



**Evaluación sísmica de la vulnerabilidad estructural de la edificación patrimonial 1 en la  
academia de guerra del ejército – fase modelación analítica**

Cárdenas Reyes, Galo Fernando y Sánchez Guillén, María Belén

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Cando Loachamin, Antonio, PhD

3 de marzo de 2023



**Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción**

**Carrera de Ingeniería Civil**

### **Certificación**

Certifico que el trabajo de titulación, "Evaluación sísmica de la vulnerabilidad estructural de la edificación patrimonial 1 en la academia de guerra del ejército – fase modelación analítica" realizado por los señores Cárdenas Reyes Galo Fernando y Sánchez Guillén María Belén, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software antiplagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar para que se lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 3 de marzo de 2023**



.....  
Firmado digitalmente por:  
MANUEL ANTONIO  
CANDO LOACHAMIN

**Ing. Cando Loachamín Antonio, PhD**

**C. C. 1708057474**



**Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**Responsabilidad de Autoría**

Nosotros, **Cárdenas Reyes, Galo Fernando** y **Sánchez Guillén, María Belén**, con cédulas de ciudadanía n° 1714361803 y 1753799749, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Evaluación sísmica de la vulnerabilidad estructural de la edificación patrimonial 1 en la academia de guerra del ejército – fase modelación analítica”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 3 de marzo de 2023**

**Cárdenas Reyes, Galo Fernando**

C.C.: 1714361803

**Sánchez Guillén, María Belén**

C.C.: 1753799749



**Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción**

**Carrera de Ingeniería Civil**

**Autorización**

Nosotros, **Cárdenas Reyes, Galo Fernando y Sánchez Guillén, María Belén**, con cédulas de ciudadanía n° 1714361803 y 1753799749, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Evaluación sísmica de la vulnerabilidad estructural de la edificación patrimonial 1 en la academia de guerra del ejército – fase modelación analítica”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

**Sangolquí, 3 de marzo de 2023**

.....  
**Cárdenas Reyes, Galo Fernando**

C.C.: 1714361803

.....  
**Sánchez Guillén, María Belén**

C.C.: 1753799749

Resultados de la herramienta de verificación y/o análisis de similitud de contenidos


Universidad de Cuenca  
Ingineer

## FINAL INFORME MIC

9%
Ver más detalles  
En el informe de contenido  
y de similitud de contenidos

**Identificación del documento:** Título: **Informe final de...**  
ID: **...**  
Autor(es): **...**  
Fecha de creación original: **...**

**Referencias:** Fecha de creación: **...**  
Fecha de depósito: **...**  
Tipo de carga: **...**  
Fecha de actualización: **...**

**Resumen de estadísticas:** **...**  
Resumen de la carga: **...**



### Fuentes principales detectadas

ID	Descripción	Similitud	Ubicaciones	Fecha de creación
1	<b>...</b>	2%	...	...
1	<b>...</b>	2%	...	...
1	<b>...</b>	2%	...	...
1	<b>...</b>	2%	...	...
1	<b>...</b>	2%	...	...

### Fuentes con similitud fortuita

ID	Descripción	Similitud	Ubicaciones	Fecha de creación
1	<b>...</b>	4%	...	...
1	<b>...</b>	4%	...	...
1	<b>...</b>	4%	...	...
1	<b>...</b>	4%	...	...
1	<b>...</b>	4%	...	...

### Fuentes ignoradas

Todas las fuentes ignoradas del informe corresponden a similitud de contenido de documentos de referencia.

ID	Descripción	Similitud	Ubicaciones	Fecha de creación
1	<b>...</b>	2%	...	...
1	<b>...</b>	2%	...	...
1	<b>...</b>	2%	...	...
1	<b>...</b>	2%	...	...
1	<b>...</b>	2%	...	...
1	<b>...</b>	2%	...	...
1	<b>...</b>	2%	...	...



VERIFICACIÓN DE  
CONTENIDO  
Y SIMILITUD

Ing. Cando Loachamin, Antonio, PhD

CC 1708057474

## **Dedicatoria**

El presente proyecto fue realizado con mucho esfuerzo y dedicación, y representa la perseverancia de no rendirse a fin de alcanzar esta meta a lo largo de estos años de estudio, por esta razón dedico todo este esfuerzo desde el primer día hasta la presente fecha con todo mi amor a mis hijos Abigail y Galito, que son mi inspiración y mi fuerza interior que me motiva a seguir adelante y no rendirme ante los obstáculos que se han presentado durante mis estudios. A la persona que me dio el más grande regalo que un ser humano puede tener mis hijos, Patty, que fue un apoyo fundamental cuando pensábamos en si decidir o no realizar los estudios que ahora es una realidad.

A mis padres que siempre han estado conmigo en todo momento, siempre atentos y preocupados de todos sus hijos, con su ejemplo de honestidad, amor, perseverancia y superación, a mis hermanos por estar siempre estar unidos y preocupados entre todos cuidándonos y siempre pendientes.

Los quiero y los extraño con todo mi corazón.

**Cárdenas Reyes, Galo Fernando**

## **Dedicatoria**

Dedico estos años de estudio a mi madre por siempre ser mi pilar ante los buenos y malos momentos, a mi papá "Pancho" por el apoyo todos estos años y a mi hermano Francisco que ha sido mi fuente de amor y alegría.

Su apoyo constante ha sido mi principal fortaleza para alcanzar este logro, gracias por su ejemplo, y enseñarme que todo se puede lograr con amor y perseverancia.

Los amo con todo mi corazón.

**Sánchez Guillén, María Belén**

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por permitirme culminar mis estudios en la universidad, por estar siempre presente en cada momento de mi vida ayudándome a superar cada obstáculo y darme la fuerza y carácter necesario para seguir adelante.

Agradezco a toda mi familia por su apoyo incondicional en todo este tiempo y a mi compañera de proyecto María Belén por todo el comprometimiento puesto para la elaboración del proyecto.

A nuestro tutor, estimado Ing. Antonio Cando PhD., por toda su paciencia y guía durante la elaboración del presente proyecto.

**Cárdenas Reyes, Galo Fernando**

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por ayudarme a superar cada adversidad y poder culminar esta etapa de mi vida, por colocar a maravillosas personas que han sido mi apoyo y que han hecho que los días sean más maravillosos.

A mi madre por acompañarme en todo este trayecto, por siempre apoyarme en los buenos y malos momentos, porque a pesar de todo siempre confía y cree en mí y en mis capacidades.

A mi padre "Pancho" por estar siempre pendiente de mí, y de mis estudios, por todo el amor brindado y apoyo.

A mis estimados amigos Gordito, Panita, Carlos, Joel y Lucas, por hacer que mis días en la universidad sean más llevaderos y placenteros, por compartirme sus conocimientos y ser parte de gratos recuerdos que siempre llevaré en mi corazón.

A mi compañero Galito por su colaboración y comprometimiento en la realización de este trabajo.

A nuestro tutor, Ing. Antonio Cando PhD. por sus guías y aportes que ha permitido el desarrollo y culminación de este proyecto.

Muchas gracias a todos.

**Sánchez Guillén, María Belén**

## Índice de contenido

Carátula .....	1
Certificación .....	2
Responsabilidad de Autoría .....	3
Autorización .....	4
Resultados de la herramienta de verificación y/o análisis de similitud de contenidos .....	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento .....	8
Agradecimiento .....	9
Resumen .....	17
Abstract.....	18
Capítulo I: Introducción .....	19
Antecedentes.....	19
Objetivos .....	22
Metodología.....	22
Capítulo II: Edificio de estudio.....	24
Introducción.....	24
Descripción del edificio de estudio.....	24
Descripción de los elementos estructurales.....	28
<i>Mampostería</i> .....	28

	11
<i>Columnas y vigas</i> .....	33
<i>Armadura de la cubierta</i> .....	35
Vigas de la cubierta y entrepiso.....	37
Losa de entrepiso.....	38
<i>Dinteles</i> .....	39
Esfuerzos admisibles de los materiales.....	40
<i>Adobe</i> .....	40
<i>Madera</i> .....	42
<i>Hormigón</i> .....	43
Capítulo III: Modelación de la Estructura.....	45
Introducción.....	45
Modelo analítico.....	45
Propiedades de los materiales.....	47
<i>Adobe</i> .....	47
<i>Madera</i> .....	48
<i>Hormigón</i> .....	49
Propiedades de los elementos Frame.....	50
<i>Columnas</i> .....	50
<i>Vigas</i> .....	52
<i>Mampostería</i> .....	55
<i>Losa de entrepiso</i> .....	59

	12
Cargas en la estructura .....	59
<i>Carga muerta</i> .....	59
<i>Carga viva</i> .....	61
<i>Cargas laterales sísmicas</i> .....	62
<i>Espectro de diseño en aceleración Sa</i> .....	65
Asignación de los estados de cargas.....	74
Capítulo IV: Resultados .....	77
Introducción.....	77
Periodos de vibración .....	77
Derivas de piso.....	78
Esfuerzos en la mampostería .....	81
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones.....	89
Conclusiones .....	89
Recomendaciones.....	90
Bibliografía.....	91
Apéndice.....	93

### Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Coordenadas de ubicación de la edificación.</i> .....	20
<b>Tabla 2</b> <i>Propiedades del adobe.</i> .....	40
<b>Tabla 3</b> <i>Esfuerzos admisibles en mampostería de adobe.</i> .....	41
<b>Tabla 4</b> <i>Propiedades de la madera.</i> .....	42
<b>Tabla 5</b> <i>Esfuerzos admisibles maderas.</i> .....	43
<b>Tabla 6</b> <i>Cargas muertas (CM) aplicadas a la cubierta.</i> .....	60
<b>Tabla 7</b> <i>Cargas muertas debidas al cielo raso.</i> .....	60
<b>Tabla 8</b> <i>Cargas muertas debidas al cielo raso y al entablado.</i> .....	61
<b>Tabla 9</b> <i>Cargas vivas.</i> .....	61
<b>Tabla 10</b> <i>Parámetros para el cortante basal V.</i> .....	73
<b>Tabla 11</b> <i>Periodos de vibración y relación de participación de masa modal.</i> .....	77
<b>Tabla 12</b> <i>Valores de la deriva de piso inelástica máxima.</i> .....	79
<b>Tabla 13</b> <i>Desplazamiento de la estructura debido a cargas sísmica en dirección X.</i> .....	80
<b>Tabla 14</b> <i>Desplazamientos de la estructura debido a cargas sísmica en dirección Y.</i> .....	81

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Edificio Patrimonial 1 – Academia de Guerra del Ejército.....	19
<b>Figura 2</b> Ubicación geográfica del Edificio Patrimonial 1 – Academia de Guerra del Ejército ...	20
<b>Figura 3</b> a) Levantamiento topográfico b) Curvas de Nivel .....	21
<b>Figura 4</b> Planos arquitectónicos. a) Fachadas del edificio Patrimonial 1, b) Planta Alta, c) Planta baja.....	21
<b>Figura 5</b> Fotografía de la edificación. a) Fachada lateral izquierda, b) Fachada lateral derecha, c) Fachada frontal, d) Fachada Posterior .....	25
<b>Figura 6</b> Áreas de la edificación. ....	27
<b>Figura 7</b> Mampostería Bloque A.....	29
<b>Figura 8</b> Mampostería Bloque B.....	29
<b>Figura 9</b> Mampostería del Ala A.....	30
<b>Figura 10</b> Mampostería Bloque E.....	30
<b>Figura 11</b> Mampostería Bloque D.....	31
<b>Figura 12</b> Mampostería Bodega.....	31
<b>Figura 13</b> Implementación del pachómetro.....	32
<b>Figura 14</b> Mampuestos de adobe en el Bloque A.....	33
<b>Figura 15</b> Columnas y vigas. a) Columnas de hormigón armado de 45 x 45 cm, b) Columnas de hormigón armado de 30 x 30 cm, c) Viga de hormigón armado de 30 x 90 cm.....	34
<b>Figura 16</b> Armadura cubierta a) Bloque E, b) Bloque B y C.....	36
<b>Figura 17</b> Perfil metálico adicionado al cordón inferior de dos armaduras.....	37
<b>Figura 18</b> Vigas de madera. a) Cubierta, b) Entrepiso.....	38
<b>Figura 19</b> Losa de entrepiso.....	39
<b>Figura 20</b> Dintel de madera en una ventana.....	39
<b>Figura 21</b> Modelo en 3D de la estructura del Edificio Patrimonial 1.....	46

<b>Figura 22</b> <i>Vista en planta de la estructura del Edificio Patrimonial 1</i> .....	46
<b>Figura 23</b> <i>Malla de elementos finitos en una porción de la estructura.</i> .....	47
<b>Figura 24</b> <i>Propiedades del adobe</i> .....	48
<b>Figura 25</b> <i>Propiedades de la madera.</i> .....	49
<b>Figura 26</b> <i>Propiedades del hormigón</i> .....	50
<b>Figura 27</b> <i>Propiedades de las columnas. a) Columnas de 45x45 cm, b) Columnas de 30x30 cm</i> .....	51
<b>Figura 28</b> <i>Modelación Pilar de diámetro de 60 cm en el programa computacional SAP 2000.</i> .52	
<b>Figura 29</b> <i>Propiedades de las vigas. a) Viguetas de cubierta, b) Viguetas de piso, c) Dintel, d) Viga de hormigón</i> .....	53
<b>Figura 30</b> <i>Propiedades de la mampostería. a) Mampostería de espesor de 20 cm, b) Mampostería de espesor de 25 cm, c) Mampostería de espesor de 30 cm, d) Mampostería de espesor de 40 cm, e) Mampostería de espesor de 45 cm, f) Mampostería de espesor de 50 cm, g) Mampostería de espesor de 70 cm</i> .....	55
<b>Figura 31</b> <i>Propiedades de la losa de entrepiso</i> .....	59
<b>Figura 32</b> <i>Ecuador, Zonas Sísmicas para valores de factor de zona Z</i> .....	62
<b>Figura 33</b> <i>Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.</i> .....	63
<b>Figura 34</b> <i>Tipo de suelo y factor de sitio <math>F_a</math></i> .....	64
<b>Figura 35</b> <i>Tipo de suelo y factor de sitio <math>F_d</math></i> .....	64
<b>Figura 36</b> <i>Tipo de suelo y factor de sitio <math>F_s</math></i> .....	65
<b>Figura 37</b> <i>Espectro de respuesta elástico de aceleraciones.</i> .....	66
<b>Figura 38</b> <i>Valores de <math>C_t</math> y <math>\alpha</math></i> .....	67
<b>Figura 39</b> <i>Coeficiente de reducción de respuesta estructural (R)</i> .....	68
<b>Figura 40</b> <i>Coeficiente de importancia de la estructura</i> .....	69
<b>Figura 41</b> <i>Coeficientes de irregularidad en planta.</i> .....	70
<b>Figura 42</b> <i>Coeficientes de irregularidad en elevación.</i> .....	71

<b>Figura 43</b> <i>Estados de carga.</i> .....	74
<b>Figura 44</b> <i>Valor de la carga viva en las armaduras de la cubierta</i> .....	75
<b>Figura 45</b> <i>Valor del cortante basal V. a) Sentido X, b) Sentido Y</i> .....	76
<b>Figura 46</b> <i>Deformada de la estructura debido a cargas sísmica en dirección X</i> .....	79
<b>Figura 47</b> <i>Deformada de la estructura debido a cargas sísmica en dirección Y</i> .....	81
<b>Figura 48</b> <i>Esfuerzos del elemento Shell.</i> .....	82
<b>Figura 49</b> <i>Esfuerzos de la mampostería – Combinación de carga D+L. a) S11, b) S22, c) S12.</i> .....	83
<b>Figura 50</b> <i>Esfuerzos de la mampostería – Combinación D+L+Sx. a) S11, b) S22, c) S12.</i> .....	85
<b>Figura 51</b> <i>Esfuerzos de la mampostería – Combinación D+L+Sy. a) S11, b) S22, e) S12.</i> .....	87

## Resumen

Debido a los avances en el análisis y diseño estructural es importante evaluar la vulnerabilidad sísmica actual de las edificaciones antiguas y patrimoniales, por ejemplo, la Academia de Guerra del Ejército. Para tal efecto, se desarrollaron tres trabajos de integración curricular. En el primero, se definió la edificación a estudiar y se realizó un levantamiento topográfico y arquitectónico de la misma; en el segundo se realizó ensayos de campo y se instrumentó la estructura, y finalmente, en el tercero se realizó la modelación analítica de la estructura y se encontró su respuesta estructural.

El presente trabajo de integración curricular es el tercero y describe la modelación analítica del Edificio Patrimonial 1 de la Academia de Guerra del Ejército, utilizando el programa computacional SAP 2000. Además, en el trabajo se muestran los resultados de un análisis estático y lineal ejecutado, y se plantean conclusiones acerca de la respuesta estructural de la edificación. En el modelo analítico, las propiedades mecánicas de los diferentes materiales se establecieron de acuerdo con las recomendaciones de estudios y normas técnicas. Las mamposterías de adobe se modelaron utilizando elementos Shell, y para la modelación de la cubierta de madera se utilizaron elementos Frame. Las cargas gravitacionales y sísmicas aplicadas a la estructura se definieron según la norma NEC-15.

Los resultados del análisis ejecutado muestran que, ante cargas gravitacionales, los esfuerzos calculados en la mampostería son pequeños y están debajo de los esfuerzos admisibles recomendados en la norma Peruana de adobe E080. Sin embargo, al incluir las fuerzas sísmicas los esfuerzos aumentaron significativamente en toda la estructura, y en varios sectores llegaron a ser mayores que los esfuerzos admisibles. Por lo tanto, se concluye que la estructura del Edificio Patrimonial 1 es vulnerable ante un posible evento sísmico severo en el futuro.

*Palabras clave:* vulnerabilidad sísmica, muros de adobe, modelación analítica, edificación patrimonial.

### **Abstract**

Due to advances in structural analysis and design, it is important to assess the current seismic vulnerability of old and heritage buildings, for example, the Army War Academy. For this purpose, three curricular integration works were developed. In the first, the building to be studied was defined and a topographical and architectural survey of it was carried out; in the second, field tests were carried out and the structure was implemented, and finally, in the third, the analytical modeling of the structure was carried out and its structural response was found.

This curricular integration work is the third and describes the analytical modeling of the Heritage Building 1 of the Army War Academy, using the SAP 2000 computer program. In addition, the work shows the results of a static and linear analysis executed, and conclusions are raised about the structural response of the building. In the analytical model, the mechanical properties of the different materials were established in accordance with the recommendations of studies and technical standards. The adobe masonry was modeled using Shell elements, and Frame elements were used to model the wooden roof. Gravitational and seismic loads applied to the structure were defined according to the NEC-15 standard.

The results of the analysis carried out show that, in the face of gravitational loads, the efforts calculated in the masonry are small and are below the admissible efforts recommended in the Peruvian standard for adobe E080. However, when seismic forces are included, the stresses increased significantly throughout the structure, and in several regions, they became greater than the admissible stresses. Therefore, it is concluded that the structure of the Heritage Building 1 is vulnerable to a possible severe seismic event in the future.

Key words: seismic vulnerability, adobe walls, analytical modeling, patrimonial construction.

## Capítulo I: Introducción

### Antecedentes

Dentro de las Ordenanzas Municipales del Ecuador, se exige respeto y especial consideración a las edificaciones de carácter histórico, consideradas como un patrimonio cultural, el mismo que es importante conservar y restaurar, con el fin de mantener la herencia del pasado.

Evaluar y realizar un análisis estructural es un factor importante en su conservación, ya que se encuentran en deterioro debido al transcurso de los años en los cuales han sufrido varios fenómenos físicos y naturales, además de otros factores, como son sus materiales de construcción cuya resistencia puede verse afectada con el transcurso del tiempo. Esto permitirá evaluar su comportamiento y estabilidad ante los fenómenos antes mencionados, razón por la cual previo a este análisis se necesita tener acceso a los establecimientos patrimoniales con el fin de obtener planos, documentos y estudios necesarios en las evaluaciones. (Delgado, 2016)

La edificación analizada en el presente trabajo de integración curricular es el Edificio Patrimonial 1 de la Academia de Guerra del Ejército, estructura construida a finales del siglo XIX (Figura 1). Esta edificación se encuentra localizada en el barrio San Rafael, parroquia Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia Pichincha.

### Figura 1

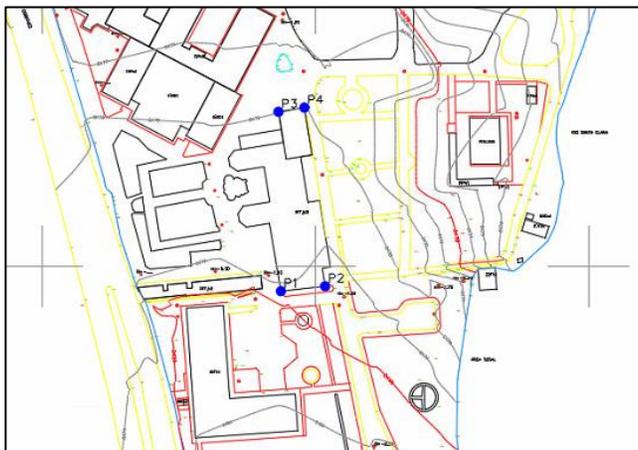
*Edificio Patrimonial 1 – Academia de Guerra del Ejército*



En la Figura 2 se muestra la ubicación del Edificio Patrimonial 1 dentro de la Academia de Guerra del Ejército, y en la Tabla 1 se indican las coordenadas geográficas de la edificación, obtenidas del levantamiento topográfico otorgado por la Academia de Guerra del Ejército.

## Figura 2

*Ubicación geográfica del Edificio Patrimonial 1 – Academia de Guerra del Ejército*



*Nota: Levantamiento topográfico, realizado por Cuerpo de Ingenieros del Ejército (2022).*

## Tabla 1

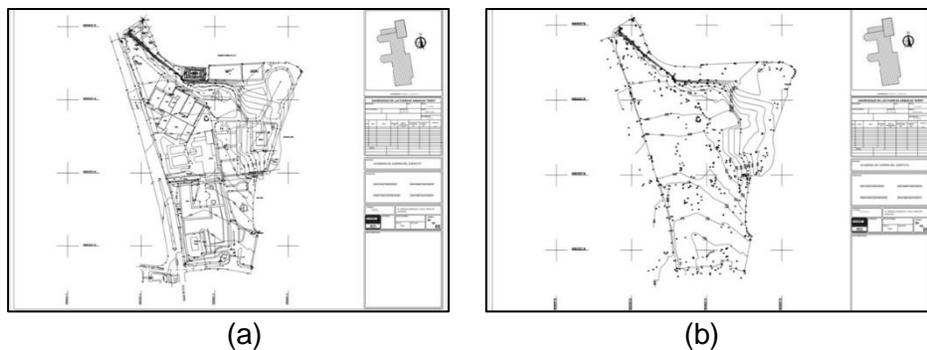
*Coordenadas de ubicación de la edificación.*

Punto	Latitud	Longitud	Altitud
1	0°18'45.66"S	78°27'01.74"O	2480 msnm
2	0°18'45.60"S	78°27'01.22"O	2480 msnm
3	0°18'43.52"S	78°27'01.77"O	2478 msnm
4	0°18'43.47"S	78°27'01.47"O	2478 msnm

En base a la información y los planos del levantamiento topográficos otorgados por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército (Figura 3), se realizaron los planos arquitectónicos guía (Figura 4), por parte de estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, lo cual constituyó el trabajo de integración curricular 1.

### Figura 3

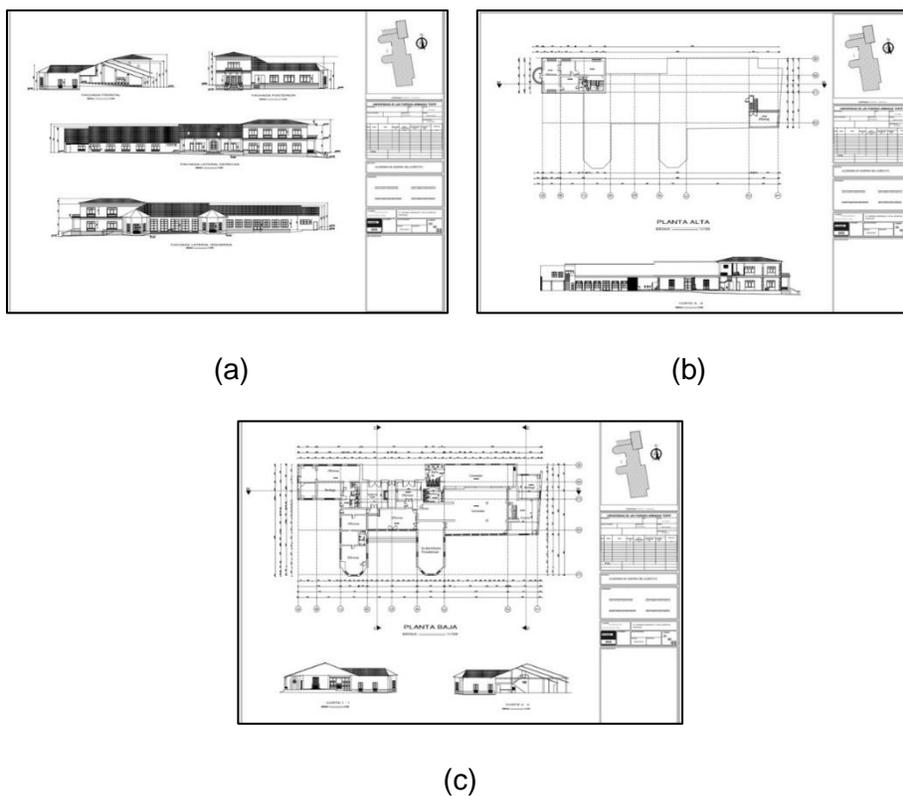
a) Levantamiento topográfico b) Curvas de Nivel



Nota: Levantamiento topográfico, realizado por *Cuerpo de Ingenieros del Ejército* (2022).

### Figura 4

Planos arquitectónicos. a) Fachadas del edificio Patrimonial 1, b) Planta Alta, c) Planta baja.



Nota: Tomado de *Trabajo de integración curricular 1* (2022).

Vale la pena mencionar que se realizó visitas a la edificación para corroborar la información de los planos arquitectónicos, encontrándose inconsistencias en los espesores de ciertas mamposterías.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Evaluar la vulnerabilidad sísmica de la Edificación Patrimonial 1 de la Academia de Guerra del Ejército usando un análisis elástico y lineal.

### **Objetivos específicos**

- Desarrollar el modelo analítico de la estructura de la Edificación Patrimonial 1 de la Academia de Guerra del Ejército.
- Determinar la respuesta de la estructura de la Edificación Patrimonial 1 de la Academia de Guerra del Ejército ante las cargas gravitacional y sísmica, incluyendo el cálculo de período fundamental, derivas de entrepiso y esfuerzos en la mampostería.
- Comparar la respuesta de la estructura con valores admisibles establecidos en la literatura técnica y estimar su vulnerabilidad.

## **Metodología**

Para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la estructura se elaboró un modelo analítico utilizando el programa computacional SAP 2000 (Computers and Structures, 2024). La mampostería de la edificación se modeló utilizando elementos Shell, mientras que las columnas, vigas y armaduras presentes en la edificación se modelaron utilizando elementos Frame. Las cargas aplicadas a la estructura se definieron utilizando la norma NEC-15 (NEC-SE-CG, 2015).

Una vez completado el modelo analítico, se ejecutó un análisis elástico lineal de la estructura con el objeto de encontrar la respuesta de la estructura ante las cargas gravitacional

y sísmica. La respuesta de la estructura consistió en el cálculo del período fundamental de la estructura, las derivas de entrepiso y los esfuerzos en la mampostería. Las derivas calculadas se compararon con las derivas máximas definidas en la NEC-15 (NEC-SE-DS, 2015) para estructuras de mampostería. Asimismo, los esfuerzos de tensión y compresión, y los esfuerzos cortantes obtenidos en la mampostería se compararon con valores admisibles establecidos en la norma Peruana para adobe E.080 (Norma E.080, 2017a). La comparación de la demanda en derivas y esfuerzos con los valores límites de las normas permitió establecer la vulnerabilidad de la estructura.

## Capítulo II: Edificio de estudio

### Introducción

En este capítulo se describe el Edificio Patrimonial 1 de la Academia de Guerra del Ejército y sus diferentes componentes estructurales. Además, al final del capítulo se presenta información acerca del adobe y la madera, los cuales son los principales materiales de este edificio.

### Descripción del edificio de estudio

La Figura 5 muestra fotografías de las fachadas frontal, posterior y lateral del Edificio Patrimonial 1 de la Academia de Guerra del Ejército. Se puede observar que la estructura es alargada en su dirección longitudinal. Además, posee dos alas casi en el centro. Gran parte de la estructura es de un piso, excepto una porción, en su parte frontal, donde la altura es de dos pisos. Estas irregularidades en su geometría pueden producir torsión en la estructura. El área de construcción total de la edificación es de aproximadamente 1378,57 m<sup>2</sup>.

En cuanto a los materiales, la Edificación Patrimonial 1 de la Academia de Guerra del Ejército es una estructura mixta, con materiales estructurales como el adobe, la madera, y el hormigón armado. Se supone que la presencia del hormigón armado es debido a posibles remodelaciones que se hicieron en la edificación.

**Figura 5**

Fotografía de la edificación. a) Fachada lateral izquierda, b) Fachada lateral derecha, c) Fachada frontal, d) Fachada Posterior



(a)



(b)



(c)



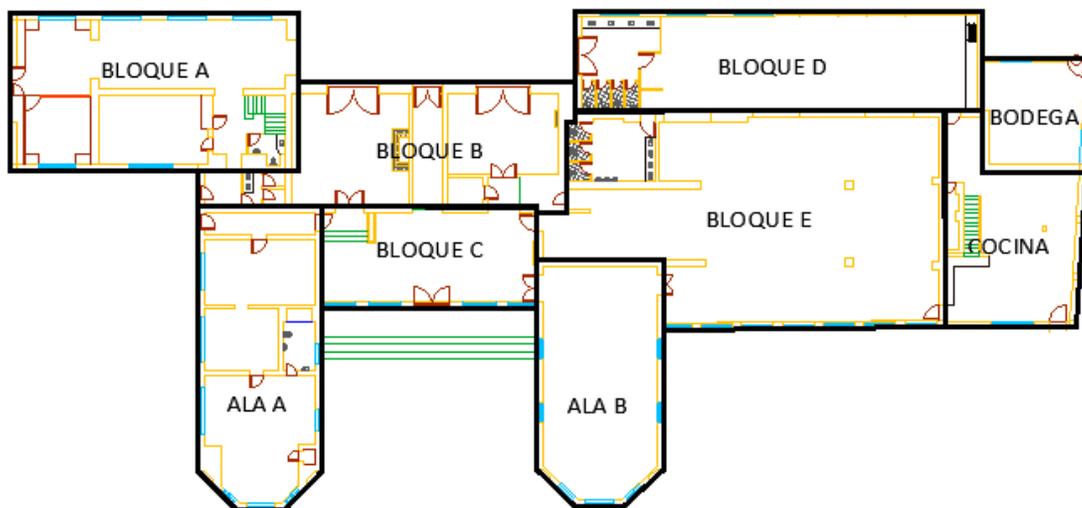
(d)

Para una mejor descripción de la edificación se ha decidido separar la estructura en diferentes áreas, como se observa en la Figura 6. Los usos que se dan a la estructura en las diferentes áreas son:

- Bloque A: Oficinas.
- Bloque B: Oficinas.
- Bloque C: Sala de reuniones para visitas de autoridades.
- Bloque D: Comedor secundario.
- Bloque E: Comedor principal.
- Ala A: Oficinas
- Ala B: Ex dormitorio presidencial.
- Cocina
- Bodega de material bélico.

**Figura 6**

*Áreas de la edificación.*



## **Descripción de los elementos estructurales**

La estructura del Edificio Patrimonial 1 de la Academia de Guerra del Ejército consta de varios elementos estructurales, entre estos: 1) mampostería de adobe, 2) columnas y vigas de hormigón, 3) armaduras de madera, 4) vigas soleras y dinteles de madera.

### ***Mampostería***

La mampostería es el principal elemento estructural utilizado en la estructura del Edificio Patrimonial 1 de la Academia de Guerra del Ejército para resistir las cargas gravitacionales y sísmicas. El material de la mampostería es adobe. El adobe es un material simple cuya composición es de tierra, agua y paja, en diferentes proporciones.

La mampostería de la estructura del Edificio Patrimonial 1 está conformada por diferentes espesores en cada bloque, estos espesores se describen a continuación.

**Bloque A.** Este bloque consta de dos pisos (ver Figuras 5 y 6). El espesor de la mampostería exterior es variable, en su fachada lateral derecha e izquierda, es de 70 cm; en la fachada frontal es de 50 cm, y en su fachada posterior es de 40 y 70 cm. De igual manera, se tiene mampostería de diferente espesor en la parte interior de este bloque, con paredes de 20 y 45 cm.

**Figura 7**

*Mampostería Bloque A.*



**Bloque B.** En el bloque B, la mampostería externa es de 70 cm de espesor y su mampostería interna es de 25 cm de espesor.

**Figura 8**

*Mampostería Bloque B.*



**Alas A y B.** El espesor de la mampostería de ambas alas es de 40 cm.

**Figura 9**

*Mampostería del Ala A.*



**Bloque C y E.** Estos bloques están conformados por mampostería de 50 cm de espesor y en las ventanas este espesor se disminuye a 40 cm. En el interior del Bloque B se observan arcos conformados por mamposterías de mayor espesor.

**Figura 10**

*Mampostería Bloque E.*



**Bloque D y Cocina.** La mampostería que compone estas áreas es de 30 y 40 cm de espesor.

**Figura 11**

*Mampostería Bloque D.*



**Bodega de material bélico.** En la zona de la bodega, hay mampostería es de 20 cm de espesor y de 40 cm de espesor.

**Figura 12**

*Mampostería Bodega.*



A fin de comprobar si la mampostería está conformada por adobe únicamente, o posee varillas de acero en algunas partes, en especial en la mampostería de los bloques C y E se utilizó el pachómetro. El pachómetro es un instrumento que permite identificar elementos metálicos existentes en un elemento estructural, determinando su posición exacta y la profundidad a la que se encuentran, como podemos apreciar en la Figura 13. Al realizar la prueba del pachómetro en la mampostería de estos bloques se encontró la inexistencia de varillas de acero, lo que permite asegurar que la mampostería es de adobe, como el resto de la edificación.

### **Figura 13**

*Implementación del pachómetro.*



Adicionalmente, en el segundo piso del Bloque A, en una parte donde se ha perdido el recubrimiento, se observa la presencia de los mampuestos de adobe.

## Figura 14

*Mampuestos de adobe en el Bloque A.*



## **Columnas y vigas**

La Figura 15 muestra las columnas de hormigón armado presentes en la estructura del Edificio Patrimonial 1 de la Academia de Guerra del Ejército. Estas columnas se ubican en el Bloque E y en el área de la Cocina (ver Figuras 6 y 15). Como se puede apreciar en la Figura 15 las columnas del Bloque E están decoradas arquitectónicamente con madera. En el Bloque E las dimensiones de las columnas son aproximadamente de 45x45 cm. Mientras que, en el área de la Cocina son de aproximadamente 30x30 cm. También se puede apreciar que en ciertas partes de la estructura existían columnas formadas por ladrillos, estas no se incluyeron en el modelo analítico.

En el área del Bloque E existen dos vigas de hormigón armado de 30 x 90 cm. Estas vigas se muestran en la Figura 15(c). La presencia de las columnas y las vigas de hormigón armado en esta estructura tradicional se puede explicar debido a una posible remodelación de la edificación en el pasado, con el fin de lograr espacios libres de mampostería para uso como comedor (Bloques D y E en la Figura 6)

**Figura 15**

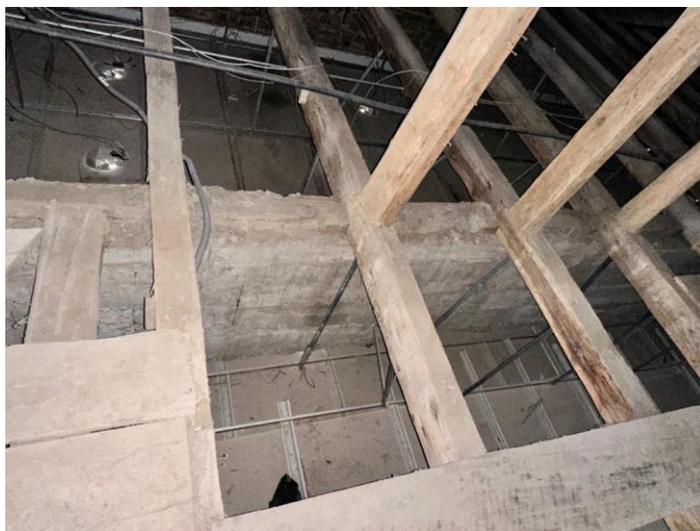
*Columnas y vigas. a) Columnas de hormigón armado de 45 x 45 cm, b) Columnas de hormigón armado de 30 x 30 cm, c) Viga de hormigón armado de 30 x 90 cm.*



(a)



(b)



(c)

### ***Armadura de la cubierta***

Las armaduras están presentes en la cubierta de la estructura del Edificio Patrimonial 1. La Figura 16 muestra la forma típica de las armaduras en los Bloques A, B, C, E, y en las Alas A y B (en el Bloque D, y en las áreas de Cocina y Bodega la cubierta está formada por vigas de madera únicamente). El material de las armaduras es madera de eucalipto y con dimensiones aproximadamente de 14 x 14 cm. La altura de las armaduras es variable, en el Bloque E las armaduras tienen una altura de 2,20 m, en los bloques B y C tienen una altura de 2,83 m, y en el Bloque A la altura de las armaduras es de 1,20 m (ver Figura 5). Vale la pena mencionar que el Bloque A tiene una cubierta de cuatro aguas y el resto de la estructura tiene una cubierta de dos aguas.

Las armaduras se apoyan en una viga solera de madera ubicada en la parte superior de las mamposterías laterales de la edificación y en la mampostería interior. En la zona del Bloque E que es un espacio libre, para comedor, las armaduras se apoyan en la viga de hormigón armado descrita en la sección anterior. Las armaduras se encuentran espaciadas a aproximadamente 1,60 m entre centros y resisten las cargas provenientes del peso propio de la cubierta (tabla tríplice, correas y teja de barro cocida). Además, resisten las cargas vivas de la cubierta.

**Figura 16**

*Armadura cubierta a) Bloque E, b) Bloque B y C.*



(a)

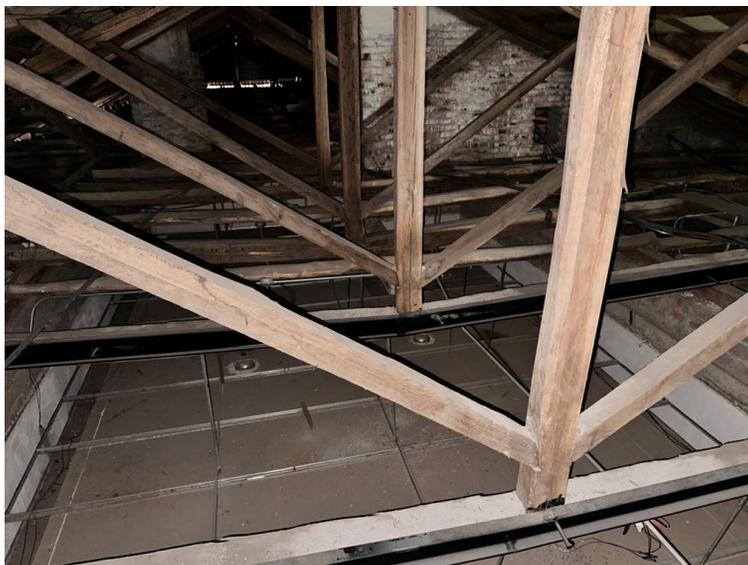


(b)

La Figura 17 muestra la adición de un perfil de acero al cordón inferior de dos armaduras ubicadas en el Bloque E. A pesar de la adición de los perfiles de acero se observa una deflexión excesiva en estas armaduras. Adicionalmente, se observa en ciertas armaduras rajaduras propias del eucalipto, debido al paso del tiempo y desgaste de la madera.

**Figura 17**

*Perfil metálico adicionado al cordón inferior de dos armaduras.*

**Vigas de la cubierta y entrepiso**

La cubierta del Edificio Patrimonial 1 posee vigas entre las armaduras. Estas vigas son de madera de eucalipto de aproximadamente 14x14 cm y están ubicadas en la mitad de las armaduras (ver Figura 18(a)). La función de estas vigas es ayudar a soportar el peso del cielo raso. Adicionalmente, en el Bloque A el entrepiso está formado por vigas de madera de aproximadamente 14x14 cm (ver Figura 18(b)). Estas vigas soportan el peso del cielo raso y el peso del entablado, además de la carga viva de las oficinas.

**Figura 18**

*Vigas de madera. a) Cubierta, b) Entrepiso.*



(a)



(b)

**Losa de entrepiso**

El Edificio Patrimonial 1 en el área de la cocina posee una losa de entrepiso de 25 cm de espesor apoyada en columnas de aproximadamente 30 cm en sus extremos. (ver Figura 19).

**Figura 19**

*Losa de entrepiso.*

***Dinteles***

El Edificio Patrimonial 1 posee dinteles de madera (vigas horizontales) sobre las puertas y ventanas, sus dimensiones son aproximadamente de 14 cm de alto y su ancho depende del espesor de la mampostería interrumpida por las ventanas y puertas. La Figura 20 muestra un dintel típico.

**Figura 20**

*Dintel de madera en una ventana.*



## Esfuerzos admisibles de los materiales

Como se mencionó arriba, la estructura del Edificio Patrimonial 1 es mixta. Posee materiales como el adobe, la madera y el hormigón. Cada uno de estos materiales tienen diferentes propiedades mecánicas que se describen a continuación:

### **Adobe**

De acuerdo con la NEC-15 (NEC-SE-15, 2015) el adobe se define como “Unidad o elemento sólido de tierra disecada con forma de prisma regular, normalmente reforzado por fibras vegetales o sintéticas de acuerdo con la norma vigente”. Varias investigaciones se han realizado en el adobe con el fin de determinar sus propiedades mecánicas como el módulo de Elasticidad, el módulo de corte. La Tabla 2 muestra estas propiedades obtenidas desde tres investigaciones. La primera investigación realizada por Yajamin y Valencia (2008) en la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, la segunda realizada por Chacón y colaboradores en la Escuela Politécnica Nacional (Chacón et al., 2021) y por finalmente, la normativa Peruana del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento E.080 (Norma E.080, 2017a).

**Tabla 2**

*Propiedades del adobe.*

<b>Propiedades</b>	<b>Yajamin y Valencia (2008)</b>	<b>(Chacón et al., 2021)</b>	<b>(Norma E.080, 2017a)</b>
Módulo de Elasticidad (Ton/m <sup>2</sup> )	13 835,90	21 000	20 400
Peso Específico (Ton/m <sup>3</sup> )	1,60	1,60	1,60
Módulo de Poisson (s/u)	0,25	0,25	0,25
Módulo de corte (Ton/m <sup>2</sup> )	5 534,40	5 000	4 800

Según la Norma E.080 (Norma E.080, 2017a) los ensayos que se realizan para mampostería de adobe son:

- Ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la resistencia del material tierra a la compresión.
- Ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la resistencia del material tierra a la tracción.
- Ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la resistencia del mortero a la tracción.
- Ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la resistencia del murete a la compresión.
- Ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la resistencia del murete a la tracción indirecta.

Estos ensayos sirven para determinar los esfuerzos admisibles del adobe. La Tabla 3 muestra los esfuerzos admisibles a compresión, tensión y cortante para mamposterías de adobe. Estos esfuerzos son los reportados en la norma E080 (Norma E.080, 2017a).

**Tabla 3**

*Esfuerzos admisibles en mampostería de adobe*

<b>Esfuerzos admisibles</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Esfuerzo admisible a compresión	20,00	Ton/m <sup>2</sup>
Esfuerzo admisible a tracción	4,7	Ton/m <sup>2</sup>
Esfuerzo de corte permisible	2,50	Ton/m <sup>2</sup>

*Nota: Tomado de Norma E0.80 Diseño y construcción con tierra reforzada, (2017).*

Estos esfuerzos se utilizaron para verificar la condición de resistencia de las diversas mamposterías de la estructura del Edificio Patrimonial 1.

## **Madera**

La madera es fruto de la transformación del árbol, de origen natural, constituido por células muertas, es un material duro y resistente, de estructura compleja y de carácter biológico anisotrópico e higroscópico.(Manitio & Vásquez, 2013). De acuerdo con NEC-15 (NEC-SE-MD, 2015), la madera se clasifica en tres tipos de acuerdo a su densidad. Tipo A con densidad entre 0,71 a 0,90 Ton/m<sup>3</sup>, tipo B con densidad entre 0,56 a 0,70 Ton/m<sup>3</sup> y tipo C con densidad entre 0,40 a 0,55 Ton/m<sup>3</sup>.

La Tabla 4 muestra el módulo de elasticidad promedio, peso específico y módulo de Poisson para los tres tipos de la madera. Estos valores fueron obtenidos desde el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales., 1984)

**Tabla 4**

*Propiedades de la madera*

<b>Propiedades</b>	<b>GRUPO A</b>	<b>GRUPO B</b>	<b>GRUPO C</b>
Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	130 000	100 000	90 000
Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	1 100	1 000	900
Módulo de Poisson (s/u)	0,40	0,40	0,40

*Nota: Tomado de Manual de diseño para maderas del Grupo Andino, por Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales., (1984).*

Según la NEC-15 (NEC-SE-MD, 2015) para estructuras de madera se debe realizar ensayos para determinar las siguientes propiedades:

- Resistencia a la compresión paralela.
- Resistencia a la compresión perpendicular.
- Resistencia a la Tracción.

- Resistencia a la Flexión.
- Resistencia al Corte.

La Tabla 5 muestra los esfuerzos admisibles a tracción, compresión paralela, compresión perpendicular y corte, para los tres grupos de madera estructural. Estos esfuerzos fueron obtenidos desde el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales., 1984).

**Tabla 5**

*Esfuerzos admisibles maderas*

<b>Esfuerzos admisibles (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>GRUPO A</b>	<b>GRUPO B</b>	<b>GRUPO C</b>
Flexión $f_m$	214,14	152,96	101,97
Tracción paralela $f_t$	147,86	107,07	76,47
Compresión paralela $f_c$	147,86	112,17	81,58
Compresión perpendicular $f_{ci}$	40,79	28,55	15,30
Corte $f_v$	15,30	12,24	8,16

*Nota: Tomado de Manual de diseño para maderas del Grupo Andino, por Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales., (1984).*

### **Hormigón**

De acuerdo con la NEC-15 (NEC-SE-HM, 2015) define al hormigón como “Mezcla de cemento pórtland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos”. En este trabajo se consideró un hormigón con una resistencia a la compresión a los 28 días de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y un módulo de elasticidad determinado por la Ecuación 1 (NEC-SE-HM, 2015):

$$E_c = 15100\sqrt{f'c} \quad (1)$$

Donde:

$E_c$  Módulo de elasticidad del hormigón ( $\text{kg/cm}^2$ )

$f'_c$  Resistencia a la compresión del hormigón ( $\text{kg/cm}^2$ )

Para el hormigón utilizado, el módulo de elasticidad fue igual a:

$$E_c = 15100\sqrt{210}$$

$$E_c = 218819.789 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 2188197.89 \text{ ton/m}^2$$

## Capítulo III: Modelación de la Estructura

### Introducción

En este capítulo se describe el modelo tridimensional de la estructura del Edificio Patrimonial 1 de la Academia de Guerra del Ejército. El modelo fue desarrollado en el programa computacional SAP 2000 (Computers and Structures, 2024).

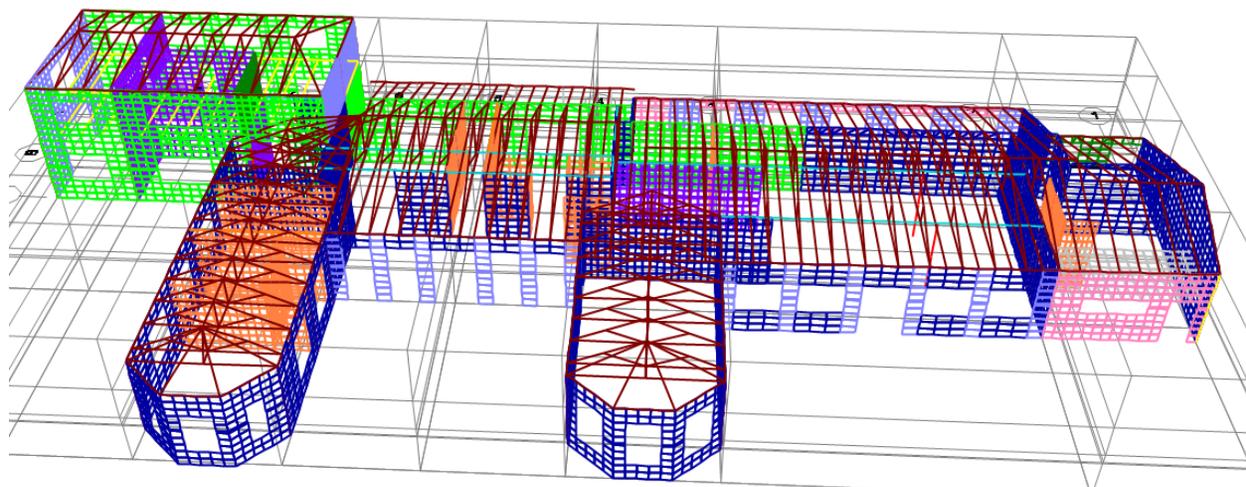
### Modelo analítico

La Figura 21 muestra el modelo analítico de la estructura del Edificio Patrimonial 1. El modelo está compuesto de elementos Frame para las armaduras, vigas y columnas presentes en la estructura, y elementos Shell para representar la mampostería. Los diferentes colores en los elementos Shell de la figura indican un cambio en el espesor de la mampostería. Adicionalmente, en el modelo constan las vigas de entrepiso, vigas de cubierta, dinteles y viga solera. Todos estos elementos están representados con elementos Frame. La Figura 22 muestra una vista en planta del modelo. El modelo analítico consta en total de 10142 Nudos, 1963 elementos Frame y 8728 elementos Shell.

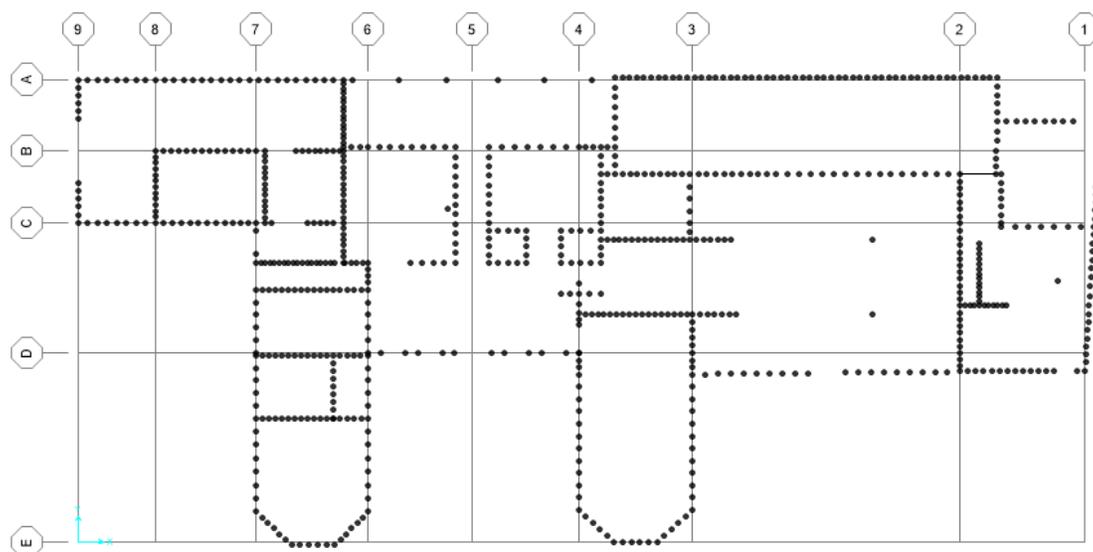
Las restricciones en el apoyo se consideraron empotradas y no se consideró la presencia de un diafragma rígido, debido a que la cubierta y el entrepiso de madera son más bien flexibles. Esta suposición implica que la fuerza sísmica aplicada es proporcional a la masa colaborante a cada nudo.

**Figura 21**

*Modelo en 3D de la estructura del Edificio Patrimonial 1.*

**Figura 22**

*Vista en planta de la estructura del Edificio Patrimonial 1.*

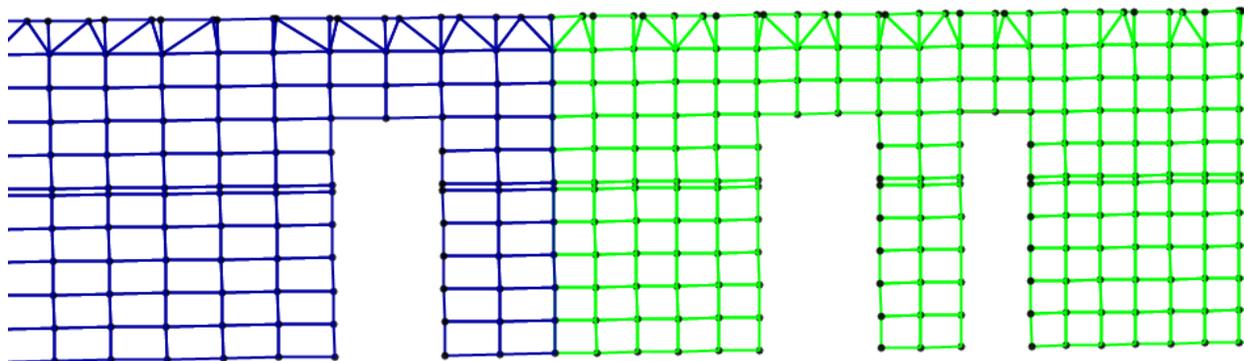


Para el mallado de los elementos Shell se utilizaron elementos cuadrados donde fue posible. Sin embargo, también se requirió elementos rectangulares debido a la diferente altura de las mamposterías, las dimensiones de los elementos Shell cuadrados oscilaron entre 0,45 m

a 0,73 m. Vale la pena mencionar que fue necesario emplear elementos triangulares en la parte superior de ciertas mamposterías, con el fin de conectar los elementos Frame de las armaduras en un mismo nudo común. La Figura 23 muestra un mallado típico en una porción del modelo.

### **Figura 23**

*Malla de elementos finitos en una porción de la estructura.*



## **Propiedades de los materiales**

### **Adobe**

La Figura 24 muestra los valores del módulo de elasticidad, peso específico y módulo de Poisson ingresados al programa computacional SAP 2000 (Computers and Structures, 2024) para el adobe. Estos valores son los reportados por Chacón y colaboradores (Chacón et al., 2021) y se muestran en la Tabla 2.

## Figura 24

### Propiedades del adobe

The image shows a software dialog box titled "Material Property Data" with a green header bar. The dialog is organized into several sections:

- General Data:**
  - Material Name and Display Color: A text field containing "ADOBE" and a small red square color swatch.
  - Material Type: A dropdown menu currently showing "Other".
  - Material Grade: A text field containing "12".
  - Material Notes: A button labeled "Modify/Show Notes..."
- Weight and Mass:**
  - Weight per Unit Volume: A text field containing "1,600E-03".
  - Mass per Unit Volume: A text field containing "1,632E-06".
- Units:** A dropdown menu currently showing "Kgf, cm, C".
- Isotropic Property Data:**
  - Modulus Of Elasticity, E: A text field containing "2100,".
  - Poisson, U: A text field containing "0,25".
  - Coefficient Of Thermal Expansion, A: A text field containing "6,000E-06".
  - Shear Modulus, G: A text field containing "840,".

At the bottom of the dialog, there is a checkbox labeled "Switch To Advanced Property Display" which is currently unchecked. Below the checkbox are two buttons: "OK" and "Cancel".

## Madera

Para la madera los valores del módulo de elasticidad, peso específico, módulo de poisson, para Eucalipto Madera Clase C, son los mostrados en la Tabla 2 y fueron obtenidos de la NEC- 15 (NEC-SE-MD, 2015), investigación realizada por el Grupo Andino (Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales., 1984).

**Figura 25**

*Propiedades de la madera.*

**Material Property Data**

**General Data**

Material Name and Display Color: MADERA

Material Type: Other

Material Grade: CLASE C

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Weight and Mass**

Weight per Unit Volume: 0,9

Mass per Unit Volume: 0,0918

**Units**

Units: Tonf, m, C

**Isotropic Property Data**

Modulus Of Elasticity, E: 900000,

Poisson, U: 0,4

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 3,000E-06

Shear Modulus, G: 321428,6

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

**Hormigón**

Para el hormigón se consideró una resistencia a la compresión de  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ , descrito en el Capítulo II, sección "Hormigón".

**Figura 26**

*Propiedades del hormigón.*

The image shows a software dialog box titled "Material Property Data" with a close button (X) in the top right corner. The dialog is organized into several sections:

- General Data:** Includes fields for "Material Name and Display Color" (set to "HORMIGON" with a color swatch), "Material Type" (set to "Concrete"), "Material Grade" (set to "fc=210 kg/cm2"), and "Material Notes" (with a "Modify/Show Notes..." button).
- Weight and Mass:** Includes "Weight per Unit Volume" (2,4) and "Mass per Unit Volume" (0,2447).
- Units:** A dropdown menu set to "Tonf, m, C".
- Isotropic Property Data:** Includes "Modulus Of Elasticity, E" (2188197,9), "Poisson, U" (0,2), "Coefficient Of Thermal Expansion, A" (9,900E-06), and "Shear Modulus, G" (911749,1).
- Other Properties For Concrete Materials:** Includes "Specified Concrete Compressive Strength, fc" (2100), "Expected Concrete Compressive Strength" (2100), a checkbox for "Lightweight Concrete" (unchecked), and a "Shear Strength Reduction Factor" field (empty).
- Switch To Advanced Property Display:** A checkbox (unchecked).

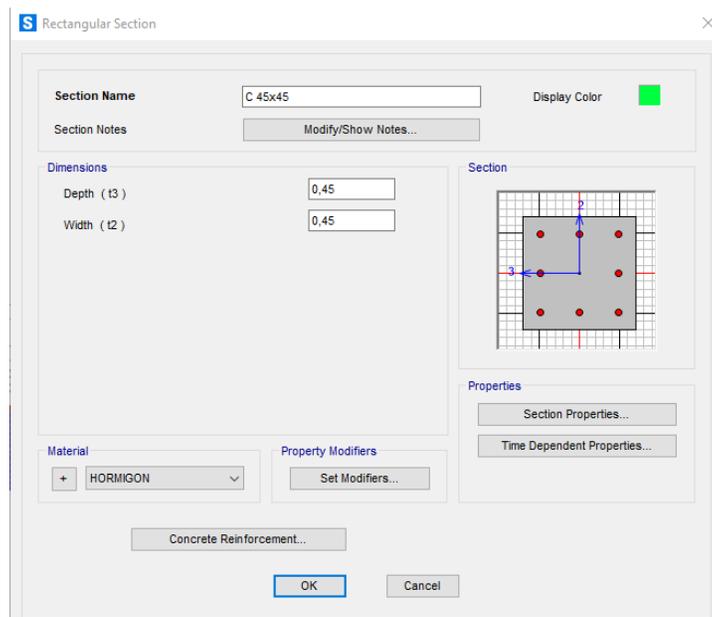
At the bottom of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons.

**Propiedades de los elementos Frame****Columnas**

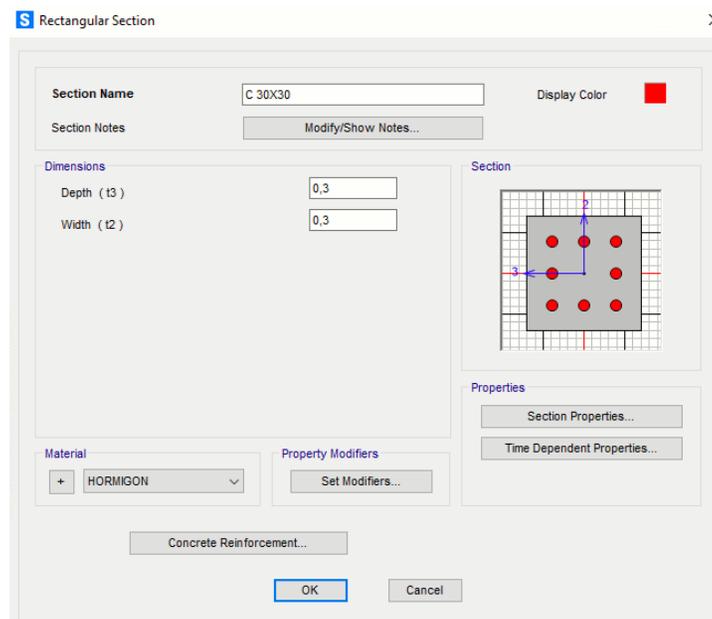
La Figura 27 muestra las propiedades de los dos tipos de columnas de hormigón armado presentes en la estructura del Edificio Patrimonial 1. La ubicación de estas columnas en la estructura se describió en el Capítulo II, sección "Columnas y Vigas".

**Figura 27**

Propiedades de las columnas. a) Columnas de 45x45 cm, b) Columnas de 30x30 cm.



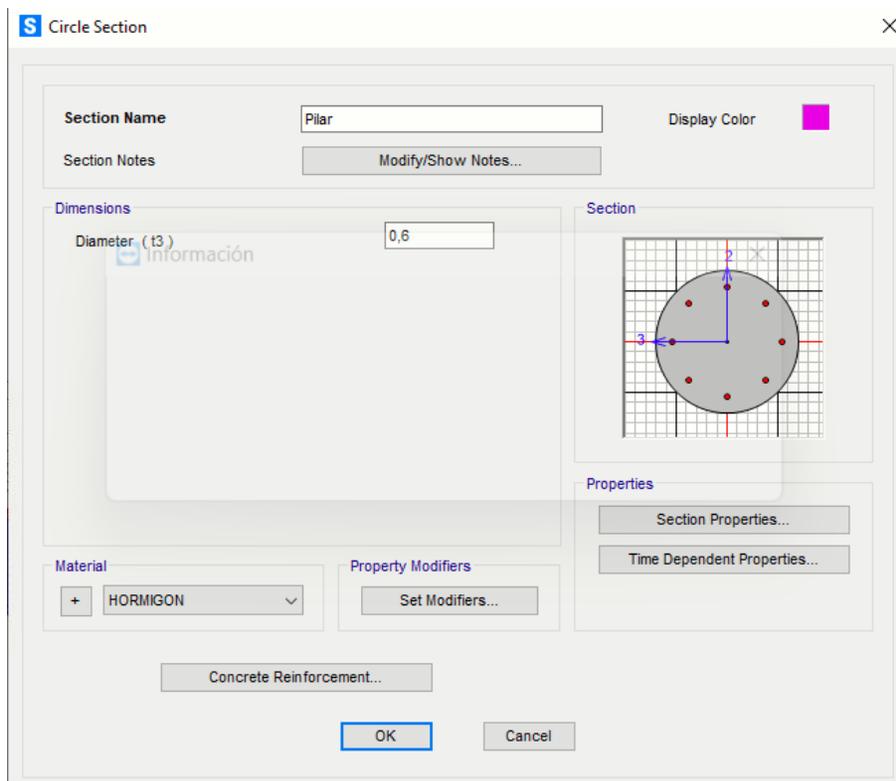
(a)



(b)

**Figura 28**

*Modelación Pilar de diámetro de 60 cm en el programa computacional SAP 2000.*

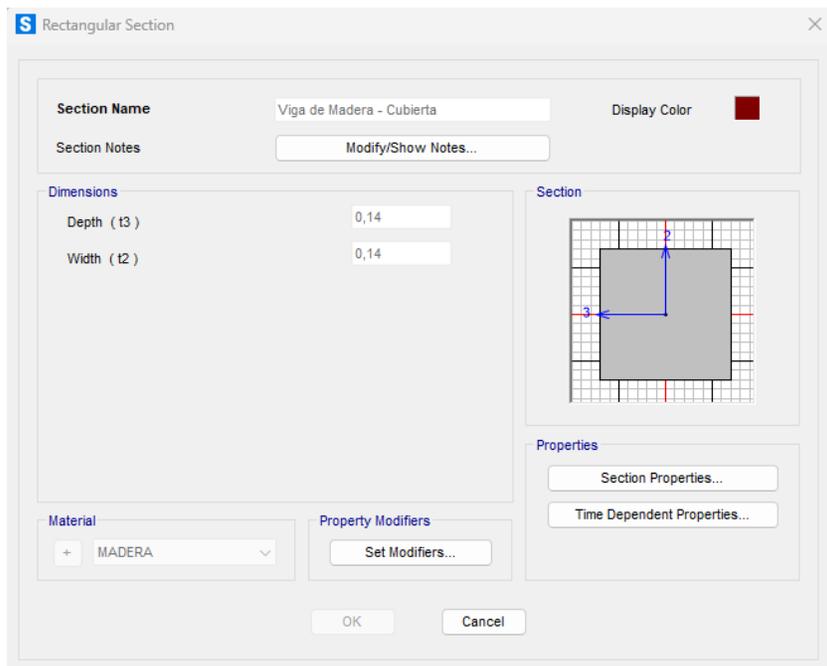


### **Vigas**

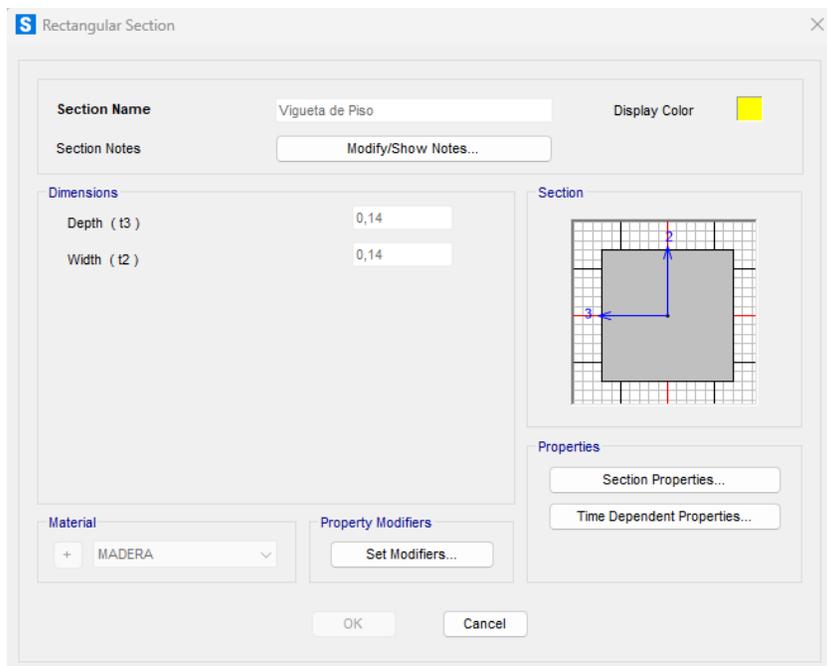
Las Figuras 29(a) y 29(b) muestran las propiedades de tres tipos de vigas de madera presentes en la cubierta de la estructura del Edificio Patrimonial 1. La ubicación de estas vigas en la estructura se describió en el Capítulo II, sección “Armadura de Cubierta”. La Figura 29(c) presenta las propiedades de un tipo de dintel de madera que se encuentra presente en la estructura, este elemento estructural se describió en el Capítulo II, sección “Dinteles”. Adicional, la Figura 29(d) muestra las propiedades de la viga de hormigón, la ubicación de estas vigas de hormigón se describió en el Capítulo II, sección “Columnas y Vigas”.

**Figura 29**

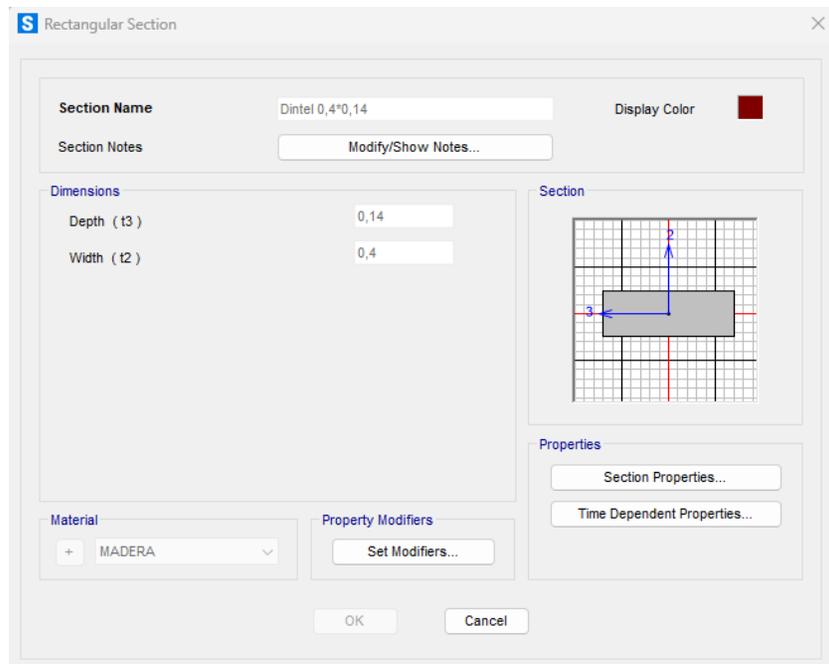
Propiedades de las vigas. a) Viguetas de cubierta, b) Viguetas de piso, c) Dintel, d) Viga de hormigón.



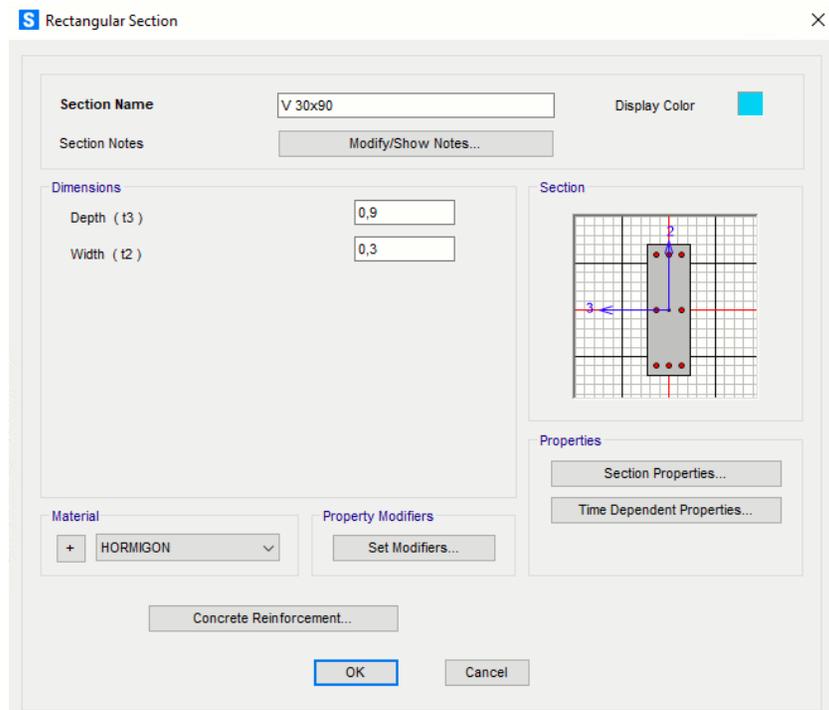
(a)



(b)



(c)



(d)

## Mampostería

La Figura 30 muestra las propiedades de los siete tipos de mampostería de adobe presentes en la estructura del Edificio Patrimonial 1. La ubicación de estas mamposterías en la estructura se describió en el Capítulo II, sección “Mampostería”.

### Figura 30

*Propiedades de la mampostería. a) Mampostería de espesor de 20 cm, b) Mampostería de espesor de 25 cm, c) Mampostería de espesor de 30 cm, d) Mampostería de espesor de 40 cm, e) Mampostería de espesor de 45 cm, f) Mampostería de espesor de 50 cm, g) Mampostería de espesor de 70 cm.*

(a)

**S** Shell Section Data

Section Name: ADOBE 25

Section Notes: Modify/Show...

Display Color: 

**Type**

- Shell - Thin
- Shell - Thick
- Plate - Thin
- Plate Thick
- Membrane
- Shell - Layered/Nonlinear

Modify/Show Layer Definition...

**Thickness**

Membrane: 25

Bending: 25

**Material**

Material Name: + ADOBE

Material Angle: 0

**Time Dependent Properties**

Set Time Dependent Properties...

**Concrete Shell Section Design Parameters**

Modify/Show Shell Design Parameters...

**Stiffness Modifiers**

Set Modifiers...

**Temp Dependent Properties**

Thermal Properties...

OK Cancel

(b)

**S** Shell Section Data

Section Name: ADOBE 30

Section Notes: Modify/Show...

Display Color: 

**Type**

- Shell - Thin
- Shell - Thick
- Plate - Thin
- Plate Thick
- Membrane
- Shell - Layered/Nonlinear

Modify/Show Layer Definition...

**Thickness**

Membrane: 30

Bending: 30

**Material**

Material Name: + ADOBE

Material Angle: 0

**Time Dependent Properties**

Set Time Dependent Properties...

**Concrete Shell Section Design Parameters**

Modify/Show Shell Design Parameters...

**Stiffness Modifiers**

Set Modifiers...

**Temp Dependent Properties**

Thermal Properties...

OK Cancel

(c)

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box for a section named 'ADOBE 40'. The 'Section Name' field contains 'ADOBE 40' and the 'Display Color' is a blue square. The 'Type' section has 'Shell - Thin' selected. The 'Thickness' section has 'Membrane' and 'Bending' both set to 40. The 'Material' section has 'Material Name' set to 'ADOBE' and 'Material Angle' set to 0. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' section has a 'Modify/Show Shell Design Parameters...' button. The 'Stiffness Modifiers' section has a 'Set Modifiers...' button. The 'Temp Dependent Properties' section has a 'Thermal Properties...' button. The 'OK' button is highlighted.

**Shell Section Data**

Section Name: ADOBE 40      Display Color: [Blue]

Section Notes: [Modify/Show...]

**Type**

- Shell - Thin
- Shell - Thick
- Plate - Thin
- Plate Thick
- Membrane
- Shell - Layered/Nonlinear

[Modify/Show Layer Definition...]

**Thickness**

Membrane: 40, [ ]

Bending: 40, [ ]

**Material**

Material Name: + ADOBE [v]

Material Angle: 0, [ ]

**Time Dependent Properties**

[Set Time Dependent Properties...]

**Concrete Shell Section Design Parameters**

[Modify/Show Shell Design Parameters...]

**Stiffness Modifiers**

[Set Modifiers...]

**Temp Dependent Properties**

[Thermal Properties...]

[OK]      [Cancel]

(d)

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box for a section named 'ADOBE 45'. The 'Section Name' field contains 'ADOBE 45' and the 'Display Color' is a purple square. The 'Type' section has 'Shell - Thin' selected. The 'Thickness' section has 'Membrane' and 'Bending' both set to 45. The 'Material' section has 'Material Name' set to 'ADOBE' and 'Material Angle' set to 0. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' section has a 'Modify/Show Shell Design Parameters...' button. The 'Stiffness Modifiers' section has a 'Set Modifiers...' button. The 'Temp Dependent Properties' section has a 'Thermal Properties...' button. The 'OK' button is highlighted.

**Shell Section Data**

Section Name: ADOBE 45      Display Color: [Purple]

Section Notes: [Modify/Show...]

**Type**

- Shell - Thin
- Shell - Thick
- Plate - Thin
- Plate Thick
- Membrane
- Shell - Layered/Nonlinear

[Modify/Show Layer Definition...]

**Thickness**

Membrane: 45, [ ]

Bending: 45, [ ]

**Material**

Material Name: + ADOBE [v]

Material Angle: 0, [ ]

**Time Dependent Properties**

[Set Time Dependent Properties...]

**Concrete Shell Section Design Parameters**

[Modify/Show Shell Design Parameters...]

**Stiffness Modifiers**

[Set Modifiers...]

**Temp Dependent Properties**

[Thermal Properties...]

[OK]      [Cancel]

(e)

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box with the following settings:

- Section Name:** ADOBE 50
- Section Notes:** Modify/Show...
- Display Color:** Blue square
- Type:** Shell - Thin (selected)
- Thickness:** Membrane: 50, Bending: 50
- Material:** Material Name: ADOBE, Material Angle: 0
- Time Dependent Properties:** Set Time Dependent Properties...
- Concrete Shell Section Design Parameters:** Modify/Show Shell Design Parameters...
- Stiffness Modifiers:** Set Modifiers...
- Temp Dependent Properties:** Thermal Properties...
- Buttons:** OK, Cancel

(f)

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box with the following settings:

- Section Name:** ADOBE 70
- Section Notes:** Modify/Show...
- Display Color:** Green square
- Type:** Shell - Thin (selected)
- Thickness:** Membrane: 70, Bending: 70
- Material:** Material Name: ADOBE, Material Angle: 0
- Time Dependent Properties:** Set Time Dependent Properties...
- Concrete Shell Section Design Parameters:** Modify/Show Shell Design Parameters...
- Stiffness Modifiers:** Set Modifiers...
- Temp Dependent Properties:** Thermal Properties...
- Buttons:** OK, Cancel

(g)

### **Losa de entrepiso**

La Figura 31 muestran las propiedades de la losa de entrepiso de hormigón armado presente en la estructura del Edificio Patrimonial 1, área de la cocina, descrito en el Capítulo II, sección “Losa de contrapiso”, (ver Figura 19).

**Figura 31**

*Propiedades de la losa de entrepiso*

The image shows a software dialog box titled "Shell Section Data". It contains the following fields and options:

- Section Name:** A text input field containing "LOSA 25cm".
- Section Notes:** A button labeled "Modify/Show...".
- Display Color:** A small grey square.
- Type:** A group of radio buttons with the following options:
  - Shell - Thin
  - Shell - Thick
  - Plate - Thin
  - Plate Thick
  - Membrane
  - Shell - Layered/Nonlinear
- Thickness:** Two input fields:
  - Membrane: 0,25
  - Bending: 0,25
- Material:**
  - Material Name: A dropdown menu showing "HORMIGON" with a "+" icon to the left and a downward arrow to the right.
  - Material Angle: An input field containing "0".
- Time Dependent Properties:** A button labeled "Set Time Dependent Properties...".
- Concrete Shell Section Design Parameters:** A button labeled "Modify/Show Shell Design Parameters...".
- Stiffness Modifiers:** A button labeled "Set Modifiers...".
- Temp Dependent Properties:** A button labeled "Thermal Properties...".
- Buttons:** "OK" and "Cancel" buttons at the bottom.

### **Cargas en la estructura**

Para el análisis de la estructura de estudio se consideró dos tipos de cargas: las cargas de gravedad y las cargas laterales sísmicas. Las cargas de gravedad consisten en la carga muerta y en la carga viva. A continuación, se describen cada una de estas cargas.

#### **Carga muerta**

La NEC-15 (NEC-SE-CG, 2015) define la carga muerta como las cargas debidas al peso de todos los elementos estructurales que actúan de forma permanente sobre la

estructura. Son elementos tales como: paredes, recubrimientos, mampostería, instalaciones eléctricas, sanitarias, mecánicas, máquinas y todo artefacto integrado permanentemente a la estructura.

El programa computacional SAP2000, define automáticamente el peso propio de los elementos que conforman a la estructura como la mampostería, vigas, columnas, armaduras y losa. Por lo tanto, se deben ingresar únicamente las cargas muertas adicionales de los elementos no modelados, tales como: correas, tabla tríplice, tejas de barro cocido y cielo raso. Los valores de estos pesos se muestran en las Tablas 6 y 7.

**Tabla 6**

*Cargas muertas (CM) aplicadas a la cubierta*

<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Unidad</b>
Tabla tríplice 12mm	6,00	Kg/m <sup>2</sup>
Correas	5,00	Kg/m <sup>2</sup>
Teja barro cocido	30,00	Kg/m <sup>2</sup>
<b>CM (Cubierta)</b>	<b>41,00</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>

*Nota: Tomado de Manual de diseño para maderas del Grupo Andino, por Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales., (1984).*

**Tabla 7**

*Cargas muertas debidas al cielo raso*

<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Unidad</b>
Cielo raso de yeso con carrizo	25,00	Kg/m <sup>2</sup>
<b>CM (Cielo Raso)</b>	<b>25,00</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>

*Nota: Tomado de Manual de diseño para maderas del Grupo Andino, por Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales., (1984).*

**Tabla 8***Cargas muertas debidas al cielo raso y al entablado*

<b>Material</b>	<b>Peso</b>	<b>Unidad</b>
Cielo raso de yeso con carrizo	25,00	Kg/m <sup>2</sup>
Madera	9,00	Kg/m <sup>2</sup>
<b>CM (Cielo Raso)</b>	<b>34,00</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>

*Nota: Tomado de Manual de diseño para maderas del Grupo Andino, por Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales., (1984).*

**Carga viva**

La NEC-15 (NEC-SE-CG, 2015) define a la carga permanente debidas a los pesos de las personas, muebles, equipos y accesorios móviles o temporales, mercadería en transición, y otras. Estas cargas dependen del uso de la estructura. La Tabla 9 muestra los valores considerados para la carga viva de la estructura de estudio.

**Tabla 9***Cargas vivas*

<b>Ocupación o Uso</b>	<b>Carga uniforme (KN/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Entrepiso</b>	
Oficinas	2,40
<b>Cubierta</b>	
Cubierta inclinada	0,70

*Nota: Tomado de NEC-15 Cargas No Sísmicas, por Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-CG), (2015).*

### **Cargas laterales sísmicas**

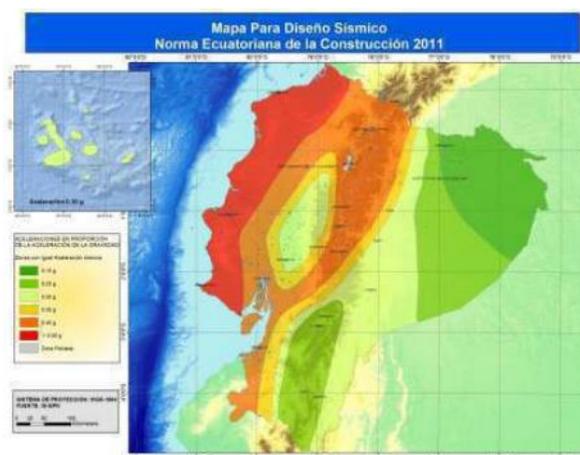
Las cargas laterales sísmicas se calcularon de acuerdo con la NEC-15 (NEC-SE-DS, 2015) y para su determinación es necesario calcular varios factores que se explican a continuación.

### **Zona sísmica y factor de zona Z**

El Ecuador se divide en seis zonas sísmicas, caracterizadas por un factor de zona Z, resultado de un estudio de amenaza sísmica. La Figura 32 muestra de forma gráfica estas zonas sísmicas. El color rojo representa zonas de elevada sismicidad. Mientras que, el color verde muestra zonas de baja sismicidad.

### **Figura 32**

*Ecuador, Zonas Sísmicas para valores de factor de zona Z.*



*Nota: Tomado de NEC-15 Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente, por Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS), (2015).*

### Figura 33

Valores del factor  $Z$  en función de la zona sísmica adoptada.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Factor $Z$	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	$\geq 0.50$
Caracterización de peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Nota: Tomado de *NEC-15 Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente*, por Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS), (2015).

La estructura de estudio se encuentra ubicado en una zona sísmica V, cuyo valor factor  $Z = 0,40$ , zona de alto peligro sísmico. Este factor representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño y está expresada como fracción de la aceleración de la gravedad (NEC-SE-DS, 2015).

### Coeficientes de perfil de suelo $F_a$ , $F_d$ y $F_s$

Para poder determinar los coeficientes del perfil de suelo  $F_a$ ,  $F_d$  y  $F_s$ , se debe caracterizar al suelo. De acuerdo con el "Trabajo de integración curricular 2" (realizado en paralelo con este estudio) el suelo en el sitio es tipo C. Las Figuras 34, 35 y 36 muestran los valores utilizados para estos coeficientes.

### Figura 34

Tipo de suelo y factor de sitio  $F_a$

Tipo de perfil de subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.5$
<b>A</b>	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
<b>B</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>C</b>	1.40	1.30	1.25	1.23	<b>1.20</b>	1.18
<b>D</b>	1.60	1.40	1.30	1.25	1.20	1.12
<b>E</b>	1.80	1.40	1.25	1.10	1.00	0.85
<b>F</b>	Según clasificación de los perfiles de suelo					

Nota: Tomado de *NEC-15 Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente*, por Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS), (2015).

El factor  $F_a$  es el coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto, para la zona de estudio el valor de  $F_a$  es 1,20.

### Figura 35

Tipo de suelo y factor de sitio  $F_d$

Tipo de perfil de subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.5$
<b>A</b>	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
<b>B</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>C</b>	1.36	1.28	1.19	1.15	<b>1.11</b>	1.06
<b>D</b>	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
<b>E</b>	2.10	1.75	1.70	1.65	1.60	1.50
<b>F</b>	Según clasificación de los perfiles de suelo					

Nota: Tomado de *NEC-15 Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente*, por Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS), (2015).

El factor  $F_d$  es el factor de amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, para la zona de estudio el valor de  $F_d$  es 1,11.

### Figura 36

*Tipo de suelo y factor de sitio  $F_s$*

Tipo de perfil de subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00
F	Según clasificación de los perfiles de suelo					

*Nota:* Tomado de *NEC-15 Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente*, por *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS)*, (2015).

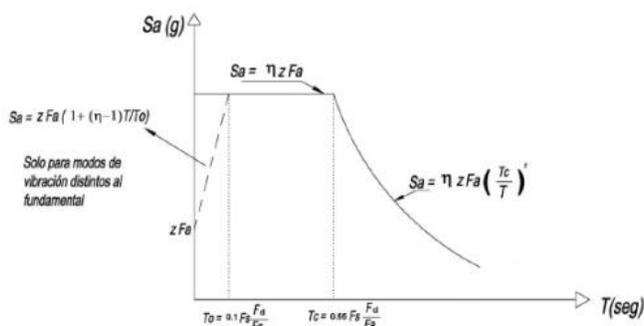
El factor  $F_s$  es el factor de comportamiento no lineal de los suelos, para la zona de estudio el valor de  $F_s$  es 1.11.

### ***Espectro de diseño en aceleración $S_a$***

La Figura 37 muestra el espectro de respuesta elástico de aceleraciones (esto es, el gráfico de la pseudo aceleración espectral  $S_a$  versus el período  $T$  de la estructura) definido por la NEC-15 (NEC-SE-DS, 2015). A continuación, se describe el cálculo de  $S_a$ .

### Figura 37

*Espectro de respuesta elástico de aceleraciones.*



*Nota: Tomado de NEC-15 Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente, por Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS), (2015).*

$\eta$  es la relación entre la aceleración espectral  $S_a$  ( $T = 0.1$  s) y el PGA para el período de retorno seleccionado, varía dependiendo de la región del Ecuador y toma los siguientes valores:

$\eta = 1.80$ : Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas).

$\eta = 2.48$ : Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos.

$\eta = 2.60$ : Provincias del Oriente.

$r$  es el factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto y toma los siguientes valores:

$r = 1$  para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E.

$r = 1.5$  para tipo de suelo E.

$T$  es el período fundamental de vibración de la estructura, este valor es una estimación inicial del período estructural y de acuerdo con la NEC-15 (NEC-SE-DS, 2015) viene dado por

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

$T_c$ ,  $T_0$ , son períodos límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

$$T_c = 0,55 \times F_s \frac{Fd}{Fa} \quad (3)$$

$$T_o = 0,10 \times F_s \frac{Fd}{Fa} \quad (4)$$

$C_t$  es el coeficiente que depende del tipo de edificio este valor está especificado en la norma (NEC-SE-DS, 2015) y  $h_n$  es la altura máxima de la edificación de  $n$  pisos, medida desde la base de la estructura, en metros. Los valores de  $C_t$  y  $\alpha$  dependen del tipo de estructura y vienen dados en la Figura 38.

### Figura 38

Valores de  $C_t$  y  $\alpha$

Tipo de estructura	$C_t$	$\alpha$
<b>Estructuras de acero</b>		
Sin arriostramientos	0.072	0.80
Con arriostramientos	0.073	0.75
<b>Pórticos especiales de hormigón armado</b>		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.90
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Nota: Tomado de *NEC-15 Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente*, por Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS), (2015).

### Factor de reducción de resistencia sísmica R

Este factor permite la reducción de las fuerzas sísmicas de diseño elásticas, permitiendo que las estructuras se diseñen para desarrollar fallas previsibles y ductilidades adecuadas (Espinoza, 2017). La NEC-15 (NEC-SE-15, 2015) establece un coeficiente de reducción de respuesta estructural  $R = 1$  para mampostería no reforzada, limitada a un piso. Sin embargo, para este estudio se usó un valor de  $R=1.5$  en base a la recomendación de

(NEC-SE-VIVIENDA 26-10, 2015). Vale la pena mencionar también que en un estudio similar ejecutado por Espinoza (Espinoza, 2017) se usó un valor de  $R=3$ .

### Figura 39

*Coeficiente de reducción de respuesta estructural (R)*

Sistema Estructural	Materiales	Coeficiente R	Limitación en altura (número de pisos)
Muros Portantes	Adobe y Tapial reforzado	1,5	2
	Bahareque	1,5	2
	Mampostería Reforzada	3	2(b)
	Mampostería Confinada	3	2(b)
	Muro de hormigón reforzado	3	2(b)
	Muros livianos de acero	1,5	2

*Nota: Tomado de NEC-15 Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente, por Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS), (2015).*

### Factor de importancia de la estructura I

Este factor nos permite elevar la demanda sísmica de diseño para estructuras, indica la brevedad en la que la estructura debe estar operativa después de la ocurrencia de un sismo de diseño (Espinoza, 2017). La Tabla 16 muestra los valores del factor I definido en la NEC-15 (NEC-SE-DS, 2015).

Figura 40

Coeficiente de importancia de la estructura.

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

Nota: Tomado de *NEC-15 Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente*, por Norma Ecuatoriana de la Construcción (*NEC-SE-DS*), (2015).

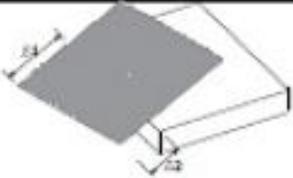
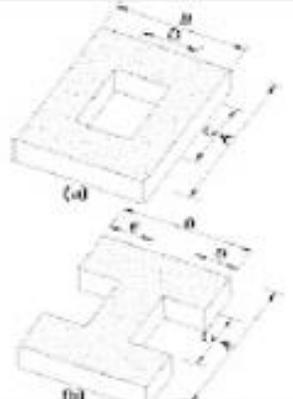
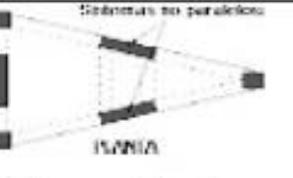
Para el presente estudio se usó un coeficiente de importancia de  $I=1.3$ , ya que, a pesar de ser una instalación militar esta edificación está destinada como un centro de educación militar.

### Irregularidad en planta y elevación

Los coeficientes de configuración estructural penalizan al diseño debido a ser una estructura con irregularidades, que influye en su comportamiento ante un sismo (Espinoza, 2017). En las Figuras 41 y 42 se describen las tipologías de las irregularidades más frecuentes.

Figura 41

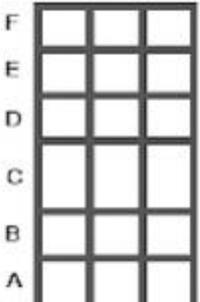
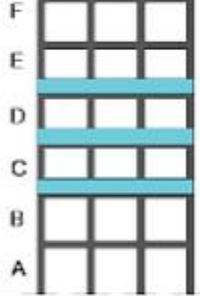
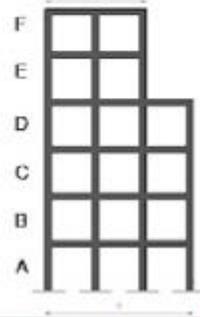
Coeficientes de irregularidad en planta.

<p><b>Tipo 1 - Irregularidad torsional</b>  <math>\phi_T=0.9</math>  <math>\Delta &gt; 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}</math></p> <p>Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</p>	
<p><b>Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas</b> <math>\phi_T=0.9</math>  <math>A &gt; 0.15B</math> y <math>C &gt; 0.15D</math></p> <p>La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	
<p><b>Tipo 3 - Discontinuidades en el sistema de piso</b>  <math>\phi_T=0.9</math>  a) <math>C \times D &gt; 0.5A \times B</math>  b) <math>(C \times D + C \times E) &gt; 0.5A \times B</math></p> <p>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.</p>	
<p><b>Tipo 4 - Ejes estructurales no paralelos</b>  <math>\phi_T=0.9</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	
<p>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.</p>	

Nota: Tomado de NEC-15 Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente, por Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS), (2015).

Figura 42

Coefficientes de irregularidad en elevación.

<p><b>Tipo 1 - Piso flexible</b>  <math>\phi_E=0.9</math>  Rigidez <math>K_L &lt; 0.70</math> Rigidez <math>K_D</math>  Rigidez <math>&lt; 0.80 \frac{(K_D + K_r + K_f)}{3}</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	
<p><b>Tipo 2 - Distribución de masa</b>  <math>\phi_E=0.9</math>  <math>m_D &gt; 1.50 m_E</math> ó  <math>m_D &gt; 1.50 m_C</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p>	
<p><b>Tipo 3 - Irregularidad geométrica</b>  <math>\phi_E=0.9</math>  <math>a &gt; 1.3 b</math></p> <p>La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	
<p>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.</p>	

Nota: Tomado de *NEC-15 Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente*, por *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS)*, (2015).

La estructura de estudio tiene irregularidad tanto en planta como en elevación; en planta tiene una irregularidad tipo 3, discontinuidad en el sistema de piso, con un valor  $\Phi_p=0,9$ .

Mientras que, en elevación la estructura tiene una irregularidad tipo 3, irregular geométrica, con un valor  $\Phi_E=0,9$ .

Una vez que los factores necesarios fueron determinados, se calcula el cortante basal  $V$  debido a la fuerza sísmica. El cortante basal de diseño de acuerdo con la NEC-15 (NEC-SE-DS, 2015) viene dado por la siguiente ecuación:

$$V_{Basal} = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \Phi_P * \Phi_E} * W \quad (6)$$

donde:

- $I$  = Coeficiente de Importancia de la estructura.
- $Sa(Ta)$  = Espectro de diseño en aceleración.
- $W$  = Carga sísmica reactiva.
- $R$  = Factor de reducción de resistencia sísmica  $R$ .
- $\Phi_P, \Phi_E$  = Coeficientes de configuración estructural en planta y elevación.
- $Ta$  = Periodo de vibración

La Tabla 10 resume el cálculo de los parámetros para estimar  $V$ .

**Tabla 10***Parámetros para el cortante basal V*

<b>Parámetro</b>	<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Factor de importancia	I	1,3	s.u
Factor de reducción de respuesta	R	1,5	s.u
Zonificación Sísmica	I-VI	V	
Región del Ecuador		Sierra	
Factor de aceleración de la zona sísmica	Z	0,400	s.u
Relación de amplificación espectral	n	2,480	s.u
Coefficiente Ct	Ct	0,055	s.u
Coefficiente para cálculo del periodo	$\alpha$	0,750	s.u
Altura total del elemento	hn	7,740	m
Período de Vibración	T	0,255	
Tipo de Suelo		C	
Factor de sitio Fa	Fa	1,20	s.u
Factor de sitio Fd	Fd	1,11	s.u
Factor de comportamiento inelástico suelo	Fs	1,11	s.u
Factor asociado al periodo de retorno	r	1,00	s.u
Espectro de respuesta elástico de aceleración	Sa	1,19	s.u
Factor de irregularidad en planta	$\Phi_p$	0,90	s.u
Factor de irregularidad en elevación	$\Phi_E$	0,90	s.u
Periodo límite de vibración (To)	To	0,10	seg.
Periodo límite de vibración (Tc)	Tc	0,56	seg.
Periodo límite de vibración (TL)	TL	2,66	seg.

Por lo tanto, para la estructura del Edificio Patrimonial 1 se tiene un cortante basal de

$$V_{basal} = \frac{1,3 * 1,19}{1,5 * 0,9 * 0,9} * W$$

$$V_{basal} = 1,274 W$$

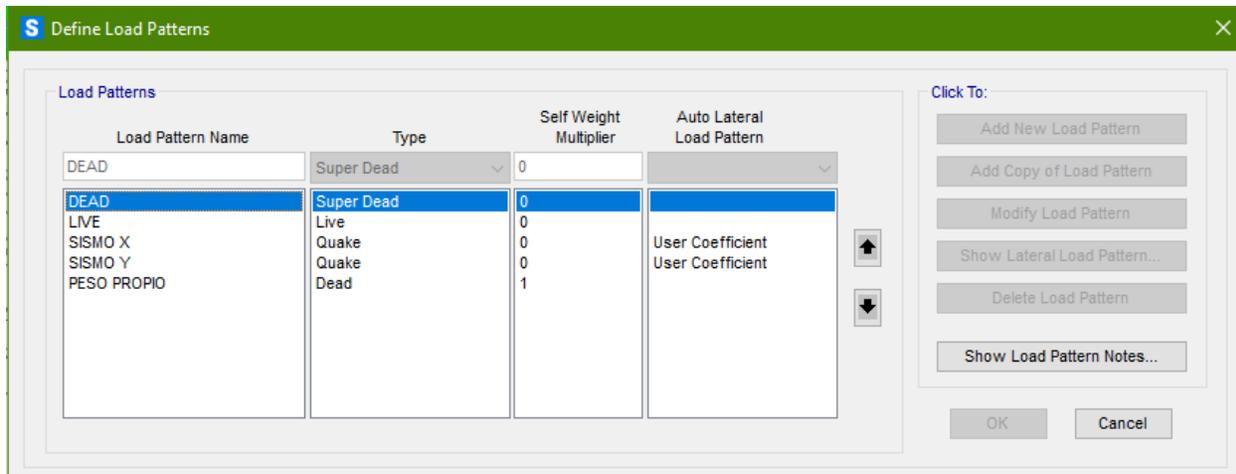
El valor obtenido de 1.274 es ingresado en el programa como coeficiente para las componentes de sismo en sentido X e Y, correspondientes al análisis estático.

### Asignación de los estados de cargas

La Figura 43 muestra los cinco estados de carga considerados en este estudio. Estos estados son: 1) carga muerta (DEAD), 2) carga viva (LIVE), 3) carga sísmica estática en dirección X (SISMO X), 4) carga sísmica estática en dirección Y (SISMO Y), y 5) el peso propio de los elementos Frame y Shell (PESO PROPIO).

**Figura 43**

*Estados de carga.*



Los valores de la carga muerta fueron definidos en las Tablas 6, 7 y 8. Mientras que, los valores de la carga viva fueron definidos en la Tabla 9. El peso propio se calculó

automáticamente usando la opción “Self Weight Multiplier” igual a 1. Para la fuerza sísmica se utilizó la opción “User Coefficient” que permite ingresar el valor del coeficiente sísmico.

La Figura 44 presenta, como ejemplo, el ingreso de la carga viva a una armadura de la cubierta, el valor a ingresar fue de 112 kg/m. Este valor es el resultado de multiplicar el valor de carga viva para cubierta 70 kg/m<sup>2</sup> (ver Tabla 9), por el área colaborante de 1.60 m, que es la distancia que existe entre cada armadura de la cubierta.

#### Figura 44

*Valor de la carga viva en las armaduras de la cubierta.*

The image shows a software dialog box titled "Assign Frame Distributed Loads". It is divided into several sections:

- General:** Contains four dropdown menus: "Load Pattern" (VIVA), "Coordinate System" (GLOBAL), "Load Direction" (Gravity), and "Load Type" (Force).
- Options:** Contains three radio buttons: "Add to Existing Loads", "Replace Existing Loads" (which is selected), and "Delete Existing Loads".
- Uniform Load:** A text input field containing the value "112" followed by the unit "kgf/m".
- Trapezoidal Loads:** A table with four columns labeled 1, 2, 3, and 4.
 

	1.	2.	3.	4.
Relative Distance	0	0.25	0.75	1
Loads	0	0	0	0

 Below the table are two radio buttons: "Relative Distance from End-I" (selected) and "Absolute Distance from End-I".
- Buttons:** At the bottom, there is a "Reset Form to Default Values" button, and three buttons: "OK", "Close", and "Apply".

La Figura 45 muestra el ingreso de la carga sísmica en las direcciones X e Y. Como se puede observar el valor del coeficiente sísmico fue igual en ambas direcciones a 1.247 veces el valor del peso de toda la estructura. El cálculo de este coeficiente se muestra en la Tabla 10.

Figura 45

Valor del cortante basal V. a) Sentido X, b) Sentido Y.

**User Defined Seismic Load Pattern**

**Load Direction and Diaphragm Eccentricity**

- Global X Direction
- Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

**Other Factors**

Base Shear Coefficient, C

Building Height exp., K

**Lateral Load Elevation Range**

- Program Calculated
- User Specified

Max Z

Min Z

(a)

**User Defined Seismic Load Pattern**

**Load Direction and Diaphragm Eccentricity**

- Global X Direction
- Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

**Other Factors**

Base Shear Coefficient, C

Building Height exp., K

**Lateral Load Elevation Range**

- Program Calculated
- User Specified

Max Z

Min Z

(b)

## Capítulo IV: Resultados

### Introducción

En este capítulo se muestran los resultados del análisis estático y lineal ejecutado en la estructura del Edificio Patrimonial 1 de la Academia de Guerra del Ejército. Los resultados que se muestran son: los períodos de vibración, las derivas de piso y los esfuerzos actuantes en la mampostería; estos resultados fueron obtenidos desde el programa computacional SAP 2000 (Computers and Structures, 2024).

### Periodos de vibración

La Tabla 11 muestra los tres primeros modos de vibración de la estructura estudiada. Además, en la tabla se muestran la relación de participación de masa modal. Se puede observar en la tabla que la estructura vibra en el primer modo principalmente en dirección X. En el segundo modo vibra en dirección X con un acoplamiento rotacional, y finalmente en el tercer modo vibra en dirección Y con un acoplamiento en rotación significativo. Lo anterior indica que la estructura analizada es irregular y presenta torsión en planta.

**Tabla 11**

*Periodos de vibración y relación de participación de masa modal.*

Modal	Periodos (s)	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
1	0,479192	0,006055	9,857E-06	2,201E-09	8,953E-09	2,608E-06	7,9E-05
2	0,361582	0,034305	0,001447	1,968E-09	1,4E-05	4,1E-05	0,023879
3	0,35314	0,000143	0,175606	2,863E-06	0,020217	2,723E-07	0,174516

## Derivas de piso

La deriva de piso se define mediante la relación que existe entre el desplazamiento relativo del piso y la altura del mismo piso. La NEC-15 (NEC-SE-DS, 2015) define a la deriva de piso como el desplazamiento lateral relativo de un piso dividido para la altura de ese piso; el desplazamiento lateral relativo se mide en dos puntos ubicados en la misma línea vertical de la estructura. Consecuentemente, la deriva de piso viene dada por:

$$\Delta_i = \frac{\delta_{i+1} - \delta_i}{h_i} \quad (6)$$

Donde:

$\Delta_i$  = Deriva de piso i

$\delta_{i+1}$  = Desplazamiento lateral del piso superior

$\delta_i$  = Desplazamiento lateral del piso inferior

$h_i$  = Altura del piso i considerado

De acuerdo con la NEC-15 (NEC-SE-DS, 2015) la revisión del cumplimiento de las derivas en cada piso debe realizarse con las derivas inelásticas. Para tal efecto, las derivas elásticas obtenidas con la Ecuación 6 deben incrementarse utilizando la Ecuación 7 (NEC-SE-DS, 2015):

$$\Delta_M = 0,75 * R * \Delta_E \quad (7)$$

Donde:

$\Delta_M$  = Deriva máxima inelástica

$R$  = Factor de reducción de resistencia

$\Delta_E$  = Deriva elástica de entrepiso

Finalmente, según la NEC-15 (NEC-SE-DS, 2015), la deriva de piso inelástica no debe exceder los valores de la deriva de piso inelástica máxima ( $\Delta_{M \text{ máx.}}$ ) mostrados en la Tabla 21.

**Tabla 12**

*Valores de la deriva de piso inelástica máxima*

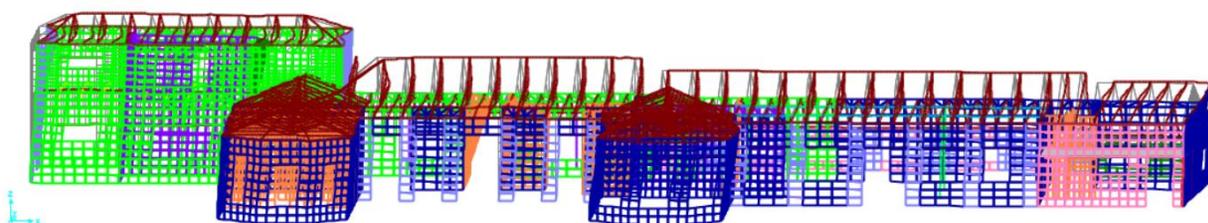
<b>Tipo de estructura</b>	$\Delta_M$ máx.
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0,02
De mampostería	0,01

*Nota: Tomado de NEC-15 Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente, por Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS), (2015).*

La Figura 46 muestra la deformada de la estructura debido a la carga sísmica aplicada en dirección X. En la Tabla 12 se muestran los desplazamientos en dirección X medidos en el nudo 936 del primer piso del Bloque A y en el nudo 956 del segundo piso del mismo bloque. Vale la pena resaltar que ambos nudos están en una misma línea vertical.

**Figura 46**

*Deformada de la estructura debido a cargas sísmica en dirección X*



**Tabla 13**

*Desplazamiento de la estructura debido a cargas sísmica en dirección X.*

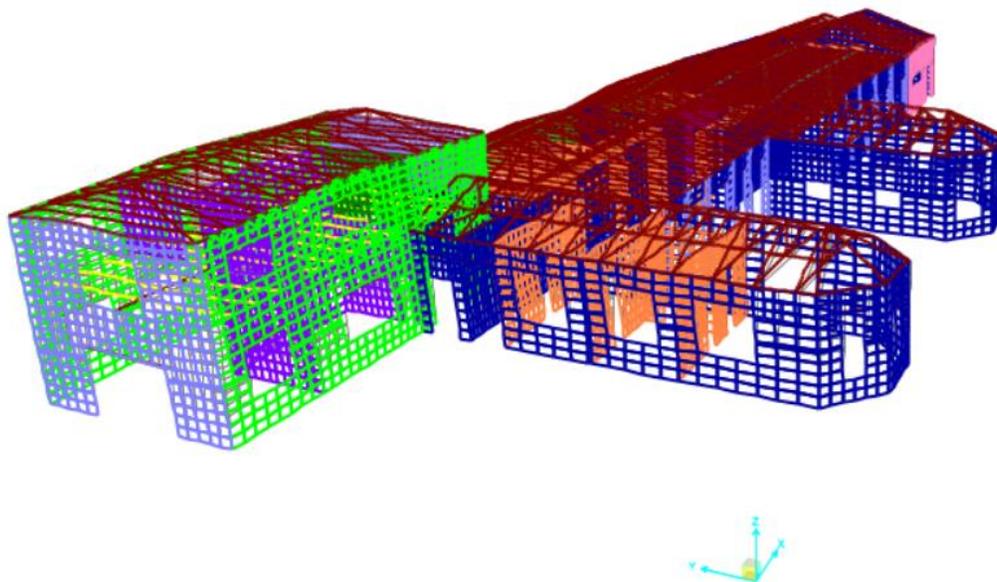
	<b>Desplazamiento X (m)</b>	$\Delta_i$ (%)	$\Delta_M$ (%)
h= 4,60 m (Nudo 936)	0,0323	0,70	0,79
h= 7,74 m (Nudo 956)	0,0455	0,42	0,47

La Tabla 13 muestra que el valor de las derivas tanto en el primer piso como en el segundo piso son menores que la deriva máxima permitida por la NEC-15 (NEC-SE-DS, 2015), para edificaciones de mampostería la cual es en porcentaje 1% (ver Tabla 12). Vale la pena mencionar que las dos alas de la estructura no se deformaron la misma cantidad. Por ejemplo, el Ala A, en el eje E de la Figura 46, se deformó 0.0243 m. Mientras, que el Ala B, en el mismo eje, se deformó 0.0447 m. Lo anterior se explica debido a la existencia de mampostería interna en el ala designada para oficinas (Ala A) y la inexistencia de estos en el ala del ex dormitorio presidencial (Ala B), por lo que el ala de oficinas es más rígida.

La Figura 47 muestra la deformada de la estructura debida a la carga sísmica aplicada en dirección Y. En la Tabla 14 se muestran los desplazamientos en dirección Y medidos en los mismos nudos anteriores.

**Figura 47**

*Deformada de la estructura debido a cargas sísmica en dirección Y*

**Tabla 14**

*Desplazamientos de la estructura debido a cargas sísmica en dirección Y.*

	<b>Desplazamiento Y (m)</b>	$\Delta_i$ (%)	$\Delta_M$ (%)
h= 4,60 m (Nudo 936)	0,0428	0,93	1,05
h= 7,74 m (Nudo 956)	0,0662	0,75	0,84

La Tabla 14 muestra la deriva en sentido Y, en el primer piso, es ligeramente mayor que el valor máximo establecido en la NEC-15 (NEC-SE-DS, 2015), para estructuras de mampostería.

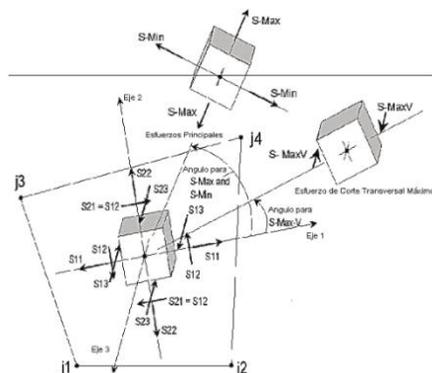
### **Esfuerzos en la mampostería**

En los elementos Shell los esfuerzos que se generan son definidos como: S11, S22, S12, S13 y S23. La numeración de cada esfuerzo depende de la cara del elemento donde

actúa el esfuerzo y la dirección con respecto a los ejes de coordenadas locales. Por ejemplo,  $S_{ij}$  es el esfuerzo en la cara “i” y en la dirección del eje local “j”. La Figura 39 muestra los esfuerzos en los elementos Shell que se obtienen desde el programa computacional SAP 2000 (Computers and Structures, 2024). Como se puede observar en la figura, además de los esfuerzos en las caras del elemento, el programa reporta los esfuerzos principales ( $S_{max}$  y  $S_{min}$ ) y los esfuerzos cortantes máximos ( $S_{MaxV}$ ). Vale la pena mencionar que en el programa computacional SAP 2000 (Computers and Structures, 2024) un esfuerzo negativo representa compresión y un esfuerzo positivo representa tracción.

### Figura 48

*Esfuerzos del elemento Shell.*



Nota: Tomado de *evaluación estructural de la Edificación Patrimonial Estupiñán Orejuela de la ciudad de Quito*, por Espinoza Larrea Leonardo Sebastián (2017), Repositorio ESPE.

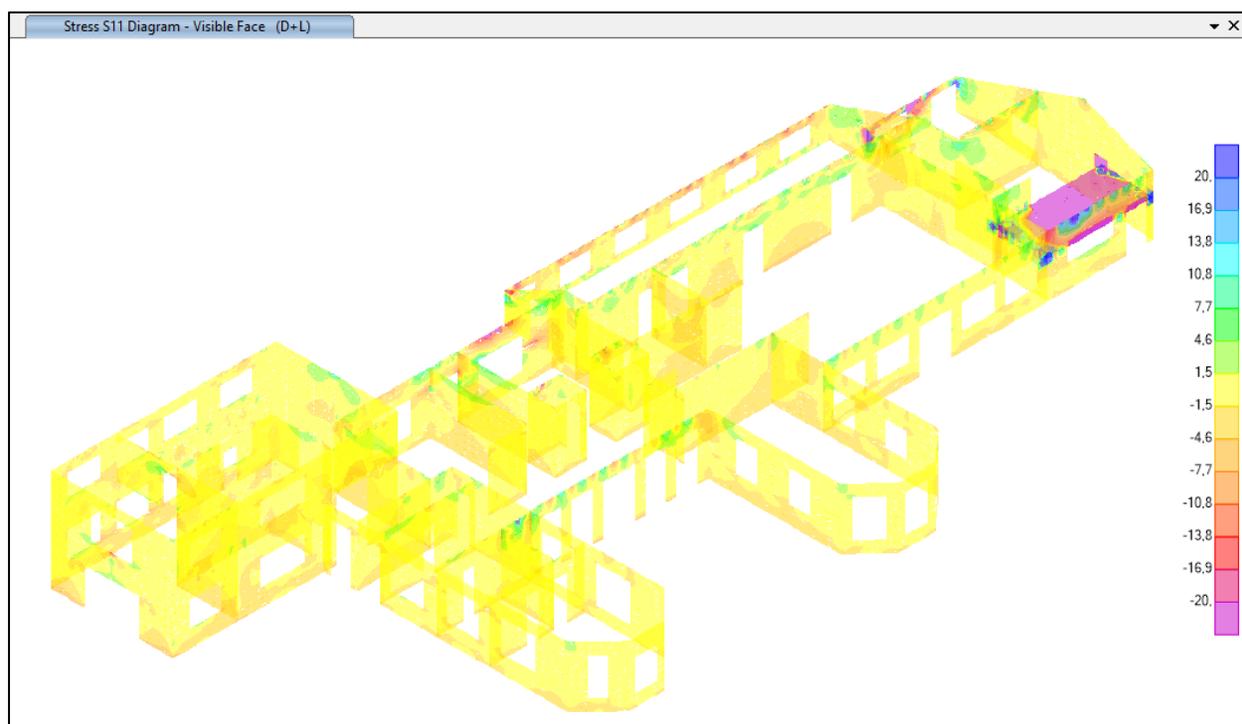
Para identificar que la mampostería se encuentre trabajando dentro de rangos razonables de seguridad, los esfuerzos actuantes se compararon con los esfuerzos admisibles para el adobe definidos en la Tabla 3 del Capítulo 2.

La Figura 49 muestra los esfuerzos  $S_{11}$ ,  $S_{22}$  y  $S_{12}$  en la mampostería debidos a la combinación de carga muerta y carga viva (D+L), como ayuda en la figura se muestra una escala de esfuerzos en colores (en  $\text{ton}/\text{m}^2$ ) para facilitar la identificación de la intensidad de los esfuerzos. Se puede observar que los esfuerzos debido a la carga gravitacional (D+L) son

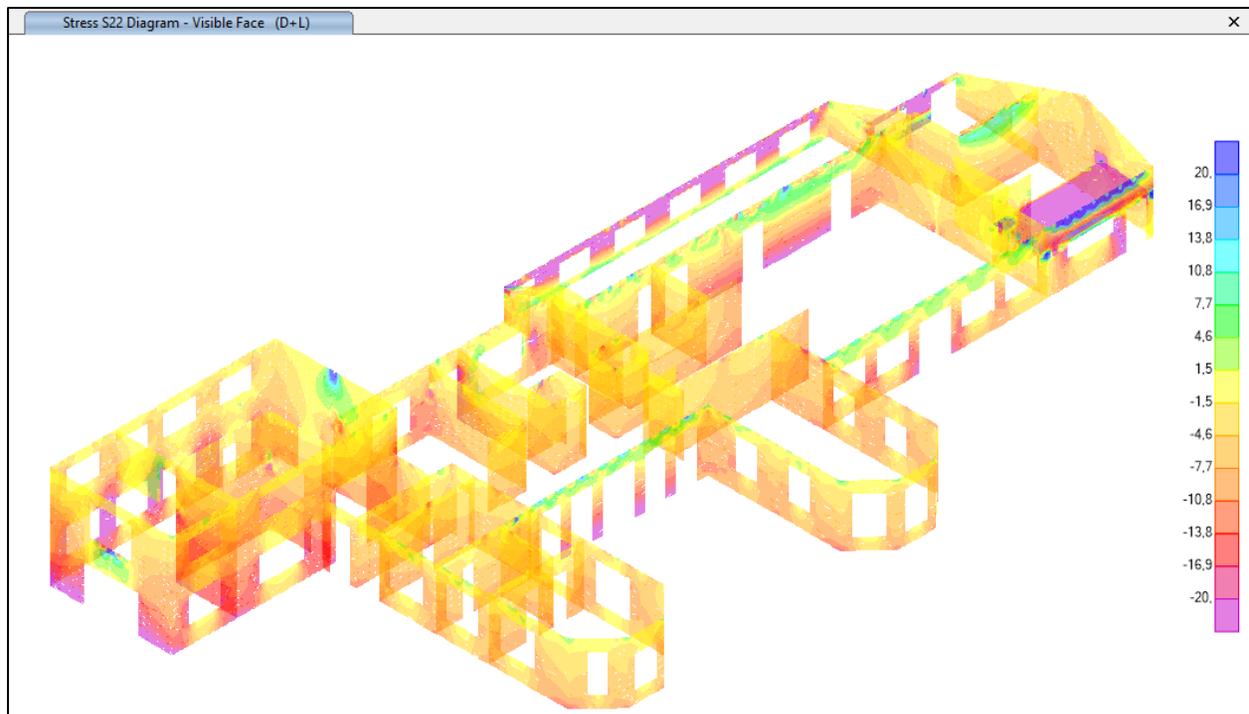
pequeños y están dentro de los límites establecidos en la Tabla 3. El máximo esfuerzo de compresión se obtuvo en la componente S22 y fue aproximadamente 18 ton/m<sup>2</sup> (ver Figura 40 b, Bloque A) que es menor que el esfuerzo admisible de 20 ton/m<sup>2</sup> (ver Tabla 3). Vale la pena mencionar que en la Figura 49 no se han mostrado los esfuerzos S13 y S23 ya que son valores muy pequeños.

### Figura 49

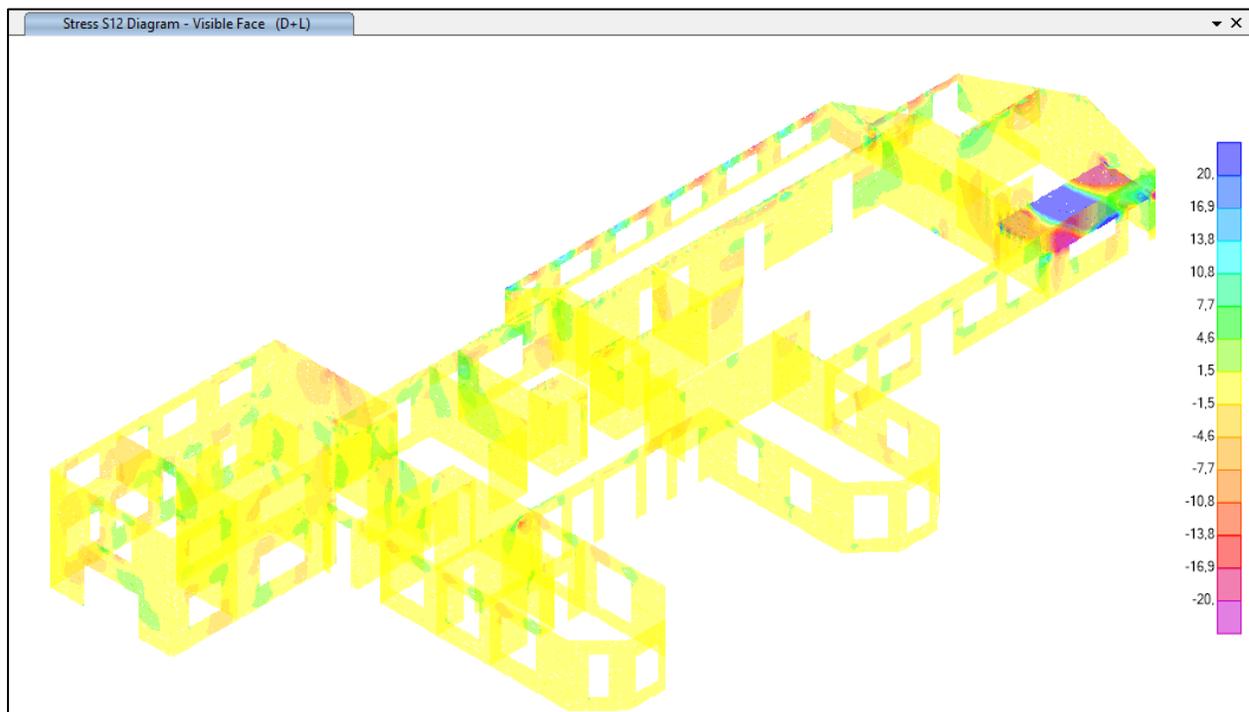
*Esfuerzos de la mampostería – Combinación de carga D+L. a) S11, b) S22, c) S12.*



(a) S11



(b) S22

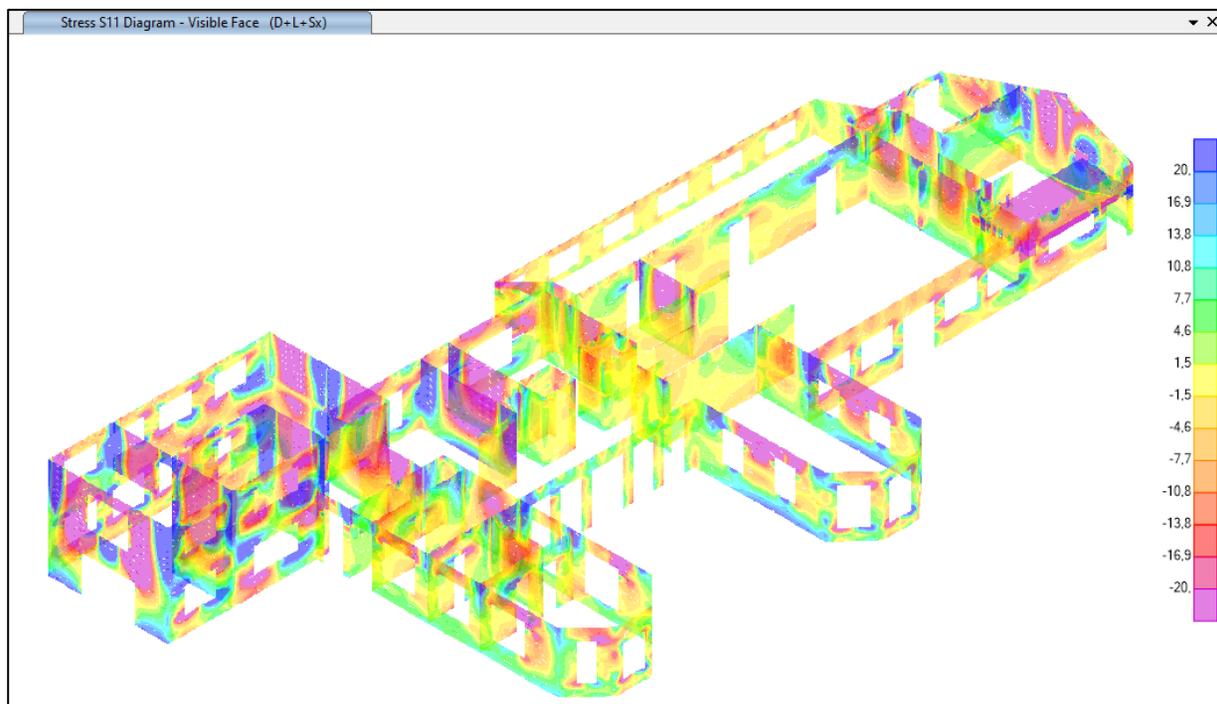


(c) S12

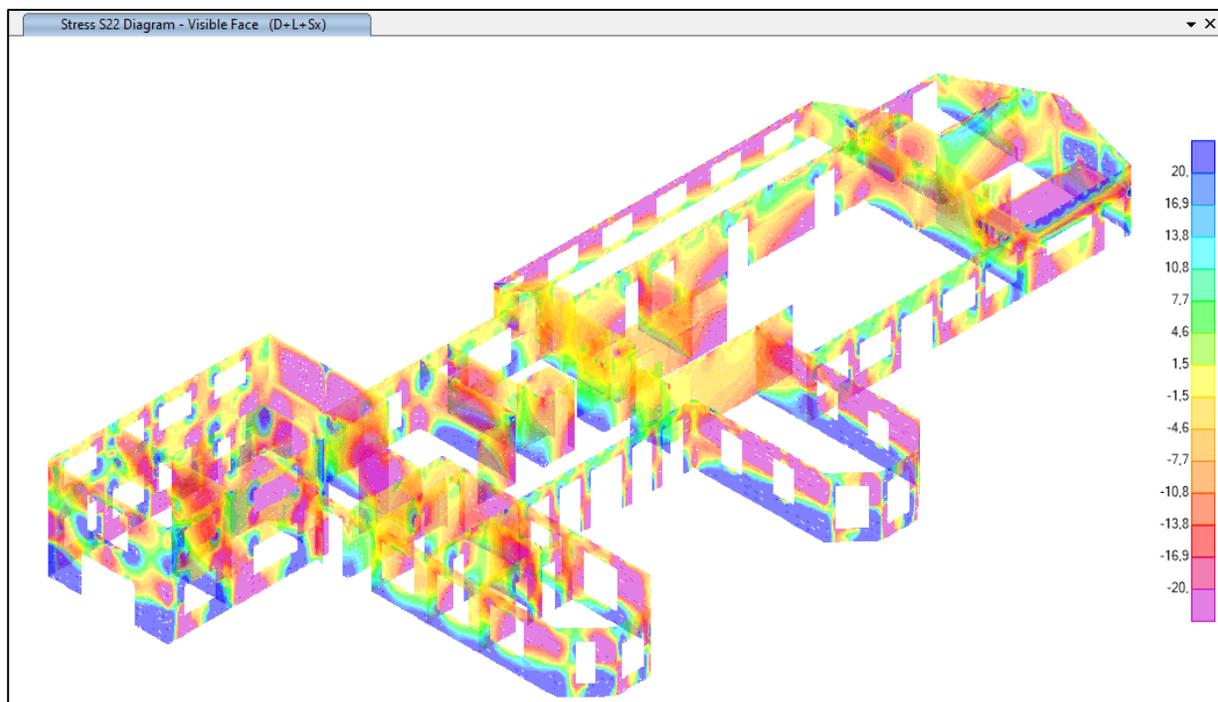
La Figura 50 muestra los esfuerzos en la mampostería debidos a la combinación de carga muerta, carga viva y sismo en la dirección X ( $D + L + S_x$ ). Se puede observar que cuando se incluye el sismo los esfuerzos en la mampostería se incrementan significativamente. Por ejemplo, para la mampostería ubicada en el Bloque A, fachada frontal, el esfuerzo  $S_{22}$  llega a aproximadamente  $80 \text{ ton/m}^2$  en tracción (este esfuerzo se muestra en color azul en la figura), valor que es mucho mayor que el esfuerzo admisible a tracción definido en la Tabla 3. Igualmente, el esfuerzo cortante  $S_{12}$  para la mampostería ubicada en el Bloque A, eje C de la Figura 22, alcanza un valor de aproximadamente  $35 \text{ ton/m}^2$  (este esfuerzo se muestra en color violeta en la figura) valor que supera al esfuerzo admisible a cortante de la Tabla 3. Lo anterior demuestra la necesidad de realizar un estudio de reforzamiento de la estructura, con el fin de disminuir los esfuerzos actuantes.

### Figura 50

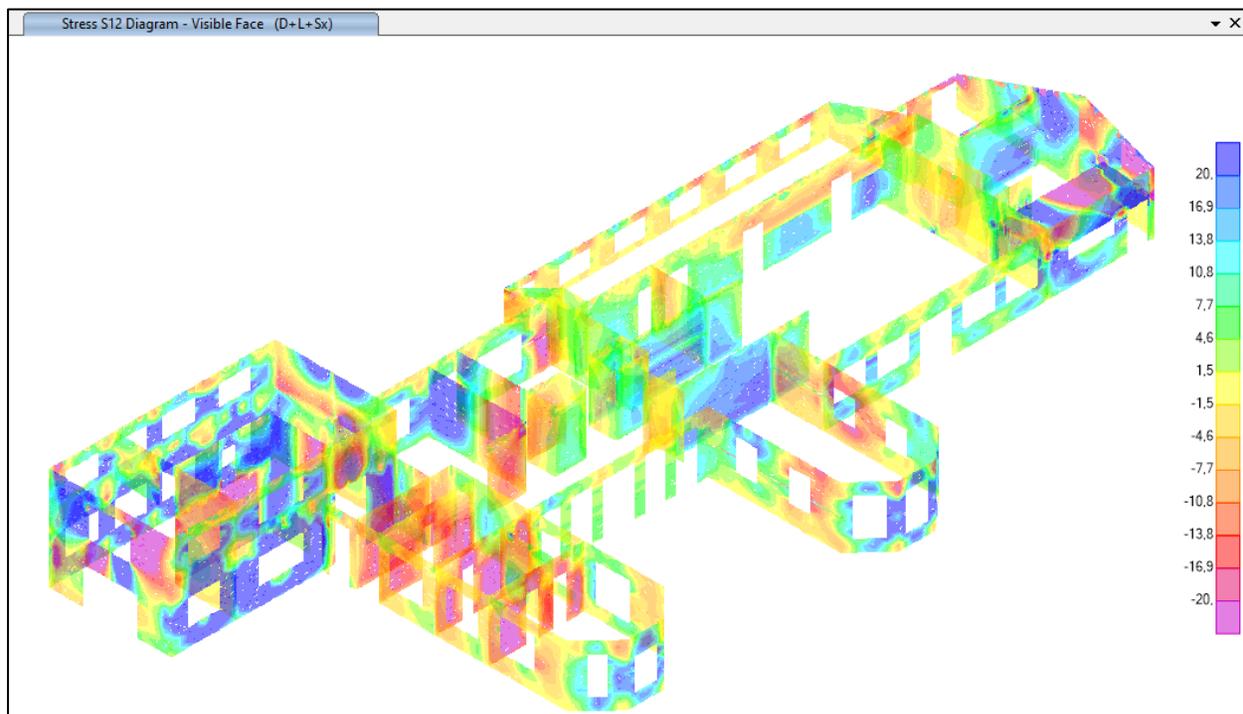
*Esfuerzos de la mampostería – Combinación  $D+L+S_x$ . a)  $S_{11}$ , b)  $S_{22}$ , c)  $S_{12}$ .*



(a)  $S_{11}$



(b) S22



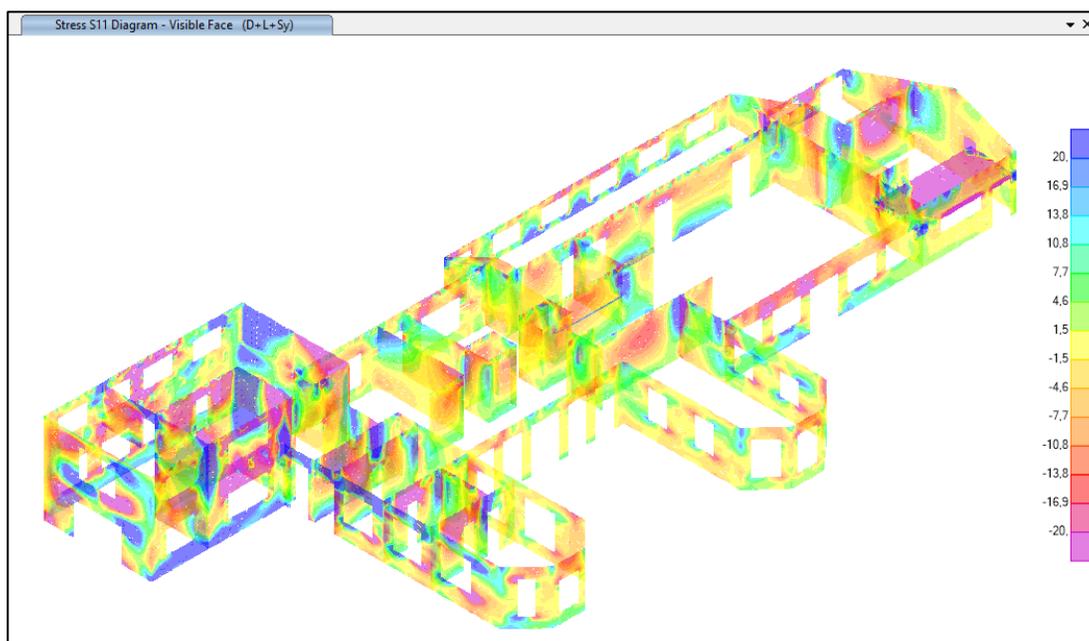
(c) S12

La Figura 51 muestra los esfuerzos en la mampostería debidos a la combinación de carga muerta, carga viva y sismo en la dirección Y ( $D + L + S_y$ ). Se puede observar que, al igual que el caso con sismo en X, cuando se incluye el sismo en dirección Y los esfuerzos en la mampostería se incrementan significativamente. Por ejemplo, para la mampostería ubicada en el Bloque A, fachada lateral izquierda, el esfuerzo S22 llega a aproximadamente  $95 \text{ ton/m}^2$  en tracción (este esfuerzo se muestra en color azul en la figura), valor que es mucho mayor que el esfuerzo admisible a tracción definido en la Tabla 3. De igual manera, el esfuerzo cortante S12 para la mampostería ubicada en el Bloque A, eje 9, alcanza un valor de aproximadamente  $30 \text{ ton/m}^2$  en la base (este esfuerzo se muestra en color fucsia en la figura) valor que supera al esfuerzo admisible a cortante de la Tabla 3. Lo anterior vuelve a ratificar la necesidad de un estudio de reforzamiento de la estructura con el fin de bajar los esfuerzos actuantes.

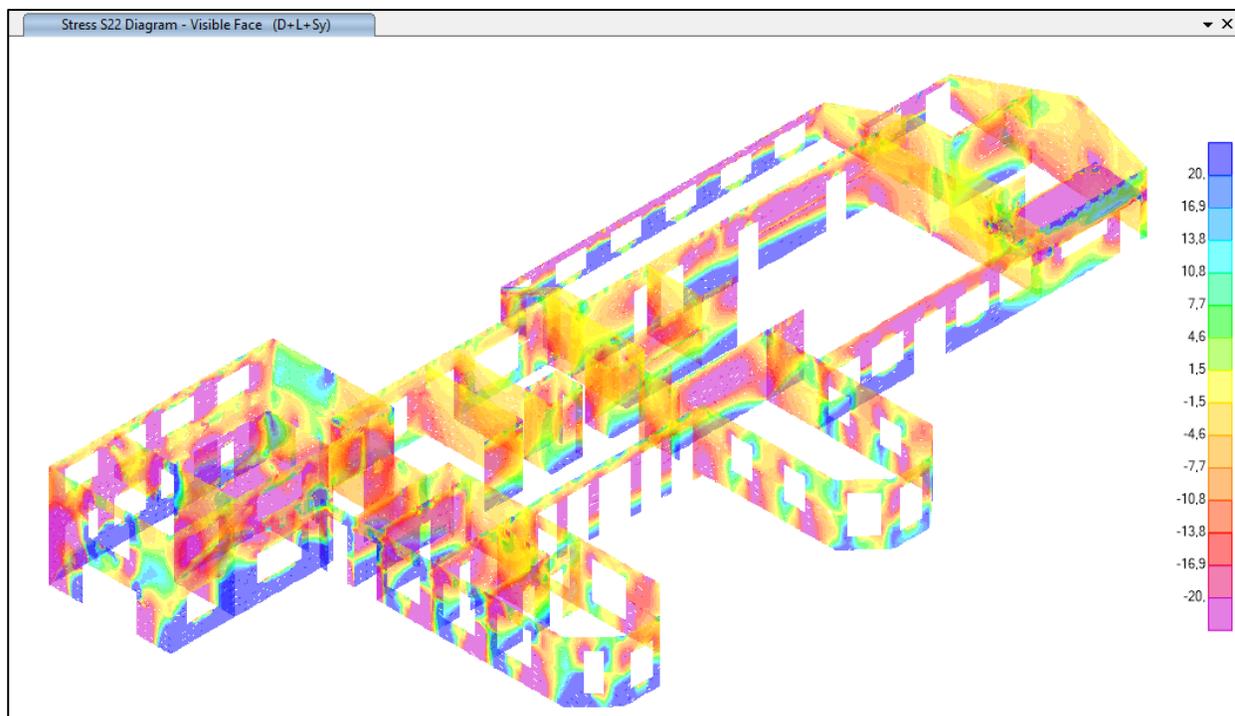
En el apéndice se muestran los esfuerzos actuantes en la fachada posterior de la estructura.

### Figura 51

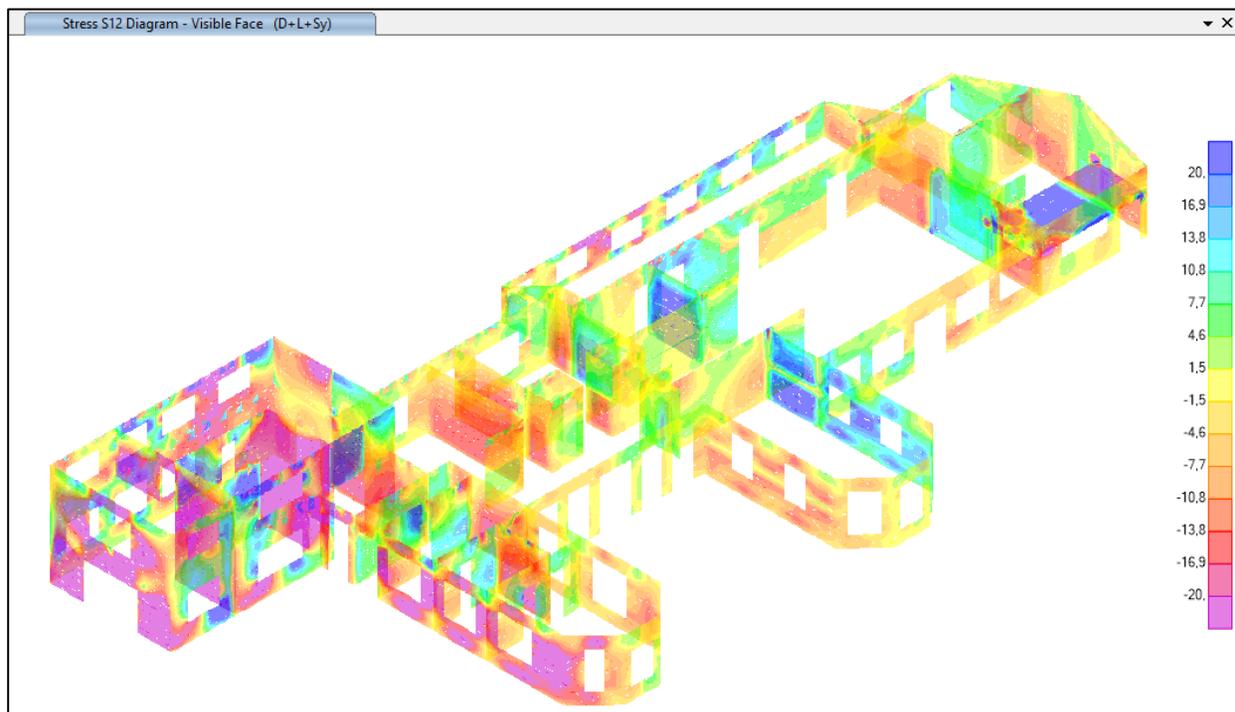
*Esfuerzos de la mampostería – Combinación D+L+S<sub>y</sub>. a) S11, b) S22, e) S12.*



(a) S11



(b) S22



(c) S12

## Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones

El trabajo de integración curricular desarrollado consistió en la elaboración de un modelo analítico de la estructura del Edificio Patrimonial 1 de la Academia de Guerra del Ejército en el programa computacional SAP2000. Además, se realizó un análisis estático y lineal de la estructura considerando la norma actual de construcción en Ecuador, esto es, la NEC-15. Finalmente, los resultados de los períodos, las derivas de piso y los esfuerzos en la mampostería, obtenidos del análisis estructural, se compararon con los valores admisibles recomendados en la literatura técnica.

### Conclusiones

A partir de los resultados de los períodos y relación de participación de la masa en cada modo se puede concluir que la estructura vibra en el primer modo en dirección X. En el segundo modo vibra en dirección X con un acoplamiento rotacional, y finalmente en el tercer modo vibra en dirección Y con un acoplamiento rotacional significativo. Lo anterior indica que la estructura analizada es irregular y presenta torsión en planta.

El período fundamental de la estructura fue  $T = 0.48$  s. Este valor es bastante mayor que el que se podría esperar para una estructura rígida, como son las estructuras de adobe. El aumento en el período se podría explicar porque la estructura analizada es bastante flexible, debido a que es muy alargada en dirección longitudinal.

Las derivas de entrepiso calculadas mostraron que ante cargas sísmicas en dirección X, la estructura no superó el valor máximo admisible para la deriva. Mientras que, ante cargas sísmicas en dirección Y está ligeramente mayor (un 5% mayor) que el valor máximo admisible para la deriva de estructuras de mampostería recomendado por la NEC-15. Vale la pena mencionar que las dos alas de la estructura no se deformaron la misma cantidad debido a la

existencia de mampostería interna en el ala designada para oficinas (Ala A) y la inexistencia de estos en el ala del ex dormitorio presidencial (Ala B), por lo que el ala de oficinas es más rígida.

Los esfuerzos calculados en la mampostería indican que, ante cargas gravitacionales, los valores están debajo de los esfuerzos admisibles establecidos en la norma Peruana E080 (Tabla 3). Sin embargo, al incluir las fuerzas sísmicas los esfuerzos aumentaron significativamente en toda la estructura, y en varios sectores llegaron a ser mayores que los esfuerzos admisibles recomendados por la norma E080. Por lo tanto, se concluye que la estructura del Edificio Patrimonial 1 es vulnerable ante un evento sísmico severo en el futuro.

### **Recomendaciones**

Debido a que la estructura del Edificio Patrimonial 1 es vulnerable ante un evento sísmico severo, se recomienda realizar un estudio de reforzamiento de la estructura, con el fin de disminuir los esfuerzos actuantes a valores recomendados en la literatura técnica. El reforzamiento permitirá conservar el bien patrimonial en el futuro.

Se recomienda dar un mantenimiento a las armaduras de la cubierta, con el fin de reemplazar elementos que presenten deflexiones excesivas (como los mostrados en la Figura 17) o elementos que presenten deterioro de la madera.

Conviene verificar siempre en la obra los planos arquitectónicos elaborados debido a posibles diferencias que se encuentran en las dimensiones de las mamposterías.

## Bibliografía

- Chacón, J., Suquillo, B., Sosa, D., & Celi, C. (2021). Evaluation and reinforcement of an adobe heritage structure with plan irregularities. *Revista Politecnica*, 47(1), 43–56.  
<https://doi.org/10.33333/rp.vol47n1.05>
- Computers and Structures, Inc. (2024). *SAP2000* (24.1.0).
- Delgado, C. (2016). *Parámetros para la elaboración del manual de fiscalización para edificaciones patrimoniales en la ciudad de Quito*.
- Espinoza, L. S. (2017). *Evaluación estructural de la edificación patrimonial Estupiñan Orejuela de la ciudad de Quito*.
- Manitio, G., & Vásquez, S. (2013). *Estudio de vulnerabilidad y reforzamiento estructural de un inmueble patrimonial del distrito metropolitano de Quito*. Escuela Politécnica Nacional.
- NEC-SE-15. (2015). *NEC-SE-15*.
- NEC-SE-CG. (2015). *NEC-SE-CG. Cargas (No sísmicas)*.
- NEC-SE-DS. (2015). *NEC-SE-DS Diseño sismo resistente*.
- NEC-SE-HM. (2015). *ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO*.
- NEC-SE-MD. (2015). *NEC-SE-MD (Estructuras de madera)*.
- NEC-SE-VIVIENDA 26-10. (2015). *CPE INEN-NEC-SE-VIVIENDA 26-10*.
- Norma E.080. (2017a). *MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO - DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA*.
- Norma E.080. (2017b, marzo). *Norma técnica de edificación*.
- Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales. (1984). *Manual de diseño para maderas del grupo andino* (Junta del acuerdo de Cartagena, Ed.).

Yajamin, A., & Valencia, A. (2008). *Análisis del reforzamiento estructural de una edificación de tipo patrimonial aplicación del estudio en la residencia IBARRA-CAMACHO construida en 1930*. ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO.

## Apéndice