



Evaluación estructural de la iglesia patrimonial El Tambo considerando base rígida e Interacción dinámica suelo estructura

Structural evaluation of the El Tambo heritage church considering rigid base and dynamic soil-structure interaction

Avaliação estrutural da igreja patrimonial de El Tambo considerando a base rígida e a interação solo-estrutura dinâmica

Erika Cristina Romero-Romero ^I
erika.romero.05@est.ucacue.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4286-6067>

Luis Mario Almache-Sanchez ^{II}
lalmaches@ucacue.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4711-5054>

Correspondencia: erika.romero.05@est.ucacue.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 13 de octubre de 2022 * **Aceptado:** 28 de noviembre de 2022 * **Publicado:** 01 de diciembre de 2022

- I. Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- II. Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo realizar la evaluación estructural de la iglesia central del cantón el tambo, considerando primero a la estructura como base empotrada y en segundo tomando en cuenta los efectos interacción suelo-estructura; para su desarrollo primero se recopiló información general de la estructura como: la descripción arquitectónica y estructural, además de las propiedades físicas, mecánicas del suelo donde se encuentra implantada la estructura, datos que se obtuvieron de la realización de ensayos de campo y laboratorio. El modelamiento de la estructura se realizó con el programa ETABS, donde se evaluó la iglesia con base rígida y considerando los efectos de interacción suelo estructura; luego de este análisis se presenta los resultados obtenidos como: deformaciones máximas, periodo de vibración, derivas de piso y fuerzas cortantes. Para su análisis, se consideró para la obtención del espectro de diseño y las cargas mínimas los parámetros que establece la NEC-2015, NEC_SE_DS_ en el capítulo de peligro sísmico.

Palabras clave: Estructuras patrimoniales; Interacción suelo - estructura; Evaluación estructural.

Abstract

The present work of investigation has as objective to carry out the structural evaluation of the central church of the corner and also, considering firstly the structure as an embedded base and secondly taking into account the effects of soil-structure interaction; For its development, first, general information on the structure is collected, such as: the architectural and structural description, in addition to the physical and mechanical properties of the ground where the structure is located, data obtained from carrying out field and laboratory tests. The modeling of the structure was carried out with the ETABS program, from which the church was evaluated on a rigid basis and considering the effects of interaction with its structure; This analysis presents the results obtained as: maximum deformations, period of vibration, floor drift and cutting forces. For its analysis, to obtain the design spectrum and the minimum loads, the parameters established by the NEC-2015, NEC_SE_DS_ in the seismic hazard chapter were considered.

Keywords: Heritage structures; Interaction suelo - structure; Structural evaluation.

Resumo

O presente trabalho de investigação tem como objetivo realizar a avaliação estrutural da igreja central do cantón el tambo, considerando primeiro a la estructura como base empotrada e em segundo tomando em conta os efeitos de interação suelo-estructura; para su desarrollo primero se recopiló información general de la estructura como: la descripción arquitectónica y estructural, además de las propiedades físicas, mecánicas del suelo onde se encuentra implantada la estructura, dados que se obtuvieron de la realización de ensaios de campo y laboratorio. O modelo da estrutura é realizado com o programa ETABS, onde se avalia a igreja com base rígida e considerando os efeitos de interação com a estrutura; luego desta análise se apresenta los resultados obtidos como: deformaciones máximas, periodo de vibración, derivações de piso y fuerzas cortantes. Para sua análise, considere a obtenção do espectro de projeto e as cargas mínimas dos parâmetros que estabelecem o NEC-2015, NEC_SE_DS_ no capítulo de perigo sísmico.

Palabras clave: Estructuras patrimoniais; Interação suelo - estructura; Avaliação estrutural.

Introducción

Con el transcurso del tiempo las edificaciones han sufrido daños ya se por una mala construcción, por el tipo de suelo en donde se desplanta la estructura, por el uso, por falta de mantenimiento o por algún desastre natural como deslizamientos, huracanes, inundaciones, fallas geológicas, y especialmente por los sismos que se han registrado en el mundo a lo largo de los años produciendo pérdidas humanas, materiales y económicas; entre algunos sismos que han producidos mayores daño se puede encontrar el de Haití el que se produjo el 12 de enero de 2010 dejando un total entre 100000 y 300000 víctimas mortales, varios edificios se hundieron incluido la sede de las Naciones Unidas y más de millones de pérdidas, el de Chile, el 27 de Febrero del 2010, cuya magnitud fue de 8.8, cuyo origen fue en el océano Pacífico, con una duración de hasta cuatro minutos en las zonas más cercanas al epicentro. Se registraron más de 500 víctimas mortales, dos millones de personas damnificadas y destrozos en medio millón de viviendas.

Ecuador es un país que ha sido sacudido por sismos, entre las ciudades que han sufrido este evento destructivo están: Ambato (1949), Esmeraldas (1979), Reventador (1987), Macas (1995), Bahía (1998), y Pedernales (2016) el cual es el último sismo de gran magnitud que se produjo en el país, afectando a un total de 24013 edificaciones en varias provincias (El Telegrafo, 2016).

Ninguna edificación debe sufrir daños estructurales importantes después de un evento sísmico de moderado o gran magnitud, y en el caso de las edificaciones antiguas las cuales fueron construidas sin ninguna especificación de diseño y construcción, además según (Rangel et al., 2004), la vulnerabilidad de las edificaciones antiguas ante fuerzas sísmicas se debe a que el sistema estructural fue creado como de gravedad, y son construidas con mampostería sin refuerzos con espesores grandes y con materiales que no tienen capacidad para resistir esfuerzos de tensión y de cortante como el adobe, ladrillo, barro, piedras naturales o combina.

Por lo mencionado anteriormente, y además porque durante su vida útil las estructuras acumulan problemas de inestabilidad progresiva ya sea por el deterioro de los materiales, por la acción de los sismos o por la falta de mantenimiento, es necesario realizar una evaluación estructural para diagnosticar el estado en el que se encuentra la estructura y poder determinar si la estructura requiere o no un reforzamiento.

Una evaluación estructural sirve para determinar el estado actual de una edificación y consiste en la realización de mediciones, ensayos, inspecciones y hasta en algunos casos el recalcado de la estructura; se realiza en los siguientes casos:

- Cuando se ha detectado fisuras o deformaciones en los elementos principales de la estructura.
- En caso de ampliaciones de niveles de la edificación.
- Cuando existe un incremento de cargas que pueden ser cargas muertas o cargas vivas.

Para la evaluación estructural el primer paso es una valoración visual en campo, la cual permitirá detectar cualitativamente su estado y condiciones, el siguiente es el análisis estructural, o análisis matemático de la estructura, para determinar qué tan apta es la edificación ante la acción de fuerzas sísmicas.

En el presente trabajo la evaluación de la iglesia central del cantón El Tambo se realizara a través de una valoración visual en campo y un análisis estructural considerando el método convencional (base rígida) y el fenómeno de interacción suelo estructura, es decir la base flexible, debido a que este fenómeno es más real, influenciando notoriamente en los cálculos, Al considerar al suelo como si fuera perfectamente rígido crea comportamientos diferentes a la realidad en el momento de un evento sísmico, por esa razón es necesario considerar como parte fundamental en un

análisis estructural las propiedades elásticas del suelo (Calderín Mestre, Almenarez Labañino, & Boada Fernández, 2020).

En la interacción suelo-estructura el suelo forma parte del análisis estructural de una edificación, debido a que el mismo no es perfectamente rígido sino que tiene cierto grado de amortiguación (Avilés, 1999), por eso es necesario la determinación de los coeficientes de rigidez equivalentes del suelo con la conclusión de determinar la flexibilidad de la base de fundación, estos coeficientes de rigidez dependen de las características de suelo de cimentación, así como también de las tipologías de la cimentación.

La interacción suelo estructura se conoce a la alteración que sufre el movimiento del suelo ante el aspecto de una edificación. Además, es un conjunto de efectos cinemáticos e inerciales derivados por la estructura y el suelo como consecuencia de la flexibilidad de este ante una respuesta sísmica. Al considerar la interacción suelo-estructura en el diseño de las edificaciones, interviniendo en la determinación de los modos de vibración naturales de la estructura, desplazamientos, esfuerzos y por consiguiente en su diseño estructural. (Díaz Guzman, Espinoza Barreras, Sánchez Vergara, & Huerta López, 2012)

La interacción inercial afecta principalmente a la estructura como por ejemplo se modifica el amortiguamiento, aumenta el periodo fundamental y reduce la ductilidad esto debido a que la base se encuentra sin empotramiento fijo; en cambio los efectos cinemáticos se relacionan con la cimentación, las características del subsuelo y del tipo de ondas sísmicas que incurren.

Los efectos que puede presentar la estructura al determinar el fenómeno de interacción suelo – estructura ante al considerar la base rígida son:

- Aumento de los desplazamientos laterales de la estructura
- Aumento del amortiguamiento viscoso
- Aumento del espacio de vibración de la estructura (León Freire, 2016)

De este análisis se obtendrá parámetros como es el periodo fundamental de la estructura, los desplazamientos laterales máximos y las derivas de piso, mismas que servirán para valorar el estado actual de la iglesia.

Para determinar el nivel de daño o el nivel de desempeño sísmico de una edificación (Zúñiga Cuevas & Terán Gilmore, 2008), establece la tabla 1 y tabla 2.

Figura 1: Estado y grado de daño en muros de mampostería confinada

Estado de daño observado.	Distorsión (%)	K/K_o	V/V_{max}	Grado de daño.
Fisuras horizontales por flexión. Fisuras verticales por flexión cercanas al paño de los castillos.	0.04	0.8	0.5	Ligero (I)
Primer agrietamiento por tensión diagonal de la mampostería.	0.13	0.35	0.85	Moderado (II y III)
Inicio de la penetración del fisuramiento inclinado en los extremos de los castillos.	0.20	0.27	0.90	Fuerte (IV)
Agrietamiento en forma de "X" en todos los paneles de mampostería.	0.23	0.24	0.98	Fuerte (IV)
Aplastamiento del concreto, agrietamiento horizontal distribuido en la altura de los castillos.	0.32	0.18	1.0	Fuerte (V)
Concentración de grietas diagonales en los extremos de los castillos. Desconchamiento del recubrimiento del concreto.	0.42	0.13	0.99	Grave (V)
Concentración del daño en los extremos inferiores de los castillos. Plegamiento del refuerzo longitudinal (Deformación en "S").	0.50	0.10	0.80	Grave (no se clasifica)

Figura 2: Estados límite para muros de mampostería confinada

Estado Límite.	Distorsión (%)
Estado límite de servicio	0.05
Estado límite operacional	0.10
Estado límite de daño controlado	0.17
Estado límite de resistencia	0.22
Estado límite ultimo	0.44

Sin embargo (Chacón et al., 2021), en su artículo establece que para estructuras construidas con características diversas, la evaluación estructural de este tipo tiene una gran incertidumbre por su naturaleza. Además, son estructuras que tienen un comportamiento frágil debido a que tienen una resistencia a compresión baja y no tienen la capacidad de disipar energía.

Métodos y modelos de Interacción suelo-estructura

En la actualidad hay una gran variedad de métodos y modelos que pueden ser empleados cuando se considera el efecto de interacción suelo estructura entre ellos se encuentran: El método del FEMA 440, 2005. "Improvement of Non-Linear Static Seismic Analysis rocedures", método del ASCE 41-16 "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings", método de los elementos finitos, método directo de ISE – Modelo C, método de la subestructura entre otros. Aunque

(Espinosa Stead & Carrión Granja, 2019) en su estudio realizado, llega a la conclusión de que los resultados son similares al aplicar cualquier de los métodos mencionados anteriormente considerando interacción suelo – estructura.

Para el análisis de este caso se consideró el método de la subestructura que consiste en representar la cimentación ya no como base empotrada si no con resortes (Morales & Espinosa , 2020), por eso es necesario disponer de un estudio geotécnico que contengan parámetros mecánicos y dinámicos del suelo. Para obtener las rigideces en la fundación del terreno se puede aplicar las ecuaciones de impedancia de (GAZETAS, 1991), las mismas que se ilustran a continuación.

$$\text{Traslación eje z} \quad K_z = \frac{2GL}{1-\nu} \left[0.73 + 1.54 \left(\frac{B}{L} \right)^{0.75} \right] \quad (1)$$

$$\text{Traslación eje y} \quad K_y = \frac{2GL}{2-\nu} \left[2 + 2.5 \left(\frac{B}{L} \right)^{0.85} \right] \quad (2)$$

$$\text{Traslación eje x} \quad K_x = K_y - \frac{0.2}{0.75-\nu} GL \left[1 - \frac{B}{L} \right] \quad (3)$$

$$\text{Torsión z} \quad K_{zz} = GI_z^{0.75} \left[4 + 11 \left(1 - \frac{B}{L} \right)^{10} \right] \quad (4)$$

$$\text{Torsión y} \quad K_{yy} = \frac{G}{1-\nu} I_y^{0.75} \left[3 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.15} \right] \quad (5)$$

$$\text{Torsión x} \quad K_{xx} = \frac{G}{1-\nu} I_x^{0.75} \left(\frac{L}{B} \right)^{0.25} \left[2.4 + 0.5 \left(\frac{B}{L} \right) \right] \quad (6)$$

Dónde:

G = Modulo de corte

ν = Relación de Poisson

B y L = Mitad del ancho y mitad de la longitud (figura 1).

I_x, I_y = Momento de inercia del área de contacto suelo-cimentación en X y Y

I_z = Momento polar de inercia

Para los valores de B y L deben ser considerados según el esquema de la ilustración 1.

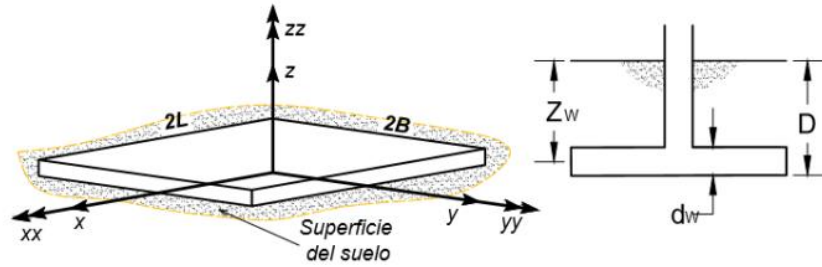


Figura 3: Esquema de los valores B y L

Un factor importante cuando se quiere constatar en los modelos estructurales el análisis dinámico por interacción suelo – estructura es el tipo de suelo. Para obtener los parámetros del suelo como las velocidades de onda de corte cuyo valor sirve para clasificar el tipo de perfil sísmico del suelo y el módulo cortante máximo, se realizó el ensayo geofísico (Análisis multicanal de ondas de superficie MASW); en la tabla 3 se muestra las propiedades geotécnicas del suelo obtenidas del mismo.

Figura 4: Propiedades geotécnicas del suelo

Línea Sísmica Ejecutada	Estratos definidos			Velocidades de onda			Coefficiente Poisson	Peso Especifico	Capacidad admisible	Modulo de corte	Ángulo de fricción	Periodo Dominante
	Capas	Variación estrato	Espesor	Vp	Vs	v	γ	qa	G	Φ	Ts	
		[m]	[m]	[m/s]	[m/s]	[-/-]	[kN/m ³]	[kg/cm ²]	[kN/m ²]	[°]	[s]	
LS1	1	0 - 3.00	3.00	324.7	165.6	0.324	15.7	0.63	43888.55	28.06	0.072	
	2	3.00 - 13.00	10.00	766.6	398.6	0.315	17.2	1.65	278569.79	28.02	0.1	
	3	13.00 - 30.00	17.00	3311.4	1755	0.305	21.7	9.15	6813103.2	27.99	0.039	

En la ilustración 2 se presenta el perfil estratigráfico del suelo con sus respectivas propiedades, como es la velocidad de onda "S" y "P", coeficientes dinámicos y estáticos del suelo.

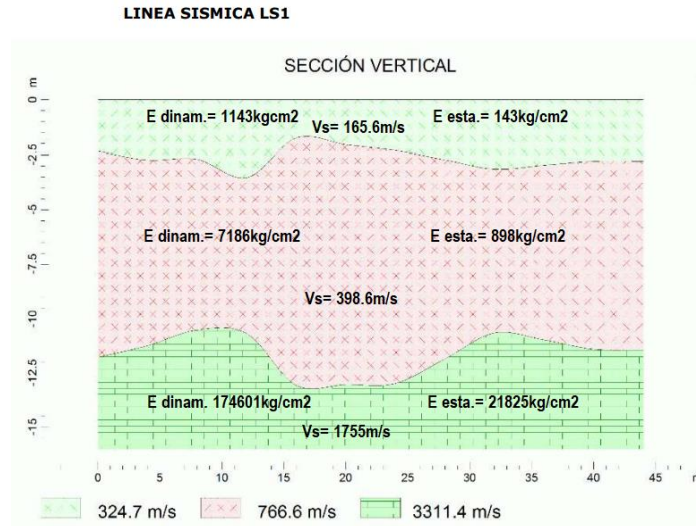


Figura 5: Estratigráfico según ensayo geofísico

Desarrollo

La estructura a ser evaluada es la iglesia central de El Tambo, ilustración 3, que fue construida en el año de 1947, se encuentra ubicado en el cantón El Tambo provincia de Cañar, en las coordenadas:

Este: 730298.00 m E.

Sur: 9722235.00 m S.



Figura 6: Ubicación de la zona de estudio

Características de la edificación

La iglesia de El Tambo se halla constituida por una nave longitudinal de forma rectangular cuya dimensión en planta es de 54.00x16.25m, está dispuesto por ocho pórticos en el sentido denominado X-X y dos pórticos en el sentido Y-Y, la misma que se visualiza en la ilustración 4.

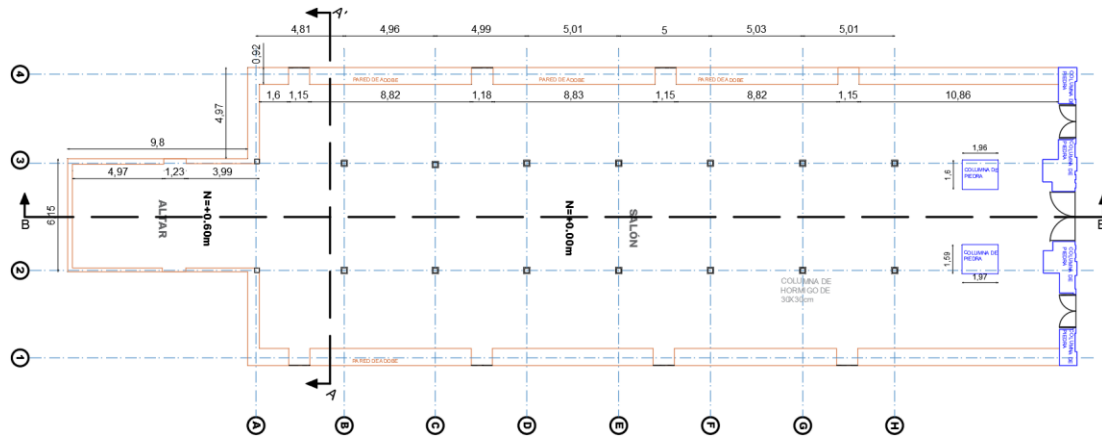


Figura 7: Plano Arquitectónico-Planta

La altura de la iglesia es de 10.45m hasta la cubierta y de 24.34m hasta la cúpula, observándose en la ilustración 5.

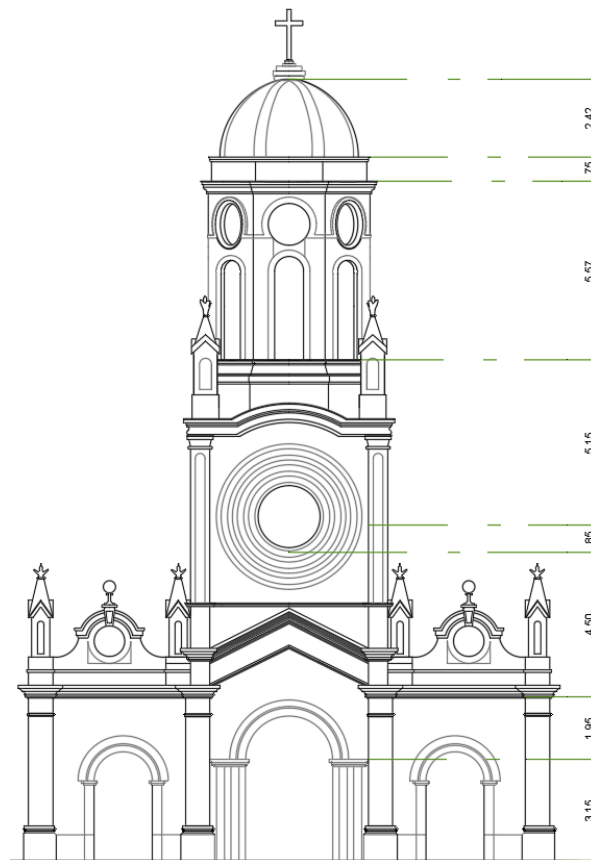


Figura 8: Plano Arquitectónico - Elevación

Materiales

Es una estructura, que está conformada en la parte de la nave principal de adobe, hormigón y madera y en la parte alta de bahareque y losa de hormigón.

Los materiales empleados en la estructura se resumen en la tabla 4 con sus respectivas propiedades, cuyas propiedades se obtuvieron de ensayos y de la tesis de (HEREMBÁS ORTEGA, 2018).

Figura 9: Propiedades de los materiales

MATERIALES	VALOR	UNIDAD
Hormigón (Resistencia a la compresión) f_c	230	Kg/cm ²
Acero (Resistencia a la fluencia) F_y	4200	Kg/cm ²
Madera (Módulo de elasticidad)	126355	Kg/cm ²
Adobe (Módulo de elasticidad)	6500	Kg/cm ²

Cargas

Las cargas empleadas en el diseño como prioritarias o principales son: las cargas gravitatorias, debido al peso propio y cargas permanentes, las cargas dinámicas producto de la acción del sismo y las cargas vivas o de servicio. Para la muerta se consideró todos los componentes estructurales y no estructurales permanentes como: pisos, cielos rasos, equipo fijo de servicio y todas aquellas cargas con carácter de permanentes. La carga viva se ha considerado de acuerdo a lo que sugiere la (NEC, 2014), la carga mínima repartida para iglesias es de 480kg/m², esta se definió según el uso o la ocupación para la cual está destinada, y para la cubierta se definió una carga de 70kg/m², las mismas que se detallan en la tabla 5.

Figura 10: Carga viva: Sobrecargas mínimas

OCUPACIÓN O USO	VALOR	UNIDAD
Ambientes públicos y corredores	480	Kg/m ²
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	70	Kg/m ²

Para el análisis sísmico se realiza primero un análisis sísmico estático, a través del cual se obtiene la fuerza cortante estática o cortante basal y en segundo lugar un análisis sísmico dinámico

espectral en función de la gravedad. Según (Mancheno, 2017), para el estudio y diseño estructural de una edificación se debe aplicar como mínimo estos dos métodos.

(Quispillo Morocho, 2022), establece en su tesis que además con estos métodos se puede evaluar que la fuerza cortante en la base, el periodo de vibración de la estructura, las derivas de piso se encuentren dentro de los rangos admisible que establece la NEC 2015.

Los parámetros que se considera para el análisis sísmico son: lugar de emplazamiento, los coeficientes de amplificación y el tipo de suelo, los parámetros de factor de zona sísmica.

Para evaluar la estructura de estudio se utilizó la Norma Ecuatoriana de la construcción, aunque no existe un capítulo dedicado al diseño sismorresistente de estructuras de adobe, como es el caso de algunos países latinoamericanos de alto riesgo sísmico como Perú y Chile los cuales disponen de una Norma dedicada a estas estructuras.

En la tabla 6, aplicando lo que establece la NEC-2015, NEC_SE_DS en el capítulo de peligro sísmico se presenta los diferentes parámetros que servirán para el cálculo del cortante basal y el espectro de diseño, para el perfil geotécnico obtenido del análisis geofísico, correspondiente a la zona sísmica para el cantón El Tambo y para la categoría de estructuras de ocupación especial, es decir un coeficiente de importancia $I=1,3$.

Los factores que se incluyeron para obtener el cortante basal y el espectro según la NEC son:

Figura 11: Parámetros asumidos para la obtención del Cortante

CARGA DE SISMO (NEC 15-NEC_SE_DS_peligro sísmico)		
Parámetro	Valor	Unidad
Periodo natural de Vibración $T1=$	0.603	seg
Perdido natural de Vibración $T2=$	0.784	seg
Factor de Importancia $I=$	1.3	
Factor de reducción de respuesta $R=$	1	
Relación de amplificación espectral $n=$	2.48	
Zona Sísmica= $=$	III	
Factor de zona $Z=$	0.3	
Tipo de Suelo= $=$	D	
Factor de sitio $Fa=$	1.3	
Factor de sitio $Fd=$	1.36	

Factor de Comportamiento no lineal $F_s=$	1.11
Factor $r=$	1
Periodo $T_c=$	0.63867692 seg
Aceleración Espectral $S_a=$	0.9672 g
Factor de irregularidad en planta $\Phi_p=$	1
Factor de irregularidad en elevación $\Phi_e=$	0.9
Cortante Basal $V=$	1.075

Debido a que las estructuras de adobe carecen o tienen poca ductilidad se consideró el factor de reducción de respuesta estructural (R) igual a 1, quiere decir que la estructura debe soportar toda la acción sísmica sin disipar energía, debido a que no existe reducción en la respuesta sísmica. En la ilustración 6 se presenta el espectro de diseño que será incluido en el modelo estructural.

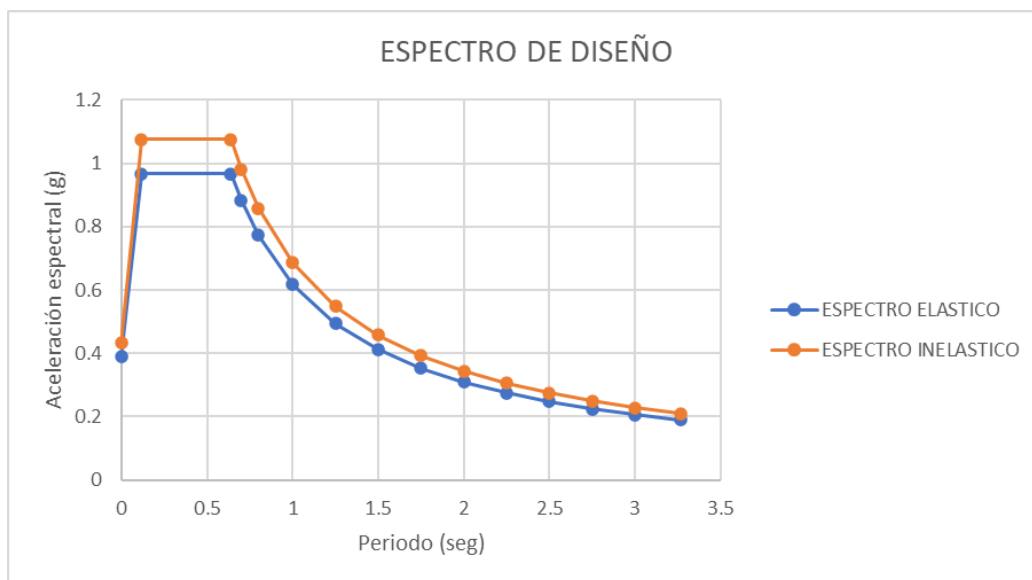


Figura 12: Espectro de diseño

Análisis de la estructura

Para el análisis de la estructura se realizó a través de elementos finitos en el software de cálculo estructural ETABS 19 para base rígida y flexible. Al considerar interacción suelo – estructura se utilizó el método de la subestructura.

Método de la subestructura

El método de la subestructura consiste en calcular las rigideces, y representar la base en el análisis estructural a través de resortes, los mismos que simulan el comportamiento dinámico del suelo (Villareal Castro & Aguila Gómez , 2021), pueden ser calculados aplicando las funciones de impedancia a partir de (GAZETAS, 1991), las mismas que fueron descritas anteriormente.

GAZETAS 1991

Para aplicar el método que establece Gazeta, se debe tener en cuenta características como el módulo de cortante del suelo, las dimensiones de la cimentación, el coeficiente de Poisson (Corratgé Yzaguirre, Martínez Cid, & Cobelo Cristiá, 2021).

En la tabla 7 se exponen los valores de rigidez calculados para el tipo de suelo obtenido del análisis geofísico, aplicando las ecuaciones procedentes de las investigaciones de GAZETAS.

Figura 13: Coeficientes de rigidez

COEFICIENTES DE RIGIDEZ		
COEFICIENTES	VALOR	UNIDAD
Kx	4175036.274	KN/m
Ky	3783542.096	KN/m
Kz	4741681.196	KN/m
Kxx	38715359.35	KN m
Kyy	198968729.68	KN m
Kzz	3600120694527.9	KN m

Resultados

Luego del análisis estructural, se puede comprobar que el efecto de interacción suelo – estructura es notorio, evidenciándose en los resultados obtenidos del diseño estructural como son: el periodo y modo de vibración de la estructura, las derivas de piso, la distribución de las fuerzas sísmicas por nivel, parámetros que servirán para evaluar el comportamiento estructural de la iglesia central del cantón El Tambo.

Periodo de vibración

En la ilustración 7 se muestra los valores de los periodos obtenidos de la estructura con base empotrada y considerando la flexibilidad del suelo por el método propuesto por Gazeta.

Debido a que la masa de la cimentación es tomada en cuenta al considerar interacción suelo – estructura el periodo de vibración aumenta; en esta edificación se obtuvo en el primer modo de vibración un incremento del 16% de 1.048 seg a 1.248 seg en el sentido X-X traslacional, en el segundo modo de vibración un incremento del 20.22% de 0.71 seg a 0.89 seg en el sentido Y-Y rotacional y en el tercer modo de vibración un incremento del 18.58% de 0.701 seg a 0.861 seg en el sentido Z-Z rotacional.

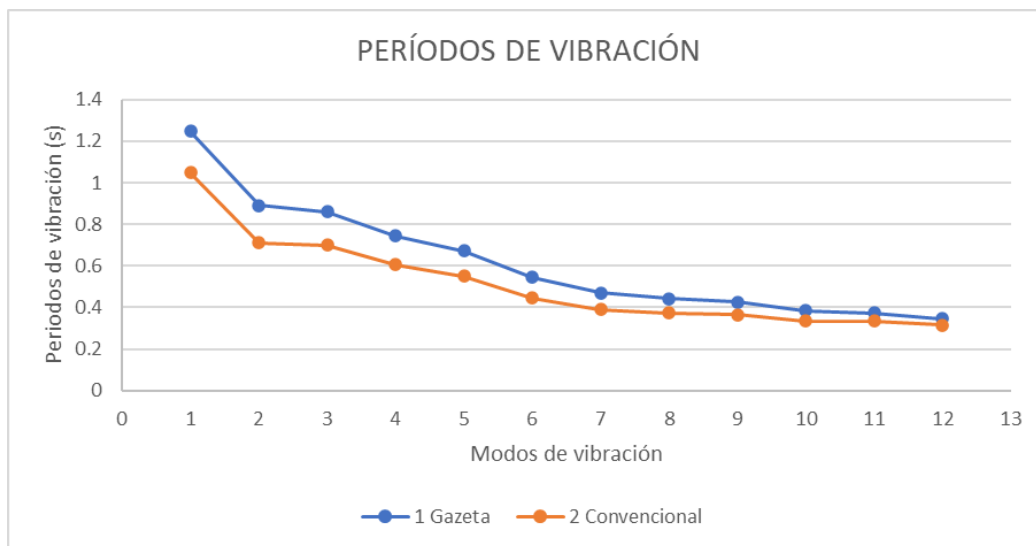


Figura 14: Periodo de vibración

Desplazamientos

Al considerar la flexibilidad del suelo en el análisis de la estructura, los desplazamientos generados por el sismo aumentan (VALDERRAMA CARPIO & MEZA RODRIGUEZ , 2014).

En este análisis se obtuvo un incremento del desplazamiento de 20% en el sentido X-X y un 15% en el sentido Y-Y al considerar el fenómeno de interacción suelo-estructura, en relación a la base rígida, cuyos resultados se muestra en la ilustración 8 y 9.

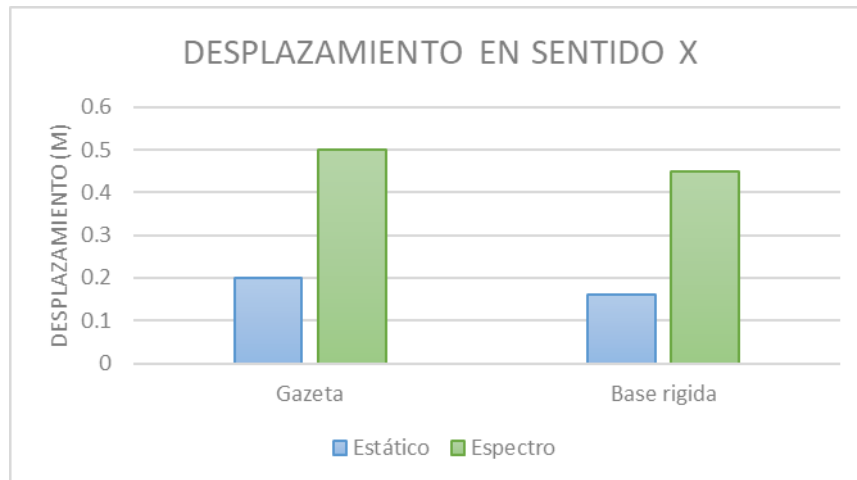


Figura 15: Desplazamiento máximo sentido X-X

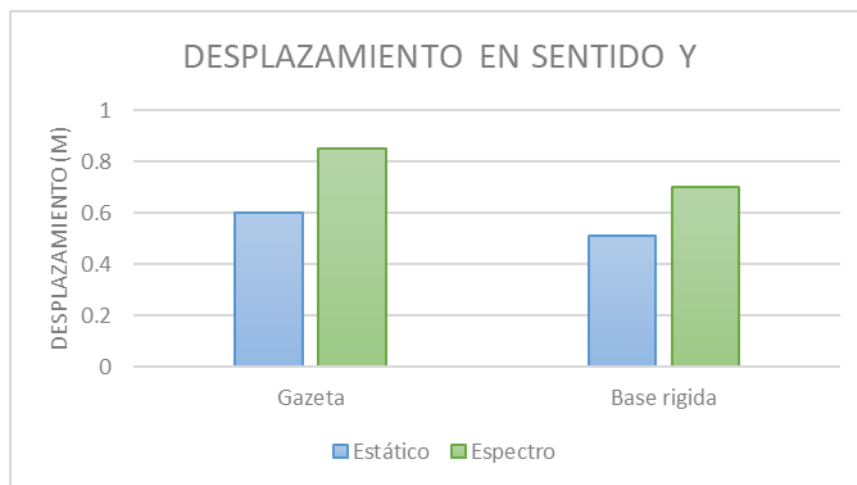


Figura 16: Desplazamiento máximo sentido Y-Y

Deriva de piso

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción en su capítulo de diseño sismorresistente, en el numeral 5.1 establece que cuando se realiza un análisis dinámico la deriva máxima para estructuras de concreto armado no debe exceder el valor de 0.02 y para mampostería 0.01; para el cálculo de la deriva máxima inelástica se aplica la fórmula del numeral 6.3.9 de la NEC.

$$\Delta_M = 0.75\Delta_E \quad (7)$$

En la ilustración 10 y 11 se muestran las derivas inelásticas máximas, similar al comportamiento de los desplazamientos, obtenidas del modelo analizado, según la condición de apoyo de la base;

al considerar el efecto de interacción suelo estructura se nota un incremento de los valores de la deriva en todos los pisos, 34% en el sentido X-X y 30.43% en el sentido Y-Y.

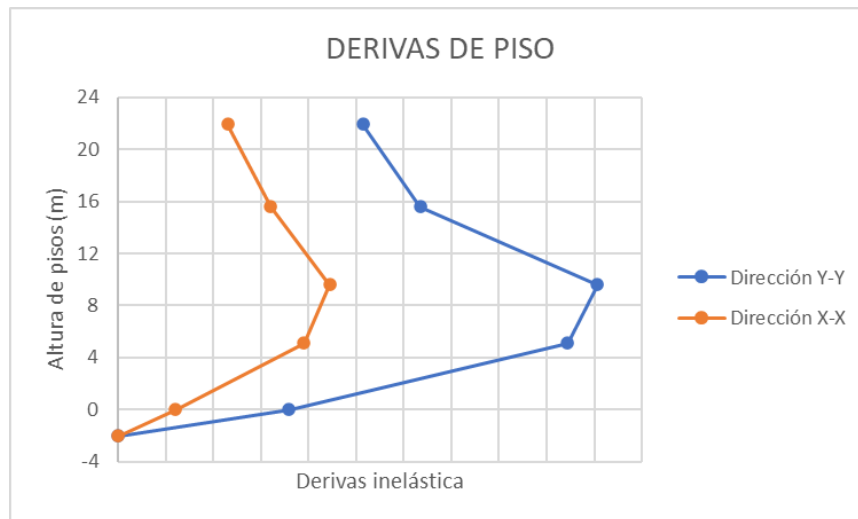


Figura 17: Deriva inelástica máxima por sismo dinámico en dirección X-X con base flexible

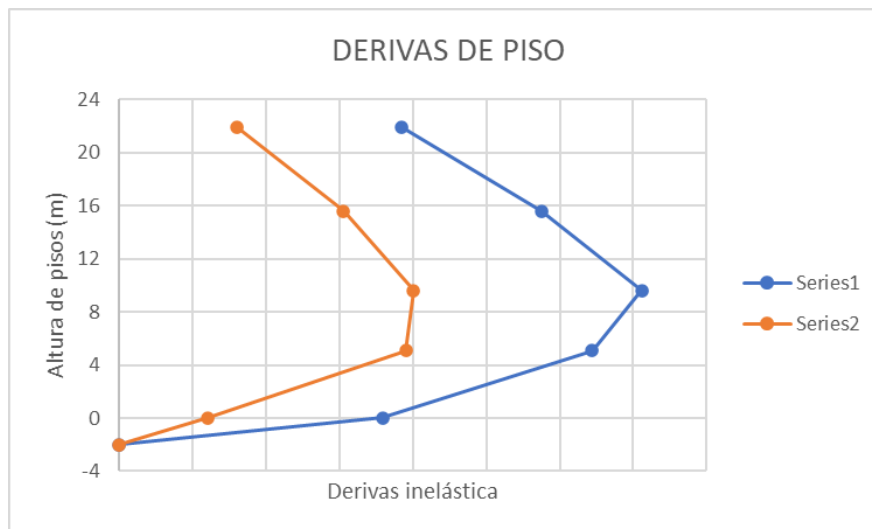


Figura 18: Deriva inelástica máxima por sismo dinámico en dirección X-X con base rígida

Conclusiones

La iglesia de El Tambo fue construida en el año de 1947, con materiales como el adobe, baraheque, madera, etc; su construcción fue a través de un sistema de gravedad y no se consideró un análisis sismorresistente, debido que la misma fue construida antes de la aparición de una norma o código sismorresistente.

Luego de realizar la evaluación del estado actual de la estructura a través de la inspección visual la iglesia de El Tambo se encuentra con grietas, desprendimiento de los muros con la cubierta, separación de los muros en las esquinas, deformaciones en las columnas; mientras que del análisis estructural con base rígida y aplicando Interacción dinámica suelo-estructura se obtuvieron que las derivas inelásticas máximas no cumplen con lo que establece la Norma Ecuatoriana de la Construcción, en este caso las derivas son mayores al 1% que es el caso para mampostería; los esfuerzos máximos en los muros son mayores a los límites de esfuerzos admisibles a compresión, tracción y a corte del adobe; además, del análisis modal la participación de masa obtenida es muy baja no cumple con al menos el 90% que establece la NEC 2015.

De igual manera con los datos obtenidos se concluye que es importante considerar en un análisis estructural el fenómeno de interacción suelo estructura debido a que el mismo permite obtener resultados más reales sobre el comportamiento de una estructura ante eventos sísmicos que pueden ocurrir mediante la vida útil de la misma. Los parámetros que influyen en la importancia de considerar el fenómeno de interacción suelo-estructura en un análisis dinámico son: los desplazamientos, los modos de vibración, las derivas de piso, los esfuerzos etc.

Al realizar el análisis estructural considerando la flexibilidad del suelo, frente a la base rígida se concluye:

- Los periodos de vibración aumentaron al considerar la base flexible, en un incremento del 16% en el sentido X-X traslacional, un 20.22% en el sentido Y-Y rotacional y un 18.58% en el sentido Z-Z rotacional.
- Los desplazamientos máximos aumentaron en un 20% en el sentido X-X y un 15.00% en el sentido Y-Y al considerar el fenómeno de interacción suelo-estructura, en relación a la base rígida.
- Las derivas inelásticas máximas aumentaron en un 34% en el sentido X-X y 30.43% en el sentido Y-Y al considerar la base flexible.

Referencias

1. BUSTOS, E., & SERRANO, N. (2016). Departamento de ciencias de la tierra y la construcción. 103.

2. Chacón, J., Suquillo, B., Sosa, D., & Celi, C. (2021). Evaluation and reinforcement of an adobe heritage structure with plan irregularities | Evaluación y reforzamiento de una estructura patrimonial de adobe con irregularidad en planta. *Revista Politecnica*, 47(1), 43–56.
3. Mancheno, S. (2017). Análisis Del Desempeño Sísmico Del Edificio De Aulas De La Unidad Académica De Ingeniería Civil. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/7660>
4. Quispillo Morocho, K. (2022). ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL Y DEL NIVEL DE DESEMPEÑO DE UNA EDIFICACIÓN DE HORMIGÓN ARMADO, CONSIDERANDO DOS OPCIONES: BASE RÍGIDA E INTERACCIÓN SUELO ESTRUCTURA. *Material Safety Data Sheet*. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34107/1/Tesis I.C. 1557 - Quispillo Morocho Kevin Adrián.pdf>
5. Rangel, O. D. la T., Vázquez, R. L., Hernández, A. S., & Cabrera, J. C. R. (2004). Evaluación Estructural Y Comportamiento De Las Reparaciones Efectuadas a Edificaciones Históricas. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 0(70), 1–26.
6. Zúñiga Cuevas, O., & Terán Gilmore, A. (2008). Evaluación Basada En Desplazamientos De Edificaciones De Mampostería Confinada. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 48(79), 25. <https://doi.org/10.18867/ris.79.29>
7. Avilés, J. (1999). INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA: CONCEPTOS DE DISEÑO. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 33.
8. Calderín Mestre, F., Almenarez Labañino, D., & Boada Fernández, D. (2020). Consideration of the soil-structure interaction IMS building. *Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba*.
9. Corratgé Yzaguirre, Z., Martínez Cid, J., & Cobelo Cristiá, W. (9 de Abril de 2021). Influencia de la interacción dinámica suelo-estructura en el mecanismo de colapso y nivel de desempeño de edificaciones de hormigón armado. *Hormigón y acero*, 73(296), 13. doi:<https://doi.org/10.33586/hya.2021.3027>
10. Díaz Guzman, F. D., Espinoza Barreras, F., Sánchez Vergara, R., & Huerta López, C. I. (2012). *Monografías de Ingeniería Sísmica*. (A. H. Barbat, Editor) Obtenido de

- Monografías de Ingeniería Sísmica:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/28512/MIS67.pdf>
11. El Telegrafo. (18 de 05 de 2016). Obtenido de El Telegrafo:
<https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/ecuador/1/el-terremoto-afecto-a-24-013-edificaciones>
 12. Espinosa Stead, A. J., & Carrión Granja, J. P. (2019). Universidad Central del Ecuador. Obtenido de Universidad Central del Ecuador:
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20362>
 13. GAZETAS, G. (1991). Formulas and Charts for Impedances of Surface and Embedded Foundations. Journal of Geotechnical Engineering.
 14. HEREMBÁS ORTEGA , B. A. (2018). UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS. Obtenido de UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS:
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/13890>
 15. León Freire, J. C. (15 de Junio de 2016). Universidad Central del Ecuador. Obtenido de Universidad Central del Ecuador:
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6598/1/T-UC-0011-215.pdf>
 16. Morales, L., & Espinosa , A. (Febrero de 2020). Influence of The Soil Structure Iteraction (Ise) on Surface Foundations and Cohesive Soils In The Structural Behavior of an Eight-Story Basement Building . Revista Ingenio, 3(1), 26. Obtenido de <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/INGENIO/article/view/2391/3236>
 17. NEC. (2014). Normalización. Obtenido de Normalización:
https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen-nec-se-cg%2026-1.pdf
 18. VALDERRAMA CARPIO, C. J., & MEZA RODRIGUEZ , J. A. (DICIEMBRE de 2014). UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS. Obtenido de UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS:
https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/346266/Tesis%20VALDERRAMA_CC.pdf?sequence=1
 19. Villareal Castro, G., & Aguila Gómez , C. (Agosto de 2021). SOIL-STRUCTURE INTERACTION AND ITS INFLUENCE ON THE SEISMIC RESPONSE OF RC BUILDINGS. Revista Internacional de Ingenieria de Estructuras, 26(3), 46. doi: <http://dx.doi.org/10.24133/riie.v26i3.2336>

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).