Levantamiento topográfico y de información vivienda regular.....	81
6.5	Anexo 5: Levantamiento topográfico y de información vivienda semirregular.....	83
6.6	Anexo 6: Levantamiento topográfico y de información vivienda irregular.	85
6.7	Anexo 7: Fallas en la vivienda semirregular	87
6.8	Anexo 8: Fallas en la vivienda irregular	88

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Propiedades mecánicas del adobe.....	11
Tabla 2. Resistencia a la compresión ($F'm$) de muestras de adobe de la ciudad de Cuenca.	12
Tabla 3. Módulo de Elasticidad (E_m) de muestras de adobe de la ciudad de Cuenca.....	13
Tabla 4. Propiedades Físicas del Adobe	22
Tabla 5. Propiedades del Eucalipto.....	23
Tabla 6. Datos para el espectro de diseño.....	25
Tabla 7. Periodo inicial de las estructuras	26
Tabla 8. Cálculo del factor de sismo estático.	27
Tabla 9. Secciones utilizadas para la modelación.....	29
Tabla 10. Secciones utilizadas para la modelación.....	31
Tabla 11. Secciones utilizadas para la modelación.....	32
Tabla 12. Cálculo de carga muerta	39
Tabla 13. Cálculo de cargas vivas de la cubierta	40
Tabla 14. Cálculo de carga muerta para la cubierta.....	40
Tabla 15. Cálculo de carga muerta para la cubierta.....	44
Tabla 16. Módulos de Elasticidad de diferentes ciudades de Ecuador	48
Tabla 17. Modos de vibración de la estructura.....	49
Tabla 18. Modos de vibración de la estructura.....	50
Tabla 19. Módulos de elasticidad para una deriva del 1%	55
Tabla 20. Resultados de modos de vibración.....	57
Tabla 21. Derivas de piso.....	57
Tabla 22. Resultados de modos de vibración.....	58
Tabla 23. Derivas de piso.....	58
Tabla 24. Resultados de modos de vibración.....	59
Tabla 25. Derivas de piso.....	59
Tabla 26. Datos de periodo en función del módulo de corte	60
Tabla 27. Datos del módulo de corte vs derivas inelásticas	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de cimentación	5
Figura 2. Muros de adobe	6
Figura 3. Sistema de entepiso	7
Figura 4. Elementos de una cubierta	8
Figura 5. Falla por flexión con agrietamiento horizontal	15
Figura 6. Falla por flexión con agrietamiento vertical	16
Figura 7. Falla por flexión en las Esquinas.....	16
Figura 8. Falla por cortante.....	17
Figura 9. Falla por caída de la cubierta	17
Figura 10. Falla por caída de la cubierta	18
Figura 11. Esquema metodológico.....	19
Figura 12. Espectro de diseño.....	25
Figura 13. Vivienda Patrimonial regular	28
Figura 14. Vivienda Patrimonial semirregular.....	30
Figura 15. Vivienda Patrimonial irregular.....	32
Figura 16. Detalles planta baja N+0,20 m vivienda regular	33
Figura 17. Detalles planta Alta N+3,80 m vivienda regular	34
Figura 18. Detalles de cubierta N+ 7,30 m vivienda regular	34
Figura 19. Detalles planta baja N+0,15 m vivienda semirregular.....	35
Figura 20. Detalles planta Alta N+3,50 m vivienda semirregular	35
Figura 21. Detalles de cubierta N+ 6,50 m vivienda semirregular	36
Figura 22. Detalles planta baja N+0,20 m vivienda irregular.....	37
Figura 23. Detalles planta Alta N+3,85 m vivienda semirregular	38
Figura 24. Detalles de cubierta N+ 6,70 m vivienda semirregular	39
Figura 25: Modelo inicial de la vivienda patrimonial regular	41
Figura 26. Modelo inicial de la vivienda patrimonial semirregular	42
Figura 27. Modelo inicial de la vivienda patrimonial irregular	43
Figura 28. Módulo de elasticidad vs periodo fundamental de la vivienda regular	45
Figura 29. Módulo de elasticidad vs periodo fundamental de la vivienda semirregular	45
Figura 30. Módulo de elasticidad vs periodo fundamental de la vivienda irregular	46
Figura 31. Módulo de elasticidad vs Periodo.....	47
Figura 32. Comparación de los módulos de elasticidad	48
Figura 33. Módulo de elasticidad vs Deriva X vivienda regular	51
Figura 34. Módulo de elasticidad vs Deriva Y vivienda regular	51
Figura 35. Módulo de elasticidad vs Deriva X vivienda semirregular.....	52
Figura 36. Módulo de elasticidad vs Deriva Y vivienda semirregular.....	52
Figura 37. Módulo de elasticidad vs Deriva X vivienda irregular	52
Figura 38. Módulo de elasticidad vs Deriva Y vivienda irregular	53
Figura 39. Módulo de elasticidad vs Deriva X	54
Figura 40. Módulo de elasticidad vs Deriva Y	54
Figura 41. Modelación con módulos de elasticidad corregidos.....	56
Figura 42. Modelación con módulos de elasticidad corregidos.....	57
Figura 43. Modelación con módulos de elasticidad corregidos.....	58
Figura 44. Módulo de corte vs Periodo	60
Figura 45. Módulo de Corte vs Derivas máximas en X	61
Figura 46. Módulo de Corte vs Derivas máximas en Y	62

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo analizar la influencia de la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y módulo de corte del adobe en el comportamiento estructural de edificaciones patrimoniales de la ciudad de Riobamba. La investigación realizada es de tipo experimental, de enfoque cuantitativo, con alcance de estudio exploratorio. Presenta el análisis de tres viviendas patrimoniales de la ciudad de Riobamba con diferentes configuraciones en planta a modo de casos de estudios. Como técnica de investigación principal utiliza el muestreo no probabilístico por conveniencia para determinar los casos de estudio, optando por seleccionar tres viviendas patrimoniales con configuración en planta de tipo regular, semirregular e irregular; utilizando como instrumento de investigación el software de diseño estructural ETABS, con el que se realizó la modelación estructural de las viviendas para determinar la influencia de las tres propiedades mecánicas del adobe en el comportamiento estructural. Los resultados del análisis muestran que el módulo de elasticidad del adobe presenta una gran influencia en el periodo fundamental de la estructura y derivas de piso; la configuración en planta de la vivienda patrimonial influye directamente en los modos de vibración y el módulo de corte no presenta una influencia significativa en la estructura.

Palabras clave: Propiedades mecánicas, edificación patrimonial, comportamiento estructural, adobe.

ABSTRACT

The objective of this research work is to analyze the influence of compressive strength, elasticity modulus and shear modulus of the adobe on the structural behavior of heritage buildings in the Riobamba city. The research carried out was experimental, with a quantitative approach, with an exploratory study scope. It presented the analysis of three heritage houses in the Riobamba city with different plant configurations as case studies, choosing to select three heritage houses with different floor configurations. As the main research technique, it used non-probabilistic convenience sampling to determine the case studies, choosing to select three heritage houses with a regular, semi-regular and irregular plant configuration, using the ETABS structural design software as a research instrument, used for the structural modeling of the houses to determine the influence of the three adobe's mechanical properties in structural behavior. The results of the analysis showed that the modulus of elasticity of the adobe has a great influence on the fundamental period of the structure and floor drifts; the plan configuration of the heritage home directly influences the vibration modes, and the shear modulus does not have a significant influence on the structure.

Keywords: mechanical properties, heritage building, structural behavior, adobe.

Reviewed by:
Mgs. Maritza Chávez Aguagallo
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 0602232324

I.- Introducción

La ciudad de Riobamba está ubicada en la zona de mayor riesgo sísmico del Ecuador, la misma fue reasentada a causa de un devastador terremoto en 1797 con epicentro en la villa de Riobamba, “siendo el terremoto de 1797 el de mayor intensidad entre los ocurridos en nuestro territorio” (Egred, 2004, p. 3).

A causa del terremoto en la villa de Riobamba se generó una gran destrucción a tal punto de que para los ciudadanos sobreviviente era imposible reconstruir la ciudad en el mismo sitio debido al colapso total de las construcciones; por lo que tuvieron que migrar y asentar la ciudad en lo que hoy se conoce como San Pedro de Riobamba.

Inicialmente las viviendas fueron realizadas en base a técnicas y materiales propios de la zona, construyéndose así edificaciones de muros portantes de adobe con cimentaciones de piedra, cubiertas de madera y teja, las cuales hoy en día se mantienen y son consideradas como patrimonio cultural del Ecuador. Sin embargo, varias de esas construcciones se han visto afectadas e incluso algunas han colapsado por causas como la ocurrencia de sismos, falta de mantenimiento y reforzamiento, mal uso de los bienes, problemas con las propiedades del adobe, entre otros.

Debido al desconocimiento de las propiedades mecánicas del adobe, se han realizado investigaciones en base a ensayos con la finalidad de obtener datos reales, así es el caso de la tesis realizada en la Universidad de Cuenca, en la cual analizan las propiedades del adobe de varias muestras tomadas de la ciudad, observándose que la resistencia a la compresión, a la flexión, al corte y al módulo de elasticidad del adobe depende mucho del tipo de suelo, granulometría, presencia de fibras naturales y al porcentaje de humedad (Aguilar & Quezada, 2017).

Al ser el adobe el principal material utilizado en la construcción de las estructuras patrimoniales, sus propiedades representan gran importancia, ya que influyen directamente en la resistencia y comportamiento final de la estructura, por lo que lo ideal sería tener una normativa o una guía que permita establecer estas propiedades. Sin embargo, en base a la investigación realizada se comprueba que no existe un código nacional que proporcione dicha información.

Considerando estas observaciones, este trabajo tiene por objeto el analizar la influencia de las propiedades mecánicas del adobe en el comportamiento final de tres edificaciones patrimoniales a través de la modelación estructural.

II.- Objetivos

II.I.- Objetivo General

- Cuantificar la influencia de la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad y el módulo de corte del adobe, en el comportamiento final de las estructuras patrimoniales del siglo XX (1900-1999), mediante el análisis de un caso de estudio de la ciudad de Riobamba.

II.II.- Objetivos Específicos.

- Investigar referencias bibliográficas y estudios previos de las propiedades mecánicas del adobe en rehabilitación estructural de edificaciones patrimoniales del siglo XX (1900 - 1999).
- Definir el caso de estudio que se va a modelar mediante la asistencia del software para análisis estructural.
- Analizar la influencia de la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad y el módulo de corte del adobe, en el comportamiento estructural del caso de estudio.
- Concluir el porcentaje de influencia de los indicadores del adobe en el comportamiento final de la estructura analizada.

CAPITULO I

1 Fundamentación Teórica

1.1 Patrimonio Cultural

La Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, en el Art 1 menciona que “se considerará patrimonio cultural a los grupos de construcciones, aisladas o reunidas, cuya arquitectura, unidad e integración en el paisaje les dé un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte o de la ciencia” (UNESCO, 1972, p. 2).

En Ecuador el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC) es una entidad del sector público que promueve, difunde y gestiona la conservación del patrimonio cultural material e inmaterial de todo el país, por lo cual todos los bienes muebles e inmuebles que están en la base de datos de esta institución fueron declarados patrimonio y están regidos por dicha institución. La misma institución define como bien inmueble a:

...aquellas obras que no pueden ser trasladadas de un lugar a otro sin que pierdan su esencia y que, por sus singulares valores simbólicos, históricos, culturales, características urbanas, tipológicas, estéticas, morfológicas, técnico-constructivas, de integridad y autenticidad permiten interpretar las formas de pensar, de ser y hacer de las sociedades a lo largo del tiempo. Entre estos tenemos: arquitectura civil, religiosa, industrial, funeraria, vernácula, casas de hacienda, parques, plazas, molinos, arquitectura moderna, obras de ingeniería como caminos, vías, puentes entre otros (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, 2019, párr. 1).

Cada uno de los bienes inmuebles han sido registrados e inventariados por el INPC con la finalidad de mantener un monitoreo y control constante de las viviendas patrimoniales existentes en las 38 ciudades del Ecuador, que fueron declaradas Patrimonio Cultural. Según estudios desarrollados por el Ministerio de Cultura y Patrimonio, (2014) alrededor del 30% de la población ecuatoriana habita en este tipo de viviendas.

El Ministerio de Cultura y Patrimonio, el 16 de abril de 2008, declaró a Riobamba como patrimonio cultural de la nación; a partir de este evento, las edificaciones patrimoniales de la ciudad fueron inventariadas. El arquitecto del departamento municipal de Gestión de Patrimonio Segovia, dijo: “Riobamba actualmente consta con 435 edificaciones de categoría monumental

religiosa, civil, militar, relevante y tradicional declaradas como patrimonio cultural por el Instituto Nacional de Patrimonio” (L, Segovia, comunicación personal, 1 de julio de 2020).

1.1 Edificaciones Patrimoniales

Las edificaciones patrimoniales son bienes inmuebles pertenecientes al patrimonio cultural, que han conservado desde su construcción hasta la actualidad, sin alteración alguna, la configuración estructural inicial, debido a la riqueza histórica que los integra.

Los materiales que utilizaban para la construcción de las edificaciones patrimoniales estaban limitados a los que estaban disponibles en la región, por lo que muchas de las edificaciones del período colonial español fueron construidas en mampostería de adobe, tapia pisada, etc. Debido a su antigüedad, diseño único y a las funciones que cumplían, las edificaciones de adobe y tapia en la actualidad figuran el legado cultural de su pueblo y presentan un gran valor histórico (Sánchez, 2013).

Dependiendo del lugar de construcción, las estructuras patrimoniales están conformadas por diferentes materiales propios de la zona, distintas técnicas de construcción y configuraciones estructurales, que además de hacerlas únicas, presentan reacciones diferentes ante los eventos sísmicos o cargas dinámicas. Por ejemplo, en las edificaciones patrimoniales de adobe, las propiedades de este varían en función de distintos factores, como la técnica utilizada en la elaboración del adobe o tipos de suelo (Sánchez, 2013).

1.2 Tipología estructural de edificaciones patrimoniales

El término tipología estructural hace referencia al tipo de estructura que comprende una edificación. Puede estar conformada por varios elementos ya sea un sistema de muros portantes, sistema de pórticos resistentes a momentos, pórticos con muros estructurales, entre otros.

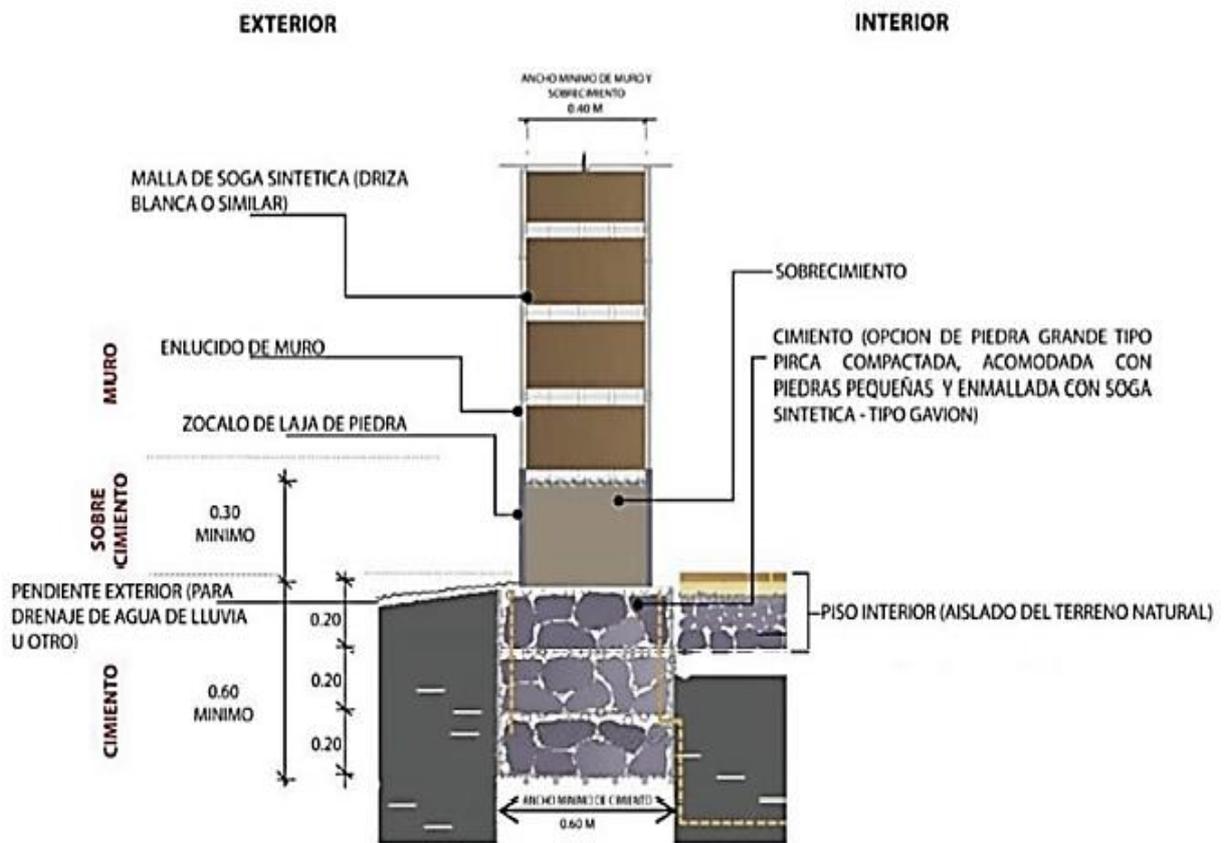
Existen edificaciones patrimoniales con diferentes tipologías estructurales, la más común está compuesta por cimentaciones de piedra con muros portantes de adobe y cubiertas de madera que fueron construidas con materiales propios de la zona.

1.2.1 Elementos de una edificación patrimonial

1.2.1.1 Cimentación

La cimentación que soporta las edificaciones patrimoniales está construida en su mayoría con piedra de canto, cal y arena gruesa, que en su conjunto forman un solo sistema que es capaz de transmitir las cargas de la estructura hacia el suelo. Además, la cimentación evita que la humedad ascienda hacia los muros de tierra, como presenta la figura 1 (Ministerio de Vivienda Construcción y Sanamiento, 2017)g

Figura 1. Esquema de cimentación

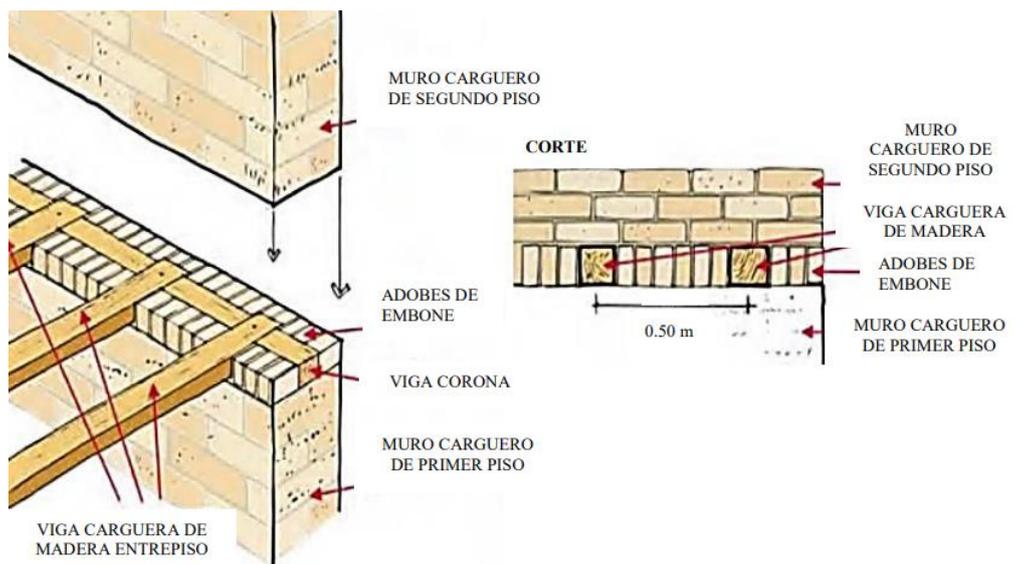


Nota. La figura representa el esquema del cimiento y sobrecimiento de una estructura patrimonial. Tomado de (Ministerio de Vivienda Construcción y Sanamiento, 2017)

1.2.1.2 Muros Portantes de Adobe

Los muros de adobe son los elementos más importantes en la resistencia, estabilidad y comportamiento sísmico de la estructura de una edificación patrimonial, por lo que deben diseñarse utilizando criterios basados en la resistencia, desempeño y la estabilidad con el fin de garantizar que soporten la demanda y sollicitaciones externas de la estructura. (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2017).

Figura 2. Muros de adobe



Tomado de (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2004)

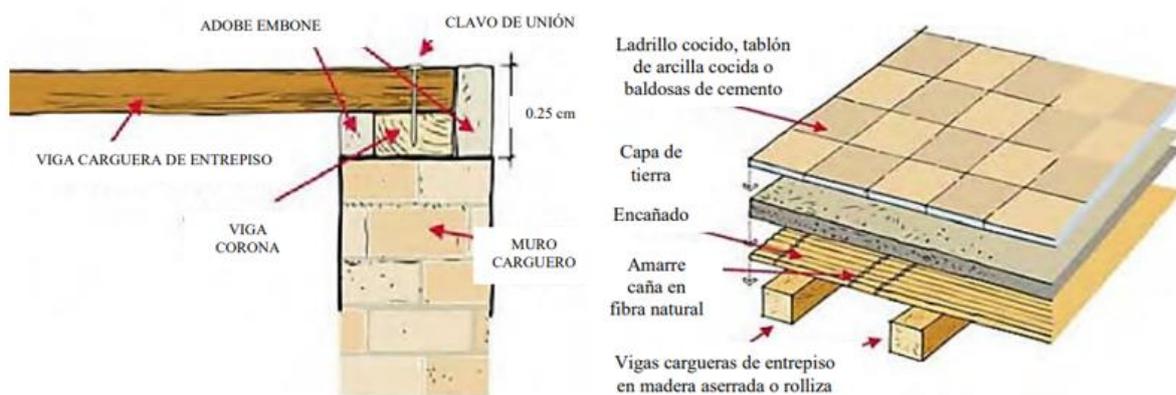
Los muros de adobe funcionan principalmente a gravedad, es decir que están diseñados para soportar cargas gravitacionales más no cargas laterales, Meli dijo: “La mampostería no reforzada, como el adobe, ante sismos ha reportado daños y alto número de colapsos, debido a la baja resistencia a tensión de la mampostería que limita fuertemente la capacidad de los muros para resistir cargas laterales.” (Citado en Aguilera & Quezada, 2017, p. 26).

Además Vargas, Blondet & Tarque dijeron: “Las fuerzas sísmicas laterales que actúan dentro del plano de los muros generan fuerzas cortantes que producen grietas diagonales” (citado en Aguilar & Quezada, 2017, p. 26). Por lo que, la principal causa de los colapsos parciales o totales de las estructuras patrimoniales son a causa de esfuerzos de tracción en los muros de adobe provocados por la acción de fuerzas laterales tales como el sismo.

1.2.1.3 Entrepiso

Elemento estructural generalmente horizontal, capaz de transmitir las cargas vivas, cargas muertas y su peso propio a los demás elementos de la estructura como vigas, pilares, muros, etc., hasta que todas las cargas lleguen a la cimentación para que sean descargadas en el terreno (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2004).

Figura 3. Sistema de entrepiso



Tomado de (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2004)

1.2.1.3.1 Elementos del Entrepiso

- **Vigas cargueras.** Su función es transmitir la carga a las vigas corona de entrepiso, las cuales se apoyan directamente sobre los muros cargueros. Estas vigas se extienden entre los muros de adobe conformando la plataforma de apoyo del entrepiso (AIS, 2004).
- **Vigas corona.** Su función es transmitir las cargas verticales y horizontales a los muros de adobe. Están ubicadas sobre los muros de adobe y sirven de apoyo directo a las vigas cargueras de entrepiso (AIS, 2004).
- **Acabados de entrepiso.** Son construidos normalmente con tablas o listones de madera, los cuales se encuentran apoyados directamente sobre las vigas cargueras del entrepiso (AIS, 2004).

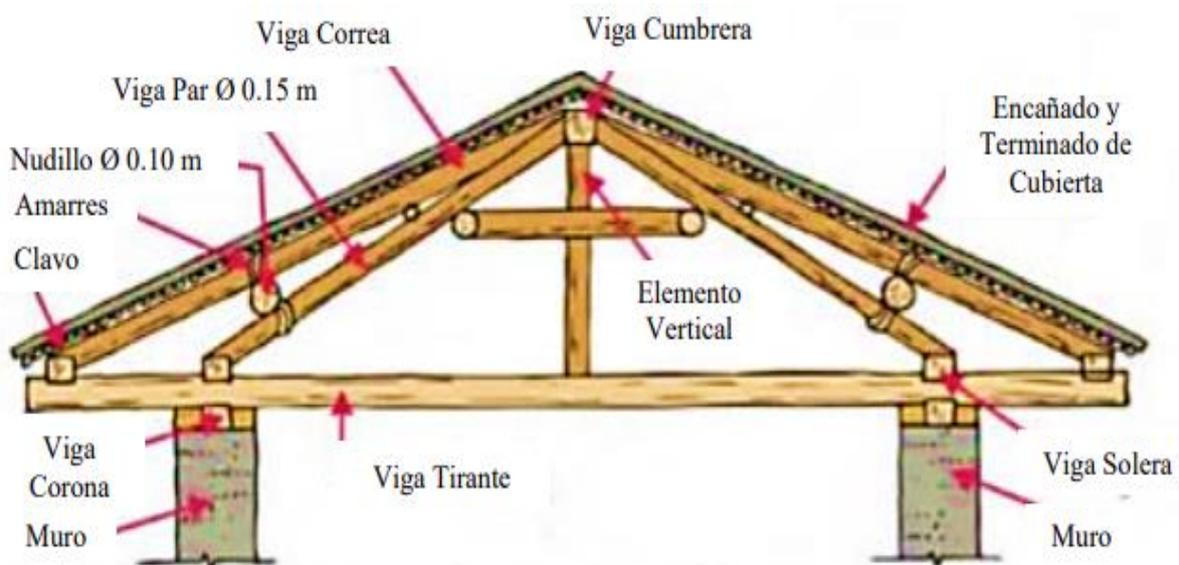
1.2.1.4 Cubierta

Las edificaciones patrimoniales presentan una gran variedad de tipos de cubiertas; por lo general son cubiertas inclinadas cuya principal función es proteger la parte superior de la vivienda de inclemencias meteorológicas como la lluvia, granizo, ceniza, etc. Por lo que, es de gran importancia realizar un adecuado mantenimiento de la cubierta para evitar colapsos por sobrecarga (Delgado, 2016).

La estructura del sistema de cubierta está conformada por tres principales materiales, vigas de madera, caña guadua o carrizo. Este sistema según la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (2004) presenta los siguientes elementos:

- **Viga cumbre:** es la viga longitudinal principal sobre la cual se asientan las correas.
- **Vigas correas:** vigas principales que sostienen el entechado.
- **Pares:** elementos diagonales de refuerzo.
- **Tirantes:** vigas de madera que atraviesan el vano sobre los cuales se apoyan las vigas soleras.
- **Soleras:** se encuentran instaladas en las cajas de los tirantes sobre las cuales se asientan las correas y vigas pares.
- **Nudillos:** Elementos longitudinales de amarre entre vigas, correas y vigas pares.

Figura 4. Elementos de una cubierta



Tomado de (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2004).

1.3 El Adobe

La palabra adobe proviene del árabe al-tub, es un material de construcción fabricado a mano, conformando por una masa de barro humedecida, frecuentemente mezclada con materia orgánica y fibras vegetales como la paja. Es considerado un material de construcción de bajo costo debido a que la materia prima principal se obtiene del lugar de la construcción (Aguilar & Quezada, 2017).

El adobe es el principal material utilizado en la construcción de edificaciones patrimoniales, “tradicionalmente está compuesto por tierra (arcilla y agregados como la arena y grava), fibras naturales y agua; todos materiales accesibles y económicos, que connotan la popularidad de este sistema” (Aguilar & Quezada, 2017, p. 19).

1.3.1 Propiedades del Adobe

El adobe utilizado como material principal para la construcción de los muros portantes de las edificaciones patrimoniales tiene propiedades físicas y mecánicas que lo diferencian de otros materiales tradicionales.

Las propiedades físicas hacen referencia a la estructura del adobe que es visible y medible, por otro lado, las propiedades mecánicas se refieren a la capacidad que tiene el adobe de resistir acciones de cargas externas.

1.3.1.1 Propiedades Físicas del Adobe

Las propiedades físicas son propias de cada muestra de adobe, ya que están en función de la composición, técnica utilizada para su elaboración y de la zona en la que se fabricó la pieza de adobe. Las más relevantes en las mamposterías de adobe son 4:

1.3.1.1.1 Aislante Térmico

El adobe tiene la capacidad para almacenar el calor durante las horas más cálidas y liberarlo hacia su interior en las más frías lo cual convierte al adobe en un climatizador natural que logra mantener una temperatura siempre agradable en toda la vivienda (Rodríguez, 2019).

En una vivienda patrimonial los muros al ser de grandes dimensiones y al ser elaborados con materiales naturales regulan la humedad, almacenan el calor y equilibran el clima interior, otorgando habitabilidad a la edificación.

1.3.1.1.2 Aislante Acústico

Una de las características más importantes de los muros de adobe es su función de aislante acústico, ya que no transmiten las vibraciones sonoras, convirtiéndose en una barrera eficaz contra el ruido. Esta característica hace que el adobe sea mejor que otros materiales convencionales en estos casos (Gatti, 2012).

Las grandes dimensiones de los muros de adobe proporcionan mayor aislamiento acústico de la vivienda.

1.3.1.1.3 Sostenible

El adobe al ser un material natural puede volver a ser reducido a su estado original y depositado en cualquier lugar sin generar contaminación ambiental. “Los edificios de tierra que no están en uso tampoco generan problema de degradación ambiental ni alteran las condiciones bioclimáticas”(Gatti, 2012, p. 14), por lo que el adobe es considerado un material sostenible y amigable con el medio ambiente.

1.3.1.1.4 Económico

Económicamente hablando el adobe “es considerado un material de construcción de bajo costo, si la materia prima principal (tierra) se obtiene del lugar de la construcción y si es autoconstruido” (Aguilar & Quezada, 2017, p. 19), Este es de fácil de fabricación y no necesita de mucha técnica para construir los muros portantes de la edificación.

1.3.1.2 Propiedades Mecánicas de los muros de Adobe

“Las características mecánicas de un material definen sus capacidades para soportar cargas exteriores”(Aguilar & Quezada, 2017, p. 47). Las propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, módulo de corte, resistencia a la flexión, entre otras, se

obtienen mediante ensayos de laboratorio de varias muestras de adobe, obteniendo así las propiedades mecánicas según varios autores.

Tabla 1. *Propiedades mecánicas del adobe*

Propiedades Mecánicas del Adobe			
Resistencia a la compresión F'm	Módulo de Elasticidad Em	Módulo de corte Gm	Autor
4.54 MPa	14.03	6.1	(Delgado, 2016)
0.6 MPa	28.92	12.574	(Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2017)
1.24 MPa	41.28	17.948	
1.16 MPa	17.4	7.565	
0.61 MPa	17	7.391	(Aguilar & Quezada, 2017)
0.62 MPa	68.5	29.783	
1.44 MPa	200	86.957	

1.3.1.2.1 Resistencia a la Compresión

Esta característica mecánica comprende el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga axial de aplastamiento. La resistencia a la compresión de materiales que no fallan por ruptura al aplicar compresión es definida como la cantidad de esfuerzo necesario para deformar una cantidad arbitraria del material.

La resistencia a la compresión es calculada dividiendo la carga axial máxima para el área transversal original de una probeta en un ensayo de compresión, en este caso los muros de adobe. Según la norma E.080 diseño y construcción con tierra reforzada de Perú la resistencia última de compresión es de 0.6 MPa = 6.12 kgf/cm².

Una clara muestra práctica es el ensayo de compresión a muestras de adobe realizado en la ciudad de Riobamba a una vivienda patrimonial en donde la resistencia a la compresión del adobe oscila entre 0.60 y 0.70 MPa (Delgado, 2016).

Sin embargo, debido al desconocimiento de las propiedades mecánicas del adobe, han realizado investigaciones en base a ensayos de laboratorio con el fin de obtener datos reales de la resistencia a la compresión, tal lo muestra la tabla 1.

Tabla 2. Resistencia a la compresión ($F'm$) de muestras de adobe de la ciudad de Cuenca.

MUESTRA	$F'm$ (MPa)	$F'm$ (kg/cm ²)	Índice de plasticidad %	Materia orgánica %	Grava %	Arena %	Finos %
Adobera 1	1.24	12.65	23.1	6.43	1.68	28.47	69.85
Adobera 2	1.16	11.83	17.83	4.30	13.94	47.29	38.77
Adobera 3	0.61	6.22	13.35	6.89	14.32	40.14	45.55
Edificación 1	0.62	6.32	8.61	8.14	6.1	45.5	48.4
Edificación 2	1.44	14.68	6.84	7.41	2.86	26.59	70.55

Nota. En la tabla se observa la variación de la resistencia a la compresión en función de los materiales por el que está conformado el adobe. Tomado de (Aguilar & Quezada, 2017)

La resistencia a la compresión del adobe según Aguilar & Quezada, (2017), depende mucho del tipo de suelo utilizado para su elaboración, ya que como presenta la tabla 2 mientras mayor sea el porcentaje de árido grueso menor será la resistencia a la compresión.

1.3.1.2.2 Módulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad relaciona el esfuerzo con la deformación unitaria, siendo un parámetro indispensable para el diseño estructural. El adobe al ser un material no lineal, ni isótropo, que depende principalmente de las características del suelo, la fabricación, tiempo de secado, etc., no presenta una curva de deformación constante, lo cual dificulta el cálculo del módulo de elasticidad.

Ramos & Bonilla, (2013) mencionan que “para ladrillos de arcilla, el módulo de elasticidad E_m , es usualmente más pequeño que el correspondiente a las unidades de hormigón. Este parámetro puede obtenerse aproximadamente como $300 \cdot f'm$ ($F'm$ en MPa)” (p. 85).

En base a los ensayos realizados en la ciudad de Cuenca, el módulo de elasticidad del adobe tiene una relación directamente proporcional al esfuerzo de compresión expresado en la siguiente tabla.

Tabla 3. *Módulo de Elasticidad (Em) de muestras de adobe de la ciudad de Cuenca*

MUESTRA	F'm (MPa)	F'm (kg/cm²)	Em (MPa)	Em (kg/cm²)
Adobera 1	1.24	12.65	28.92	294.90
Adobera 2	1.16	11.83	41.28	420.94
Adobera 3	0.61	6.22	17.40	177.43
Edificación 1	0.62	6.32	17	173.35
Edificación 2	1.44	14.68	68.50	698.51

Tomado de (Aguilar & Quezada, 2017)

El módulo de elasticidad obtenido de ensayos de laboratorio de muestras de adobe tomadas en la ciudad de Riobamba es de 14MPa = 143.06 kg/cm² (Delgado, 2016).

La norma E.080 de Perú menciona: “mientras no se cuente con resultados de ensayos experimentales para el módulo de elasticidad de los muros de tierra, se usa el valor de 200 MPa = 2040 kg/cm²” (Ministerio de Vivienda Construcción y Sanamiento, 2017, p. 16); el cual es un valor muy alto en relación a los datos obtenido mediante ensayos en muestras de adobe en el Ecuador.

1.3.1.2.3 Resistencia al Corte

El módulo de corte describe la deformación elástica lineal de un componente estructural debido a la tensión tangencial o esfuerzo cortante, está en función del módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson definido por la siguiente fórmula:

$$G = \frac{E}{2 * (1 + u)}$$

En donde:

G: módulo de corte

E: módulo de elasticidad

u: coeficiente de Poisson

El coeficiente de Poisson (u) es un parámetro propio de cada material, el cual indica la relación entre las deformaciones longitudinales en sentido perpendicular a la fuerza aplicada y las deformaciones longitudinales en dirección de la fuerza aplicada sobre el material (Pérez, 2018).

Ramos & Bonilla “recomiendan un valor de módulo de Poisson menor al del hormigón el cual es 0.2” (Citado en D. Bonilla & Merino, 2017, p. 21).

1.4 Vulnerabilidad sísmica en viviendas de adobe

En diversos terremotos ocurridos en el Ecuador, han evidenciado que en general las estructuras patrimoniales, entre ellas las edificaciones con muros portantes de adobe, presentan un escaso comportamiento sísmico, llegando al colapso de forma muy rápida. Esto se debe a que este tipo de construcciones no cuentan con un adecuado diseño sismorresistente que garantice el correcto funcionamiento de los distintos elementos estructurales (Yajamin & Valencia, 2009, p. 22).

La construcción tradicional de viviendas de tierra se realiza informalmente, sin asesoría técnica; por ello la calidad de estas construcciones es generalmente muy baja. En zonas sísmicas donde se construye con tierra, cada vez que ocurre un terremoto colapsan muchas construcciones de este material (Gatti, 2012, p. 59).

La falta de un adecuado diseño sismorresistente, el asesoramiento técnico, normativas actualizadas y estricto control de calidad de las viviendas provoca que ante la ocurrencia de terremotos las estructuras colapsen parcial o totalmente.

Debido al paso del tiempo, como también a los factores ambientales, el patrimonio cultural es vulnerable a las cargas dinámicas y a su principal amenaza, los terremotos. Esto hace que el colapso sea impredecible, ya que muchas de estas construcciones no tienen un adecuado mantenimiento y una gran parte presenta problemas estructurales serios, los que amenazan la seguridad de los edificios y de las personas (Sánchez, 2013, p. 8).

“Las fuerzas sísmicas laterales que actúan dentro del plano de los muros generan fuerzas cortantes que producen grietas diagonales” (citado en Aguilar & Quezada, 2017, p. 26). Por lo que la principal causa de los colapsos parciales o totales de las estructuras patrimoniales son a causa de esfuerzos de tracción en los muros de adobe provocados por la acción de fuerzas laterales tales como el sismo.

1.5 Tipos de Falla en edificaciones de adobe

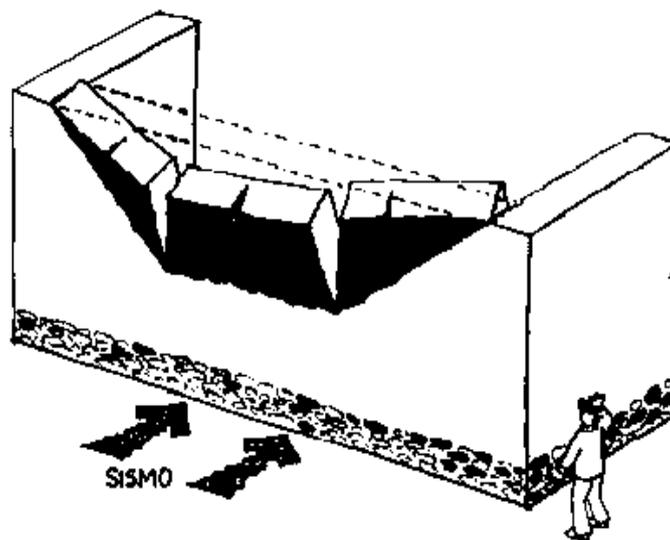
Una falla puede ser cualquier disfunción del sistema estructural. “Las fallas en las construcciones de adobe pueden atribuirse, principalmente, a su poca resistencia en tracción y reducida adherencia entre el adobe y el mortero” (Delgado, 2016, p. 11) . Por lo que los muros de

adobe son los elementos más vulnerables de la vivienda patrimonial, pues con el paso del tiempo las propiedades mecánicas se deterioran y al ser sometidos a cargas dinámicas presentarán fallas e incluso llegarían a su colapso.

1.5.1 Falla por Flexión con Agrietamiento Horizontal

Este tipo de falla es frecuente en construcciones con muros largos sin restricciones transversales. El muro al ser sometido a la acción del sismo de manera perpendicular sufre agrietamiento horizontal en la base o a una altura intermedia, acompañado de agrietamientos verticales; figura 5 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2004).

Figura 5. *Falla por flexión con agrietamiento horizontal*

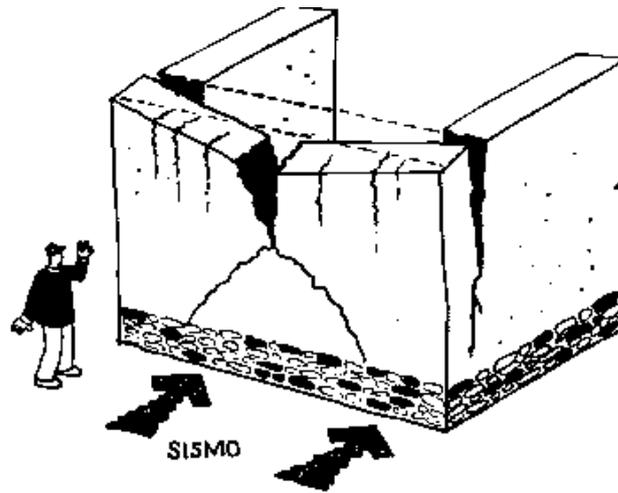


Obtenido de (AIS, 2004)

1.5.2 Falla por Flexión con Agrietamiento Vertical

Este tipo de falla se presenta en construcciones con muros altos y cortos a la vez. El muro al ser sometido a la acción del sismo de manera perpendicular sufre agrietamiento vertical en la zona central, agrietamiento diagonal y fisuración en la parte superior; figura 6 (AIS, 2004).

Figura 6. *Falla por flexión con agrietamiento vertical*

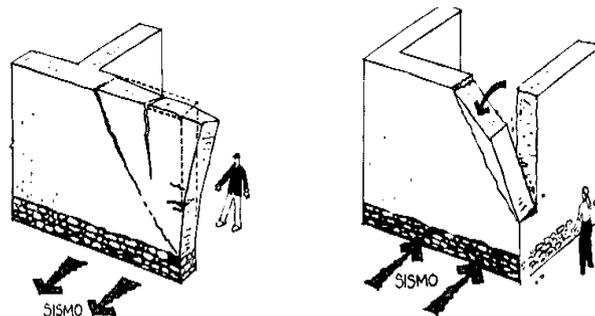


Obtenido de (AIS, 2004)

1.5.3 *Falla por Flexión en las Esquinas*

Esta falla se presenta en las esquinas no confinadas de los muros sueltos o en las esquinas en donde los muros transversales no se han conectado efectivamente; figura 7 (AIS, 2004).

Figura 7. *Falla por flexión en las Esquinas*

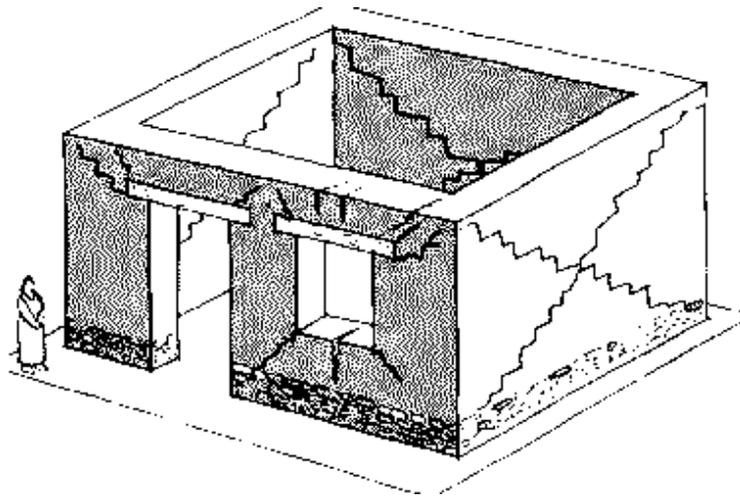


Obtenido de (AIS, 2004)

1.5.4 *Falla por Cortante*

La falla por cortante se genera debido a grandes empujes horizontales y en muchos de los casos están asociados a entrepisos o cubiertas muy pesadas o con sobrepeso. Las grietas son mayores en las aberturas como puertas y ventanas existentes en el muro; figura 8 (AIS, 2004).

Figura 8. *Falla por cortante*

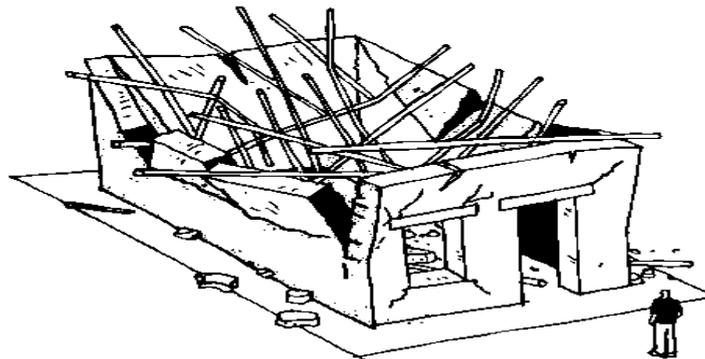


Obtenido de (AIS, 2004)

1.5.5 *Falla por Caída de la Cubierta*

La cubierta por lo general se cae hacia el interior de la vivienda por encontrarse mal apoyada sobre los muros o por fallas presentes en los muros. Es frecuente en edificaciones con cubiertas muy pesadas, estructuralmente mal construidas o por falta de mantenimiento; figura 9 (AIS, 2004).

Figura 9. *Falla por caída de la cubierta*



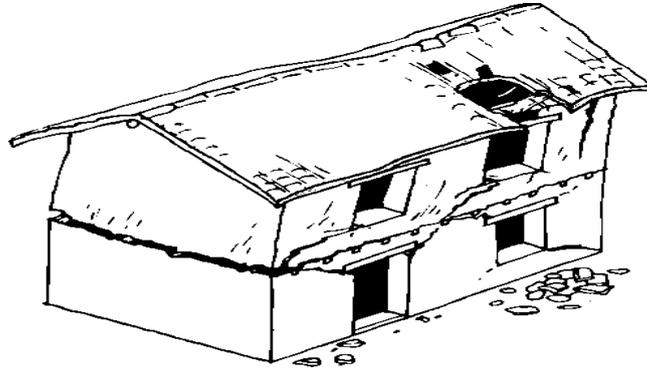
Obtenido de (AIS, 2004)

1.5.6 *Falla en Muros por Mala Conexión*

Una mala conexión de los muros del primer piso con los muros del segundo piso ocasiona que los muros se rompan de manera horizontal en la zona del entrepiso, causando inestabilidad de

los muros del segundo piso. Esto es ocasionado debido a que no existe un diafragma rígido en el entrepiso; figura 10 (AIS, 2004).

Figura 10. *Falla por caída de la cubierta*

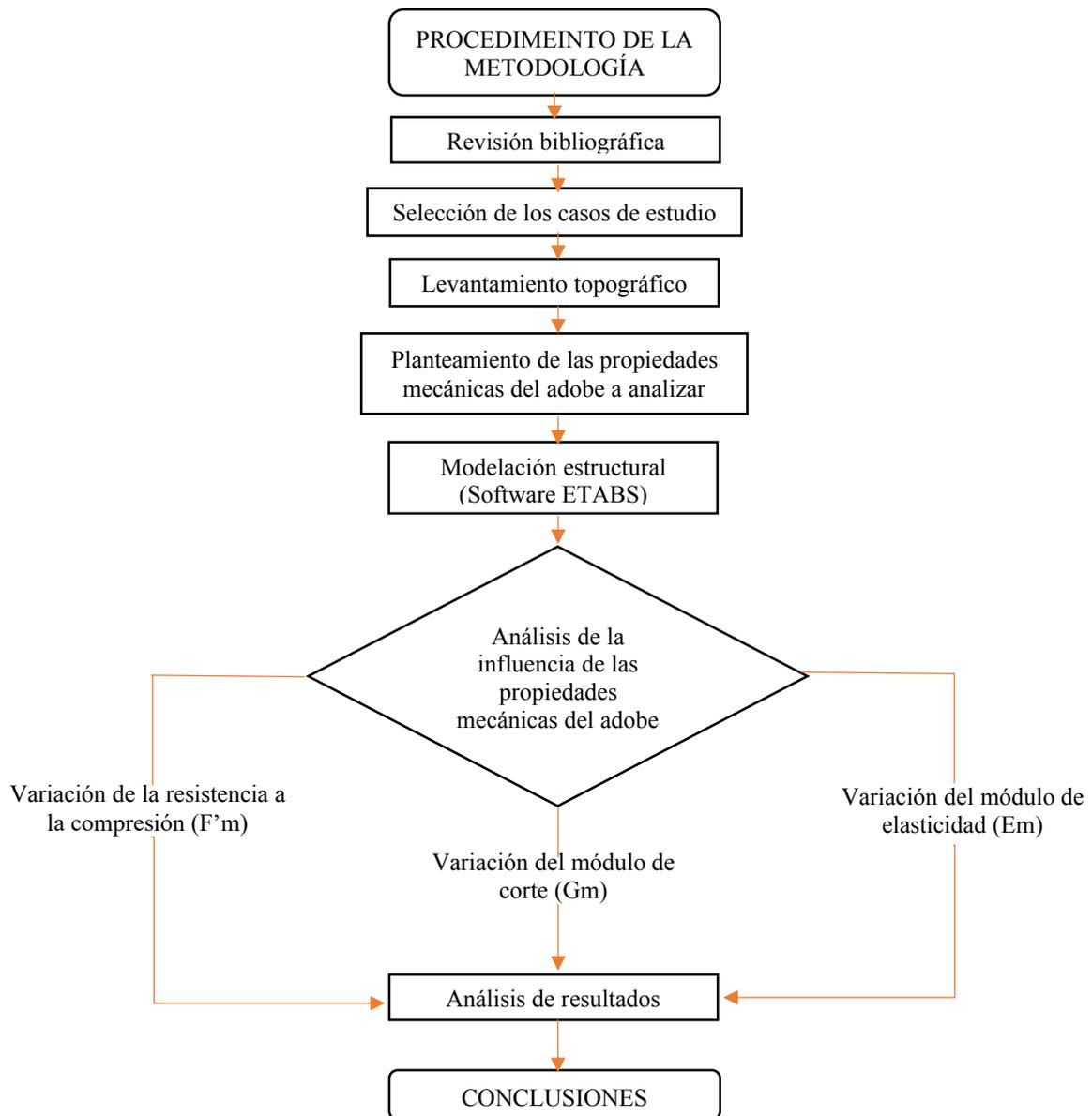


Obtenido de (AIS, 2004)

CAPITULO II

2 Metodología

Figura 11. Esquema metodológico



El trabajo de investigación presenta un enfoque epistemológico cuantitativo, por la cuantificación porcentual de la influencia de la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y módulo de corte del adobe en el comportamiento estructural de tres edificaciones patrimoniales.

Con un alcance de estudio exploratorio, puesto que Ecuador presenta escasas de normativa legal sobre las edificaciones patrimoniales con mampostería estructural de adobe. Además, desde el punto de vista investigativo, no existen trabajos que hayan analizado desde la línea investigativa de *ingeniería, construcción, industria y producción*, que presenta este trabajo.

Utiliza la investigación de campo ya que, a través de la utilización de herramientas de recolección de datos como el muestreo por conveniencia, fueron seleccionados los casos de estudio utilizados como objeto de análisis comparativo para el desarrollo de la presente investigación.

2.1 Método General

Se aplicó el método inductivo como método general, ya que aplica un análisis de las propiedades mecánicas del adobe, como el principal material utilizado para la construcción de viviendas patrimoniales y su influencia en el comportamiento estructural de los casos de estudio que fueron analizados mediante una modelación matemática con la asistencia del software ETABS.

2.2 Método Específico

Como método específico presenta el método experimental y comparativo, que a través de la asistencia del software de análisis estructural fue realizada la modelación estructural de las tres viviendas patrimoniales con la finalidad de medir los cambios o efectos que sufren las estructuras al variar la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y módulo de corte del adobe.

2.3 Técnicas e Instrumentos de Investigación

2.3.1 Muestreo no probabilístico por conveniencia

La presente investigación utilizó el muestreo no probabilístico por conveniencia como técnica para seleccionar los casos de estudio analizados, ya que como menciona Otzen & Manterola esta técnica “Permite seleccionar aquellos casos accesibles que acepten ser incluidos.

Esto, fundamentado en la conveniente accesibilidad y proximidad del caso de estudio para el investigador” (Otzen & Manterola, 2017, p. 230). Por tal motivo, las viviendas patrimoniales seleccionadas pertenecen al sector privado, por la facilidad de acceso a las mismas para realizar el correspondiente levantamiento topográfico y de información.

Las viviendas seleccionadas presentan tres configuraciones en plantas diferentes (regular, semirregular e irregular), con la finalidad de analizar el comportamiento estructural de cada una de ellas y establecer comparaciones.

2.3.2 Levantamiento de Información

Para realizar el levantamiento de información fue empleada la técnica de observación aplicada para cada vivienda con la ayuda de los instrumentos de investigación, libreta y flexómetro, con la finalidad de registrar textualmente las dimensiones y materiales de los elementos, como muros de adobe, columnas y vigas de madera, que conforman las viviendas patrimoniales seleccionadas como casos de estudio. Además, se anotaron datos importantes que fueron utilizados para la modelación estructural, como el espesor de los muros de adobe. *Anexo 1.*

2.3.3 Levantamiento Topográfico y Planimétrico

Una vez determinados los casos de estudio, el levantamiento topográfico de la vivienda fue realizado utilizando herramientas como la cinta métrica, GPS y una libreta de campo, con el objetivo de tomar los datos y medidas necesarias de las viviendas patrimoniales para proceder a la realización de los planos arquitectónicos, ya que las viviendas seleccionadas no cuentan con los mismos.

Con los datos obtenidos en el levantamiento topográfico, los planos arquitectónicos de las viviendas fueron dibujados mediante la asistencia de la herramienta de dibujo AutoCAD, en donde fueron incluidas las plantas arquitectónicas y planimétricas en las que se detallan las dimensiones de la vivienda, secciones de los muros, alturas de entrepiso y dimensiones de la cubierta. *Anexo 3.*

2.4 Modelación Estructural

Mediante el uso de la herramienta de diseño ETABS, software para el cálculo de estructuras basado en el método de elementos finitos, fueron realizadas las modelaciones estructurales de las viviendas patrimoniales, para lo cual el trabajo aplico una serie de pasos descritos a continuación.

Como paso inicial en el software fueron asignadas las dimensiones obtenidas luego de haber realizado la planimetría de cada una de las viviendas patrimoniales seleccionadas para el análisis, en donde incluye las distancias de los ejes en planta y las alturas de piso en elevación, conformando el sistema de grilla para el dibujo de la estructura.

Una vez definido el sistema de grilla los materiales fueron definidos, los cuales incluyen propiedades como el peso específico, módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson, coeficiente de expansión térmica y el módulo de corte de cada material que comprende cada vivienda patrimonial.

2.4.1 Propiedades del Adobe

Las propiedades físicas asignadas para el adobe son las descritas en la siguiente tabla.

Tabla 4. *Propiedades Físicas del Adobe*

Propiedad	Valor	Referencia
Peso	1.6 t/m ²	(NEC-SE-CG, 2015)
Coeficiente de Poisson	0.15	(Bonilla & Merino, 2017)
Coeficiente de expansión térmica	0.012 mm/m°C	(Citado en Delgado, 2016, p. 40)

Para el análisis de la influencia de las propiedades mecánicas del adobe fue necesario variar el módulo de elasticidad y módulo de corte en rangos para así poder tener cifras más exactas e interpretar de mejor manera los resultados.

2.4.2 Propiedades de la Madera

La madera utilizada para la construcción de las vigas, columnas y cubierta de la vivienda patrimonial es el Eucalipto. Según Siza & Martínez “el Eucalipto y otras maderas en general son de tipo “Ortotrópico” ya que las características no son similares en todos los sentidos” (Siza & Martínez, 2009, p. 147), por lo que sus propiedades pueden variar dependiendo de las características, la zona y el cuidado de la madera; los valores utilizados están descritos en la tabla 5.

Tabla 5. Propiedades del Eucalipto

Propiedad	Valor	Unidad	Referencia
Peso Unitario	0.79	t/m ³	(Chimbo & Granda,2016
Masa Unitaria	0.0806	t	(Chimbo & Granda,2016
Módulo de Elasticidad	7134.943	t/m ²	(Chimbo & Granda,2016
Coefficiente de Poisson	0.4		(Siza & Martínez, 2009)
	0.000003	1/°C	
Coefficiente de expansión térmica	0.000025	1/°C	(Siza & Martínez, 2009)
	0.000015	1/°C	
Módulo de Corte	2853.9772	t/m ²	(Siza & Martínez, 2009)

Tomado de (Delgado, 2016)

Luego que fueron definidas las propiedades del adobe y de la madera, las propiedades de las secciones fueron ingresadas para dibujar la estructura. Las secciones utilizadas en la modelación para las columnas, vigas, viguetas y correas fueron tipo frame, mientras que para los muros secciones tipo sell-thick.

Con las propiedades de los materiales y las secciones definidas las estructuras patrimoniales fueron dibujadas para su posterior análisis.

2.4.3 Cuantificación de Cargas

2.4.3.1 Cargas Gravitacionales

2.4.3.1.1 Entrepiso

Las viviendas patrimoniales están diseñadas principalmente para soportar cargas verticales, vivas o muertas, en las que se incluye el peso propio de la cubierta, entrepiso, acabados, entre otros.

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción para uso vivienda el valor de carga viva es 0.2 t/m^2 y para las cargas muertas el cálculo incluye el peso propio de los elementos que conforman el entrepiso.

2.4.3.1.2 Cubierta

La Norma Ecuatoriana de la Construcción establece que para cubiertas planas, inclinadas y curvas el valor de carga viva asignado es de 0.07 t/m^2 , además menciona que para carga viva deben también considerar cargas de viento, granizo o ceniza.

2.4.3.2 Cargas laterales

Para el cálculo de la carga lateral provocada por el sismo fue calculada, como lo establece la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15 en su código Peligro Sísmico - Diseño Sismo Resistente (NEC-SE-DS, 2015), en el cual están establecidos los requisitos mínimos de cálculo del cortante basal utilizado para la asignación de cargas sísmicas horizontales.

Es primordial para el cálculo del cortante basal conocer la zona sísmica en la que se encuentra la edificación, por lo que en el apéndice 10.2 de la NEC-SE-DS la ciudad de Riobamba pertenece a la zona V, según el mapa de zonificación sísmica.

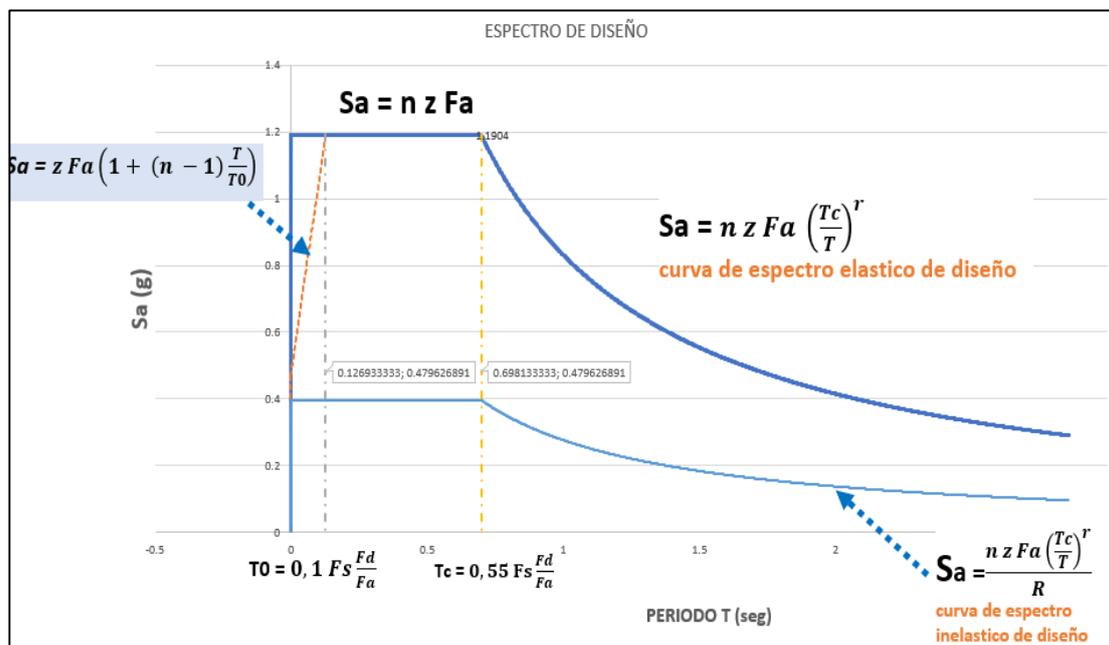
Según Delgado (2017), el tipo de suelo sobre el cual se encuentran construidas las viviendas patrimoniales es tipo D.

Tabla 6. Datos para el espectro de diseño.

Datos	Valor	Referencia
Ubicación	Riobamba	
Tipo de suelo	Tipo D	(Delgado, 2016)
Zona sísmica	Zona V	NEC-SE-DS-Figura 1
Región	Sierra	
Coeficientes de perfil de Suelo		
Fa	1.2	NEC-SE-DS-Tabla 3
Fd	1.19	NEC-SE-DS-Tabla 4
Fs	1.28	NEC-SE-DS-Tabla 5
n	2.48	NEC-SE-DS-Pág. 34
r	1	NEC-SE-DS-Pág. 34
z	0.4	NEC-SE-DS-Tabla 1
Resultados		
To	0.1269 s	NEC-SE-DS
Tc	0.6981 s	NEC-SE-DS
Tl	2.856 s	NEC-SE-DS
Sa	1.1904 g	NEC-SE-DS
Sd	0.1488 g	NEC-SE-DS

Con los datos obtenidos en la tabla fue graficada la curva del espectro de diseño elástico (Figura 12). La cual ayudará a determinar la ubicación del periodo fundamental inicial de la estructura y de esta manera conocer la aceleración espectral para el cálculo del cortante basal.

Figura 12. Espectro de diseño



Una vez determinado el espectro de diseño procede a calcular el cortante basal para lo cual es necesario conocer el periodo inicial de las estructuras. “Para estructuras de edificación, el valor de T puede determinarse de manera aproximada mediante la expresión:”(Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015).

$$T = C_t h_n^\alpha$$

Donde:

Ct: Coeficiente que depende del tipo de edificio.

hn: Altura máxima de la edificación de n pisos.

T: Periodo de vibración

Es utilizado el valor Ct de 0.055 y α de 0.75 debido a que las estructuras están conformadas principalmente por mampostería estructural.

Tabla 7. Periodo inicial de las estructuras

Vivienda	Periodo 1 T (s)	Periodo 2 T (s)
Regular	0.2882	0.3746
Semirregular	0.27	0.351
Irregular	0.1989	0.2585

Nota. El periodo 2 fue calculado a razón de un incremento del 30% del periodo 1

Además, con todos los datos encontrados fue calculado el cortante basal de diseño que va a actuar en cada estructura, para lo cual la norma NEC-SE-DS presenta la siguiente ecuación para el cálculo.

$$V = \frac{I * Sa}{R * \phi P * \phi E} * W$$

Dónde:

I = factor de importancia definido en 2.6.4. (NEC-SE-DS, 2015).

Sa = aceleración espectral correspondiente al espectro de respuesta elástico para diseño, definida en 2.5.5.1 (NEC-SE-DS, 2015).

W = carga reactiva definida en 2.7.1.1. (NEC-SE-DS, 2015).

R = Factor de reducción de respuesta estructural, definido en 2.7.2.3. (NEC-SE-DS, 2015).

ϕ_p y ϕ_P = Factores de configuración estructural en planta y en elevación, definidos en 2.6.6 y 2.6.7. (NEC-SE-DS, 2015).

Tabla 8. Cálculo del factor de sismo estático.

Vivienda Regular	Vivienda Semirregular	Vivienda Irregular
$V = \frac{I * Sa}{R * \phi_P * \phi_E} * W$	$V = \frac{I * Sa}{R * \phi_P * \phi_E} * W$	$V = \frac{I * Sa}{R * \phi_P * \phi_E} * W$
$V = \frac{1 * 1.1904}{3 * 1 * 1} * W$	$V = \frac{1 * 1.1904}{3 * 1 * 1} * W$	$V = \frac{1 * 1.1904}{3 * 1 * 0.9} * W$
$V = 0.3968 * W$	$V = 0.3968 * W$	$V = 0.4408 * W$

CAPITULO III

3 Resultados y Discusión.

3.1 Resultados

3.1.1 Caso de estudio 1: Vivienda Patrimonial regular

La vivienda patrimonial fue seleccionada utilizando el muestreo por conveniencia. Está ubicada en la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba, parroquia Velasco en las calles Pichincha y Guayaquil. “El inmueble fue construido en la Época Republicana, en la década de 1940-1950, en el segundo período del siglo XX”(Instituto Nacional de Patrimonio, 2020, párr. 5).

La vivienda patrimonial pertenece al estilo tradicional, está encasillada dentro de la época Republicana. De acuerdo con el periodo en el que fue construido el bien inmueble esta dentro de la escala moral y posee elementos que tienen un gran valor estético (INPC, 2020). La vivienda tiene configuración regular en planta y en elevación con una tipología estructural de cimentaciones de piedra, pórticos de madera, muros de adobe y cubierta de madera con teja de barro como muestra la figura 13, es una vivienda simétrica de fachada color beige destinada al tipo de uso vivienda.

Figura 13. *Vivienda Patrimonial regular*



3.1.1.1 Levantamiento de Información

Utilizando la técnica de observación fueron obtenidas las dimensiones y materiales de los elementos que comprende la vivienda patrimonial, así como también datos para la modelación estructural como muestra el *anexo 1*. Además, la tabla 9 presenta un resumen de las secciones, tipo y material que se asignó en el software ETABS.

Tabla 9. Secciones utilizadas para la modelación

Sección	Tipo	Dimensiones	Material
Columnas	Frame	15x15 cm	Eucalipto
Vigas	Frame	20x25 cm	Eucalipto
Vigueta	Frame	7x15 cm	Eucalipto
Vigas-cubierta	Frame	10x20 cm	Eucalipto
Correas	Frame	10x10 cm	Eucalipto
Muro exterior	Sell-thick	e=50 cm	Adobe
Muro interior	Shell-thick	e=20 cm	Adobe

3.1.2 Caso de estudio 2: Vivienda Patrimonial semirregular

La vivienda patrimonial fue seleccionada utilizando el muestreo por conveniencia. Está ubicada en la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba, parroquia Velasco en las calles García Moreno y Febres cordero (esquina) con código **IBI-06-01-03-000-000012**, según el inventario del Instituto Nacional de Patrimonio (INPC). “El inmueble fue construido en la época Republicana, en la década de 1940-1950, en el segundo período del siglo XX” (Instituto Nacional de Patrimonio, 2020, párr. 5).

La vivienda patrimonial pertenece al estilo tradicional, está encasillada dentro de la época Republicana. De acuerdo con el periodo en el que fue construido el bien inmueble, está dentro de la escala moral y posee elementos que tienen un gran valor estético (INPC, 2020). La vivienda tiene una tipología estructural de cimentaciones de piedra, pórticos de madera, muros de adobe y cubierta de madera con teja de barro, como muestra la figura 14; es una vivienda asimétrica semirregular de dos plantas de color blanco destinada al tipo de uso vivienda.

Figura 14. *Vivienda Patrimonial semirregular*



3.1.2.1 Levantamiento de Información

Las dimensiones y materiales de los elementos que comprende la vivienda patrimonial fueron obtenidas utilizando la técnica de observación, así como también los datos para la modelación estructural, como muestra el *anexo 1*. Además, la tabla 10 presenta un resumen de las secciones, tipo y material que fue asignado en el software ETABS.

Tabla 10. Secciones utilizadas para la modelación

Sección	Tipo	Dimensiones	Material
Columnas	Frame	25x25 cm	Eucalipto
Vigas	Frame	10x20 cm	Eucalipto
Vigueta	Frame	7x15 cm	Eucalipto
Vigas-cubierta	Frame	10x20 cm	Eucalipto
Correas	Frame	10x10 cm	Eucalipto
Muro exterior	Sell-thick	e=25cm	Adobe
Muro interior	Shell-thick	e=15cm	Adobe

3.1.3 Caso de estudio 3: Vivienda Patrimonial irregular

La vivienda patrimonial fue seleccionada utilizando el muestreo por conveniencia, está ubicada en la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba, parroquia Velasco en las calles Pichincha entre Junín y Ayacucho. “El inmueble fue construido en la Época Republicana, en la década de 1940-1950, en el segundo período del siglo XX”(Instituto Nacional de Patrimonio, 2020, párr. 5).

La vivienda patrimonial pertenece al estilo tradicional, encasillada dentro de la época Republicana. De acuerdo con el periodo en el que fue construido el bien inmueble, se encuentra dentro de la escala moral y posee elementos que tienen un gran valor estético (INPC, 2020). La vivienda tiene configuración irregular en planta con una tipología estructural de cimentaciones de piedra, pórticos de madera, muros de adobe y cubierta de madera con teja de barro, como muestra la figura 15 es una vivienda simétrica de fachada color coral destinada al tipo de uso vivienda.

Figura 15. *Vivienda Patrimonial irregular*



3.1.3.1 Levantamiento de Información

Utilizando la técnica de observación fueron obtenidas las dimensiones y materiales de los elementos que comprende la vivienda patrimonial, así como también datos para la modelación estructural como muestra el *anexo 1*. Además, la tabla 11 presenta un resumen de las secciones, tipo y material que se asignó en el software ETABS.

Tabla 11. *Secciones utilizadas para la modelación*

Sección	Tipo	Dimensiones	Material
Columnas	Frame	15x15 cm	Eucalipto
Vigas	Frame	20x20 cm	Eucalipto
Vigueta	Frame	7x15 cm	Eucalipto
Vigas-cubierta	Frame	10x20 cm	Eucalipto
Correas	Frame	10x10 cm	Eucalipto
Muro exterior	Shell-thick	e=50cm	Adobe
Muro interior	Shell-thick	e=20cm	Adobe

3.1.4 Levantamiento Topográfico y Planimétrico

El levantamiento topográfico y planimétrico de las viviendas patrimoniales fueron realizados con la ayuda de cinta topográfica y del GPS. Posteriormente los planos fueron dibujados con la asistencia de la herramienta de dibujo AutoCAD como lo muestran los siguientes gráficos.

Figura 16. Detalles planta baja N+0,20 m vivienda regular

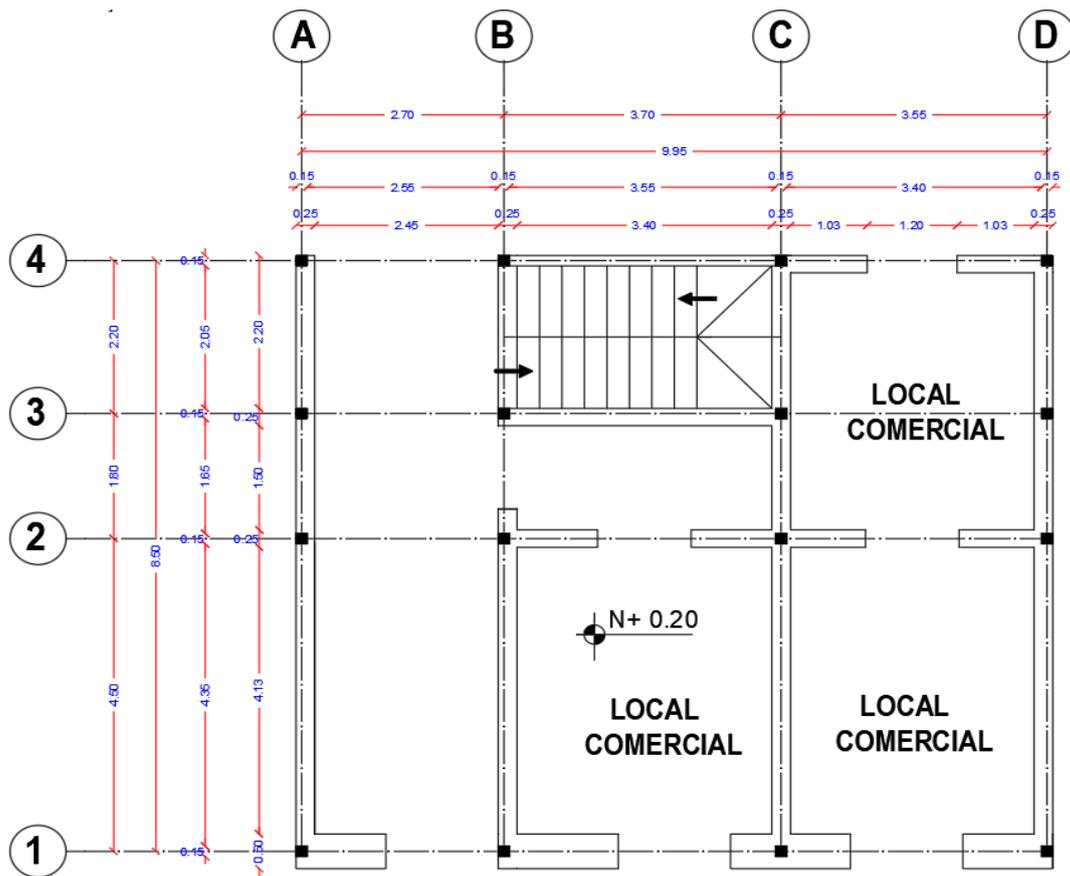


Figura 17. Detalles planta Alta N+3,80 m vivienda regular

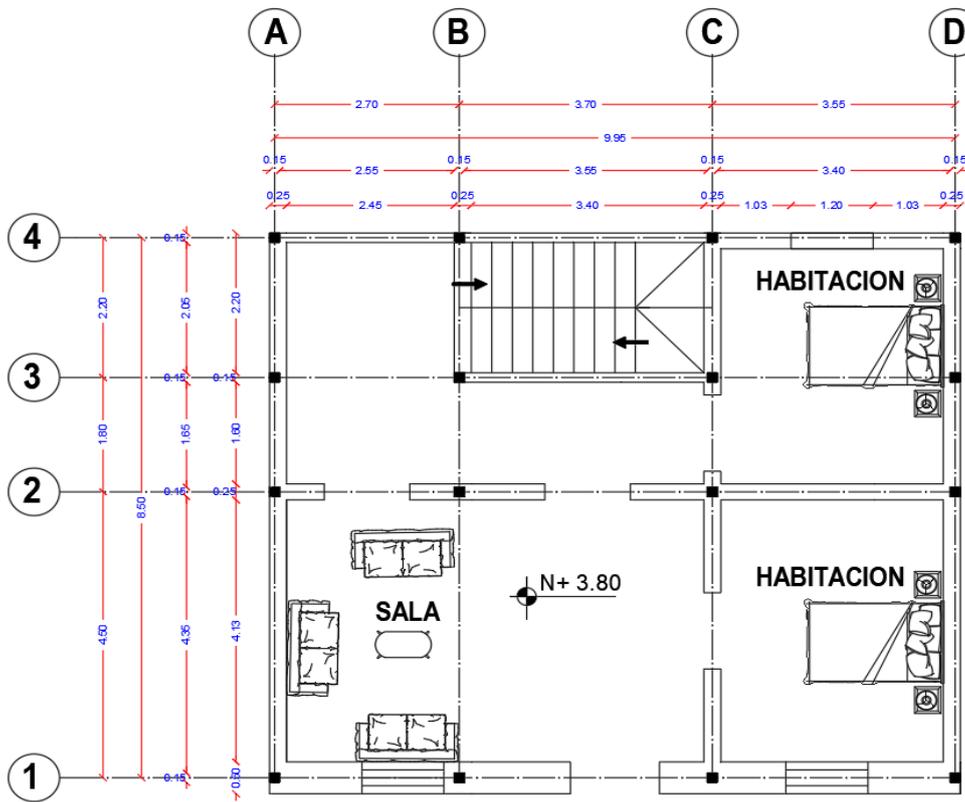


Figura 18. Detalles de cubierta N+ 7,30 m vivienda regular

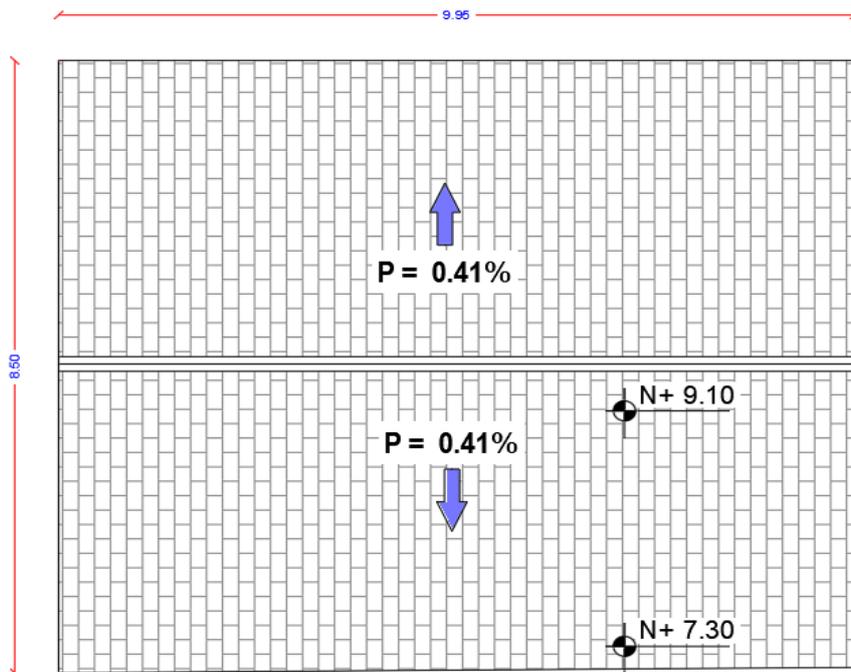


Figura 19. Detalles planta baja N+0,15 m vivienda semirregular.

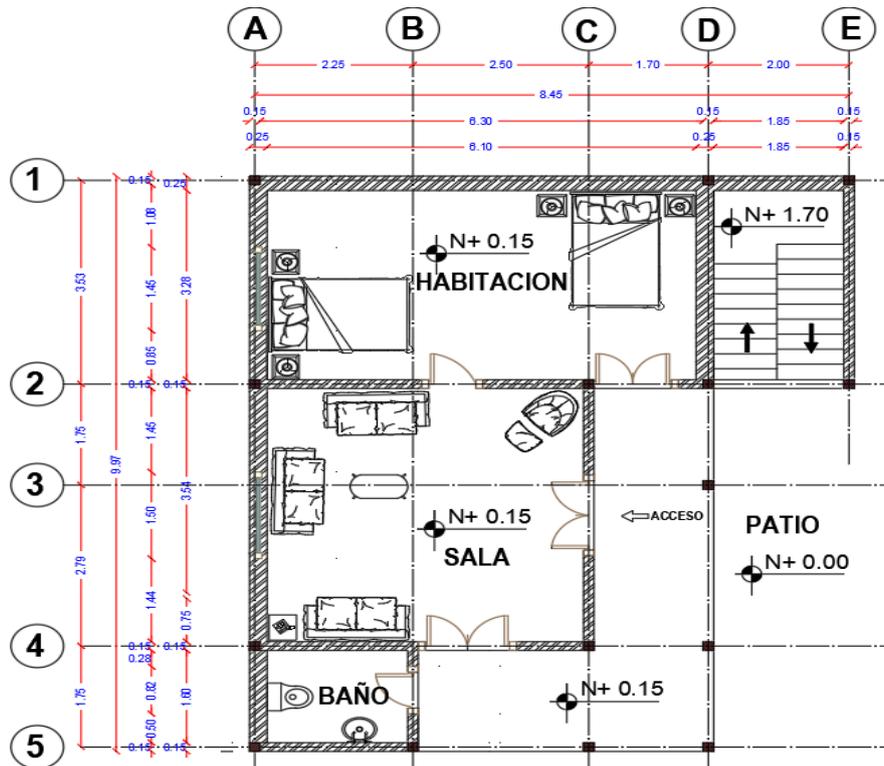


Figura 20. Detalles planta Alta N+3,50 m vivienda semirregular

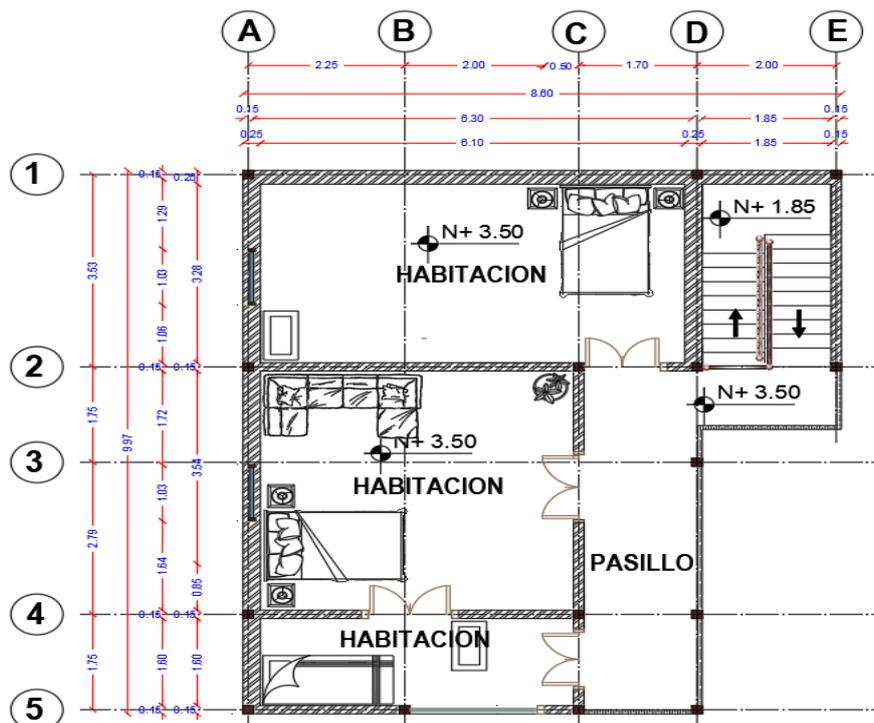


Figura 21. Detalles de cubierta N+ 6,50 m vivienda semirregular

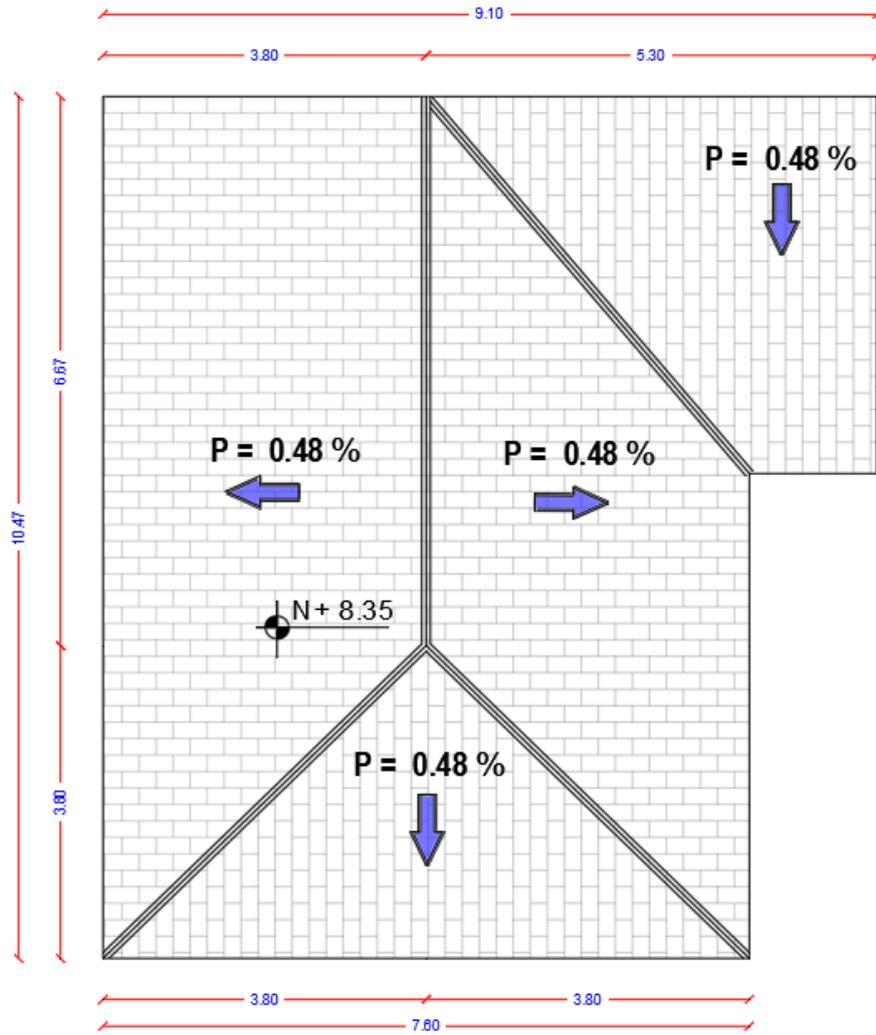


Figura 22. Detalles planta baja N+0,20 m vivienda irregular.

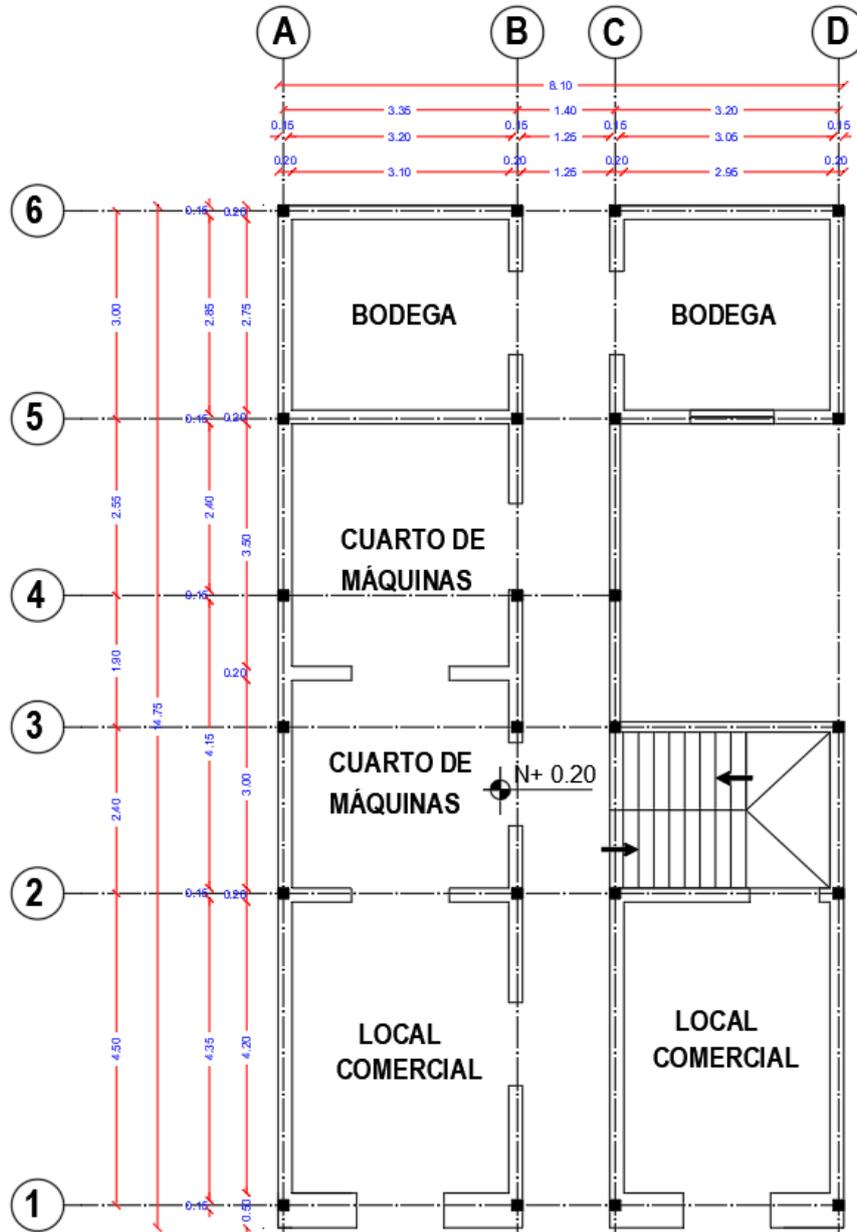


Figura 23. Detalles planta Alta N+3,85 m vivienda irregular

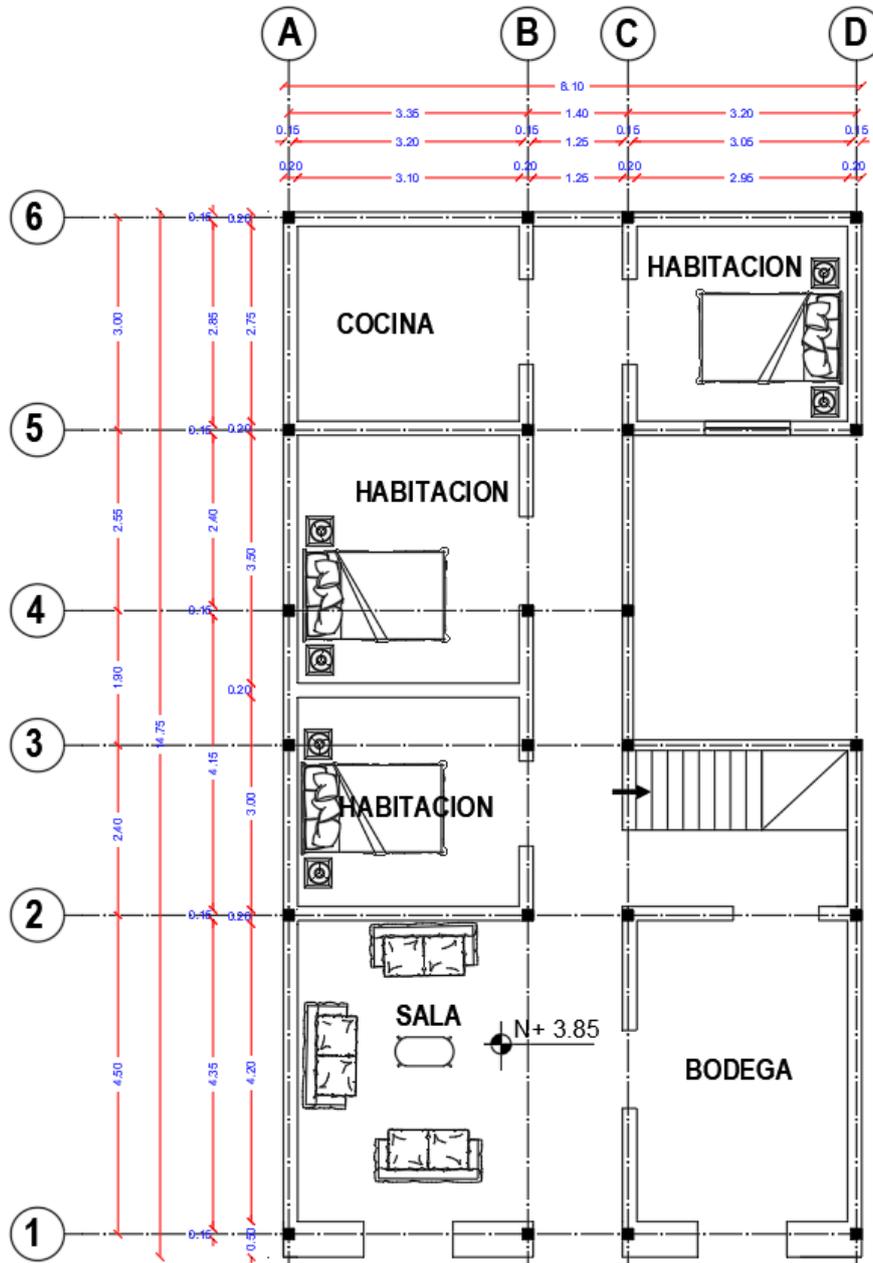
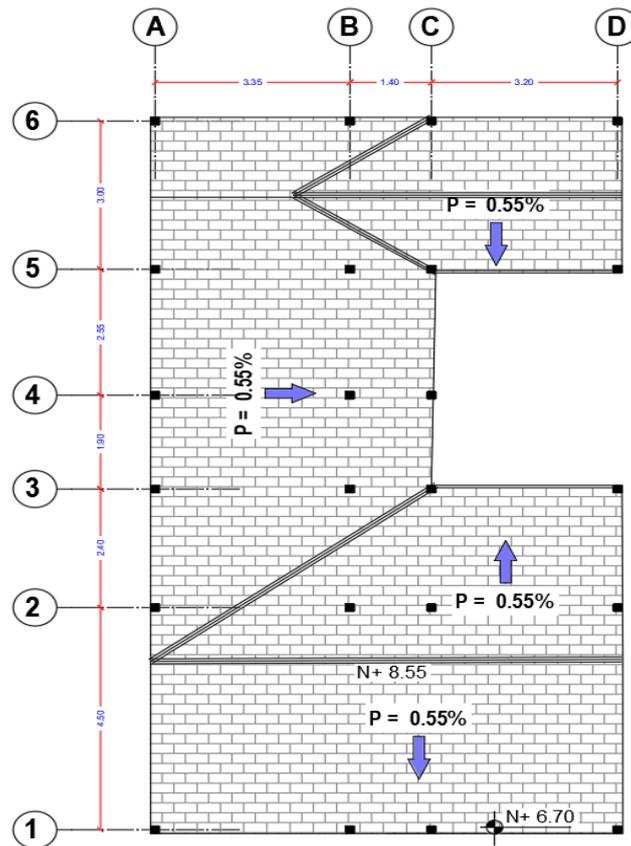


Figura 24. Detalles de cubierta N+ 6,70 m vivienda irregular



3.1.5 Cuantificación de Cargas

3.1.5.1 Carga Muerta Entrepiso

Como muestra la tabla 12 la carga Muerta calculada para el entrepiso de la vivienda patrimonial es de 0.0458 t/m^2 , la misma que se encuentra distribuida en las viguetas que conforman el entrepiso.

Tabla 12. Cálculo de carga muerta

Peso específico Eucalipto	0.79	t/m^3
Espesor del entablado (1m^2)	0.02	m
Volumen de entablado (1m^3)	0.02	m^3
Peso Propio	Cantidad	Unidades
Entablado	0.0158	t/m^2
Instalaciones	0.01	t/m^2
Acabado (Gypsum)	0.02	t/m^2
Carga Muerta total	0.0458	t/m^2

3.1.5.2 Carga Viva Cubierta

Para determinar las cargas vivas finales en correas centrales y correas, fueron sumadas la carga viva propuesta por la normativa (0.07 t/m^2) y el valor máximo entre la carga de granizo y ceniza, ya que existe una probabilidad muy baja de que los dos fenómenos sucedan en el mismo momento.

Tabla 13. Cálculo de cargas vivas de la cubierta

Carga por ceniza		
Peso específico ceniza	2.2	t/m^2
espesor	0.03	m
volumen	0.03	m^3
Peso Propio ceniza	0.066	t/m^2
Cargas por Granizo		
Peso específico granizo	1	t/m^2
Carga mínima en correa central (inclinación menor 15%)	0.05	t/m^2
Carga en Alero	0.1	t/m^2
Peso Propio en Alero	0.15	t/m^2

Del cálculo aplicado, la carga viva es 0.136 t/m^2 para correas centrales (incluye el peso propio de la ceniza más la carga viva de la norma) y 0.22 t/m^2 para correas del alero (incluye el peso propio por granizo más la carga viva de la Norma)

3.1.5.3 Carga Muerta Cubierta

Para la carga muerta, esta considerado los pesos propios de los materiales que componen la cubierta como la teja, instalaciones y los acabados.

Tabla 14. Cálculo de carga muerta para la cubierta

Peso Propio	Cantidad	Unidad
Instalaciones	0.01	t/m^2
Teja de barro	0.05	t/m^2
Acabado Gypsum	0.02	t/m^2
Carga Muerta	0.08	t/m^2

3.1.6 Resultados de la modelación.

Una vez calculadas las cargas vivas, cargas muertas y cargas dinámicas fueron asignadas a la estructura y se obtuvo el modelo inicial de cada estructura. Anexo 2.

Figura 25: Modelo inicial de la vivienda patrimonial regular

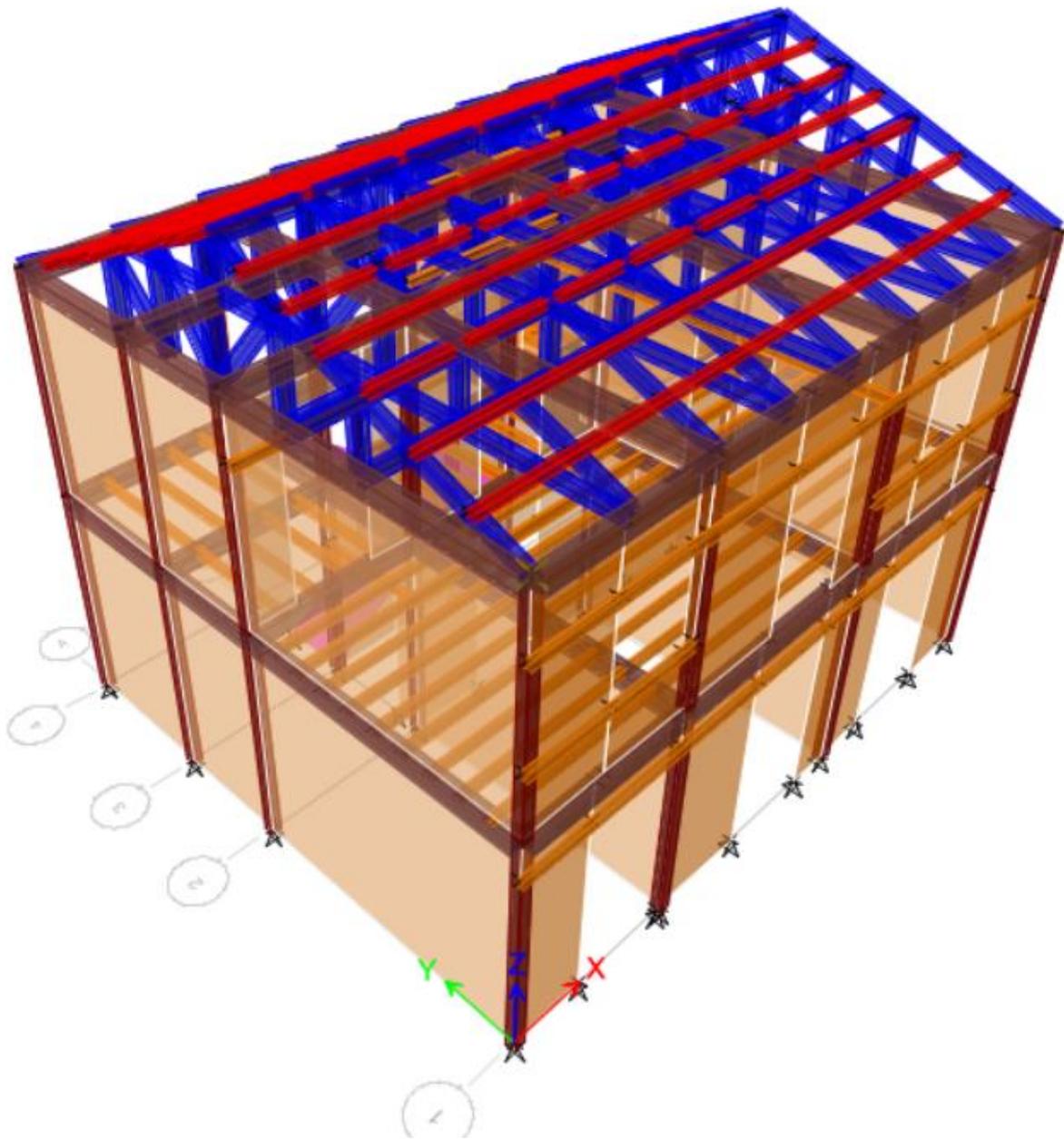


Figura 26. Modelo inicial de la vivienda patrimonial semirregular

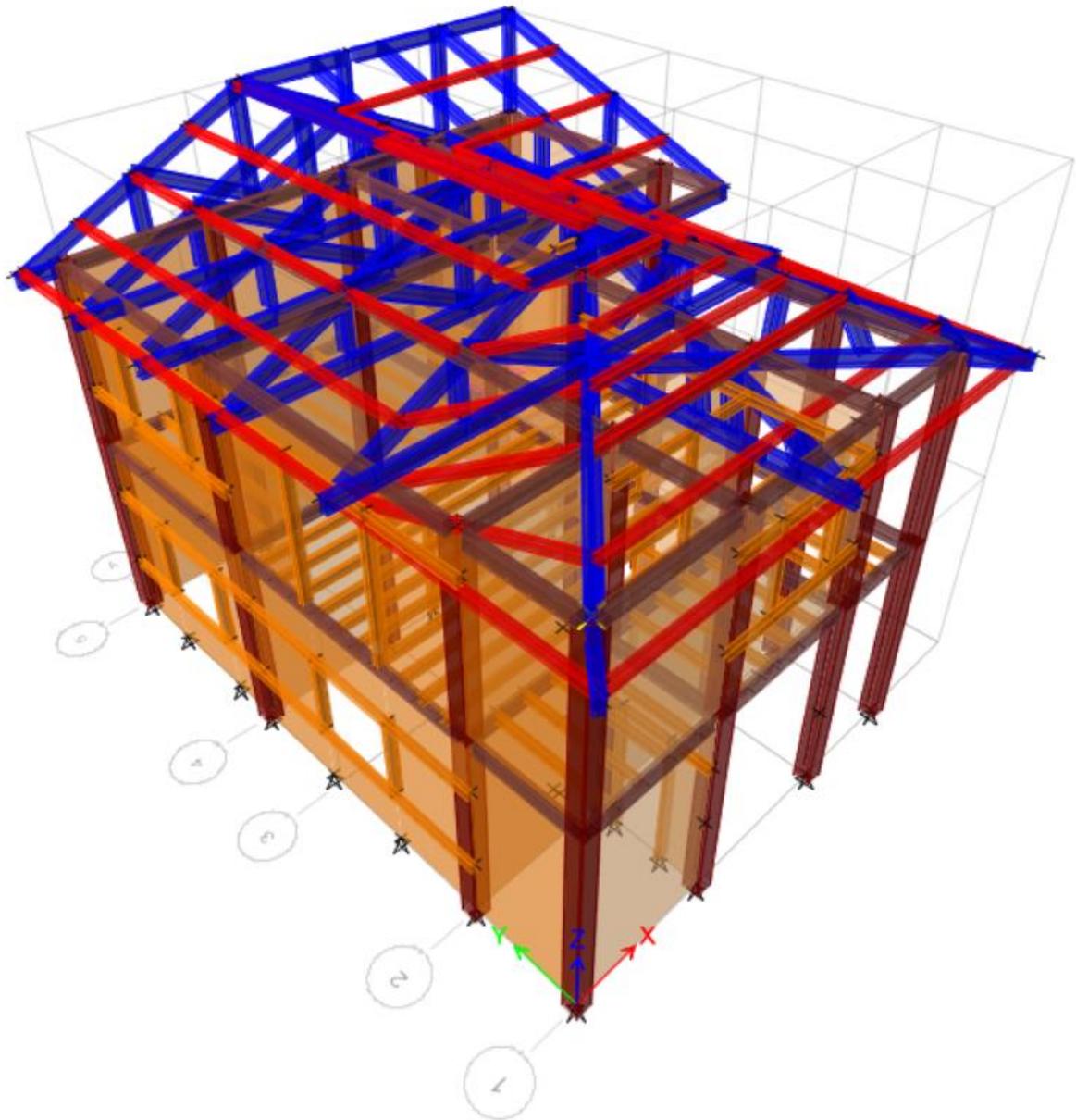
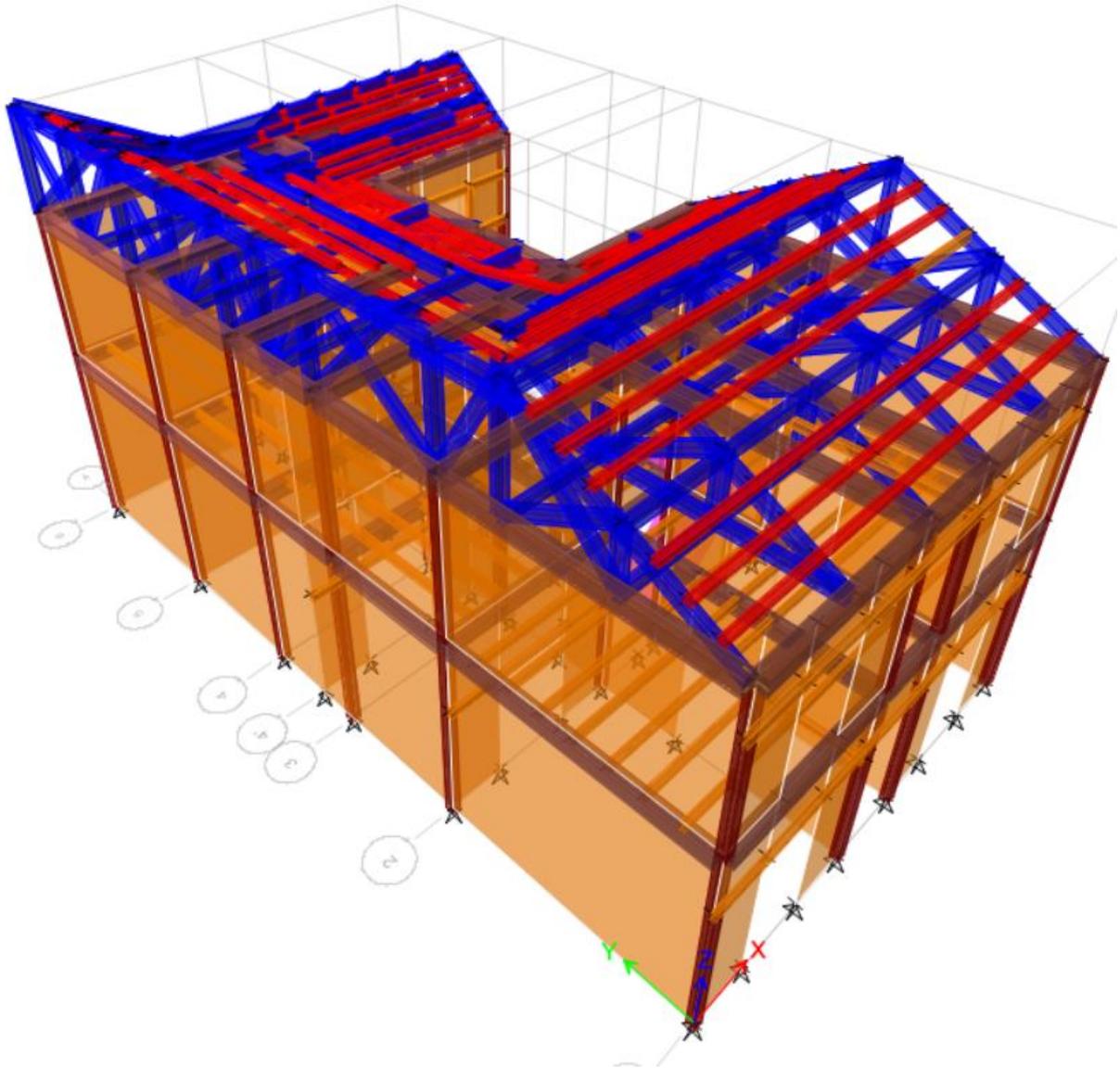


Figura 27. Modelo inicial de la vivienda patrimonial irregular



Finalmente, fue analizada la influencia de la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y módulo de corte del adobe en el comportamiento estructural de las viviendas patrimoniales seleccionadas como casos de estudio, a través de la modelación mediante la asistencia del software ETABS.

Para realizar el análisis cada propiedad mecánica del adobe fue variada, con la finalidad de observar la influencia que tienen en el periodo de la estructura, modos de vibración y derivas de piso obteniendo los siguientes resultados.

3.1.6.1 Módulo de Elasticidad vs Periodo Fundamental de la Estructura

Mediante la variación del módulo de elasticidad del adobe, fue analizada la influencia directa que este presenta en el periodo fundamental, como lo muestra la tabla y figuras a continuación.

Tabla 15. *Cálculo de carga muerta para la cubierta*

Em (MPa)	VIVIENDA REGULAR	VIVIENDA SEMIRREGULAR	VIVIENDA IRREGULAR
	T (s)	T (s)	T (s)
0.5	3.738	2.894	3.215
1	2.821	2.319	2.433
2	2.139	1.855	1.84
3	1.832	1.637	1.568
4	1.655	1.505	1.402
5	1.535	1.414	1.287
10.0	1.24	1.1730	0.9950
15.0	1.105	1.0490	0.8600
20.0	1.019	0.9660	0.7780
25.0	0.955	0.9030	0.7200
30.0	0.904	0.8530	0.6770
35.0	0.863	0.8120	0.6440
40.0	0.828	0.7770	0.6170
45.0	0.797	0.7470	0.5960
50.0	0.77	0.7210	0.5780
55.0	0.746	0.6980	0.5630
60.0	0.724	0.6780	0.5500
65.0	0.705	0.6610	0.5390
70.0	0.687	0.6470	0.5300
75.0	0.67	0.6370	0.5220
80.0	0.655	0.6300	0.5150
85.0	0.641	0.6270	0.5090
90.0	0.628	0.6240	0.5040
95.0	0.616	0.6220	0.5000
100.0	0.605	0.6200	0.4950

Figura 28. Módulo de elasticidad vs periodo fundamental de la vivienda regular

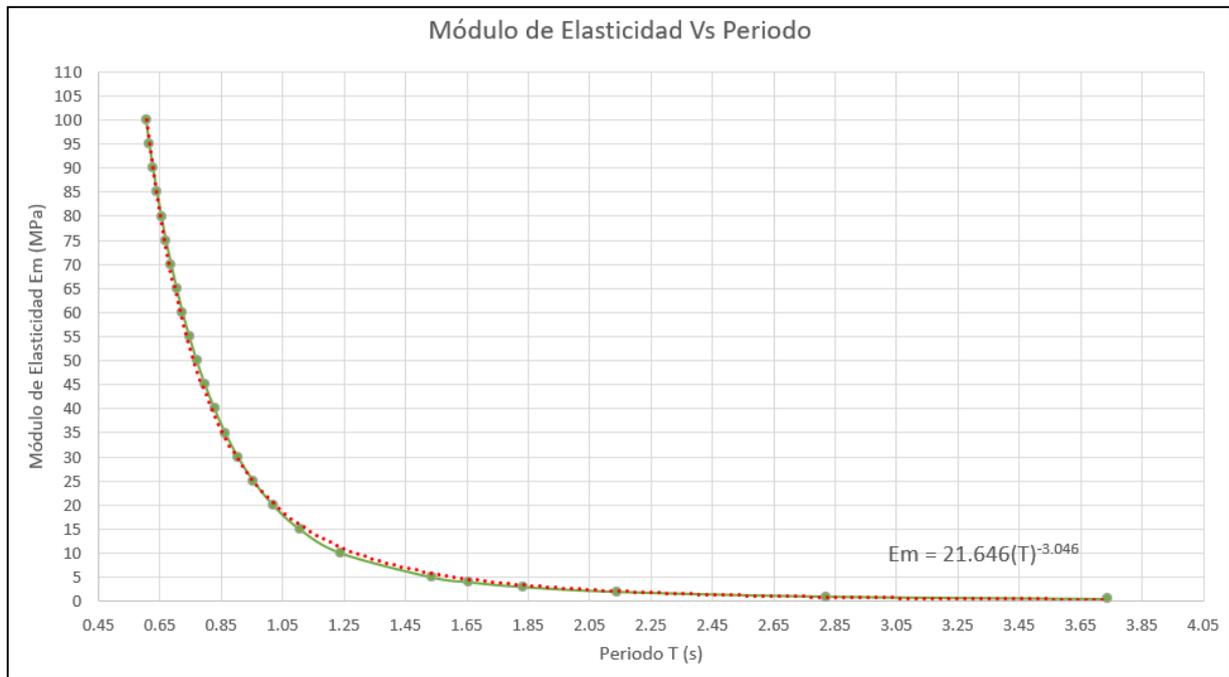


Figura 29. Módulo de elasticidad vs periodo fundamental de la vivienda semirregular

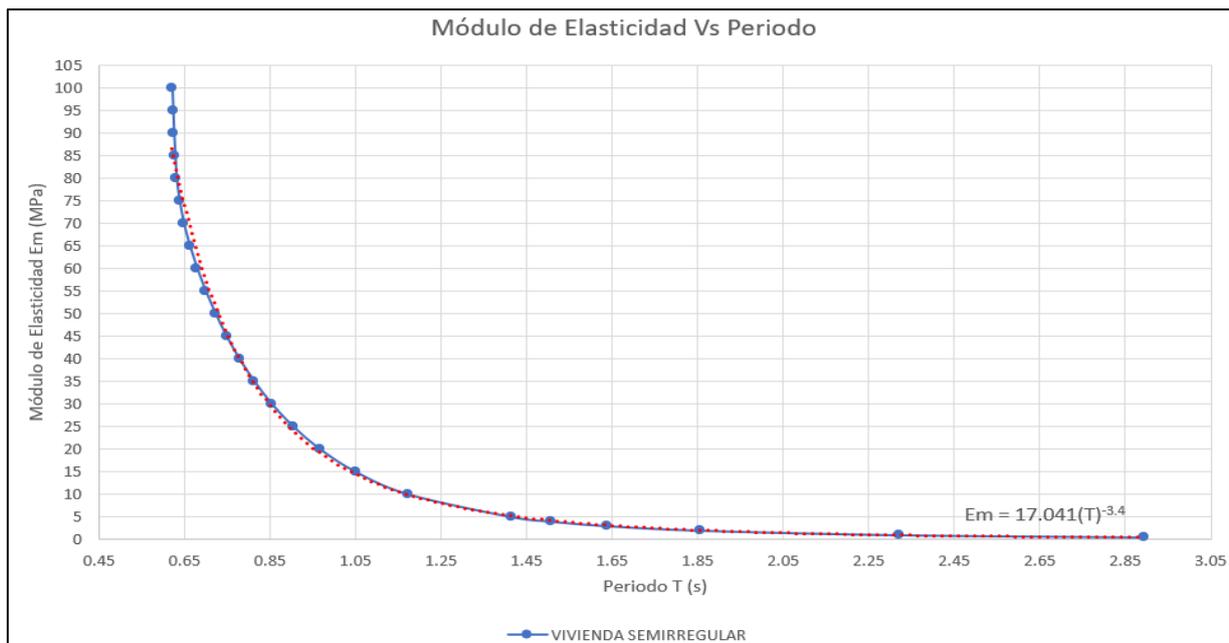
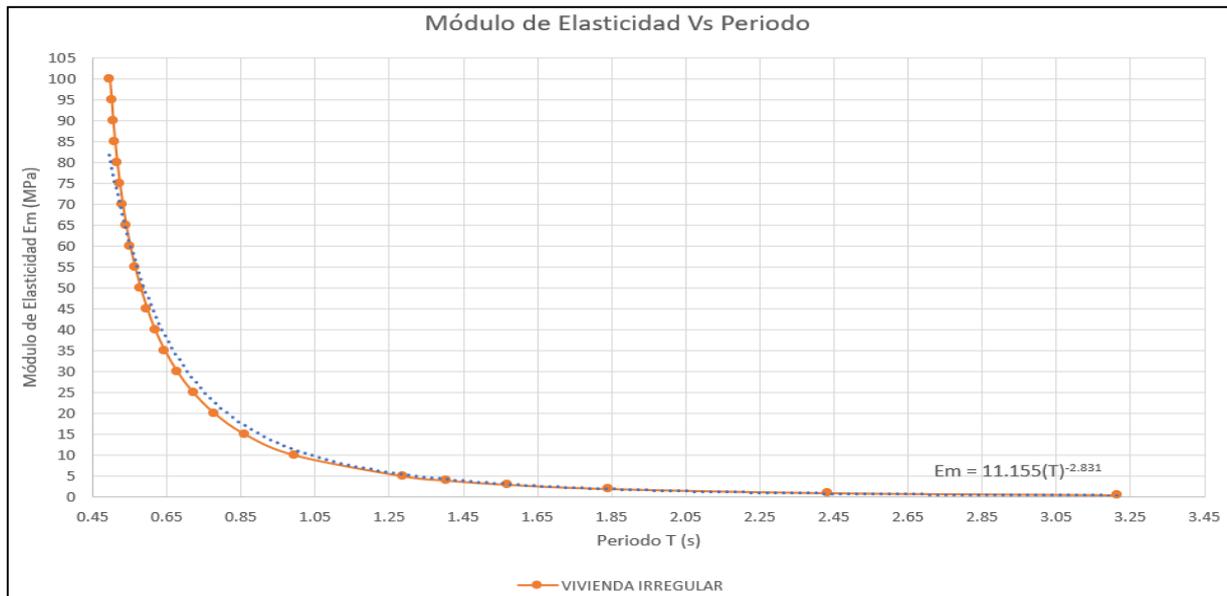


Figura 30. Módulo de elasticidad vs periodo fundamental de la vivienda irregular



La influencia del módulo de elasticidad en el periodo de la estructura varía en función de una curva potencial, debido a que a medida que aumenta el módulo de elasticidad la curva crece potencialmente mientras el periodo fundamental disminuye; esto sucede en los tres casos de estudio analizados. Si agregamos una línea de tendencia a la curva hallada se podrá establecer la ecuación que permita hallar los valores del módulo de elasticidad del adobe para cualquier periodo de la estructura.

Las ecuaciones encontradas con la ayuda de la línea de tendencia permiten tener una aproximación del módulo de elasticidad de la estructura en función de un periodo dado, esto será de gran ayuda para tener una breve idea del valor del módulo de elasticidad que debe tener el adobe para que la estructura tenga un comportamiento ideal.

$$Em = 21.646 * T^{-3.046} \quad (\text{Ecuación vivienda regular})$$

$$Em = 17.041 * T^{-3.4} \quad (\text{Ecuación vivienda semirregular})$$

$$Em = 11.155 * T^{-2.831} \quad (\text{Ecuación vivienda irregular})$$

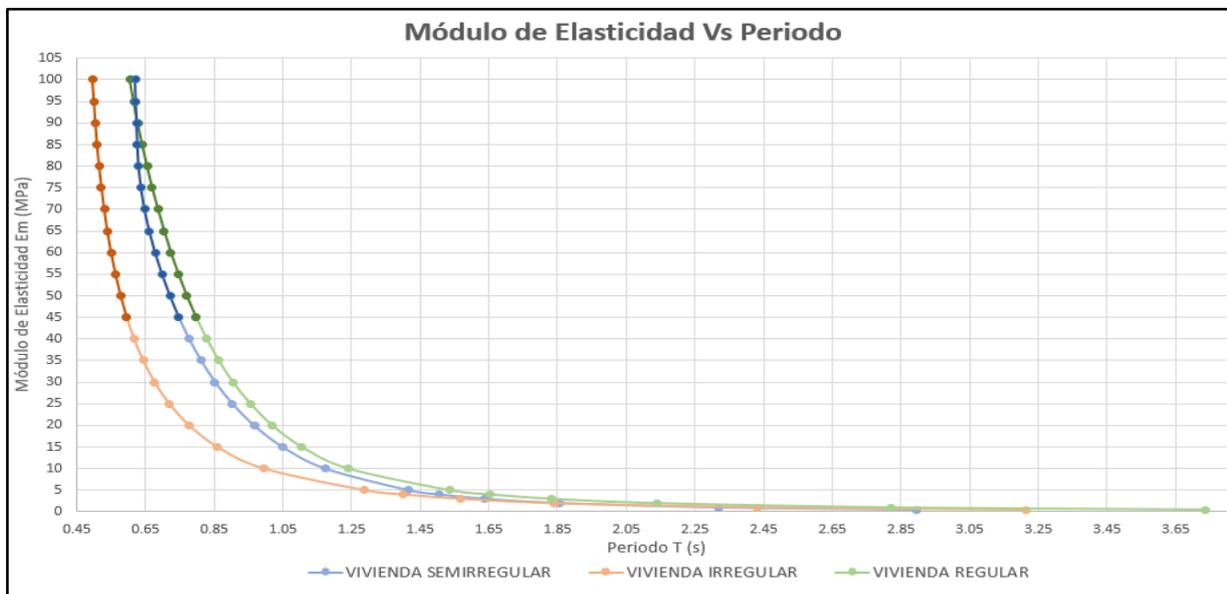
Dónde:

Em: Módulo de elasticidad del Adobe (MPa)

T: Periodo fundamental de la Estructura (s)

Además, al realizar una comparación del comportamiento de las tres estructuras en la figura 31 estas mantienen la tendencia de una curva potencial por lo que el comportamiento es similar para los tres casos de estudio.

Figura 31. *Módulo de elasticidad vs Periodo*



En las curvas encontradas se evidencian dos rangos dados por un punto de inflexión de aproximadamente 45 MPa en donde la curva cambia su tendencia en función del comportamiento estructural de las viviendas patrimoniales analizadas.

Si necesitamos que la estructura tenga un comportamiento rígido, es decir se encuentre en el rango inelástico los valores del módulo de elasticidad del adobe deben ser mayores a 45 MPa los cuales hacen referencia a muros de adobe reforzados, mientras que para valores menores a 45 MPa la estructura estaría presentando un comportamiento flexible como es el caso de las viviendas analizadas.

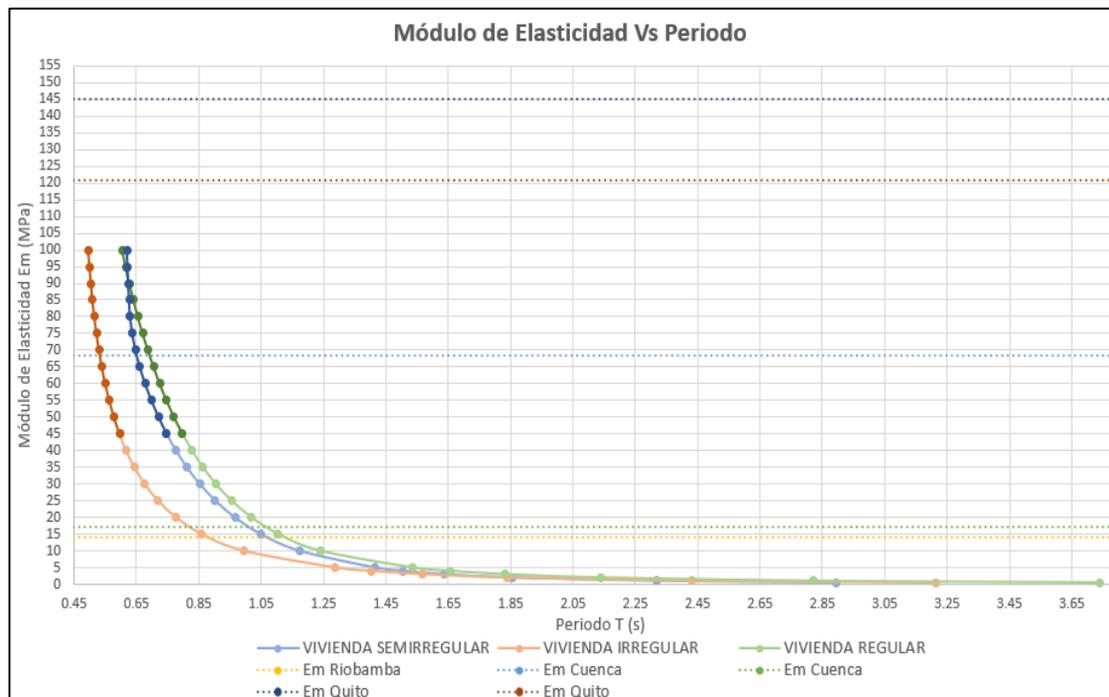
Debido a que en nuestro país no contamos con una normativa para las viviendas patrimoniales en varias ciudades del Ecuador se han realizado estudios para determinar la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad y módulo de corte del adobe. Los valores encontrados en las investigaciones varían en función del lugar de construcción de la estructura patrimonial, por lo que el módulo de elasticidad es único para cada vivienda.

Al realizar una comparación de los módulos de elasticidad de las diferentes ciudades del país con las curvas obtenidas, la figura 31 muestra el rango aproximado en el cual puede encontrarse el módulo de elasticidad correspondiente para cada estructura patrimonial. Cabe recalcar que las curvas encontradas solo corresponden a la ciudad de Riobamba y funcionan en base a la tipología, configuración y parámetros estructurales propios de las viviendas analizadas.

Tabla 16. Módulos de Elasticidad de diferentes ciudades de Ecuador

LUGAR	Em (MPa)	AUTOR
Riobamba	14	(Delgado, 2016)
Cuenca	68.5	(Aguilar & Quezada, 2017)
Cuenca	17	(Aguilar & Quezada, 2017)
Quito	145	(D. Bonilla & Merino, 2017)
Quito	121	(J. Bonilla & Ramos, 2013)

Figura 32. Comparación de los módulos de elasticidad



Al realizar la comparación las viviendas patrimoniales de la ciudad de Quito y Cuenca tienen mayor resistencia puesto que los muros de adobe tienen módulos de elasticidad mayores a 65 MPa, mientras que para la ciudad de Riobamba el adobe presenta un módulo de elasticidad menor a 14 MPa, por lo que la estructura presenta un comportamiento flexible.

3.1.6.2 Módulo de elasticidad vs Modos de Vibración de la Estructura

Para analizar la influencia del módulo de elasticidad del adobe en los modos de vibración de la estructura fueron ingresados en el software diferentes datos de este parámetro estructural con la finalidad de observar el comportamiento de la vivienda obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 17. Modos de vibración de la estructura

Em (Mpa)	MODO	VIVIENDA REGULAR			VIVIENDA SEMIRREGULAR			VIVIENDA IRREGULAR		
		UX	UY	RZ	UX	UY	RZ	UX	UY	RZ
0.5	1	38.78%	29.68%	27.22%	53.55%	14.62%	28.38%	77.96%	9.90%	11.20%
	2	33.81%	52.59%	0.83%	9.86%	81.82%	4.53%	17.65%	8.26%	73.16%
	3	12.98%	5.75%	60.75%	30.17%	0.00%	60.23%	3.22%	75.90%	13.91%
1.0	1	36.88%	41.76%	14.48%	63.48%	6.89%	23.46%	89.19%	6.32%	1.97%
	2	46.01%	40.53%	0.10%	4.89%	87.41%	2.30%	4.25%	7.37%	86.91%
	3	3.76%	4.52%	74.51%	18.57%	0.09%	49.89%	4.69%	80.29%	8.47%
2.0	1	46.48%	37.40%	4.21%	65.61%	4.52%	16.60%	88.67%	4.40%	0.10%
	2	39.80%	44.30%	0.51%	3.85%	84.32%	1.24%	0.02%	0.00%	94.04%
	3	0.03%	1.34%	83.30%	6.33%	0.09%	36.63%	6.25%	88.90%	0.06%
3.0	1	2.12%	76.75%	1.70%	62.11%	3.56%	12.73%	85.23%	3.46%	0.00%
	2	82.60%	2.14%	0.13%	3.38%	80.14%	0.63%	1.00%	8.58%	79.69%
	3	0.43%	0.09%	84.31%	2.38%	0.04%	33.34%	4.95%	80.63%	10.41%
4.0	1	7.04%	68.14%	0.96%	57.33%	2.79%	10.39%	81.85%	2.84%	0.02%
	2	75.57%	6.81%	0.01%	2.75%	76.66%	0.28%	1.98%	15.76%	68.73%
	3	0.82%	0.26%	80.52%	1.01%	0.01%	31.84%	3.81%	73.43%	16.90%
5.0	1	4.85%	66.01%	0.55%	52.72%	2.22%	8.87%	78.82%	2.39%	0.04%
	2	75.81%	4.66%	0.31%	2.19%	73.88%	0.11%	2.33%	17.55%	64.16%
	3	0.16%	2.34%	58.39%	0.51%	0.00%	30.71%	3.31%	71.36%	17.09%
10.0	1	1.94%	51.58%	0.00%	38.42%	1.07%	5.79%	68.08%	1.32%	0.04%
	2	71.54%	1.80%	2.65%	0.89%	66.31%	0.02%	1.68%	9.30%	60.25%
	3	1.10%	13.53%	11.53%	0.47%	0.06%	26.30%	3.22%	76.50%	5.18%
15.0	1	1.44%	42.71%	0.11%	32.39%	0.81%	4.85%	61.44%	0.92%	0.03%
	2	66.68%	1.32%	4.48%	0.55%	63.37%	0.08%	0.90%	4.00%	55.65%
	3	1.84%	18.98%	7.22%	8.99%	1.05%	11.64%	3.39%	78.03%	0.93%
20.0	1	1.27%	37.63%	0.22%	29.26%	0.76%	4.43%	56.78%	0.71%	0.04%
	2	62.10%	1.15%	5.84%	0.41%	61.69%	0.13%	0.54%	2.13%	49.44%
	3	3.01%	20.89%	3.96%	11.36%	1.17%	0.20%	3.24%	75.88%	0.16%
25.0	1	1.20%	34.42%	0.30%	27.36%	0.78%	4.21%	53.18%	0.59%	0.06%
	2	57.85%	1.07%	6.81%	0.33%	59.72%	0.17%	0.46%	1.33%	42.84%
	3	5.53%	18.41%	0.49%	5.57%	0.02%	0.00%	2.91%	72.19%	0.07%
30.0	1	1.15%	31.54%	0.52%	26.07%	0.86%	4.08%	50.15%	0.50%	0.10%
	2	54.64%	0.75%	7.97%	0.27%	56.33%	0.21%	0.59%	0.87%	36.56%
	3	9.38%	2.92%	8.47%	3.60%	1.19%	0.10%	2.58%	67.66%	0.10%
35.0	1	1.13%	30.05%	0.56%	25.13%	0.98%	4.00%	47.43%	0.44%	0.17%
	2	51.11%	0.73%	8.32%	0.23%	50.93%	0.26%	0.92%	0.57%	31.15%
	3	7.86%	1.31%	9.59%	2.88%	5.49%	0.37%	2.37%	62.74%	0.24%
40.0	1	1.14%	28.91%	0.58%	24.39%	1.17%	3.96%	44.85%	0.39%	0.27%
	2	47.85%	0.73%	8.42%	0.22%	44.01%	0.30%	1.47%	0.36%	26.75%
	3	5.45%	0.61%	9.69%	2.62%	11.75%	0.74%	2.44%	57.76%	0.46%
45.0	1	1.15%	27.99%	0.59%	23.76%	1.44%	3.96%	42.32%	0.35%	0.41%
	2	44.79%	0.73%	8.32%	0.24%	36.85%	0.34%	2.26%	0.23%	23.26%
	3	2.95%	0.31%	9.40%	2.56%	17.81%	1.18%	3.17%	52.30%	0.72%
50.0	1	1.18%	27.24%	0.60%	23.16%	1.85%	3.98%	39.81%	0.31%	0.57%
	2	41.85%	0.75%	8.07%	0.33%	30.40%	0.34%	3.24%	0.13%	20.50%
	3	1.07%	0.17%	9.02%	2.57%	22.08%	1.64%	6.21%	41.11%	0.82%
55.0	1	1.22%	26.60%	0.60%	22.50%	2.48%	4.04%	37.33%	0.27%	0.74%
	2	38.96%	0.77%	7.68%	0.55%	24.90%	0.30%	4.35%	0.08%	18.28%
	3	0.13%	0.11%	8.72%	2.61%	24.24%	2.05%	10.76%	14.79%	0.48%
60.0	1	1.27%	26.04%	0.59%	21.58%	3.55%	4.14%	34.91%	0.24%	0.93%
	2	36.08%	0.81%	7.19%	1.06%	20.06%	0.21%	5.52%	0.04%	16.48%
	3	0.07%	0.09%	8.57%	2.68%	24.83%	2.39%	9.55%	4.07%	0.25%
65.0	1	1.34%	25.55%	0.58%	19.89%	5.54%	4.27%	32.58%	0.21%	1.12%
	2	33.20%	0.86%	6.64%	2.35%	15.18%	0.06%	6.67%	0.02%	14.99%
	3	0.66%	0.09%	8.58%	2.78%	24.51%	2.66%	7.94%	1.59%	0.13%
70.0	1	1.43%	25.09%	0.56%	16.20%	9.16%	4.28%	30.40%	0.18%	1.29%
	2	30.34%	0.92%	6.06%	5.63%	9.35%	0.02%	7.71%	0.01%	13.74%
	3	1.67%	0.09%	8.69%	2.95%	23.76%	2.87%	6.94%	0.78%	0.05%
75.0	1	1.53%	24.65%	0.54%	10.15%	13.30%	3.80%	28.38%	0.16%	1.45%
	2	27.54%	1.00%	5.48%	11.25%	3.50%	0.45%	8.60%	0.00%	12.67%
	3	2.90%	0.11%	8.87%	3.17%	22.84%	3.05%	6.44%	0.44%	0.01%
80.0	1	1.67%	24.22%	0.51%	5.43%	14.86%	3.06%	26.53%	0.14%	1.60%
	2	24.83%	1.11%	4.93%	15.49%	0.65%	1.11%	9.28%	0.00%	11.75%
	3	4.20%	0.12%	9.08%	3.48%	21.87%	3.23%	6.30%	0.27%	0.00%
85.0	1	1.85%	23.77%	0.47%	3.15%	14.52%	2.55%	24.86%	0.12%	1.72%
	2	22.26%	1.28%	4.44%	17.21%	0.01%	1.51%	9.70%	0.00%	10.92%
	3	5.46%	0.14%	9.27%	3.90%	20.87%	3.41%	6.47%	0.17%	0.04%
90.0	1	2.09%	23.27%	0.42%	2.07%	13.71%	2.25%	23.35%	0.10%	1.83%
	2	19.85%	1.52%	4.00%	17.63%	0.14%	1.68%	9.80%	0.00%	10.14%
	3	6.61%	0.16%	9.43%	4.44%	19.86%	3.62%	6.94%	0.11%	0.14%
95.0	1	2.43%	22.67%	0.36%	1.51%	12.87%	2.07%	22.00%	0.09%	1.92%
	2	17.56%	1.88%	3.64%	17.39%	0.55%	1.68%	9.55%	0.01%	9.37%
	3	7.62%	0.18%	9.55%	5.15%	18.81%	3.86%	7.72%	0.07%	0.32%
100.0	1	2.92%	21.87%	0.29%	1.18%	12.11%	1.95%	20.80%	0.08%	1.99%
	2	15.34%	2.46%	3.35%	16.73%	1.15%	1.58%	8.91%	0.01%	8.57%
	3	8.46%	0.20%	9.64%	6.06%	17.68%	4.14%	8.85%	0.05%	0.62%

La tabla presenta los modos de vibración de la estructura; a medida que el módulo de elasticidad del adobe aumenta los porcentajes de participación modal de la estructura varía de forma descendente en las tres direcciones (UX, UY y RZ).

Además, la vivienda regular mantiene un comportamiento ideal a medida que el módulo de elasticidad aumenta, ya que sus dos primeros modos de vibración son traslacionales y su tercer modo de vibración es netamente torsional, esto debido a la configuración estructural en planta ya que mantiene sus ejes ortogonales en las dos direcciones; mientras que la vivienda semirregular e irregular no presentan un comportamiento ideal, ya que mientras el módulo de elasticidad aumenta presentan torsión, ya sea en el primer o segundo modo, por lo que la configuración en planta de cada vivienda influye de manera directa en los modos de vibración.

3.1.6.3 Módulo de Elasticidad vs Derivas de Piso de la Estructura

Al variar el módulo de elasticidad del adobe en la modelación estructural las derivas son influenciadas directamente por esta propiedad obteniendo los siguientes resultados para cada vivienda patrimonial.

Tabla 18. *Modos de vibración de la estructura*

Em (MPa)	VIVIENDA REGULAR		VIVIENDA SEMIRREGULAR		VIVIENDA IRREGULAR	
	DRIFT X	DRIFT Y	DRIFT X	DRIFT Y	DRIFT X	DRIFT Y
0.5	76.14%	81.35%	63.06%	55.46%	59.65%	50.03%
1	47.47%	52.84%	43.69%	36.42%	36.50%	29.16%
2	30.11%	35.44%	29.88%	23.57%	22.48%	16.53%
3	22.96%	28.63%	23.84%	18.19%	16.98%	11.82%
4	18.92%	24.80%	20.39%	15.15%	13.93%	9.30%
5	16.28%	22.26%	18.15%	13.13%	11.94%	7.71%
10.0	10.21%	16.02%	12.43%	8.33%	7.37%	4.30%
15.0	7.79%	13.13%	9.81%	6.35%	5.52%	3.15%
20.0	6.44%	11.31%	8.23%	5.22%	4.48%	2.52%
25.0	5.56%	10.01%	7.13%	4.49%	3.80%	2.13%
30.0	4.88%	9.04%	6.33%	3.96%	3.31%	1.85%
35.0	4.42%	8.26%	5.70%	3.57%	2.95%	1.65%
40.0	4.06%	7.61%	5.20%	3.26%	2.66%	1.49%
45.0	3.76%	7.07%	4.79%	3.01%	2.43%	1.36%

50.0	3.52%	6.61%	4.44%	2.80%	2.35%	1.26%
55.0	3.31%	6.21%	4.14%	2.63%	2.29%	1.17%
60.0	3.13%	5.86%	3.89%	2.48%	2.23%	1.09%
65.0	2.97%	5.56%	3.67%	2.35%	2.19%	1.03%
70.0	2.83%	5.28%	3.47%	2.30%	2.14%	0.97%
75.0	2.71%	5.04%	3.30%	2.27%	2.11%	0.92%
80.0	2.60%	4.81%	3.14%	2.25%	2.07%	0.88%
85.0	2.50%	4.61%	3.00%	2.23%	2.04%	0.84%
90.0	2.41%	4.43%	2.87%	2.21%	2.02%	0.80%
95.0	2.32%	4.26%	2.76%	2.19%	1.99%	0.77%
100.0	2.25%	4.11%	2.65%	2.18%	1.97%	0.74%

Figura 33. Módulo de elasticidad vs Deriva X vivienda regular

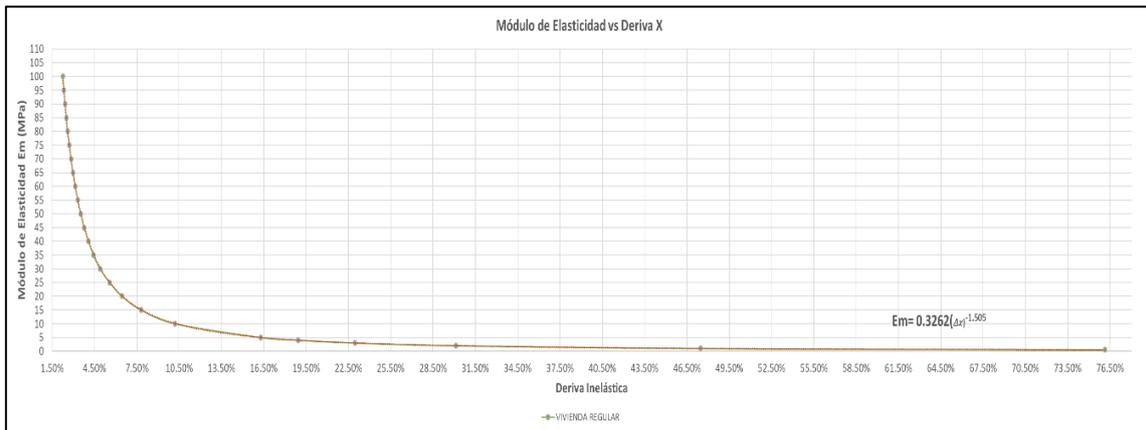


Figura 34. Módulo de elasticidad vs Deriva Y vivienda regular

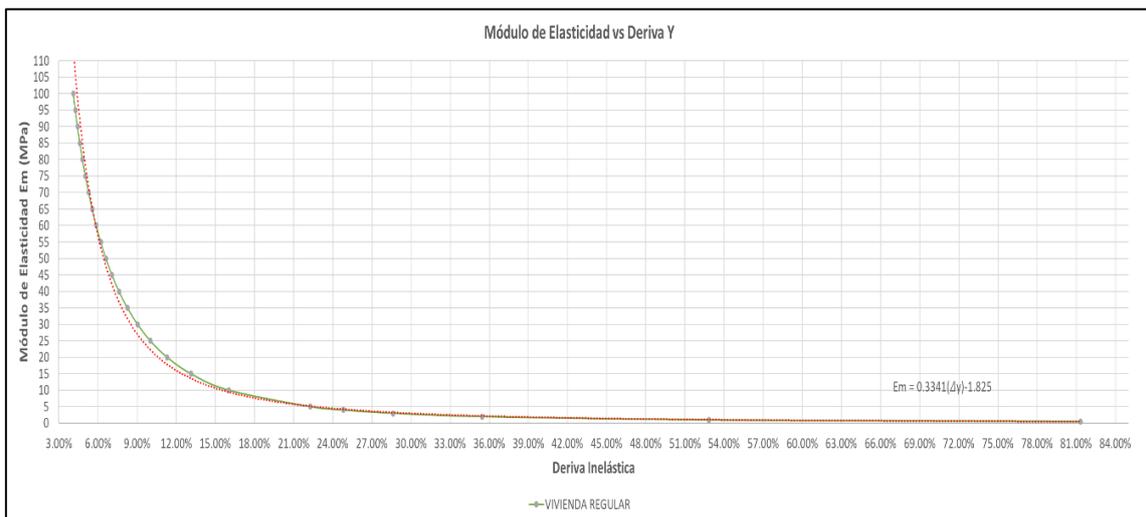


Figura 35. Módulo de elasticidad vs Deriva X vivienda semirregular

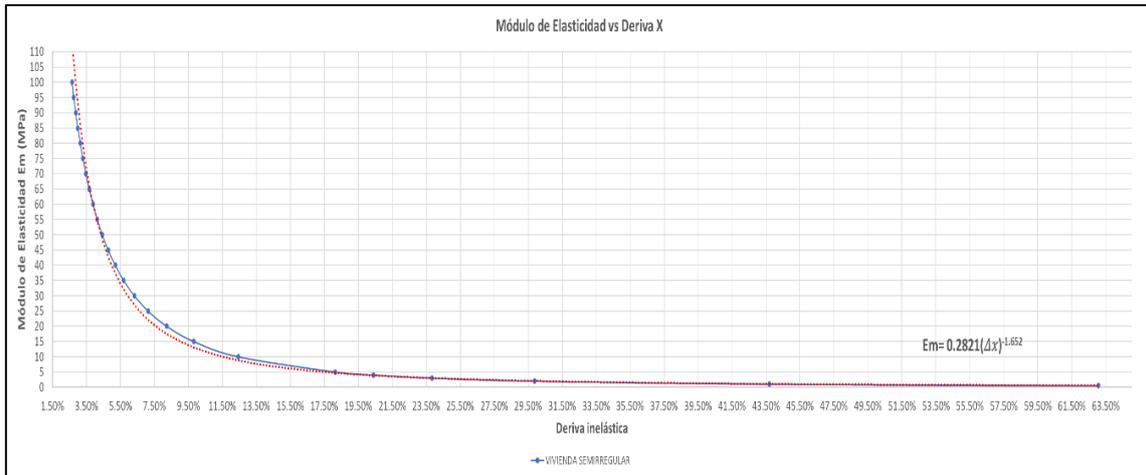


Figura 36. Módulo de elasticidad vs Deriva Y vivienda semirregular

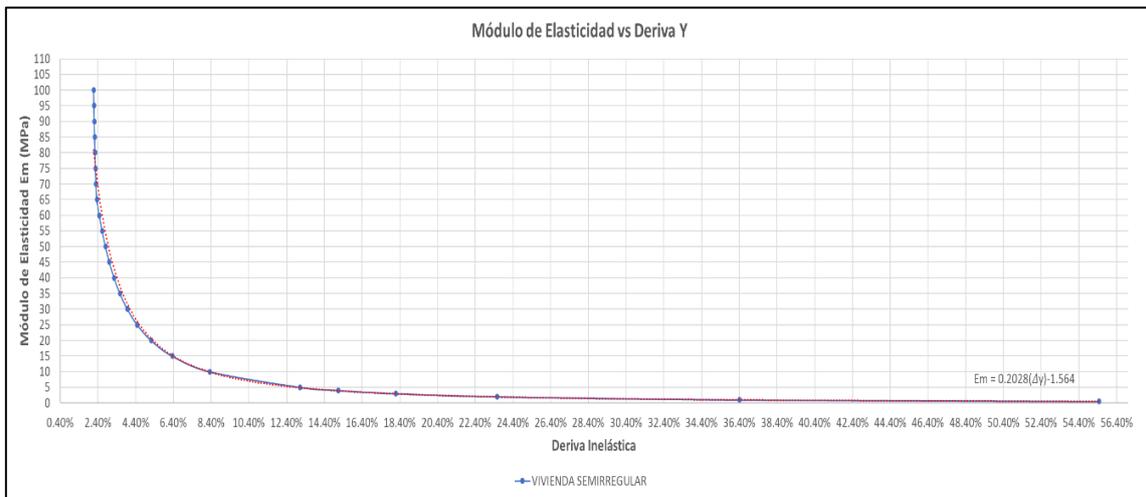


Figura 37. Módulo de elasticidad vs Deriva X vivienda irregular

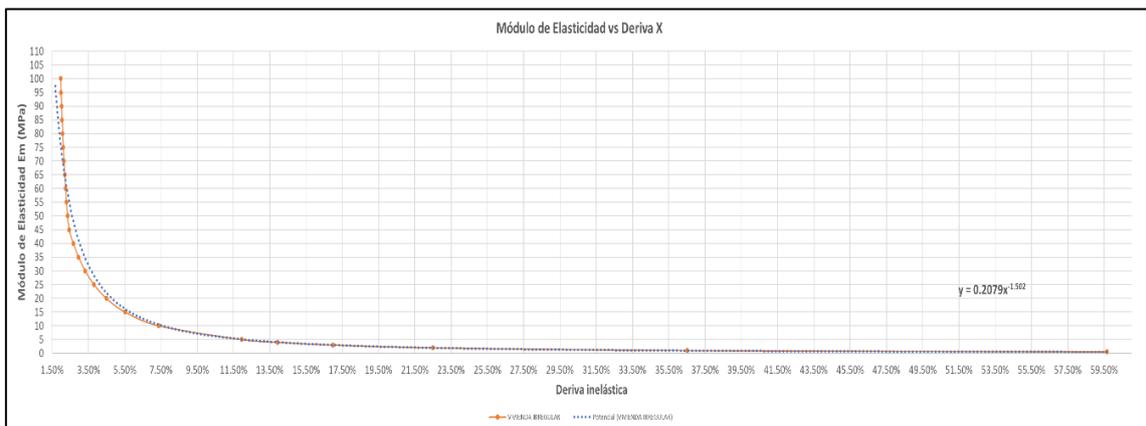
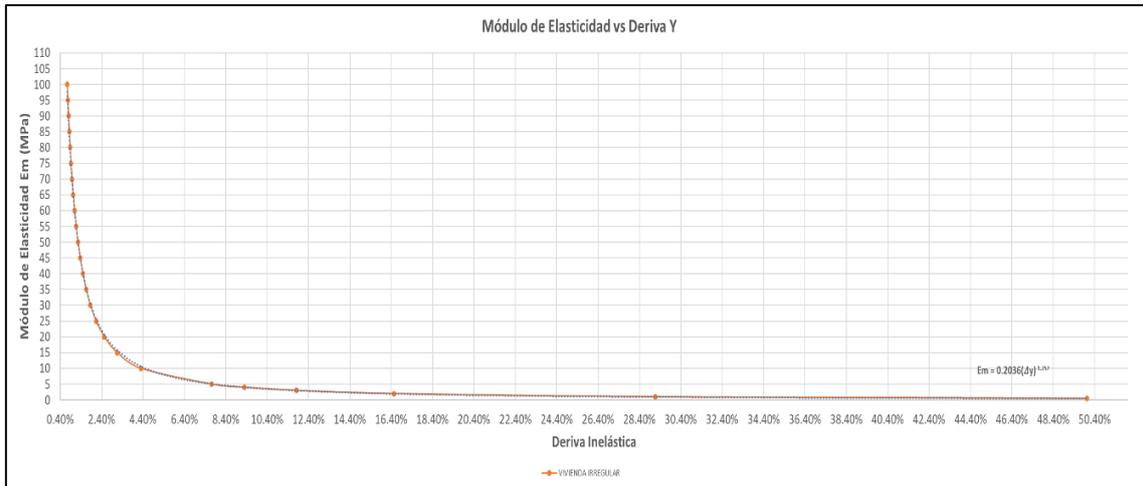


Figura 38. Módulo de elasticidad vs Deriva Y vivienda irregular



A medida que el módulo de elasticidad aumenta las derivas de piso disminuyen potencialmente, es decir, las derivas de piso son menores mientras mayor sea el módulo de elasticidad. Al trazar la línea de tendencia en cada una de las curvas se halla la ecuación de la curva que permite calcular los valores del módulo de elasticidad en función de la deriva.

Para las derivas en el sentido X, las siguientes ecuaciones son las siguientes:

$$Em = 0.3262 * \Delta x^{-1.505} \text{ (vivienda regular)}$$

$$Em = 0.2821 * \Delta x^{-1.652} \text{ (vivienda semirregular)}$$

$$Em = 0.2079 * \Delta x^{-1.502} \text{ (vivienda irregular)}$$

Donde:

Em: Módulo de elasticidad del adobe

Δx : Deriva inelástica en la dirección x.

Para las derivas en el sentido Y, las ecuaciones encontradas son:

$$Em = 0.3341 * \Delta y^{-1.825} \text{ (vivienda regular)}$$

$$Em = 0.2028 * \Delta y^{-1.564} \text{ (vivienda semirregular)}$$

$$Em = 0.2036 * \Delta y^{-1.257} \text{ (vivienda irregular)}$$

Donde:

Em: Módulo de elasticidad del adobe

Δy: Deriva inelástica en la dirección y.

Las ecuaciones encontradas en cada curva permiten tener una aproximación del módulo de elasticidad del adobe para cualquier valor de deriva de piso. Además, si comparamos las curvas encontradas de las tres viviendas analizadas en la figura 39 y 40 mantienen la misma tendencia por lo que el comportamiento de cada vivienda es similar.

Figura 39. Módulo de elasticidad vs Deriva X

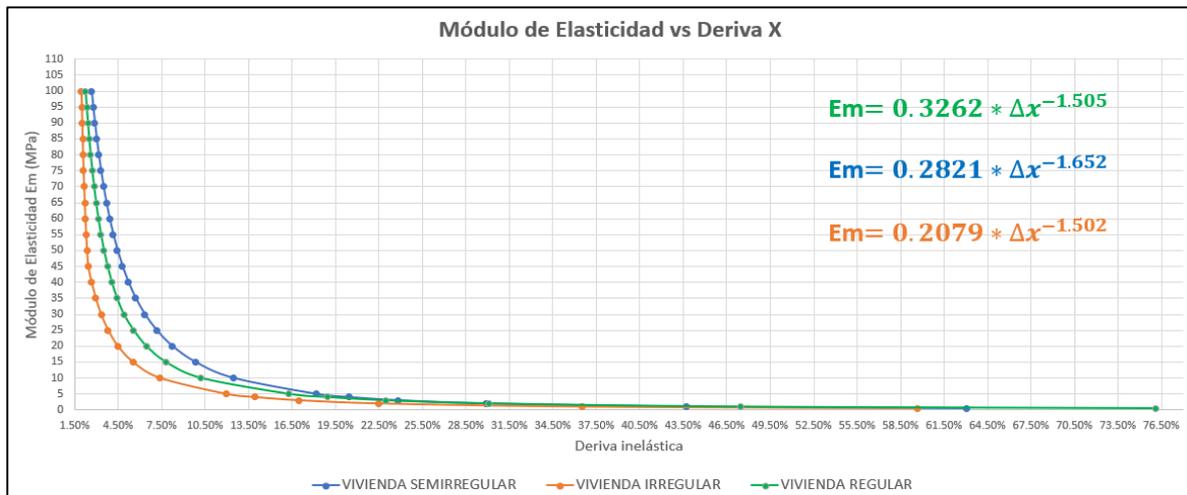
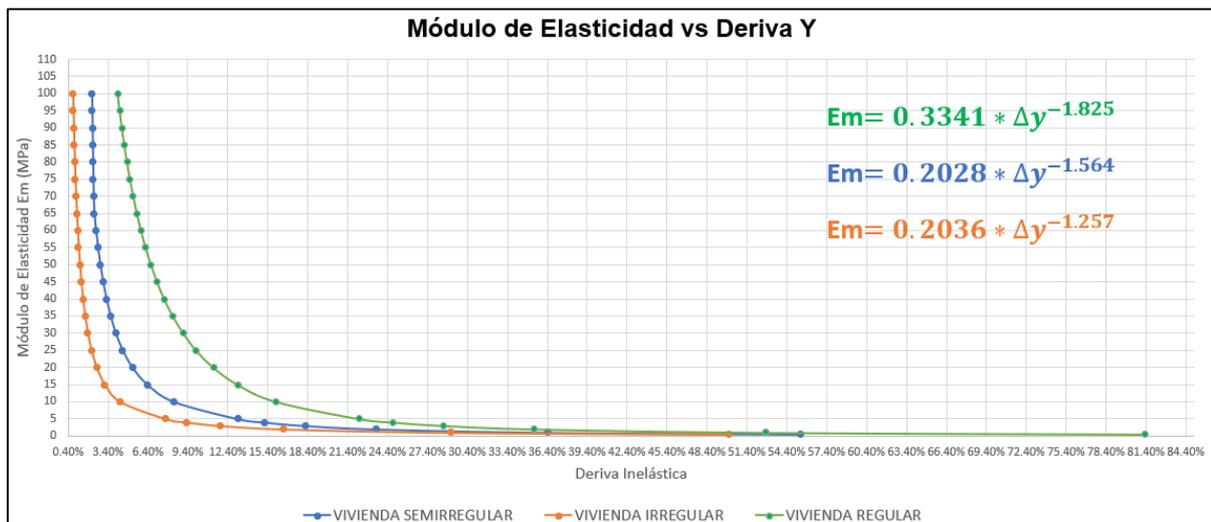


Figura 40. Módulo de elasticidad vs Deriva Y



En las figuras antes presentadas las derivas de piso están en función del módulo de elasticidad del adobe y adicionalmente están directamente influenciadas por el número de pórticos y espesor de muros de adobe en cada dirección, por lo que las curvas no pueden ser exactamente iguales debido a que cada vivienda presenta diferente número de pórticos y espesores de muros.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015), menciona que “la deriva máxima para cualquier piso no excederá los límites establecidos. La deriva máxima se expresa como un porcentaje de la altura de piso”.

Para las estructuras de mampostería la deriva máxima no deberá exceder a 0.01 o 1%, con la finalidad de que presente un adecuado comportamiento estructural frente a un sismo, por lo que las ecuaciones halladas pueden ser aplicadas para determinar el módulo de elasticidad necesario para que las estructuras no excedan el 1% de deriva de piso.

Tabla 19. Módulos de elasticidad para una deriva del 1%

Vivienda	Módulo de Elasticidad en la dirección X	Módulo de Elasticidad en la dirección Y
	$Em = 0.3262 * \Delta x^{-1.505}$	$Em = 0.3341 * \Delta y^{-1.825}$
Regular	$Em = 0.3262 * 0.01^{-1.505}$	$Em = 0.3341 * 0.01^{-1.825}$
	Em = 333.80 MPa	Em = 1492.37
	$Em = 0.2821 * \Delta x^{-1.652}$	$Em = 0.2028 * \Delta y^{-1.564}$
Semirregular	$Em = 0.2821 * 0.01^{-1.652}$	$Em = 0.2028 * 0.01^{-1.564}$
	Em = 568 MPa	Em = 272.31
	$Em = 0.2079 * \Delta x^{-1.502}$	$Em = 0.2036 * \Delta y^{-1.257}$
Irregular	$Em = 0.2079 * 0.01^{-1.502}$	$Em = 0.2036 * 0.01^{-1.257}$
	Em = 209.82 MPa	Em = 66.49 MPa

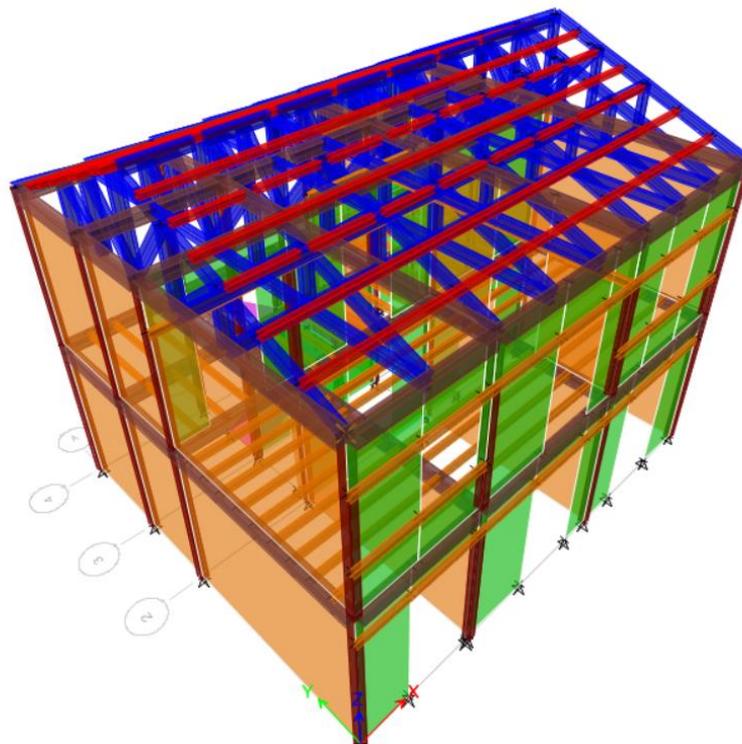
Al realizar los cálculos correspondientes la tabla 17 muestra los valores del módulo de elasticidad necesario para que cada una de las viviendas cumplan con la deriva máxima del 1% establecida por la norma ecuatoriana de la construcción.

Además, el módulo de elasticidad es diferente en cada dirección, lo cual se debe a que cada vivienda presenta un comportamiento diferente, siendo más vulnerable en una dirección dependiendo de la configuración estructural, por lo que para realizar un adecuado reforzamiento de una vivienda patrimonial hay que tomar muy en cuenta la resistencia que deben tener los muros portantes en cada dirección con el fin de garantizar un adecuado comportamiento sismorresistente.

Para comprobar lo antes expuesto fueron ingresados los datos de los módulos de elasticidad hallados en cada una de las direcciones en los muros de adobe, con la finalidad de comprobar que las derivas no excedan al 1% en cada una de las estructuras.

3.1.6.3.1 Vivienda Regular

Figura 41. Modelación con módulos de elasticidad corregidos



Nota. Los muros de color tomate representan los muros de adobe en la dirección X con un valor de módulo de elasticidad $E_m=333.80$ MPa y los muros de color verde representan los muros en la dirección Y con $E_m=1492.37$ MPa

Los módulos de elasticidad calculados fueron asignados a los muros en cada dirección, obteniendo los resultados de la modelación estructural, presentados a continuación.

Tabla 20. Resultados de modos de vibración

MODO	PERIODO	UX	UY	RZ
1	0.3940	6.45%	0.02%	1.780%
2	0.3680	0.18%	0.00%	0.510%
3	0.3500	1.73%	0.00%	0.240%

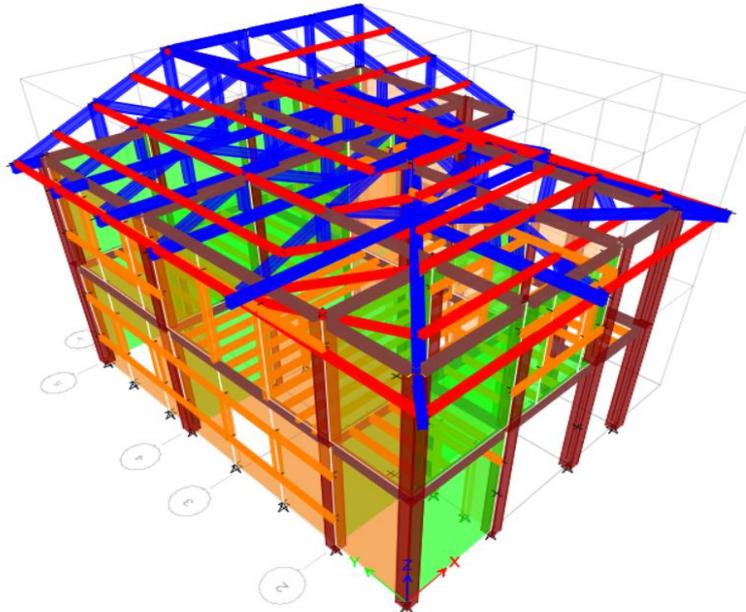
El periodo fundamental de la estructura es de 0.394 segundos, no presenta un comportamiento ideal ya que en el segundo modo de vibración la estructura presenta torsión lo cual indica que se debe rigidizar la estructura. Además, los resultados de derivas de piso son menores al 1% que establece la normativa, por lo que las ecuaciones encontradas permiten hallar los valores aproximados de módulo de elasticidad en cada dirección que permita rigidizar la estructura para obtener derivas menores al 1%.

Tabla 21. Derivas de piso

STORY	DRIFT X	DRIFT Y	Δ Inn X	Δ Inn Y	Δ max <1%	Δ max <1%
Story2	0.003034	0.003278	0.683%	0.738%	OK	OK
Story1	0.000893	0.001122	0.201%	0.252%	OK	OK
MAX	0.003034	0.003278	0.68%	0.74%	OK	OK

3.1.6.3.2 Vivienda Semirregular

Figura 42. Modelación con módulos de elasticidad corregidos



Nota. Los muros de color tomate representan los muros de adobe en la dirección X con un valor de módulo de elasticidad $E_m=568$. MPa y los muros de color verde representan los muros en la dirección Y con $E_m=272.31$ MPa

Con los módulos de elasticidad asignados a los muros en cada dirección, los resultados de la modelación estructural fueron los siguientes.

Tabla 22. Resultados de modos de vibración

MODO	PERIODO	UX	UY	RZ
1	0.5980	0.22%	4.69%	1.580%
2	0.47	0.01%	11.56%	0.780%
3	0.41	0.02%	0.28%	1.890%

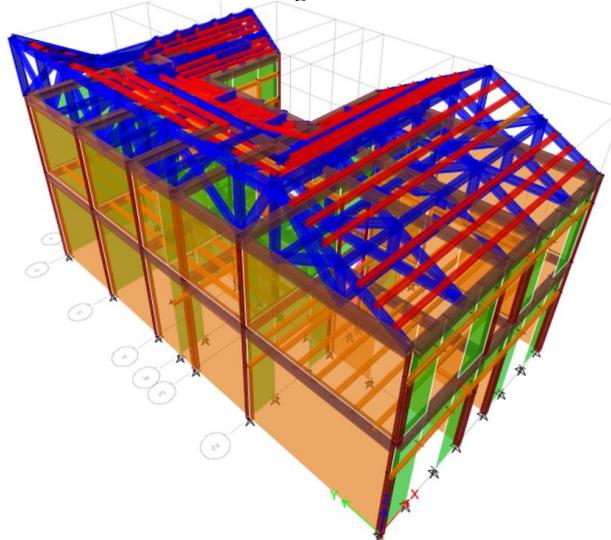
La estructura patrimonial presenta un periodo de 0.5980 segundos, presenta un comportamiento ideal, ya que los dos primeros modos de vibración son traslacionales y el tercer modo netamente torsional. Además, los resultados de derivas de piso son menores al 1% que establece la normativa, por lo que las ecuaciones encontradas permiten hallar los valores aproximados de módulo de elasticidad en cada dirección para que las derivas no excedan el 1%.

Tabla 23. Derivas de piso

STORY	DRIFT X	DRIFT Y	Δ Inn X	Δ Inn Y	Δ max <1%	Δ max <1%
Story2	0.003197	0.003197	0.719%	0.719%	OK	OK
Story1	0.003979	0.003296	0.895%	0.742%	OK	OK
MAX	0.003979	0.003296	0.90%	0.74%	OK	OK

3.1.6.3.3 Vivienda Semirregular

Figura 43. Modelación con módulos de elasticidad corregidos



Nota. Los muros de color tomate representan los muros de adobe en la dirección X con un valor de módulo de elasticidad $E_m=209.82$ MPa y los muros de color verde representan los muros en la dirección Y con $E_m=66.49$ MPa

Con los módulos de elasticidad asignados a los muros en cada dirección, los resultados de la modelación estructural son los presentados a continuación.

Tabla 24. Resultados de modos de vibración

MODO	PERIODO (s)	UX	UY	RZ
1	0.4700	22.34%	0.00%	2.060%
2	0.37	2.62%	0.00%	7.610%
3	0.34	42.12%	0.01%	10.280%

El periodo fundamental de la estructura es de 0.5980 segundos, no presenta un comportamiento ideal ya que el segundo modo de vibración presenta torsión y el tercer modo netamente traslacional. Además, los resultados de derivas de piso son menores al 1% que establece la normativa, por lo que las ecuaciones encontradas permiten hallar los valores aproximados de módulo de elasticidad en cada dirección para que las derivas sean menores al 1% como establece la normativa.

Tabla 25. Derivas de piso

STORY	DRIFT X	DRIFT Y	Δ Inn X	Δ Inn Y	Δ max <1%	Δ max <1%
Story2	0.004415	0.001783	0.993%	0.401%	OK	OK
Story1	0.004312	0.001205	0.970%	0.271%	OK	OK
MAX	0.004415	0.001783	0.99%	0.40%	OK	OK

3.1.6.4 Módulo de Corte vs Periodo Fundamental

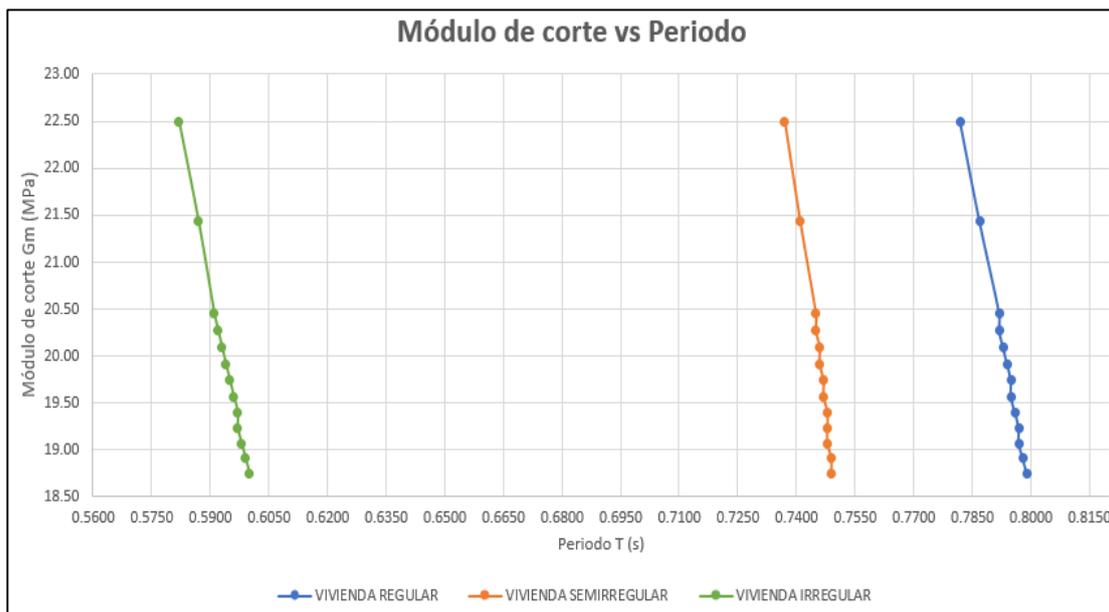
El módulo de corte está directamente relacionado con el coeficiente de Poisson y el módulo de elasticidad de la estructura, por lo que manteniendo un módulo de elasticidad constante y al variar el coeficiente de Poisson del adobe, el periodo fundamental y derivas fueron analizadas en cada estructura obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 26. Datos de periodo en función del módulo de corte

U	G (MPa)	VIVIENDA	VIVIENDA	VIVIENDA
		REGULAR	SEMIRREGULAR	IRREGULAR
		t(s)	t(s)	t(s)
0.0001	22.50	0.7820	0.737	0.5820
0.05	21.43	0.7870	0.741	0.5870
0.1	20.45	0.7920	0.745	0.5910
0.11	20.27	0.7920	0.745	0.5920
0.12	20.09	0.7930	0.746	0.5930
0.13	19.91	0.7940	0.746	0.5940
0.14	19.74	0.7950	0.747	0.5950
0.15	19.57	0.7950	0.747	0.5960
0.16	19.40	0.7960	0.748	0.5970
0.17	19.23	0.7970	0.748	0.5970
0.18	19.07	0.7970	0.748	0.5980
0.19	18.91	0.7980	0.749	0.5990
0.2	18.75	0.7990	0.749	0.6000

Nota. Se utilizaron valores menores a 0.2 para el coeficiente de Poisson ya que Ramos & Bonilla “recomiendan un valor de módulo de Poisson menor al del hormigón el cual es 0.2”

Figura 44. Módulo de corte vs Periodo



El módulo de Poisson y correspondiente módulo de corte no influyen de forma significativa a las variaciones de periodos fundamentales de cada estructura, en la figura a medida que el módulo de corte disminuye el periodo aumenta a razón de 0.1%.

3.1.6.5 Módulo de Corte vs Derivas de Piso

Los valores integrados para el módulo de corte calculados en la tabla 24 para encontrar la influencia que presenta sobre las derivas de piso.

Tabla 27. Datos del módulo de corte vs derivas inelásticas

u	Gm (MPa)	VIVIENDA REGULAR		VIVIENDA SEMIRREGULAR		VIVIENDA IRREGULAR	
		DRIFT X	DRIFT Y	DRIFT X	DRIFT Y	DRIFT X	DRIFT Y
0.0001	22.50	3.53%	6.86%	4.60%	2.86%	2.39%	1.27%
0.05	21.43	3.60%	6.94%	4.67%	2.91%	2.40%	1.30%
0.1	20.45	3.65%	7.00%	4.73%	2.96%	2.41%	1.33%
0.11	20.27	3.66%	7.01%	4.74%	2.97%	2.41%	1.34%
0.12	20.09	3.67%	7.02%	4.76%	2.98%	2.41%	1.34%
0.13	19.91	3.68%	7.03%	4.77%	2.99%	2.41%	1.35%
0.14	19.74	3.70%	7.04%	4.78%	3.00%	2.42%	1.36%
0.15	19.57	3.71%	7.05%	4.79%	3.01%	2.43%	1.36%
0.16	19.40	3.72%	7.06%	4.79%	3.02%	2.44%	1.37%
0.17	19.23	3.73%	7.06%	4.80%	3.03%	2.45%	1.37%
0.18	19.07	3.74%	7.07%	4.81%	3.04%	2.45%	1.38%
0.19	18.91	3.75%	7.08%	4.82%	3.04%	2.46%	1.39%
0.2	18.75	3.75%	4.83%	3.05%	2.47%	1.39%	

Nota. Los valores de módulo de corte están calculados para un módulo de elasticidad $E_m=45\text{MPa}$, valor que se mantiene constante

Figura 45. Módulo de Corte vs Derivas máximas en X

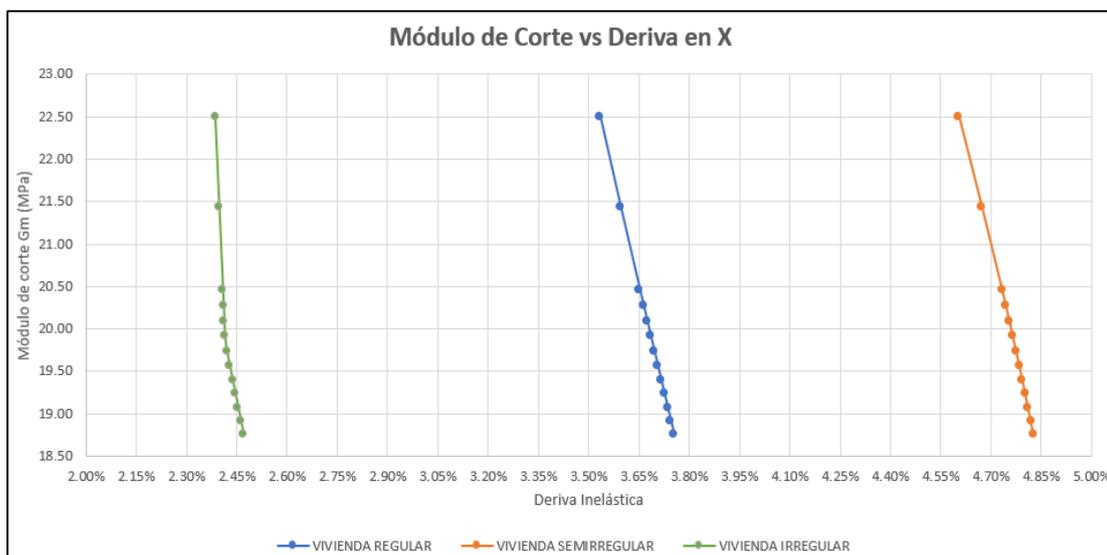
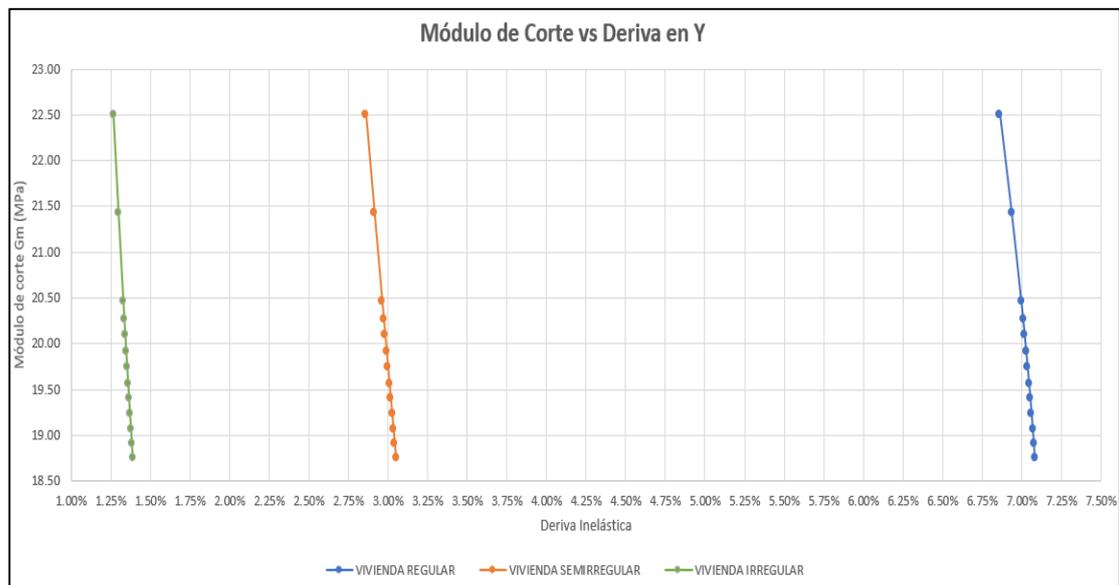


Figura 46. Módulo de Corte vs Derivas máximas en Y



El módulo de corte no presenta una influencia significativa en las derivas máximas de piso de cada estructura, ya que mientras el módulo de corte disminuye las derivas de piso aumentan a razón de 0.01%.

3.2 Discusión

3.2.1 Módulo de elasticidad vs periodo fundamental.

Mediante el análisis estructural de las viviendas patrimoniales seleccionadas como casos de estudio, la relación entre módulo de elasticidad y el periodo fundamental de la estructura fue determinado, obteniendo así varios resultados notables, ya que a medida que el módulo de elasticidad aumenta, el periodo fundamental disminuye de forma potencial.

Además, existen dos curvas importantes definidas por un punto de inflexión hallado, que es de 45MPa, las cuales permiten diferenciar si la estructura presenta un comportamiento rígido o flexible. Si los valores son mayores a este módulo de elasticidad, la estructura presenta comportamiento rígido y si el módulo de elasticidad es menor a 45 MPa la vivienda patrimonial está en la zona elástica, por lo que presenta un comportamiento flexible.

De este análisis fueron obtenidas tres ecuaciones que permiten calcular un valor aproximado del módulo de elasticidad para un periodo dado.

3.2.2 Módulo de Elasticidad vs Derivas de piso

Las derivas de piso están directamente influenciadas por el módulo de elasticidad del adobe, mientras mayor sea el módulo de elasticidad las derivas de piso serán menores debido a que la vivienda se vuelve más rígida.

Para viviendas de mampostería, como es el caso de las estructuras patrimoniales, la Norma Ecuatoriana de la Construcción establece que las derivas no deben ser mayores a 0.01 o 1% para garantizar un adecuado comportamiento, para lo cual es importante conocer el módulo de elasticidad adecuado en cada dirección que cumpla con la condición establecida por la normativa.

Gracias al análisis, el trabajo determinó las ecuaciones que permitan hallar el módulo de elasticidad en función de la deriva de piso para cada una de las estructuras analizadas y que al utilizar dichas ecuaciones las derivas de piso no superen el 1% que establece la Norma Ecuatoriana de la Construcción, los resultados de la tabla 17 muestra que el comportamiento estructural de cada vivienda es diferente en cada sentido, esto debido a que además del módulo de elasticidad influyen también el número de pórticos y espesor de los muros de adobe en cada sentido.

3.2.3 Módulo de Corte vs Periodo Fundamental y Derivas de Piso

Las figuras 44, 45 y 46 presentan los resultados obtenidos al variar el módulo de corte del adobe manteniendo un módulo de elasticidad constante de $E_m = 45$ MPa, evidenciando que este parámetro estructural no tiene una influencia significativa en el comportamiento estructural final de la edificación patrimonial, ya que el periodo fundamental y derivas de piso presentan variaciones menores al 0.1%.

CAPITULO IV

4 Conclusiones y Recomendaciones.

4.1 Conclusiones

Al cuantificar la influencia de las tres propiedades del adobe en el comportamiento estructural de las edificaciones patrimoniales analizadas como casos de estudio, las curvas del periodo fundamental vs módulo de elasticidad son curvas potenciales que se dividen en dos rangos determinados por un punto de inflexión de aproximadamente $E_m=45$ MPa, como mostró la figura 31. Para valores mayores a 45 MPa la estructura presentó un comportamiento rígido, mientras que para valores menores a 45 MPa la vivienda patrimonial se encuentra en el rango flexible.

La configuración estructural en planta influye de manera directa en los modos de vibración, ya que en estructuras regulares los dos primeros modos presentan traslación y el tercer modo es netamente torsional manteniendo un comportamiento sismorresistente ideal a medida que se varía el módulo de elasticidad, mientras que para estructuras irregulares el comportamiento no es ideal, ya que presenta torsión en el primer o segundo modo de vibración, por lo que las estructuras irregulares necesitan de una adecuada rigidización para tener un comportamiento sismorresistente ideal.

Al calcular el módulo de elasticidad necesario para que cada una de las estructuras no excedan el 0.01 de la deriva máxima de piso establecida por la NEC-15, la tabla 17 mostró que las estructuras necesitan mayor reforzamiento en un sentido; por lo que, al asignar un módulo de elasticidad a los muros en la dirección X y un módulo de elasticidad diferente en la dirección Y, cada una de las viviendas no exceden la deriva de 1%, concluyendo así que los valores altos de módulo de elasticidad hacen referencia a estructuras reforzadas y los bajos representarían estructuras no reforzadas.

El módulo de Poisson y su correspondiente módulo de corte no influyen de forma significativa a los valores de periodos y derivas inelásticas en una estructura patrimonial, debido a que la variación del periodo fundamental y derivas de piso no exceden al 0.1%.

En base a la investigación bibliográfica del adobe y sus propiedades mecánicas en la rehabilitación estructural de edificaciones patrimoniales, no existe una normativa, guía o código nacional de diseño y rehabilitación sismorresistente de edificaciones patrimoniales, en donde se encuentren definidas dichas propiedades; por lo que, varias investigaciones en el país se han enfocado en determinar estos parámetros estructurales a través de ensayos de laboratorio con la finalidad de tener valores aproximados, produciendo que las estructuras patrimoniales sean rehabilitadas de manera empírica sin garantizar un adecuado comportamiento sismorresistente.

Mediante el uso de la técnica de muestreo no probabilístico por conveniencia, las viviendas patrimoniales seleccionadas como casos de estudio presentan algunas características similares como que las tres son de estilo tradicional y están encasilladas dentro de la época Republicana (1940-1950) de la ciudad de Riobamba. Estas fueron utilizadas para realizar el levantamiento topográfico y de información, obteniendo de esta manera los datos necesarios para la modelación estructural con la asistencia del software ETABS.

El módulo de elasticidad del adobe, al igual que otros materiales, es directamente proporcional a la resistencia a la compresión, por ende el análisis de la influencia de esta propiedad mecánica en el comportamiento estructural de edificaciones patrimoniales es igual al análisis realizado para el módulo de elasticidad. Sin embargo, debido a que el adobe es un material no homogéneo, el cálculo del módulo de elasticidad no es constante y varía en función de los materiales, técnica de fabricación, porcentaje de humedad, tiempo de secado, entre otras características que comprenden la muestra de adobe.

Al realizar una comparación entre el módulo de elasticidad de tres ciudades del Ecuador y la figura 32 (módulo de elasticidad vs periodo fundamental), la investigación concluye que, al utilizar el módulo de elasticidad, obtenido mediante ensayos de la ciudad de Riobamba y Cuenca, la vivienda analizada presenta un comportamiento flexible, mientras que si utilizamos valores de la ciudad de Quito el comportamiento de la vivienda será rígida.

En función de una ecuación potencial, cuando el módulo de elasticidad del adobe aumenta las derivas de piso disminuyen, puesto que las estructuras analizadas se vuelven más rígidas. De este análisis se obtuvieron ecuaciones para encontrar el módulo de elasticidad para una deriva de piso dada en cualquier dirección, permitiendo así encontrar un valor aproximado para que la estructura presente un comportamiento sismorresistente ideal.

Al analizar la influencia del módulo de elasticidad en el periodo y las derivas de piso de las viviendas patrimoniales, las tres curvas mantienen la misma tendencia potencial, concluyendo que la configuración en planta no influye directamente en el periodo y derivas de piso, ya que estas se encuentran influenciadas netamente por la cantidad de pórticos y el espesor de los muros, tal como mostraron las figuras 32, 39 y 40, en donde la vivienda irregular presentó mayor resistencia debido a que tiene muros con espesor de 20 cm y mayor cantidad de pórticos en relación a las otras viviendas analizadas cuyo espesor de los muros era menor y contaban con menor cantidad de pórticos.

4.2 Recomendaciones

En vista a los estudios realizados en esta investigación sobre las propiedades mecánicas del adobe y su influencia en el comportamiento estructural de edificaciones patrimoniales, es recomendable la creación de una norma nacional para el diseño y rehabilitación de viviendas patrimoniales, con la finalidad de garantizar que estas cumplan con un adecuado comportamiento ante eventos sísmicos.

Para aplicar las ecuaciones y gráficos encontrados en la presente investigación en futuras investigaciones, debe considerar que la geometría, configuración estructural, parámetros estructurales y uso de la vivienda a analizar, sean similares a los de esta investigación; ya que cada vivienda presenta un comportamiento diferente ante las cargas y sollicitaciones externas.

Realizar ensayos de laboratorio para determinar la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y módulo de corte del adobe, en muestras tomadas de viviendas patrimoniales de la ciudad de Riobamba con la finalidad de tener una base de datos de estas propiedades.

Aplicar la metodología de la presente investigación en diferentes casos de estudios y establecer comparaciones con las curvas y ecuaciones halladas mediante la modelación de la vivienda estructural analizada.

Luego del análisis estructural de los casos de estudios, debería aplicarse un reforzamiento a los muros portantes de adobe de las viviendas patrimoniales para garantizar que cumplan con un adecuado comportamiento sismorresistente y de esta manera evitar daños e incluso el colapso de las edificaciones.

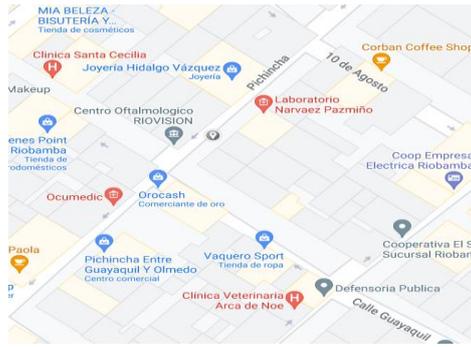
5 Bibliografía

- Aguilar, E., & Quezada, R. (2017). Caracterización física y mecánica del adobe en el cantón Cuenca (Universidad de Cuenca). Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28143>
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2004). Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. *Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica*, 90.
- Bonilla, D., & Merino, J. (2017). *Estudio de las propiedades físicas de la caña guadúa y su aplicación como refuerzo en la construcción de estructuras de adobe*. 189. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17267>
- Bonilla, J., & Ramos, J. (2013). *INVESTIGACIÓN DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL ALTERNATIVO BASADO EN EL REFORZAMIENTO DE PAREDES DE ADOBE*. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6892>
- Delgado, L. (2016). *TÉCNICAS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL EN LA REHABILITACIÓN DE EDIFICACIONES PATRIMONIALES* (Universidad Nacional de Chimborazo). Recuperado de <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6149>
- Egred, J. (2004). Terremoto de riobamba del 4 de febrero de 1797 .. *Instituto Geofísico/Departamento de Geofísica, 1*. Recuperado de <https://www.igepe.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/23-el-terremoto-de-riobamba-de-1797/file>
- Gatti, F. (2012). Arquitectura y construcción en tierra. *Universidad politécnica de Catalunya*, 101. Recuperado de <http://mastersuniversitaris.upc.edu/tecnologiaarquitectura>
- Instituto Nacional de Patrimonio. (2020). Bienes Patrimoniales del Ecuador. Recuperado el 6 de abril de 2021, de <http://sipce.patrimoniocultural.gob.ec:8080/IBPWeb/paginas/busquedaBienesMapa/busquedaMapa.jsf>
- Instituto Nacional de Patrimonio Cultural. (2019). Patrimonio Inmueble. Recuperado el 19 de febrero de 2021, de <http://sipce.patrimoniocultural.gob.ec:8080/IBPWeb/paginas/busquedaBienes/arborelResultNivel1.jsf>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2017). NORMA E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada. " *Resolución Ministerial, el Peruano.*, 1, 29.
- NEC-SE-CG. (2015). *NEC-SE-CG Cargas (No Sísmicas)*. Ecuador: <http://www.indeci.gob.pe/proyecto58530/objetos/archivos/20110606102841.pdf>.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). NEC-SE-DS Peligro Sísmico: Diseño Sismo Resistente. En *Peligro Sísmico: Diseño Sismo Resistente*. Ecuador.

- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Pérez, A. (2018, marzo 9). Coeficiente de Poisson. Recuperado el 2 de abril de 2021, de http://www.mecapedia.uji.es/coeficiente_de_Poisson.htm
- Rodríguez, J. (2019, diciembre 3). El adobe, el material de construcción de moda, práctico y sostenible. Recuperado el 31 de marzo de 2021, de <https://ielektro.es/2019/12/03/adobe-material-construccion-moda/>
- Sánchez, M. (2013). *Vulnerabilidad sísmica de construcciones patrimoniales históricas de mampostería en Chile: Aplicación a los torreones españoles de Valdivia* (Universidad Austral de Chile). Recuperado de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmficis211v/doc/bmficis211v.pdf>
- Segovia, L. (2020, julio 1). Estructuras patrimoniales de Riobamba. Recuperado de <https://us04web.zoom.us/j/72442742700?pwd=eVIUeFFuMSttcMz3dTMrN2dCV1p4UT09>
- Siza, J., & Martínez, J. (2009). *Propiedades Físico-Mecánicas del Eucalipto y aplicación al diseño estructural de una vivienda parte de una granja integral, ubicada en El Iasa I*. 208. Recuperado de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2050/1/T-ESPE-021896.pdf>
- UNESCO. (1972). Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural. 17a. <https://doi.org/10.22380/2539472X.392>
- Yajamin, A., & Valencia, A. (2009). *Análisis del reforzamiento estructural de una edificación de tipo patrimonial aplicación del estudio en la residencia Ibarra-Camacho construida en 1930* (ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO). Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/1779>

6 Anexos

6.1 Anexo 1: Levantamiento de información.

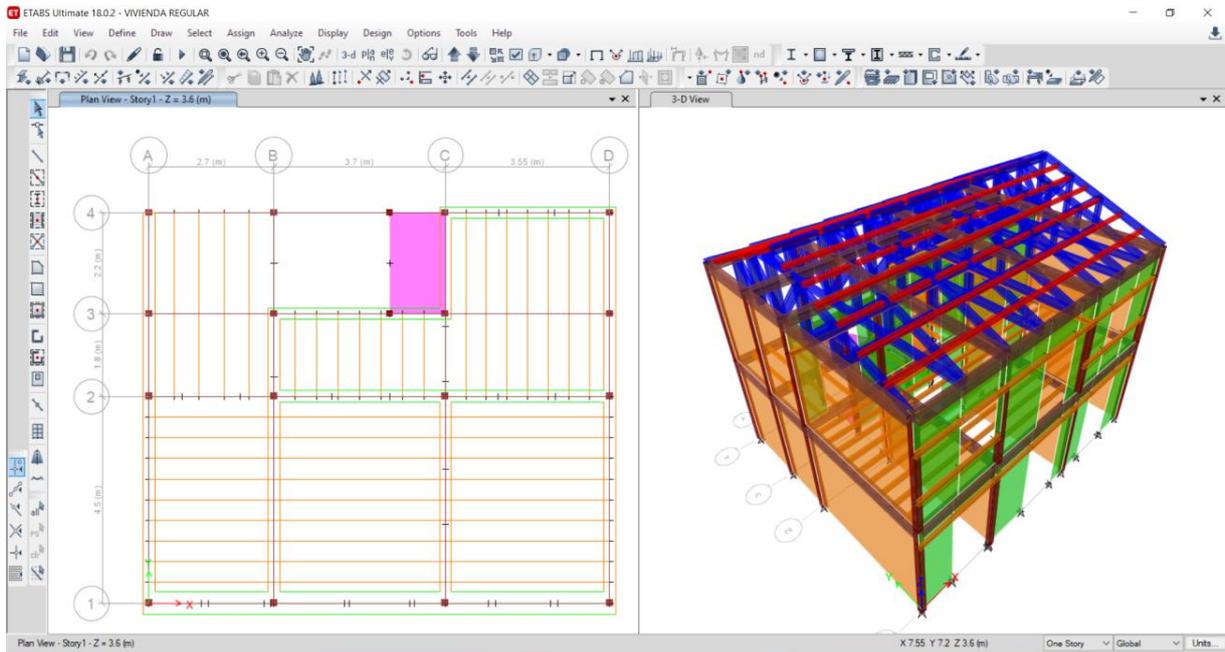
LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA VIVIENDA REGULAR					
CÓDIGO INPC	-----				
LOCALIZACIÓN				OCUPACIÓN	
PROVINCIA	Chimborazo	PARROQUIA	Velasco	Uso Vivienda	
CANTÓN	Riobamba	ZONA	La Merced		
DIRECCIÓN	Pichincha y Guayaquil				
RÉGIMEN DE PROPIEDAD		UBICACIÓN			
Nombre del propietario					
Tipo de Tenencia					Habitado
Época de construcción					Republicana
Fecha de Construcción					Siglo XX (1900-1999)
Tipología					Tradicional
Nº de frentes					1
Nº de Pisos					2
Altura de entripiso					P1= 3.60m -P2=3.50m
Cubierta					2 aguas
Altura de Cubierta	1.80 m				
TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL					
Elemento	Material	Dimensiones			
Cimentación	Piedra	-----			
Muros Portantes	Adobe	Muros internos e=20cm, muros externos e=50cm			
Columnas	Madera	Cuadradas de 15x15 cm			
Vigas	Madera	Rectangulares 20x25 cm			
Viguetas	Madera	Rectangulares 7x15 cm			
Vigas Cubierta	Madera	Rectangulares 10x20 cm			
Correas	Madera	Rectangulares 10X10 cm			
ESTADO DEL INMUEBLE		CONFIGURACIÓN			
Fachada	Buena	Planta	Regular		
Cubierta	Buena	Elevación	Regular		
Estructura	Regular	Tipo de Suelo	Tipo D		
Intervenciones	SI	Zona Sísmica	V		

LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA VIVIENDA SEMIRREGULAR				
CÓDIGO INPC	IBI-06-01-03-000-000012			
LOCALIZACIÓN				OCUPACIÓN
PROVINCIA	Chimborazo	PARROQUIA	Velasco	Uso Vivienda
CANTÓN	Riobamba	ZONA	Dávalos	
DIRECCIÓN	García Moreno y Febres Cordero (Esquina)			
RÉGIMEN DE PROPIEDAD		UBICACIÓN		
Nombre del propietario	Santiago Perez			
Tipo de Tenencia	Habitado			
Época de construcción	Republicana			
Fecha de Construcción	Siglo XX (1900-1999)			
Tipología	Tradicional			
N° de frentes	2			
N° de Pisos	2			
Altura de entrepiso	P1= 3.35m -P2=3m			
Cubierta	2 aguas			
Altura de Cubierta	1.80 m			
TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL				
Elemento	Material	Dimensiones		
Cimentación	Piedra	-----		
Muros Portantes	Adobe	Muros internos e=15cm, muros externos e=25cm		
Columnas	Madera	Cuadradas de 25x25 cm		
Vigas	Madera	Rectangulares 10x20 cm		
Viguetas	Madera	Rectangulares 7x15 cm		
Vigas Cubierta	Madera	Rectangulares 10x20 cm		
Correas	Madera	Rectangulares 10X10 cm		
ESTADO DEL INMUEBLE		CONFIGURACIÓN		
Fachada	Buena	Planta	Semirregular	
Cubierta	Buena	Elevación	Regular	
Estructura	Regular	Tipo de Suelo	Tipo D	
Intervenciones	SI	Zona Sísmica	V	

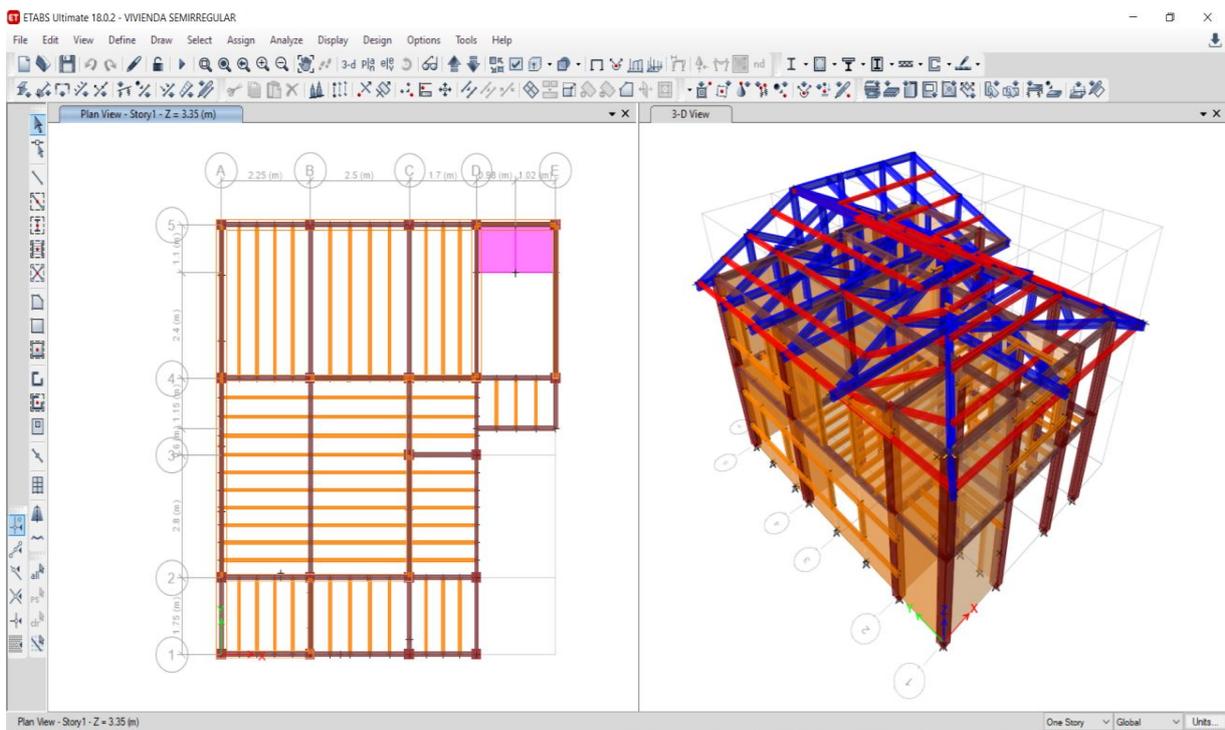
LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA VIVIENDA IRREGULAR				
CÓDIGO INPC	-----			
LOCALIZACIÓN				OCUPACIÓN
PROVINCIA	Chimborazo	PARROQUIA	Velasco	Uso Vivienda
CANTÓN	Riobamba	ZONA	La Panadería	
DIRECCIÓN	Pichincha entre Ayacucho y Junin			
RÉGIMEN DE PROPIEDAD		UBICACIÓN		
Nombre del propietario	Segundo Chiluiza			
Tipo de Tenencia	Habitado			
Época de construcción	Republicana			
Fecha de Construcción	Siglo XX (1900-1999)			
Tipología	Tradicional			
N° de frentes	1			
N° de Pisos	2			
Altura de entrepiso	P1= 3.65m -P2=2.85m			
Cubierta	2 aguas			
Altura de Cubierta	1.85 m			
TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL				
Elemento	Material	Dimensiones		
Cimentación	Piedra	-----		
Muros Portantes	Adobe	Muros internos e=20cm, muros externos e=50cm		
Columnas	Madera	Cuadradas de 15x15 cm		
Vigas	Madera	Rectangulares 20x25 cm		
Viguetas	Madera	Rectangulares 7x15 cm		
Vigas Cubierta	Madera	Rectangulares 10x20 cm		
Correas	Madera	Rectangulares 10X10 cm		
ESTADO DEL INMUEBLE		CONFIGURACIÓN		
Fachada	Buena	Planta	Irregular	
Cubierta	Buena	Elevación	Regular	
Estructura	Regular	Tipo de Suelo	Tipo D	
Intervenciones	SI	Zona Sísmica	V	

6.2 Anexo 2: Modelaciones estructurales Software ETABS

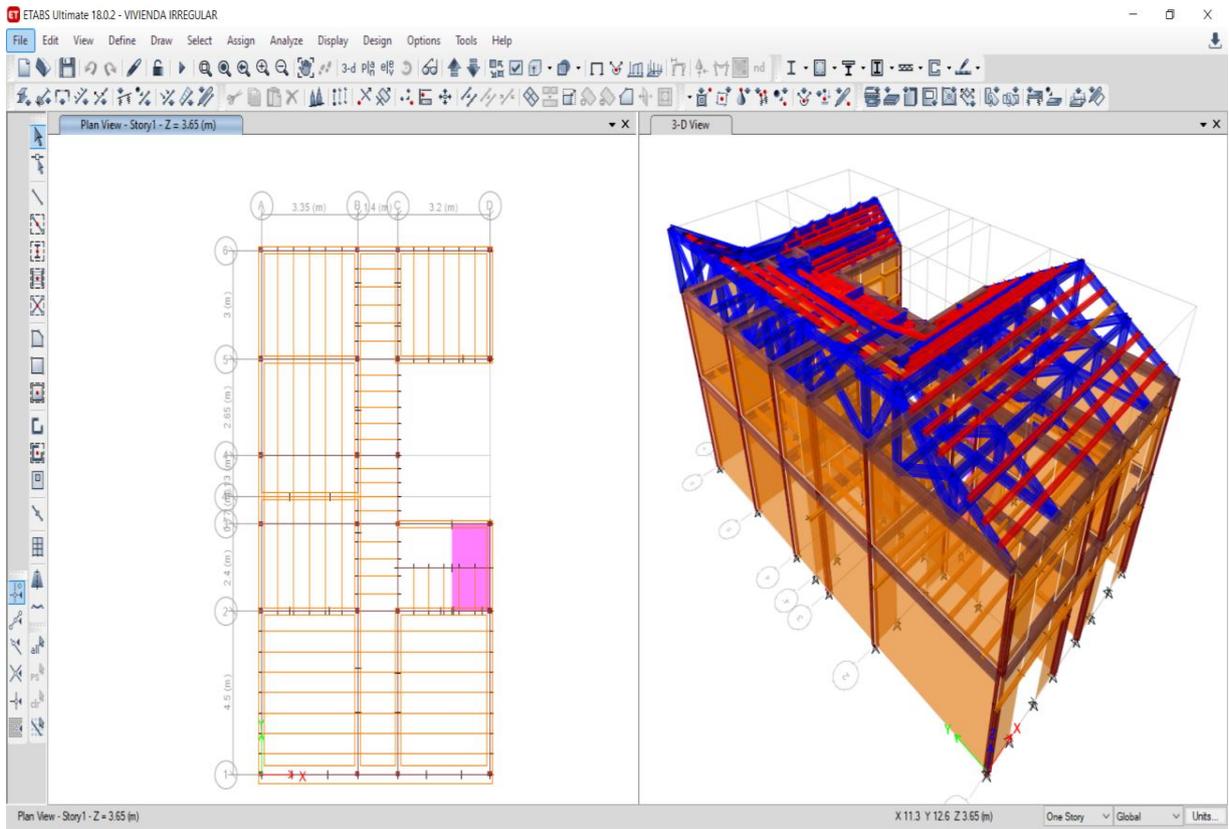
VIVIENDA REGULAR



VIVIENDA SEMIRREGULAR



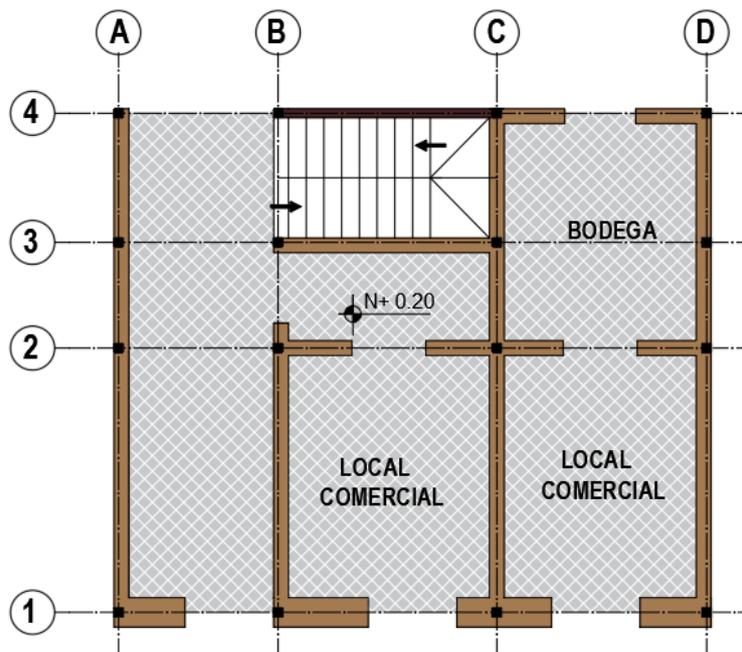
VIVIENDA IRREGULAR



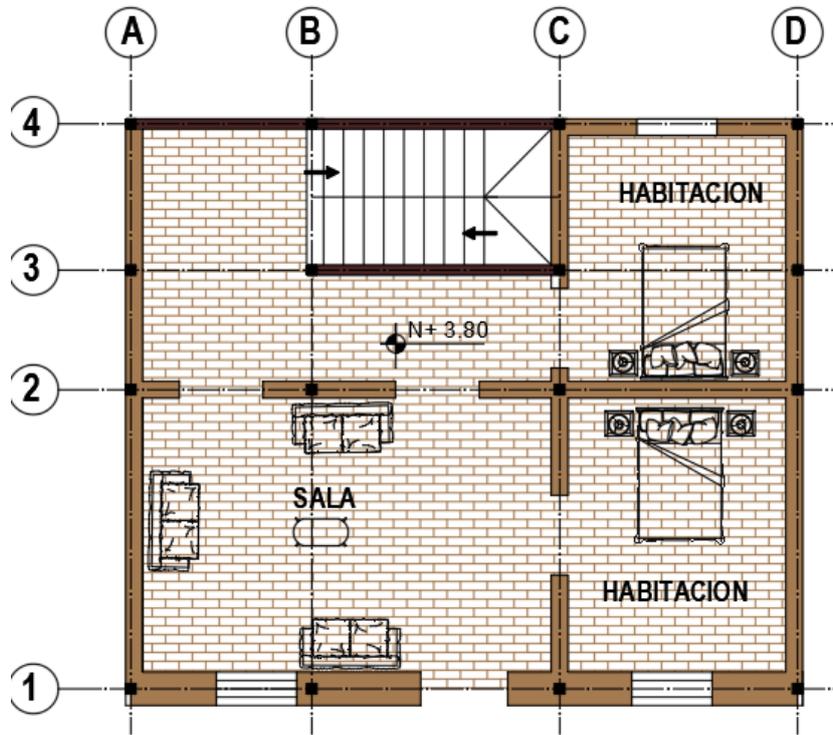
6.3 Anexo 3: Planos arquitectónicos de las viviendas patrimoniales

VIVIENDA REGULAR

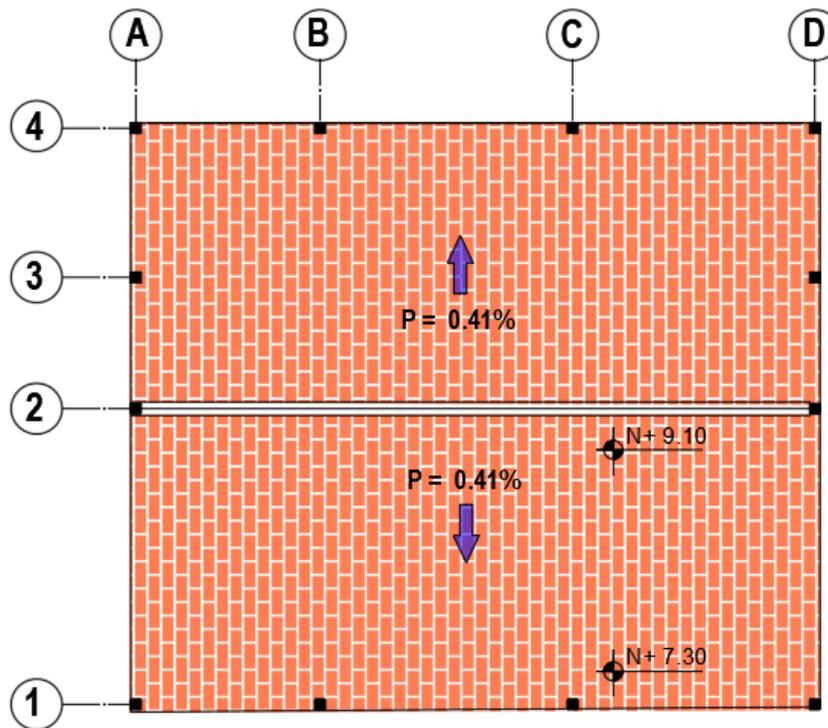
SIMBOLOGIA	
ELEMENTO	MATERIALES
	ADOBES DIMENSION 0.60 cm
	MADERA (mediaduela)
	CUBIERTA DE TEJA COMUN (sobre estructura de madera)
	PISO ENCEMENTADO ALIZADO (color natural)
	AZULEJO (color blanco)
	VEGETACION
	MADERA



PLANTA : B A J A

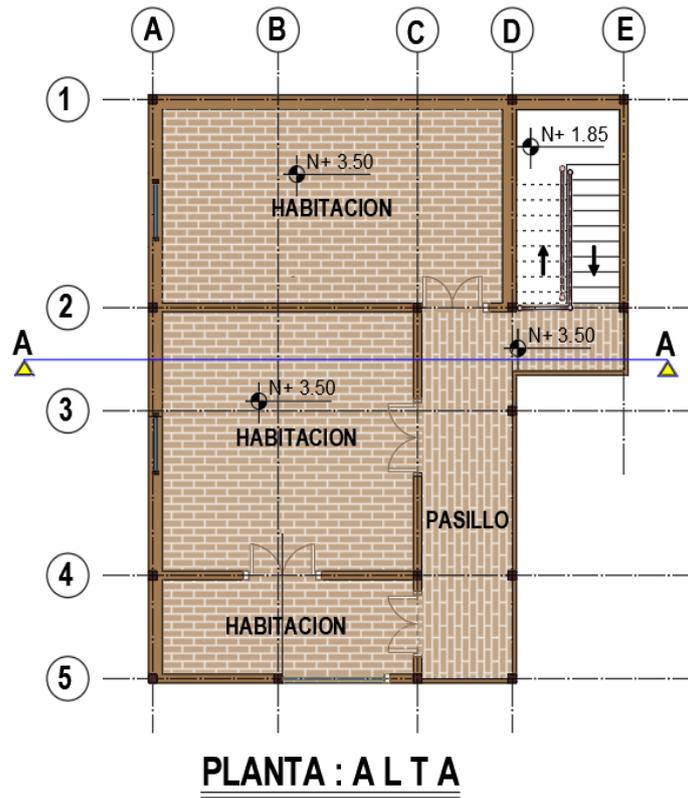
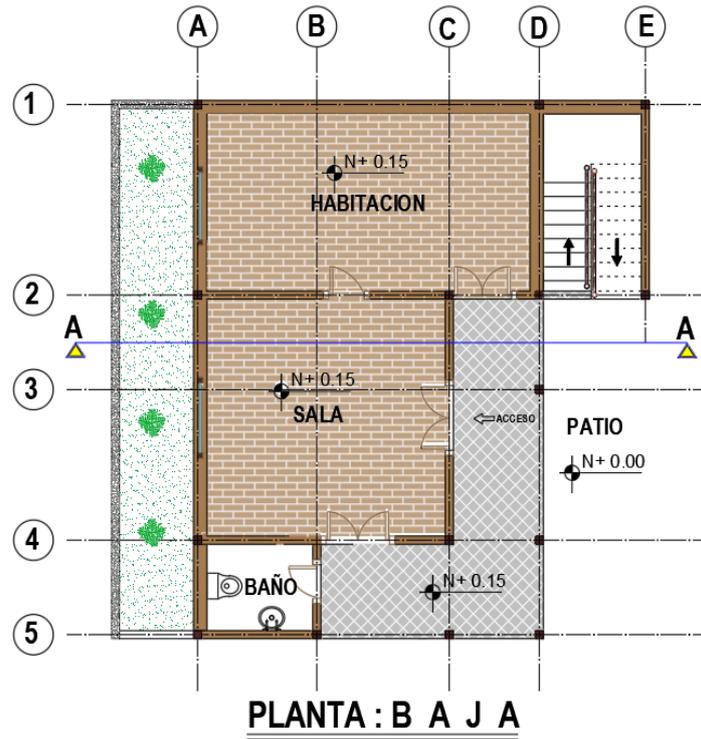


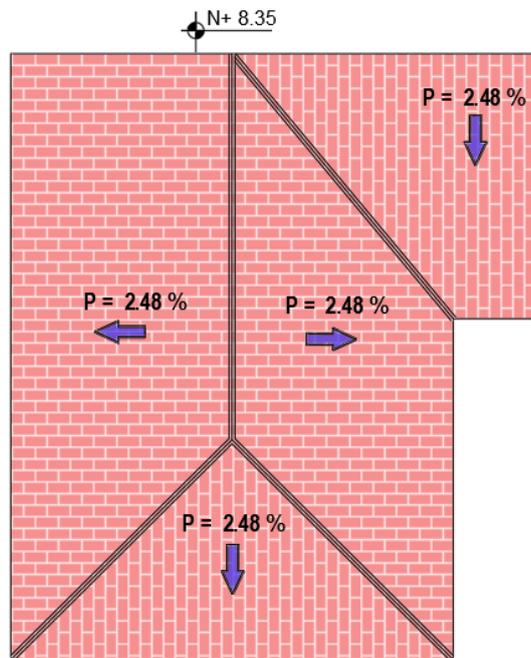
PLANTA : ALTA



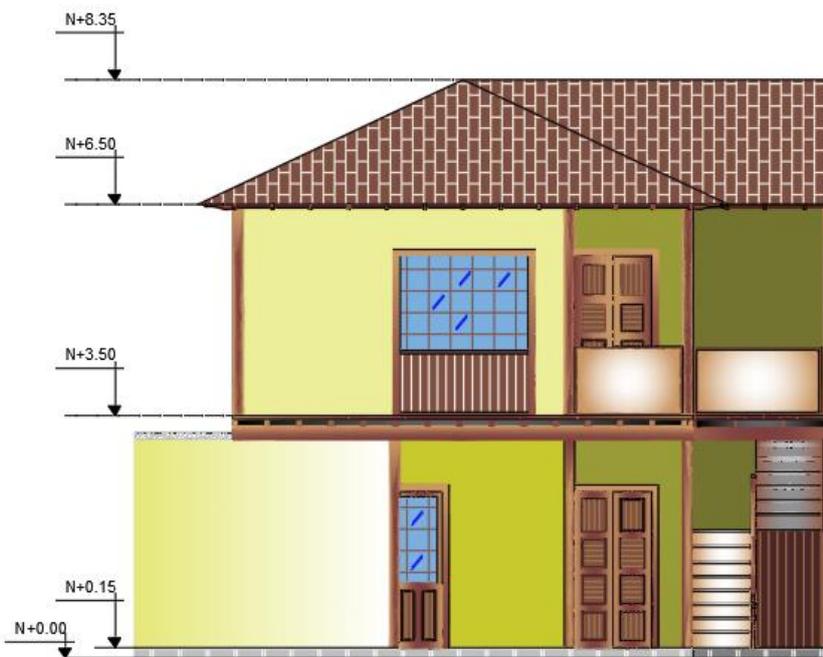
PLANTA : CUBIERTA

VIVIENDA SEMIRREGULAR



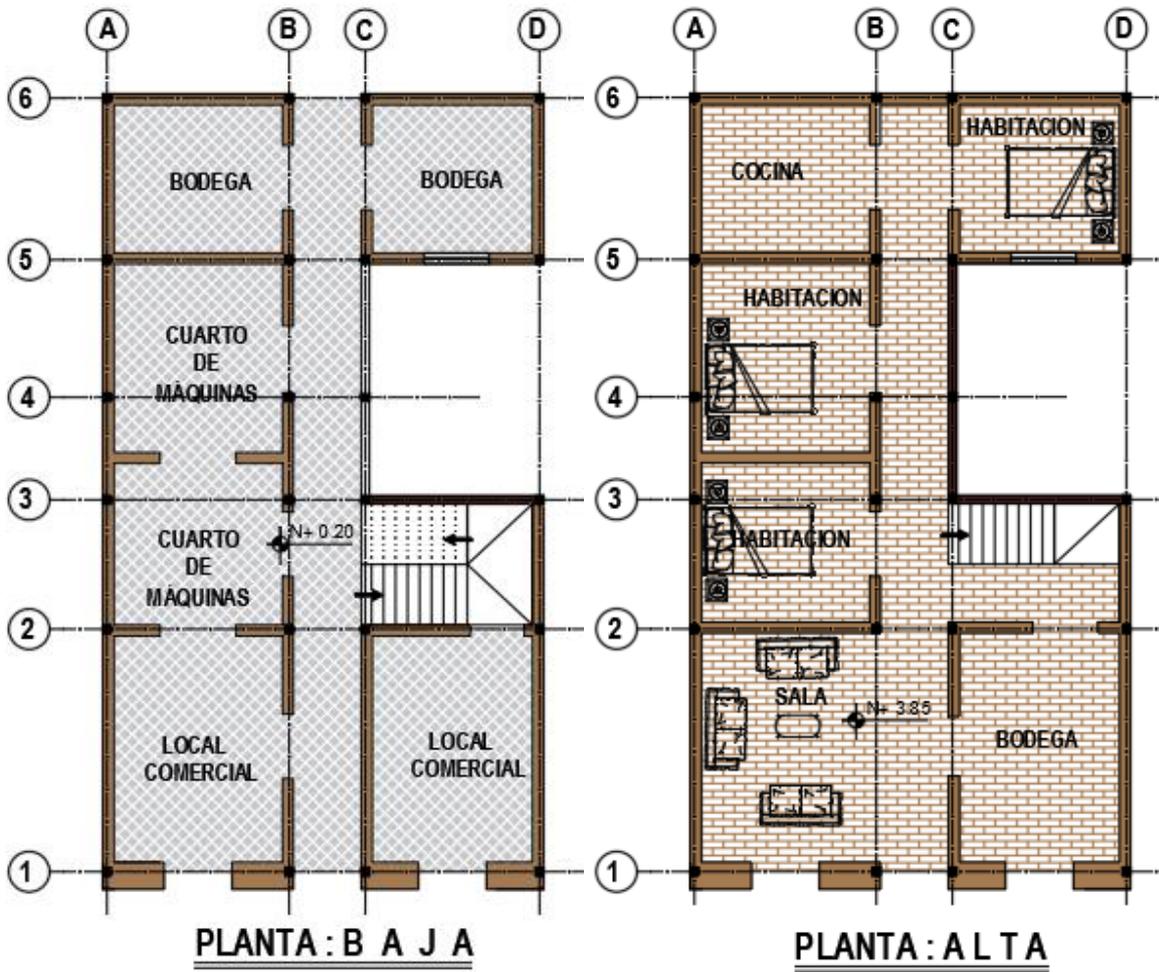


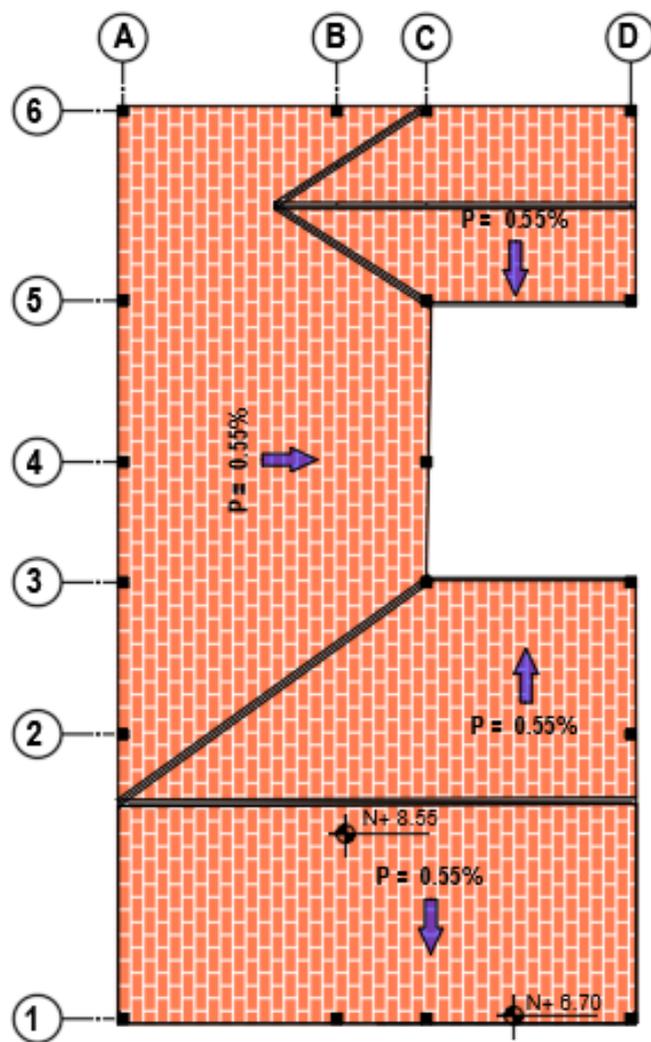
PLANTA : CUBIERTA



FACHADA FRONTAL

VIVIENDA IRREGULAR





PLANTA : CUBIERTA

6.4 Anexo 4: Levantamiento topográfico y de información vivienda regular





6.5 Anexo 5: Levantamiento topográfico y de información vivienda semirregular.





6.6 Anexo 6: Levantamiento topográfico y de información vivienda irregular.





6.7 Anexo 7: Fallas en la vivienda semirregular



6.8 Anexo 8: Fallas en la vivienda irregular

