



ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis previa a la obtención de título de
Ingeniero Civil.

AUTOR: Antonny Mateo Chávez Carrera,
Carlos Ramiro Ruiz Carrera

TUTOR: Ing. Alberto David Icaza Verdesoto

“Evaluación de la seguridad sísmica de una vivienda patrimonial de muros portantes de adobe en el Centro Histórico de Quito mediante ensayos de materiales analizando mecanismos de falla.”

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Antonny Mateo Chávez Carrera y Carlos Ramiro Ruiz Carrera declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.



Antonny Mateo Chávez Carrera

AUTOR



Carlos Ramiro Ruiz Carrera

AUTOR

AUTORIZACIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Nosotros, Antonny Mateo Chávez Carrera y Carlos Ramiro Ruiz, en calidad de autores del trabajo de investigación titulado “Evaluación del comportamiento sísmico de una vivienda patrimonial de muros portantes de adobe en el Centro Histórico de Quito mediante análisis modal espectral”, autorizamos a la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE) para hacer uso de los contenidos que nos pertenecen o parte de los contenidos de esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación. Cedo los derechos que como autores nos corresponden, de acuerdo con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento en Ecuador



Antonny Mateo Chávez Carrera
AUTOR



Carlos Ramiro Ruiz Carrera
AUTOR

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Alberto David Icaza Verdezoto, certifico que conozco los autores del presente trabajo de titulación denominado titulado “Evaluación del comportamiento sísmico de una vivienda patrimonial de muros portantes de adobe en el Centro Histórico de Quito mediante análisis modal espectral”, Antonny Mateo Chávez Carrera, y Carlos Ramiro Ruiz Carrera siendo ellos responsables exclusivos tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



Alberto David Icaza Verdezoto

DIRECTOR/A DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a todas las personas que, a lo largo de mi vida se encargaron de aconsejarme, reprenderme, enseñarme y amarme.

Comenzando con Dios, por la vida que me dio y todas las personas que me permitió conocer.

A mis amados padres, Carlos Ruiz y Elizabet Carrera, que siempre estuvieron para mí apoyándome en todas las etapas de mi vida, que siempre me brindaron sus enseñanzas y por todo su gran amor y comprensión.

A mis hermanas, Alison y Kiara, por toda su paciencia, amor incondicional.

A mis sobrinas, Oded y Amelie, por llenar mi vida de felicidad, risas y darme una razón para continuar con mis esfuerzos día a día.

A mi tía y madrina, Isabel Ruiz por todos sus consejos, cuidados en mi niñez y por su confianza incondicional hacia a mí y mi familia.

Carlos Ruiz

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, Anay Carrera Salazar, la cual es el motor de mi vida, mi mayor motivación, inspiración y ejemplo a seguir. Por brindarme ese apoyo y amor incondicional. Todo logro y meta que cumpla en mi vida personal y profesional son por y para ella.

A mis abuelitos, Manuel y Tania, que más que mis abuelitos los considero mis papás, por el esfuerzo que hacen día a día por mí, porque ellos me mostraron que con esfuerzo y dedicación puedes alcanzar las metas que te propongas.

A mi Familia materna y paterna por siempre estar ahí para mi ayudándome, cuidándome, guiándome y aconsejándome en cada etapa de mi vida.

Mateo Chávez

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a la Universidad Internacional del Ecuador por brindarme la oportunidad de estudiar la carrera de ingeniería Civil, por el apoyo que presenta a sus estudiantes desde el punto económico, así como siempre busca el apoyo directo hacia los estudiantes siempre buscando mejorar el nivel de la carrera y de sus estudiantes.

Agradecer a todos esos buenos amigos de la carrera, por todas las veces que tuvieron la amabilidad de explicarme algún tema o las veces que nos ayudamos en trabajos de la carrera, por las amanecidas, por las bromas, por los consejos, las charlas dentro y fuera de universidad, muchas gracias.

Agradecer a mi tutor el Ingeniero Alberto David Icaza Verdezoto, por brindarme sus conocimientos, consejos y paciencia, así como por brindarme su tiempo en los momentos de dudas que tuve durante el desarrollo de este trabajo de grado.

Agradecer a todos los profesores que tuve dentro de todo el periodo de la carrera, por buscar impartir sus conocimientos, experiencias dentro de la carrera, por su amabilidad y comprensión hacia sus estudiantes, siempre buscando ayudarnos en todos los problemas o dudas que tuviéramos dentro de la carrera.

Agradecer a Dios por permitirme vivir todos estos momentos en mi vida, así como conocer a todas las personas que me brindaron su apoyo y amistad a lo largo de mis estudios y mi vida.

Agradecer a toda mi familia desde mis padres, mis hermanas, mis sobrinas, mis primos, mis primas, mis tías, mis tíos y primordialmente a mis abuelos por enseñarnos hacer una familia unida y que se apoya de manera incondicional, por enseñarnos que sin importar donde te encuentre siempre puedes ser grande y más grande.

Les agradezco por todo.

Carlos Ruíz

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi agradecimiento a la Universidad Internacional del Ecuador especialmente a la escuela de Ingeniería civil por abrirme sus puertas y brindarme un espacio de crecimiento académico y personal.

Agradezco a mi tutor el Ingeniero Alberto David Icaza Verdezoto, por su guía y paciencia, además de compartir sus conocimientos conmigo para poder desarrollar y completar cada etapa de este proceso para alcanzar el objetivo de este trabajo de grado.

Agradecer a cada Ingeniero que fue parte de mi formación en estos 4 años de la carrera de ingeniería civil, porque de cada uno de ellos aprendí algo y me ayudaron a formar las bases de mi conocimiento sobre esta hermosa carrera.

De manera muy especial agradecer a mi Familia, especialmente a mi mami Anay, mi mami Tania y mi papi Manuel, ya que por ellos me he esforzado en cada paso para hacerlos sentir orgullosos y regresarles todo el esfuerzo y amor incondicional que me han dado a lo largo de toda mi vida, los amo con todo mi corazón.

A mis compañeros y amigos de universidad, se los agradezco por apoyarnos mutuamente durante toda la carrera, por forjar una amistad sincera llena de muchos recuerdos y momentos únicos dentro y fuera de las aulas de clase, por cada risa y broma que nos conectó más.

Asimismo, a mis amigos del colegio con los cuales nunca me he alejado y siempre a lo largo de mi vida han estado apoyándome en todo momento y siempre he podido contar con ellos, son como mis hermanos.

Y finalmente agradecer a Melanny Vivas (Kuka), por su amor tan bonito y sincero, por su cariño y por ser mi apoyo incondicional en los días buenos y malos, gracias porque desde el día que te conocí has sido esa persona que alegro mis días; gracias por caminar a mi lado.

Mateo Chávez

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA.....	I
AUTORIZACIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL	II
APROBACIÓN DEL TUTOR	III
ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD	IV
DEDICATORIA	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
AGRADECIMIENTO	VIII
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
CAPÍTULO 1	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Planteamiento del problema	3
1.4 Objetivo General	4
1.5 Objetivos Específicos	4
1.6 Justificación	4
1.6.1 Justificación teórica.....	4
1.6.2 Justificación metodológica	5
1.7 Hipótesis	6
1.8 Delimitación	7
1.8.1 Delimitación temporal	7
1.8.2 Delimitación geográfica	7
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRCIO.....	8
2.1 Sistema estructural de muros portantes	8
2.2 Materiales Tradicionales y su comportamiento mecánico	9
2.3 Comportamiento sísmico de edificaciones de muros portantes	11
2.4 Rigidez, masa y ductilidad.....	12
2.4.1 Vulnerabilidad sísmica	12

2.4.2	Espectro de diseño sísmico	12
2.4.3	Evaluación y modelación estructural	13
2.5	Formulación conceptual aplicada al análisis sísmico de muros portantes	13
2.5.1	Cortante Basal de Diseño (V)	13
2.5.2	Coeficiente sísmico	14
2.5.3	Periodo fundamental de vibración	14
2.5.4	C_t y α para estructuras de mampostería estructural	15
2.5.5	Aceleración espectral	16
2.5.6	Control de la deriva de piso (derivas inelásticas máximas de piso)	16
2.5.7	Distribución de fuerzas sísmicas por nivel	16
2.5.8	Esfuerzo cortante promedio en muros portantes	17
2.5.9	Desplazamiento Lateral	17
2.6	Regularidad en planta y elevación	18
2.7	Límites permisibles de las derivas de los pisos	20
2.8	Diseño de construcción con Tierra reforzada	20
2.8.1	Ensayos a la compresión f_m' de adobe	21
2.8.2	Ensayos a la flexibilidad de adobe	22
2.8.3	Esfuerzos admisibles	22
2.8.4	Modulo de elasticidad E	22
2.8.5	El coeficiente Poisson ν	23
2.8.6	El módulo de rigidez al corte G	23
2.9	Estudios de Sitio	23
2.10.1	Velocidad Promedio de las Ondas de Corte V_s	24
2.10.2	Caracterización sismo estratigráfica y geofísica del Centro Histórico de Quito	25
2.10.3	Tipos de perfiles de suelos según NEC-SE-DS	25
CAPÍTULO 3. PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS		27
3.1	Factor de zona Z	27
3.2	Perfil de suelo para diseño sísmico	28
3.2.1	Definición del perfil del suelo	28
3.3	Coeficientes de perfil de suelo F_a , F_d y F_s	33
3.4	Relación de amplificación espectral η	33
3.5	Periodos de vibración T_c y T_0	34
3.6	Categoría de edificio y coeficiente de importancia I	35
3.7	Configuración estructura	35

3.8	Factor de reducción sísmica R	35
3.9	Espectro de diseño	36
3.9	Espectro de respuesta elástica $SaTa$	38
3.10	Periodo teórico espectral Ta	38
3.11	Espectro de diseño inelástico	40
3.12	Cortante basal de diseño V	41
3.13	Desplazamiento y derivas elástica e inelásticas por piso	42
3.14	Control de la deriva de piso (derivas inelásticas máximas de piso)	43
3.15	Datos del Modelamiento	43
3.15.1	Caracterización del adobe	43
3.15.2	Modulo de rotura o de flexión ft	44
3.15.3	Resistencia característica a la compresión fm' módulo de elasticidad E	45
3.14.3	Modulo de Poisson ν	45
3.14.3	Modulo de rigidez al cortante G y peso específico γ	46
3.15.6	Propiedades Mecánicas Calibradas para el Modelo Estructural de Adobe	46
Análisis de Resultados		49
4.1	Obtención de Cortante Basal	50
4.2	Obtención Participación modal	52
4.3	Obtención de Derivas de Piso	53
4.4	Resumen de resultados del estudio	55
4.5	Diagnóstico del comportamiento estructural	56
CONCLUSIONES		58
Recomendaciones		60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		61
ANEXOS		63
ANEXO A. Planos arquitectónicos y estructurales		A1
ANEXO B. Valores del espectro sísmico		B1
ANEXO C. Toma de muestras de adobe		C1
ANEXO D. Ensayos de compresión y flexión		D1

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Coeficientes de irregularidad en planta (NEC-SE-DS).....	18
Tabla 2: Configuración en elevación (NEC-SE-DS)	19
Tabla 3: Valores de máximos, expresados como fracción de la altura de piso (NEC-SE-DS).....	20
Tabla 4: Características Z de la Zona de estudio:	27
Tabla 5: columna representativa de suelo zona f3:	29
Tabla 6: Velocidad de la Onda de Corte en suelos de Quito:	32
Tabla 7: Coeficientes Fa, Fd, Fs.	33
Tabla 8: Amplificación espectral η	33
Tabla 9: Categoría y coeficiente de importancia I	35
Tabla 10: Factor de reducción sísmica R.....	36
Tabla 11: Caracterización de los muros ejes X y Y	39
Tabla 12: Carga sísmica reactiva	41
Tabla 13: Desplazamiento de piso.....	43
Tabla 14: Módulos de rotura	44
Tabla 15: Valores de las probetas a compresión	45
Tabla 16: Caracterización del adobe para modelamiento en el software ETABSv21	46
Tabla 17: Caracterización de material de tableros de madera para la losa	47
Tabla 18: Deriva máxima inelástica en X y Y	54
Tabla 19: Tabla de resultados.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de proceso de fabricación de Adobe	10
Figura 3. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z.....	27
Figura 4. Zonificación de la ciudad de Quito	28
<i>Figura 5. Velocidad de la Onda de Corte en Colegio Fernández Madrid</i>	<i>31</i>
<i>Figura 6. Zonas de Quito con velocidad de la onda de corte V_{s30}</i>	<i>32</i>
Figura 7. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones	37
Figura 8. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones	37
Figura 9. Muros en X y Y primera planta.	39
Figura 10. Espectro de diseño inelástico.	41
Figura 11. Valor del desplazamiento máximo en X, Y en software ETABS v21	42
Figura 12. Valor del Periodo de Vibración obtenido bajo modelación en software ETABS v21	49
Figura 13 Tabla de cortante basal por patrones de carga	50
Figura 15 Cortante Basal Obtenido del Análisis Dinámico	51
Figura 16. Tabla de valores de la participación modal obtenida en software ETABS v21	52
Figura 17. Valor de las derivas de piso en el eje X dinámico obtenido bajo modelación en software ETABS v21	53
Figura 18. Valor de las derivas de piso en el eje Y dinámico obtenido bajo modelación en software ETABS v21	54

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo analizar el comportamiento sísmico de una vivienda unifamiliar patrimonial de tipo muros portantes ubicada en el Centro Histórico de Quito, específicamente entre las calles Eugenio Espejo y Almeida. Estas edificaciones, construidas sin normativas sísmicas modernas y con materiales tradicionales deteriorados por el paso del tiempo, presentan una alta vulnerabilidad ante eventos sísmicos. En un contexto donde Quito se ubica en una zona de alta actividad tectónica, comprender la respuesta estructural de este tipo de edificaciones se vuelve fundamental para garantizar su preservación y la seguridad de sus ocupantes.

El estudio se enfoca en caracterizar las propiedades mecánicas y geométricas de los elementos estructurales del inmueble, determinar el espectro de diseño aplicable conforme a la normativa ecuatoriana (NEC-SE), y modelar la estructura mediante software especializado para evaluar sus modos de vibración, desplazamientos y esfuerzos bajo cargas sísmicas. A través de un análisis comparativo entre la respuesta estructural obtenida y los parámetros exigidos por la NEC, se evaluará el nivel de cumplimiento y se identificarán las principales deficiencias del sistema estructural.

La metodología empleada combina levantamiento estructural, caracterización de materiales, análisis espectral y modelación computacional, lo que permitirá obtener resultados cuantitativos que reflejen el comportamiento real de la edificación. Con base en estos análisis, se propondrán recomendaciones técnicas orientadas a mejorar la capacidad sísmica del inmueble sin comprometer su valor histórico.

Este estudio constituye un aporte significativo en el campo de la ingeniería estructural aplicada al patrimonio arquitectónico, ya que proporciona una evaluación detallada del desempeño sísmico de las edificaciones históricas del Centro Histórico de Quito y establece lineamientos que pueden ser replicados en inmuebles con tipologías similares.

PALABRAS CLAVE: Comportamiento sísmico, edificaciones patrimoniales, espectro de diseño, vulnerabilidad estructural, Análisis modal, evaluación estructural, conservación patrimonial.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the seismic behavior of a heritage-listed single-family load-bearing-wall house located in the Historic Center of Quito, specifically between Eugenio Espejo and Almeida streets. These buildings, constructed without modern seismic codes and using traditional materials that have deteriorated over time, are highly vulnerable to seismic events. Given that Quito is located in an area of high tectonic activity, understanding the structural response of this type of building is essential to ensuring its preservation and the safety of its occupants.

The study focuses on characterizing the mechanical and geometric properties of the building's structural elements, determining the applicable design spectrum in accordance with Ecuadorian standards (NEC-SE), and modeling the structure using specialized software to evaluate its vibration modes, displacements, and stresses under seismic loads. Through a comparative analysis between the structural response obtained and the parameters required by the NEC, the level of compliance will be evaluated, and the main deficiencies of the structural system will be identified.

The methodology employed combines structural surveying, material characterization, spectral analysis, and computational modeling, which will allow for the acquisition of quantitative results that reflect the building's actual behavior. Based on these analyses, technical recommendations will be proposed to improve the building's seismic performance without compromising its historical value.

This study represents a significant contribution to the field of structural engineering as applied to architectural heritage, as it provides a detailed assessment of the seismic performance of historic buildings in Quito's Historic Center and establishes guidelines that can be applied to buildings of similar types.

KEYWORDS: Seismic behavior, historic buildings, design spectrum, structural vulnerability, modal analysis, structural assessment, historic preservation.

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

El Centro Histórico de Quito, declarado Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO en 1978, constituye uno de los conjuntos arquitectónicos más representativos de América Latina, conformado por aproximadamente 7000 edificaciones patrimoniales que poseen un alto valor histórico y arquitectónico (Brem Cía. Ltda., s. f.). Muchas de estas estructuras fueron construidas empleando tipologías tradicionales de muros portantes empleando materiales como madera, adobe o mampostería, sin criterios sísmicos modernos, lo que incrementa su vulnerabilidad ante eventos sísmicos significativos (Calderón & Cristian, 2020; Hurtado, 2020).

El Ecuador se encuentra en una zona de alta actividad tectónica debido a la interacción de las placas de Nazca y Sudamericana, lo que genera condiciones sísmicas que han motivado el desarrollo de normativas específicas para el diseño estructural como la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015) (Andrade, 2011). En el caso particular del Centro Histórico de Quito, estudios geofísicos muestran que existen zonas con efectos de amplificación sísmica asociados a los tipos de suelo S3 y S4, lo que puede incrementar la aceleración espectral en ciertos períodos (K31 Road Engineering, 2023). Esta condición, sumada al deterioro natural de los materiales a lo largo del tiempo, provoca que las edificaciones patrimoniales presenten un desempeño estructural limitado frente a movimientos sísmicos (Calderón & Cristian, 2020).

Investigaciones previas en Latinoamérica han demostrado que los edificios patrimoniales suelen presentar problemas como conexiones débiles, irregularidades estructurales y baja resistencia mecánica, lo que compromete su estabilidad durante sismos moderados o severos (Sarango, 2019; Hurtado, 2020). A nivel internacional, métodos de evaluación desarrollados han permitido analizar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones históricas mediante técnicas no lineales y curvas de fragilidad (Hicks, 2002), proporcionando un marco conceptual aplicable a este tipo de estructuras.

En este contexto, resulta esencial evaluar el comportamiento sísmico de las viviendas patrimoniales del Centro Histórico de Quito para determinar si cumplen con los espectros de diseño y parámetros establecidos por la normativa ecuatoriana vigente (NEC-SE-DS y NEC-SE-Vivienda) (Andrade, 2011). Sin una evaluación detallada de su capacidad estructural, no es posible garantizar la seguridad de los ocupantes ni la preservación del patrimonio arquitectónico.

La presente investigación se centra en analizar el comportamiento sísmico de una vivienda unifamiliar patrimonial de tipo muros portantes ubicada entre las calles Eugenio Espejo y Almeida. Para ello, se realizará un levantamiento estructural, la caracterización de sus propiedades mecánicas y la modelación computacional mediante software especializado (ETABS), con el fin de obtener modos de vibración, desplazamientos y esfuerzos internos, los cuales serán comparados con los requerimientos normativos (Dawood, 2014). Este análisis permitirá identificar las principales deficiencias estructurales y proponer recomendaciones orientadas a mejorar la capacidad sísmica del inmueble, respetando su valor histórico y cultural.

En definitiva, este estudio constituye un aporte técnico que combina la ingeniería estructural moderna con la conservación del patrimonio arquitectónico, proporcionando una metodología replicable para evaluar edificaciones patrimoniales ubicadas en zonas de alta sismicidad.

1.2 Antecedentes

La ciudad de Quito, declarada Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO en 1978, conserva en su Centro Histórico un conjunto de aproximadamente 7000 edificaciones patrimoniales que representan un legado arquitectónico invaluable. Estas construcciones, muchas de ellas de carácter unifamiliar y con sistemas estructurales de tipo muros portantes, fueron levantadas en épocas donde no existían normativas sísmicas modernas ni estudios detallados sobre el comportamiento dinámico de los materiales.

Estudios preliminares señalan que cerca del 2% de estas estructuras ya se encuentran en riesgo de destrucción según la *Revista Politécnica*, vol. 41, lo que evidencia la necesidad urgente de realizar investigaciones que permitan caracterizar su comportamiento estructural frente a cargas sísmicas. Sin un análisis detallado de los espectros de diseño aplicables y del estado actual de los materiales, resulta imposible garantizar la seguridad de estas edificaciones ni plantear estrategias de conservación adecuadas.

El paso del tiempo, la exposición a condiciones ambientales adversas y el uso cotidiano han generado un deterioro progresivo en los materiales constitutivos de estas edificaciones, lo que se traduce en una pérdida de resistencia. A ello se suma la falta de información técnica sobre las propiedades mecánicas actuales de los elementos estructurales, así como la ausencia de estudios que determinen si estas edificaciones cumplen con los espectros de diseño sísmico establecidos en la normativa ecuatoriana vigente (NEC-SE).

1.3 Planteamiento del problema

En consecuencia, surge la necesidad de responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿En qué medida un edificio patrimonial de muros portantes cumple con los parámetros del espectro de diseño establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, considerando su comportamiento estructural y el estado actual de sus materiales?

La problemática se agrava considerando que el Ecuador se encuentra en una zona de alta sismicidad debido a la interacción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana interactuando en la región del cinturón de Fuego del Pacífico. En este contexto, el Centro Histórico de Quito constituye un área especialmente vulnerable, pues un evento sísmico de magnitud considerable podría provocar el colapso parcial o total de edificaciones patrimoniales, poniendo en riesgo la vida de sus habitantes y comprometiendo la conservación de un patrimonio cultural de relevancia mundial.

1.4 Objetivo General

Evaluar el comportamiento sísmico en una vivienda patrimonial de muros portantes de adobe en el Centro Histórico de Quito mediante la aplicación de un análisis modal espectral, con el fin de determinar su vulnerabilidad estructural.

1.5 Objetivos Específicos

- Caracterizar las propiedades mecánicas y geométricas de los elementos estructurales de la vivienda mediante la indagación de información, estudios científicos y documentación técnica existente de los materiales, para definir los parámetros de entrada del modelo estructural.
- Modelar y analizar estructuralmente la vivienda mediante la Norma Ecuatoriana de la Construcción Eje de Seguridad Estructural Peligro Sísmico Diseño sismorresistente, con ayuda del software ETABS v21, con el fin de evaluar el comportamiento de la estructura frente a acciones sísmicas.
- Proponer recomendaciones de intervención, basados en los resultados del comportamiento sísmico con la finalidad de mejorar el desempeño de la vivienda y preservar la integridad del inmueble.

1.6 Justificación

1.6.1 Justificación teórica

La importancia del trabajo dentro del análisis del comportamiento del espectro sísmico en una vivienda patrimonial unifamiliar del centro histórico de Quito, Ecuador es demasiado si nos apegamos dentro del hecho que el mismo es un legado arquitectónico dentro de la ciudad y el país que guardan una gran cantidad de hechos históricos y culturales dentro de

las mismas, lo que nos lleva al hecho de que las mismas son estructuras antiguas y vulnerables ante eventos sísmicos, debido a los métodos constructivos utilizados dentro de la época así como los materiales utilizados en las mismas y como estos ya se encuentran afectados por el tiempo.

De igual manera se debe tomar en cuenta que la existencia de estudios de espectro sísmico de estas estructuras en la actualidad es escasa, así como la materia de estudios referentes este tema dentro del país se basa o son aplicables dentro de estructuras con métodos constructivos un poco más actuales o alejados a los que se tenía en la época de las estructuras de estudio.

Desde un punto de vista teórico, este estudio ayudará a expandir la comprensión del comportamiento sísmico de los edificios históricos y se alineará con las normas de construcción de Ecuador (NEC-SE-Vivienda), una base para la evaluación estructural de futuras viviendas patrimoniales. Además, los resultados de la investigación podrían refutar o complementar teorías previas sobre la rigidez, la ductilidad y la absorción de energía de viviendas antiguas, promoviendo la discusión académica sobre modelos de análisis estructural aplicables a construcciones patrimoniales.

Tomando en cuenta esto el tema no solo aborda un aporte técnico, teórico, al utilizar conceptos en ingeniería estructural moderna con la preservación del patrimonio arquitectónico tomando en cuenta estos dos temas que suelen mantenerse separados.

1.6.2 Justificación metodológica

La metodología propuesta para poder abordar el tema es la siguiente, experimental computacional, ya que esta combina la recopilación de datos y la caracterización de materiales a través de la modelación de las estructuras mediante software especializados, esta metodología es la más adecuada ya que a través de esta podemos lograr abordar el problema planteados tales como:

Recrear el comportamiento sísmico del edificio a través de simulaciones dinámicas dentro del software, con ayuda de los espectros de diseño definidos dentro de la NEC.

Identificar los puntos más críticos dentro de la estructura con ayuda de los datos aportados dentro de las simulaciones dinámicas, tales como zonas de concentraciones de esfuerzos, desplazamientos críticos, etc.

Poder realizar la comparación de los resultados obtenidos con lo permitido dentro de la normativa ecuatoriana verificando el cumplimiento del edificio.

Además, esta metodología permitirá proponer medidas de refuerzo o intervenciones estructurales, basadas en análisis técnicos y cuantitativos, asegurando que las recomendaciones finales no solo sean prácticas, sino que también respeten el valor cultural de los edificios.

La misma nos permite modelar las propiedades mecánicas de los materiales estructurales con ayuda de investigaciones previas y documentos técnicos existentes de los materiales, tales como postulados dentro de las edificaciones patrimoniales de centro histórica de Quito.

En general, elegir esta metodología garantiza la racionalidad técnica de la investigación, la fiabilidad de los resultados y la posibilidad de aplicar los métodos de análisis a otros edificios con características similares en el centro histórico.

1.7 Hipótesis

Las viviendas unifamiliares presentes en el Centro Histórico de Quito Ecuador se encuentran constituidas de estructuras de muros portantes con un comportamiento sísmico que no llega a cumplir con todos los aspectos que existen dentro del espectro de diseño establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE), debido al deterioro de sus materiales, su sistema estructural tradicional y la ausencia de criterios de diseño sismorresistente en el momento de su construcción.

1.8 Delimitación

1.8.1 Delimitación temporal

La investigación se llevará a cabo del 15 noviembre del 2025 al 15 de Julio del 2026, durante los cuales se realizarán la recopilación de información estructural, las pruebas de características de materiales, la simulación por computadora, el análisis sísmico y la redacción del informe final de la tesis.

1.8.2 Delimitación geográfica

El estudio se llevará a cabo en una vivienda patrimonial de muros portantes, ubicada en el centro histórico de Quito, Ecuador, en la intersección de las calles Eugenio Espejo y Almeida 552. La razón para elegir este edificio radica en su significado representativo dentro de la arquitectura histórica de la zona y en sus características típicas del tipo estructural.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRCIO

El presente marco conceptual establece y define los conceptos fundamentales que sustentan el análisis del comportamiento sísmico de una vivienda unifamiliar patrimonial de tipo muros portantes. Estos conceptos permiten comprender la lógica estructural del sistema constructivo, su respuesta frente a acciones sísmicas y los criterios técnicos empleados para su evaluación, constituyendo la base interpretativa de la investigación.

En el Ecuador dentro del distrito metropolitano de Quito, en el Centro histórico se pueden encontrar una gran cantidad de estructuras coloniales, dada a su antigüedad estas están compuestas de materiales que abundaban en la zona como lo es la tierra, así pues, se elaboraron con materiales hechos a base de tierra amasada, paja trillada y arena gruesa, lo que permitió la fabricación de diferentes elementos tales como tapias y muros generalmente de adobe, bloque de tierra moldeado sin cocer y secado al sol.

2.1 Sistema estructural de muros portantes

El sistema consiste en que los muros, los cuales pueden estar constituidos por hormigón, mampostería o similares trabajan o actúan dentro de la estructura como elementos portantes que soportan y transmiten las cargas verticales (peso propio y sobrecargas de uso), los muros de la estructura soportan a las diferentes estructuras del edificio, tales como vigas o viguetas de forjados o la cubierta.

Así como son capaces de resistir las cargas horizontales producto de sismos, distribuyéndolas hacia la cimentación de la estructura, gracias a su geometría estos elementos no tienen una diferencia clara dentro de su arquitectura ya que los mismos cumplen los mismos propósitos de manera simultánea como cerramiento y estructural.

Este sistema dio como resultado que dentro de las viviendas patrimoniales se pueda encontrar una estructura o arquitectura que consta con alturas de pisos de entre 2,40m a 3.10m, en conjunto con los materiales utilizados dentro de la construcción daba como

resultado una distribución robusta con una elevada rigidez lateral, con una gran masa estructural y una baja elasticidad contra las deformaciones condicionando de manera significativa a la estructura durante sismos.

En edificaciones patrimoniales, este sistema se caracteriza por presentar elevada rigidez lateral, gran masa estructural y una limitada capacidad de deformación, lo que condiciona de manera significativa su comportamiento sísmico.

En el caso de un evento sísmico, el comportamiento de este tipo de estructuras es deficiente debido al excesivo peso de los muros que conforman el sistema estructural resistente y su limitada capacidad de disipar energía (Blondet, García y Brzev, 2003).

2.2 Materiales Tradicionales y su comportamiento mecánico

Los materiales tradicionales comúnmente presentes en viviendas de muros portantes incluyen adobe, mampostería de piedra, ladrillo artesanal y morteros de cal. Desde el punto de vista mecánico, estos materiales presentan alta resistencia a la compresión, pero baja resistencia a la tracción y al corte, así como un comportamiento frágil ante solicitaciones sísmicas.

El envejecimiento natural, la humedad, la falta de mantenimiento y las intervenciones inadecuadas provocan una reducción progresiva de sus propiedades resistentes, incrementando la vulnerabilidad estructural de la edificación.

Diversos estudios han expuesto las excelentes propiedades térmicas y acústicas. Mas sin embargo a su vez revelaron la vulnerabilidad de estas estructuras ante fenómenos naturales como los sismos.

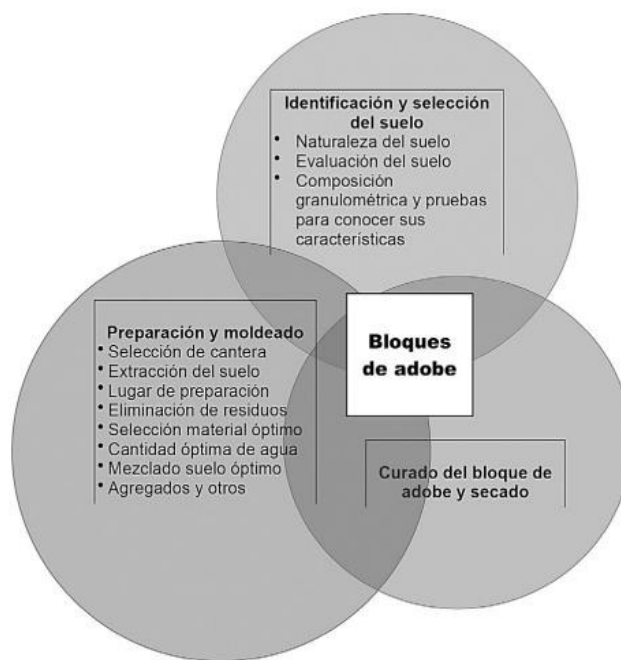


Figura 1 Diagrama de proceso de fabricación de Adobe

Fuente: (Juan Carlos Rivera,2012)

Un sistema de construcción con tierra cruda llamado muros de adobe se construye básicamente ensamblando unidades de tierra cruda (adobe) secadas al sol y unidas con barro que actúa como aglomerante (Juan Carlos Rivera,2012). Los elementos básicos de esta mampostería se fabrican y/o colan en diferentes formatos y con diferentes composiciones granulométricas. El diagrama de producción de adobe (Figura N1) muestra los pasos constantes y cíclicos necesarios para fabricar unidades fabriles, que no han cambiado significativamente ni en el adobe histórico ni en el moderno, porque la técnica constructiva en sí no ha cambiado. Como logro y mejoramiento de la composición de los adobes, se observa la adición de elementos orgánicos e inorgánicos mediante métodos físicos, fisicoquímicos o químicos, lo que tiene como objetivo mejorar las propiedades mecánicas y el comportamiento ante influencias externas, principalmente las condiciones climáticas a las que estas estructuras están más expuestas (Juan Carlos Rivera,2012). En el diagrama (Figura 2) se pueden ver todas las variables que intervienen en este proceso y que cambian de un monumento a otro. Teniendo en cuenta la aparente sencillez de esta tecnología constructiva, es necesario -para ofrecer soluciones de intervención más adecuadas a los valores culturales que contienen este tipo de materiales- conocer de forma

más precisa y completa las propiedades físicas, mecánicas y químicas del material que lo forma (Juan Carlos Rivera,2012).

2.3 Comportamiento sísmico de edificaciones de muros portantes

El comportamiento sísmico de una edificación de muros portantes está determinado por la interacción entre la masa estructural, la rigidez de los muros y la capacidad resistente de los materiales. Durante un evento sísmico, las fuerzas inerciales generan esfuerzos cortantes, momentos de volteo y tensiones de tracción que pueden superar la capacidad del material.

Uno de los puntos fundamentales que se debe tomar en cuenta para poder conseguir un comportamiento sísmico resistente dentro de estructuras de adobe es el uso de una distribución en plantas compactas con forma de caja, así como evitar construir casas que superen un piso de altura o que sus muros superen una altura de ocho veces el espesor del muro y de ningún modo sean superiores a 3,5m (Jaguaco Canchig, 2007).

Los muros se deben distribuir de tal forma que permitan un soporte mutuo con ayuda de muros transversales en intervalos regulares en ambas direcciones, de tal forma que los vanos de los muros se encuentren bien distribuidos y la distancia entre vanos no puede ser superior a un tercio de la longitud total del muro, de tal forma que su distancia no puede ser superior a 1,2m (Jaguaco Canchig, 2007).

Los mecanismos de falla más comunes en este tipo de estructuras incluyen fisuración diagonal por cortante, deslizamiento en juntas de mortero, volteo de muros fuera de su plano y pérdida de conexión entre muros ortogonales y elementos horizontales.

2.4 Rigidez, masa y ductilidad

La rigidez estructural es la capacidad de una edificación para oponerse a las deformaciones laterales. En las viviendas de muros portantes, la rigidez suele ser elevada debido al espesor y continuidad de los muros, lo que conduce a períodos de vibración bajos.

La masa estructural, asociada al peso propio de los muros, influye directamente en la magnitud de las fuerzas sísmicas. Por su parte, la ductilidad, entendida como la capacidad de deformarse sin pérdida significativa de resistencia, es limitada en este tipo de sistemas, lo que incrementa la probabilidad de fallas frágiles.

2.4.1 Vulnerabilidad sísmica

Se entiende por vulnerabilidad sísmica la susceptibilidad de una estructura a sufrir un grado de daños esperados ante la ocurrencia de un sismo de determinada intensidad. Las edificaciones patrimoniales de adobe presentan generalmente una alta vulnerabilidad, asociada a las características frágiles de sus materiales, la carencia de refuerzos estructurales, las irregularidades geométricas y el desgaste producido por el paso del tiempo.

El análisis de la vulnerabilidad permite identificar los puntos críticos del sistema estructural y orientar la toma de decisiones respecto a intervenciones de refuerzo compatibles con el carácter patrimonial del inmueble.

2.4.2 Espectro de diseño sísmico

El espectro de diseño sísmico representa la respuesta máxima esperada de una estructura frente a un movimiento sísmico (*NEC-SE-DS, 2015*), expresada en términos de aceleración espectral en función del período de vibración. De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), el espectro se define considerando la zona sísmica, el tipo de suelo, el factor de importancia y el nivel de ductilidad estructural.

Dado que las edificaciones de muros portantes presentan períodos cortos, suelen verse sometidas a mayores demandas de aceleración sísmica.

2.4.3 Evaluación y modelación estructural

La evaluación estructural consiste en el análisis técnico del estado actual de una edificación con el fin de determinar su capacidad resistente frente a acciones sísmicas. La modelación estructural, mediante herramientas computacionales, permite simular el comportamiento dinámico del sistema de muros portantes y obtener parámetros como períodos de vibración, modos propios, desplazamientos y esfuerzos internos.

Estos resultados constituyen la base para comparar el desempeño de la estructura con los requerimientos establecidos por la normativa vigente.

2.5 Formulación conceptual aplicada al análisis sísmico de muros portantes

Con el fin de reforzar el carácter técnico del marco conceptual, las principales relaciones empleadas en la evaluación sísmica de edificaciones de muros portantes se presentan a continuación de forma matemática, permitiendo una mejor comprensión de los parámetros que gobiernan el comportamiento estructural.

2.5.1 Cortante Basal de Diseño (V)

Para verificar la capacidad total que deben resistir los muros en la base se debe aplicar la ecuación dada por la (NEC-SE-DS,2015):

$$V = \frac{I \cdot S_a(T_a)}{R \phi_P \phi_E} W \quad (1)$$

Donde:

$S_a(T_a)$ Espectro de diseño en aceleración

ϕ_P y ϕ_E Coeficientes de configuración en planta y elevación

I Coeficiente de importancia

R Factor de reducción de resistencia sísmica

V Cortante basal total de diseño

W Carga sísmica reactiva

T_a Periodo de vibración

La Demanda de ductilidad alcanzada es la capacidad de la estructura de deformarse inelásticamente, sin que se produzcan daños irreparables o una severa degradación en la capacidad de carga (San Bartolomé. 1998).

2.5.2 Coeficiente sísmico

De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), el coeficiente sísmico se define mediante:

$$C_s = \frac{Z S I}{R} \quad (2)$$

Donde:

Z es el factor de zona sísmica,

S es el factor de amplificación del suelo,

I es el factor de importancia de la edificación,

R es el factor de reducción por ductilidad.

2.5.3 Periodo fundamental de vibración

El Período fundamental corresponde al tiempo que nuestra estructura de análisis tarda en completar una oscilación completa en vibración libre. Aunque este parámetro es característico de la respuesta en vibración libre, su valor condiciona en buena medida la respuesta estructural a muchas solicitaciones dinámicas, como es el caso de los sismos (Muñoz A. 1999).

El periodo fundamental aproximado de edificaciones rígidas de muros portantes puede estimarse mediante la relación empírica:

$$T = C_t h_n^\alpha \quad (3)$$

Donde:

T es el período fundamental de vibración,

h es la altura total de la edificación,

C_t y α son coeficientes empíricos definidos por la normativa.

2.5.4 C_t y α para estructuras de mampostería estructural

Es definido como 1 el valor de α y T_c es definido como:

$$C_t = \frac{0.0062}{\sqrt{C_w}} ; C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^{n_w} \left[\left(\frac{h_n}{h_{wi}} \right)^2 \frac{A_{wi}}{1 + 0.83 \left(\frac{h_{wi}}{l_{wi}} \right)^2} \right] \quad (4)$$

Donde:

A_B Área de la edificación en su base, en metros cuadrados.

n_w Número de muros de la edificación diseñados para resistir las fuerzas sísmicas en la dirección de estudio.

h_{wi} Altura del muro i medida desde la base, en metros.

A_{wi} Área mínima de cortante de la sección de un muro estructural i , medida en un plano horizontal, en el primer nivel de la estructura y en la dirección de estudio, en metros cuadrados.

l_{wi} Longitud medida horizontalmente, en metros, de un muro estructural i en el primer nivel de la estructura y en la dirección de estudio.

2.5.5 Aceleración espectral

La aceleración espectral correspondiente al período fundamental se obtiene a partir del espectro de diseño:

$$S_a = C_s g \quad (5)$$

Donde:

S_a es la aceleración espectral,

g es la aceleración de la gravedad.

2.5.6 Control de la deriva de piso (derivas inelásticas máximas de piso)

Para la verificación de las derivas de entre piso se considera el valor del desplazamiento máximo inelástico de la estructura Δ_M , producida por el sismo de diseño.

$$\Delta_M = 0.75 R \Delta_E \quad (6)$$

Dónde:

Δ_M Deriva máxima inelástica.

Δ_E Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas.

R Factor de reducción de resistencia.

2.5.7 Distribución de fuerzas sísmicas por nivel

La fuerza sísmica asignada a cada nivel de la estructura se determina mediante:

$$F_i = V \frac{W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j} \quad (7)$$

Donde:

F_i es la fuerza sísmica en el nivel i ,

W_i es el peso del nivel i ,

h_i es la altura del nivel i respecto a la base.

2.5.8 Esfuerzo cortante promedio en muros portantes

El esfuerzo cortante promedio actuante en un muro portante se expresa como:

$$\tau = \frac{V_m}{A_m} \quad (8)$$

Donde:

τ es el esfuerzo cortante promedio,

V_m es el cortante actuante en el muro,

A_m es el área efectiva del muro.

2.5.9 Desplazamiento Lateral

El desplazamiento lateral máximo puede expresarse de manera general como:

$$\Delta = \frac{F}{k} \quad (9)$$

Donde:

Δ es el desplazamiento lateral.

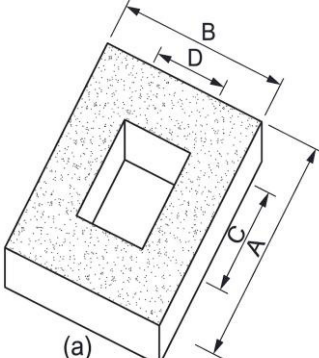
F es la fuerza lateral aplicada.

k es la rigidez lateral del sistema estructural.

2.6 Regularidad en planta y elevación

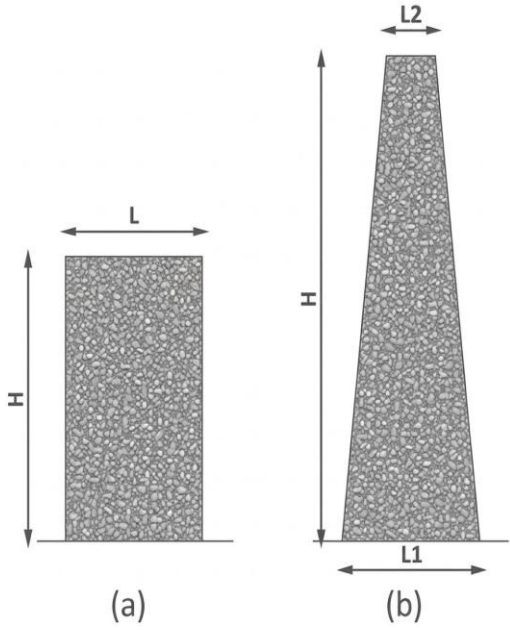
Una estructura se considera como regular en planta y en elevación, cuando no presenta ninguna de las condiciones de irregularidad descritas en la Tabla 1 y Tabla 2.

Tabla 1 : Coeficientes de irregularidad en planta (NEC-SE-DS)

Tipo 3 -Discontinuidades en el sistema de piso $\phi_{pi} = 0.9$ a) $CxD > 0.5Ax B$ b) $[CxD + CxE] > 0.5Ax B$ La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.	 (a)
Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto, la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.	

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

Tabla 2: Configuración en elevación (NEC-SE-DS)

La dimensión del muro permanece constante a lo largo de su altura o varía de forma proporcional. $\phi_{Ei} = 1$ (a): Un Pilar Rectangular Estándar Dimensiones ○ Altura constante H ○ Anchura constante L (b): Un Pilar Trapezoidal o Atusado Dimensiones: ○ Mantiene la misma altura H que el pilar (a), pero sus anchuras varían. ○ La base inferior tiene una anchura mayor, L1. ○ La base superior tiene una anchura menor, L2.	 El diagrama ilustra dos configuraciones de pilares. El pilar (a) es rectangular, con una altura vertical etiquetada como 'H' y una anchura horizontal etiquetada como 'L'. El pilar (b) es trapezoidal, también con una altura vertical etiquetada como 'H'. Su base inferior tiene una anchura etiquetada como 'L1', y su base superior tiene una anchura etiquetada como 'L2'. Ambos pilares están representados con un patrón de puntos para indicar que son muros.
---	--

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

a. Coeficiente de regularidad en planta ϕ_p

El coeficiente ϕ_p se estimará a partir del análisis de las características de regularidad e irregularidad en las plantas en la estructura, descritas en la Tabla 1. Se utilizará la expresión:

$$\phi_p = \phi_{PA} \times \phi_{PB}$$

(10)

Dónde:

ϕ_p Coeficiente de regularidad en planta

$\emptyset_{PA}$ Mínimo valor $\emptyset_{Pi}$ de cada piso i de la estructura en el caso de irregularidades.

$\emptyset_{PB}$ Mínimo valor $\emptyset_{Pi}$ de cada piso i de la estructura en el caso de irregularidades

2.7 Límites permisibles de las derivas de los pisos

La deriva máxima para cualquier piso no excederá los límites de deriva inelástica establecidos en la tabla siguiente, en la cual la deriva máxima se expresa como un porcentaje de la altura de piso:

Tabla 3: Valores de Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura de piso (NEC-SE-DS)

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
De mampostería	0.01

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

2.8 Diseño de construcción con Tierra reforzada

La siguiente normativa de origen peruano explica que la norma se refiere a las características mecánicas de los materiales para la construcción de edificaciones de tierra reforzada, al diseño sismorresistente para edificaciones de tierra reforzada, a los elementos estructurales fundamentales de las edificaciones de tierra reforzada, así como al comportamiento de los muros de adobe y tapial, de acuerdo con la filosofía de diseño sismorresistente (Norma Peruana E.080, 2017).

De igual manera nos permite entender una correcta distribución de los muros dentro de viviendas las cuales estén conformadas por tierra reforzada (adobe), tales como que los muros deben tener los siguientes espesores.

2.8.1 Ensayos a la compresión f'_m de adobe

La evaluación de la resistencia a compresión de materiales de tierra (adobe), La resistencia a la compresión de la mampostería f'_m constituye el parámetro fundamental para evaluar la capacidad de carga axial en muros portantes y definir los límites del comportamiento elástico del material las realizamos mediante ensayos de laboratorio con la finalidad de determinar los esfuerzos mínimos de rotura. Para ello se debe efectuar ensayos de compresión en cubos, ejecutados conforme al siguiente procedimiento dictado por la Norma Peruana E.080,2017:

a) La resistencia se mide mediante el ensayo de compresión del material en cubos de 0.1 m de arista.

b) La resistencia última se calcula conforme a la expresión siguiente:

$$f_o = 1.0 \text{ MPA} = 10.2 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad (11)$$

c) Los cubos de adobes o muestras de tapial deben cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada.

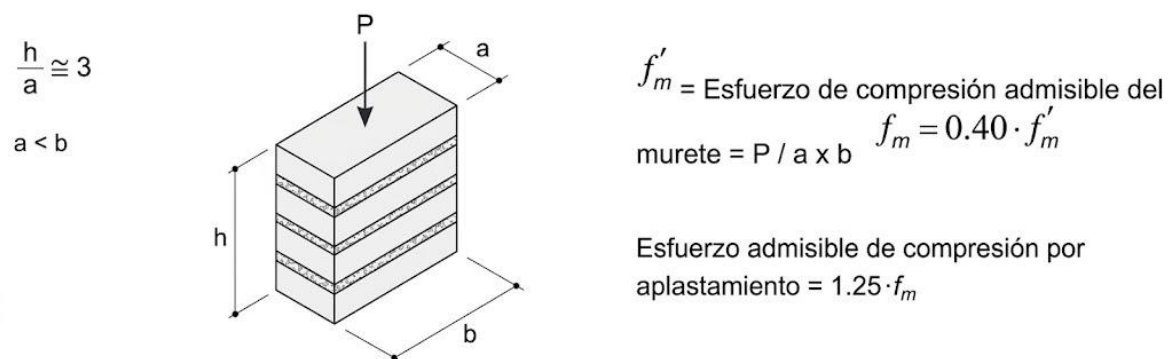


Figura 2. Ensayos de compresión. Muretes de adobe o tapial

Fuente: (Norma Peruana E.080, 2017).

2.8.2 Ensayos a la flexibilidad de adobe

De acuerdo con el número de apoyos de cada muro, en función de los arriostres verticales, se calcula el esfuerzo de flexión del muro producido por fuerzas sísmicas perpendiculares a su plano considerando el comportamiento elástico del material de tierra (Norma Peruana E.080, 2017). Dichos esfuerzos no deben sobrepasar los esfuerzos admisibles a tracción por flexión.

Por normativa la resistencia de muros a tracción por flexión debe tener una resistencia última $0.14 \text{ MPa} = 1.42 \text{ kgf/cm}^2$.

Cuando no se dispone de información proveniente de ensayos experimentales para el módulo de elasticidad de los muros de tierra, se considera un valor de $200 \text{ MPa} = 2040 \text{ kgf/cm}^2$.

2.8.3 Esfuerzos admisibles

Los esfuerzos admisibles se deben calcular tomando un coeficiente de seguridad de 2.5 por variación de calidad en material, calidad de ejecución y evaluación de las cargas (Norma Peruana E.080, 2017). Cuando no se dispongan de ensayos de laboratorio se considera establecer un coeficiente de seguridad de 3.

2.8.4 Modulo de elasticidad E

El módulo de elasticidad o módulo de Young E se define como la relación que existe entre los esfuerzos axiales aplicado y las deformaciones unitarias producidas dentro del rango elástico lineal, este análisis es fundamental para poder entender el análisis sísmico de la estructura dado a que gobierna directamente la rigidez lateral global de los muros y con ello los periodos de vibración fundamental de la estructura, Su determinación matemática se fundamenta en la pendiente de la curva esfuerzo-deformación ($\sigma - \varepsilon$) como indica la formula.

$$\sigma = E\varepsilon \quad (12)$$

Donde:

σ es el esfuerzo en Pascales (Pa)

E es el módulo de elasticidad en Pascales (Pa)

ε es la deformación adimensional

2.8.5 El coeficiente Poisson ν

El coeficiente de Poisson es la una propiedad mecánica de los materiales que cuantifica la capacidad que tienen los materiales para disminuir o aumentar sus lados al momento de estirarse o comprimirse, dentro del estudio controla las cualidades características del material de estudio tales como el adobe.

2.8.6 El módulo de rigidez al corte G

El módulo de rigidez al corte G permite definir el comportamiento del material en el momento que se opone a sufrir deformaciones angulares o de sismo actuando dentro del plano del muro, debido a las características presentes del material de estudio el mismo no nos permite definir es te valor de forma directa en el mismo obtenido de (Flor, T.8va edición)

Se ha optado por la mecánica de medios continuos permite deducir el módulo de corte a:

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

(13)

Donde:

G es el módulo de rigidez al corte

E es el módulo de elasticidad

ν es el coeficiente de Poisson

2.9 Estudios de Sitio

Para determinar las condiciones geotécnicas como el tipo y perfil del suelo en el área correspondiente a este estudio en el Centro Histórico de Quito no se realizará mediante

ensayos de campo propios. En su lugar se optó por un enfoque basado en la recopilación, análisis y síntesis de información proveniente de investigaciones previas, tales como artículos científicos, tesis académicas y estudios geotécnicos desarrollados en la misma zona o sectores cercanos.

Esta metodología permite contar con datos y parámetros representativos y validados, garantizando la coherencia técnica del análisis.

Esta información será correlacionada y evaluada en función de los criterios establecidos en la Norma Técnica E.080, a su vez relacionando con lo establecido nuestra normativa ecuatoriana vigente NEC-SE-DS, con el fin de establecer una relación técnica entre ambas normativas. Para así establecer parámetros comparables y coherentes que permitan interpretar o caracterizar el comportamiento del adobe y su interacción con la superestructura de adobe

2.10.1 Velocidad Promedio de las Ondas de Corte V_s

La velocidad promedio de propagación o de las ondas de cortes V_s nos permite estudiar suelos con diferentes perfiles o múltiples estratos a través de sus espesores y cualidades, con ayuda de un promedio ponderado inverso en función a el espesor de cada estrato, se determinan con la siguiente formula obtenida dentro de la NEC de Peligro Sísmico Diseño sismorresistente obtenida de (National Earthquake Hazards Reduction Program [NEHRP], 2015).

$$V_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{V_{si}} \right)} \quad (14)$$

Donde:

d_i es el espesor de cada uno de los n estratos

V_{si} es la correspondiente velocidad de ondas de corte (m/s).

2.10.2 Caracterización sismo estratigráfica y geofísica del Centro Histórico de Quito

El estudio realizado para la construcción del metro de Quito es la base teórica sobre los datos, metodología y proceso aplicados para la obtención de las características geotécnicas del suelo que analizamos en nuestra zona.

2.10.3 Tipos de perfiles de suelos según NEC-SE-DS

De acuerdo con la NEC-SE-DS, los perfiles de suelo se clasifican principalmente en función de la velocidad de onda de corte (V_s) y la rigidez del terreno. Relación con los resultados del estudio

En documento indica redacta los resultados obtenidos a través de la metodología aplicada de métodos geofísicos no invasivos como el método ReMi (Refracción por Microtremores) y Método de Vibraciones Naturales. La recopilación de datos indica que el suelo del Centro Histórico se presenta:

- Suelos semi-densos a rígidos
- Substrato competente a poca profundidad (10–20 m)
- Bajos periodos de vibración
- Capas superficiales poco espesas

Tipo de suelo equivalente en la NEC, con estas características, el suelo se puede asociar a:

Perfil tipo C (Suelo denso o rígido)

- Suelos granulares densos o cohesivos rígidos
- Velocidades V_s intermedias-altas

- Baja a moderada amplificación sísmica

CAPÍTULO 3. PROCESAMIENTO DE DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Factor de zona Z

La estructura colonial de estudio se encuentra dentro de la provincia de Pichincha en la ciudad de Quito, en el centro histórico podemos definir gracias a la NEC-SE-DISEÑO SISMO RESISTENTE, la cual nos indica que todo el territorio del Ecuador se encuentra catalogado como amenaza sísmica alta.

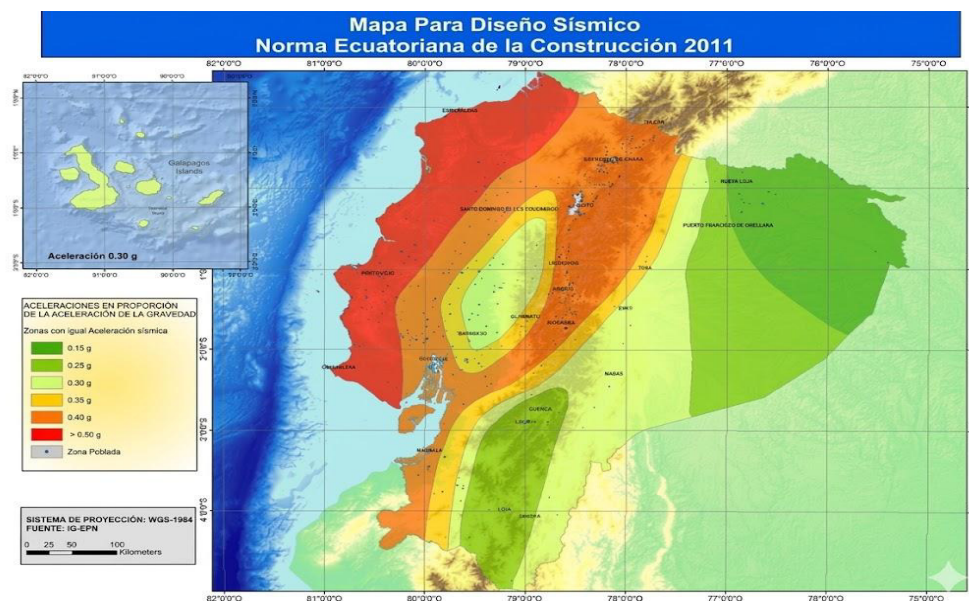


Figura 3. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z

Fuente (NEC-SE-DS,2015).

La Figura N 3. de fine que la ciudad de Quito se encuentra dentro de un área con las siguientes características:

Tabla 4: Características Z de la Zona de estudio:

Zona sísmica	V
Valor factor Z	0.40
Caracterización del peligro sísmico	Alta

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

3.2 Perfil de suelo para diseño sísmico

Para definir el tipo de suelo presente en la zona de estudio se ha optado por la recopilación de datos de estudios previos cercanos o referentes al Centro Histórico en los cuales se especifique el tipo de perfil de suelo prestes o la velocidad de onda de corte (V_s) de los diferentes estratos con los cuales poder generalizar el perfil de suelo dentro de la zona.

3.2.1 Definición del perfil del suelo

De los estudios presentes en el documento de "Microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de Quito" en este con ayuda de los estudios realizados dentro del "Proyecto de manejo de riesgos sísmicos de Quito- Ecuador " en este se postuló una distribución de del suelo presente dentro de la ciudad de Quito dividida en 20 subzonas, divididas en 4 grupos entre los cuales se encuentran F que son los flancos de Pichincha la cual se divide en 7, L los depósitos lacustres que se dividen en 5, Q depósitos de cangahua que se dividen 7 y una subzona para clasificar la panecillo como se muestra en la Figura N 4.

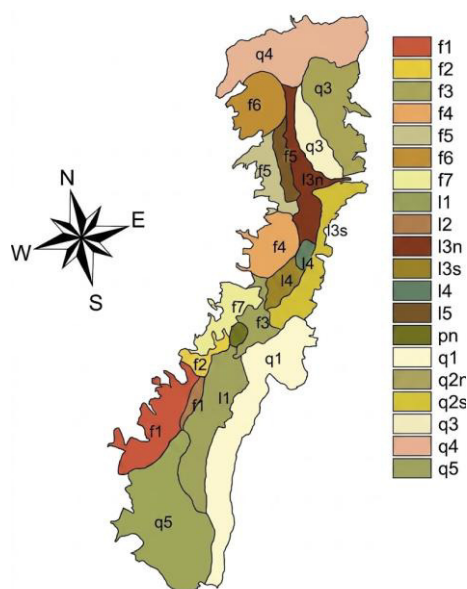


Figura 4. Zonificación de la ciudad de Quito

Fuente Valverde, J., Fernández, J., Jiménez, E., Vaca, T., & Alarcón, F. (s.f.).
Microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de la ciudad de Quito.

Con la Figura 4. se puede localizar que nuestra estructura se encuentra dentro de la subzona f3 la cual se caracteriza por ser una zona de cangahuas cubiertas por diferentes tipos de suelo, la cual atreves de la Tabla 9 tiene la siguiente columna representativa de suelo

Tabla 5: columna representativa de suelo zona f3:

Profundidad (m)	SUCS (Tipo de Suelo)	Densidad (g/cm ³)	SPT (#N)	Vs (m/s)
0.0 - 3.0	SM (Arena limosa)	1.6	5	194
3.0 - 6.0	ML (Limo de baja plasticidad)	1.6	5	194
6.0 - 8.0	CL (Arcilla de baja plasticidad)	1.6	14	274
8.0 - 10.0	CL (Arcilla de baja plasticidad)	1.9	14	274
10.0 - 13.0	CL (Arcilla de baja plasticidad)	1.9	19	300
13.0 - 16.0	CL (Arcilla de baja plasticidad)	1.9	19	300
16.0 - 20.0	CL (Arcilla de baja plasticidad)	2.0	44	400

Fuente: (Valverde, J., Fernández, J., Jiménez, E., Vaca, T., & Alarcón, F. (s.f.)).

Con los datos de la Tabla 5 podemos realizar el cálculo de la velocidad de corte a los 30m del perfil con la formula N14:

$$\frac{H1}{Vs1} + \frac{H2}{Vs2} + \frac{H3}{Vs3} + \frac{H4}{Vs4} + \frac{H5}{Vs5} + \frac{H7}{Vs7} + \frac{H8}{Vs8} + \frac{H9}{Vs9} = \frac{Hr}{Vs30}$$

Asumiendo que en los últimos 10 m la velocidad de onda de corte se mantiene en 400 m/s y los datos propuestos en la Tabla 5 podemos definir lo siguiente dentro de la ecuación N 14:

$$\frac{0-3}{194} + \frac{3-6}{194} + \frac{6-8}{247} + \frac{8-10}{247} + \frac{10-13}{300} + \frac{13-16}{300} + \frac{16-20}{400} + \frac{20-30}{400} = \frac{30}{V_{s30}}$$

$$V_{s30} = \frac{30}{0.10052}$$

$$V_{s30} = 298.45 \frac{m}{s}$$

Lo que permite clasificar a esta zona con un tipo de perfil de suelos D Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante que se encuentra entre $360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$ de velocidad de corte.

Con respecto a los estudios obtenidos dentro del documento "Microzonificación sísmica de Quito" con ayuda de "Estudios realizados por PLANMAN 2012 para hallar v_{s30} ", "clasificación de suelos realizada por la Politécnica Nacional en 2002".

Como señalo R. Aguiar (2015) "La compañía consultora PLANMAN, realizó el reforzamiento sísmico de varios Centros de Educación del Municipio de Quito" (p.50), donde dentro del proyecto el autor de "Microzonificación sísmica de Quito" cumplió la función de director técnico. Dentro del proyecto la obtención de datos se dio gracias al uso de sísmica de refracción (R. Aguiar, 2015).

De los cuales se tomó como referencia los estudios realizados dentro del colegio Fernández Madrid ubicado a unos 310m aproximadamente de la zona de estudio del cual lo resultados se pueden observar en la Figura N5.

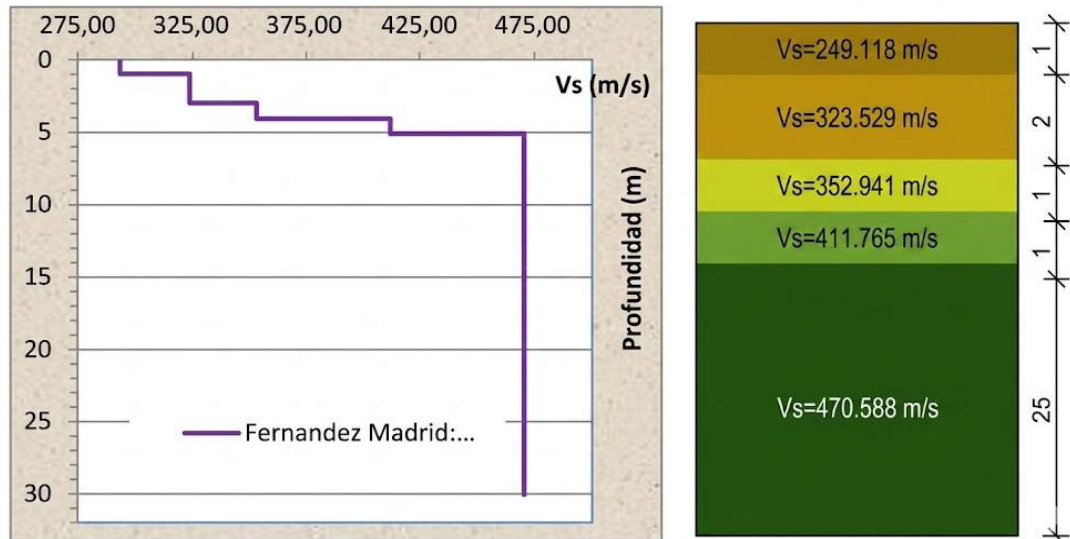


Figura 5. Velocidad de la Onda de Corte en Colegio Fernández Madrid

Fuente (R. Aguiar, 2015).

Los resultados encontrados en el estudio se presentan en la Figura 5. Con los valores de la velocidad de la onda de corte se encuentra que $V_{s30} = 437.42 \text{ m/s}$ que corresponde a un suelo tipo C de acuerdo con la NEC-SE-DS (R. Aguiar, 2015).

Y a través de la zonificación realizada por la Escuela Politécnica Nacional divide el Distrito Metropolitano de Quito en cinco zonas que Sur, Centro Sur, Centro, Centro Norte y Norte, las mismas que se indican en la Figura 6.

En esta gráfica, que también corresponde a la clasificación de suelos realizada por la Politécnica Nacional en 2002; se han colocado los sitios donde se ha determinado la velocidad de la onda de corte V_{s30} para los estudios del: Metro de Quito, Reforzamiento de Centros de Educación Municipales; para la Microzonificación de Quito por parte de ERN-12 y el realizado por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, en el Parque Metropolitano (R. Aguiar, 2015).

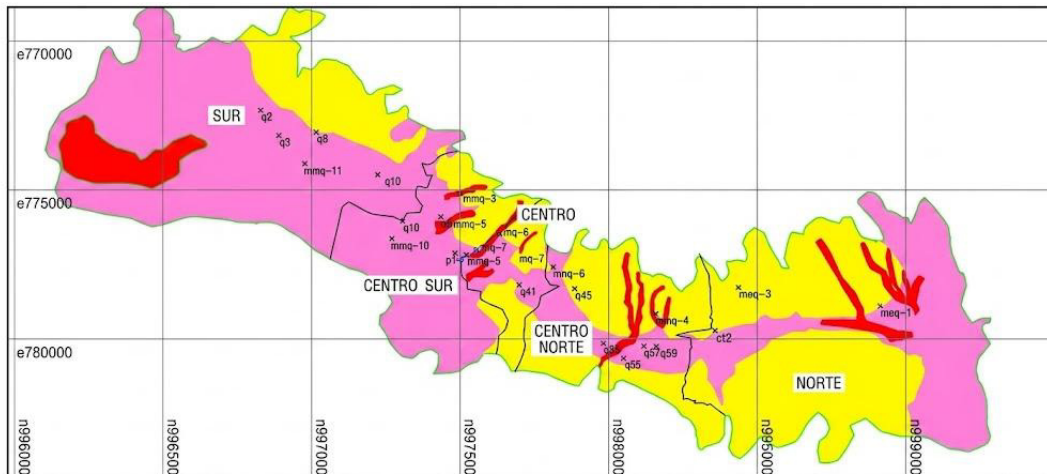


Figura 6. Zonas de Quito con velocidad de la onda de corte V_s30

Fuente (R. Aguiar, 2015).

Con ayuda de la figura 6. y la Tabla 6. se da un resumen de los puntos de interés de las secciones de suelo de prueba cercanas a zona de estudio obtenidas del documento "Microzonificación sísmica de Quito"

Tabla 6: Velocidad de la Onda de Corte en suelos de Quito:

VALORES DE $V_s 30$ PARA DIFERENTES PUNTOS						
NOMBRE	AUTOR	UBICACIÓN	ESTE	NORTE	V_s30	SUELO
PM1	PLANMAN	LICEO FERNANDEZ MADRID	777156,65	9974842,50	437,42	C
PM2	PLANMAN	ESCUELA SUCRE	777166,85	9975231,72	227,62	D

Fuente: (R. Aguiar, 2015).

Estos puntos fueron tomados como primordiales ya que son los que se encuentran más cercanos a la zona de estudio siendo, la Escuela Sucre la más cercana se encuentra aproximadamente a 200m de la zona de estudio o 2 cuadras de distancia y el Liceo Fernández Madrid a 300m de distancia.

Con relación a los datos obtenidos de las investigaciones presentes se llega al resultado que el perfil de suelo que se encuentra dentro de la zona de estudio es un perfil de suelo de tipo C de una onda de corte entre $360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$ gracias a las cualidades encontradas en la subzona f3 y la muestra de la Escuela Sucre la cual se encuentra más cerca de la zona de estudio.

3.3 Coeficientes de perfil de suelo F_a , F_d y F_s

Tomando en cuenta los datos recaudados previamente del tipo de factor Z así como el tipo de perfil de suelo se puede llegar a definir los siguientes valores de F_a , F_d , F_s según los valores recomendados dentro de la normativa NEC-SE-DS, se pueden observar en la Tabla 7.

Tabla 7: Coeficientes F_a , F_d , F_s .

Tipo de perfil de suelo	Factor Z	V
		0.40
C	F_a	1.2
	F_d	1.11
	F_s	1.11

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

3.4 Relación de amplificación espectral η

La zona de estudio se encuentra dentro de la provincia de Pichincha la cual se encuentra dentro de la región de la Sierra la normativa NEC-SE-DS, nos indica que la relación de amplificaciones es siguiente:

Tabla 8: Amplificación espectral η

Región	Sierra, Esmeraldas y Galápagos
η	2.48

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

3.5 Periodos de vibración T_c y T_0

T_c es el periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño y se define con la siguiente formula:

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a} \quad (15)$$

Con los datos propuestos dentro de la Tabla 7 y en conjunto con la formula N15 se puede definir lo siguiente:

$$T_c = 0.55(1.11) \frac{(1.11)}{(1.2)}$$

$$T_c = 0.103$$

T_0 es el periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño o y se define con la siguiente formula:

$$T_0 = 0.1 F_s \frac{F_d}{F_a} \quad (16)$$

Con los datos propuestos dentro de la Tabla 7 y en conjunto con la formula N16 se puede definir lo siguiente:

$$T_0 = 0.1(1.11) \frac{(1.11)}{(1.2)}$$

$$T_0 = 0.565$$

3.6 Categoría de edificio y coeficiente de importancia I

El propósito de este punto es el de incrementar la demanda sísmica de diseño de la estructura según sus características de uso e importancia de operatividad o sufrir menores daños posteriores a un sismo.

Tabla 9: Categoría y coeficiente de importancia I

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coeficiente I
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación o viviendas unifamiliares	1.0

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

3.7 Configuración estructura

La configuración presente dentro de la estructura propuesta en elevación, debido a las características de vivienda se presenta una disposición de muros portantes en las cuales las demisiones de los muros permanecen constantes a lo largo de su altura se puede definir como una configuración en elevación de $\phi_{Ei} = 1$

En planta la estructura presenta discontinuidades en el sistema de piso la NEC-SE-DS indica que si la estructura presenta estas cualidades se debe considerar como irregular en planta, lo que define como un valor de configuración en planta de $\phi_{Pi} = 0.9$

3.8 Factor de reducción sísmica R

El factor R funciona como un factor de reducción de las fuerzas sísmicas de diseño, el mismo depende del tipo de estructura del cual nuestra estructura se encuentra dentro del contenido de muros estructurales portantes como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10: Factor de reducción sísmica R

Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R	R
Muros estructurales portantes	
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.	3

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

3.9 Espectro de diseño

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a , expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño (MTOP_NEC-SE-DS, 2015).

Al ser nuestro suelo tipo C se puede definir un valor $r = 1$ ya que es el valor que se les da todos los suelos con excepción del suelo tipo D y E.

Donde se usa las siguientes fórmulas de S_a para el espectro elástico en los periodos que indica la Figura 7:

$$S_a = \eta z F a \quad (17)$$

$$S_a = \eta z F a \left(\frac{T_c}{T} \right)^r \quad (18)$$

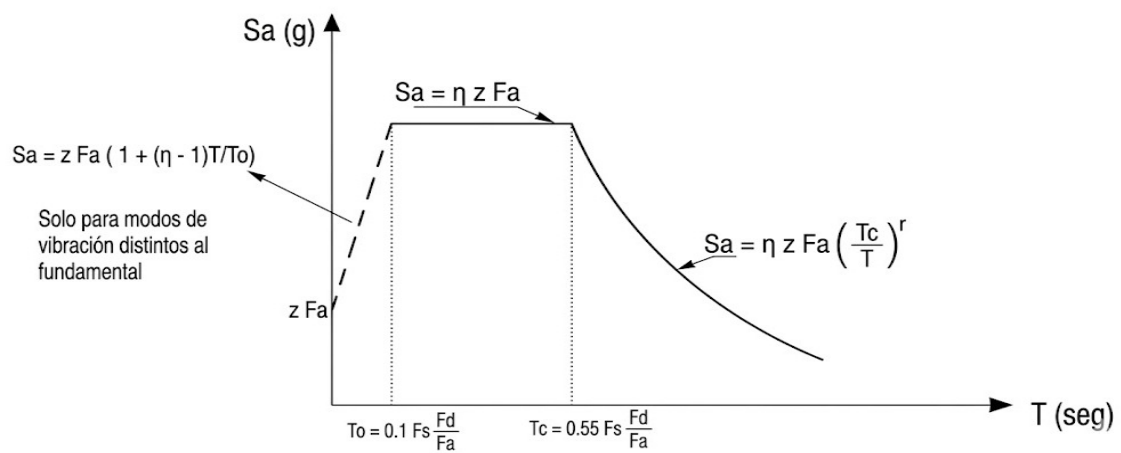


Figura 7. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones

Fuente (NEC-SE-DS,2015)

Dando como resultado el siguiente espectro de diseño que se puede observar en la figura 8, los datos para la obtención del espectro de diseño se observan dentro de los Anexos B.

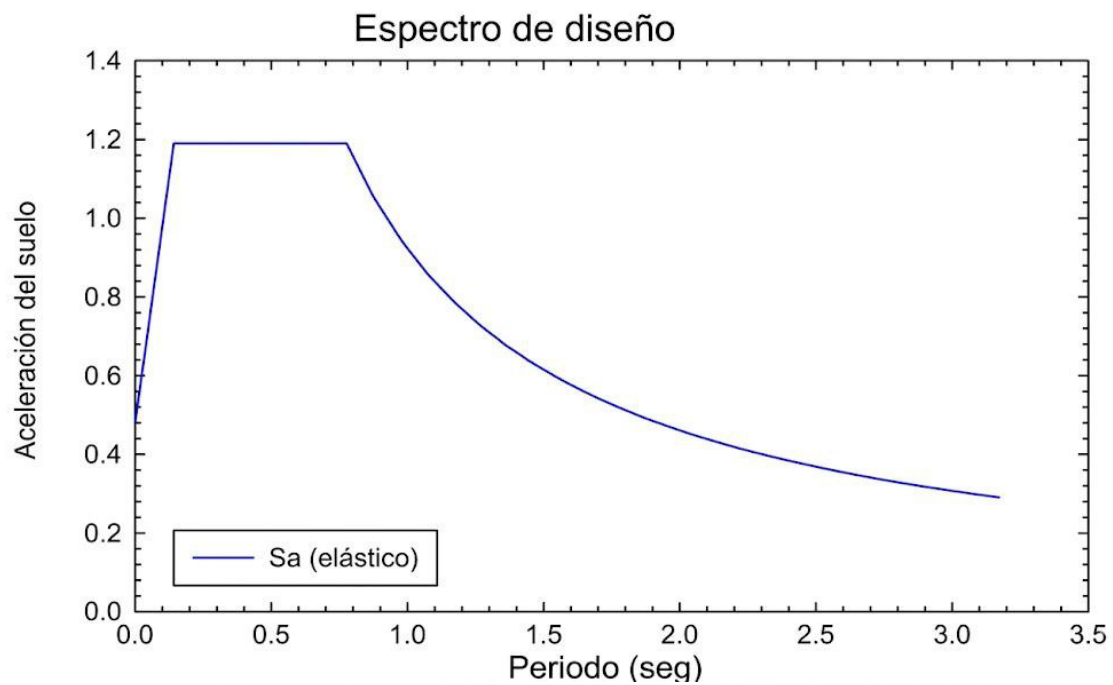


Figura 8. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones

Fuente: (Chávez & Ruiz,2026).

3.9 Espectro de respuesta elástica $Sa(Ta)$

El espectro de respuesta elástico nos permite entender el peligro sísmico y la aceleración espectral que depende del periodo vibración de la estructura, se toma del valor máximo obtenidos el valor mayor de la aceleración del suelo obtenido en el espectro sísmico de diseño elástico, obteniendo un valor de $Sa(Ta)$ de 1.556 en un periodo entre 0.103 y 0.565 segundos.

3.10 Periodo teórico espectral Ta

El periodo de vibración aproximativo de la estructura Ta , para cada dirección principal, será estimado continuación (NEC-SE-DS, 2015). En base a formula N3

$$Ta = C_t h_n^\alpha$$

El C_t o coeficiente que depende del tipo de edificio, el tipo de edificación presente en el proyecto no se encuentra en las tablas de la normativa NEC-SE-DS, la norma nos indica la siguiente Formula N4.

$$C_t = \frac{0.0062}{\sqrt{C_w}} ; C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^{n_w} \left[\left(\frac{h_n}{h_{wi}} \right)^2 \frac{A_{wi}}{1 + 0.83 \left(\frac{h_{wi}}{l_{wi}} \right)^2} \right]$$

En la Figura 9 se pueden observar los muros de la primera planta de la estructura de estudio de los cuales se obtuvieron los datos de la sumatoria de los muros en los dos ejes como x y para definir a través de la Formula N20 los valores de C_w .

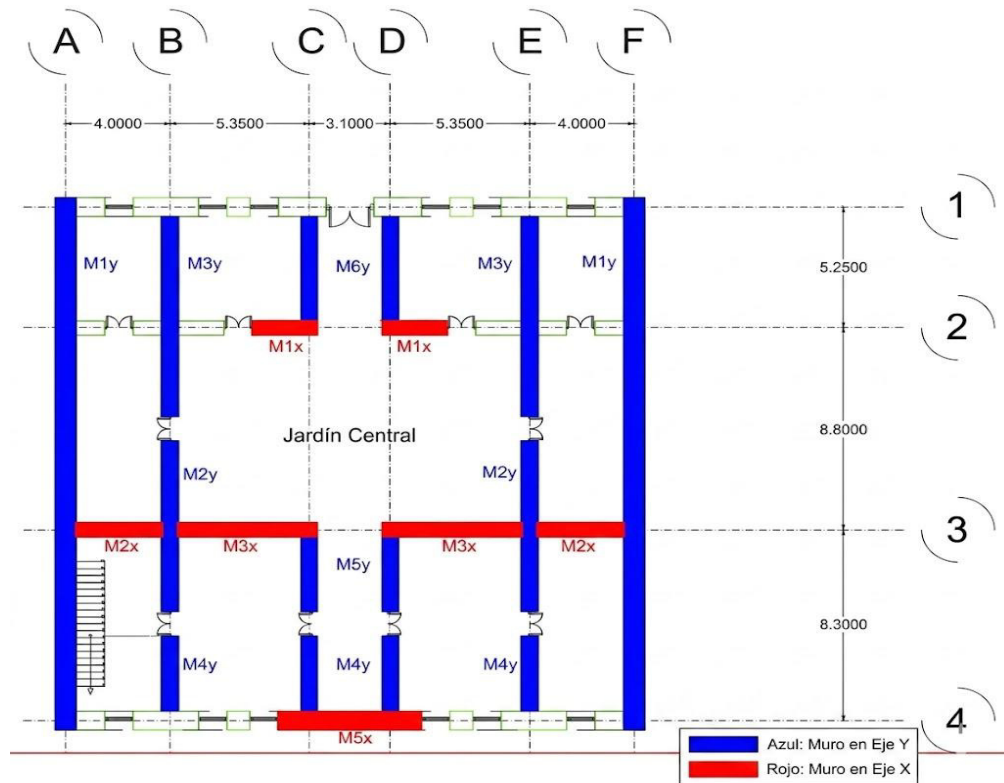


Figura 9. Muros en X y Y primera planta.

Fuente: (Chávez & Ruiz,2026)

Se definieron los muros de la figura N 9 con las siguientes cualidades que expuestas en la tabla 11.

Tabla 11: Caracterización de los muros ejes X y Y

Muros en x ; y	hn (m)	hwi (m)	Awi (m2)	lwi (m)	Ancho (m)
M1y	6	6	18.52	23.15	0.8
M2y	6	6	4.44	7.4	0.6
M3y	6	3	5.22	8.7	0.6
M4y	6	6	1.95	3.25	0.6
M5y	6	6	1.95	3.25	0.6
M6y	6	3	2.73	4.55	0.6
M1x	6	6	1.545	2.575	0.6
M2x	6	3	1.98	3.3	0.6
M3x	6	6	3.27	5.45	0.6
M4x	6	6	4.4	5.5	0.8

Fuente: (Chávez & Ruiz,2026)

Con los siguientes datos podemos a través de la Formula N4 dar como resultado un valor para C_w y de C_t .

Valor de C_w y C_t en el eje y:

$$C_w = 18.72$$

$$C_t = \frac{0.0062}{\sqrt{18.72}} = 0.00143$$

Valor de C_w y C_t en el eje x:

$$C_w = 2.95$$

$$C_t = \frac{0.0062}{\sqrt{2.95}} = 0.00143$$

Con los siguientes datos podemos a través de la Formula N19 podemos definir el valor del periodo en los ejes X y Y.

Valor del periodo en el eje y:

$$T = 0.009 \text{ s}$$

Valor del periodo en el eje x:

$$T = 0.022 \text{ s}$$

3.11 Espectro de diseño inelástico

Con los datos propuesto en los procedimientos anteriores se puede proceder con la definición del espectro de diseño inelástico de la estructura de estudio presente en la figura 10, los valores para el desarrollo de la gráfica de espectro de diseño inelástico dentro de los anexos B.

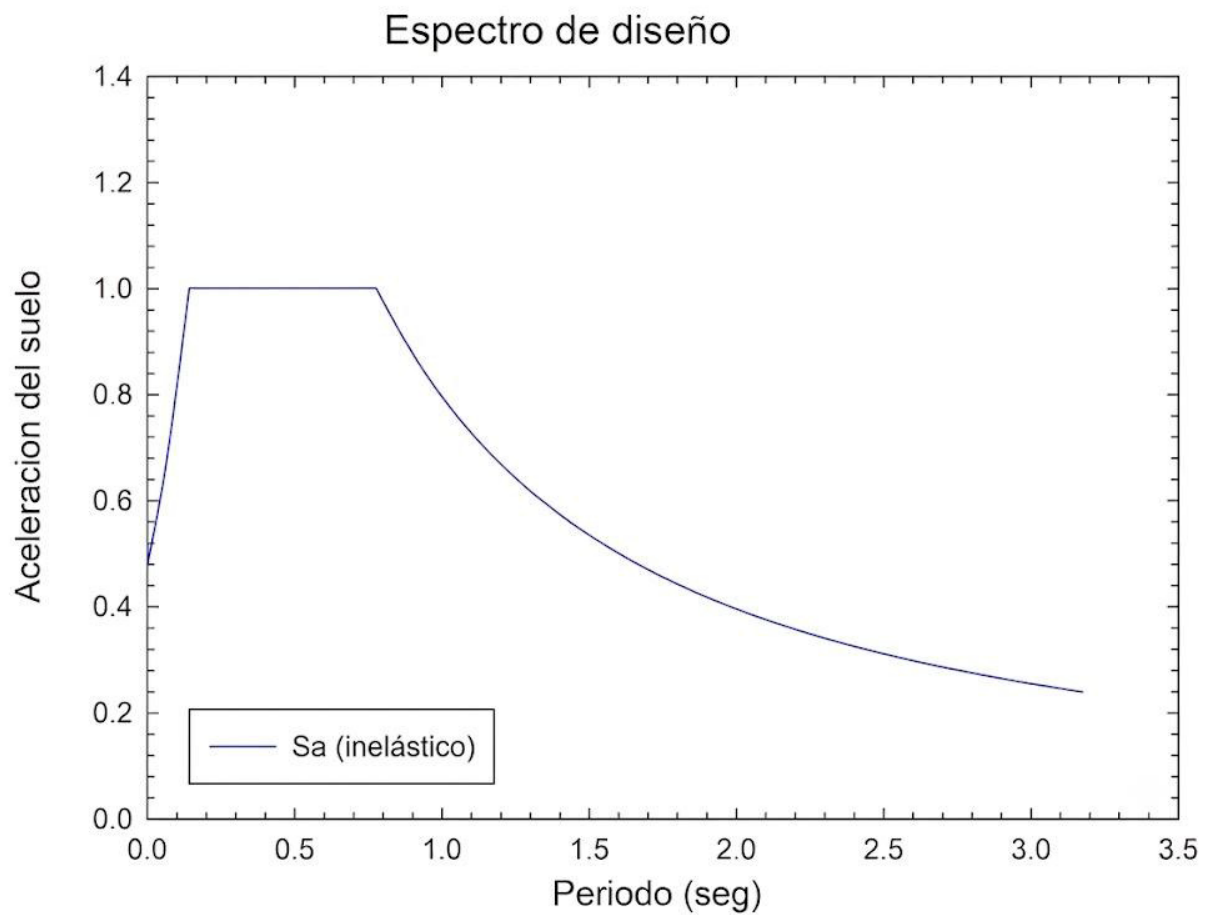


Figura 10. Espectro de diseño inelástico.

Fuente: (Chávez & Ruiz,2026)

3.12 Cortante basal de diseño V

El cortante basal total de diseño V, a nivel de cargas últimas, aplicado a una estructura en una dirección especificada, se determinará mediante la Formula N1, la cual fue extraída de la NEC-SE-DS.

$$V = \frac{ISa(Ta)}{R\phi_p\phi_E}W$$

Tabla 12: Carga sisimico reactiva

Piso	CM por piso	Áreas	Peso por piso
1	110	346.31	38094.1

2	110	365.79	40236.9
peso total en Kg			78331.00
peso total en T (W)			78.33

Fuente: (Chávez & Ruiz,2026)

Con los siguientes datos presentes y el valor de la carga sísmica reactiva W en la tabla 15, a través de la Fórmula N21 podemos definir una cortante basal de diseño.

$$V = 45.14 T$$

$$V = 45145 \text{ kg}$$

3.13 Desplazamiento y derivas elástica e inelásticas por piso

Con respecto a los desplazamientos obtenidos dentro del modelamiento se consiguió los siguientes datos de desplazamiento dentro de la estructura que nos permitió encontrar los siguientes valores.

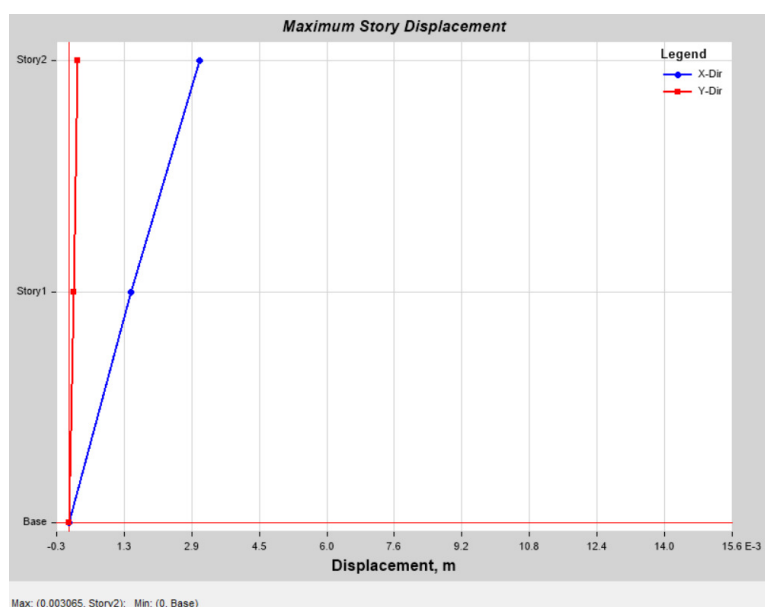


Figura 11. Valor del desplazamiento máximo en X, Y en software ETABS v21

Fuente: (Chávez & Ruiz,2026).

3.14 Control de la deriva de piso (derivas inelásticas máximas de piso)

Para la revisión de las derivas de piso se utilizará el valor de la respuesta máxima inelástica en desplazamientos de la estructura, causada por el sismo de diseño que se puede explicar con los datos expuestos dentro de la Figura 11 y la siguiente formula N6 extraída de la (NEC-SE-DS).

$$\Delta_M = 0.75 R \Delta_M$$

Dando como resultados los siguientes valores en la siguiente tabla 13.

Tabla 13: Desplazamiento de piso

Pisos	Desplazamiento (mm)	Derivas elásticas	Deriva máxima inelástica
2	3.01	0.0005333	0.1%
1	1.41	0.0004689	0.1%

Fuente: (Chávez & Ruiz, 2026)

Dado el caso que el valor de derivas máximas inelásticas no supera un valor del 1%, como resultado que los pisos de la estructura cumplen dentro de los valores de derivas máximas inelásticas.

3.15 Datos del Modelamiento

3.15.1 Caracterización del adobe

Con la búsqueda de garantizar la correcta representación y precisión del modelo computacional de la vivienda patrimonial, se decidió prescindir de datos teóricos generales dentro del estudio por lo que se optó por la caracterización de la propiedades mecánicas y físicas del material de estudio, con la toma de muestras de la estructura de adobe.

Debido a las características estructurales y de longevidad de la estructura, la única forma de obtención de muestras fue a través de ensayo destructivos lo cual dio como resultado, la

toma de mínima de especímenes de diferentes puntos de la estructura, para no afectar de forma cebera la integridad de la estructura.

De los cuales se logró la extracción de 8 especímenes de los cuales, por sus características geométricas, se separaron dentro de dos ensayos, flexión y compresión de en base a la Norma Técnica E.080 de Diseño y Construcción con Tierra Compactada., de los cuales se decidió la toma de dos muestras de flexión y seis de compresión en Adobe.

Dando a lugar la calibración universal del material a partir de resultados experimentales directos obtenidos en los ensayos de caracterización física, realizados por el Laboratorio de Suelos y Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE), bajo las órdenes de trabajo N.º 37628-1 y 37628-2.

3.15.2 Modulo de rotura o de flexión f_t

Las cualidades del adobe ante solicitaciones sísmicas perpendiculares a su plano o volcamiento requieren del límite de tracción por flexión del material. Con los ensayos de carga en el punto medio se evaluaron dos probetas representativas con resultado de módulo de rotura de:

Tabla 14: Módulos de rotura

Probeta N.	1	2
Módulo de Rotura (MPa)	0.3	0.2

Fuente: (Chávez & Ruiz, 2026)

Debidos a la cantidad de datos expuestos se tomó un valor promedio de las dos probetas expuestas, dando como resultado un valor de módulo de rotura a la flexión de:

$$f_t = 0.25 \text{ MPa} = 2.55 \text{ kgf/cm}^2$$

Donde este valor sirve para definir un umbral a través del cual el software pueda registrar el agrietamiento tensor horizontal de la estructura.

3.15.3 Resistencia característica a la compresión f'_m módulo de elasticidad E

La resistencia de soporte a la axial del conjunto de mampostería o adobe se obtiene a través de un ensayo de rotura a la compresión de igual forma esto permite registrar de forma directa la deformación unitaria elástica axial de 6 probetas, con los siguientes valores:

Tabla 15: Valores de las probetas a compresión

Probeta N.	1	2	3	4	5	6
Resistencia a la Compresión (MPa)	0.9	0.9	1.5	0.9	1.0	1.1
Módulo de Elasticidad (MPa)	222	242	437	250	241	345

Fuente: (Chávez & Ruiz, 2026)

Debido a que los valores de resistencia asilan entre los valores de 0.9 a 1.5 teniendo una diferencia de rangos de 0.6 entre el máximo y el mínimo, en busca de homogenizar el comportamiento global de los muros portantes de la estructura, se optó por un valor de resistencia promedio de las muestras como valor universal en la estructura.

Dando como resultado valores de resistencia a la compresión de:

$$f'_m = 1.05 \text{ MPa} = 10.71 \text{ kgf/cm}^2$$

Y del módulo de elasticidad de:

$$f_t = 289.50 \text{ MPa} = 2953.00 \text{ kgf/cm}^2$$

3.14.3 Modulo de Poisson ν

Se adopto un coeficiente Poisson generalizado de $\nu = 0.25$ gracias a que el mismo cumpliría con las características de comportamiento de un suelo arcilloso- arenoso compactado en estado seco que es lo suficiente mente rígido para mantener la fricción

interna entre las juntas de mortero de barro, a través de los criterios de homogenización para estructuras de mampostería no reforzada (URM) propuestos por Tarque (2014).

3.14.3 Modulo de rigidez al cortante G y peso específico γ

El módulo de rigidez al cortante permite entender cómo se comportará el material a oponerse a deformaciones angulares por esfuerzo cortante horizontal o sismo, la cual se definirá a través de la Formula N13 y los datos obtenidos previamente.

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

$$G = \frac{289.50 \text{ MPa}}{2(1 + 0.25)}$$

$$G = 115.80 \text{ MPa} = 1181.16 \text{ kgf/cm}^2$$

El peso específico se definirá con el uso del peso unitario real obtenido del promedio geométrico de las muestras de ensayadas dando un valor de 1.39 g/cm^3 equivalente

1390.00 kgf/cm^3 o 13.63 kN/m^3 , el obtener este dato nos permite evitar errores de fuerzas inerciales dentro del modelo producto de la toma de valores asociados al uso de pesos genéricos de mampostería industrializada.

3.15.6 Propiedades Mecánicas Calibradas para el Modelo Estructural de Adobe

Con los valores definidos previamente podemos dar características de la estructura de estudio para en el software ETABS v21, las cuales se sintetizan en la Tabla 16

Tabla 16: Caracterización del adobe para modelamiento en el software ETABSv21

Propiedades del ABODE ETABS	Valor	Unidad
Peso específico	1390.00	kgf/m3
Módulo de elasticidad, E	2953	kgf/cm2
Módulo de Poisson, U	0.25	Adimensional
Módulo de cortante, G	1181,2	kgf/cm2

Fuente: (Chávez & Ruiz,2026)

Una vez definidas las propiedades mecánicas y elásticas de los muros portantes de adobe, se procedió a la modelación del sistema de entrepiso de la edificación patrimonial. Este sistema consta de una losa de tableros de madera, la cual fue simplificada en el software ETABS mediante un elemento tipo 'Shell', garantizando la correcta transmisión de cargas gravitacionales hacia las vigas de madera y, posteriormente, a los muros de soporte.

Tabla 17: Caracterización de material de tableros de madera para la losa

Parámetro Técnico	Valor Asignado	Unidad
Simetría Direccional	Isotropic	—
Peso Específico	850	kgf/m3
Masa Volumétrica	86.676	kgf*s2/m4
Módulo de Elasticidad	100,000	kgf/cm2
Módulo de Poisson	0	—

Coeficiente de Expansión Térmica	0.00005	1/C°
Módulo de Cortante	50,000	kgf/cm ²

Fuente: (Chávez & Ruiz,2026)

Para la representación del sistema de entepiso flexible característico de la vivienda patrimonial en estudio, se definió en el software ETABS. Se adoptó un comportamiento isotrópico simplificado con valores que guardan estrecha relación con las maderas estructurales semipesadas empleadas históricamente en el Centro Histórico de Quito y reguladas por el capítulo de Estructuras de Madera de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-MD).

Análisis de Resultados

Obtención del Periodo de Vibración mediante Análisis Modal

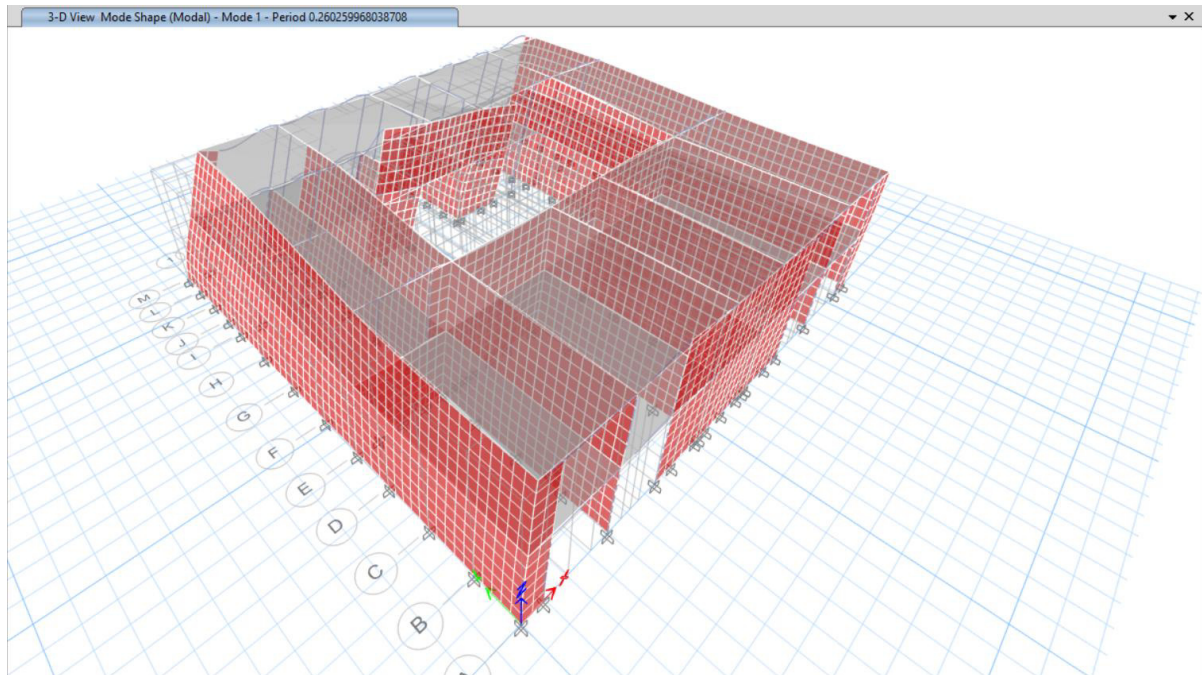


Figura 12. Valor del Periodo de Vibración obtenido bajo modelación en software ETABS v21

Fuente: (Chávez & Ruiz,2026).

Una vez estructurado el modelo matemático global, incorporando las propiedades mecánicas del adobe, el sistema de entrepiso de madera y la correcta asignación de las masas gravitacionales y sísmicas, se procedió a ejecutar el análisis modal para determinar la respuesta dinámica de la edificación patrimonial. En la Figura 12 se presenta la ventana de resultados de ETABS donde se detallan los períodos cronológicos, las frecuencias de oscilación y los factores de participación de masa para los primeros modos de vibración calculados.

4.1 Obtención de Cortante Basal

Load Pattern Definitions - Auto Seismic - User Coefficient

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None

Filter: None

Load Pattern Definitions - Auto Seismic - User Coefficient

	Name	Is Auto Load	X Dir?	X Dir Plus Ecc?	X Dir Minus Ecc?	Y Dir?	Y Dir Plus Ecc?	Y Dir Minus Ecc?	Ecc Ratio	Top Story	Bottom Story	C	K	Weight Used kgf	Base Shear kgf
►	SISMO ESTATI...	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	0.05	Story2	Base	0.1	1		
	SISMO ESTATI...	Yes	Yes	No	No	No	No	No	0.05	Story2	Base	0.1	1	934435.23	93443.52
	SISMO ESTATI...	Yes	No	No	No	Yes	No	No	0.05	Story2	Base	0.1	1	934435.23	93443.52
	SISMO ESTATI...	Yes	No	Yes	No	No	No	No	0.05	Story2	Base	0.1	1	934435.23	93443.52
	SISMO ESTATI...	Yes	No	No	No	No	Yes	No	0.05	Story2	Base	0.1	1	934435.23	93443.52
	SISMO ESTATI...	Yes	No	No	Yes	No	No	No	0.05	Story2	Base	0.1	1	934435.23	93443.52
	SISMO ESTATI...	Yes	No	No	No	No	No	Yes	0.05	Story2	Base	0.1	1	934435.23	93443.52
	SISMO ESTATI...	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	0.05	Story2	Base	0.1	1		
	SISMO ESTATI...	Yes	Yes	No	No	No	No	No	0.05	Story2	Base	0.1	1	934435.23	93443.52
	SISMO ESTATI...	Yes	No	No	No	Yes	No	No	0.05	Story2	Base	0.1	1	934435.23	93443.52
	SISMO ESTATI...	Yes	No	Yes	No	No	No	No	0.05	Story2	Base	0.1	1	934435.23	93443.52
	SISMO ESTATI...	Yes	No	No	No	No	Yes	No	0.05	Story2	Base	0.1	1	934435.23	93443.52
	SISMO ESTATI...	Yes	No	No	Yes	No	No	No	0.05	Story2	Base	0.1	1	934435.23	93443.52
	SISMO ESTATI...	Yes	No	No	No	No	No	Yes	0.05	Story2	Base	0.1	1	934435.23	93443.52

Figura 13 Tabla de cortante basal por patrones de carga

Fuente: (Chávez & Ruiz,2026)

Se procedió a la verificación del cortante basal estático bajo los lineamientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS). La relación obtenida entre el cortante basal estático y el peso propio de la edificación (V/W) corresponde exactamente al 10% lo cual representa un indicador altamente favorable para la evaluación de este tipo de estructura de muros de adobe ya que refleja que estos van a sufrir menos esfuerzos de tracción y corte en las combinaciones sísmicas. Asimismo, se puede ver que la magnitud del peso sísmico efectivo, equivalente a las 93,44 toneladas métricas, ratifica y concuerda con la modelación de muros portantes de adobe.

Con estos resultados se puede realizar una comparación entre los valores de la cortante basal estática obtenida dentro de los procedimientos anteriores los cuales nos dio un valor de 45145 kg y los valores de cortante basal estático obtenido dentro del software de ETABS 21 del cual fue 93443.52 kg.

$$93443.52 \text{ kg} > 45145 \text{ kg}$$

Se puede definir que el cortante Basal estático obtenido dentro del software es superior al cortante basal realizado con respecto a los datos indicados dentro de los valores, por lo que cumple dentro de la normativa.

Conociendo estos valores se puede realizar el análisis del cortante basal dinámico como indica la normativa NEC la cual nos indica que el valor del cortante basal dinámico tiene que ser superior al o igual al 85% del cortante basal estático lo cual podemos revisar a través de la Figura 14

Story Forces											
File Edit Format-Filter-Sort Select Options											
Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None											
Filter: None											
	Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P kgf	VX kgf	VY kgf	T kgf-m	MX kgf-m	MY kgf-m
►	Story2	AceL_x	LinRespSpec	Max	Top	15.92	149056.59	209.68	2093280.95	170.62	10641.45
	Story2	AceL_x	LinRespSpec	Max	Bottom	95.73	149056.59	209.68	2093280.95	1036.43	495977.73
	Story2	AceL_y	LinRespSpec	Max	Top	744.28	632.04	353847.97	3839660.68	124053.89	8201.88
	Story2	AceL_y	LinRespSpec	Max	Bottom	8565.66	632.04	353847.97	3839660.68	1355629.83	95244.39
	Story1	AceL_x	LinRespSpec	Max	Top	70.81	279323.63	453.29	3912878.6	1028.06	506568.25
	Story1	AceL_x	LinRespSpec	Max	Bottom	89.31	279323.63	453.29	3912878.6	2340.92	1351665.2
	Story1	AceL_y	LinRespSpec	Max	Top	8544.72	1148.2	721513.22	7831064.17	1535684.73	95046.84
	Story1	AceL_y	LinRespSpec	Max	Bottom	11878.26	1148.2	721513.22	7831064.17	3816057.94	130512.63

Figura 14 Cortante Basal Dinámico en X y Y .

Fuente: (Chávez & Ruiz,2026).

Los valores obtenidos del cortante basal dinámico dentro del eje Y marca un valor de 721513.22 kg y en el eje X marca un valor de 279323.63 kg los valores resultantes dentro del modelamiento del cortante basal dinámico son superiores al valor del 85% del cortante estático, por lo que los valores del cortante basal dinámico cumplen los requisitos establecidos por la norma NEC.

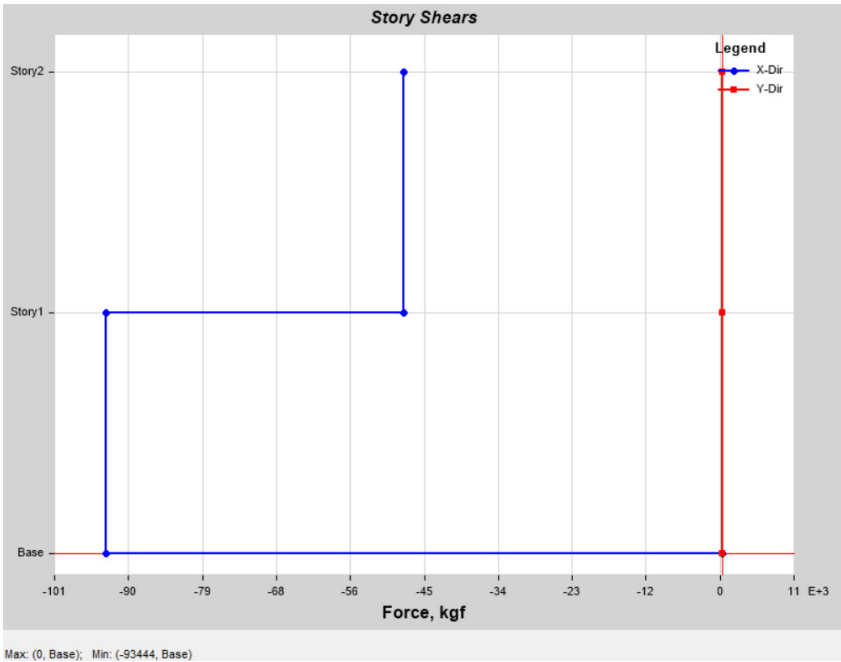


Figura 15 Cortante Basal Obtenido del Análisis Dinámico

Fuente: (Chávez & Ruiz,2026).

Como resultante se observa con claridad cómo la fuerza cortante se duplica al pasar del nivel de cubierta (Story2) al primer piso de entrepiso (Story1), esto debido a la acumulación de la masa inercial del sistema de mampostería masiva de adobe. Esta acumulación de fuerzas de gravedad y aceleración sísmica converge de manera matemática y gráfica en la sección inferior, alcanzando su valor máximo absoluto el cual refleja 93,444 Kgf en el eje de las abscisas lo cual ratifica la concordancia exacta con el cortante basal estático global determinado previamente mediante los parámetros normativos de la NEC-SE-DS.

4.2 Obtención Participación modal

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.26	0.6192	0	0	0.6192	0	0	0	0.0282	0.073	0	0.0282	0.073
Modal	2	0.228	0	0.0002	0	0.6192	0.0002	0	6.534E-06	0	1.045E-06	6.544E-06	0.0282	0.073
Modal	3	0.177	0.12	0	0	0.7392	0.0002	0	0	0.0072	0.4066	6.545E-06	0.0354	0.4796
Modal	4	0.144	2.009E-05	0.5556	1.732E-05	0.7392	0.5557	1.748E-05	0.0395	2.053E-06	0.0003	0.0395	0.0354	0.4799
Modal	5	0.144	0.0054	0.0034	0	0.7447	0.5591	1.759E-05	0.0002	0.0003	0.0321	0.0398	0.0357	0.512
Modal	6	0.128	3.502E-06	0.2066	0.0002	0.7447	0.7658	0.0003	0.0109	0	1.016E-05	0.0507	0.0357	0.512
Modal	7	0.118	0.0001	2.409E-05	0	0.7448	0.7658	0.0003	1.931E-06	0.0005	0.2804	0.0507	0.0362	0.7924
Modal	8	0.115	1.207E-06	0.0013	5.872E-06	0.7448	0.7671	0.0003	3.415E-06	0	0	0.0507	0.0362	0.7924
Modal	9	0.101	0.0578	2.273E-06	0	0.8026	0.7671	0.0003	0	0.0084	0.0043	0.0507	0.0448	0.7968
Modal	10	0.099	0.0325	3.511E-06	0	0.8351	0.7671	0.0003	5.116E-07	0.0047	0.0168	0.0507	0.0493	0.8136
Modal	11	0.097	0	0.0173	0.0005	0.8351	0.7844	0.0008	0.0002	0	1.27E-06	0.0509	0.0493	0.8136
Modal	12	0.096	1.23E-05	0.032	0.0012	0.8351	0.8163	0.002	0.0015	6.03E-06	1.035E-05	0.0524	0.0493	0.8136

Figura 16. Tabla de valores de la participación modal obtenida en software ETABS v21

Fuente: (Chávez & Ruiz,2026).

El comportamiento dinámico de la vivienda patrimonial fue evaluado mediante un análisis modal espectral con vectores Ritz, garantizando la conectividad geométrica global.

Según los resultados de la Figura 15, el modo fundamental de vibración (Modo 1) es puramente traslacional en el sentido longitudinal (UX), registrando un periodo corto de 0.26 s y concentrando el 61.92% de la masa participante. Por su parte, el segundo modo (Modo 2) es traslacional transversal (UY) con un periodo de 0.228 s donde empieza a manifestarse la respuesta rotacional (RZ = 7.30%). A su vez que la traslación en el sentido transversal (UY) se desplaza hacia el Modo 4 (T = 0.144 s) logrando movilizar el 55.56% de la masa en este eje.

La proximidad numérica entre ambos periodos fundamentales ratifica la regularidad simétrica en planta de la edificación y es físicamente coherente con la elevada rigidez lateral e inercia que aportan los muros portantes de adobe.

La respuesta torsional se manifiesta de forma tardía hasta el tercer modo de vibración ($T_3 = 0.177$ s), activando un 40.66% de la masa rotacional (RZ). Este comportamiento demuestra que el centro de masa y el centro de rigidez se encuentran alineados con respecto al patio central, minimizando los efectos destructivos por excentricidad en las esquinas interiores.

4.3 Obtención de Derivas de Piso

Con respecto a las derivas obtenidas dentro del modelamiento se consiguió los siguientes datos de desplazamiento dentro de la estructura que nos permitió encontrar los valores tanto en el eje de las X como Y.

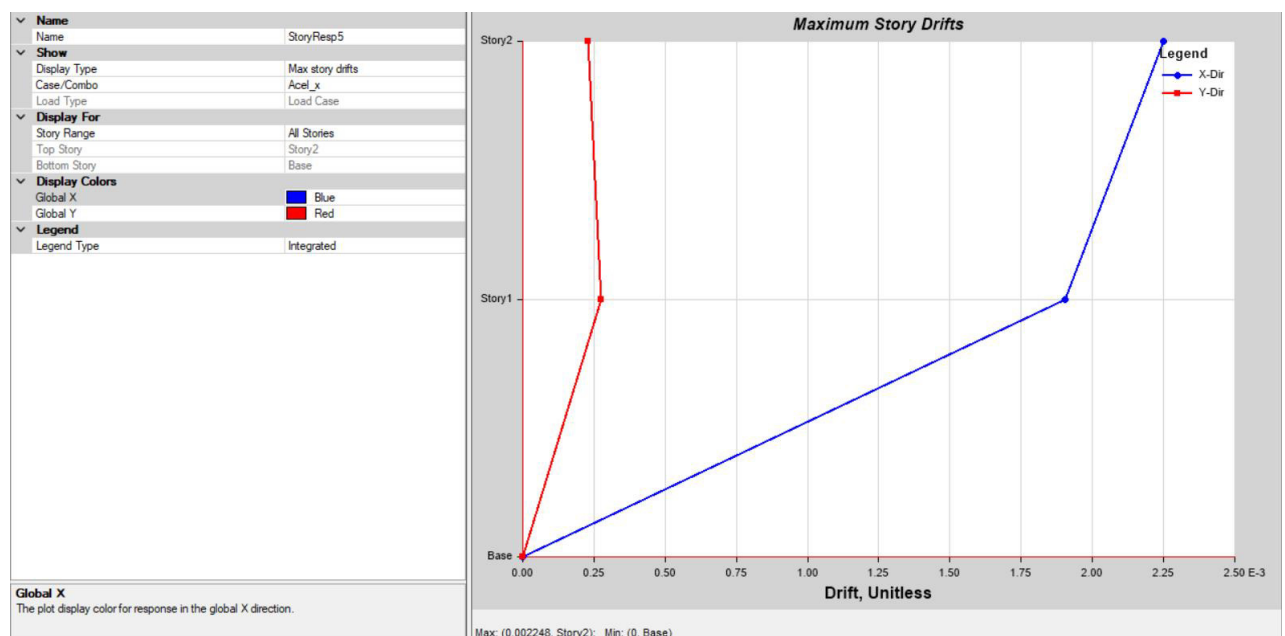


Figura 17. Valor de las derivas de piso en el eje X dinámico obtenido bajo modelación en software ETABS v21

Fuente: (Chávez & Ruiz, 2026).

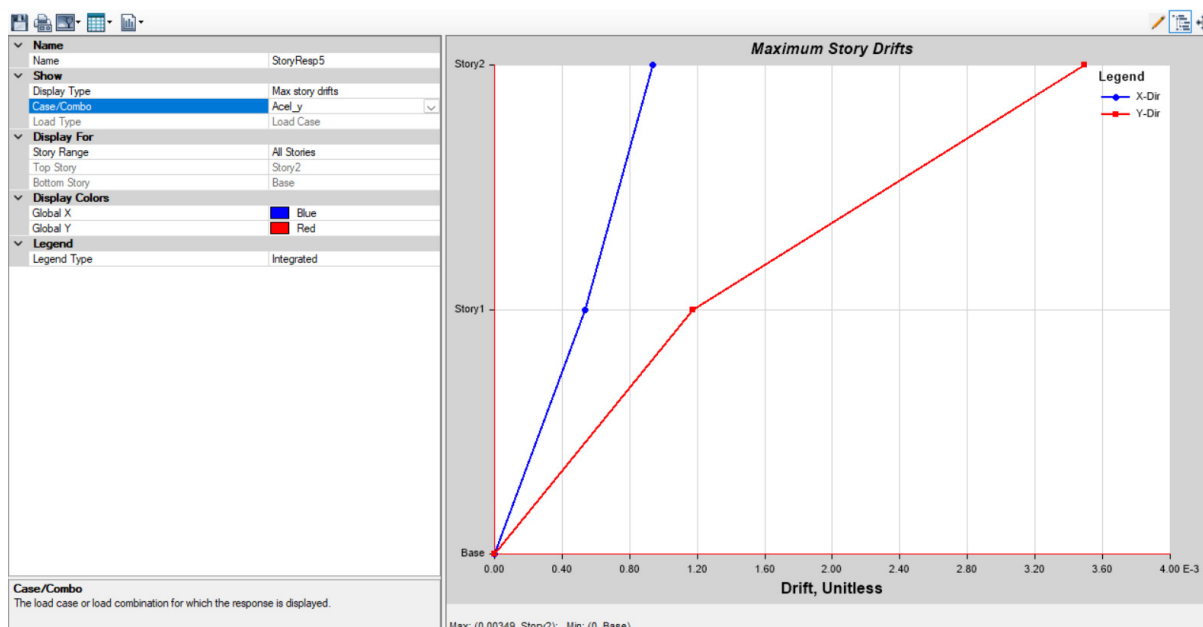


Figura 18. Valor de las derivas de piso en el eje Y dinámico obtenido bajo modelación en software ETABS v21

Fuente: (Chávez & Ruiz,2026).

Para la revisión de las derivas de piso se utilizará el valor de la respuesta máxima inelástica en desplazamientos de la estructura, causada por el sismo de diseño que se puede explicar con la siguiente formula N6 dando como resultado los siguientes valores expuestos en la Tabla 18.

Tabla 18: Deriva máxima inelástica en X

Derivas de piso máxima en X	
Deriva elástica	0.002248
deriva máxima inelástica	0.5%

Fuente: (Chávez & Ruiz,2026).

Tabla 19: Deriva máxima inelástica en Y

Derivas de piso máxima en Y	
Deriva elástica	0.00349
deriva máxima inelástica	0.8%

Fuente: (Chávez & Ruiz,2026).

El análisis numérico de los gráficos del modelamiento en ETABS v21 arrojó una deriva elástica máxima dentro de los ejes X y Y en las condiciones más críticas (cubierta del eje longitudinal). Al aplicar el factor de reducción de respuesta estructural correspondiente para sistemas de mampostería histórica, se determinó que la deriva máxima inelástica definitiva se encuentra dentro del segundo piso de la estructura, en los ejes de la edificación alcanza el 0.5% (0.005058) dentro de los valores máximos obtenidos en el eje X y un valor de 0.8% (0.0078525) dentro de los valores máximos obtenidos del eje y.

Dado el caso que el valor de derivas máximas inelásticas no supera un valor del 1% o 0.01 tanto en el eje X como eje Y ya que las estructuras de mampostería no pueden superar el 1% dentro de las derivas máximas inelásticas como lo estipula la Norma Ecuatoriana de la Construcción, como resultado las derivas máximas inelásticas cumplen dentro de los valores requeridos lo que demostraría un correcto comportamiento por cargas sísmicas

4.4 Resumen de resultados del estudio

Con los datos obtenidos previamente dentro del modelamiento y el cálculo de datos en base a la normativa NEC de Peligro Sísmico Diseño Sismorresistente, se evaluó los valores del comportamiento dinámico de la estructura con respecto a los valores de: periodo de la estructura, cortante basal, participación modal y derivas de piso.

La estructura presento un periodo teórico elemental de 0.26 segundos el cual es considerado un periodo mínimo lo que nos permite entender que la estructura tiene una adecuada rigidez, confirmado el correcto comportamiento de los muros.

Con ayuda de los posteriores resultados se logró la obtención de los siguientes datos propuesta en la Tabla 19.

Tabla 19: Tabla de resultados

Parámetros	Valor Obtenido	Cumplimiento
Cortante Basal Estático	93443.52 kg	Si cumple
Cortante Basal Dinámico eje "x"	279323.63 kg	Si cumple
Cortante Basal Dinámico eje "y"	721513.22 kg	Si cumple
Participación Modal máximo eje "x" (Modo 1)	UX = 61.92%	No cumple
Participación Modal máximo eje "y" (Modo 4)	UY = 55.56%	No cumple
Participación Modal máximo eje "z" (Modo 3)	RZ = 40.66%	No cumple
Deriva de piso eje "x"	0.002248	Si cumple
Deriva de piso eje "y"	0.00349	Si cumple

Fuente: (Chávez & Ruiz,2026).

4.5 Diagnóstico del comportamiento estructural

Los resultados de la estructura de estudio de muestran su comportamiento ante la influencia de fuerzas sísmicas, los cuales concuerdan con las características de los elementos que la conforman, la presencia de una mayor cantidad de muros dentro del eje Y, una escasa presencia de estos en el eje X en conjunto de columnas, lo que produjo que la estructura tenga una mayor rigidez lateral y un mayor control de desplazamientos dentro del eje Y donde se encuentran gran parte de cantidad de muros entre estos los exteriores que siendo estos los muros principales de la estructura los cuales constan con unas dimensiones de 0.80m de ancho y 22.35m de largo lo que aporta valores que muestran un comportamiento muy rígido dentro de la estructura.

Esto valores indicaron un comportamiento estructural adecuado dentro de los valores indicados dentro de la norma NEC, lo que nos muestra que la estructura dentro de los estudios realizados no se encuentra dentro de un riesgo o vulnerabilidad de estabilidad de esta.

Con base en los resultados del análisis cinemático y dinámico lineal ejecutado en ETABS v21, se determinó que la edificación posee un comportamiento estructural global adecuado, registrando derivas inelásticas máximas (0.5% en X y 0.8% en Y) que no superan el límite del 1% (0.01) estipulado por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-MD) para estructuras de mampostería.

Por consiguiente, la estructura no requiere un reforzamiento estructural mayor de carácter invasivo (como el encamisado generalizado de muros o la introducción de pórticos rígidos de hormigón armado), los cuales alterarían la autenticidad, la masa y la rigidez original del inmueble patrimonial.

CONCLUSIONES

- Se concluye que fue posible la caracterización técnica completa de la edificación, identificando un sistema de muros portantes de adobe como el elemento estructural dominante. Los ensayos experimentales permitieron definir parámetros mecánicos críticos para la modelación, tales como una resistencia a la compresión de 1.05MPa, una resistencia a la tracción por flexión de 0.25 MPa y un módulo de elasticidad de 2953 kgf/cm². La interacción de esta estructura con un perfil de suelo Tipo C y su ubicación en una zona de alta amenaza sísmica $Z = 0.40$, permitió establecer una base matemática sólida para el análisis estructural desarrollado
- El macro-modelado lineal elástico desarrollado en el software ETABS v21, alimentado con los datos reales obtenidos de los ensayos experimentales destructivos del adobe ($f'_m = 1.05$ MPa, $E = 289.50$ MPa, $f_t = 0.25$ MPa y $\gamma = 1390$ kg/m³), demostró un comportamiento global sumamente rígido. La estructura registró un período teórico elemental corto de 0.26 segundos, lo que confirma el confinamiento que aportan las grandes dimensiones de sus muros principales. Numéricamente, el software registró derivas elásticas máximas de 0.002248 en el eje X y 0.00349 en el eje Y. Al aplicar el factor de reducción, las derivas inelásticas máximas definitivas alcanzaron el 0.5% en el eje X y el 0.8% en el eje Y, cumpliendo holgadamente con el límite máximo del 1.0% (0.01) exigido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE).
- Se concluye que, basado en el desempeño sísmico favorable, se concluye que no es necesaria la ejecución de reforzamientos invasivos que alteren la autenticidad patrimonial del inmueble. No obstante, debido a que el sistema de entrepiso de madera presenta un comportamiento de diafragma flexible, se recomienda puntualmente su rigidización horizontal para mejorar la distribución de fuerzas entre los muros. Asimismo, se propone un programa de mantenimiento preventivo enfocado en el monitoreo de fisuras y control de humedad, asegurando la

conservación del desempeño estructural y la integridad histórica de la edificación a largo plazo.

Recomendaciones

- **Preservación de la Autenticidad Estructural (Intervención No Invasiva):** Dado que las derivas inelásticas obtenidas en el modelo real (0.5% en X y 0.8% en Y) se encuentran por debajo del límite normativo del 1%, se recomienda prescindir de reforzamientos estructurales mayores de carácter invasivo, tales como el encamisado generalizado de muros o la inserción de pórticos rígidos de hormigón armado. Estas intervenciones alterarían negativamente la masa, la arquitectura original y la firma dinámica patrimonial del inmueble.
- **Rigidización del Entrepiso para Activar el Efecto Cajón:** Para mitigar la flexibilidad del entrepiso de tablones de madera tradicional y mejorar el acoplamiento ante las enormes fuerzas cortantes registradas (especialmente los 721513.22 kg en el sentido Y), se recomienda implementar una rigidización horizontal del entrepiso. Esto se puede lograr mediante la colocación de un doble entablado de madera cruzado o la fijación de placas de arriostramiento estructural compatible, conectadas perimetralmente a las cabezas de los muros de adobe para obligar a la edificación a trabajar de forma monolítica.
- **Inyecciones de Consolidación y Reparación Localizada:** Para asegurar la homogeneidad de la mampostería frente a los esfuerzos generados por los cortantes basales dinámicos, se recomienda la reparación de fisuras existentes e imperfecciones en las juntas mediante inyecciones de morteros fluidos compatibles a base de cal y tierra estabilizada. Asimismo, se debe priorizar el mantenimiento periódico de los enlucidos exteriores para evitar que la humedad degrade las propiedades mecánicas obtenidas en laboratorio ($f'_m = 1.05\text{ MPa}$), resguardando la estabilidad estructural a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). Norma E.080: Diseño y construcción con tierra reforzada (Resolución Ministerial N.º 121-2017-VIVIENDA).
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS: Cargas sísmicas. Diseño sismo resistente*. MIDUVI. [NEC-SE-DS PDF](#).
- Jaguaco Canchig, S. del R. (2007). Uso del adobe como material de construcción (Proyecto de titulación, Escuela Politécnica Nacional).
- Chacón Sánchez, J. P., Suquillo Ronquillo, B. J., Sosa Caiza, D. A., & Celi Sánchez, C. A. (2021). Evaluación y Reforzamiento de una Estructura Patrimonial de Adobe con Irregularidad en Planta. *Revista Politécnica*, 47(1), 43-56. <https://doi.org/10.33333/rp.vol47n1.05>
- Evaluación del Comportamiento Estructural de Módulos de Adobe durante Ensayos de Simulación Sísmica. (s. f.). Recuperado 30 de marzo de 2026, de <https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/092db3a5-4927-45a5-82ab-23b6289972e3/content>
- T-UCE-Aprovechamiento-de-propiedades-termicas-de-materiales-ancestrales-usados-en-la-construccion-de-edificios-en-Ecuador-adobe-y-cana-guadua.pdf. (s. f.). Recuperado 31 de marzo de 2026, de <https://bambu.com.ec/wp-content/uploads/2021/01/T-UCE-Aprovechamiento-de-propiedades-termicas-de-materiales-ancestrales-usados-en-la-construccion-de-edificios-en-Ecuador-adobe-y-cana-guadua.pdf>
- Calderón, A., & Cristian, C. (2020). [Documento en línea]. Recuperado de <https://www.dspace.uce.edu.ec>
- Hurtado, P. (2020). [Tesis en línea]. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe>
- K31 Road Engineering. (2023). Types of soil stabilization. Recuperado de <https://k31.org>
- Sarango, G. (2019). Estabilización de capas granulares. Quito.
- TARQUE, S. N.; Camata, G.; Spacone, E.; Varum, H.; BLONDET, J. M.(2014). Numerical simulation of an adobe wall under in-plane loading. *Earthquakes and Structures*. Volumen: 6. (pp. 627 - 646). Recuperado de:

http://koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=TPTPJW_2014_v6n6_627

- Sandoval Triana, J. D. (2018). *Estudio experimental y modelación del comportamiento de estructuras en adobe* (Tesis de maestría, Universidad de los Andes).
- Beer, F. P. (2021). *Mecánica de materiales*. McGraw-Hill Interamericana. <https://0310r4gox-y-https-www-ebooks7--24-com.proxy.uide.edu.ec/?il=16359>
- Ojeda, S. (2008). *Evaluación del comportamiento estructural de módulos de adobe durante ensayos de simulación sísmica* (Tesis de ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú).
- Noel Tapia, M. F. (2017). *Integración de ingeniería inversa y modelamiento numérico para la evaluación sísmica de construcciones históricas de adobe* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP.
- Morales Yajamin, E. R. (2025). *Estudio del desempeño sísmico en estructuras de paredes portantes: Muros de adobe* (Trabajo de integración curricular, Escuela Politécnica Nacional). Repositorio Digital EPN.
- Manitio Cahuatijo, G. J., & Váscquez Villa, S. B. (2013). *Estudio de vulnerabilidad y reforzamiento estructural de un inmueble patrimonial del Distrito Metropolitano de Quito* (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2013).
- Gualpa Altamirano, J. A. (2022). *Evaluación y rehabilitación de una edificación de mampostería portante ubicada en el Centro Histórico de Quito, en el año 2021* (Bachelor's thesis).
- National Earthquake Hazards Reduction Program [NEHRP]. (2015). NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures (FEMA P-1050). Federal Emergency Management Agency. <https://www.fema.gov/>
- Flor, T. *Mecánica de Materiales*, 8va edición - James M. Gere, Barry J. Goodno.

ANEXOS

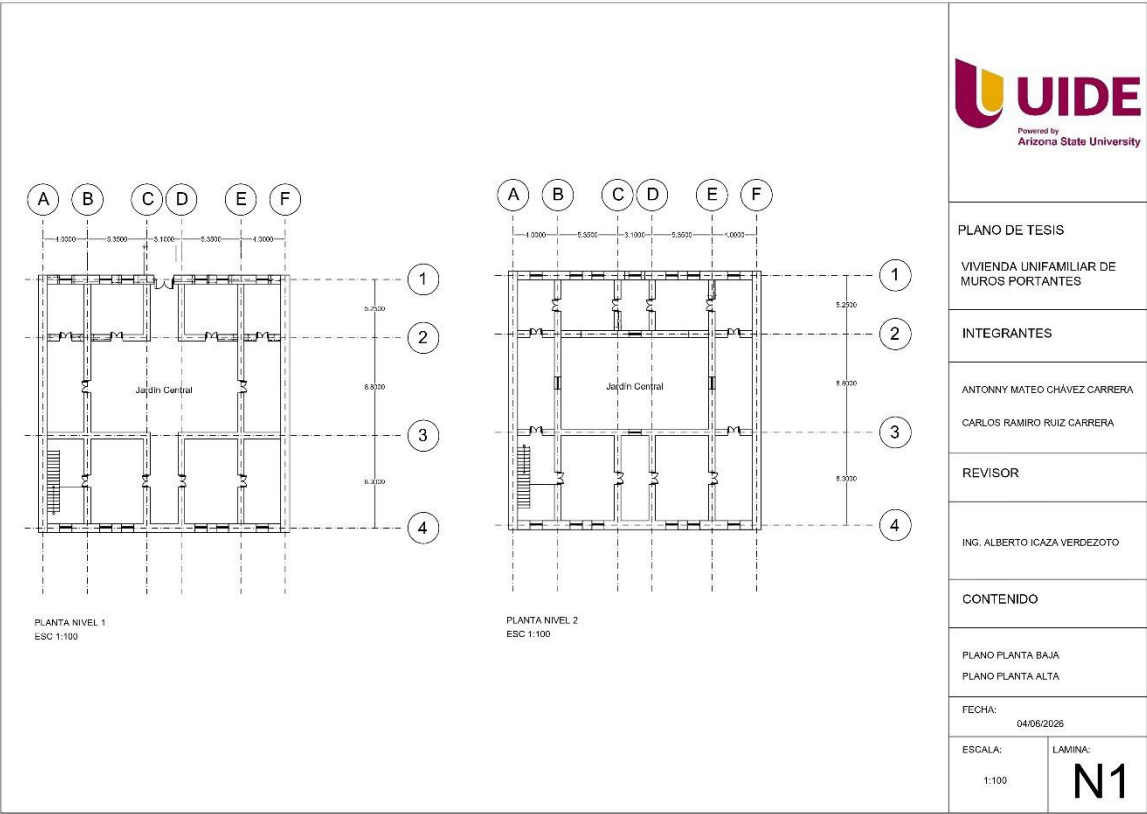
ANEXO A. Planos arquitectónicos y estructurales de la vivienda patrimonial

ANEXO B. valores del espectro de respuesta elástico,

ANEXO C. Recolección de muestras de Abohe para ensayos de con presión y flexión

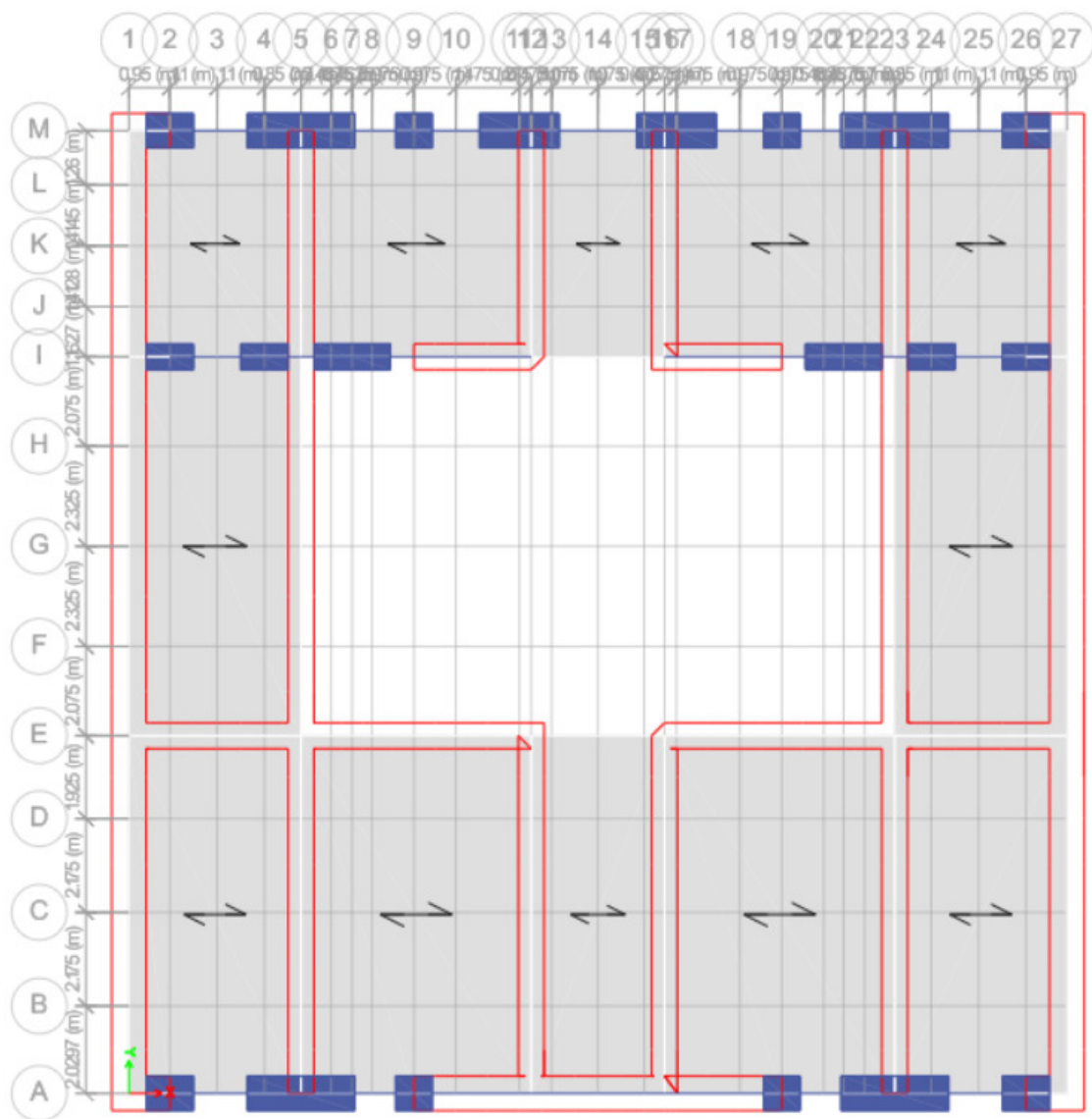
ANEXO D. Ensayos de compresión y flexión realizados en laboratorio

ANEXO A. Planos arquitectónicos y estructurales



Anexo A1. Planos Arquitectónicos de ambos niveles de la vivienda patrimonial

Fuente: (Chávez & Ruiz,2026).



Anexo A2. Planta estructural nivel 1 del modelamiento ETBASv21

Fuente: (Chávez & Ruiz, 2026).

ANEXO B. Valores del espectro sísmico

Anexo B1. Valores del espectro de respuesta elástico

PERIODO (seg)	Sa (Elastico)
0.000	0.480
0.103	1.190
0.565	1.190
0.665	1.011
0.765	0.879
0.865	0.777
0.965	0.697
1.065	0.631
1.165	0.577
1.265	0.532
1.365	0.493
1.465	0.459
1.565	0.430
1.665	0.404
1.765	0.381
1.865	0.361
1.965	0.342
2.065	0.326
2.165	0.311
2.265	0.297
2.365	0.284
2.465	0.273
2.565	0.262
2.665	0.252
2.765	0.243
2.865	0.235
2.965	0.227

Anexo B2. Valores del espectro de respuesta elástico

PERIODO (seg)	Sa (Inelástico)
0.000	0.178
0.103	0.441
0.565	0.441
0.665	0.375
0.765	0.326
0.865	0.288
0.965	0.258
1.065	0.234
1.165	0.214
1.265	0.197
1.365	0.182
1.465	0.170
1.565	0.159
1.665	0.150
1.765	0.141
1.865	0.134
1.965	0.127
2.065	0.121
2.165	0.115
2.265	0.110
2.365	0.105
2.465	0.101
2.565	0.097
2.665	0.093
2.765	0.090
2.865	0.087
2.965	0.084

ANEXO C. Toma de muestras de adobe



Anexo C1. Extracción de los bloques de adobe de la vivienda patrimonial

Fuente: (Chávez & Ruiz, 2026).



Anexo C2. Extracción de los bloques de adobe de la vivienda patrimonial

Fuente: (Chávez & Ruiz, 2026).



Anexo C3. Extracción de los bloques de adobe de la vivienda patrimonial

Fuente: (Chávez & Ruiz, 2026).



Anexo C4. Extracción de los bloques de adobe de la vivienda patrimonial

Fuente: (Chávez & Ruiz, 2026).

ANEXO D. Ensayos de compresión y flexión

ANIVERSARIO
79
Jubileo hacia los 80 años

PUCE
Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

**LABORATORIO DE SUELOS
Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
PUCE

"Somos líderes en la construcción, excelencia en la calidad"

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE ADOBES

CARGA EN EL PUNTO MEDIO

PROYECTO: Determinación de Propiedades Mecánicas en Adobe
Residencia Centro Histórico de Quito

LOCALIZACIÓN: Quito

MUESTRA: Tomada por el Cliente

NORMA DE REFERENCIA: E.060

SOLICITADO POR: Carlos Ruiz y Mateo Chávez

FISCALIZACIÓN:

CONTRATISTA:

FECHA DE RECEPCIÓN: 2026/05/08

FECHA DE EMISIÓN: 2026/05/26

ORDEN DE TRABAJO: 37628 - 1

HOJA: 1 de 1

Probeta N°	1	2
Identificación		
Fecha de ensayo	22/5/2026	
Altura sin refrentado (mm)	137,4	144,3
Altura con refrentado (mm)	166,8	178,1
Largo (mm)	400,0	393,0
Ancho (mm)	213,9	194,0
Area (mm²)	85544,0	76234,1
Volumen (mm³)	11752890	11001349
Masa (gr)	16230,0	16200,0
Peso Unitario (gr/cm³)	1,38	1,47
Distancia entre apoyos (mm)	360,0	360,0
Carga (N)	2872,6	2789,5
Modulo de Rotura (MPa)	0,3	0,2
Modulo de Elasticidad (MPa)	116	130

Gráficas de Ensayos de Flexión en Adobe

Figura 1. Esquema de Ensayo

Figura 2. Esquema de Falla

OBSERVACIONES:

Unidades de Conversión: 1MPa = N / mm² = 10,2 kg / cm²

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ing. Maria Inés Calvo, M.Sc.
RESPONSABLE DE ÁREA

Ing. Jorge Albuja, M.Sc., Ph.D.
COORDINADOR

Dirección: Avenida 12 de Octubre y Alfredo Mena Caamaño

Código postal: 170525 / **Teléfono:** (593-2) 299 1700 Ext. 1529 / **Correo:** lmc-puce@puce.edu.ec

Quito - Ecuador / www.puce.edu.ec

f t i n y d

PUCE
LABORATORIO DE SUELOS
Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

JESUITAS ECUADOR

Anexo D1. Informe de resultados de ensayos de flexión de adobes orden de trabajo:

37628-1

Fuente: (Chávez & Ruiz,2026).

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOBES

PROYECTO : Determinación de Propiedades Mecánicas en
Adobe Residencia Centro Histórico de Quito

LOCALIZACIÓN: Quito

MUESTRA: Tomada por el Cliente

NORMA DE REFERENCIA: E.080

SOLICITADO POR: Carlos Ruiz y Mateo Chávez

FISCALIZACIÓN:

CONTRATISTA:

FECHA DE RECEPCIÓN: 2026/05/08

FECHA DE EMISIÓN: 2026/05/26

ORDEN DE TRABAJO: 37628 - 2

HOJA: 1 de 2

Probeta N°	1	2	3	4	5	6
Identificación						
Fecha de ensayo	26/5/2026					
Altura sin refrentado (mm)	146,9	125,9	143,6	101,4	116,7	107,5
Altura con refrentado (mm)	165,2	182,1	143,2	144,0	144,1	145,6
Largo (mm)	223,6	242,8	183,9	139,1	212,8	164,3
Ancho (mm)	216,2	202,5	108,3	129,7	144,6	154,1
Relación Altura/Ancho	0,8	0,9	1,3	1,1	1,0	0,9
Area (mm²)	48342,1	49158,9	19911,2	18040,3	30770,9	25325,0
Volumen (mm³)	7102421	6188123	2859843	1828560	3591577	2722691
Masa (gr)	9720,0	8570,0	4270,0	2520,0	5200,0	3760,0
Peso Unitario (gr/cm³)	1,37	1,38	1,49	1,38	1,45	1,38
Carga (N)	43669,9	44919,4	30101,0	15840,2	29695,0	28364,3
Resistencia a la Compresión (MPa)	0,9	0,9	1,5	0,9	1,0	1,1
Modulo de Elasticidad (MPa)	222	242	437	250	241	345



Figura 1. Esquema de Ensayo



Figura 2. Esquema de Falla

OBSERVACIONES:

Unidades de Conversión: 1MPa = N / mm² = 10,2 kg / cm²

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ing. Maria Inés Calvo, M.Sc.
RESPONSABLE DE ÁREA

Ing. Jorge Albuja, M.Sc., Ph.D.
COORDINADOR

ANIVERSARIO
79
Jubileo hacia los 80 años

PUCE
Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

**LABORATORIO DE SUELOS
Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**



"Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad"

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
INFORME DE ENSAYO
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ADOBES

PROYECTO: Determinación de Propiedades Mecánicas en Adobe Residencia Centro Histórico de Quito

LOCALIZACIÓN: Quito

MUESTRA: Tomada por el Cliente

NORMA DE REFERENCIA: E.080

SOLICITADO POR: Carlos Ruiz y Mateo Chávez

FISCALIZACIÓN:

CONTRATISTA:

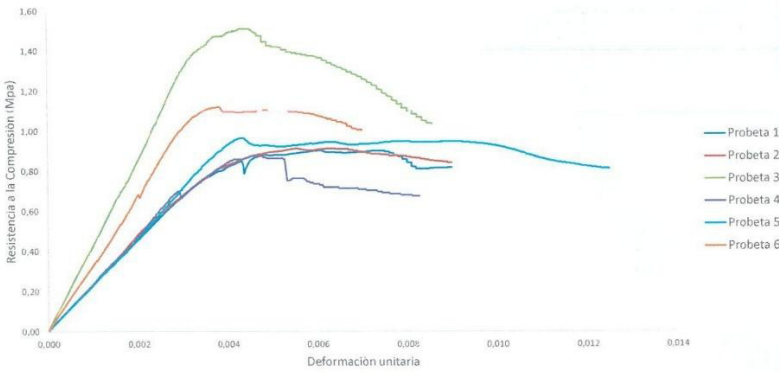
FECHA DE RECEPCIÓN: 2026/05/08

FECHA DE EMISIÓN: 2026/05/26

ORDEN DE TRABAJO: 37628 - 2

HOJA: 2 de 2

GRAFICAS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN ADOBES

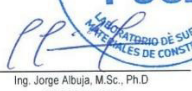


OBSERVACIONES:

Unidades de Conversión: 1MPa = N / mm² = 10,2 kg / cm²

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.


 Ing. Maria Inés Calvo, M.Sc.
RESPONSABLE DE ÁREA


 Ing. Jorge Albuja, M.Sc., Ph.D
COORDINADOR



Dirección: Avenida 12 de Octubre y Alfredo Mena Caamaño
Código postal: 170525 / **Teléfono:** (593-2) 299 1700 Ext. 1529 / **Correo:** lmc-puce@puce.edu.ec
Quito - Ecuador / www.puce.edu.ec

f t i n y d



Anexo D3. Informes de resultados de ensayos de compresión de adobes orden de trabajo: 37628-2 página 2.

Fuente: (Chávez & Ruiz, 2026).