



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

Título del proyecto:

**“INFLUENCIA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y MÓDULO
DE ELASTICIDAD DEL ADOBE EN EL COMPORTAMIENTO
ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS PATRIMONIALES”**

Trabajo de Investigación para optar al título de Ingeniero Civil

Autores:

Quishpe Vimos, Luis Vinicio
Torres Moreno, Jeancarlos Andres

Tutor:

MSc. Diego Hernán Hidalgo Robalino.

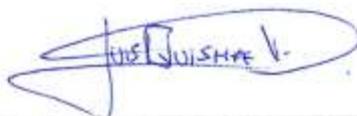
Riobamba, Ecuador - 2022

DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros, **Luis Vinicio Quishpe Vimos** y **Jeancarlos Andres Torres Moreno**, con cédula de ciudadanía **0604919803** y **22000743978** respectivamente, autores del trabajo de investigación titulado: **“INFLUENCIA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL ADOBE EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS PATRIMONIALES”**, certificamos que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida, será de nuestra entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 04 de agosto del 2022.



Luis Vinicio Quishpe Vimos

C.I: 0604919803



Jeancarlos Andres Torres Moreno

C.I: 2200074397

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL;

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“Influencia de la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad del adobe en el comportamiento estructural de viviendas patrimoniales”** por **Diego Hernán Hidalgo Robalino**, con cédula de identidad número **0603234998**, certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

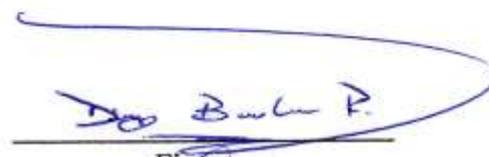
De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 04 de agosto de 2022.

Ing. Víctor Renee Velásquez Benavides MSc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Diego Javier Barahona Rivadeneira MSc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Jorge Eugenio Nuñez Vivar MSc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Diego Hernán Hidalgo Robalino MSc.
TUTOR DEL PROYECTO



Firma

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación "Influencia de la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad del adobe en el comportamiento estructural de viviendas patrimoniales" por Luis Vinicio Quishpe Vimos y Torres Moreno Jeancarlos Andres, con cédula de identidad número 0604919803 y 2200074397 respectivamente, bajo la tutoría del MSc. Diego Hernán Hidalgo Robalino; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 04 de agosto de 2022.

Presidente del tribunal de grado

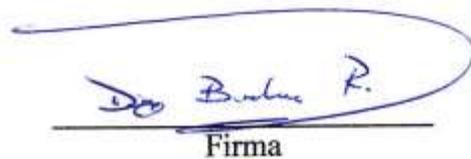
Ing. Víctor Renee Velásquez Benavides
Mgs.



Firma

Miembro del Tribunal de Grado

Ing. Diego Javier Barahona Rivadeneira
MSc.



Firma

Miembro del Tribunal de Grado

Ing. Jorge Eugenio Nuñez Vivar MSc.



Firma



CERTIFICACIÓN

Que, **QUISHPE VIMOS LUIS VINICIO** con CC: **0604919803** y **TORRES MORENO JEANCARLOS ANDRES** con CC: **2200074397**, estudiante de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERIA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **"INFLUENCIA DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL ADOBE EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE VIVIENDAS PATRIMONIALES"**, cumple con el **1%**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 12 de julio de 2022

MSC. Diego Hidalgo
TUTOR

DEDICATORIA

*Festejar mirando al cielo, es hacer honor a la persona que fuiste, y que tanto me enseñó...
Dedicarte con todo el corazón y con lágrimas en los ojos este logro a ti hermana Jessi, pues sé que desde donde te encuentres tu bendición diaria a lo largo de este tiempo sin tu presencia me protege y me da la fuerza para lograr esta y muchas metas más. Por todo ese amor y confianza que me tenías, esto es para ti...*

Luis Vinicio Quishpe Vimos

DEDICATORIA

Este título se lo dedico a mi Madre, porque gracias a ella ahora estoy en este punto de mi vida.

A mi padre que siempre me apoyo para tener un estudio superior.

A mis tías que siempre se preocuparon por mi bienestar en todo momento a pesar de la distancia.

Y sobre todo este título se lo dedico a mi hermana Yamila para ser tu fuente de inspiración y que ahora tu sigas adelante logrando superar todos los obstáculos que la vida te presente.

Jeancarlos Andrés Torres Moreno

AGRADECIMIENTO

Estos años parecen como si nunca hubiéramos estado en paz, siempre batallando ante las adversidades de la vida, sin embargo, hay momentos que llega la calma y logramos metas en conjunto.

Gracias, padres Luis y Ana por estar presentes y ser los promotores de mis sueños, por cada día confiar y creer en mi... sin ustedes esto no sería posible.

A mi hermana Jessi, a mi novia Melanie por estar siempre presentes no solo en esta etapa sino en todo momento deseándome lo mejor y motivándome a seguir.

A mi familia... sobrinas, abuelit@s, tí@s y prim@s que fueron parte de esto.

A todos mis compañeros y amigos que dejo la universidad.

Al Ing. Diego Hidalgo por la guía en la elaboración de este trabajo, el escalón final para terminar con esta bonita etapa.

Luis Vínicio Quíshpe Vimos

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por darme la oportunidad de vivir estas experiencias en la universidad.

A mi amada madre Nora por ser esa fuente inspiración para nunca darme por vencido y brindándome su amor incondicional en todo momento.

A mi hermana Yamila por ser la luz que ilumina mi camino, la alegría de mi vida.

A mi padre Raul por los consejos de vida que me brinda y saber que tengo su comprensión cuando lo necesite.

A mis tías Maribel y Poema que fueron madres para mi cuidándome y protegiéndome en todo momento.

A mis hermanas Katty y Diana por demostrarme su cariño, comprensión y sobre todo su paciencia.

A mis amigos Luis, Richard, Oscar y Reycheit. Por estar en esos momentos de tensión, alegrías, enojos y uno que otros llantos vividos en la UNACH. En especial a Antonio un gran amigo que estuvo en el peor de los momentos vividos en la universidad.

Al Ing. Diego Hidalgo por ser el guía en este último paso para la culminación de la tesis.

Jeancarlos Andrés Torres Moreno

ÍNDICE GENERAL;

1.	CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	18
1.1	Introducción.....	18
1.2	Planteamiento del problema.....	18
1.3	Objetivos.....	19
1.3.1	Objetivo general.....	19
1.3.2	Objetivos específicos.....	19
2.	CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1	PATRIMONIO CULTURAL.....	20
2.1.1	Definición.....	20
2.1.2	Edificaciones patrimoniales.....	20
2.1.3	Tipología estructural de edificaciones patrimoniales.....	20
2.1.3.1	Elementos de una edificación patrimonial.....	21
2.2	ADOBE.....	22
2.2.1	Definición.....	22
2.2.2	Componentes del adobe.....	22
2.2.2.1	Suelo.....	22
2.2.2.2	Arcilla.....	22
2.2.2.3	Agua.....	23
2.3	PROPIEDADES DEL ADOBE.....	23
2.3.1	Resistencia a la compresión.....	23
2.3.2	Módulo de elasticidad.....	24
2.4	TIPOS DE FALLAS EN VIVIENDAS CONSTRUIDAS DE ADOBE.....	24
2.4.1	Falla por flexión.....	24
2.4.1.1	Descripción.....	24
2.4.1.2	Causa.....	25
2.4.2	Falla por flexión o volcamiento.....	25
2.4.2.2	Causa.....	25
2.4.3	Falla por tensión.....	26
2.4.3.1	Descripción.....	26
2.4.3.2	Causa.....	26

2.4.4	Falla por cortante	27
2.4.4.1	Descripción.....	27
2.4.4.2	Causa	27
2.4.5	Falla por asentamiento.....	27
2.4.5.1	Descripción.....	27
2.4.5.2	Causas.....	27
3.	CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	29
3.1	Esquema metodológico.....	29
3.2	Métodos de la investigación.....	29
3.2.1	Método general	30
3.2.2	Método específico.....	30
3.3	Técnicas de recolección de datos.....	30
3.3.1	Muestras de adobe	30
3.3.2	Ensayo de muestras de adobe	31
3.3.2.1	Tipos de ensayo.....	31
3.3.2.2	Normativa.....	31
3.3.3	Casos de estudio	32
3.3.4	Levantamiento de información.....	32
3.3.5	Levantamiento Planimétrico.....	32
3.4	Modelación estructural.....	32
3.4.1	Propiedades del adobe	33
3.4.2	Propiedades de la madera	33
3.4.3	Cuantificación de cargas.....	33
3.4.3.1	Carga viva	33
3.4.3.2	Carga muerta	35
3.4.3.3	Cargas laterales	36
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1	Resultados.....	39
4.1.1	Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad del adobe	39
4.1.1.1	Muestras casa 1	39
4.1.1.2	Muestras casa 2	40
4.1.1.3	Muestras casa 3	41

4.1.1.4	Cálculo del módulo de elasticidad y resistencia a la compresión	42
4.1.2	Caso de estudio 1: Vivienda Patrimonial de 1 piso	43
4.1.2.1	Levantamiento de información.....	44
4.1.2.2	Levantamiento planimétrico.....	44
4.1.2.3	Modelación estructural.....	46
4.1.3	Caso de estudio 2: Vivienda Patrimonial de 2 pisos esquinera	46
4.1.3.1	Levantamiento de información.....	47
4.1.3.2	Levantamiento planimétrico.....	47
4.1.3.3	Modelación estructural.....	50
4.1.4	Caso de estudio 3: Vivienda Patrimonial de 2 pisos	50
4.1.4.1	Levantamiento de información.....	51
4.1.4.2	Levantamiento planimétrico.....	52
4.1.4.3	Modelación estructural.....	54
4.1.5	Módulo de elasticidad.....	54
4.1.5.1	Módulo de elasticidad vs Periodo fundamental	54
4.1.5.2	Módulo de elasticidad vs Modos de vibración.....	58
4.1.5.3	Módulo de elasticidad vs Derivas de piso	60
4.1.6	Resistencia a la compresión.....	66
4.2	Discusión.....	67
4.2.1	Módulo de elasticidad vs Periodo Fundamental.....	67
4.2.2	Módulo de elasticidad vs Modos de vibración	67
4.2.3	Módulo de elasticidad vs Derivas de piso	67
5.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	69
5.1	Conclusiones	69
5.2	Recomendaciones	71
6.	BIBLIOGRAFÍA	72
7.	ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Elementos de una edificación patrimonial	21
Tabla 2. Detalle de medidas de las muestras de adobe recolectadas	31
Tabla 3. Propiedades físicas del adobe	33
Tabla 4. Propiedades de la madera	33
Tabla 5. Detalle de carga viva	34
Tabla 6. Carga viva total cubierta	35
Tabla 7. Carga muerta total entrepiso	35
Tabla 8. Carga muerta cubierta caso de estudio 1	35
Tabla 9. Carga muerta cubierta caso de estudio 2 y 3	36
Tabla 10. Datos para el cálculo del espectro de diseño	36
Tabla 11 Coeficientes para estructuras compuestas por mampostería estructural.	37
Tabla 12. Periodos iniciales de las viviendas	37
Tabla 13. Cortante basal calculado para cada vivienda	38
Tabla 14. Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad del adobe	42
Tabla 15. Dimensión y material de las secciones	44
Tabla 16. Dimensión y material de las secciones	47
Tabla 17. Dimensión y material de las secciones	51
Tabla 18. Periodos fundamentales de los casos de estudio	55
Tabla 19. Modos de vibración de los casos de estudio	58
Tabla 20. Derivas de los casos de estudio.	60
Tabla 21. Chequeo Derivas de piso	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Falla en muros de adobe por flexión	25
Figura 2. Falla en muros de adobe por flexión o volcamiento	26
Figura 3. Falla en muros de adobe por tensión.....	26
Figura 4. Falla en muros de adobe por cortante	27
Figura 5. Falla en muros de adobe por asentamiento	28
Figura 6. Esquema metodológico de la investigación	29
Figura 7. Espectro de diseño elástico	37
Figura 8. Curva esfuerzo vs deformación muestras casa 1.....	40
Figura 9. Curva esfuerzo vs deformación muestras casa 2.....	41
Figura 10. Curva esfuerzo vs deformación muestras casa 3.....	42
Figura 11. Vivienda patrimonial (caso de estudio 1).....	44
Figura 12. Detalle planta baja N+0.00m caso de estudio 1	45
Figura 13. Detalle de cubierta N+4.20m caso de estudio 1	45
Figura 14. Modelación inicial caso de estudio 1	46
Figura 15. Vivienda patrimonial (caso de estudio 2).....	47
Figura 16. Detalle planta baja N+0.10m caso de estudio 2	48
Figura 17. Detalle planta alta N+3.05 caso de estudio 2	49
Figura 18. Detalle de cubierta N+7.60m caso de estudio 2.....	49
Figura 19. Modelación inicial caso de estudio 2	50
Figura 20. Vivienda patrimonial (caso de estudio 3).....	51
Figura 21. Detalle planta baja N+0.00m caso de estudio 3	52
Figura 22. Detalle planta alta N+4.00m caso de estudio 3	53
Figura 23. Detalle de cubierta N+9.00m caso de estudio 3.....	53
Figura 24. Modelación inicial caso de estudio 3	54
Figura 25. Módulo de elasticidad VS Periodo fundamental caso de estudio 1	56
Figura 26. Módulo de elasticidad VS Periodo fundamental caso de estudio 2	56
Figura 27. Módulo de elasticidad VS Periodo fundamental caso de estudio 3	57
Figura 28. Módulo de elasticidad VS Periodo fundamental de los casos de estudio	57
Figura 29. Módulo de elasticidad VS Deriva X caso de estudio 1	61
Figura 30. Módulo de elasticidad VS Deriva X caso de estudio 2.....	62
Figura 31. Módulo de elasticidad VS Deriva X caso de estudio 3.....	62
Figura 32. Módulo de elasticidad VS Deriva Y caso de estudio 1	63
Figura 33. Módulo de elasticidad VS Deriva Y caso de estudio 2.....	63
Figura 34. Módulo de elasticidad VS Deriva Y caso de estudio 3.....	64
Figura 35. Módulo de elasticidad vs Deriva X de los casos de estudio	64
Figura 36. Módulo de elasticidad vs Deriva Y de los casos de estudio	65

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Levantamiento de información caso de estudio 1	74
Anexo 2. Levantamiento de información caso de estudio 2.....	75
Anexo 3. Levantamiento información caso de estudio 3.....	76
Anexo 4. Modelación estructural caso de estudio 1	77
Anexo 5. Modelación estructural caso de estudio 2	77
Anexo 6. Modelación estructural caso de estudio 3	78
Anexo 7. Planos arquitectónicos caso de estudio 1	79
Anexo 8. Planos arquitectónicos caso de estudio 2	81
Anexo 9. Planos arquitectónicos caso de estudio 3	84
Anexo 10. Levantamiento planimétrico y de información del caso de estudio 1.....	86
Anexo 11. Levantamiento planimétrico y de información del caso de estudio 2.....	87
Anexo 12.- Levantamiento de planimétrico y de información del caso de estudio 3.....	88
Anexo 13. Recolección de muestra de adobe	89
Anexo 14. Muestras de adobes	89
Anexo 15.- Ensayos realizados a las muestras de adobe.....	90
Anexo 16. Ensayos resistencia a la compresión fase 1.....	91
Anexo 17. Toma de muestras y Ensayos realizados fase 1	92

RESUMEN

Las viviendas patrimoniales son aquellos bienes inmuebles que pertenecen al patrimonio cultural del Ecuador, que tienen riqueza, valor y un gran significado histórico para la identidad del sitio donde está ubicado, por lo que han sido conservadas sin ningún tipo de alteración desde su construcción hasta la actualidad. El cantón Guamote localizado en la parte central de la provincia de Chimborazo cuenta actualmente con 55 viviendas patrimoniales siendo la tierra el principal material de construcción de estas.

El adobe, al ser el material principal de este tipo de viviendas, tiene propiedades mecánicas que influyen en el comportamiento estructural y vulnerabilidad de éstas. Al no existir una normativa nacional que establezca valores para estas propiedades, se recolectó 12 muestras de adobe de tres viviendas patrimoniales y se realizó ensayos para revisar la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y analizar la influencia en el comportamiento estructural de viviendas patrimoniales en el cantón Guamote, comparando los resultados con investigaciones previas.

Los resultados finales de la investigación muestran que las resistencias a la compresión que van de 0.062 a 0.1852 MPa y módulos de elasticidad de 0.9012 a 2.1195MPa. Con estos resultados se realizó la modelación estructural de los tres casos de estudio elegidos mediante el muestreo no probabilístico, y al analizar la influencia del módulo de elasticidad se obtuvo relaciones inversas con respecto al periodo fundamental, modos de vibración y derivas de piso, es decir al aumentar el módulo de elasticidad se disminuyó los valores de estos tres parámetros, concluyendo que se influye en la rigidez de la estructura.

Palabras claves: Adobe, vivienda patrimonial, resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, comportamiento estructural.

ABSTRACT

Heritage homes are those real estate that belong to the cultural heritage of Ecuador, which have wealth, value, and a great historical significance for the identity of the site where it is located, so they have been preserved without any alteration from its construction to the present. Guamote located in the central part of Chimborazo province, currently has 55 heritage homes with soil being the main construction material of these.

Adobe, being the main material of this type of housing, has mechanical properties that influence their structural behavior and vulnerability. In the absence of a national regulation that establishes values for these properties, 12 adobe samples were collected from 3 heritage homes and tests were carried out to obtain compressive strengths ranging from 0.062 to 0.1852 MPa and elasticity modules from 0.9012 to 2.1195MPa. With these results, the structural modeling of the three case studies chosen by non-probabilistic sampling was carried out, and when analyzing the influence of the modulus of elasticity, inverse relationships were obtained with respect to the fundamental period, vibration modes and floor drifts, that is, when the modulus of elasticity increased, the values of these 3 parameters decreased.

For this reason, the purpose of this research is to obtain a database of compressive strength and modulus of elasticity to analyze the influence on the structural behavior of patrimonial housing in Guamote and compare the results with previous research.

Keywords: Adobe, heritage housing, compressive strength, modulus of elasticity, structural behavior.



Firmado electrónicamente por:
JHON JAIRO
INCA

Reviewed by:

Lcdo. Jhon Inca Guerrero.

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0604136572

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.

1.1 Introducción

Los pueblos indígenas de América han utilizado el adobe como material de construcción para la edificación de viviendas. En la actualidad el 50% de la vivienda del mundo están construidas con este material. El uso del adobe representa una alternativa viable para erradicar con la falta de vivienda, a través de la propuesta de casas auto construibles de bajo costo. Sin embargo, una limitación en el desarrollo de esta alternativa es que la mayoría de las técnicas constructivas tradicionales que utilizan materiales provenientes del suelo son resultado de conocimiento empírico, dicho conocimiento generalmente es asistemático y varía según la cultura y la región. Por lo tanto, esta opción no proporciona directamente una base tecnológica universalmente valida.

El cantón Guamote, provincia de Chimborazo está ubicado en una zona de alto riesgo sísmico del Ecuador. Según el plan de desarrollo y ordenamiento territorial el cantón cuenta actualmente con 55 viviendas patrimoniales. Uno de los elementos estructurales que predomina en estas viviendas patrimoniales es el adobe.

Al ser el adobe material principal de este tipo de viviendas patrimoniales, el conocer de sus propiedades es importante, ya que estas influyen de forma directa tanto en el comportamiento estructural como en su resistencia. En el Ecuador actualmente no existe una normativa o guía para este material por lo que existe desconocimiento acerca de las propiedades, teniendo así que trabajar de forma empírica con este material, ya sea para nuevas construcciones o para la rehabilitación de viviendas antiguas.

Existen investigaciones que tratan de cubrir a falta de normativa y establecer valores para las propiedades del adobe, pero no podemos establecer a estos valores como algo general para el Ecuador, esto debido a que los valores de la resistencia a la compresión, flexión, corte y módulo de elasticidad va a depender mucho de las propiedades de la materia prima utilizada, así como también la cantidad de agua y presencia de fibras o estabilizantes.

Por todo lo expuesto anteriormente, el objetivo de este trabajo es obtener una base de datos de la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad mediante ensayos a muestras de adobe de viviendas antiguas en el cantón Guamote y determinar la influencia de estas dos propiedades en el comportamiento estructural mediante la modelación en el software ETABS.

1.2 Planteamiento del problema

El cantón Guamote, está ubicado en la parte central de la provincia de Chimborazo, dentro de una zona sísmica de alto riesgo en el Ecuador, gran parte de la vivienda patrimonial urbana y rural de este cantón, está construida en adobe utilizando técnicas ambiguas de construcción.

A pesar de la durabilidad de estas viviendas a lo largo de los años, algunas se han visto afectadas e incluso varias de estas ya no son habitables, ya que se encuentran al borde del colapso, debido a causas como: los sismos, falta de mantenimiento, mal uso de las edificaciones y por el desgaste propio del material.

Como se lo menciono anteriormente, este tipo de viviendas patrimoniales tienen como principal material estructural el adobe, por esta razón es necesario el estudio de sus propiedades mecánicas, ya que estas influyen directamente en su comportamiento estructural. Lamentablemente Ecuador no cuenta con una normativa que permita establecer este tipo de propiedades lo que nos facilitaría conocer el comportamiento estructural de estas y por ende ante casos como los descritos en el párrafo anterior, prever el deterioro mediante un correcto mantenimiento, así como también, evitar la rehabilitación de manera empírica.

Por este motivo analizar el comportamiento estructural de las viviendas patrimoniales en el cantón Guamote, partiendo de una base de datos propios de la zona permitirá tener información de utilidad para una potencial rehabilitación estructural de viviendas patrimoniales en este cantón.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Obtener una base de datos de la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad del adobe, y determinar su influencia en el comportamiento estructural de tres viviendas patrimoniales en el cantón Guamote, mediante la modelación en un software para análisis estructural.

1.3.2 Objetivos específicos

- Extraer muestras de adobe de viviendas patrimoniales del cantón Guamote.
- Obtener la curva esfuerzo-deformación, resistencia a la compresión y módulo de elasticidad de las muestras de adobe extraídas de viviendas patrimoniales mediante ensayos de laboratorio.
- Definir los casos de estudios que se va a modelar mediante el software considerando las características de las muestras de adobe extraídas.
- Analizar la influencia de dos parámetros del adobe en el comportamiento estructural de los casos de estudio
- Comparar el resultado obtenido de estos nuevos casos de estudio con los de investigación previas.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 PATRIMONIO CULTURAL

2.1.1 Definición

Para (Bullio, 2006) el patrimonio cultural se entiende de forma organizativa a tres grupos:

- Monumentos (obras arquitectónicas ya sea de escultura o pintura y estructuras de carácter arqueológico como cavernas y grupos de elementos que tengan un valor excepcional a la historia)
- Conjuntos (grupos de construcciones que estén estas solas o reunidas, cuya arquitectura e integración al paisaje de su localidad de un valor excepcional a la historia.)
- Lugares (aquellas obras y obras conjuntas del hombre y la naturaleza)

2.1.2 Edificaciones patrimoniales

Para (Sanchez Urgiles, 2021) las edificaciones patrimoniales son bienes inmuebles que pertenecen al patrimonio cultural, que han sido conservadas sin alteración alguna desde su construcción hasta la actualidad, debido a la riqueza histórica que esta representa al sitio donde está ubicada,

Dependiendo del sitio de construcción, las viviendas patrimoniales se construirán con diferentes tipos de materiales propios de la zona; debido a la disponibilidad en abundancia que existía de tierra en la época colonial, la mayor parte de estas fueron construidas en mampostería de adobe, cancagua, tapia pisada, etc.

Debido a la antigüedad, diseño único, técnica constructiva y la función que cada una tenía, las edificaciones de adobe, cancagua y tapia pisada, en la actualidad representan el legado cultural del pueblo con un gran valor histórico (Sanchez, 2013).

2.1.3 Tipología estructural de edificaciones patrimoniales

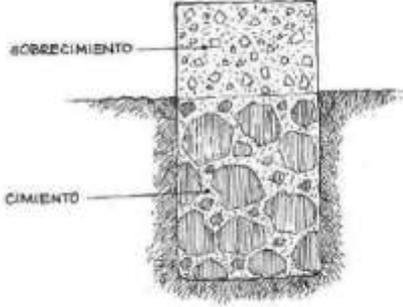
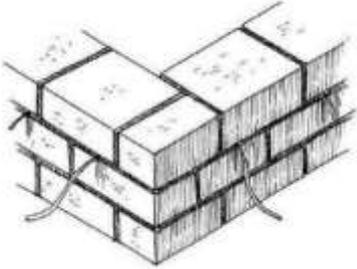
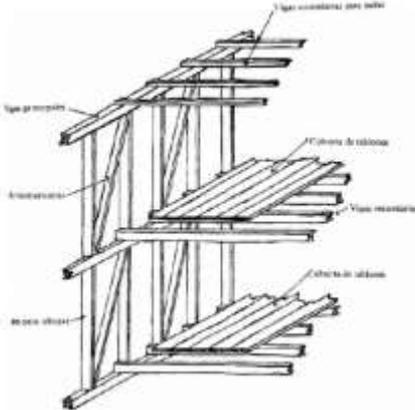
Al mencionar tipología estructural nos referimos al tipo de estructura que comprende una vivienda o edificación. Esta puede estar compuesta por varios elementos como por ejemplo un sistema de muros portantes, de pórticos resistentes a momentos, entre otros.

La tipología estructural en este tipo de edificaciones patrimoniales va ligada a la técnica empleada, estas edificaciones se caracterizan por la naturaleza frágil de sus materiales.

2.1.3.1 Elementos de una edificación patrimonial

Generalmente una edificación patrimonial está compuesta por 4 elementos estructurales, estos se los detalla en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Elementos de una edificación patrimonial

Elemento	Descripción	Gráfico
Cimentación	<p>Los cimientos son los encargados de transmitir las cargas de la edificación al suelo. En este tipo de viviendas los cimientos tienen como material primordial la piedra y la cal compuesto en un solo bloque capaz de cumplir con su función.</p>	 <p>Diagrama que muestra una sección transversal de un cimiento. La parte superior está etiquetada como 'SOBRECIMIENTO' y la parte inferior, que se extiende en el suelo, como 'CIMIENTO'.</p>
Muros de adobe	<p>Los muros de adobe en las edificaciones patrimoniales son los encargados de soportar el peso de la estructura, así como también cargas externas. Por lo que sus criterios de diseño deben basarse en una resistencia, estabilidad y función óptima.</p>	 <p>Diagrama tridimensional que muestra un muro de adobe construido con bloques rectangulares apilados en un patrón de entablado.</p>
Entrepiso	<p>Elemento estructural horizontal cuya función es la de transmitir las cargas a las que está expuesto y el peso de los demás elementos estructurales hasta que lleguen a la cimentación. El entrepiso en las edificaciones patrimoniales por lo general tiene un acabado de tipo entablado.</p>	 <p>Diagrama detallado de un sistema de entrepiso que muestra vigas, correas, tirantes y otros componentes estructurales.</p>
Cubierta	<p>Las cubiertas en edificaciones patrimoniales son generalmente de madera inclinadas. La estructura de la cubierta esta generalmente compuesta por vigas, correas y tirantes; Encima de esta estructura se encuentra el entechado sobre la cual se colocaba la teja de barro o zinc.</p>	 <p>Diagrama tridimensional que muestra la estructura de una cubierta inclinada compuesta por vigas, correas y tirantes.</p>

Fuente: Autores

2.2 ADOBE

2.2.1 Definición

(Catalán Quiroz et al., 2019) define al adobe como un tipo de mampostería artesanal muy simple, compuesto por tierra, paja y agua. Para su elaboración, primero se elige una zona cercana al lugar de construcción, de donde se extraerá la tierra, luego se combina con paja y agua hasta lograr una mezcla homogénea y manejable. Por último, la mezcla es colocada en moldes de madera para crear las piezas y posteriormente se dejan secar al aire libre de 30 a 60 días.

Según la norma E0.80 (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2017) el adobe es una unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad.

Partiendo de estas definiciones para el desarrollo de la investigación definiremos al adobe como un material de construcción para uso habitacional elaborado a partir de tierra cruda y agua (barro), que puede ser estabilizado con un gran número de sustancias para mejorar su resistencia y durabilidad

2.2.2 Componentes del adobe

2.2.2.1 Suelo

(Benites Zapata, 2017) define al suelo como un material compuesto de por 3 fases: sólido, líquido y gaseoso. En su estado sólido está conformado en diferentes tamaños clasificados como grava, arena limo y arcilla. En las 2 fases restantes se componen por gases y líquidos que estos se encargan de llenar los espacios vacíos que existen en cada partícula.

En las construcciones se pueden dividir en suelos finos (limo y arcillas) y suelos gruesos (arena y gravas). Estos dos grupos se subdividen dependiendo a su comportamiento frente a situaciones internas y externas (Sánchez Chicana, 2020).

2.2.2.2 Arcilla

(Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 1973) nos dice que están constituidas por silicatos de aluminio hidratados y en algunas ocasiones con silicatos de magnesio, hierro u otros materiales. Tienen diferentes colores esto dependerá según la impureza de esta.

(Guerrero Baca, 2007) divide en 3 grupos a las arcillas: expansivas estas permiten la entrada exagerada de agua dentro de su estructura como consecuencia de esto se hinchan trayendo consecuencias en la construcción. Las caolinitas son un tipo de arcilla que se mantienen estables ante la presencia del agua debido a que no permite el ingreso de las moléculas de agua, a esto se lo conoce como la propiedad de adsorción y finalmente están las ilitas están se agrupan reduciendo su área cuando son expuestas al agua.

Debido a que un adobe está en contacto con agua no es recomendable utilizar un suelo con demasiada arcilla.

2.2.2.3 Agua

Para el área de estudio, se define al agua como un líquido incoloro, inodoro e insípido necesario para la construcción de viviendas hechas con adobe. Este componente debe estar completamente limpio, libre de impurezas y grasas, es decir agua óptima para el consumo humano.

Como menciona (Klees & Natalini, 2014) la cantidad de agua que se utiliza para la elaboración de adobes es un factor fundamental. La falta o exceso de agua exige un mayor trabajo en la compactación, dificultando la cohesión de los componentes de la mezcla. También afecta la resistencia y durabilidad del material.

2.3 PROPIEDADES DEL ADOBE

El adobe, material principal en la construcción de muros en las viviendas patrimoniales, tiene propiedades físicas y mecánicas que lo diferencian de otros materiales tradicionales (Sanchez Urgiles, 2021).

Al hablar de propiedades físicas hacemos referencia a aquellas que tienen relación con la estructura del adobe. Este tipo de propiedades son propias en cada muestra de adobe, ya que su comportamiento dependerá de su composición, la técnica utilizada en su elaboración y su zona de fabricación. Dentro de las propiedades físicas que posee el adobe podemos mencionar al aislamiento térmico, aislamiento acústico, material sostenible y económico como las 4 más importantes.

Por otro lado, las propiedades mecánicas se refieren a aquellas que determinan la capacidad que posee el adobe de resistir acciones generadas por cargas externas (Aguilera & Quezada, 2017). En esta investigación se quiere determinar la influencia de la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad del adobe en el comportamiento estructural de viviendas patrimoniales por lo que a continuación se detalla cada una de estas propiedades.

2.3.1 Resistencia a la compresión

Esta propiedad mecánica del adobe consiste en determinar mediante ensayos de laboratorio, el esfuerzo máximo que puede soportar el material al estar sometido bajo una carga axial de aplastamiento, es decir el esfuerzo necesario para deformar una muestra del material.

Según el (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2017) en la norma peruana E. 080 la resistencia última a la compresión en muretes de adobe es de 0.60 MPa o lo equivalente a 6.12 kgf/cm² y en cubos de adobe será de 1.00 MPa o 10.2 kgf/cm². Por otro lado (Aguilera & Quezada, 2017), mencionan que la resistencia a la compresión del

adobe dependerá mucho del tipo de materia prima (tierra) utilizado en su elaboración, ya que mientras mayor sea la cantidad de árido grueso menor será la resistencia.

Debido al desconocimiento de las propiedades mecánicas del adobe en la localidad donde están ubicados los casos de estudio, se realizó ensayos de laboratorio a muestras de adobe de viviendas patrimoniales con el fin de obtener datos reales de la resistencia a la compresión. Esta propiedad se calcula dividiendo la carga axial máxima para el área transversal sobre la que se aplicó dicha carga.

2.3.2 Módulo de elasticidad

Dentro del diseño estructural de edificaciones, el módulo de elasticidad es una propiedad fundamental del material, esto se debe a que este parámetro relaciona el esfuerzo con la deformación unitario al estar sometido el elemento a cargas externas.

El adobe al ser un material cuyo comportamiento es no lineal, que depende principalmente de las características de la materia prima (tierra), tiempo de secado, técnica y modo de fabricación, etc.; no será posible el tener una curva de deformación constante para cada espécimen.

Para (Aguilera & Quezada, 2017), el módulo de elasticidad para este material está comprendido en valores que van desde 294.90 kg/cm² hasta 698.51 kg/cm². Sin embargo, el (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2017) en la norma tomada como referencia la E 0.80 recomienda que, si no se cuenta con resultados experimentales sobre esta propiedad, se considere un valor de 2040 kg/cm² para muros de tierra.

2.4 TIPOS DE FALLAS EN VIVIENDAS CONSTRUIDAS DE ADOBE

Al hablar de falla hacemos referencia a cualquier disfunción del sistema estructural, en las construcciones de adobe las fallas pueden deberse principalmente a su poca resistencia a la tracción y la reducida adherencia que existe entre el adobe y el mortero (Álvarez Guevara, 2015).

Para (Moyano & Moyano, 2014), por lo general los mecanismos de falla y los patrones de grietas que ocurren en las viviendas de adobe casi siempre corresponden al comportamiento de la estructura, que depende de la ubicación de la fuerza y la dirección en la que se aplica.

2.4.1 Falla por flexión

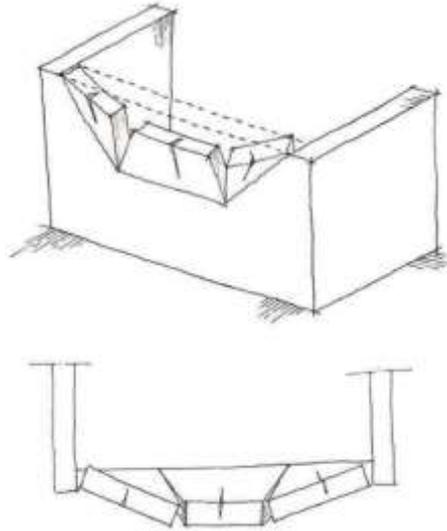
2.4.1.1 Descripción

Aparecen grietas horizontales en el centro del muro, si el techo es pesado en la parte inferior o a media altura; y agrietamientos verticales adicionales que constituyen el mecanismo de falla

2.4.1.2 Causa

Este tipo de falla se presenta en muros o paredes que no están reforzados para soportar la carga horizontal en la parte superior. Esto ya que el sismo provoca fuerzas horizontales en el techo.

Por lo general es frecuente en muros largos sin restricciones transversales y en muros muy altos o cortos (Moyano & Moyano, 2014).



*Figura 1. Falla en muros de adobe por flexión
Fuente: (Moyano & Moyano, 2014)*

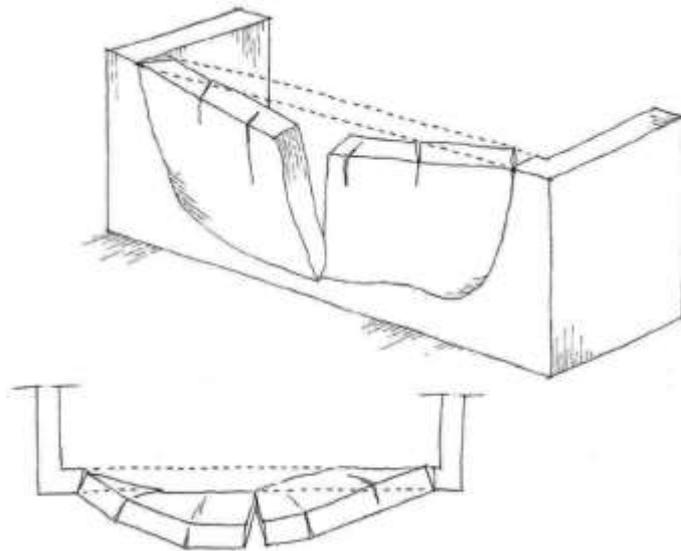
2.4.2 Falla por flexión o volcamiento

2.4.2.1.1 Descripción

Aparecen grietas verticales en la zona central del muro, así como también falla por flexión perpendicular al plano del muro, este mecanismo de falla consiste en un agrietamiento diagonal y fisuraciones en la parte superior por falta de refuerzo y confinamiento; En varios casos puede ocurrir el volcamiento completo el muro.

2.4.2.2 Causa

Este tipo de falla es común observar en muros con distancias largas o en muros que no estén bien ligados a muros perpendiculares.



*Figura 2. Falla en muros de adobe por flexión o volcamiento
Fuente: (Moyano & Moyano, 2014)*

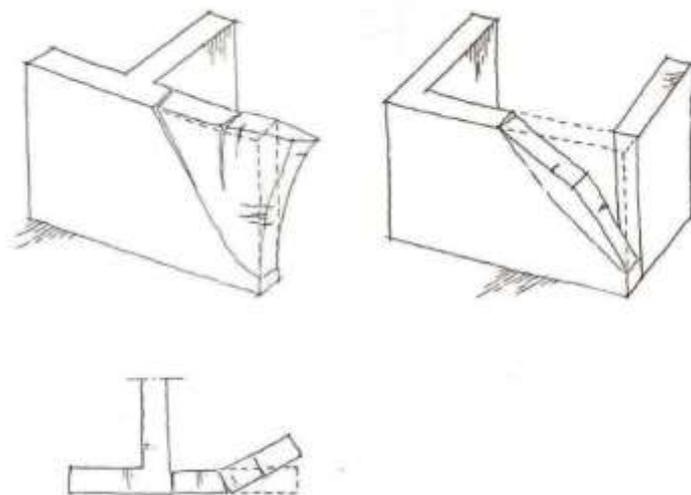
2.4.3 Falla por tensión

2.4.3.1 Descripción

Este tipo de falla se presenta de forma perpendicular al plano del muro, y por lo general se da en las esquinas no confinadas o no conectadas de forma efectiva con los muros transversales.

2.4.3.2 Causa

Se da en las uniones que no posee un amarre adecuado con los muros perpendiculares, ocasionando grietas en la esquina superior de los muros.



*Figura 3. Falla en muros de adobe por tensión
Fuente: (Moyano & Moyano, 2014)*

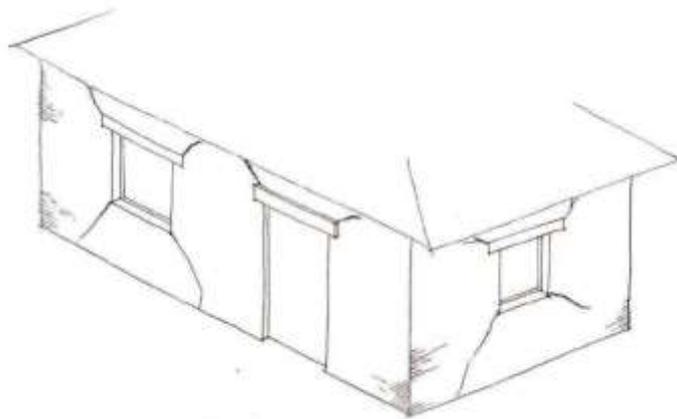
2.4.4 Falla por cortante

2.4.4.1 Descripción

La falla por cortante en el muro está asociada a las aberturas de puertas y ventanas, este tipo de grietas sobresalen en diagonal desde estos elementos no estructurales.

2.4.4.2 Causa

Por lo general este tipo de falla en los muros se da por cargas de entrepisos o cubiertas muy pesadas y se ven magnificadas por las aberturas de puertas y ventanas (Moyano & Moyano, 2014).



*Figura 4. Falla en muros de adobe por cortante
Fuente:(Moyano & Moyano, 2014)*

2.4.5 Falla por asentamiento

2.4.5.1 Descripción

Este tipo de fallas produce grietas diagonales por lo general en las esquinas del muro, que inician en el borde inferior y se expanden hacia el interior de este.

2.4.5.2 Causas

Como su nombre lo indica este tipo de fallas se produce por asentamiento de los muros, ya sea este ocasionado por los movimientos del terreno o sobrecargas a la estructura.

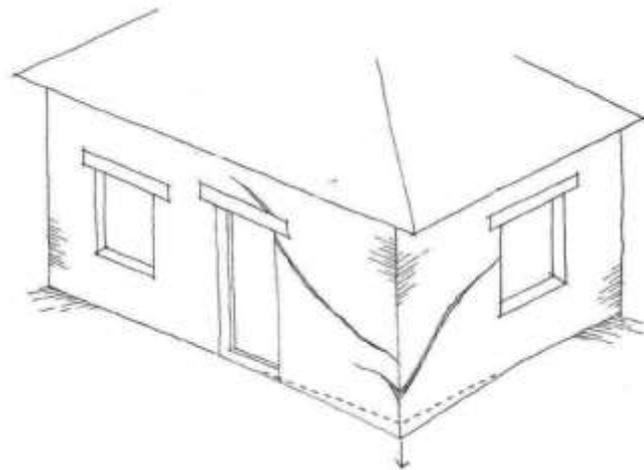
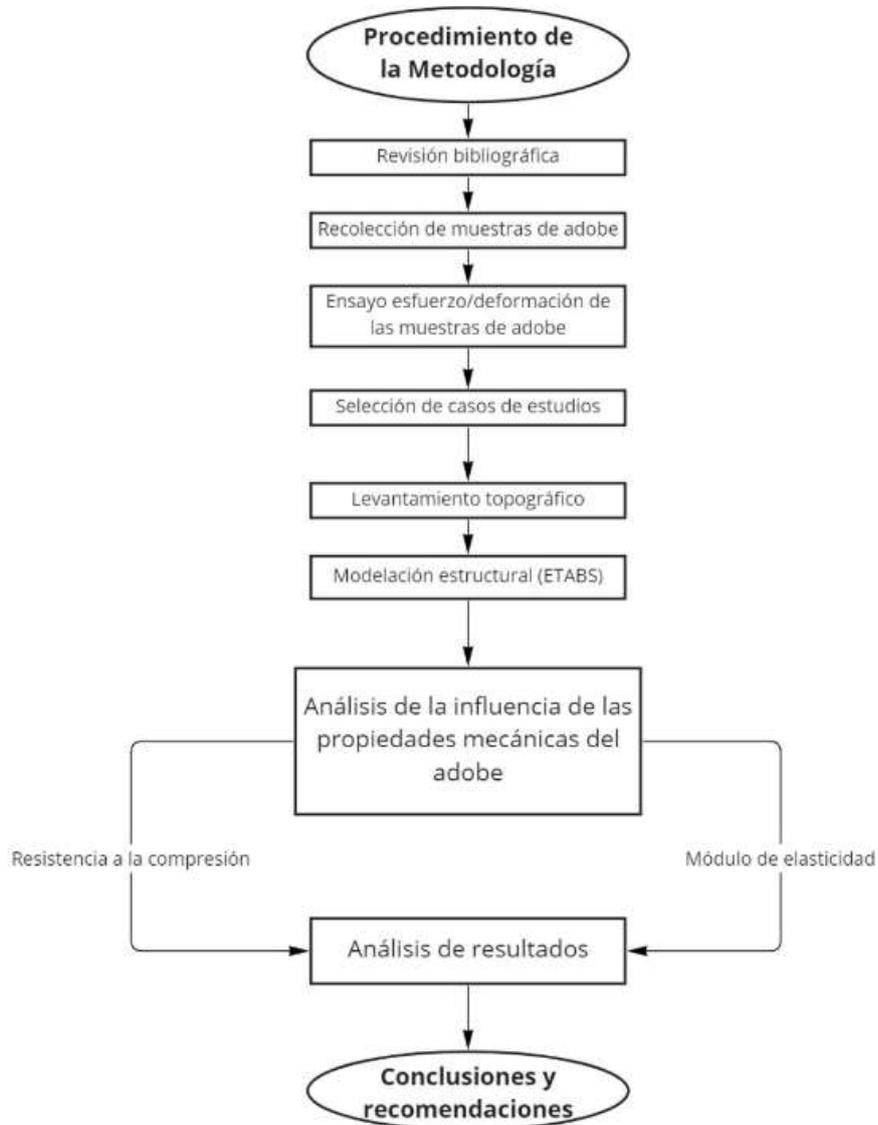


Figura 5. Falla en muros de adobe por asentamiento
Fuente: (Moyano & Moyano, 2014)

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

3.1 Esquema metodológico



2

Figura 6. Esquema metodológico de la investigación
Fuente: Autores

3.2 Métodos de la investigación

El presente trabajo de investigación presenta un enfoque cuantitativo-cualitativo, el primero por la cuantificación de los resultados obtenido en laboratorio sobre las propiedades del adobe antiguo (resistencia a la compresión y módulo de elasticidad), cualitativo ya que estos resultados serán relacionados y comparados para determinar el comportamiento estructuras en tres viviendas patrimoniales.

El alcance de estudio será de tipo experimental-correlacional, este primer alcance debido a que este nos conduce fundamentalmente para realizar proyectos de investigación

de tipo cualitativos y cuantitativos, es decir antes de la fase de análisis se realizan actividades previas como será la recolección, y ensayos para obtener una base de datos acerca de la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad del adobe, de ahí el segundo alcance relacionar la influencia que tendrá la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad partiendo de la base de datos obtenida en el comportamiento estructural de tres viviendas patrimoniales.

Utiliza como primera fase de la investigación de campo ya se necesita de muestras aleatorias de adobe antiguas, así como también el muestreo por conveniencia de tres viviendas patrimoniales que serán nuestros casos de estudio; luego la investigación se realizará en el laboratorio para la obtención de una base de datos.

3.2.1 Método general

Como método general se utilizará el método inductivo, ya que este aplica un análisis de las propiedades mecánicas del adobe como son la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad, partiendo de este como el principal material utilizado en la construcción de viviendas patrimoniales y su influencia en el comportamiento estructural de los casos de estudio.

3.2.2 Método específico

Como método específico tenemos al método experimental y comparativo, que a través de la recolección y ensayos de adobes fue realizado el análisis de las propiedades, así como también la modelación estructural de los casos de estudio mediante el apoyo de un software de análisis estructural para determinar la influencia de estas propiedades tomando en consideración los datos obtenidos previamente.

3.3 Técnicas de recolección de datos

3.3.1 Muestras de adobe

Para la obtención de muestras de adobe se procede a realizar mediante el muestreo no probabilístico por conveniencia, esto debido a que el método nos permite seleccionar casos accesibles.

El obtener muestras de adobe de viviendas patrimoniales presentaba una dificultad para esta investigación, sin embargo, debido al estado de varias viviendas cuyo recubrimiento de muros se encontraba deteriorado, existió la posibilidad de recolectar 12 muestras de adobe de 3 viviendas diferentes.

Por lo general las muestras de adobe que serán seleccionadas corresponden a muros de viviendas que perdieron el recubrimiento y su extracción será de forma sencilla sin alterar el comportamiento del muro.

A continuación, se muestra a detalle las medidas de las muestras de adobes recolectadas por los autores de esta investigación:

Tabla 2. Detalle de medidas de las muestras de adobe recolectadas

Detalle muestras de adobe				
Nº	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Observación
Vivienda 1				
1	30	29	12.5	Medio adobe
2	43	28	13	
3	37	28	13.5	
4	42	28	13	
Vivienda 2				
1	42	29	12	
2	43	28	13	
3	44	26	13.5	
4	43	23.5	13	
Vivienda 3				
1	27	21	9.5	Medio adobe irregular
2	42	22	9.5	Medio adobe
3	39	24	10	
4	23	15	10	

Fuente: Autores

3.3.2 Ensayo de muestras de adobe

El material predominante en los 3 casos de estudio es el adobe, razón por la cual es necesario realizar ensayos de laboratorio a muestras de este para determinar la resistencia a compresión y módulo de elasticidad, esto debido a que no existen estudios locales que nos indiquen estos valores.

3.3.2.1 Tipos de ensayo

Para la obtención de los datos necesarios en esta investigación, se realizó el ensayo de compresión ya que con este ensayo es posible obtener el módulo de elasticidad, esto debido a que las muestras presentan poca resistencia y una gran cantidad de deformación.

En este tipo de material el comportamiento es irregular y diferente en cada espécimen, y su parte elástica no está definida, razón por la cual es necesario calcular la pendiente entre cada punto de la gráfica esfuerzo vs deformación (Delgado, 2019).

3.3.2.2 Normativa

En la actualidad Ecuador no posee normativas que rijan ensayos sobre el adobe, por lo cual se tomará como referencia la norma Peruana E 0.80, en esta según detalla el (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2017), en la que se detalla que el valor de la resistencia a la compresión debe ser mayor a 1MPa para cubos de 0.10x0.10m y para muretes debe ser mayor a 0.60MPa.

3.3.3 Casos de estudio

Para los casos de estudio de igual manera la investigación utiliza el muestreo no probabilístico por conveniencia, esto debido a la accesibilidad. Partiendo de esto, las 3 viviendas patrimoniales elegidas como caso de estudio pertenecen al sector privado por la facilidad de acceso tanto a las viviendas como a la información sobre estas.

3.3.4 Levantamiento de información

El levantamiento de información fue realizado mediante la técnica de la observación, usando una ficha de observación, aplicada en cada una de las viviendas seleccionadas con ayuda de instrumentos como lo son: libreta, flexómetro, cinta y medidor laser, con el propósito de registrar datos que ayuden en la modelación estructural como son las dimensiones y materiales de los elementos constructivos de las viviendas patrimoniales como muros de adobe, columnas, vigas y viguetas de madera.

3.3.5 Levantamiento Planimétrico

El levantamiento planimétrico de cada caso de estudio fue realizado utilizando herramientas como cinta métrica, flexómetro, medidor laser y libreta de campo; De esta manera se tomó datos, medidas y localización de los elementos estructurales y no estructurales, así como también la distribución de espacios de cada una de las viviendas patrimoniales todo esto con la finalidad de realizar los planos arquitectónicos debido a que ningún caso de estudio poseía dichos planos.

Una vez obtenido los datos necesarios en el levantamiento planimétrico, los planos arquitectónicos de las viviendas patrimoniales fueron elaborados en el software AutoCAD, dentro de estos constan las plantas planimétricas y arquitectónicas en las que se detallan las dimensiones de la vivienda, dimensiones de la cubierta, altura de entrepisos, secciones de los muros y distribución de espacios.

3.4 Modelación estructural

La modelación estructural se la realizó con ayuda del software ETABS, utilizando el método de elementos finitos para el cálculo de estructuras, este método de análisis estructural es de aproximación de problemas continuos, que consiste en dividir al elemento continuo en un numero finito de partes, cuyo comportamiento se especifica mediante un numero finito de parámetros asociados a los nodos que son los puntos de unión de cada elemento (Valero, 2014).

Se realizó las modelaciones de las casas de estudios, siguiendo una serie de pasos detallados a continuación:

- a) Designación de las dimensiones obtenidas en el levantamiento planimétrico de las distintas casas de estudio (distancias de eje a eje, altura de entrepisos)
- b) Elaboración de la grilla para las distintas casas de estudio.

c) Definición de los materiales a utilizarse (adobe, madera).

3.4.1 Propiedades del adobe

En la asignación de las propiedades físicas que se utilizaron para el adobe fueron las siguientes:

Tabla 3. Propiedades físicas del adobe

Propiedad	Valor
Peso	1.6 t/m ²
Coefficiente de Poisson	0.15
Coefficiente de expansión Térmica	0.012 mm/m°C

Fuente: (Delgado, 2019)

Para el módulo de elasticidad y resistencia a la compresión se realizaron 12 ensayos en el laboratorio, 1 por cada muestra para tener datos reales y de esta manera poder lograr resultados que más se asemejen a la realidad de cada estructura.

3.4.2 Propiedades de la madera

En los 3 casos de estudio la madera utilizada para columnas, vigas y viguetas es el eucalipto. Como menciona (Sanango Jara, 2017) el eucalipto debido a su composición tiene diferentes comportamientos en sus tres direcciones: longitudinal o paralela al eje de su crecimiento vertical, perpendicular a su eje de crecimiento y tangencial a este. Los valores utilizados para este material se describen en la *Tabla 4* mostrada a continuación:

Tabla 4. Propiedades de la madera

Propiedad	Valor
Peso Unitario	0.79 t/m ³
Masa Unitaria	8.056E-07 kg
Módulo de elasticidad	8701.15 MPa
Coefficiente de Poisson	0.4
	0.000003 1/°C
Coefficiente de expansión térmica	0.000025 1/°C
	0.000015 1/°C
Módulo de corte	3480.46 t/m ²

Fuente: (Delgado, 2019)

Una vez definidas las propiedades de los materiales (Adobe y madera), ingresamos las secciones geométricas de las columnas, vigas y viguetas como tipo frame y en el caso de los muros estas serán de tipo Shell-thick.

3.4.3 Cuantificación de cargas

3.4.3.1 Carga viva

La carga viva o sobrecarga de uso va a depender directamente de la ocupación que tendrá la edificación.

3.4.3.1.1 Entrepiso

En la tabla 9. de la (NEC-SE-CG Cargas (No Sísmicas), 2014), se nos detalla que la carga viva uniforme para viviendas (unifamiliares y bifamiliares) tendrá un valor de 2.00 kN/m^2 . Un caso de estudio construida inicialmente para vivienda con el pasar de los años terminó su segunda planta como oficinas por lo que para esta se tomará un valor de 2.40 kN/m^2 que también se detalla en la tabla mencionada anteriormente.

En la tabla que se muestra a continuación, se detalla las cargas vivas a utilizarse en la modelación estructural de la presente investigación.

Tabla 5. Detalle de carga viva

Ocupación	Carga Uniforme
Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	2.00 kN/m^2
Oficinas	2.40 kN/m^2

Nota: Los valores que se muestran en la tabla fueron tomados de la (NEC-SE-CG Cargas (No Sísmicas), 2014)
Fuente: Autores

3.4.3.1.2 Cubierta

En la tabla 9. de la (NEC-SE-CG Cargas (No Sísmicas), 2014), se nos detalla que la carga viva para cubierta inclinadas será de 0.70 kN/m^2 o lo equivalente a $0.07/1 \text{ t/m}^2$.

Cálculo peso de granizo

De acuerdo a la (NEC-SE-CG Cargas (No Sísmicas), 2014) la carga de granizo denominada S, se calcula multiplicando el peso específico del granizo por su altura de acumulación.

$$\begin{aligned} S &= ps * h \\ S &= 1 \text{ t/m}^3 * 0.03 \text{ m} \\ S &= 0.03 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Cálculo peso de ceniza

Partiendo de lo anterior procedemos a realizar el cálculo del peso de la ceniza

$$\begin{aligned} C &= pc * h \\ S &= 2.2 \text{ t/m}^3 * 0.02 \text{ m} \\ S &= 0.044 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

A estos valores se les suma el peso de la carga viva para cubiertas inclinadas y obtenemos la carga viva total de la cubierta:

Tabla 6. Carga viva total cubierta

Peso propio	Valor
Carga viva (NEC-SE-CG Cargas (No Sísmicas), 2014)	0.07 t/m ²
Peso Granizo	0.03 t/m ²
Peso Ceniza	0.044 t/m ² .

Fuente: Autores

3.4.3.2 Carga muerta

La carga muerta la componen el peso de todos los elementos estructurales que actúan en permanencia sobre la estructura.

3.4.3.2.1 Entrepiso

Para el cálculo de la carga muerta del entrepiso, se deberá encontrar el peso por metro cuadrado del entablado, así como también de las instalaciones y el acabado.

Calculo peso por metro cuadrado del entablado

En las viviendas patrimoniales el entablado tenía un espesor de 2 cm, como lo vamos a analizar por metro cuadrado a este espesor lo multiplicaremos por el peso específico del Eucalipto que como ya se lo definió anteriormente será de 0.79 t/m³

$$Pp \text{ entablado} = \text{espesor} * \text{peso específico material}$$

$$Pp \text{ entablado} = 0.02 \text{ m} * 0.79 \text{ t/m}^3$$

$$Pp \text{ entablado} = 0.0158 \text{ t/m}^2$$

A este se le suma el peso de las instalaciones y acabados teniendo así:

Tabla 7. Carga muerta total entrepiso

Peso propio	Valor
Entablado	0.0158 t/m ²
Instalaciones	0.01 t/m ²
Acabados	0.02 t/m ²
Carga muerta total entrepiso	0.0458 t/m ²

Fuente: Autores

3.4.3.2.2 Cubierta

Para la carga muerta de la cubierta se considera los pesos tanto de las instalaciones, acabados y la teja o zinc.

Tabla 8. Carga muerta cubierta caso de estudio 1

Peso propio	Valor
Teja de barro	0.05 t/m ²
Instalaciones	0.01 t/m ²
Acabados	0.02 t/m ²

Carga muerta total entrepiso	0.08 t/m ²
-------------------------------------	-----------------------

Fuente: Autores

Tabla 9. Carga muerta cubierta caso de estudio 2 y 3

Peso propio	Valor
Zinc	0.002 t/m ²
Instalaciones	0.01 t/m ²
Acabados	0.02 t/m ²
Carga muerta total entrepiso	0.032 t/m ²

Fuente: Autores

3.4.3.3 Cargas laterales

Las cargas laterales, se calcularon en función a lo establecido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción en el capítulo Cargas Sísmicas – Diseño sismo resistente, tomando en consideración los requisitos mínimos para el cálculo del cortante basal utilizado en la asignación de cargas sísmicas horizontales.

Para el cálculo del cortante basal se debe conocer de forma primordial la zona sísmica en la que se encuentra la edificación, estos datos se detallan en la Tabla 10 y se los puede encontrar en el apéndice 10.2 de la NEC-SE-DS.

Tabla 10. Datos para el cálculo del espectro de diseño

Datos	Valor	Referencia
Ubicación	Guamote	
Tipo de suelo	Tipo D	
Zona Sísmica	Tipo V	NEC-SE-DS
Región	Sierra	
Coefficiente Perfil de suelo		
Fa	1.20	NEC SE DS
Fd	1.19	NEC SE DS
Fs	1.28	NEC SE DS
H	2.48	NEC SE DS
r	1.00	NEC SE DS
Z	0.40	NEC SE DS
Resultados		
To	0.1269 s	NEC SE DS
Tc	0.6891 s	NEC SE DS
Tl	2.8560 s	NEC SE DS
Sa	1.1904 g	NEC SE DS
Sd	0.1488 g	NEC SE DS

Fuente: Autores

Con los datos proporcionados en la tabla se trazó la curva del espectro de diseño elástico, este nos ayudara a determinar la ubicación del periodo fundamental inicial de la estructura y así saber la aceleración espectral para proceder al cálculo del cortante basal.

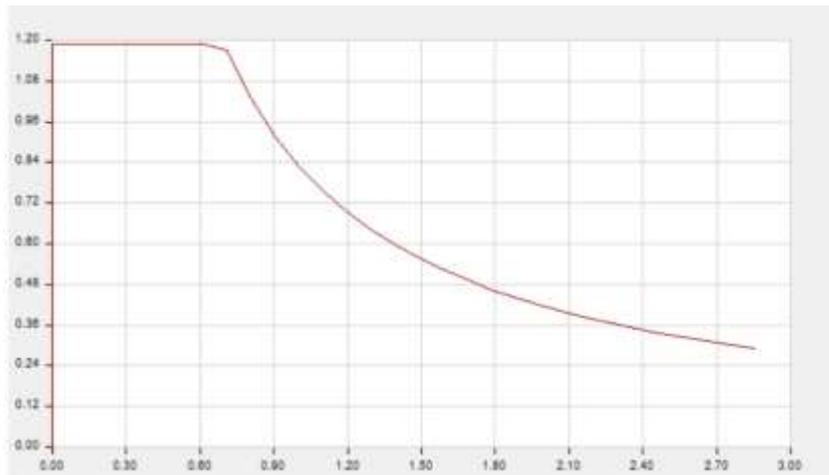


Figura 7. Espectro de diseño inelástico
Fuente: Autores

Una vez determinado el espectro de diseño inelástico se debe calcular el cortante basal por lo que es necesario encontrar el periodo inicial de las estructuras, para esto se utilizara la expresión detallada en la NEC 2015:

$$T = C_t h_n^\alpha$$

De la cual:

T: Es el periodo de vibración de la estructura

Ct: Coeficiente que dependerá de tipo de edificio

Hn: Altura máxima de la edificación

Los valores que se muestran en la Tabla 11 detallada a continuación se deben a que las estructuras analizadas están compuestas por mampostería estructural.

Tabla 11 Coeficientes para estructuras compuestas por mampostería estructural.

Coficiente	Valor
Ct	0.055
α	0.75

Fuente: Autores

Partiendo de estos datos se puede encontrar el periodo inicial 1 y 2 de cada caso de estudio, teniendo en cuenta que el periodo 2 se calcula mediante un incremento del 30% respecto al periodo 1.

Tabla 12. Periodos iniciales de las viviendas

Vivienda	Periodo 1 T (s)	Periodo 2 T (s)
Caso de estudio 1	0.2001	0.2601
Caso de estudio 2	0.3209	0.4173
Caso de estudio 3	0.4124	0.5362

Fuente: Autores

Como parte final se encontró el cortante basal de diseño para cada estructura, para esto se utilizará la expresión detallada en la NEC-SE-DS:

$$V = \frac{l * Sa}{R * \phi_p * \phi_E} * W$$

De la cual:

I: Es el factor de importancia

Sa: La aceleración espectral que corresponde al espectro de respuesta elástico para diseño

R: El factor de reducción de respuesta estructural

$\phi_p \phi_E$: Factores de configuración estructural tanto en planta como en elevación.

En el caso del factor de reducción de respuesta estructural R, se utilizará los valores establecidos en la NEC-SE-DS que se muestran a continuación:

- Caso 1: R=1, mampostería no reforzada limitada a un piso
- Caso 2: R=3, mampostería confinada limitada a dos pisos
- Caso 3: R=3, mampostería confinada limitada a dos pisos

En la tabla que se muestra a continuación se detallan los valores encontrados para el cortante basal de diseño en cada caso de estudio.

Tabla 13. Cortante basal calculado para cada vivienda

Vivienda	Cortante basal
Caso de estudio 1	$V=0.3968*W$
Caso de estudio 2	$V=0.3968*W$
Caso de estudio 3	$V=0.4408*W$

Fuente: Autores

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad del adobe

Las muestras de adobe ensayadas a compresión no mostraron un comportamiento similar, evidenciando así lo que ya se mencionó anteriormente que el comportamiento de cada adobe dependerá de su composición y técnica utilizada en su fabricación. Durante los ensayos se puede notar que las muestras presentaban grandes deformaciones ante pequeños incrementos de carga, durante todos los ensayos la velocidad de carga fue de 98N/s.

El fallo de las muestras de adobe por lo general comenzaba con desprendimientos superficiales en los contornos y fisuras en las esquinas, seguida de fisuras, ramificaciones y raíces que iban desde el contorno al centro de la muestra y finalizaban con la disgregación de la muestra ensayada.

4.1.1.1 Muestras casa 1

En la *Figura 8* podemos observar las curvas de esfuerzo vs deformación de las 4 muestras ensayadas obtenidas de la vivienda 1, en este se ve que las 4 tienen diferentes comportamientos, y además no se puede observar claramente una zona elástica.

(Aguilera & Quezada, 2017) nos mencionan que el comportamiento de un adobe ante esfuerzos de compresión es de acomodarse para seguir soportando carga, y esto se lo puede notar claramente en una curva esfuerzo vs deformación cuando esta presenta un comportamiento escalonado, teniendo grandes deformaciones ante aumentos pequeños de cargas para después registrar grandes incrementos de carga, repitiéndose este fenómeno hasta su falla por completo. Esto lo podemos notar claramente en la gráfica ya que el comportamiento es escalonado.

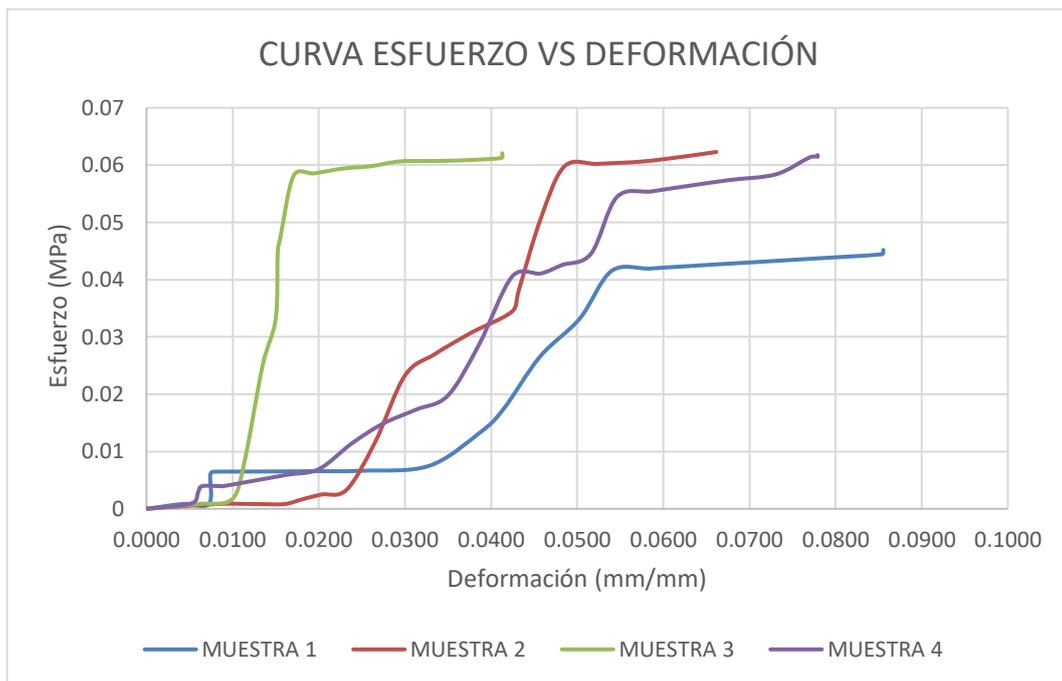


Figura 8. Curva esfuerzo vs deformación muestras casa 1
Fuente: Autores

4.1.1.2 Muestras casa 2

En la Figura 9 podemos observar las curvas de esfuerzo vs deformación de las 4 muestras ensayadas obtenidas de la vivienda 2, en este se ve que las 4 tienen diferentes comportamientos, es decir ninguna se parece a la otra y además podemos aclarar que no se puede observar claramente una zona elástica.

En estas muestras se puede notar una tendencia más horizontal, aunque en partes existe la presencia de un escalonamiento, de los ensayos de estas 4 muestras podemos decir que se va incrementando la muestras paulatinamente hasta su fracaso, de igual forma esto va ligado al acomodamiento de las partículas de tierra al estar sometido a esfuerzos externos de compresión.

La muestra 4 es la que menos esfuerzos soporta, pero se puede notar que a pesar de ser pequeños los esfuerzos las deformaciones son considerables, a comparación de las otras 3 muestras que soportan mayores esfuerzos y con deformaciones parecidas a esta.

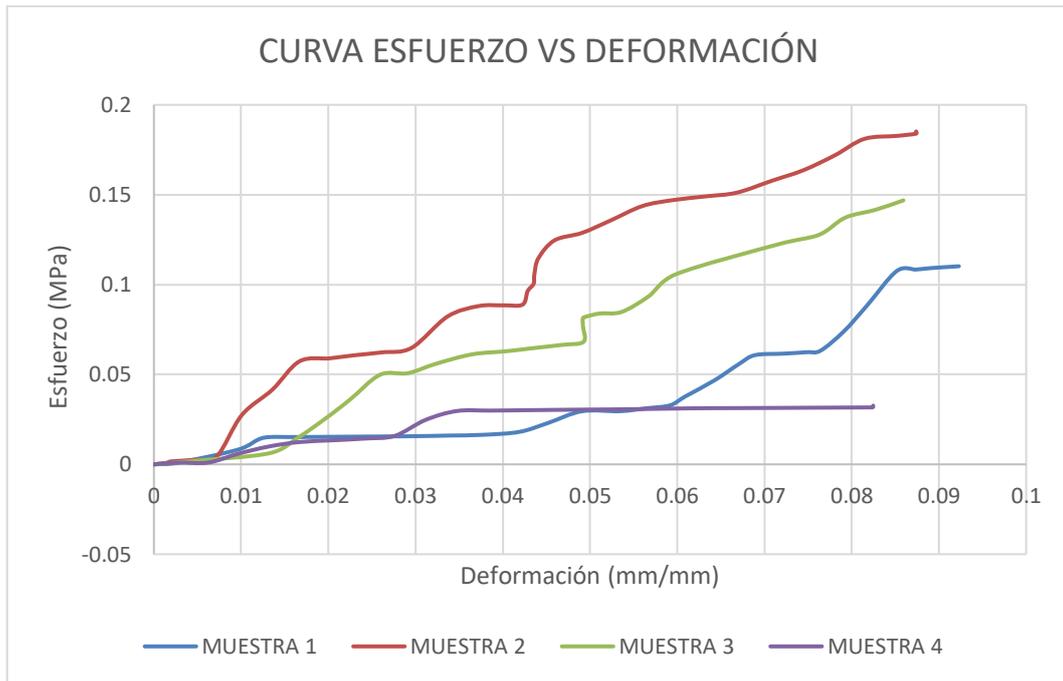


Figura 9. Curva esfuerzo vs deformación muestras casa 2
Fuente: Autores

4.1.1.3 Muestras casa 3

En la Figura 10 podemos observar las curvas de esfuerzo vs deformación de las 4 muestras ensayadas obtenidas de la vivienda 3, en este se ve que las 4 tienen diferentes comportamientos, es decir ninguna se parece a la otra y además podemos aclarar que no se puede observar claramente una zona elástica.

Las muestras de esta vivienda fue la que más se diferenciaban entre ellas, teniendo en consideración lo siguiente:

- La muestra 1 presenta una tendencia completamente horizontal, es la que menos esfuerzos soporta, pero a pesar de esto sus deformaciones son considerables y mucho mayores a las otras muestras
- La muestra 2 y 3 podemos decir que el esfuerzo de este se va aumentando paulatinamente al igual que su deformación.
- Por último, la muestra 4 presenta un escalonamiento notorio, presentando en partes grandes deformaciones ante esfuerzos pequeños y en otros grandes esfuerzos con deformaciones pequeñas.

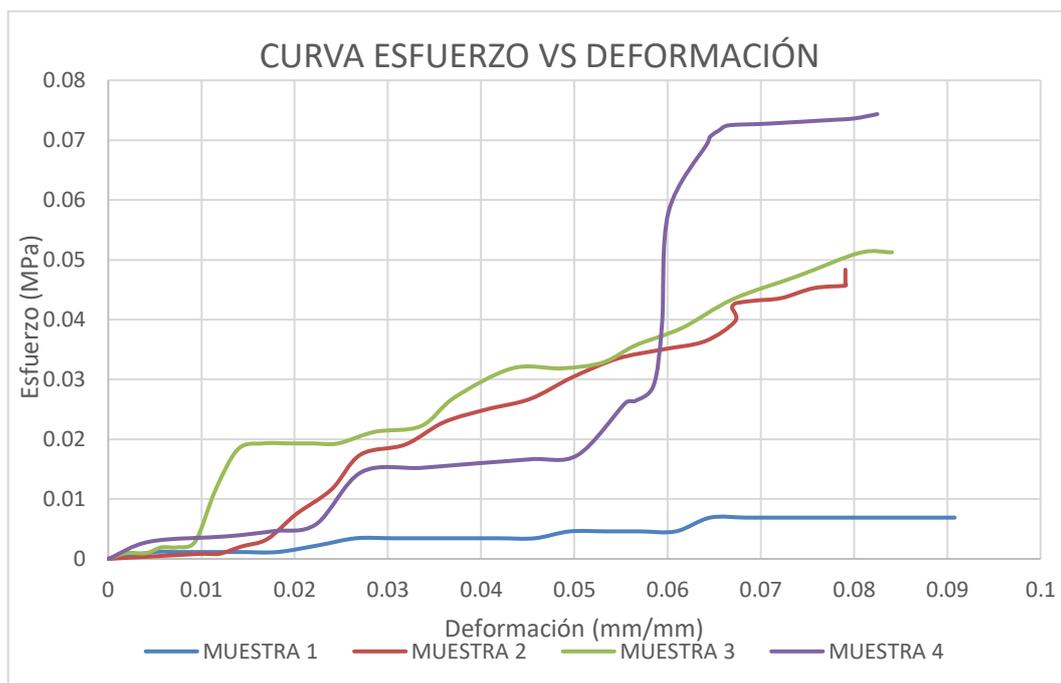


Figura 10. Curva esfuerzo vs deformación muestras casa 3
Fuente: Autores

4.1.1.4 Cálculo del módulo de elasticidad y resistencia a la compresión

Para el cálculo del módulo de elasticidad nos basaremos en lo expuesto por (Aguilera & Quezada, 2017), donde partiendo de las curvas esfuerzo vs deformación se tomará como datos el esfuerzo máximo y la deformación unitaria asociada a este, aplicando la siguiente fórmula y obteniendo así el módulo de elasticidad. Esto ya que como se mencionó en párrafos anteriores en este tipo de material no se puede definir una zona elástica ni tampoco podemos delimitar una zona en la que deja la muestra de ser elástica.

$$E = \frac{\sigma}{\delta}$$

De la cual:

E: Módulo de elasticidad

σ : Esfuerzo máximo

δ : Deformación unitaria asociada al esfuerzo máximo

En la *Tabla 14* mostrada a continuación se indican los valores del esfuerzo máximo considerados para el cálculo del módulo de elasticidad para cada espécimen

Tabla 14. Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad del adobe

Espécimen	Fuerza Máximo (kN)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)
Casa 1	7.473	0.0623	0.9416
Casa 2	22.3	0.1852	2.1195
Casa 3	2.565	0.0743	0.9012

Fuente: Autores

Como nos menciona (*Sanchez Urgiles, 2021*) para que la estructura tenga un comportamiento rígido y se encuentre en el rango inelástico, es necesario que los valores del módulo de elasticidad sean mayores a 45MPa, es decir los referentes a muros de adobe reforzados; Por otro lado los valores menores a 45MPa hacen que la estructura tenga un comportamiento flexible.

Partiendo de esto y con los valores del módulo de elasticidad obtenido en los ensayos podemos decir que el comportamiento estructural en los 3 casos de estudio es flexible.

En este punto al ver los valores muy bajos tanto de la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad es necesario mencionar que previo a esta investigación se realizó ensayos para conocer la resistencia a la compresión, de 6 muestras de adobes estabilizados con cemento fabricados hace 5 años, manteniendo la tendencia de valores muy bajos, la resistencia a la compresión de estas muestras de adobe varió de 0.0586 MPa hasta 0.2359 MPa, de igual forma ninguno de estos cumplió con lo establecido en la normativa peruana E 0.80. Por otro lado, también se analizó 6 muestras de adobe tradicional de 2 viviendas existentes, solo 1 de ellas cumplió con los valores establecidos en la normativa con un valor de 1.2744MPa, el detalle de estos resultados lo podemos observar de mejor manera en el *Anexo 16. Ensayos resistencia a la compresión fase 1.*

Analizando estos valores y teniendo en consideración los materiales empleados en los adobes estabilizados, se deduce que en el cantón Guamote existe una mala calidad de adobes, lo que nos puede llevar a presentar serios problemas en el comportamiento estructural tanto de viviendas ya existentes como de futuras, por lo que poner énfasis a esto sería fundamental para mejorar la calidad del material y por ende un mejor comportamiento estructural en viviendas de adobe.

4.1.2 Caso de estudio 1: Vivienda Patrimonial de 1 piso

El primer caso de estudio está ubicado en la provincia de Chimborazo, cantón Guamote, parroquia Matriz, en las calles Juan Davalos y Chile. No se tiene una fecha exacta de su construcción, pero de acuerdo a versiones de dueños y lo expuesto por el (Instituto Nacional de Patrimonio, 2022) en el sistema de información del Patrimonio Cultural Ecuatoriano (SIPCE), el inmueble tiene alrededor de 120 años de existencia por lo que podemos mencionar que fue construido en el primer periodo del siglo XX, en la década de 1900-1910.

La vivienda patrimonial corresponde al estilo tradicional, destinado su uso a vivienda; “Inmueble cuya fachada es de estilo tradicional y sin retiro frontal, consta de un patio, en el interior se encuentran ambientes para sala, comedor, cocina, bodega y dormitorio” (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, 2022). La vivienda es de un piso y tiene una configuración regular en planta, con una tipología estructural de cimentaciones de piedra, muros portantes de adobe y cubierta de madera con tejas de barro; su fachada

asimétrica presenta una puerta al lado derecho y una pequeña ventana al lado izquierdo, con un predominante color blanco.



Figura 11. Vivienda patrimonial (caso de estudio 1)
Fuente: Autores

4.1.2.1 Levantamiento de información

La información sobre las dimensiones y tipos de materiales que componen a la vivienda patrimonial fueron obtenidas con ayuda de la técnica de observación, de igual forma se obtuvo datos para la modelación estructural Anexo 1.

En la *Tabla 15* descrita a continuación se presenta a manera de resumen las dimensiones de las secciones, materiales y tipo de objeto con el que se asignó en el software ETABS.

Tabla 15. Dimensión y material de las secciones

Sección	Tipo	Dimensiones	Material
Muro exterior	Shell-thick	e=75 cm	Adobe
Muro interior	Shell-thick	e=70 cm	Adobe
Correas	Frame	6x6 cm	Eucalipto
Vigas-cubierta	Frame	9x9 cm	Eucalipto

Fuente: Autores

4.1.2.2 Levantamiento planimétrico

El levantamiento planimétrico de las viviendas patrimoniales se lo realizó con ayuda de un flexómetro, cinta métrica y un medidor laser. Una vez finalizado con el levantamiento la información fue plasmada en planos arquitectónicos, esto se lo realizó en el software AutoCAD. En las figuras que se muestran a continuación podemos ver la información levantada para el caso de estudio 1.

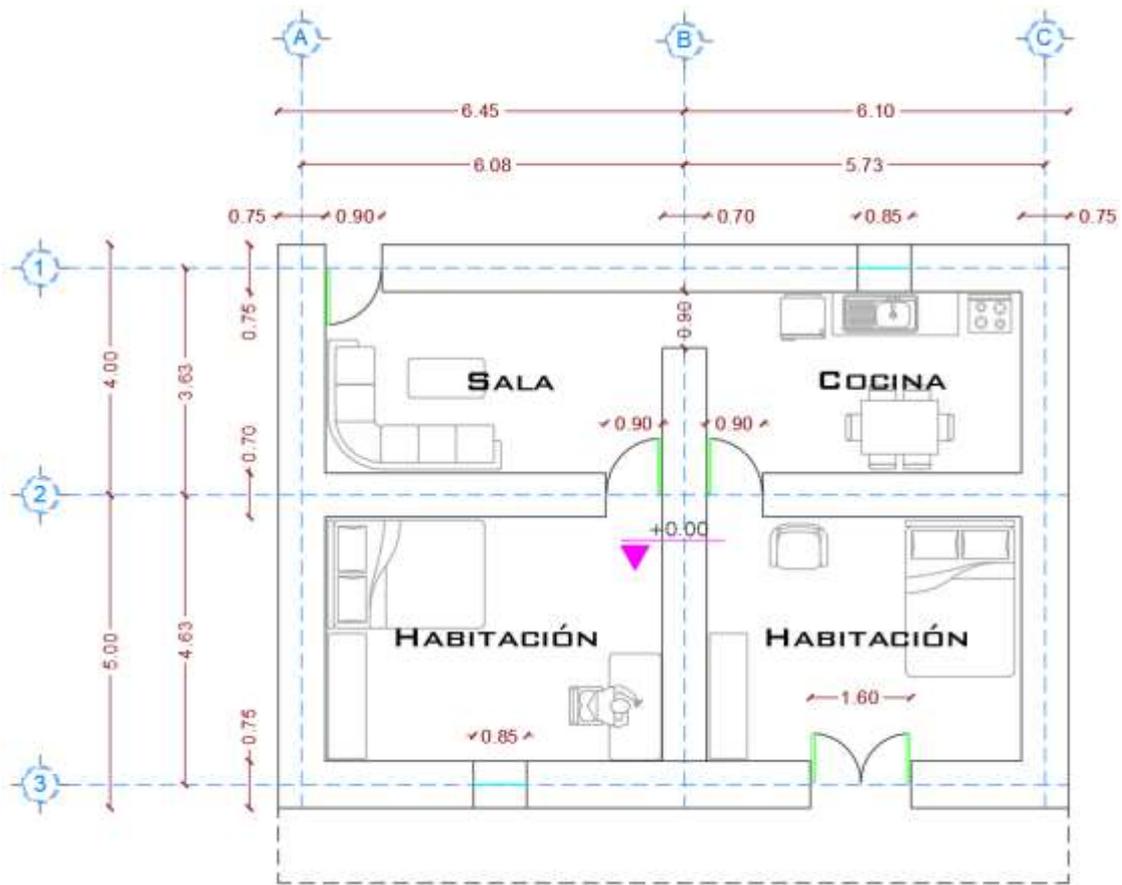


Figura 12. Detalle planta baja N+0.00m caso de estudio 1
Fuente: Autores

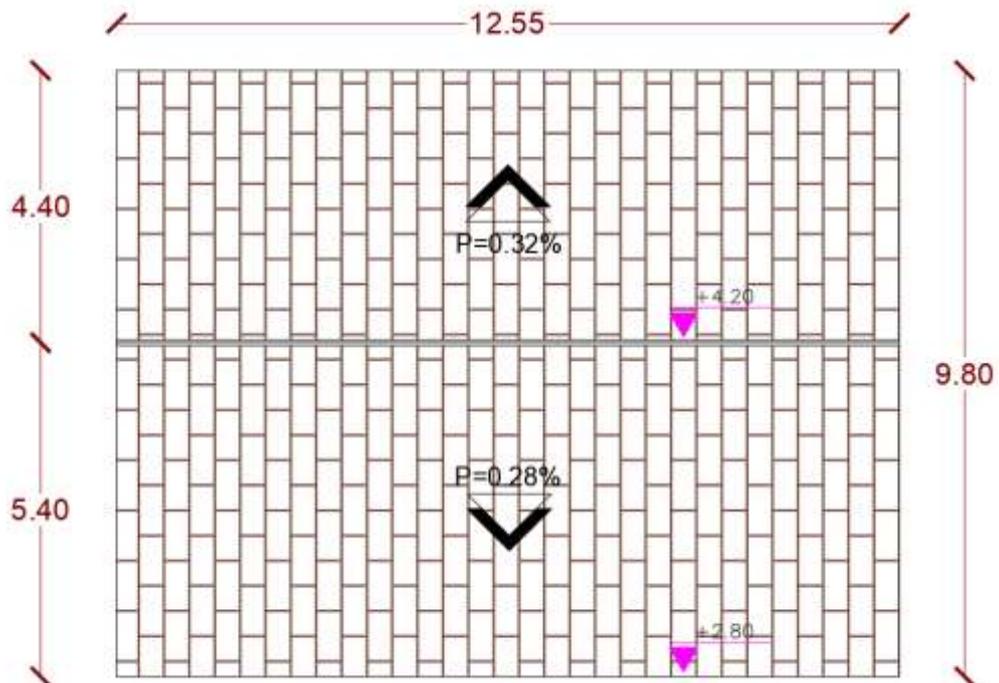


Figura 13. Detalle de cubierta N+4.20m caso de estudio 1
Fuente: Autores

4.1.2.3 Modelación estructural

Con las cargas vivas, muertas y dinámicas ya calculadas y definidas se procedió a modelar la estructura y asignar cada una de ellas a este modelo, obteniendo así el modelo inicial para el caso de estudio 1.

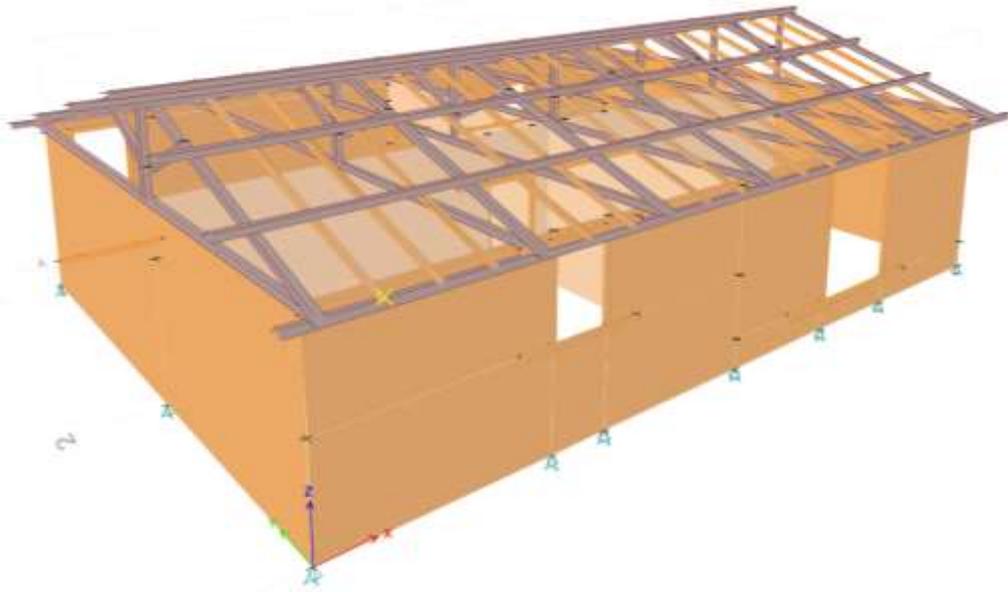


Figura 14. Modelación inicial caso de estudio 1

Fuente: Autores

4.1.3 Caso de estudio 2: Vivienda Patrimonial de 2 pisos esquinera

El segundo caso de estudio está ubicado en la provincia de Chimborazo, cantón Guamote, parroquia Matriz, en las calles José María Plaza y Chiriboga (esquina). La fecha específica de su construcción se desconoce, pero de acuerdo a versiones de sus dueños y lo expuesto por el (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, 2022) en el sistema de información del Patrimonio Cultural Ecuatoriano (SIPCE), el inmueble tiene alrededor de 115 años de existencia por lo que fue construido en el primer periodo del siglo XX, en la década de 1900-1910.

La vivienda patrimonial corresponde al estilo tradicional, destinado su uso a vivienda; “Inmueble de emplazamiento continuo y sin retiro frontal, consta de un patio, está ubicado en la zona central de Guamote, su fachada es de estilo tradicional, en el interior se encuentran ambientes para sala, comedor, cocina, bodega, local comercial y dormitorios” (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, 2022). La vivienda es de dos pisos y tiene una configuración regular tanto en planta como en altura, con una tipología estructural de cimentaciones de piedra, muros de adobe, pórticos de madera y cubierta de madera con techo tipo zinc; su fachada se distribuye en dos partes ya que es una vivienda esquinera, siendo la parte principal simétrica con la presencia de dos puertas en la parte baja, en esta predomina el color blanco.



*Figura 15. Vivienda patrimonial (caso de estudio 2)
Fuente: Autores*

4.1.3.1 Levantamiento de información

La información sobre las dimensiones y tipos de materiales que componen a la vivienda patrimonial 2 fueron obtenidas mediante la observación, de igual forma se obtuvo datos importantes para la modelación estructural. La información sobre las dimensiones y tipos de materiales que componen a la vivienda patrimonial 2 fueron obtenidas mediante la observación, de igual forma se obtuvo datos importantes para la modelación estructural Anexo 2.

En la *Tabla 16* descrita a continuación se presenta a manera de resumen las dimensiones de las secciones, materiales y tipo de objeto con el que se asignó en el software ETABS.

Tabla 16. Dimensión y material de las secciones

Sección	Tipo	Dimensiones	Material
Columnas	Frame	20x20 cm	Eucalipto
Vigas	Frame	20x10 cm	Eucalipto
Viguetas	Frame	15x7 cm	Eucalipto
Muro exterior e interior	Shell-thick	e=20 cm	Adobe

Fuente: Autores

4.1.3.2 Levantamiento planimétrico

El levantamiento planimétrico para esta vivienda patrimonial se lo realizó con ayuda de un flexómetro, cinta métrica y un medidor laser. Una vez finalizado con el levantamiento,

la información fue plasmada en planos arquitectónicos, esto se los realizó en el software AutoCAD. En las figuras que se muestran a continuación podemos ver la información levantada para el caso de estudio 2.

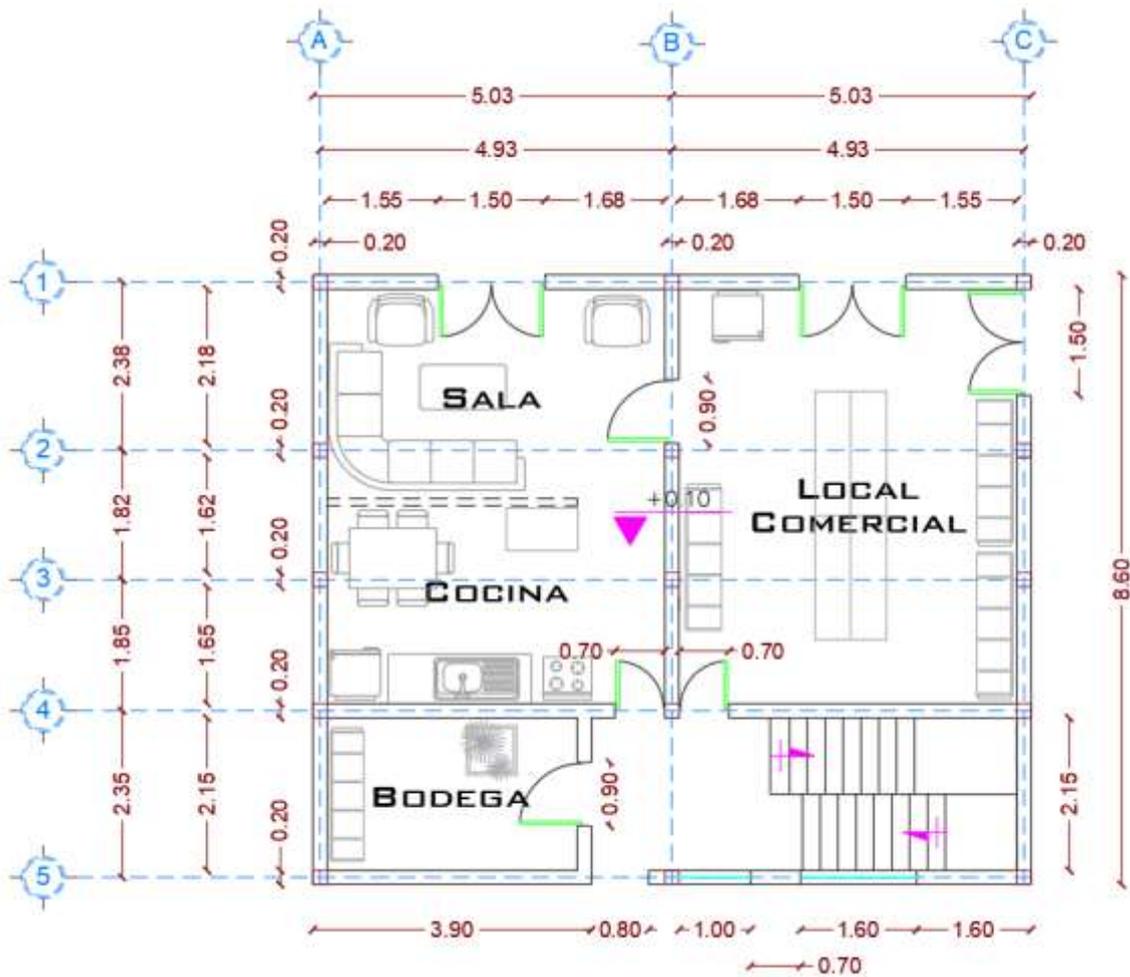


Figura 16. Detalle planta baja N+0.10m caso de estudio 2
Fuente: Autores

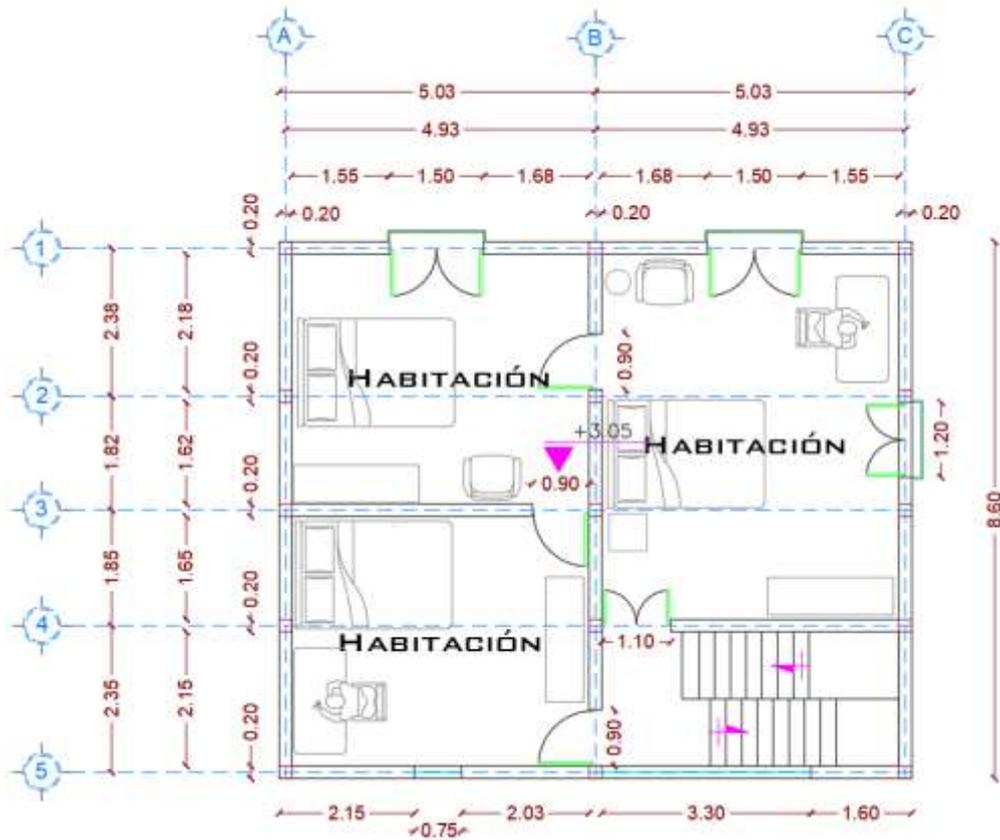


Figura 17. Detalle planta alta N+3.05 caso de estudio 2
Fuente: Autores

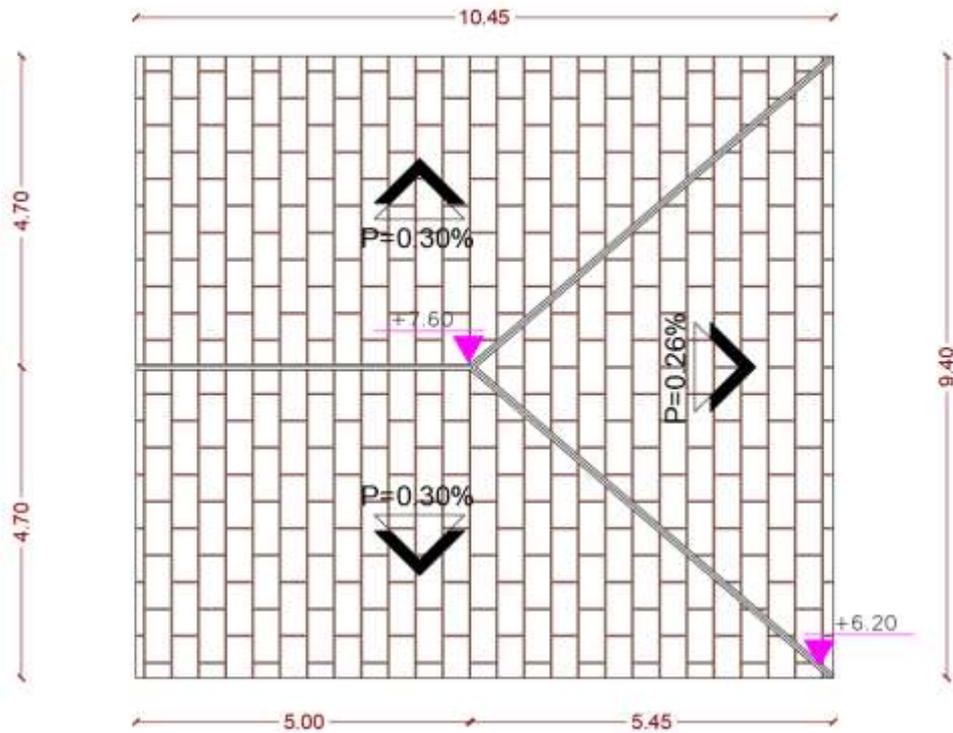


Figura 18. Detalle de cubierta N+7.60m caso de estudio 2
Fuente: Autores

4.1.3.3 Modelación estructural

Con las cargas vivas, muertas y dinámicas ya calculadas y definidas se procedió a modelar la estructura y asignar cada una de ellas a este modelo, obteniendo así el modelo inicial para el caso de estudio 2

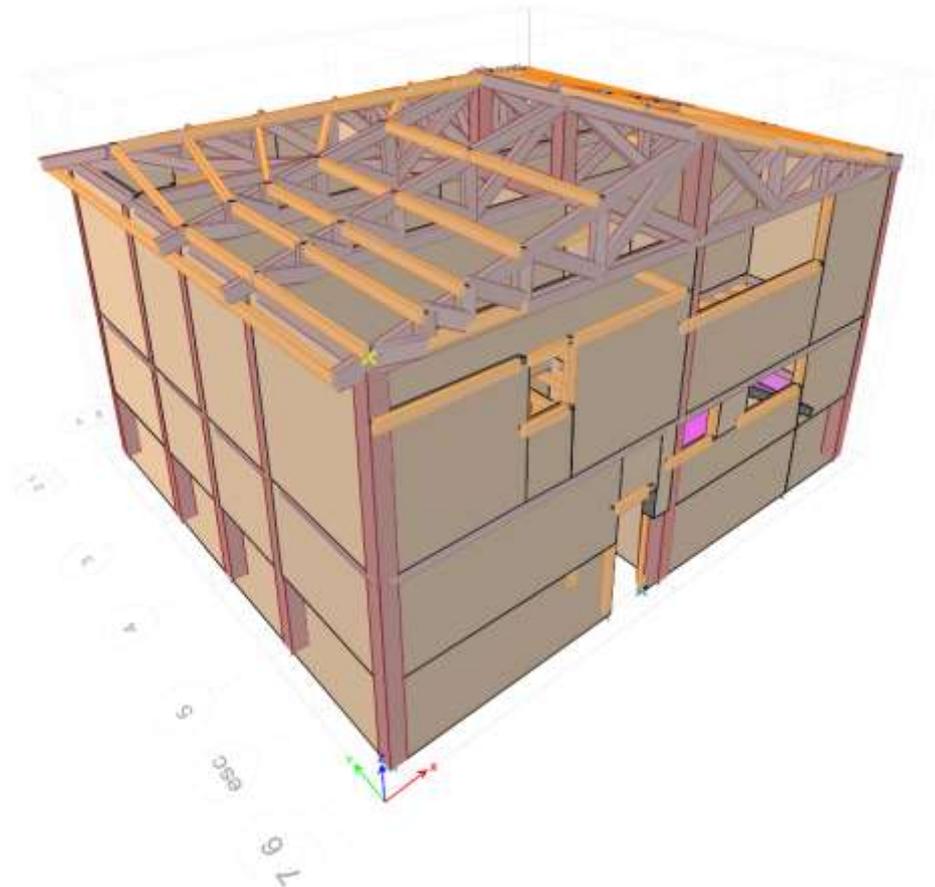


Figura 19. Modelación inicial caso de estudio 2
Fuente: Autores

4.1.4 Caso de estudio 3: Vivienda Patrimonial de 2 pisos

El tercer caso de estudio está ubicado en la provincia de Chimborazo, cantón Guamote, parroquia Matriz, en las calles Eloy Alfaro y Simón Bolívar. La fecha de específica de su construcción se desconoce, pero de acuerdo a versiones de sus dueños y lo expuesto por el (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, 2022) en el Sistema de información del Patrimonio Cultural Ecuatoriano (SIPCE), el inmueble tiene alrededor de 120 años de existencia por lo que fue construido en el primer periodo del siglo XX, en la década de 1900-1910.

La vivienda patrimonial corresponde al estilo tradicional, actualmente su uso es para vivienda, sin embargo, en esta vivienda años atrás funcionaba el registro civil y otras oficinas públicas. “Inmueble de emplazamiento continuo y sin retiro frontal, consta de un patio, está ubicado en la zona central de Guamote, su fachada es de estilo tradicional, en el interior se

encuentran ambientes para sala, comedor. Cocina, bodega, dormitorios, locales y oficinas comerciales” (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, 2022). La vivienda es de dos pisos y tiene una configuración irregular en planta, con una tipología estructural de cimentaciones de piedra, muros de adobe, pórticos de madera y cubierta de madera con techo tipo zinc; su fachada es simétrica y en esta predomina el color blanco.



Figura 20. Vivienda patrimonial (caso de estudio 3)
Fuente: Autores

4.1.4.1 Levantamiento de información

La información sobre las dimensiones y tipos de materiales que componen a esta vivienda patrimonial fueron obtenidas mediante la observación, de igual manera se obtuvo datos importantes para la modelación estructural Anexo 3.

En la *Tabla 17* descrita a continuación se presenta a manera de resumen las dimensiones de las secciones, materiales y tipo de objeto con el que se asignó en el software ETABS.

Tabla 17. Dimensión y material de las secciones

Sección	Tipo	Dimensiones	Material
Columnas	Frame	13x13 cm	Eucalipto
		18x18 cm	
Vigas	Frame	18x13 cm	Eucalipto
Viguetas	Frame	15x7 cm	Eucalipto
Muro exterior	Shell-thick	e=70 cm e=90cm	Adobe
Muro interior	Shell-thick	e=20 cm	Adobe

Fuente: Autores

4.1.4.2 Levantamiento planimétrico

El levantamiento planimétrico para esta vivienda patrimonial se lo realizó con ayuda de un flexómetro, cinta métrica y un medidos laser. Una vez finalizado con el levantamiento, la información obtenida fue plasmada en planos arquitectónicos, esto se los realizó en el software AutoCAD. En las figuras que se muestran a continuación podemos ver la información para el caso de estudio 3.

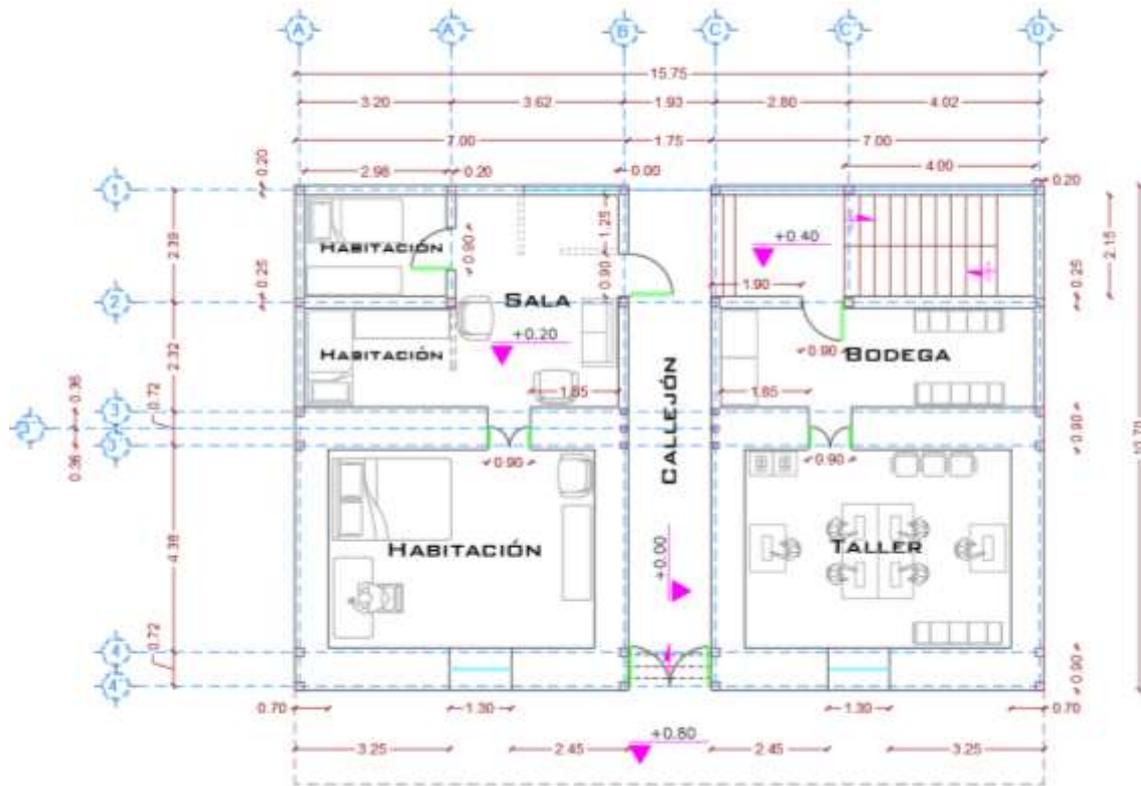


Figura 21. Detalle planta baja N+0.00m caso de estudio 3
Fuente: Autores

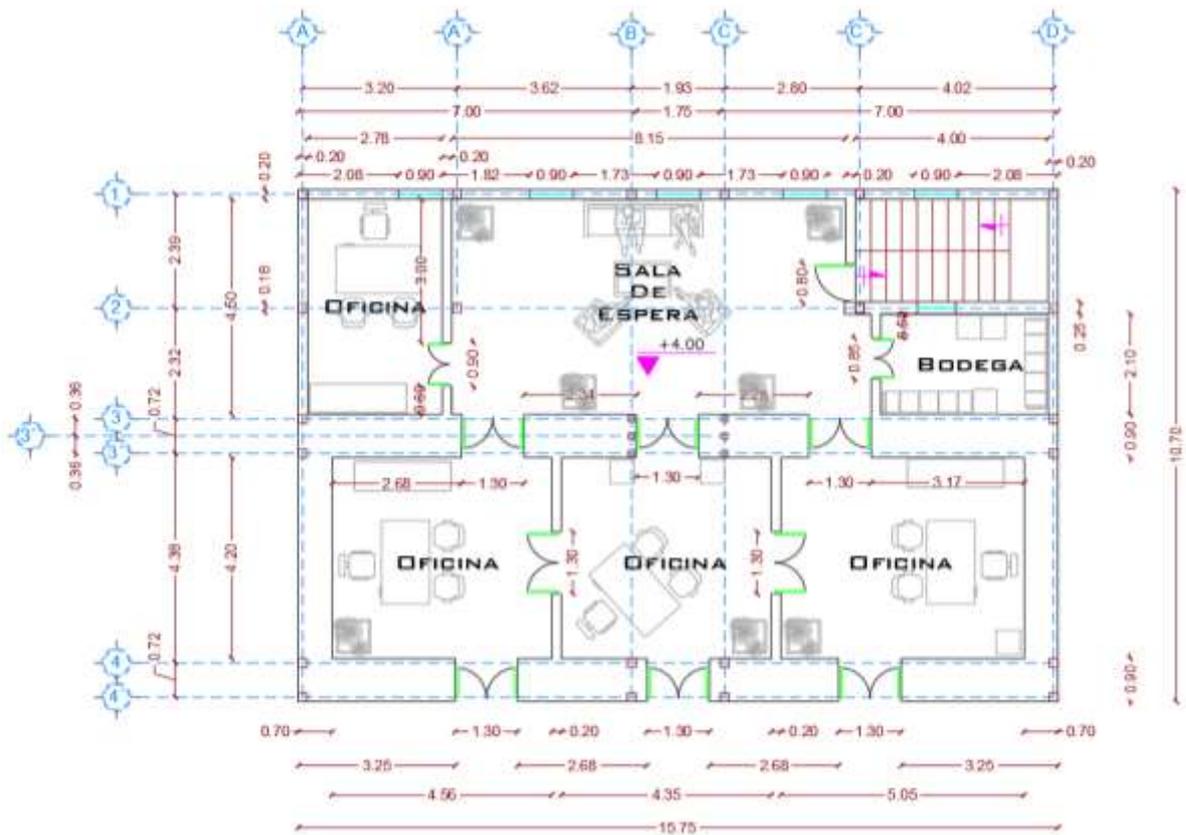


Figura 22. Detalle planta alta N+4.00m caso de estudio 3
Fuente: Autores

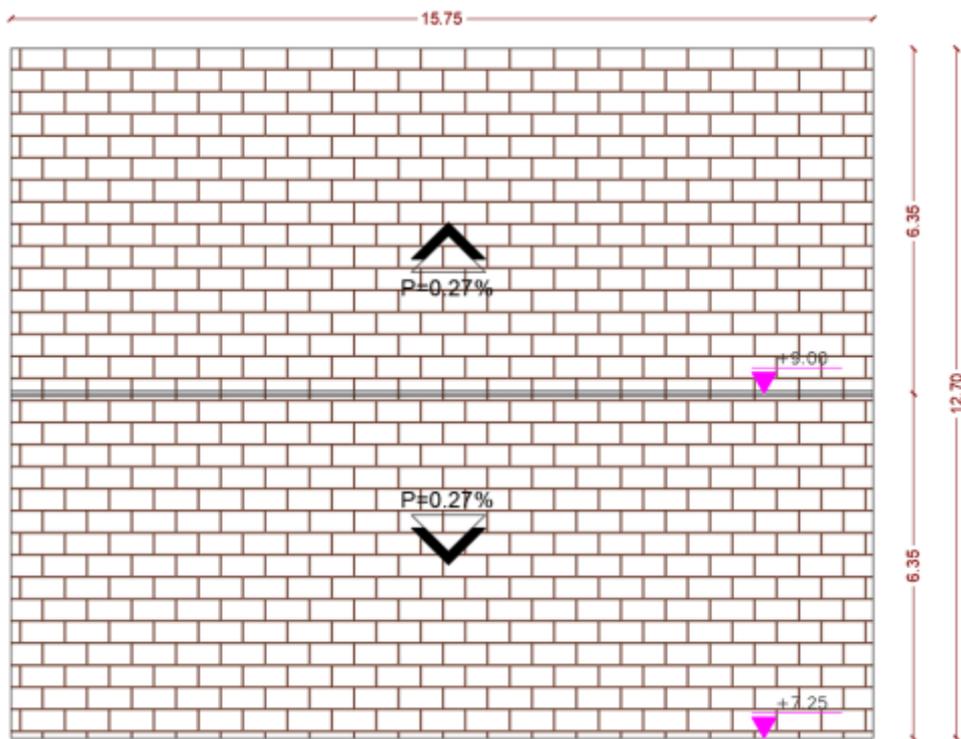


Figura 23. Detalle de cubierta N+9.00m caso de estudio 3
Fuente: Autores

4.1.4.3 Modelación estructural

Con las cargas vivas, muertas y dinámicas ya calculadas y definidas se procedió a modelar la estructura y asignar cada una de ellas a este modelo, obteniendo así el modelo inicial para el caso de estudio 3.

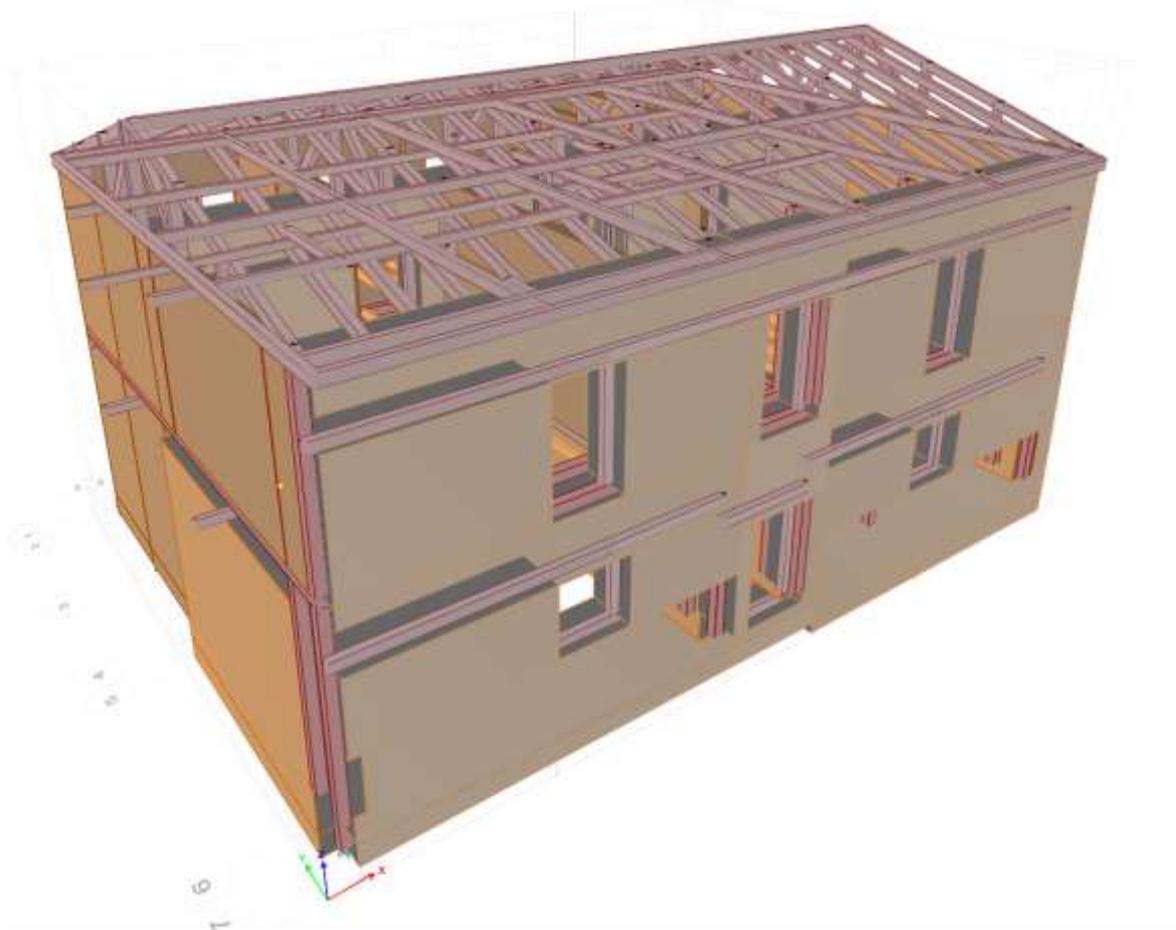


Figura 24. Modelación inicial caso de estudio 3
Fuente: Autores

4.1.5 Módulo de elasticidad

4.1.5.1 Módulo de elasticidad vs Periodo fundamental

Obtenido los distintos de módulos de elasticidad se decidió establecer valores que vayan desde el más bajo $E_m=0.90119\text{MPa}$ hasta el más alto $E_m=2.11955\text{MPa}$.

Una vez realizada la variación de los módulos de elasticidad, se analizó la influencia de este sobre el periodo fundamental en cada una de las estructuras, los resultados de esto lo podemos observar en la *Tabla 18* y gráficas que se muestra a continuación:

Tabla 18. Periodos fundamentales de los casos de estudio

	CASO 1	CASO 2	CASO 3
Em (Mpa)	T (s)	T (s)	T (s)
0,90119	2,168	2,191	9,224
0,94163	2,128	2,154	9,025
0,95	2,12	2,147	8,985
1	2,075	2,105	8,759
1,05	2,032	2,066	8,549
1,1	1,993	2,03	8,353
1,15	1,955	1,995	8,17
1,2	1,92	1,963	7,999
1,25	1,887	1,933	7,838
1,3	1,855	1,904	7,686
1,35	1,825	1,877	7,543
1,4	1,796	1,852	7,408
1,45	1,769	1,827	7,28
1,5	1,743	1,804	7,158
1,55	1,718	1,782	7,042
1,6	1,695	1,761	6,932
1,65	1,672	1,741	6,826
1,7	1,65	1,722	6,726
1,75	1,629	1,704	6,629
1,8	1,609	1,687	6,537
1,85	1,59	1,67	6,449
1,9	1,571	1,654	6,364
1,95	1,553	1,639	6,282
2	1,536	1,624	6,203
2,05	1,519	1,61	6,128
2,1	1,503	1,596	6,055
2,11955	1,496	1,591	6,027

Fuente: Autores

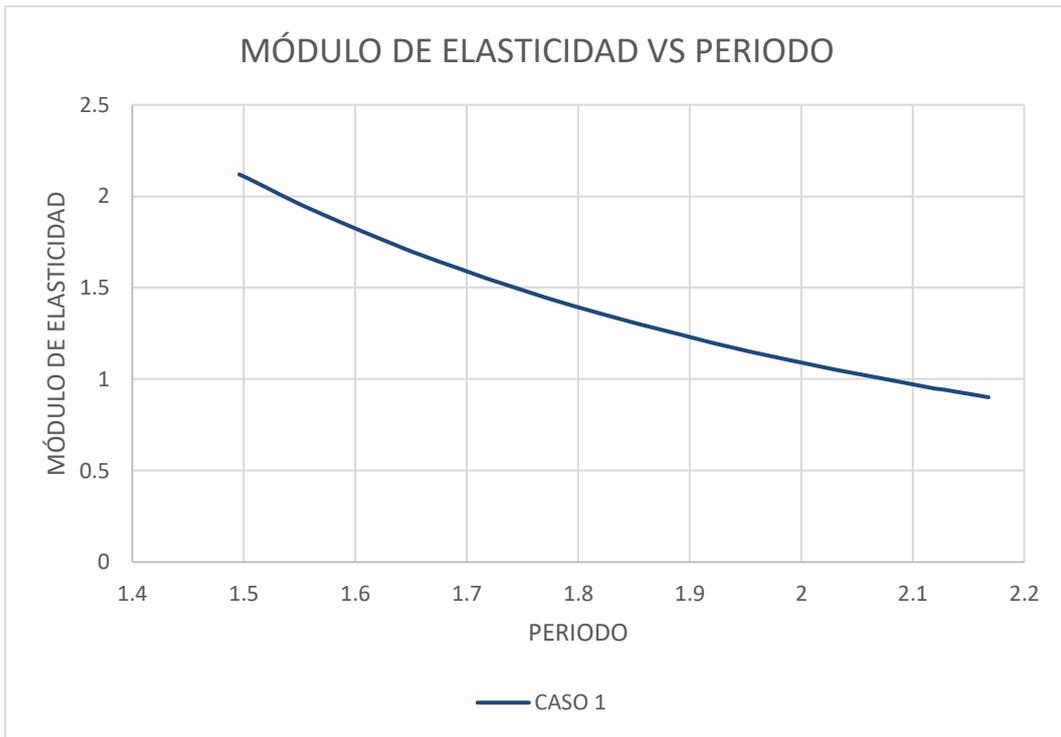


Figura 25. Módulo de elasticidad VS Periodo fundamental caso de estudio 1
Fuente: Autores

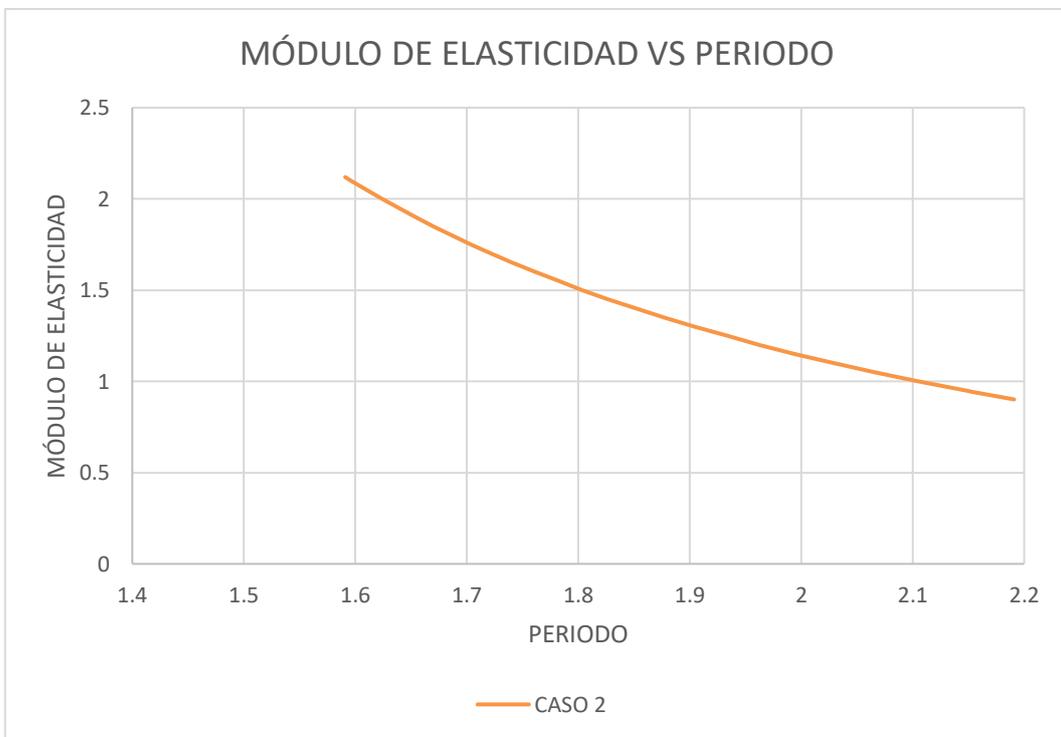


Figura 26. Módulo de elasticidad VS Periodo fundamental caso de estudio 2
Fuente: Autores

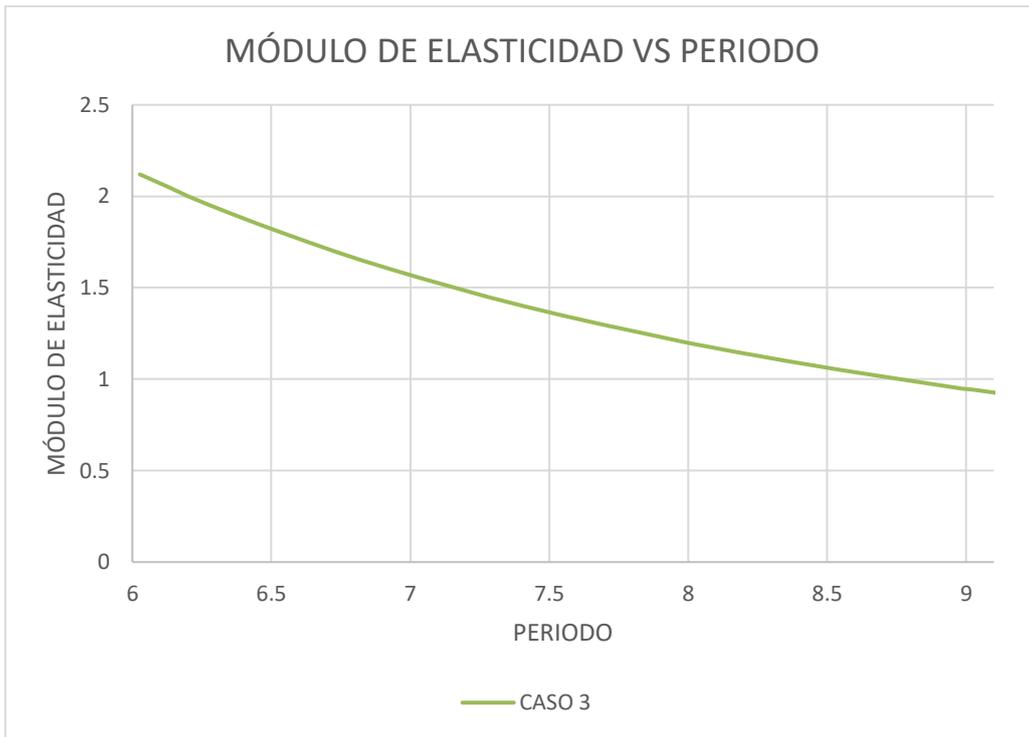


Figura 27. Módulo de elasticidad VS Periodo fundamental caso de estudio 3
Fuente: Autores

Como se puede observar en la *Tabla 18* y en las figuras la influencia del módulo de elasticidad en el periodo fundamental es inversa, ya que mientras se incrementa el módulo, el periodo va disminuyendo. Esto en referencia a lo obtenido de forma general en los 3 casos de estudio.

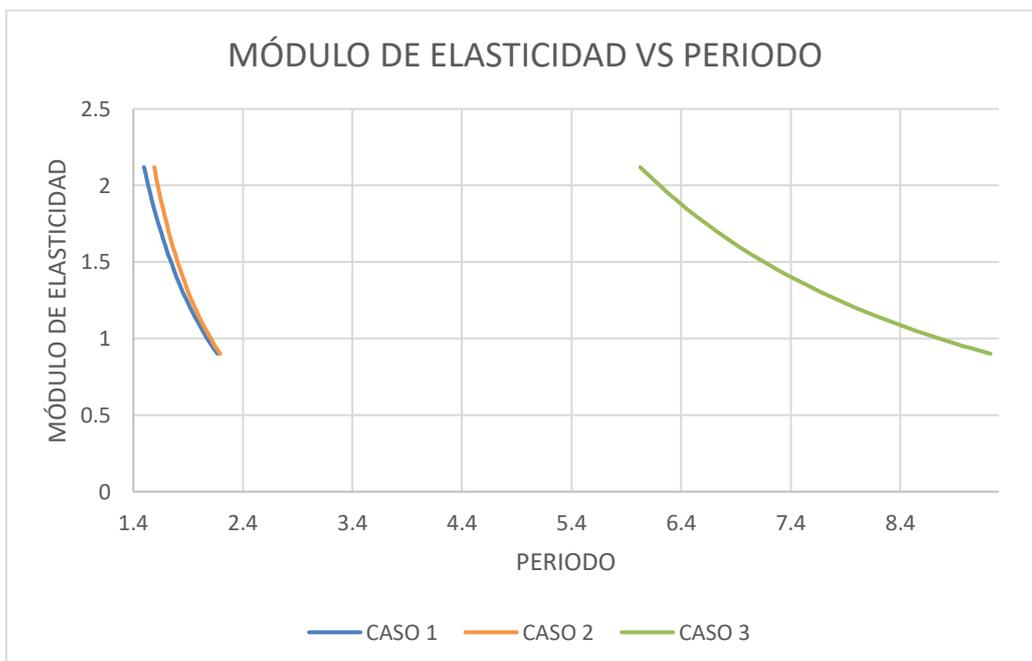


Figura 28. Módulo de elasticidad VS Periodo fundamental de los casos de estudio
Fuente: Autores

Comparando las gráficas de los periodos fundamentales en los 3 casos de estudio podemos mencionar que:

- Para el caso de estudio 1 se obtuvo un periodo máximo de 2.168s y en el caso de estudio 2 de 2.191s, como podemos observar en la *Figura 28* estos periodos muestran una similitud debido a que son regulares tanto en planta como en elevación, pero como el caso de estudio 1 tiene muros de $e=0.75m$ y es de un solo piso nos da como resultado que su periodo es el menor con respecto a los otros casos de estudio, aunque su variación con respecto al caso 2 es mínima.
- El caso de estudio 3 presenta un periodo máximo de 9.224s, completamente alejado de los casos anteriores como lo muestra la *Figura 28*, esto ya que la estructura es irregular tanto en planta como en elevación.

4.1.5.2 Módulo de elasticidad vs Modos de vibración

Para el análisis de los modos de vibración en los 3 casos de estudio, de igual forma se realizó la variación de los módulos de elasticidad, los resultados de la influencia del módulo de elasticidad en los modos de vibración lo podemos ver en la Tabla 19 que se muestra a continuación:

Tabla 19. Modos de vibración de los casos de estudio

Em (Mpa)	CASO 1			CASO 2			CASO 3		
	UX	UY	RZ	UX	UY	RZ	UX	UY	RZ
0.90119	0.00%	21.90%	7.02%	0.14%	80.69%	4.33%	0.20%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.02%	5.16%	4.80%	3.51%	67.97%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.04%	0.13%	0.11%	1.27%	0.00%	1.35%	0.26%	71.86%	0.40%
0.94163	0.00%	21.70%	7.04%	0.13%	80.91%	3.90%	0.20%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.00%	5.11%	4.28%	3.07%	68.56%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.04%	0.13%	0.09%	0.94%	0.02%	0.84%	0.29%	71.67%	0.49%
0.95	0.00%	21.66%	7.04%	0.12%	80.95%	3.82%	0.20%	0.00%	0.01%
	0.01%	28.99%	5.10%	4.18%	2.99%	68.64%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.04%	0.13%	0.09%	0.88%	0.03%	0.76%	0.29%	71.63%	0.51%
1	0.00%	21.42%	7.06%	0.10%	81.15%	3.35%	0.20%	0.00%	0.01%
	0.01%	28.97%	5.03%	3.61%	2.48%	68.85%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.04%	0.14%	0.06%	0.57%	0.08%	0.34%	0.33%	71.40%	0.63%
1.05	0.00%	21.20%	7.08%	0.09%	81.28%	2.92%	0.20%	0.00%	0.01%
	0.01%	28.97%	4.96%	3.12%	2.02%	68.67%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.04%	0.15%	0.05%	0.34%	0.16%	0.09%	0.37%	71.15%	0.76%
1.1	0.00%	20.99%	7.10%	0.08%	81.35%	2.55%	0.20%	0.00%	0.01%
	0.01%	28.97%	4.90%	2.70%	1.60%	68.13%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.04%	0.15%	0.03%	0.18%	0.26%	0.00%	0.41%	70.90%	0.89%
1.15	0.00%	20.78%	7.12%	0.07%	81.36%	2.21%	0.20%	0.00%	0.01%
	0.01%	28.98%	4.84%	2.33%	1.22%	67.26%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.04%	0.15%	0.02%	0.07%	0.38%	0.08%	0.46%	70.64%	1.02%

1.2	0.00%	20.59%	7.13%	0.06%	81.31%	1.90%	0.20%	0.00%	0.01%
	0.01%	28.99%	4.78%	2.00%	0.89%	66.08%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.04%	0.16%	0.01%	0.01%	0.53%	0.37%	0.51%	70.38%	1.15%
1.25	0.00%	20.40%	7.15%	0.05%	81.20%	1.63%	0.20%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.01%	4.72%	1.72%	0.60%	64.60%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.04%	0.16%	0.01%	0.00%	0.70%	0.90%	0.55%	70.12%	1.28%
1.3	0.00%	20.23%	7.16%	0.04%	81.04%	1.39%	0.20%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.03%	4.66%	1.48%	0.37%	62.82%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.04%	0.16%	0.00%	0.04%	0.89%	1.71%	0.61%	69.85%	1.42%
1.35	0.00%	20.06%	7.17%	0.04%	80.83%	1.17%	0.20%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.06%	4.61%	1.27%	0.19%	60.78%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.04%	0.16%	0.00%	0.11%	1.10%	2.84%	0.66%	69.59%	1.55%
1.4	0.00%	19.89%	7.19%	0.03%	80.56%	0.98%	0.20%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.08%	4.56%	1.08%	0.07%	58.48%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.04%	0.16%	0.00%	0.21%	1.33%	4.32%	0.72%	69.32%	1.67%
1.45	0.00%	19.74%	7.20%	0.03%	80.25%	0.81%	0.20%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.11%	4.51%	0.92%	0.01%	55.97%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.04%	0.15%	0.00%	0.32%	1.56%	6.15%	0.77%	69.06%	1.80%
1.5	0.00%	19.59%	7.21%	0.03%	79.88%	0.66%	0.21%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.14%	4.46%	0.78%	0.01%	53.28%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.03%	0.15%	0.00%	0.43%	1.78%	8.32%	0.83%	68.79%	1.93%
1.55	0.00%	19.44%	0.00%	0.02%	79.46%	0.52%	0.21%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.17%	4.41%	0.66%	0.08%	50.47%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.03%	0.15%	0.03%	0.54%	2.00%	10.77%	0.89%	68.52%	2.05%
1.6	0.00%	19.31%	7.23%	0.02%	78.98%	0.41%	0.21%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.20%	4.38%	0.55%	0.21%	47.59%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.03%	0.15%	0.00%	0.64%	2.19%	13.44%	0.96%	68.25%	2.17%
1.65	0.00%	19.17%	7.24%	0.02%	78.45%	0.31%	0.21%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.24%	4.34%	0.46%	0.42%	44.69%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.03%	0.14%	0.00%	0.72%	2.36%	16.25%	1.03%	67.98%	2.29%
1.7	0.00%	19.04%	7.25%	0.02%	77.86%	0.23%	0.21%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.27%	4.30%	0.39%	0.69%	41.83%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.03%	0.14%	0.01%	0.78%	2.51%	19.11%	1.10%	67.71%	2.41%
1.75	0.00%	18.92%	7.26%	0.01%	77.22%	0.16%	0.21%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.30%	4.26%	0.33%	1.02%	39.05%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.03%	0.14%	0.01%	0.82%	2.62%	21.95%	1.17%	67.44%	2.52%
1.8	0.00%	18.80%	7.27%	0.01%	76.52%	0.10%	0.21%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.33%	4.22%	0.28%	1.42%	36.38%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.03%	0.14%	0.01%	0.85%	2.72%	24.71%	1.24%	67.17%	2.64%
1.85	0.00%	18.69%	7.27%	0.01%	75.75%	0.06%	0.21%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.36%	4.19%	0.23%	1.88%	33.85%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.03%	0.13%	0.01%	0.87%	2.79%	27.33%	1.32%	66.90%	2.75%
1.9	0.00%	18.58%	7.28%	0.01%	74.93%	0.03%	0.21%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.40%	4.15%	0.20%	2.40%	31.47%	0.21%	0.00%	0.21%

	0.03%	0.13%	0.02%	0.87%	2.85%	29.78%	1.40%	66.63%	2.86%
1.95	0.00%	18.47%	7.29%	0.01%	74.03%	0.01%	0.21%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.43%	4.12%	0.17%	2.98%	29.26%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.03%	0.13%	0.02%	0.86%	2.90%	32.04%	1.48%	66.35%	2.97%
2	0.00%	18.37%	7.30%	0.01%	73.07%	0.00%	0.21%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.46%	4.09%	0.14%	3.62%	27.20%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.03%	0.12%	0.02%	0.85%	2.93%	34.10%	1.57%	66.07%	3.08%
2.05	0.00%	18.27%	7.30%	0.01%	72.04%	0.00%	0.21%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.49%	4.06%	0.12%	4.32%	25.31%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.03%	0.12%	0.02%	0.83%	2.97%	35.95%	1.66%	65.80%	3.18%
2.1	0.00%	18.17%	7.31%	0.00%	70.94%	0.02%	0.21%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.52%	4.03%	0.10%	5.07%	23.57%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.03%	0.11%	0.03%	0.81%	3.01%	37.60%	1.75%	65.51%	3.29%
2.11955	0.00%	18.14%	7.31%	0.00%	70.49%	0.03%	0.21%	0.00%	0.01%
	0.01%	29.53%	4.02%	0.10%	5.38%	22.93%	0.21%	0.00%	0.21%
	0.03%	0.11%	0.03%	0.80%	3.03%	38.19%	1.79%	65.40%	3.33%

Fuente: Autores

Como nos indica los resultados obtenidos en la *Tabla 19* la influencia del módulo de elasticidad en las tres direcciones UX, UY y RZ de los modos de vibración es inversa, esto ya que a medida que el módulo aumente los porcentajes de participación modal van disminuyendo. Esto en referencia a lo obtenido de forma general en los 3 casos de estudio.

(Delgado, 2019) indica que el comportamiento ideal en una estructura se obtiene cuando los dos primeros modos son traslacionales, es decir tienen un porcentaje de participación de la masa mayor o igual al 90% y el tercer modo sea rotacional. Partiendo de esto podemos decir que ningún caso de estudio tiene un comportamiento ideal, a pesar de que el caso 1 y 2 son regulares en planta y altura.

4.1.5.3 Módulo de elasticidad vs Derivas de piso

En el análisis de las derivas de piso en los 3 casos de estudio, también se realizó la variación de los módulos de elasticidad, los resultados de la influencia del módulo de elasticidad en las derivas de piso lo podemos ver en la *Tabla 20* y graficas mostradas a continuación:

Tabla 20. Derivas de los casos de estudio.

Em (Mpa)	CASO 1		CASO 2		CASO 3	
	DRIFT X	DRIFT Y	DRIFT X	DRIFT Y	DRIFT X	DRIFT Y
0.90119	9.21%	2.88%	19.38%	26.48%	38.67%	13.56%
0.94163	9.06%	2.80%	14.51%	25.91%	37.01%	13.15%
0.95	9.03%	2.79%	14.39%	25.79%	36.69%	13.07%
1	8.87%	2.69%	13.74%	25.13%	34.85%	12.61%
1.05	8.72%	2.61%	13.14%	24.52%	33.19%	12.20%

1.1	8.58%	2.53%	12.60%	23.95%	31.69%	11.82%
1.15	8.46%	2.46%	12.10%	23.42%	30.31%	11.47%
1.2	8.34%	2.39%	11.64%	22.92%	29.05%	11.15%
1.25	8.24%	2.33%	11.22%	22.44%	27.89%	10.85%
1.3	8.14%	2.27%	10.82%	22.00%	26.82%	10.57%
1.35	8.05%	2.21%	10.46%	21.58%	25.82%	10.32%
1.4	7.96%	2.16%	10.12%	21.18%	24.90%	10.08%
1.45	7.88%	2.11%	9.80%	20.80%	24.05%	9.85%
1.5	7.80%	2.06%	9.50%	20.44%	23.25%	9.64%
1.55	7.73%	2.02%	9.22%	20.10%	22.50%	9.44%
1.6	7.67%	1.98%	8.95%	19.77%	21.80%	9.26%
1.65	7.60%	1.94%	8.71%	19.46%	21.14%	9.08%
1.7	7.54%	1.90%	8.47%	19.16%	20.52%	8.91%
1.75	7.49%	1.86%	8.25%	18.87%	19.93%	8.76%
1.8	7.44%	1.83%	8.04%	18.60%	19.38%	8.61%
1.85	7.38%	1.79%	7.84%	18.34%	18.86%	8.46%
1.9	7.34%	1.76%	7.65%	18.08%	18.36%	8.33%
1.95	7.29%	1.73%	7.47%	17.84%	17.89%	8.20%
2	7.25%	1.70%	7.30%	17.61%	17.45%	8.07%
2.05	7.25%	1.70%	7.30%	17.61%	17.02%	7.96%
2.1	7.17%	1.65%	6.98%	17.16%	16.62%	7.84%
2.11955	7.15%	1.64%	6.92%	17.08%	16.46%	7.80%

Fuente: Autores

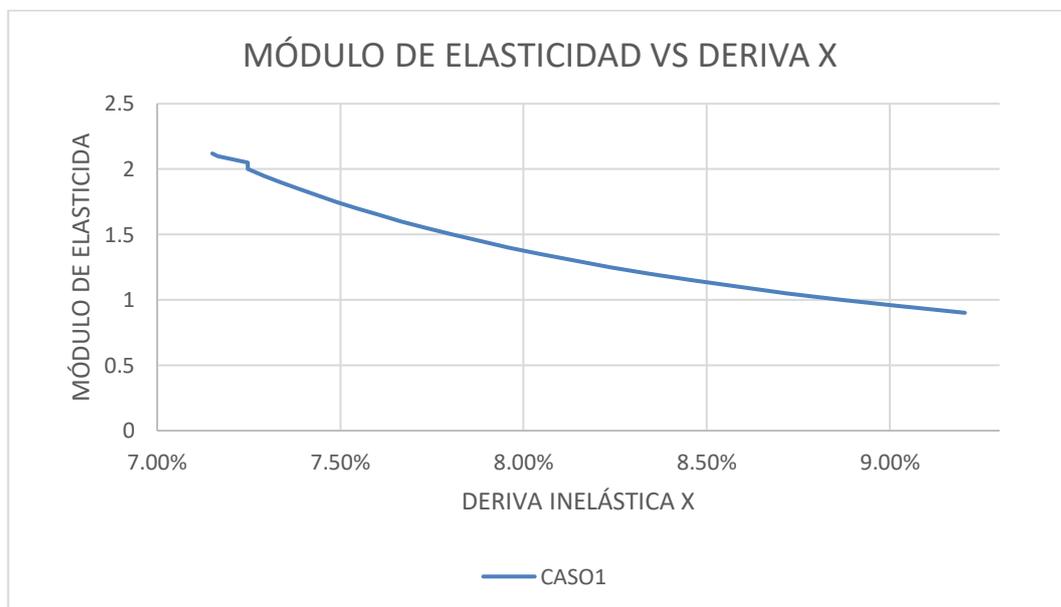


Figura 29. Módulo de elasticidad VS Deriva X caso de estudio 1
Fuente: Autores

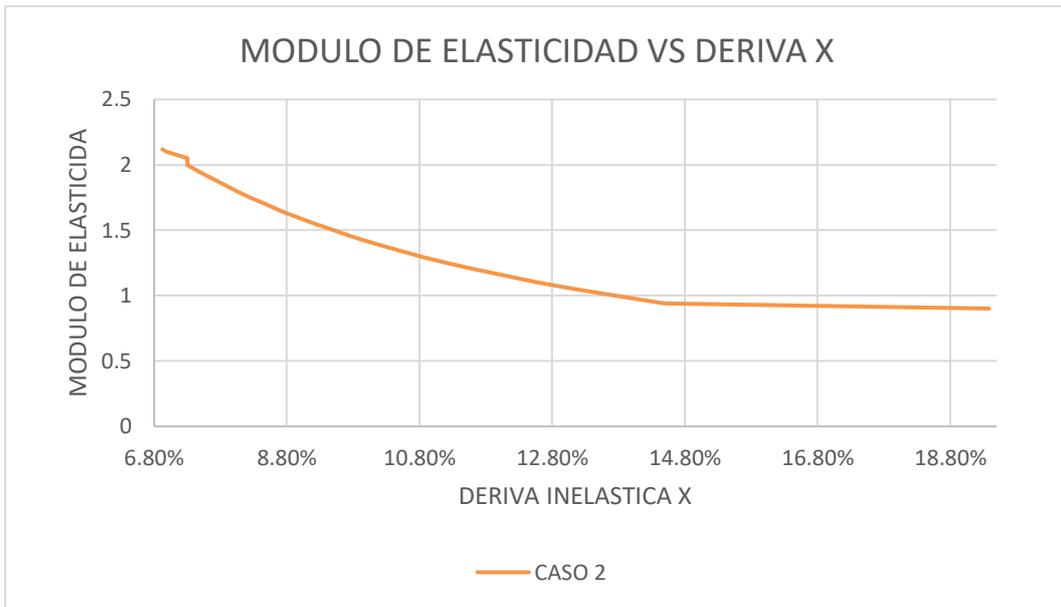


Figura 30. Módulo de elasticidad VS Deriva X caso de estudio 2
Fuente: Autores

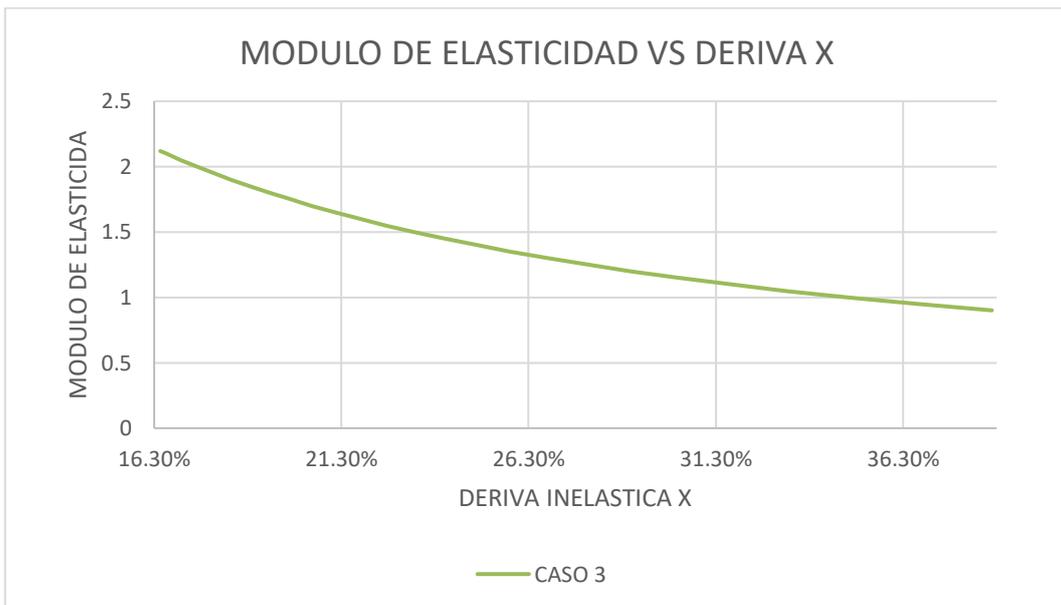


Figura 31. Módulo de elasticidad VS Deriva X caso de estudio 3
Fuente: Autores

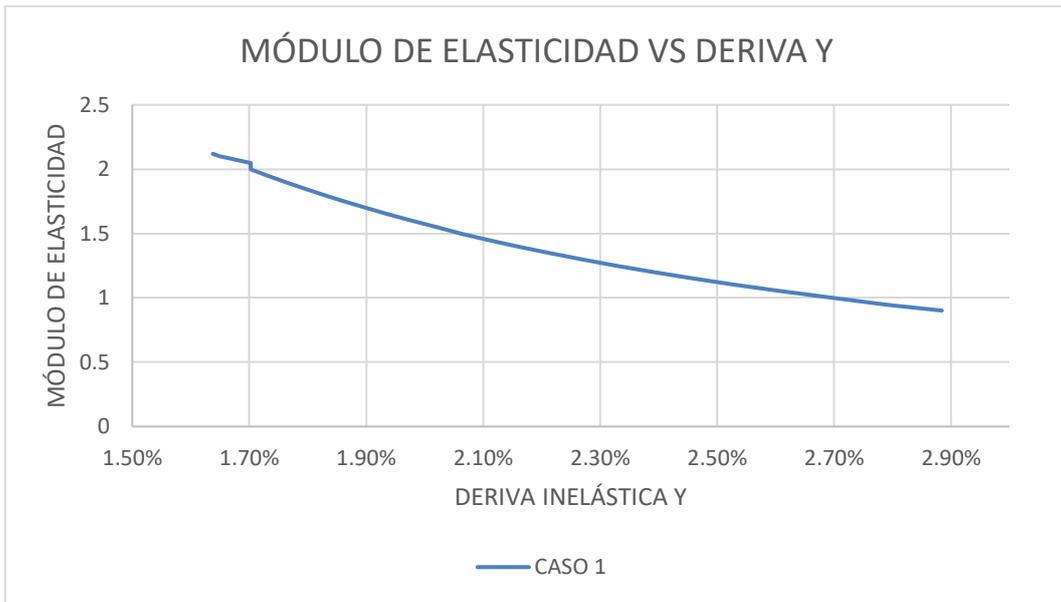


Figura 32. Módulo de elasticidad VS Deriva Y caso de estudio 1
Fuente: Autores

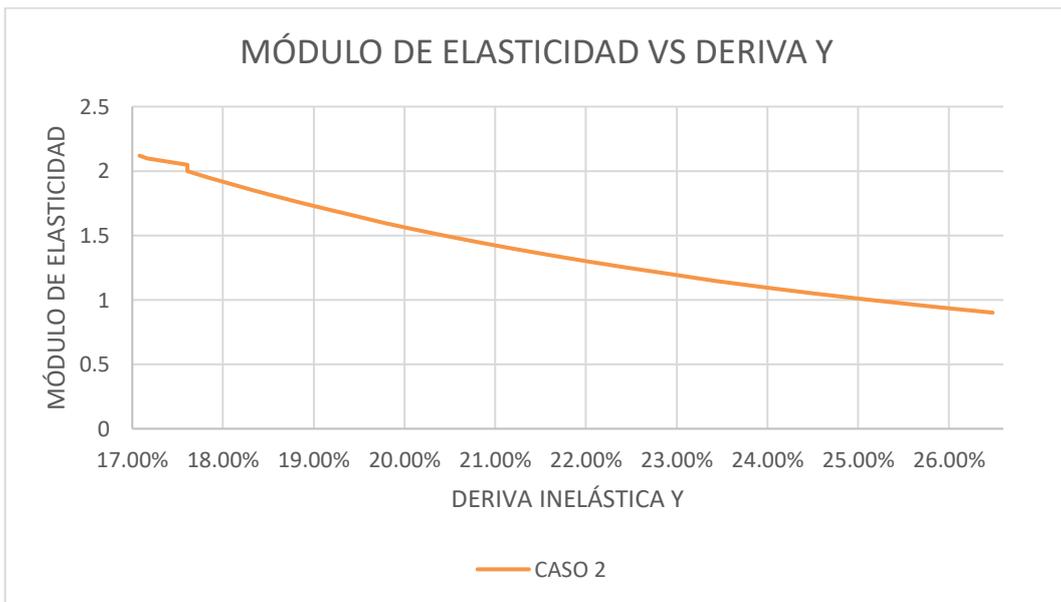


Figura 33. Módulo de elasticidad VS Deriva Y caso de estudio 2
Fuente: Autores

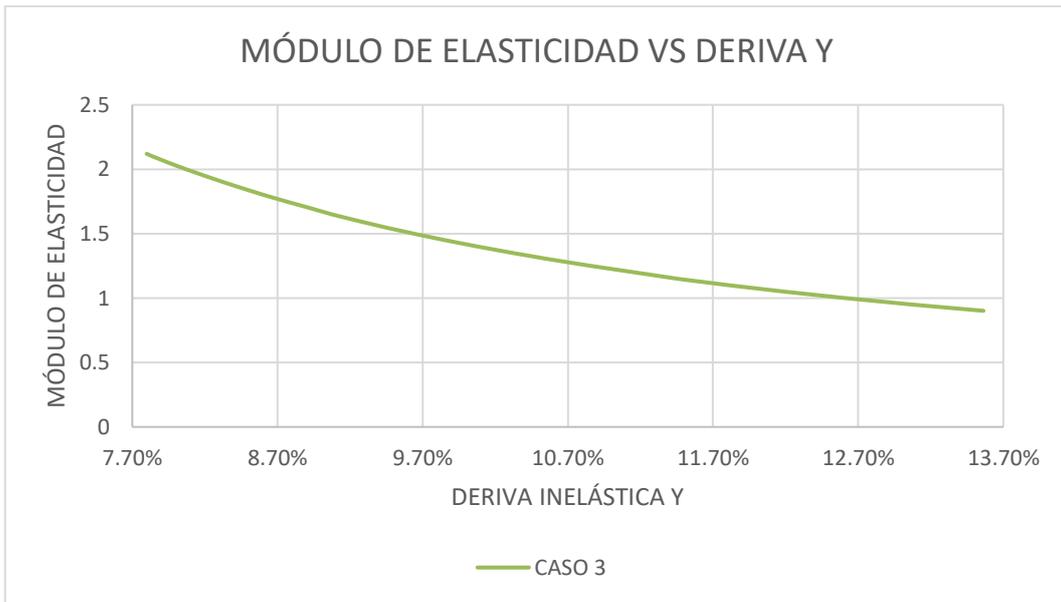


Figura 34. Módulo de elasticidad VS Deriva Y caso de estudio 3
Fuente: Autores

Como se observa en la Tabla 20 y en las figuras la influencia del módulo de elasticidad en las derivas es inversa, ya que mientras más se va aumentando el módulo las derivas de piso en X y Y disminuyen potencialmente.

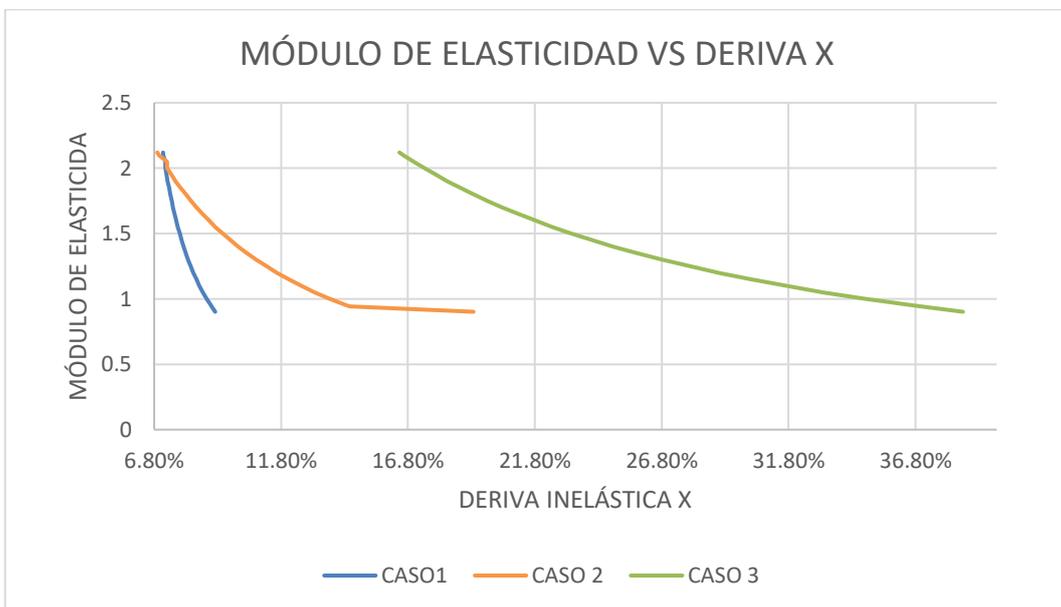


Figura 35. Módulo de elasticidad vs Deriva X de los casos de estudio
Fuente: Autores

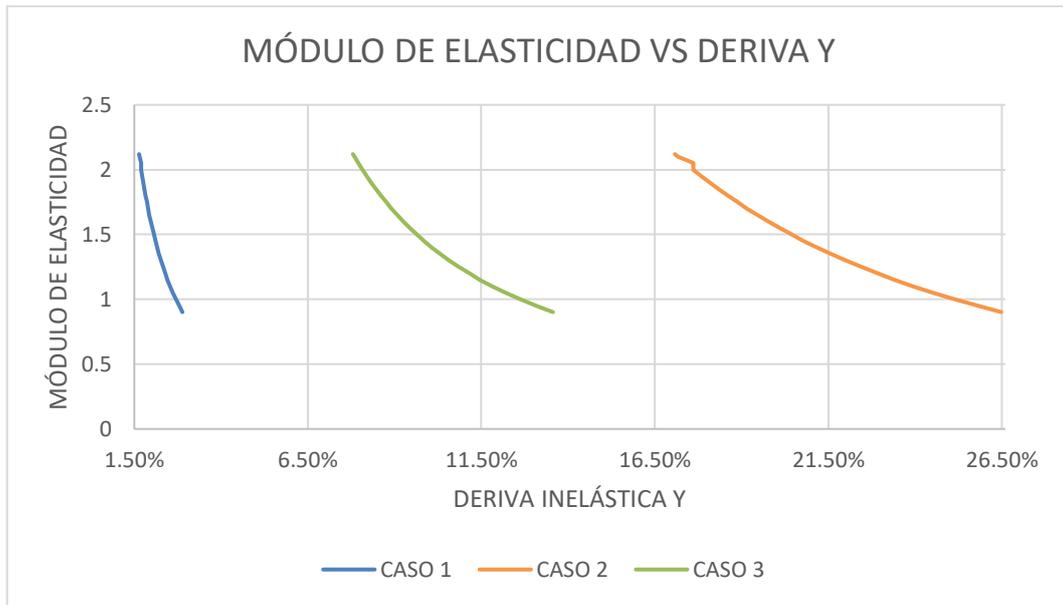


Figura 36. Módulo de elasticidad vs Deriva Y de los casos de estudio
Fuente: Autores

Comparando las gráficas de las derivas de piso en los 3 casos de estudio podemos mencionar que:

- El módulo de elasticidad influye en las derivas de piso, así como también el espesor de los muros de adobe y el número de pórticos que tenga cada dirección, es por esta razón que las curvas tanto en sentido X como Y no son iguales debido a que cada vivienda presenta su propia configuración con diferente número de pórticos y espesores de adobe en estas direcciones.

En la (NEC-SE-CG Cargas (No Sísmicas), 2014) se establece que en una estructura el $\Delta_{inelástico}$ no debe ser mayor a 1%, este valor se lo calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta_{inelástico} = \Delta_{elástico} * R * 0.75 * 100$$

De la cual:

$\Delta_{elástico}$: Valores de la modelación estructural (Drift X y Drift Y)

R: Coeficiente de reducción de respuesta.

Se realizó el cálculo para los 2 casos de estudio, únicamente con los valores de Drift X y Drift Y que correspondan al módulo de elasticidad obtenidos en los ensayos de laboratorio. El caso de estudio 1 no fue considerado en este cálculo ya que al tener el R de 1 se trabaja con el espectro elástico y nos da directamente derivas inelásticas, teniendo así:

Tabla 21. Chequeo Derivas de piso

	Em (Mpa)	DRIFT X	DRIFT Y	$\Delta_{Inn X}$	$\Delta_{Inn Y}$	$\Delta_{max < 1\%}$	$\Delta_{max < 1\%}$
CASO 1	0,90119	0,09205	0,028845	0,09205	0,028845	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	0,94163	0,090591	0,028029	0,090591	0,028029	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	2,11955	0,071506	0,016377	0,071506	0,016377	NO CUMPLE	NO CUMPLE

CASO 2	0,90119	0,193841	0,264823	0,43614225	0,59585175	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	0,94163	0,145063	0,259063	0,32639175	0,58289175	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	2,11955	0,069242	0,170799	0,1557945	0,38429775	NO CUMPLE	NO CUMPLE
CASO 2	0,90119	0,3867105	0,135632	0,87009863	0,305172	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	0,94163	0,3701096	0,131515	0,8327466	0,29590875	NO CUMPLE	NO CUMPLE
	2,11955	0,1646399	0,077993	0,37043978	0,17548425	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Fuente: Autores

Partiendo de los datos expuestos en la *Tabla 21* ningún caso de estudio cumple con este control, para lograr el cumplimiento de este y de acuerdo con la tendencia de los resultados podemos decir que si seguimos aumentando el módulo de elasticidad el $\Delta_{inelástico}$ cada vez ira disminuyendo hasta lograr que sea menor al 1% como establece la normativa.

El caso de estudio 1 es el más cercano a cumplir con este chequeo, exactamente con el módulo de elasticidad más alto lo que comprueba lo mencionado en el párrafo anterior.

4.1.6 Resistencia a la compresión

Esta propiedad mecánica del adobe está ligada al comportamiento en general de la estructura, esto ya que a pesar de que el comportamiento en los ensayos de cada muestra fue diferente la tendencia de este material es sufrir grandes deformaciones ante cargas pequeñas a comparación de otros. (Delgado, 2019) destaca que debemos partir que el módulo de elasticidad es inversamente proporcional a las deformaciones; Tomando en consideración esto se establece que:

- Si la resistencia a la compresión del adobe aumenta y las deformaciones disminuyen, el módulo de elasticidad aumenta y el comportamiento de la estructura cambia ya que el periodo fundamental disminuirá, así como también el $\Delta_{inelástico}$ y los modos de vibración
- Si la resistencia a la compresión del adobe disminuye y las deformaciones aumentan, el módulo de elasticidad disminuye y el comportamiento de la estructura cambia ya que el periodo fundamental aumenta, así como también el $\Delta_{inelástico}$ y los modos de vibración

De esta forma podemos establecer una relación entre la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad en el adobe, lo que ocasiona que si la resistencia llega a variar también lo hará el módulo y por ende el comportamiento estructural de las viviendas.

4.2 Discusión

4.2.1 Módulo de elasticidad vs Periodo Fundamental

Gracias al análisis estructural de las viviendas patrimoniales denominadas como casos de estudio, se establece que la relación entre el módulo de elasticidad y el periodo fundamental de la estructura es inversa, ya que mientras aumentamos el módulo de elasticidad el periodo fundamental va disminuyendo.

En la investigación realizada por (Sanchez Urgiles, 2021) podemos notar una diferencia con respecto a esta investigación, siendo esta que los valores más altos para el periodo se dio en la vivienda regular contradictorio a los resultados obtenidos donde los valores más altos del periodo se dieron en el caso de estudio 3 que corresponde a una vivienda irregular.

Por lo que se puede indicar que el periodo estará también en función de la tipología de la estructura, es decir, si esta es regular o irregular en planta y altura.

4.2.2 Módulo de elasticidad vs Modos de vibración

La relación entre el módulo de elasticidad y los modos de vibración es inversa en las tres direcciones UX, UY y RZ, ya que mientras aumentamos el módulo de elasticidad los porcentajes de participación modal van disminuyendo.

Si nos fijamos en el caso de estudio 2 en la dirección UY se comienza con un porcentaje de participación modal de 80.69% con el valor más bajo del módulo de elasticidad, y al aumentar el módulo este porcentaje disminuye lo que afectaría al comportamiento de la estructura.

Cabe la pena mencionar que este comportamiento es el que gobierna, sin embargo, se pudo notar que en el intervalo del módulo de elasticidad que va de 0.90119Mpa a 1.30MPa los porcentajes de participación modal van aumentando en una cantidad no considerable. Pero una vez terminado con este intervalo se da el mayor comportamiento y los porcentajes van disminuyendo de formar considerable.

(Sanchez Urgiles, 2021) nos menciona que la vivienda regular por el simple hecho de serlo tendrá un comportamiento ideal en los modos de vibración a pesar de que el módulo de elasticidad aumente. Lo que se contradijo con los resultados ya que el caso de estudio 1 y 2 a pesar de ser regulares no tenían un porcentaje de participación modal adecuado.

4.2.3 Módulo de elasticidad vs Derivas de piso

El módulo de elasticidad influye directamente a las derivas de piso, esto ya que su relación es inversa, es decir mientras se va aumentando el módulo de elasticidad las derivas de piso disminuyen potencialmente.

A diferencia de los modos de vibración, podemos decir que el aumentar el módulo de elasticidad beneficiará al comportamiento de la estructura ya que al disminuir las derivas se logrará que el $\Delta_{elástico}$ cada vez sea menor y será más fácil cumplir con lo estipulado en la normativa que no debe ser mayor a 0.001 o 1%.

Esta relación si nos enfocamos en la práctica no sería muy factible de aplicarla para la disminución de las derivas ya que en el caso del adobe y como señala (Sanchez Urgiles, 2021) el módulo de elasticidad máximo en ciudades de Ecuador es de 145MPa y tratar de superar este valor será muy complejo.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se logró extraer un total de 12 muestras de adobe de 3 viviendas patrimoniales del cantón Guamote, esto dada la facilidad de los propietarios, así como también de las condiciones de los muros que fueron extraídas. Las viviendas patrimoniales fueron construidas en inicios del siglo XX con tierra del sector denominado Piedras Blancas que en su época era la mina más cercana a la cabecera cantonal. Se tomó en consideración estos detalles para tener relación y similitud con los 3 casos de estudio y que las muestras correspondan a la misma época y con las mismas propiedades del material.

Mediante ensayos de laboratorio se obtuvo la curva esfuerzo vs deformación para las muestras de las 3 viviendas patrimoniales como se detalla en la *Figura 8*, *Figura 9* y *Figura 10*; Cada muestra de adobe tiene su propio comportamiento, sin embargo, en las 12 muestras se observa un comportamiento escalonado lo que se deduce a que la tierra al ser sometida a fuerzas externas de compresión se acomoda para seguir soportando carga. La resistencia a la compresión varía de 0.0623MPa hasta 0.1852MPa, lo que es notablemente inferior al valor mínimo establecido en la norma E 0.80 que es de 0.60MPa. Esto se puede asociar a factores como el desgaste propio del material, la exposición del material a la intemperie y los fenómenos naturales que soportó la estructura (sismos, lluvias, granizo, etc.). El módulo de elasticidad esta entre 0.9012 y 2.1195 MPa, valores bajos si lo comparamos con los de otras ciudades como Riobamba con 14MPa, Cuenca de 17-68.5MPa o Quito de 121-145MPa. Esto se debe principalmente a la poca resistencia a la compresión que obtuvieron las muestras de adobe ensayadas.

Se definió tres casos de estudio tomando en consideración la facilidad para la obtención de datos, así como también el estado y condición de la estructura. Los tres casos de estudio son viviendas que se encuentran habitables y en buen estado de conservación construidas a inicios del siglo XX, con un interés de conservación por parte de sus propietarios alto; la tipología estructural en los tres casos de estudio es diferente, teniendo en el caso 1 una vivienda de un piso con muros portantes de adobe, en el caso 2 una vivienda de dos pisos con pórticos y muros de adobe con un espesor de 20cm, y en el caso 3 una vivienda de dos pisos con pórticos y muros portantes de adobe. Se realizó un levantamiento planimétrico y de información, obteniendo los datos necesarios para una adecuada modelación en el software estructural ETABS, teniendo como resultado que el comportamiento estructural de los 3 casos de estudio es flexible.

El módulo de elasticidad del adobe en el comportamiento estructural de viviendas patrimoniales tiene gran incidencia, esto se debe a:

- El módulo de elasticidad y el periodo fundamental tienen una relación inversa, ya que, al aumentar el módulo, el periodo fundamental va disminuyendo.

- El módulo de elasticidad y los modos de vibración tienen una relación inversa, al aumentar el módulo, la participación modal en las tres direcciones UX, UY y Rz disminuye.
- El módulo de elasticidad y las derivas de piso tienen una relación inversa, al aumentar el módulo, las derivas de piso inelásticas disminuirán potencialmente.

La resistencia a la compresión del adobe se relaciona directamente al módulo de elasticidad, debido a que, si la resistencia a la compresión varía también lo hará el módulo de elasticidad afectando al comportamiento estructural por la variación del periodo fundamental, modos de vibración y derivas de piso.

A diferencia de otras investigaciones previas podemos decir que existe una variación en los resultados, destacando que:

- En esta investigación los periodos fundamentales más altos se presentaron en el caso de estudio 3 el cual comprende a una vivienda irregular tanto en planta como en altura, contradictorio a que los periodos fundamentales más altos se presentan en la vivienda regular. Por ende, la configuración de la estructura en planta y altura influye en el periodo.
- En esta investigación los casos de estudio 1 y 2 que son viviendas regulares, no cumplieron con el porcentaje de participación modal exigido por la norma, contradictorio a que una vivienda regular por el simple hecho de serlo tendrá un comportamiento ideal en los modos de vibración.
- En una investigación anterior se propone que el módulo de elasticidad para poder alcanzar derivas menores al 1% debe ser de 555 MPa. Este valor es muy lejano del obtenido en esta investigación, donde se alcanzó un valor máximo de 2.11 MPa. Se debe tomar en cuenta que adobes nuevos y reforzados, pueden alcanzar valores de hasta 144 MPa.

5.2 Recomendaciones

Se coincide con varios autores que es primordial la creación de una normativa nacional sobre el adobe, ya que este material todavía se utiliza y la mayor cantidad de viviendas patrimoniales son de este. Por lo que sería fundamental tener una normativa para el diseño y rehabilitación de viviendas de adobe, así como también para considerar al adobe como potencial material en la construcción de viviendas sociales.

Al estar la resistencia a la compresión directamente relacionada al módulo de elasticidad, se debería realizar ensayos para mejorar esta propiedad en el adobe ya sea con la implementación de estabilizantes químicos o el mejoramiento de la materia prima. Con esto se pueden alcanzar valores más altos y por tanto reducir la flexibilidad de la estructura.

Se recomienda también utilizar la metodología aplicada en esta y en investigaciones previas para nuevos casos de estudio ya sea en las ciudades estudiadas o en nuevas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, & Quezada. (2017). Caracterización física y mecánica del adobe en el cantón Cuenca. In *Universidad de Cuenca-Ecuador*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28143>
- Álvarez Guevara, D. A. (2015). *Vulnerabilidad sísmica de viviendas de adobe del C.P. la Huaraclla. Jesús, Cajamarca 2015* [Universidad Privada del Norte]. [https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/7975/Álvarez Guevara%2C Daniel Alejandro.pdf?sequence=8&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/7975/Álvarez%20Daniel%20Alejandro.pdf?sequence=8&isAllowed=y)
- Benites Zapata, V. B. (2017). Adobe estabilizado con extracto de cabuya (*Furcraea andina*) [Universidad de Piura]. In *Repositorio Institucional universidad Perú*. <https://hdl.handle.net/11042/2993>
- Blondet, M., & Neumann, J. (2015). Casas Sismorresistentes Y Saludables de Adobe Reforzado Con Cuerdas. In M. Blondet (Ed.), *Pontificia Universidad Católica Del Perú* (Primera). SENCICO. http://files.pucp.edu.pe/posgrado/wp-content/uploads/2015/09/24233900/Manual-Construcción-Adobe-reforzado-con-mallas-de-Driza_-final.compressed.pdf
- Bullio, P. G. (2006). Patrimonio. *Selezione Tessile*, 44(1), 42. <https://doi.org/10.2307/j.ctv18msqc6.11>
- Catalán Quiroz, P., Moreno-Martínez, J. Y., Galván, A., & Arroyo Matus, R. (2019). Obtención de las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe mediante ensayos de laboratorio. *Acta Universitaria*, 29(29), 1–13. <https://doi.org/10.15174/au.2019.1861>
- Delgado, E. (2019). Técnicas de reforzamiento estructural en la rehabilitación de edificaciones patrimoniales [Universidad Nacional de Chimborazo]. In *D-space Unach*. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1381/1/UNACH-EC-AGR-2016-0002.pdf>
- Instituto Nacional de Patrimonio. (2022, April 12). *Bienes Patrimoniales del Ecuador*. Sipce. <http://sipce.patrimoniocultural.gob.ec:8080/IBPWeb/paginas/busquedaBienesMapa/busquedaMapa.jsf>
- Instituto Nacional de Patrimonio Cultural. (2022, April 12). *Bienes Inmuebles Patrimoniales del Ecuador - Viviendas*. Sistema de Información Del Patrimonio Cultural Ecuatoriano (SIPCE). <http://sipce.patrimoniocultural.gob.ec:8080/IBPWeb/paginas/busquedaBienes/resultad oArbolNavegacion.jsf>
- Jiménez, R. (2022, April 12). *Entrepiso de madera GENERALIDADES*. Academia. https://www.academia.edu/24395812/ENTREPISO_DE_MADERA
- NEC-SE-CG Cargas (No sísmicas), Pub. L. No. NEC-SE-CG, Norma Ecuatoriana de la Construcción (2014). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-CG-Cargas-Sísmicas.pdf>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2017). Diseño y construcción con tierra reforzada E. 080. In SENCICO (Ed.), *Norma técnica de edificación NTE* (Primera ed, p. 24). SENCICO. www.gob.pe/sencico

- Moyano, C., & Moyano, J. (2014). *Patologías en construcciones de adobe y paja* (E. pan del Mono (ed.); El pan del). El pan del mono. https://issuu.com/elpandelmono/docs/patolog__as_en_construcciones_de_ad
- Sanango Jara, P. T. (2017). *Comparación del diseño y evaluación de miembros estructurales de madera laminada encolada con uniones dentadas, de Pino Radiata y Eucalyptus Globulus* [Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6728/1/12724.pdf>
- Sanchez, C. (2013). Vulnerabilidad Sísmica De Construcciones Patrimoniales Históricas De Mampostería En Chile: Aplicación a Los Torreones Españoles De Valdivia. *In Vitro*, 3, 1–23. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/myaccess.library.utoronto.ca/pubmed/11720961>
- Sánchez Chicana, M. A. (2020). *Análisis Comparativo De Adobe Convencional Y Adobe Estabilizado Con Cemento Con Fines Constructivos* [Universidad Señor de Sipán]. [https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/7534/Sánchez_Chicana Mishel Andrea.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/7534/Sánchez_Chicana_Mishel_Andrea.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Sanchez Urgiles, J. A. (2021). Análisis De La Influencia De Tres Propiedades Mecánicas Del Adobe En El Comportamiento Estructural De Edificaciones Patrimoniales [Ingeniería Civil]. In *D-space Unach*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/677%0Ahttp://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1381/1/UNACH-EC-AGR-2016-0002.pdf>
- Valero, E. F. (2014). *Aportaciones al estudio de las maquinas de flujo axial mediante la aplicación del método de los elementos finitos*. [UPC]. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6294/06Efv06de23.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Levantamiento de información caso de estudio 1

LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN CASO DE ESTUDIO 1			
OCUPACIÓN:	Vivienda	ESTADO:	Bueno
LOCALIZACIÓN			
PROVINCIA:	Chimborazo	PARROQUIA:	Guamote
CANTÓN:	Guamote	SECTOR:	San Pedro
DIRECCIÓN:	Juan Davalos y Chile		
RÉGIMEN DE PROPIEDAD		UBICACIÓN	
Nombre del propietario	Sra. Teresa Novillo		
Tipo de tenencia	Habitada		
Época de construcción	Republicana		
Fecha de construcción	Siglo XX (1900-1910)		
Tipología	Tradicional		
Nº de frentes	1		
Nº de pisos	1		
Altura de entrepiso	-		
Cubierta	2 caídas		
Altura de cubierta	1,40 metros		
TIPOLOGIA ESTRUCTURAL			
Elemento	Material	Dimensiones	
Cimentación	Piedra	-	
Muros portantes	Adobe	Muro interior e=75 cm	
		Muro exterior e=70 cm	
Columnas	-	-	
Vigas	-	-	
Viguetas	-	-	
Vigas Cubierta	Eucalipto	Cuadradas 9x9cm	
Correas	Eucalipto	Cuadradas 6x6cm	
ESTADO DEL INMUEBLE		CONFIGURACIÓN	
Fachada	Buena	Planta	Regular
Cubierta	Buena	Elevación	Regular
Estructura	Buena	Tipo de suelo	D
Intervenciones	NO	Zona sísmica	V

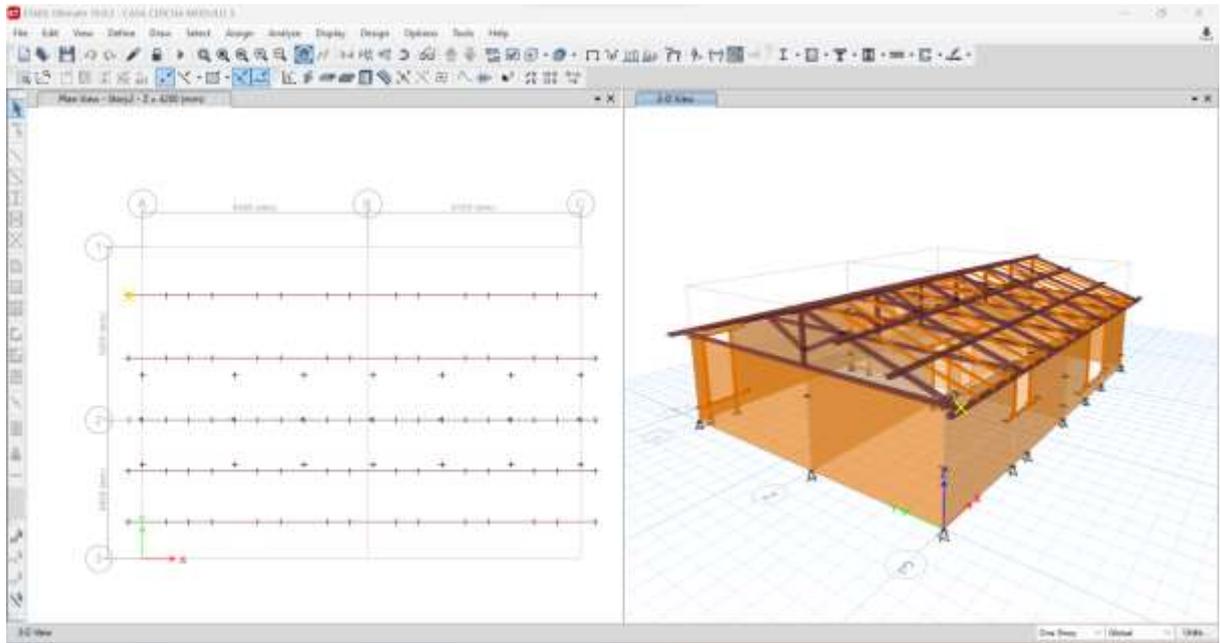
Anexo 2. Levantamiento de información caso de estudio 2

LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN CASO DE ESTUDIO 2			
OCUPACIÓN:	Vivienda	ESTADO:	Bueno
LOCALIZACIÓN			
PROVINCIA:	Chimborazo	PARROQUIA:	Guamote
CANTÓN:	Guamote	SECTOR:	Central
DIRECCIÓN:	José María Plaza y Chiriboga (Esquina)		
RÉGIMEN DE PROPIEDAD		UBICACIÓN	
Nombre del propietario	Sr. Alberto Mora		
Tipo de tenencia	Habitada		
Época de construcción	Republicana		
Fecha de construcción	Siglo XX (1900-1910)		
Tipología	Tradicional		
Nº de frentes	2		
Nº de pisos	2		
Altura de entrepiso	2.85		
Cubierta	3 caídas		
Altura de cubierta	1,40 metros		
TIPOLOGIA ESTRUCTURAL			
Elemento	Material	Dimensiones	
Cimentación	Piedra	-	
Muros portantes	Adobe	Muro interior e=20 cm	
		Muro exterior e=20 cm	
Columnas	Eucalipto	Cuadradas 20x20cm	
Vigas	Eucalipto	Rectangulares 20x10cm	
Viguetas	Eucalipto	Rectangulares 15x7 cm	
Vigas Cubierta	Eucalipto	Rectangulares 20x10cm	
Correas	Eucalipto	Rectangulares 15x7cm	
ESTADO DEL INMUEBLE		CONFIGURACIÓN	
Fachada	Buena	Planta	Regular
Cubierta	Buena	Elevación	Regular
Estructura	Buena	Tipo de suelo	D
Intervenciones	NO	Zona sísmica	V

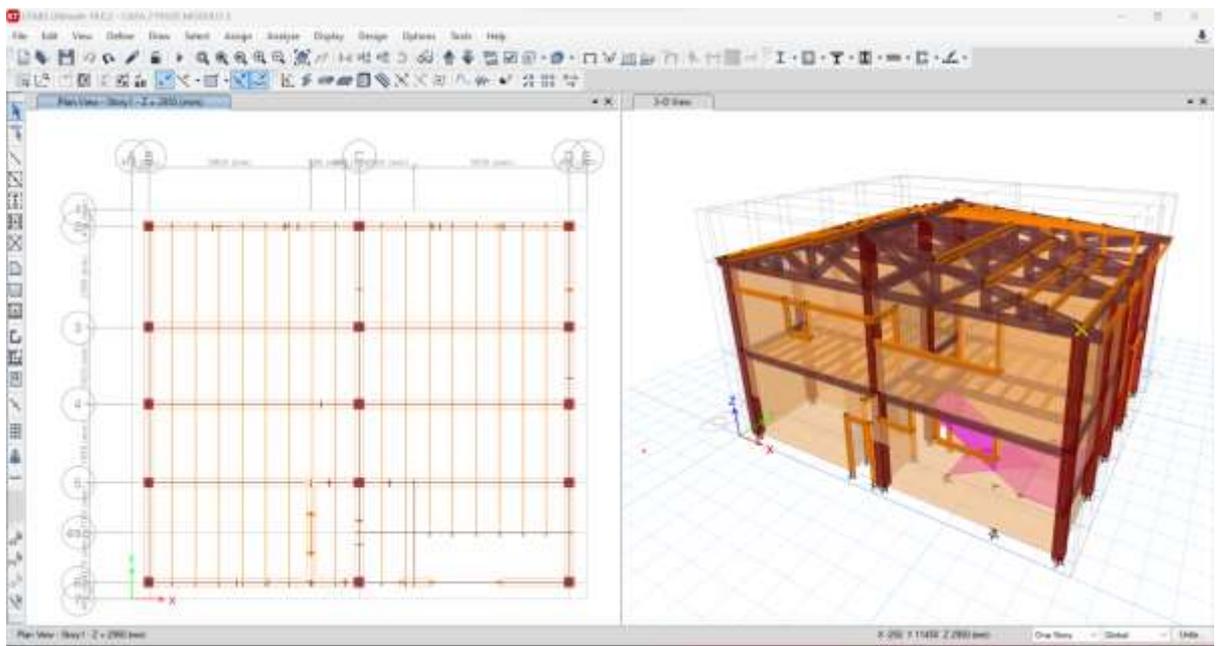
Anexo 3. Levantamiento información caso de estudio 3

LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN CASO DE ESTUDIO 3			
OCUPACIÓN:	Vivienda	ESTADO:	Bueno
LOCALIZACIÓN			
PROVINCIA:	Chimborazo	PARROQUIA:	Guamote
CANTÓN:	Guamote	SECTOR:	Central
DIRECCIÓN:	Eloy Alfaro y Simón Bolívar		
RÉGIMEN DE PROPIEDAD		UBICACIÓN	
Nombre del propietario	Familia Alarcón		
Tipo de tenencia	Habitada		
Época de construcción	Republicana		
Fecha de construcción	Siglo XX (1900-1910)		
Tipología	Tradicional		
Nº de frentes	1		
Nº de pisos	2		
Altura de entresuelo	4.00 metros		
Cubierta	2 caídas		
Altura de cubierta	1.75 metros		
TIPOLOGIA ESTRUCTURAL			
Elemento	Material	Dimensiones	
Cimentación	Piedra	-	
Muros portantes	Adobe	Muro interior e=20 cm	
		Muro exterior e=70 cm	
		Muro exterior e=90 cm	
Columnas	Eucalipto	Cuadradas 13x13cm Cuadradas 18x18cm	
Vigas	Eucalipto	Rectangulares 18x13cm	
Viguetas	Eucalipto	Rectangulares 15x7 cm	
Vigas Cubierta	Eucalipto	Rectangulares 18x13cm	
Correas	Eucalipto	Rectangulares 15x7cm	
ESTADO DEL INMUEBLE		CONFIGURACIÓN	
Fachada	Buena	Planta	Irregular
Cubierta	Buena	Elevación	Irregular
Estructura	Buena	Tipo de suelo	D
Intervenciones	NO	Zona sísmica	V

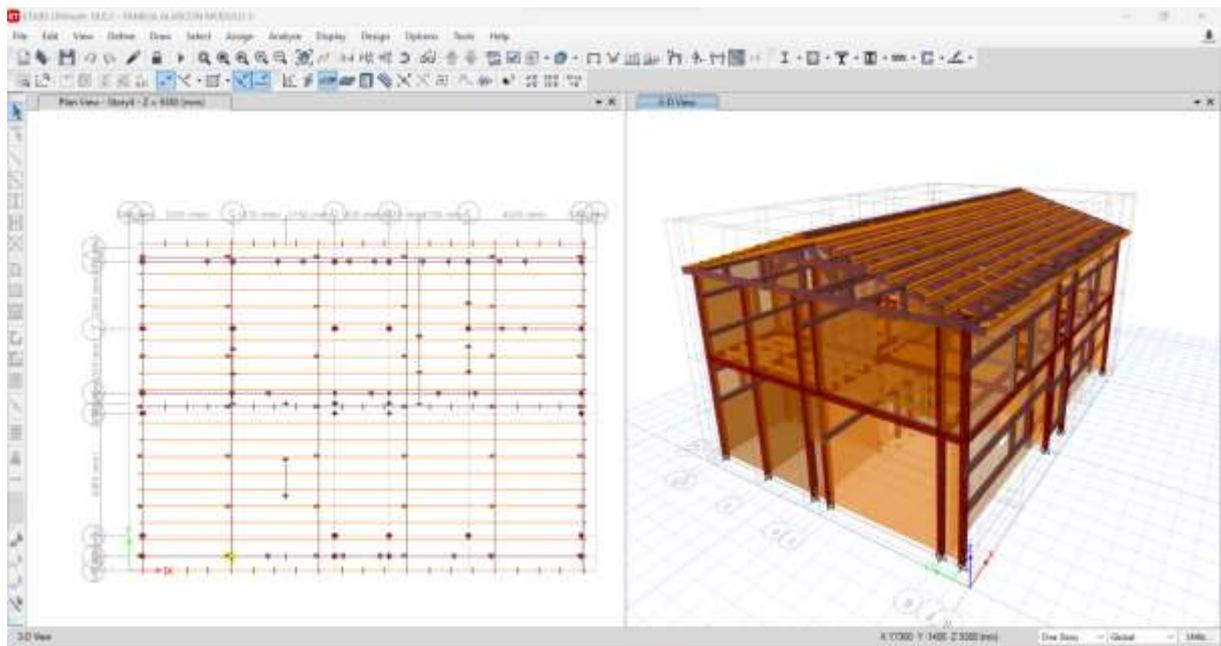
Anexo 4. Modelación estructural caso de estudio 1



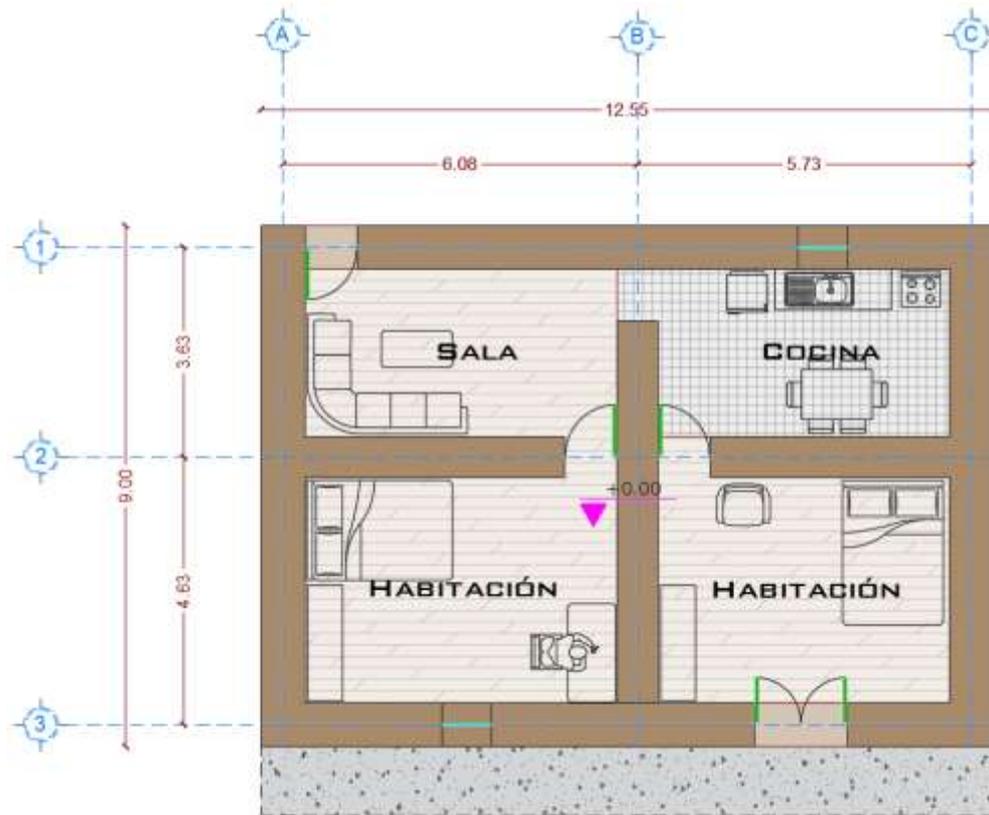
Anexo 5. Modelación estructural caso de estudio 2



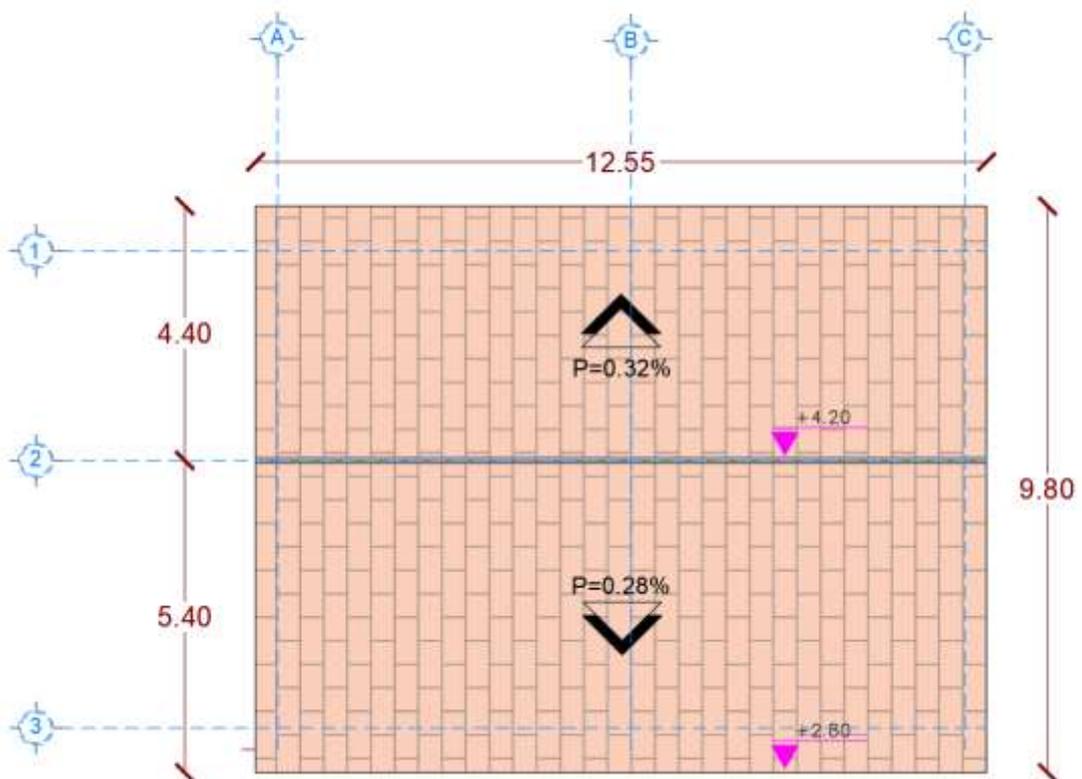
Anexo 6. Modelación estructural caso de estudio 3



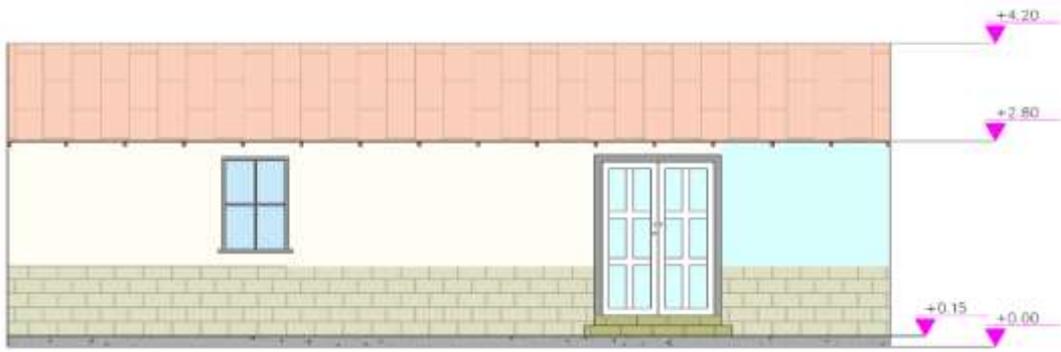
Anexo 7. Planos arquitectónicos caso de estudio 1



DETALLE PLANTA BAJA CASO DE ESTUDIO 1

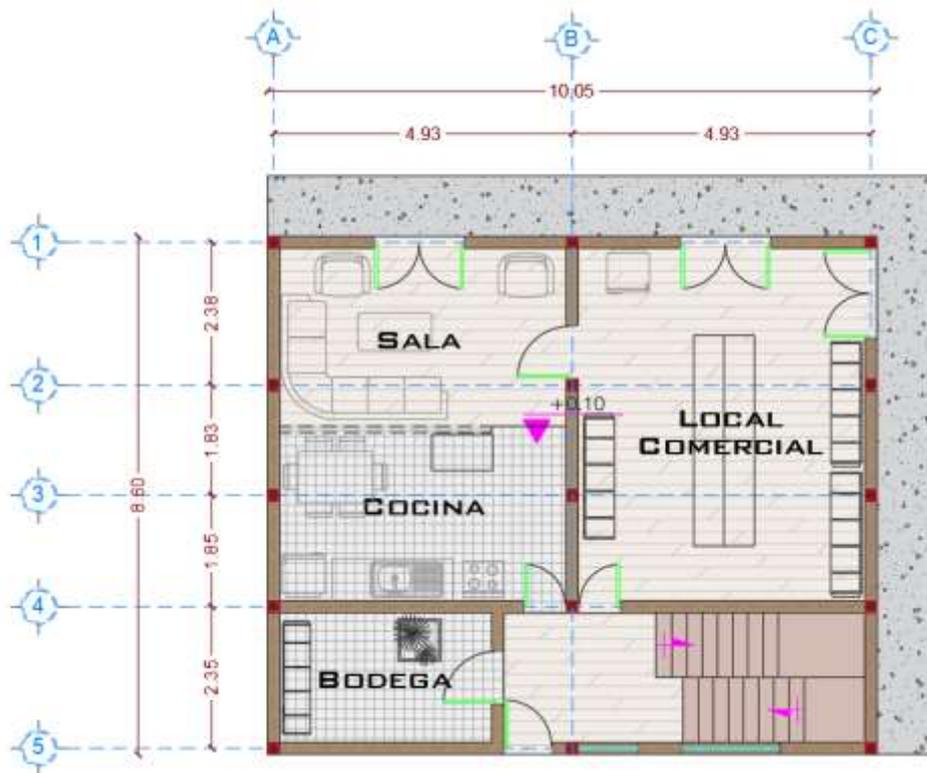


DETALLE CUBIERTA CASO DE ESTUDIO 1



DETALLE FACHADA FRONTAL CASO DE ESTUDIO 1

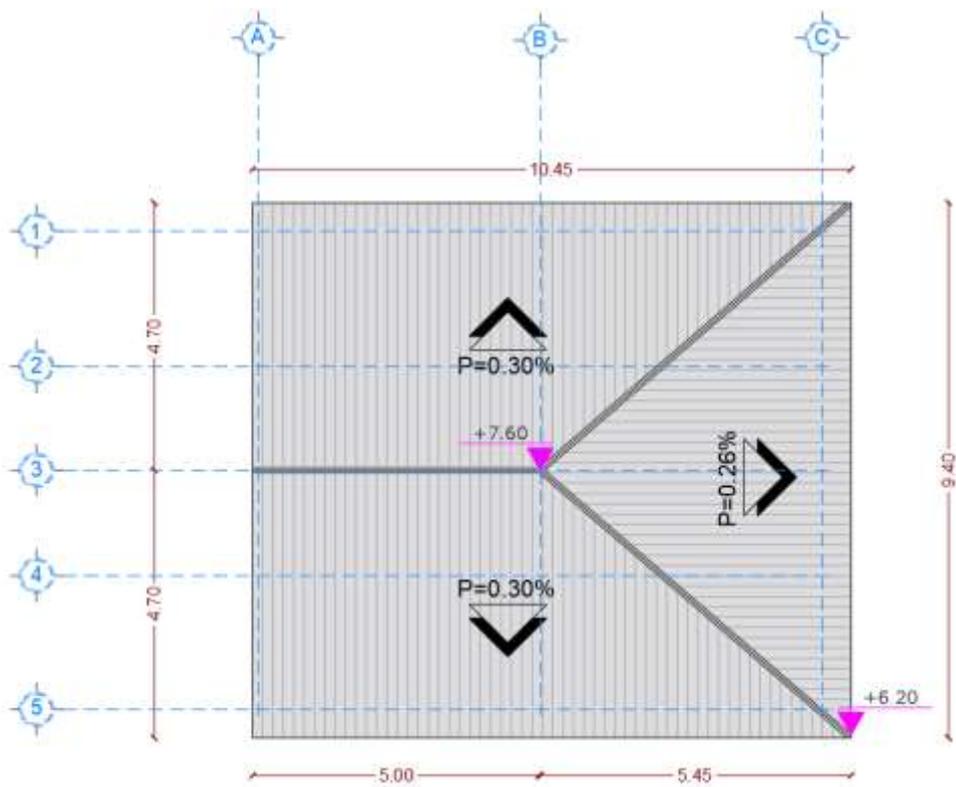
Anexo 8. Planos arquitectónicos caso de estudio 2



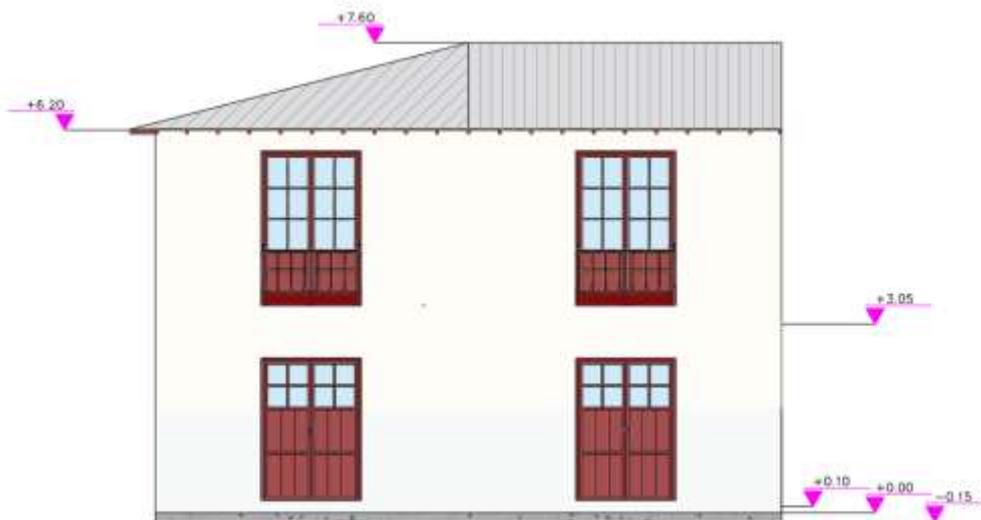
DETALLE PLANTA BAJA CASO DE ESTUDIO 2



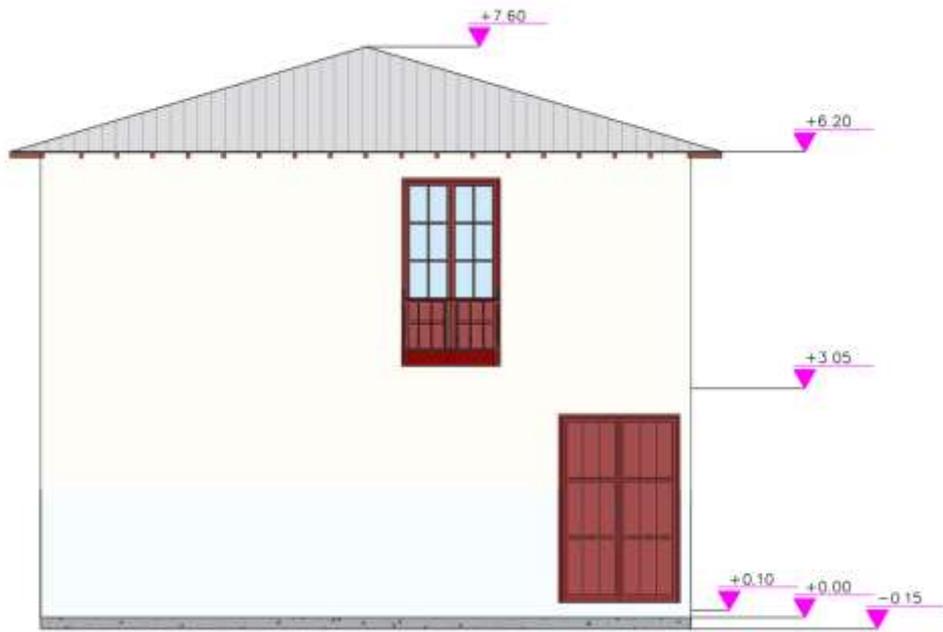
DETALLE PLANTA ALTA CASO DE ESTUDIO 2



DETALLE CUBIERTA CASO DE ESTUDIO 2



DETALLE FACHADA CALLE JOSÉ MARÍA PLAZA CASO DE ESTUDIO 2



DETALLE FACHADA CALLE CHIRIBOGA CASO DE ESTUDIO 2

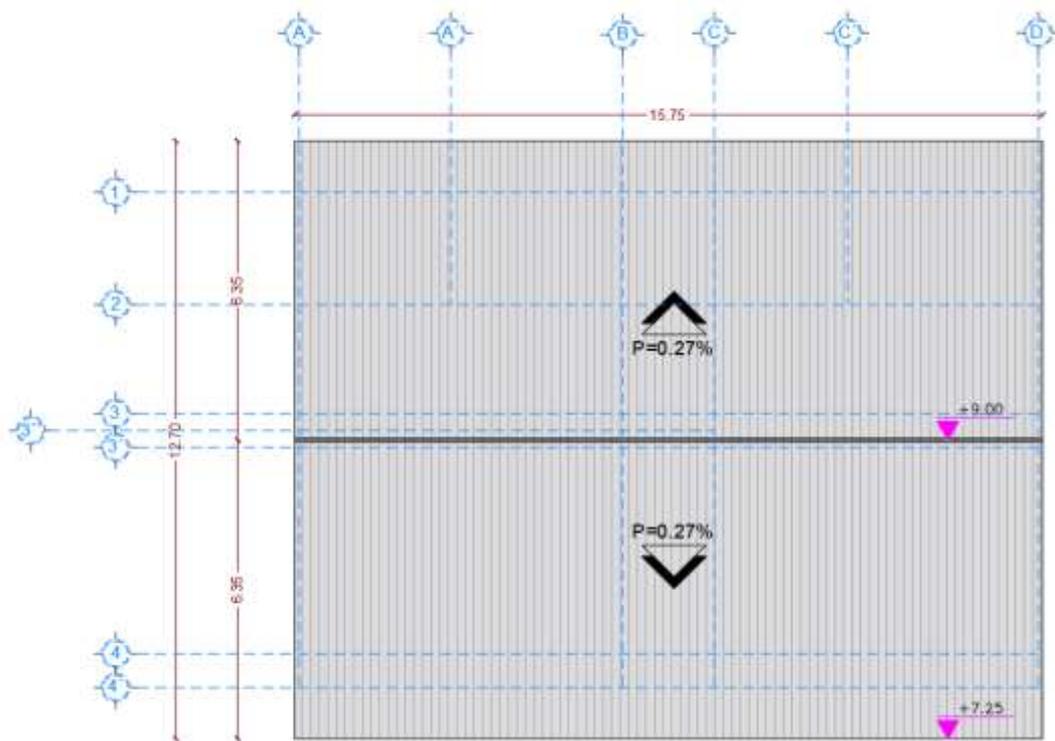
Anexo 9. Planos arquitectónicos caso de estudio 3



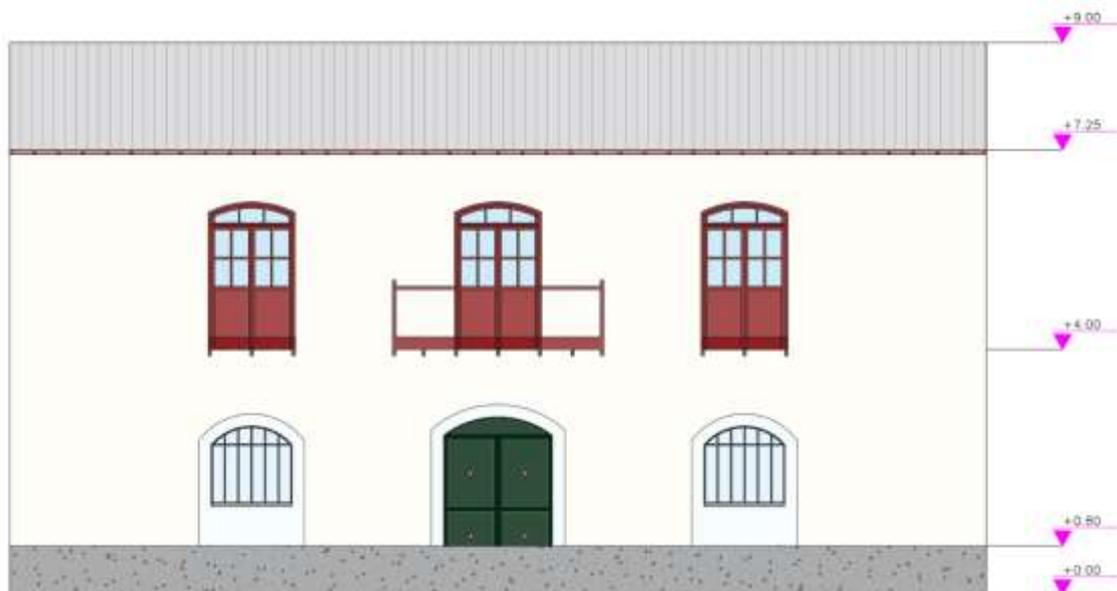
DETALLE PLANTA BAJA CASO DE ESTUDIO 3



DETALLE PLANTA ALTA CASO DE ESTUDIO 3



DETALLE CUBIERTA CASO DE ESTUDIO 3



DETALLE FACHADA FRONTAL CASO DE ESTUDIO 3

Anexo 10. Levantamiento planimétrico y de información del caso de estudio 1



Anexo 11. Levantamiento planimétrico y de información del caso de estudio 2



Anexo 12.- Levantamiento de planimétrico y de información del caso de estudio 3



Anexo 13. Recolección de muestra de adobe



Anexo 14. Muestras de adobes



Anexo 15.- Ensayos realizados a las muestras de adobe



Anexo 16. Ensayos resistencia a la compresión fase 1

		cm	mm	cm	mm	cm	mm	KN			MPa
		ANCHO		LARGO		ALTURA		carga	Área aplicación carga cm 2	Esfuerzo kN/cm2	resistencia
ADOBE CHACAZA 5 AÑOS	MUESTRA 1	18,3	183	40	400	15	150	17,267	732	0,023588798	0,2359
	MUESTRA 2	18,3	183	41	410	14,8	148	4,4	750,3	0,005864321	0,0586
	MUESTRA 3	18,6	186	41	410	15	150	8,634	762,6	0,011321794	0,1132
	MUESTRA 4	18,1	181	40,4	404	14,8	148	6,602	731,24	0,0090285	0,0903
	MUESTRA 5	19,5	195	40	400	14,3	143	16,397	780	0,021021795	0,2102
	MUESTRA 6	19,5	195	41	410	14,3	143	13,567	799,5	0,016969356	0,1697
GUAMOTE FRENTE A LA POLICIA	MUESTRA 1	24	240	32	320	12	120	10,447	768	0,013602865	0,1360
	MUESTRA 2	23	230	40	400	9	90	117,243	920	0,127438043	1,2744
	MUESTRA 3	23	230	41	410	10	100	5,732	943	0,006078473	0,0608
	MUESTRA 4	21	210	40	400	12	120	4,643	840	0,005527381	0,0553
GUAMOTE FRENTE A LA JUDICATURA	MUESTRA 1	24	240	40	400	15	150	7,836	960	0,0081625	0,0816
	MUESTRA 2	27	270	42	420	23	230	5,804	1134	0,005118166	0,0512

Fuente: Autores

Anexo 17. Toma de muestras y Ensayos realizados fase 1

