



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



## 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

### **EVALUACIÓN SÍSMICA DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN PATRIMONIAL 1 EN LA ACADEMIA DE GUERRA DEL EJÉRCITO – FASE MODELACIÓN ANALÍTICA**

AUTORES:

Cárdenas Reyes, Galo Fernando

Sánchez Guillén, María Belén

TUTOR:

Ing. Cando Loachamin, Antonio, Ph.D.

Sangolquí, marzo 2023

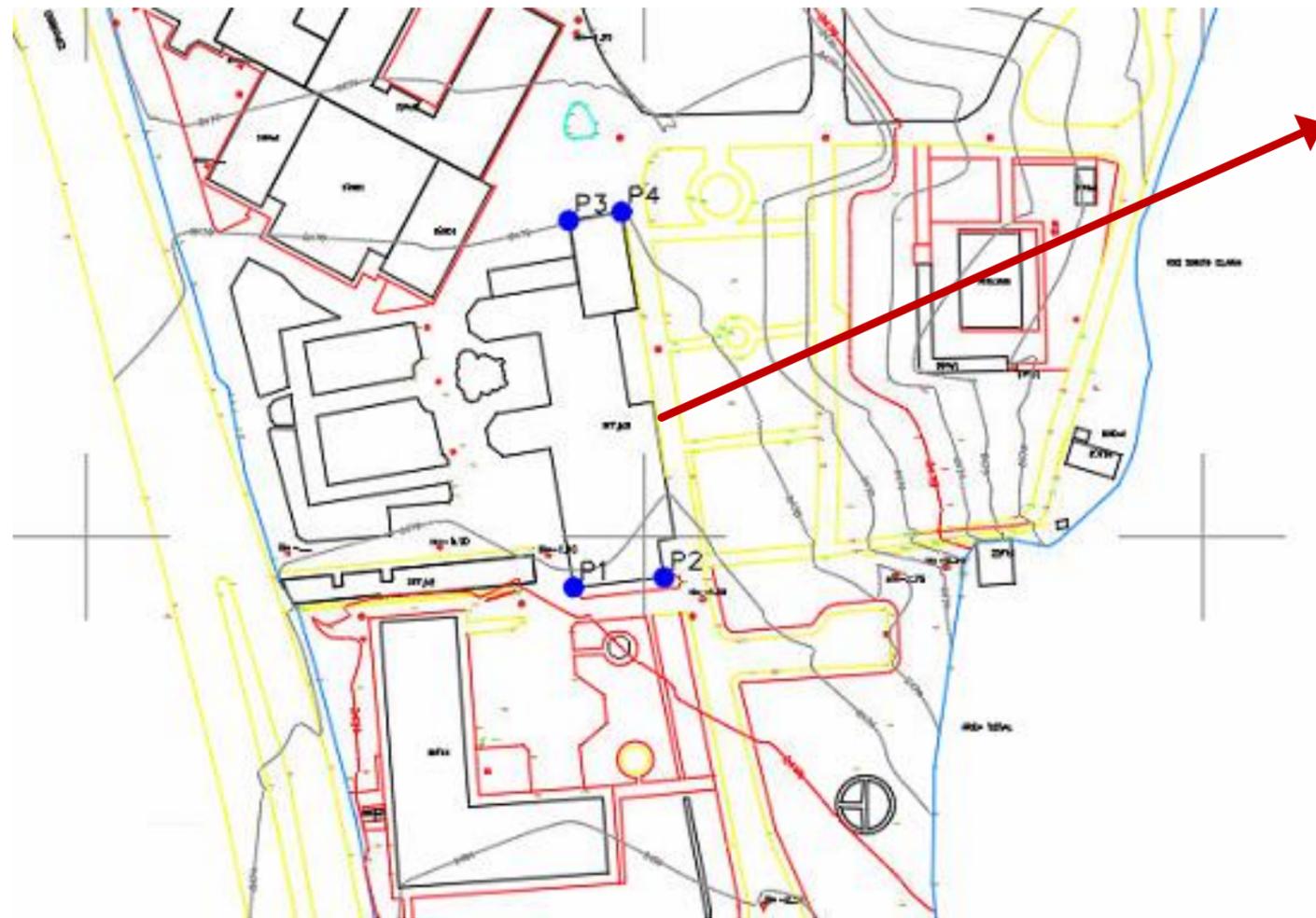


## ANTECEDENTES

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



## Edificio Patrimonial 1



**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

*Nota: Elaboración propia.*

## Fachada Lateral Derecha



## Fachada Frontal



## Fachada Lateral Izquierda



## Fachada Posterior



## Objetivo General

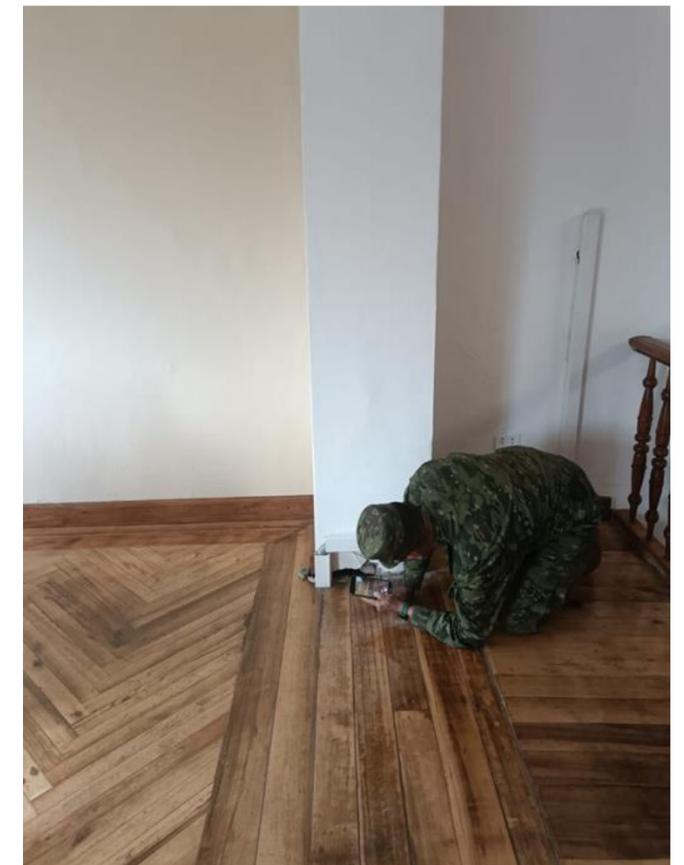
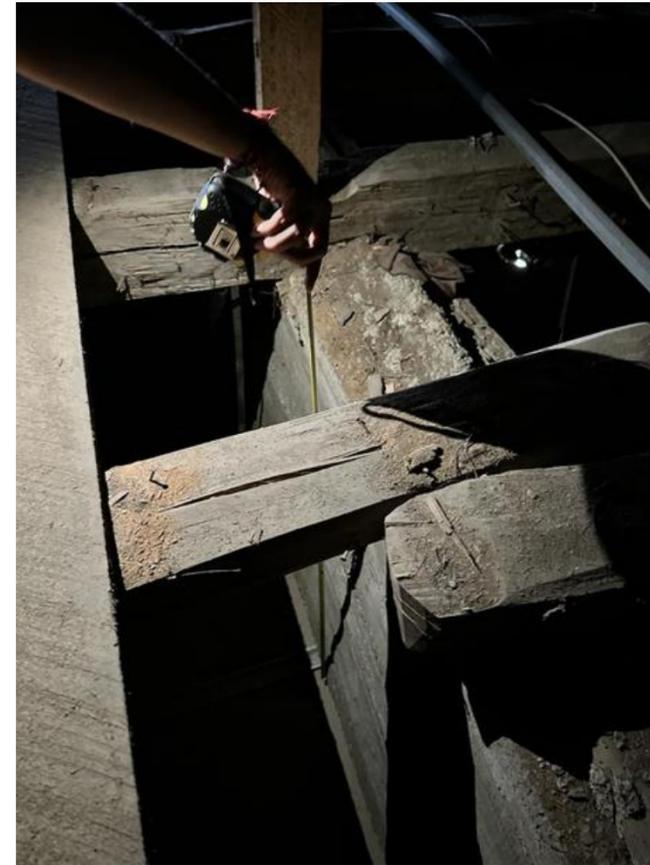
Evaluar la vulnerabilidad sísmica de la Edificación Patrimonial 1 de la Academia de Guerra del Ejército usando un análisis elástico y lineal.

## 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.

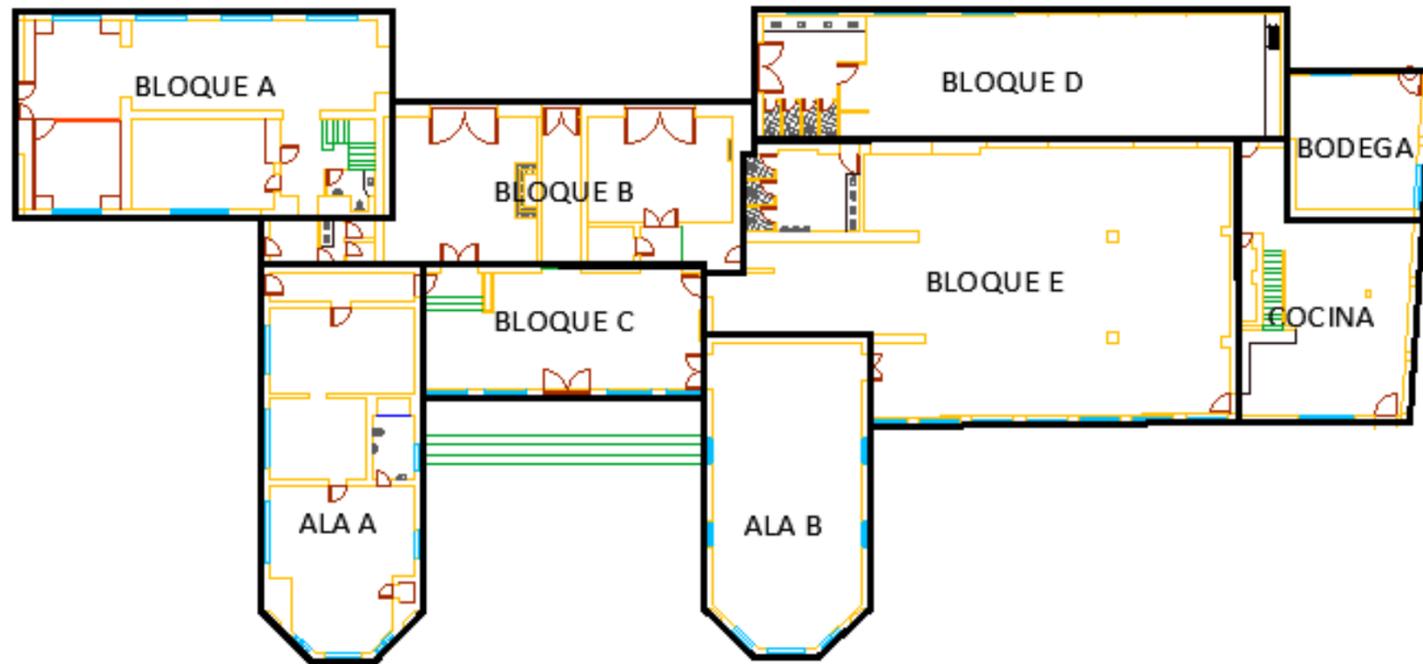
## Metodología de Trabajo

- Comprobación de medidas en campo.
- Identificación de materiales.
- Determinación de propiedades mecánicas de cada material.
- Creación de geometría de la estructura.
- Implementación de elementos finitos.
- Se elaboró un modelo analítico elástico y lineal utilizando el programa computacional SAP 2000.
- Análisis de resultados.



# Características del inmueble

Área de 1378,57 m<sup>2</sup>



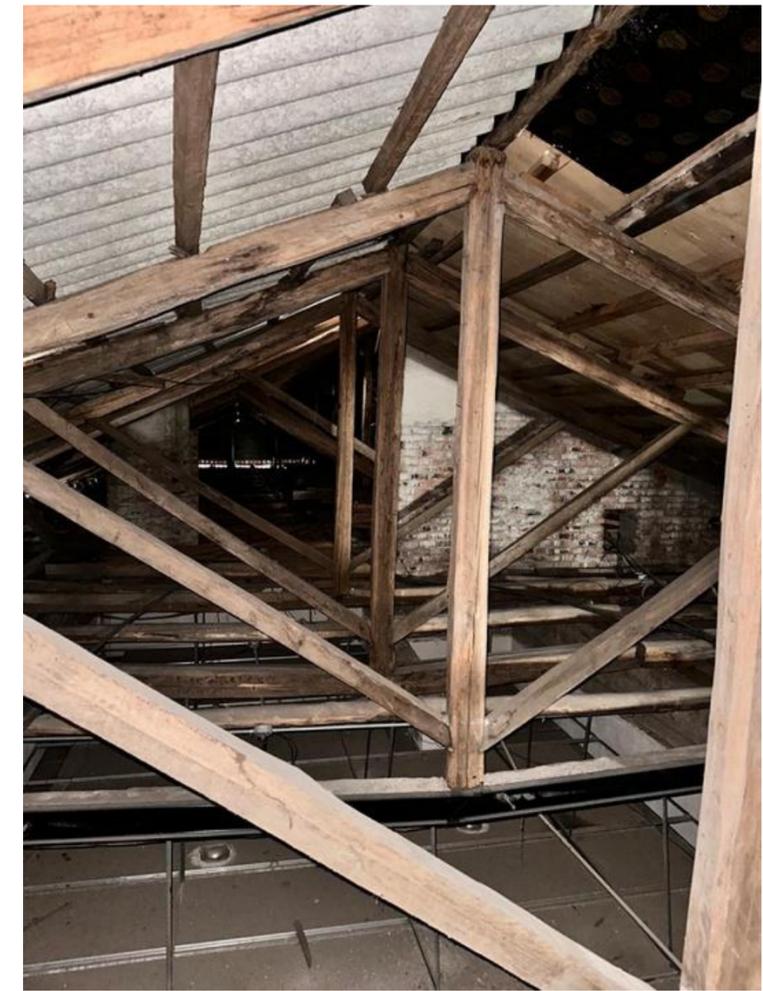
## Identificación de materiales



## Elementos estructurales



## Elementos estructurales



## Adobe

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015) define al adobe como:  
 “Adobe. Unidad o elemento sólido de tierra disecada con forma de prisma regular, normalmente reforzado por fibras vegetales o sintéticas de acuerdo a norma vigente.”  
 (NEC-SE-CG, 2015)

La norma peruana E.080 Adobe lo define como:  
 “Bloque macizo de tierra sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos.”(Norma E.080, 2017)

**Tabla 2**

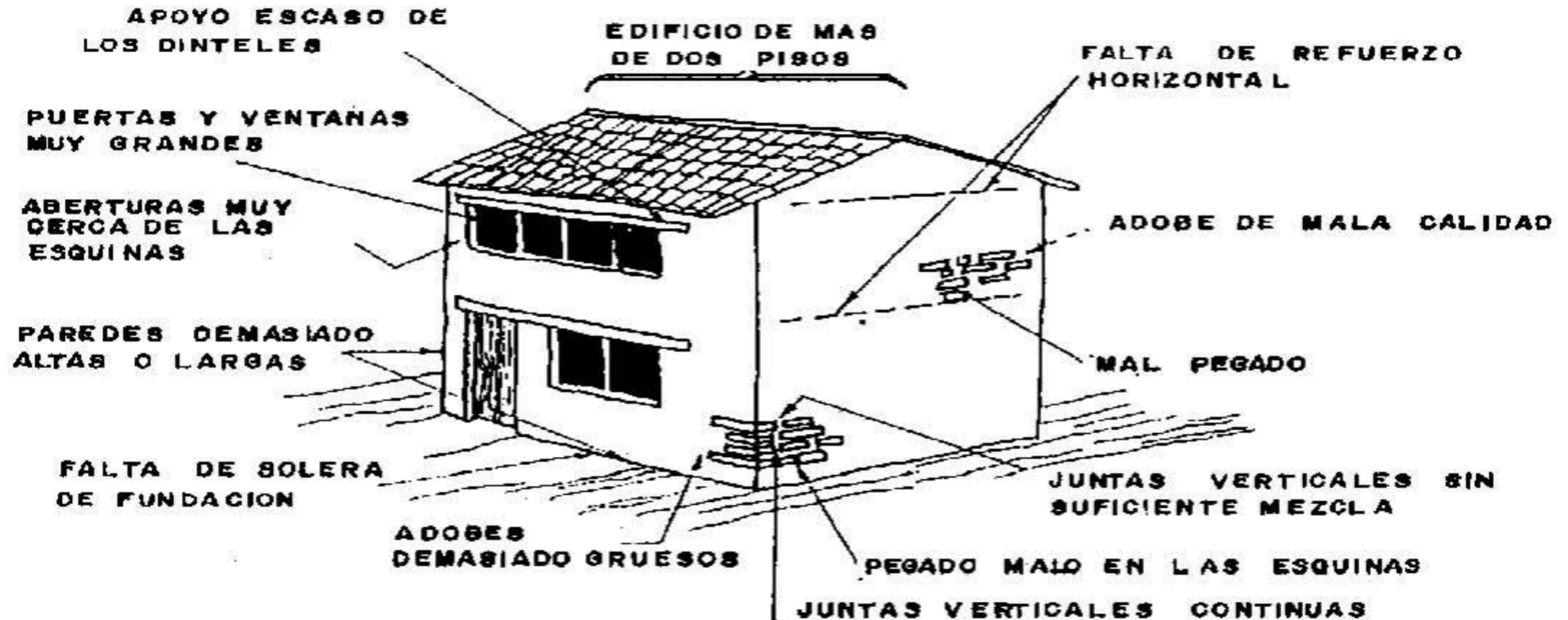
Módulo de Elasticidad adobe

Propiedades Mecánicas	Yajamin & Valencia (2008)	Chacón (2012)	Norma E. 080 (Perú)
Módulo de Elasticidad (Tonf/m <sup>2</sup> )	13 835,90	21 000	20 078
Peso Específico (Tonf/m <sup>3</sup> )	1,60	1,60	1,60
Módulo de Poisson (s/u)	0,25	0,25	0,25
Módulo de corte (Tonf/m <sup>2</sup> )	5 534,40	5 000	4 800

La Norma E.080 del Código de Diseño y Construcción con Tierra Reforzada de Perú, presenta valores conservadores a utilizar mientras no se cuenten con resultados de ensayos experimentales.

Nota: Recuperada de (Yajamin & Valencia, 2008)

## Causas de fallas en el Adobe



## Madera



De acuerdo a la Norma de Construcción Ecuatoriana (NEC 2015) para estructuras de madera, se clasifican 105 tipos de maderas en tres clases según su densidad y son:

- Tipo A: densidad entre 0,71 a 0,90 T/m<sup>3</sup>.
- Tipo B: densidad entre 0,56 a 0,70 T/m<sup>3</sup>
- Tipo C: densidad entre 0,40 a 0,55 T/m<sup>3</sup>

**Tabla 3**

*Propiedades mecánicas de las maderas*

Propiedades Mecánicas	GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C
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: Recuperada de (Estanga et al., 1984)*

## Hormigón



“Mezcla de cemento pórtland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos” NEC-15 (NEC-SE-HM, 2015)

“Hormigón estructural reforzado con no menos de la cantidad mínima de acero de preesforzado o refuerzo no preesforzado”. NEC-15 (NEC-SE-HM, 2015)

En este trabajo se consideró un hormigón con una resistencia a la compresión a los 28 días 210 kg/cm<sup>2</sup> y un módulo de elasticidad determinado por la siguiente ecuación:

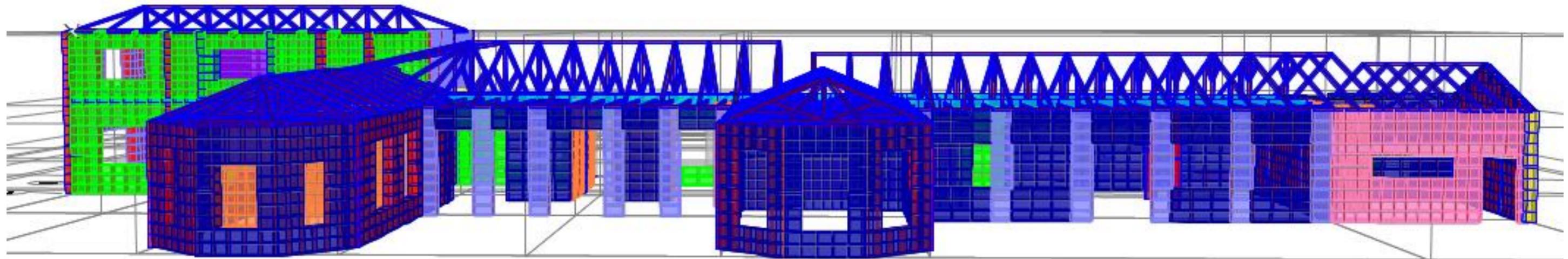
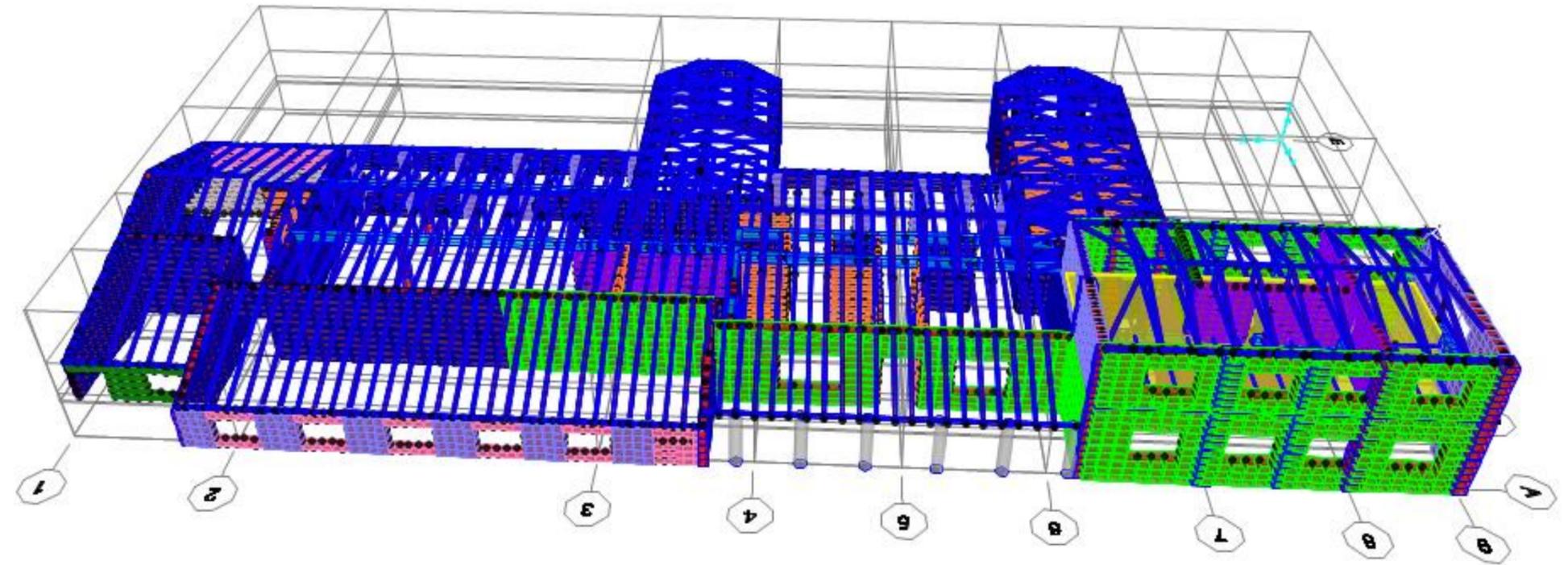
$$E_c = 15100\sqrt{f'_c}$$

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

$$E_c = 218819.7889 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 2188197.9 \text{ Tonf/m}^2$$

# Modelación



## Determinación de cargas

Tabla 5

Cargas de la cubierta

TABLA TRIPLEX		
Material	Peso	Unidad
Tabla triplex 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: Recuperado de (Estanga et al., 1984)

Tabla 7

Cargas Cielo Raso y Entrepiso

Material	Peso	Unidad
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: Recuperado de (Estanga et al., 1984)

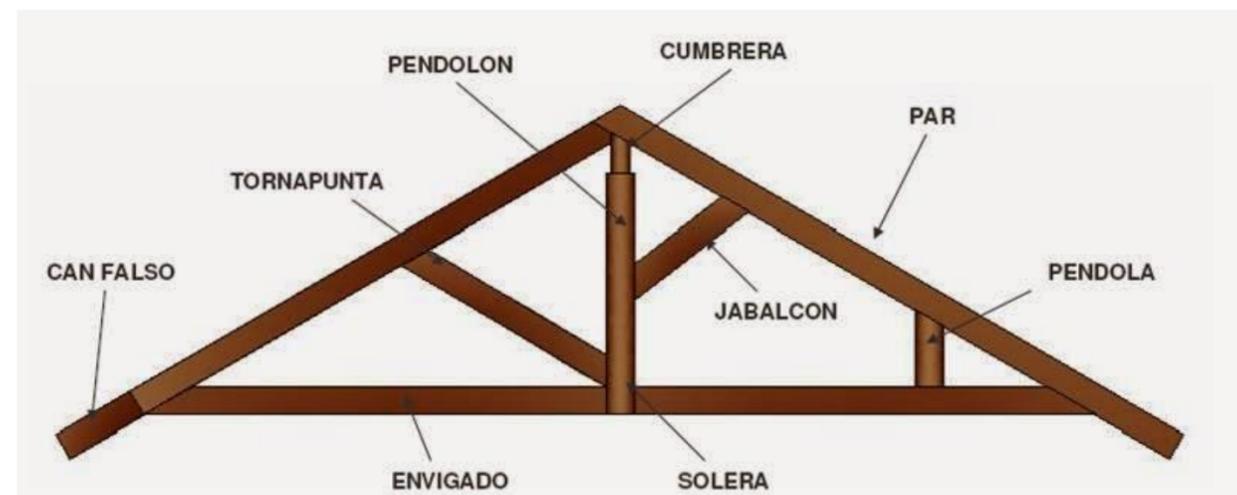
## CARGA MUERTA

Tabla 6

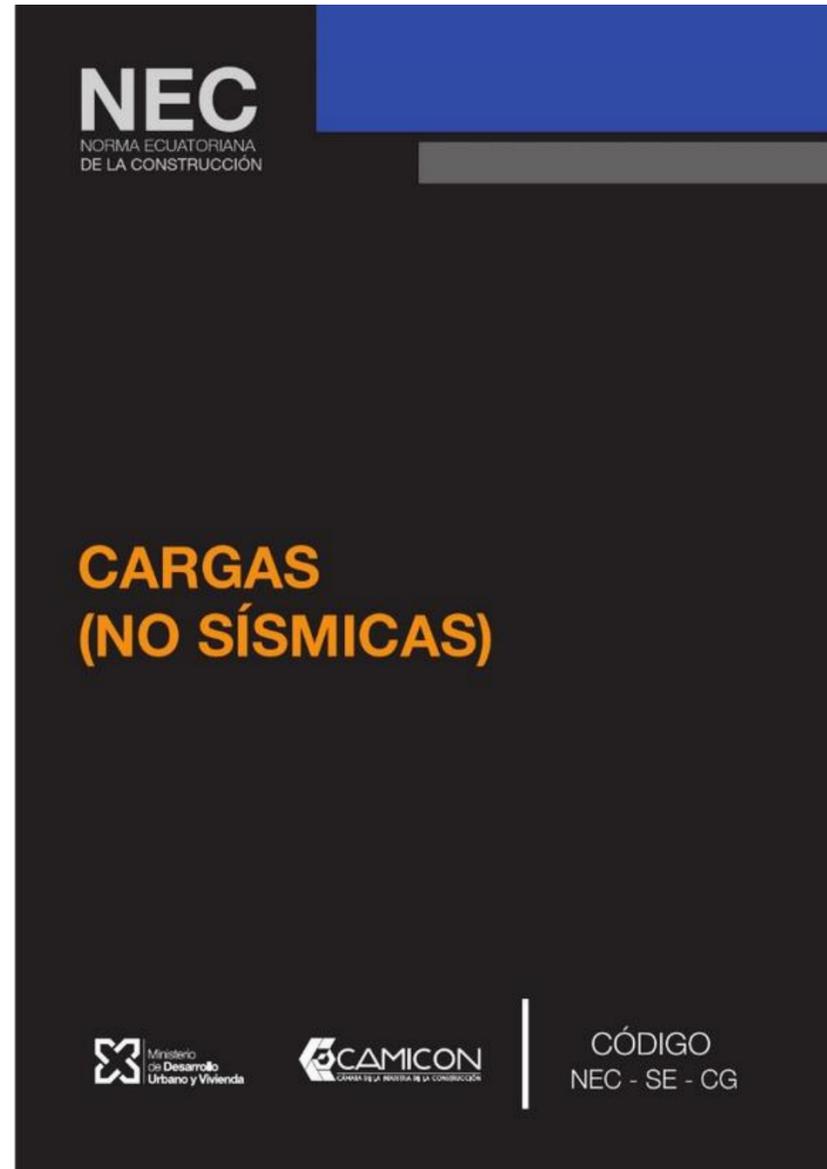
Cargas Cielo Raso

Material	Peso	Unidad
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: Recuperado de (Estanga et al., 1984)



## Determinación de cargas



## CARGA VIVA

**Tabla 8**

*Cargas Vivas*

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

*Nota: Elaboración propia. Tomado de (NEC-SE-CG, 2015)*

## Determinación de cargas

$$V_{Basal} = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_P * \phi_E} * W$$

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

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

Tabla 19

Parámetros para el cortante basal V

Parámetro	Variable	Valor	Unidad
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	α	0,750	s. u
Altura total del elemento	hn	7,740	m
Periodo 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	Φp	0,90	s. u
Factor de irregularidad en elevación	ΦE	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.

Nota: Elaboración propia

## Periodos de vibración

**Tabla 20**

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

<i>Modal</i>	<i>Periodos (s)</i>	<i>UX</i>	<i>UY</i>	<i>UZ</i>	<i>RX</i>	<i>RY</i>	<i>RZ</i>
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

*Nota: Recuperado del programa computacional SAP 2000 (Computers and Structures, 2024).*

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.

## Derivas Máximas Admisibles

### Derivas de Piso

$$\Delta i = \frac{\delta_{i+1} - \delta_i}{h_i}$$

### Derivas Máximas

$$\Delta_M = 0,75 * R * \Delta_E$$

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 ( $\Delta M$  máx.) mostrados en la siguiente tabla:

**Tabla 21**

Valores  $\Delta M$  máx.

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

Nota: Recuperado (NEC-SE-DS, 2015)

## Deriva Máxima - Carga Sísmica Sentido X



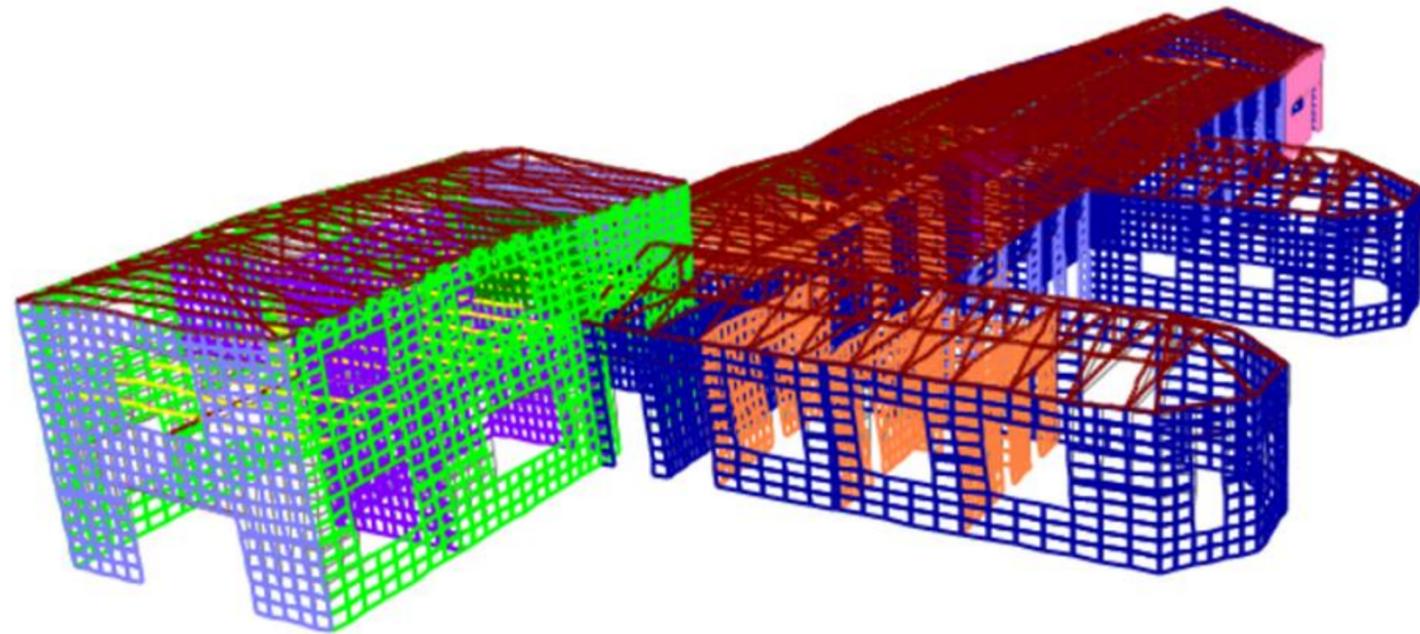
**Tabla 22**

*Desplazamientos en los nodos 936 y 956 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

*Nota: Elaboración propia*

## Deriva Máxima - Carga Sísmica Sentido Y



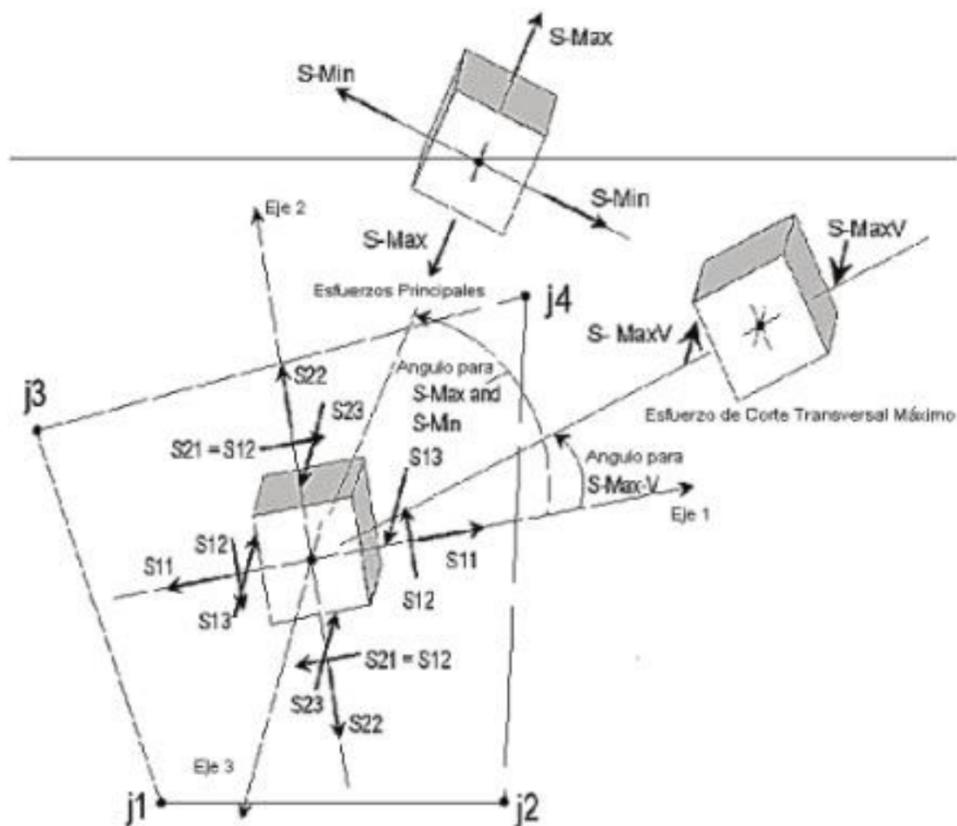
**Tabla 23**

*Desplazamientos en los nodos 936 y 956 debido a cargas sísmica en dirección Y.*

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

*Nota: Elaboración propia*

## Esfuerzos admisibles en mampostería de adobe



**Tabla 3**

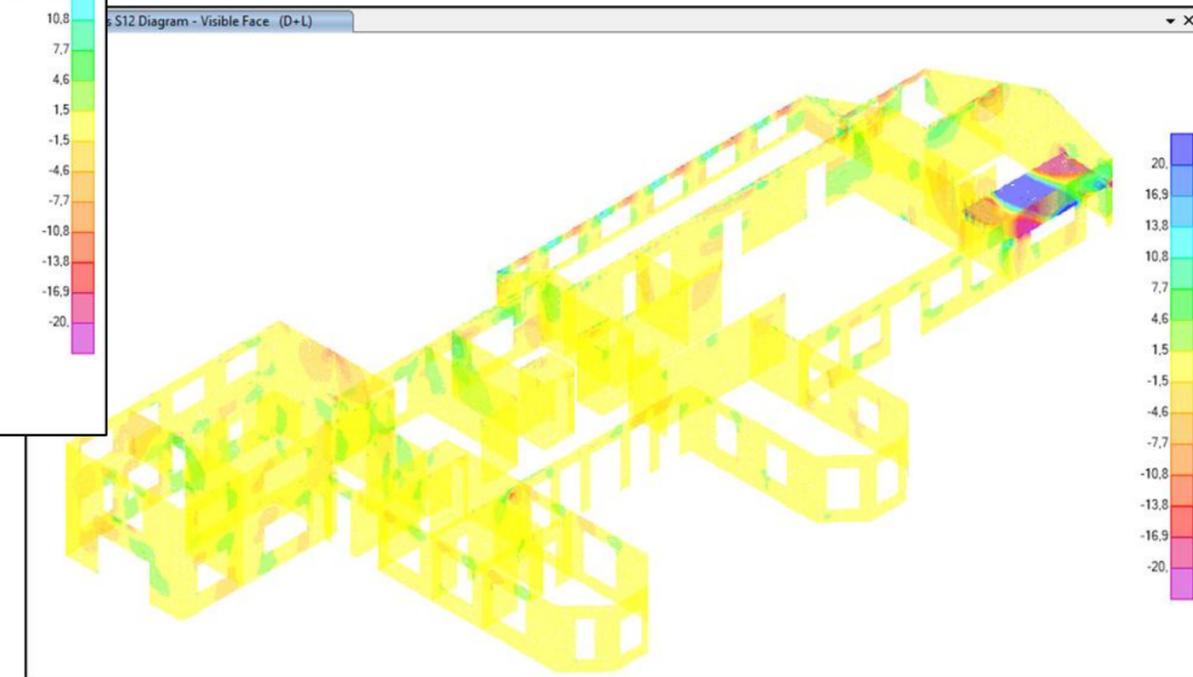
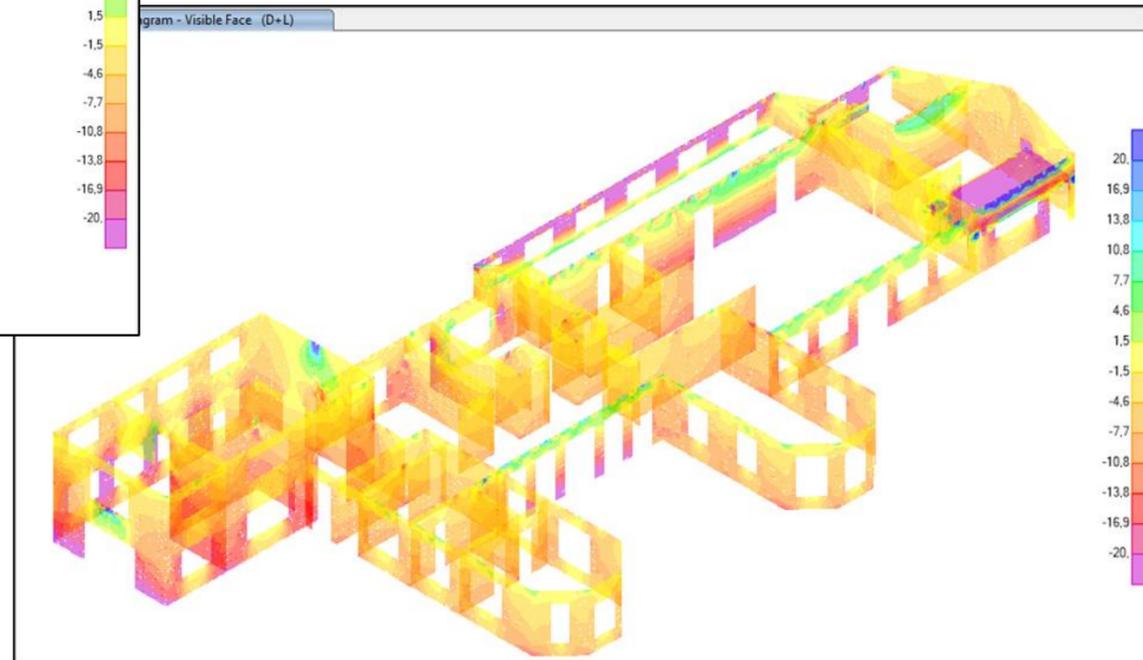
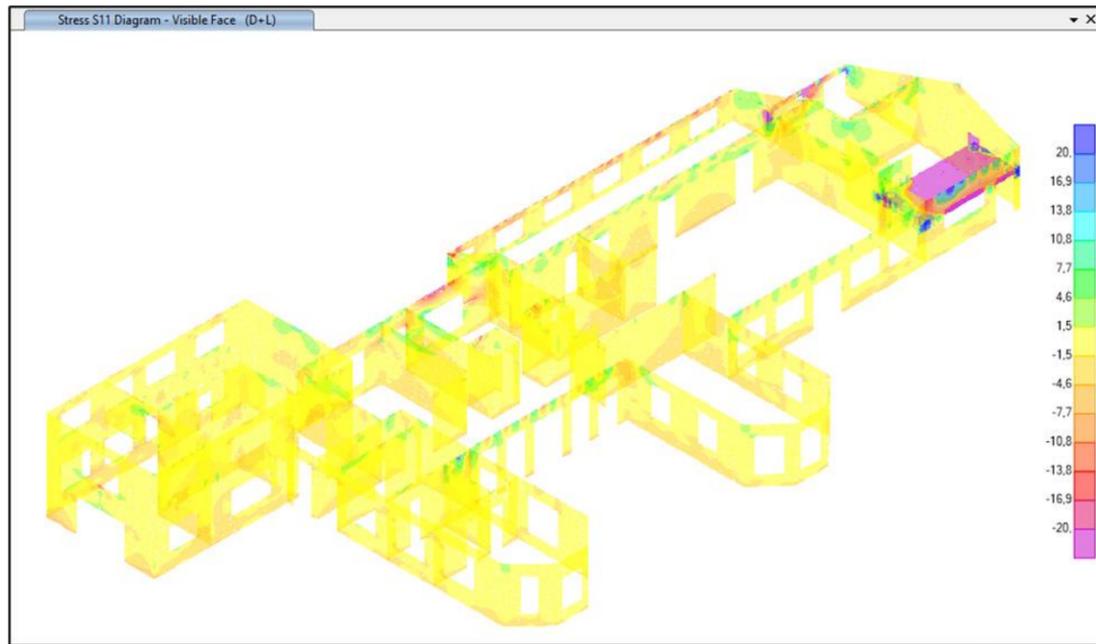
*Esfuerzos admisibles en mampostería de adobe*

Esfuerzos Admisibles	Valor	Unidad
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:* Recuperado de (Norma E.080, 2017b)

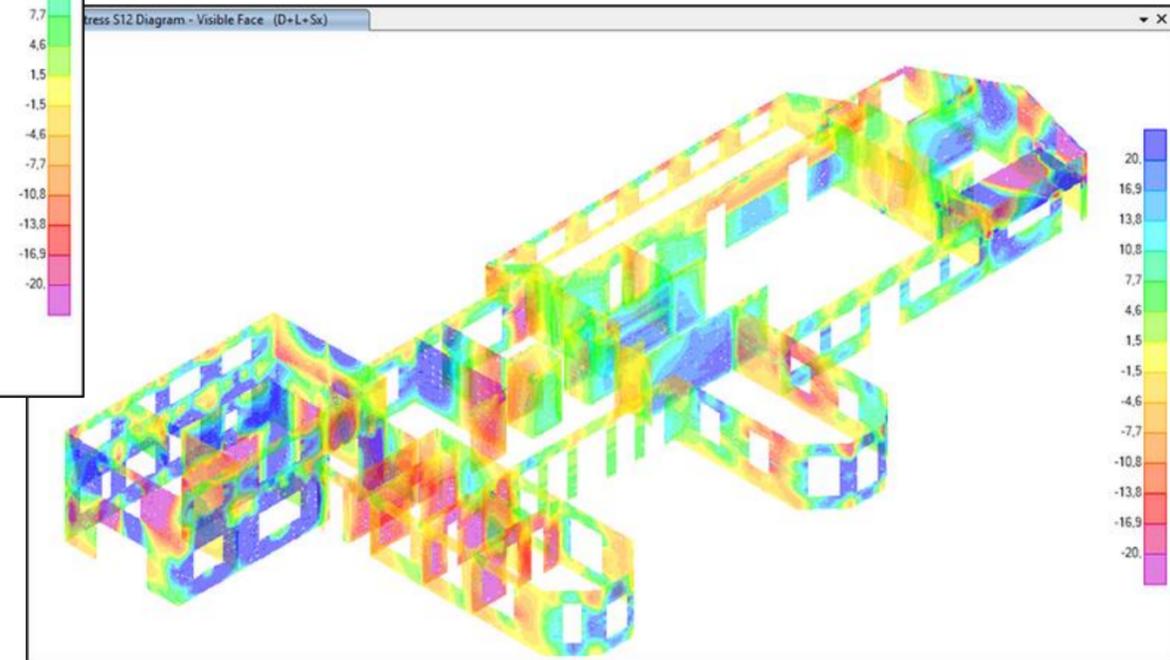
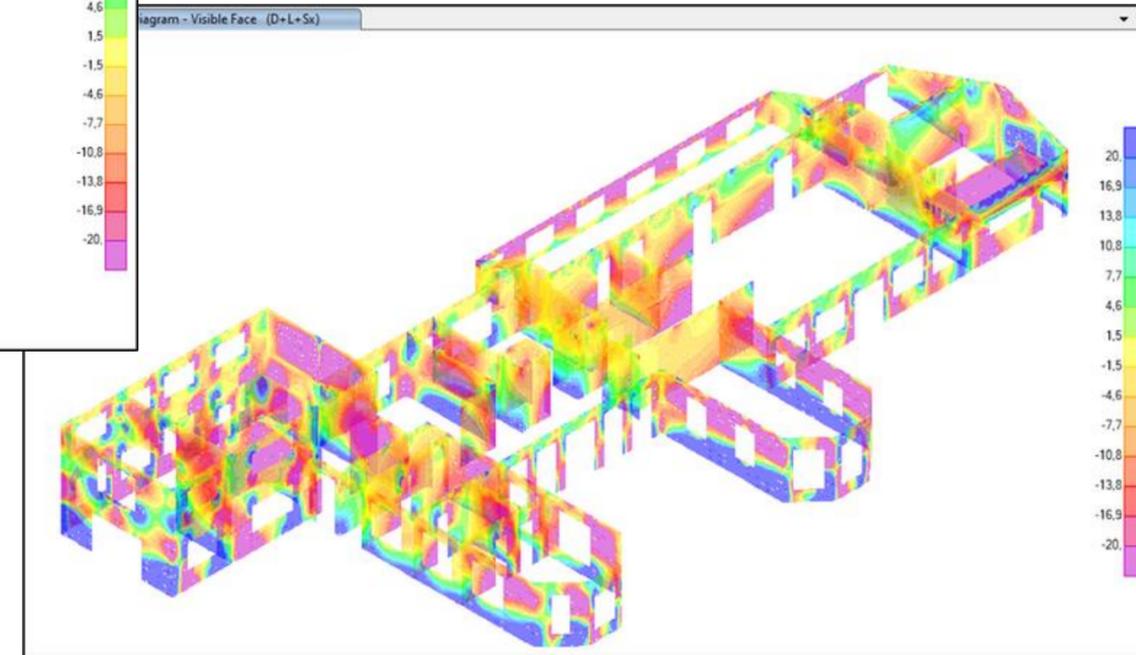
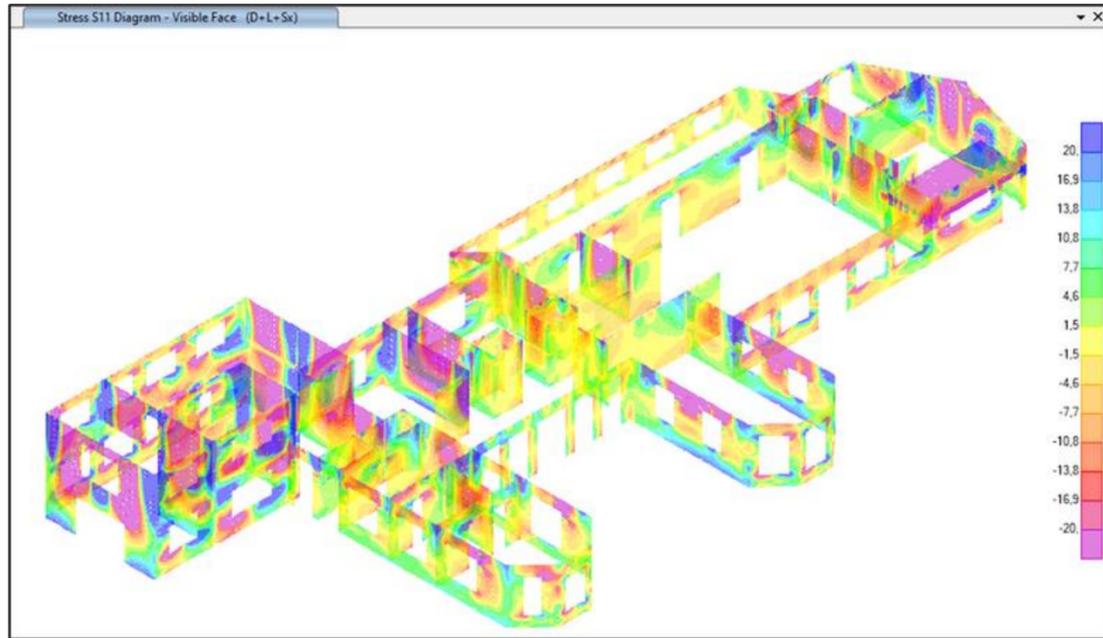
## Esfuerzos en la Mampostería

Combinación de carga D+L



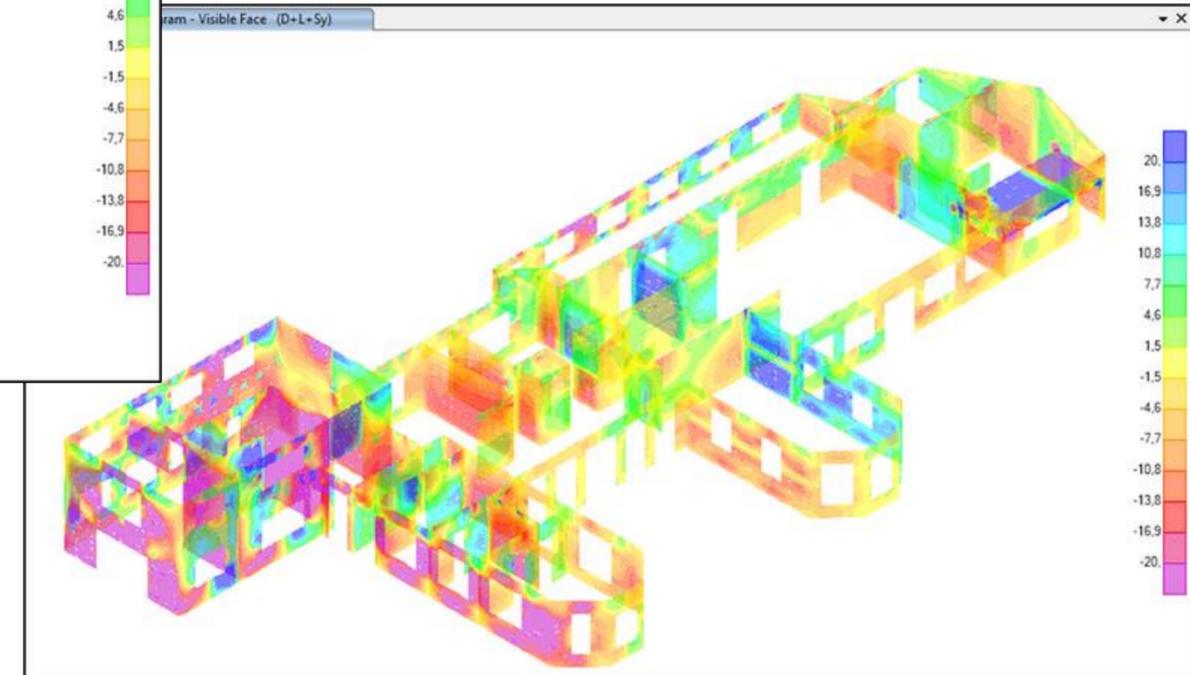
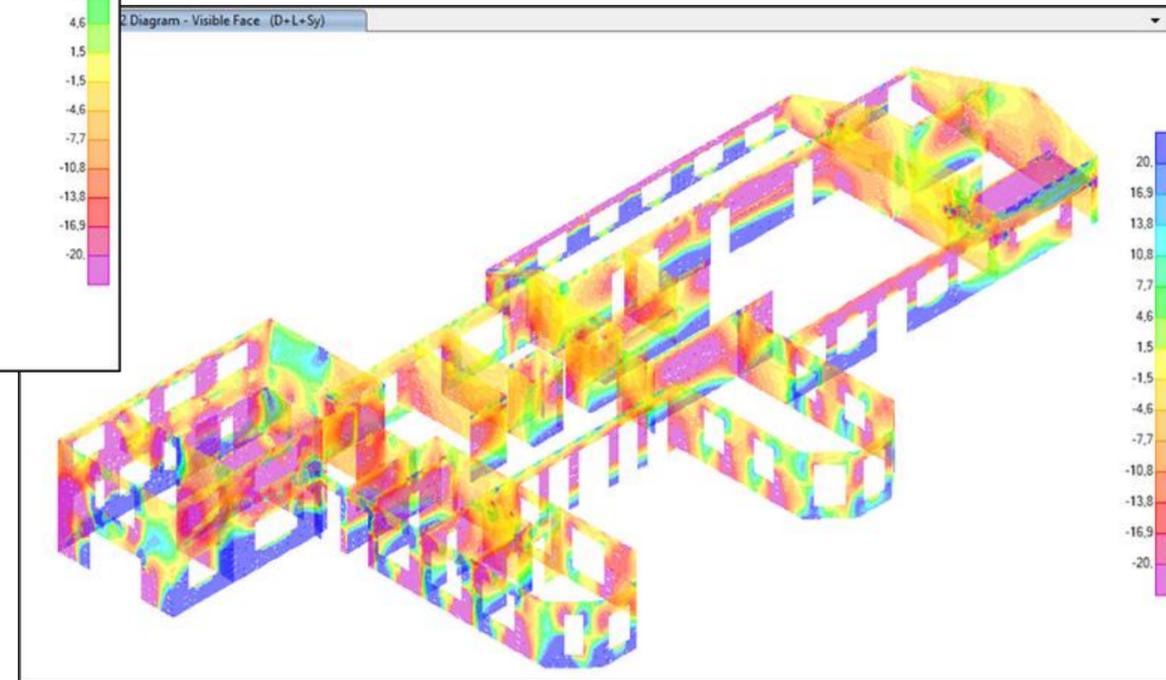
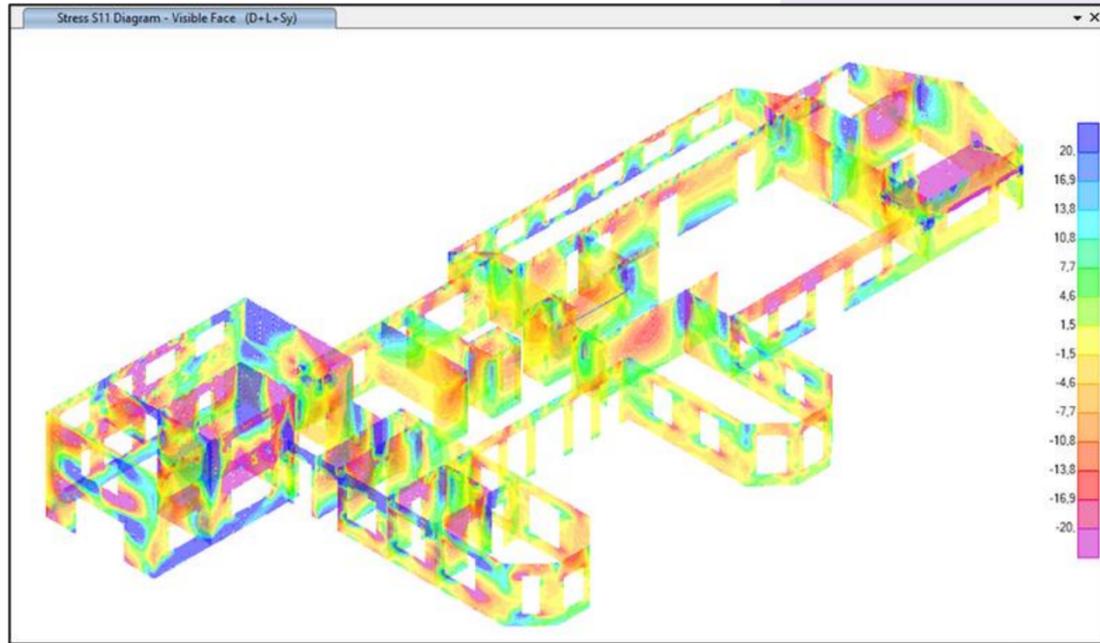
## Esfuerzos en la Mampostería

Combinación de carga D+L+Sx



## Esfuerzos en la Mampostería

Combinación de carga D+L+Sy



Generalidades	Objetivos	Metodología	Resultados	Conclusiones	Recomendaciones
---------------	-----------	-------------	------------	--------------	-----------------

## 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.

## Conclusiones

- Las **derivadas de piso** 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.
- 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.

Generalidades	Objetivos	Metodología	Resultados	Conclusiones	Recomendaciones
---------------	-----------	-------------	------------	--------------	-----------------

## Conclusiones

- 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.



# GRACIAS