



Respuesta espectral del Obelisco del Bicentenario del Perú, empleando un modelo de sistema continuo

Spectral response of the Bicentennial Obelisk of Peru, using a continuous system model

Resposta espectral do Obelisco do Bicentenário do Peru, utilizando um modelo de sistema contínuo

Marcos Josue Rupay-Vargas ^I
mrupay@uniscjsa.edu.pe
<http://orcid.org/0000-0002-7891-1838>

Angel Brayan Loayza-Perez ^{II}
77136363@uniscjsa.edu.pe
<http://orcid.org/0009-0002-5717-280X>

Adriana Carla Buendía-Ramos ^{III}
72579708@uniscjsa.edu.pe
<http://orcid.org/0009-0004-8620-0472>

Rossmery Lizbeth Hinostrroza-Enrique ^{IV}
73599463@uniscjsa.edu.pe
<http://orcid.org/0009-0008-0340-8606>

Carlos Bryan Gonzales-Huaman ^V
72795452@uniscjsa.edu.pe
<https://orcid.org/0009-0007-6780-6788>

Correspondencia: mrupay@uniscjsa.edu.pe

Ciencias de la Educación
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 08 de junio de 2024 * **Aceptado:** 27 de julio de 2024 * **Publicado:** 04 de agosto de 2024

- I. Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, Perú.
- II. Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, Perú.
- III. Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, Perú.
- IV. Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, Perú.
- V. Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, Perú.

Resumen

La finalidad de esta investigación fue la de obtener respuesta Espectral del Obelisco del Bicentenario Perú que se ubica en la región de la Libertad; empleando un modelo de sistema continuo de 1 GDL además de los parámetros sísmicos especificados en la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente. Para ello, se calcularon respuestas dinámicas como la aceleración y desplazamiento espectral, cortante basal y momento volcante de la estructura. La pseudo-aceleración (S_a) resulta en $6.0328 \frac{m}{s^2}$, el pseudo-desplazamiento (S_d) en $0.0731 m$; la cortante basal (V_{base}) de $19.0192 tonf$ y el momento volcante (M_{base}) de $411.2994 tonf \cdot m$. También, se obtuvo la distribución de la fuerza de inercia que es la siguiente expresión $F_{i_{max(x)}} = (4.1312 - 0.1043 \cdot X) \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\pi x}{2H}\right)\right) \frac{tonf}{m}$, el cual esencial para determinar las respuestas en la base de la estructura. Concluyendo que, este método es una herramienta muy importante en la ingeniería Sismorresistente, puesto que ofrece los resultados muy aproximados a la realidad; y porque nos permite determinar los parámetros más importantes del diseño sísmico, sin la necesidad de emplear software, ya que en algunas ocasiones es difícil de utilizar en campo.

Palabras clave: respuesta espectral; propiedades generalizadas; cortante basal; momento basal.

Abstract

The purpose of this investigation was to obtain the spectral response of the Bicentennial Obelisk of Peru, located in the Libertad region, using a continuous 1 GDL system model in addition to the seismic parameters specified in the Earthquake-Resistant Design Standard E.030. To this end, dynamic responses such as spectral acceleration and displacement, base shear and overturning moment of the structure were calculated. The pseudo-acceleration (S_a) results in $6.0328 m/s^2$, the pseudo-displacement (S_d) in $0.0731 m$; the base shear (V_{base}) of $19.0192 tonf$ and the overturning moment (M_{base}) of $411.2994 tonf \cdot m$. Also, the distribution of the inertia force was obtained, which is the following expression $F_{i_{max(x)}} = (4.1312 - 0.1043 \cdot X) \cdot (1 - \cos\left(\frac{\pi x}{2H}\right)) \frac{tonf}{m}$, which is essential to determine the responses at the base of the structure. Concluding that, this method is a very important tool in earthquake-resistant engineering, since it offers results very close to reality; and because it allows us to determine the most important parameters of the seismic design, without the need to use software, since sometimes it is difficult to use in the field.

Keywords: spectral response; generalized properties; basal shear; basal moment.

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi obter uma resposta espectral do Obelisco Bicentenario do Peru que se localiza na região de Libertad; utilizando um modelo de sistema contínuo de 1 DOF para além dos parâmetros sísmicos especificados na Norma E. 030 para o Projecto de Resistência Sísmica. Para tal foram calculadas respostas dinâmicas como a aceleração e o deslocamento espectral, o cisalhamento basal e o momento de tombamento da estrutura. A pseudoaceleração (S_a) resulta em $6,0328 \text{ m/s}^2$, o pseudodeslocamento (S_d) em $0,0731 \text{ m}$; o cisalhamento basal (V_{base}) de $19,0192 \text{ tonf}$ e o momento de tombamento (M_{base}) de $411,2994 \text{ tonf}\cdot\text{m}$. Além disso, foi obtida a distribuição da força de inércia, que é a seguinte expressão $F_{i_max}(x) = (4,1312 - 0,1043 \cdot X) \cdot (1 - \cos[\frac{f_0}{v}(\pi x / 2H)]) \text{ tonf/m}$, que é essencial para determinar as respostas na base da estrutura. Concluindo que este método é uma ferramenta muito importante na engenharia resistente a sismos, pois oferece resultados muito próximos da realidade; e porque nos permite determinar os parâmetros mais importantes do dimensionamento sísmico, sem necessidade de utilização de software, uma vez que por vezes é difícil a sua utilização no terreno.

Palavras-chave: resposta espectral; propriedades generalizadas; cisalhamento basal; momento inicial.

Introducción

El Perú es propenso a terremotos debido a su ubicación geográfica en el cinturón de fuego del Pacífico y a la presencia de la placa de Nazca en su territorio (Fritz, 2016). Es por ello la ocurrencia de sismos como en Arequipa, Nazca, Ancash y Tumbes, fueron los de mayor intensidad causando grandes daños en materiales y pérdidas humanas. Y para el caso en estudio del Obelisco del bicentenario del Perú que se encuentra en la región de La Libertad se registra la presencia de sismos como el más actual cuya magnitud 4.7 que ocurrió el 08 del mes de junio del presente año (Instituto Geofísico del Perú, 2024).

Es por ello que se calculó la respuesta espectral empleando un modelo de sistemas continuos usando modelos de 1 GDL, según Salinas (2014) un sistema de un grado de libertad es aquel en el que solo es posible un tipo de movimiento. En otras palabras, el sistema en cualquier instante se puede definir mediante 1 sola coordenada.

Por lo tanto, la respuesta espectral de un modelo de sistemas continuos con 1GDL del Obelisco del bicentenario del Perú que se calculará la fuerza de inercia, cortante basal y momentos basal máximos inducidos por un sismo, como referencia para aplicar al diseño de estructuras civiles en una gran cantidad de casos de la ingeniería.

Grados de libertad

Los GDL se refiere al número inferior de coordenadas esenciales para establecer la posición en el espacio y tiempo de una estructura y así definir en el espacio y tiempo las partículas de masas del sistema. Comportamiento de una estructura en función de los desplazamientos y fuerzas que están relacionados con un número de grados de libertad (Godiño, López y Rupay, 2017).

Sistemas de 1 GDL

El sistema de 1 GDL, es el modelo matemático de una estructura de un nivel. En el cual, los elementos estructurales que lo componen afectan a las propiedades de masa, elásticas y amortiguamiento de esta. Para esta idealización, solo se consideran las propiedades de masa, rigidez y la componente de amortiguamiento. Por lo tanto, cuando se tiene 1 GDL solamente se considera el desplazamiento lateral para el análisis de la estructura en el que la masa concentrada se ubica en la parte superior (Chopra, 2014).

Masa (M)

La masa es la cuantía de materia que tiene un cuerpo. El cual está asociado con la propiedad del sistema a resistirse a un cambio en su estado de movimiento inicial (Fleisner, 2012).

Rigidez (K)

Es la relación entre las fuerzas externas que inducen a las deformaciones de una estructura (García, 1998).

Frecuencia circular de vibración (ω)

Frecuencia de la estructura en la que oscila luego de una excitación inicial (Rupay, 2023).

Periodo natural de vibración (T)

Rango de tiempo en que un sistema estructural termina un ciclo (Rupay, 2023).

Frecuencia natural de vibración (f)

Es el contrapuesto del periodo natural de vibración (Rupay, 2023).

Amortiguamiento

Es la propiedad de una estructura para disipar energía. También se define, como el desarrollo en que un cuerpo en situación de vibración libre reduce su amplitud de vibración de forma constante (Chopra, 2014).

Materiales y métodos

Respuesta de sistemas continuos usando 1 GDL

Se calculó la respuesta máxima de un sistema con masa distribuida y que está sujeta en su base a una aceleración armónica. Para ello, se necesita detallar los siguientes parámetros descritos a continuación:

a) Propiedades dinámicas

- Frecuencia circular de vibración: $\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{K}{M}}$ (rad/s)
- Periodo natural de vibración: $T = \frac{2\pi}{\omega}$ (s)
- Frecuencia natural de vibración: $f = \frac{1}{T}$ (Hertz, Hz, 1/s)

b) Propiedades y acciones generalizadas

Muñoz (2002), afirma que las propiedades dinámicas en los sistemas que contengan masas distribuidas y concentradas en un punto discreto (x_i), son las siguientes:

- Carga externa generalizada: $P^* = \int F(x, t)\psi(x)dx + \sum F_i\psi(x_i)$
- Masa generalizada: $M^* = \int m(x)\psi(x)^2dx + \sum M_i\psi(x_i)^2$
- Masa participante: $L^* = \int m(x)\psi(x)dx + \sum M_i\psi_i(x_i)$
- Amortiguamiento Generalizado: $C^* = \int_0^h c(x)\psi^2(x)dx + \sum C_i(\psi_i)^2(x_i)$
- Rigidez Generalizada: $K^* = \int EI(x)\psi''(x)^2dx + \int k(x)\psi(x)^2dx + \sum K_i\psi(x_i)^2$

Análisis Dinámico Modal Espectral

De acuerdo con el artículo 29 de la Norma Técnica E. 030 Diseño Sismorresistente (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018) menciona lo siguiente: “Cualquier estructura puede ser diseñada usando los resultados de los análisis dinámicos por combinación modal espectral según lo especificado en dicho numeral” (p.10).

Aceleración Espectral

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utiliza un espectro inelástico de pseudo aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g$$

Donde:

- **Sa:** Aceleración Espectral
- **Z:** Factor de zona
- **U:** Factor de uso
- **C:** Factor de amplificación sísmica
- **S:** Factor de suelo
- **R:** Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas
- **G:** Aceleración de la gravedad

En este apartado, detallaremos cada uno de los parámetros a considerar, basándonos de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E.030.

Factores de Zona “Z”

Este factor es la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años.

Tabla 1
Factores de zona

FACTORES DE ZONA “Z”	
ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Nota. Obtenido de la NTP E.030 Diseño Sismorresistente (R.N.E).

Factores de Uso “U”

El factor de uso (U), se define según la clasificación, la Norma E.030 asigna 4 categorías:

- CATEGORÍA A: Catalogado como edificaciones esenciales, que están los establecimientos de salud, aeropuertos, locales municipales, universidades se le asigna un factor de uso de 1,5.
- CATEGORÍA B: Se encuentran las edificaciones importantes, que son edificaciones que reúnen gran cantidad de personas, por ejemplo, cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, tiene un valor de 1,3.
- CATEGORÍA C: Edificaciones comunes tales como viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes toman el valor de 1,0.
- CATEGORÍA D: Se encuentran las edificaciones temporales, en el cual deben proveer la resistencia y rigidez a criterio del proyectista.

Factores de Amplificación Sísmica (C)

Este factor se define de acuerdo con las características de sitio, donde:

$$T < T_p \quad C = 2,5$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2,5 * \left(\frac{T_p}{T}\right)$$

$$T > T_L \quad C = 2,5 * \left(\frac{T_p * T_L}{T^2}\right)$$

Para ello, es necesario conocer los perfiles de suelos que se detallara en el siguiente cuadro:

Tabla 2
Clasificación de los perfiles de suelo

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	\bar{V}_s	\bar{N}_{60}	\bar{S}_u
Roca Dura (So)	>1500 m/s	-	-
Roca o suelos muy rígidos (S1)	500 m/s a 1500 m/s	>50	>100 kPa
Suelos intermedios (S2)	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50kPa a 100kPa
Suelos blandos (S3)	<180 m/s	<15	25kPa a 50kPa
Condiciones excepcionales (S4)	Clasificación basada en el EMS		

Nota. Obtenido de la NTP E.030 Diseño Sismorresistente (R.N.E).

Dónde:

- \bar{V}_s : velocidad promedio de las ondas de corte.
- \bar{N}_{60} : Promedio ponderado del Ensayo Estándar de Penetración.
- \bar{S}_u : Promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada.

Asimismo, se debe tener en cuenta los parámetros de Sitio (S, TP y TL), que se evidencian en las tablas 3 y 4:

Tabla 3

Factor de suelo "S"

FACTOR DE SUELO		S1	S2	S3
ZONA	SUELO			
Z ₄	0,80	1,00	1,05	1,10
Z ₃	0,80	1,00	1,15	1,20
Z ₃	0,80	1,00	1,20	1,40
Z ₁	0,80	1,00	1,60	2,00

Nota. Obtenido de la NTP E.030 Diseño Sismorresistente (R.N.E)

Tabla 4

Periodos "Tp" Y "Tl"

Periodos Tp Y TL				
Perfil de suelo				
	S0	S1	S2	S3
T _P (S)	0,3	0,4	0,6	1,0
T _L (S)	3,0	2,5	2,0	1,6

Nota. Obtenido de la NTP E.030 Diseño Sismorresistente (R.N.E)

Coefficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R)

Este coeficiente se determina como el producto del coeficiente R_0 determinado a partir de la tabla N°5.

$$R = R_0 * I_a * I_p$$

Dónde:

- Ro: Coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas
- Ia: Factor de irregularidad estructural en la altura
- Ip: Factor de irregularidad estructural en planta

Sistemas estructurales y coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas (Ro):

Estos sistemas se clasifican según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis, y se detalla en la siguiente figura:

Tabla 5

Sistemas estructurales y coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas

SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema estructural	Coeficiente básico de reducción (Ro)(*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	5
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	4
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	7
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OSBF)	4
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada	3
Madera	7(**)

Nota. Obtenido de la NTP E.030 Diseño Sismorresistente (R.N.E)

Desplazamiento Espectral

Se puede calcular utilizando la respuesta de pseudo aceleración y la frecuencia circular: $S_d = \frac{S_a}{\omega^2}$

Respuesta dinámica para toda la estructura

- Respuesta de desplazamiento para toda la estructura: $Y_{\max} = \left(\frac{L^*}{M^*}\right) \cdot S_d \cdot \Psi(x)$

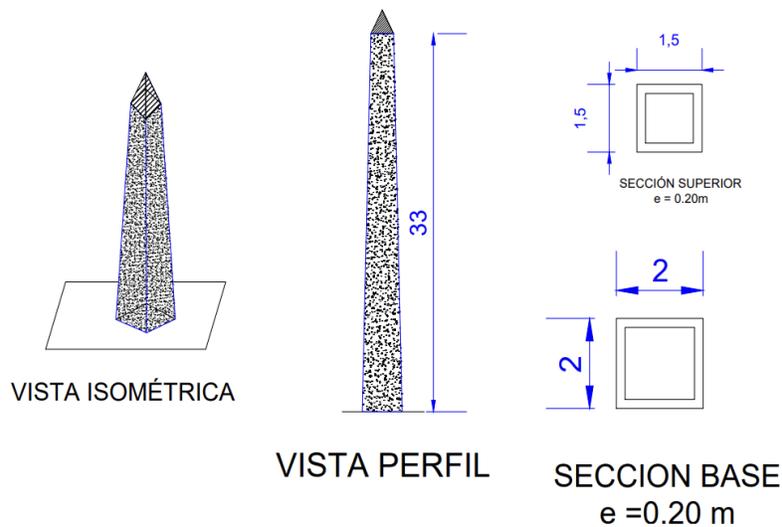
- Respuesta de aceleración para toda la estructura: $Y''_{\max} = \left(\frac{L^*}{M^*}\right) \cdot Sa \cdot \Psi(x)$
- Respuesta de aceleración máxima: $Z''_{\max} = \left(\frac{L^*}{M^*}\right) \cdot Sa$
- Fuerza de inercia máxima: $Fi_{\max(x)} = m \cdot Z''_{\max} \cdot \Psi(x)$
- Historia de cortante basal: $V_{base(t)} = \left(\frac{L^{*2}}{M^*}\right) \cdot Sa$
- Historia de momento basal: $M_{base(t)} = \int_0^H Fi_{\max(x)}(x)dx$

Caso de estudio

El Obelisco del bicentenario del Perú, se asume de forma tronco piramidal cuadrada con lado en la base de 2.0 m y en la parte superior de 1.50 m, el espesor de las paredes es constante de 20 cm de espesor. La altura total es de 33 m compuesta por una parte de concreto armado con un $E = 2.1 \times 10^6 \text{ tonf/m}^2$, $\gamma = 2.4 \text{ tonf/m}^3$ y se asume que tiene una cúpula de metal de masa despreciable para nuestro análisis. Considerando un modelo de 1GDL. Se asume, que se somete a una señal sísmica en la base definida por lo siguiente: $\ddot{s}_0 = 0.3g \text{ sen}(10t)$, y también que su forma de vibrar es $\Psi = 1 - \cos\left(\frac{x\pi}{2H}\right)$ para la respuesta espectral del sistema.

Figura 1

Dimensiones de la estructura del caso de estudio



a) Cálculo de la masa distribuida

El obelisco tiene una masa distribuida no uniforme en toda su longitud: $m = A \times \frac{\gamma}{g}$

Figura 2

Vista de perfil del Obelisco (en función de x)



Calculamos el área en función de “ x ”:

$$A_{(x)} = Lext_{(x)}^2 - Lint_{(x)}^2$$

$$Lext_{(x)} = 2 - \frac{1.5}{33}X$$

$$Lint_{(x)} = 1.6 - \frac{1.5}{33}X$$

$$A_{(x)} = \left(2 - \frac{1.5}{33}X\right)^2 - \left(1.6 - \frac{1.5}{33}X\right)^2$$

$$A_{(x)} = 1.44 + 0.03636 \cdot X$$

Entonces la masa distribuida será la siguiente expresión:

$$m_{(x)} = \frac{2.4}{9.81} \cdot (1.44 - 0.03636 \times X) \text{tonf} \cdot \frac{s^2}{m^2}$$

b) Cálculo de la Inercia

El obelisco tiene una inercia distribuida no uniforme en toda su longitud:

$$I_{(x)} = (Lext_{(x)}^4 - Lint_{(x)}^4) \cdot \frac{1}{12} (m^4)$$

$$I_{(x)} = \left(\left(2 - \frac{1.5}{33}X\right)^4 - \left(1.6 - \frac{1.5}{33}X\right)^4\right) \cdot \frac{1}{12} m^4$$

c) Cálculo de la masa generalizada (M*)

$$M^* = \int_0^{33} \left[\frac{2.4}{9.81} \cdot (1.44 - 0.03636 \cdot X) \right] \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\pi X}{2 \cdot 33}\right) \right)^2 dX$$

$$M^* = 0.8344 \text{ tonf} \cdot \frac{s^2}{m^2}$$

d) Cálculo de la masa participante (L*)

$$L^* = \int_0^{33} \left(\frac{2.4}{9.81} \cdot (1.44 - 0.03636 \cdot X) \right) \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\pi x}{2H}\right) \right) dx$$

$$L^* = 1.6219 \text{ tonf} \cdot \frac{s^2}{m}$$

e) Cálculo de la rigidez generalizada

$$K^* = \int_0^{33} \left((2.1 \cdot 10^6) \cdot \left(\left(2 - \frac{1.5}{33} X \right)^4 - \left(1.6 - \frac{1.5}{33} X \right)^4 \right) \cdot \frac{1}{12} \right) \cdot \left(\frac{\pi^2}{4 \cdot 33^2} \cdot \cos\left(\frac{\pi x}{2 \cdot 33}\right) \right)^2 dx$$

$$K^* = 68.8973 \text{ tonf/m}$$

f) Cálculo de la frecuencia circular del obelisco

$$\omega = \sqrt{\frac{K^*}{M^*}} = \sqrt{\frac{68.8973}{0.8344}} = 9.0869 \text{ rad/s}$$

g) Cálculo del periodo fundamental del obelisco

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{9.0869} = 0.6915 \text{ s}$$

h) Cálculo de la respuesta espectral

El cálculo fue realizado de acuerdo con lo especificado en la Norma E 0.30 Diseño Sismorresistente (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018) y los parámetros a determinar son: zonificación, factor de uso, tipo de suelo y coeficiente Básico de Reducción.

Tabla 6

Resultados para el cálculo de la respuesta espectral

El obelisco se ubica la altura del sector 4 Suyos, en La Esperanza,Z junto a la av. José Gabriel Condorcanqui -Trujillo- región La Libertad, según la Norma E 0.30 Diseño Sismorresistente - Tabla N°1	0.45
Por ser una edificación simbólica del estado, según la Norma E 0.30U Diseño Sismorresistente - Tabla N°5	1.5

Según Vega Polo (2018) en su estudio el suelo es material granularS grava, por ellos será considerado suelo intermedio.		1.05
De acuerdo con el tipo de suelo y la zonificación correspondiente,TP según la Norma E 0.30 Diseño Sismorresistente - Tabla N°4.	TP	0.6
	TL	2.0
Según Alay López (2024) el Coeficiente Básico de Reducción.	R	2.5

Nota. Elaboración propia

i) Cálculo del factor de amplificación

Figura 3: Rangos para el cálculo del factor de amplificación

$T < T_p$;	$C = 2.5$
$T_p < T < T_L$;	$C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$
$T > T_L$;	$C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)$

Nota. Obtenido de la NTP E.030 Diseño Sismorresistente (R.N.E)

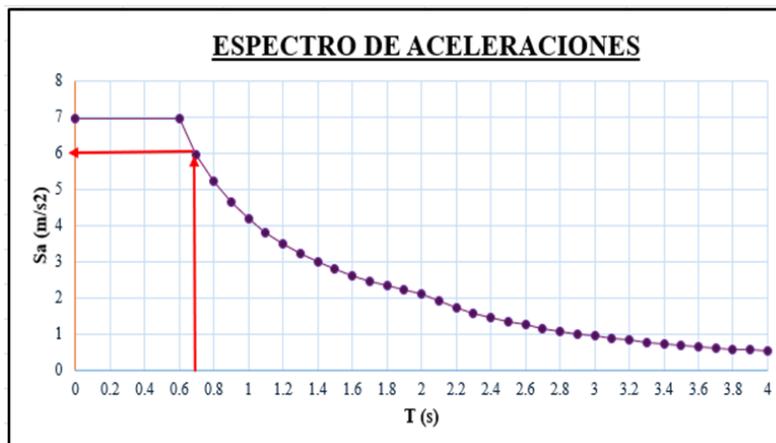
Entonces:

$$T = 0.6915 \quad ; \quad C = 2.5 \cdot \left(\frac{0.6}{0.6915}\right) = 2.169197$$

j) Cálculo de la seudo aceleración (m/s²)

$$S_a = \frac{0.45 \cdot 1.5 \cdot 2.169197 \cdot 1.05}{2.5} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} = 6.0328 \frac{m}{s^2}$$

Figura 4: Espectro de Aceleraciones



Nota. Elaboración propia

k) Cálculo del seudo desplazamiento (Sd)

$$Sd = 6.0328/9.0869^2$$

$$Sd = 0.0731 \text{ m}$$

Resultados

Desplazamiento y aceleración máxima para la estructura del obelisco

- Desplazamiento:

$$Y_{\max} = \left(\frac{1.6219}{0.8344}\right) \cdot 0.0731 \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\pi x}{2H}\right)\right) = 0.1421 \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\pi x}{2H}\right)\right) \text{ m}$$

- Aceleración:

$$Y''_{\max} = \left(\frac{1.6219}{0.8344}\right) \cdot 6.0328 \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\pi x}{2H}\right)\right) = 11.7265 \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\pi x}{2H}\right)\right) \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Aceleración máxima

$$Z''_{\max} = \left(\frac{1.6219}{0.8344}\right) \cdot 6.0328 = 11.7265 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Fuerza de inercia máxima

$$Fi_{\max(x)} = \frac{2.4}{9.81} \cdot (1.44 - 0.03636 \cdot x) \cdot 11.7265 \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\pi x}{2H}\right)\right)$$

$$Fi_{\max(x)} = (4.1312 - 0.1043 \cdot x) \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\pi x}{2H}\right)\right) \frac{\text{tonf}}{\text{m}}$$

Cortante en la base

$$V_{\text{base}} = \left(\frac{1.6219^2}{0.8344}\right) \cdot 6.0328 = 7.9248 \text{ Tonf}$$

$$V_{\text{base}} = 19.0192 \text{ Tonf}$$

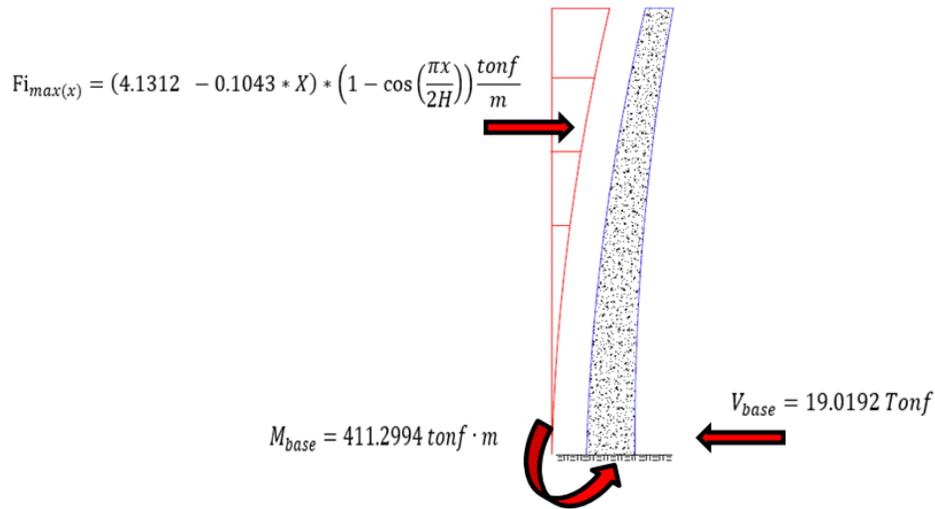
Momento en la base

$$M_{\text{base}} = \int_0^{33} (4.1312 - 0.1043 \cdot x) \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\pi x}{2H}\right)\right) (x) dx$$

$$M_{\text{base}} = 411.2994 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

Figura 5

Diagrama de $F_{i_{max}(x)}$, V y M basales



Nota. Elaboración propia

Discusión

Se calculó la respuesta espectral del sistema ubicado en la ciudad de Trujillo, que cuenta con un suelo intermedio con grava; se utilizaron los parámetros especificados en la Norma E.030 como el factor zonificación (Z) que es 4, el uso (U) de 1.5 al ser una edificación simbólica del Estado, el suelo clasificado como S2 al ser intermedio y coeficiente de reducción (R) 2.5.

La pseudoaceleración (S_a) es igual a $6.03280 \frac{m}{s^2}$ y que el seudo desplazamiento o desplazamiento espectral es de 0.0731 m. Asimismo, que la fuerza de inercia distribuida se da por la expresión de $F_{i_{max}(x)} = (4.1312 - 0.1043 \cdot X) \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\pi x}{2H}\right)\right) \frac{\text{tonf}}{m}$; y por otra la cortante en su base ($V_{base(t)}$) es de 19.0192 tonf y el momento volcante ($M_{base(t)}$) de 411.2994 tonf · m.

Al respecto, López (2024) en el estudio que realizó a dos obeliscos en la ciudad de Tacna, y empleando el software de Análisis Sísmico ETABS y la Norma E.030, calculó que las fuerzas cortantes fueron de 19.49 tonf y 13.58 tonf, respectivamente. Estos resultados se aproximan a lo calculado con el Obelisco del Bicentenario, pues las características de la estructura así como los parámetros sísmicos establecidos se asemejan.

A su vez, Cabanillas (2021) en su tesis de pregrado realizó una comparación de métodos para determinar el comportamiento sísmico de un reservorio; teniendo en cuenta parámetros establecidos por la Norma E. 030 como la zonificación, tipo de suelo, uso de la estructura y periodo,

además de una red de acelerogramas de Tacna, Callao y Moquegua. Obtuvo como resultados que la fuerza cortante máxima de la base del sistema es 16.976 tonf y un momento de $506 \text{ tonf} \cdot \text{m}$. A su vez, Garrido (2018) en su tesis analizó el comportamiento sísmico de tanques elevados esféricos con lo especificado en la Norma E. 030; llegó a obtener que las cortantes máximas llegan a valores de 471.875 tonf , 237.5 tonf , 146.875 tonf y 176.25 tonf ; y momentos máximos de $3850 \text{ tonf} \cdot \text{m}$, $1925 \text{ tonf} \cdot \text{m}$, $2681.25 \text{ tonf} \cdot \text{m}$ y $1437.5 \text{ tonf} \cdot \text{m}$. Cabe recalcar que este calculo se realizó tomando en cuenta la referencia de 8 columnas y con diferentes periodos y rigideces. Además, de tener en consideración el líquido que va a contener los reservorios y el modelo equivalente a masa-resorte.

Por su parte, Molina, Rivero y Lobo (2008), en su investigación al analizar la respuestal de acuerdo a 63 perfiles de suelo y tomando en cuenta el nivel freático, se determinó que en suelos de clase S1 la pseudoaceleración oscila entre $3g$, $2.3g$, $2.5g$; en suelos S2 varía de $3.7g$, $2.8g$ y $2.9g$; en S3 de $2.6g$, $3g$ y en un suelo S4 de $2.7g$. Además que el S3 tiene mayores velocidades y desplazamientos respecto a S1 pues llega a valores de entre 0.75 seg a 1 seg . De la misma manera, que los desplazamientos y velocidades se reducen en S4 a periodos muy altos. Es por ello, que establece que los terrenos de material granular disminuyen en su aceleración pero presentan un aumento en sus desplazamientos y velocidades; caso contrario, con los suelos blandos.

Conclusiones

Para desarrollar este ejercicio de aplicación orientado a estructuras existentes, se empleó el método de respuesta espectral de sistemas continuos usando modelos de un grado de libertad con el objetivo de determinar la cortante basal y el momento basal; debido a que este método nos brinda una base óptima para realizar el análisis y diseño de sistemas estructurales parecidos. Y, además, se logró la determinación de la cortante basal con un valor de 19.0192 tonf y el momento basal de $411.2994 \text{ tonf} \cdot \text{m}$ de acuerdo con la masa no distribuida en toda su longitud del del Obelisco del bicentenario del Perú.

También se obtuvo la distribución de la fuerza de inercia de toda la estructura, este valor se relaciona con la masa distribuida de la estructura, la aceleración absoluta del suelo y la forma de vibración de la estructura. La distribución de fuerza de inercia es primordial para hallar la cortante basal y el momento basal de la estructura.

El método de respuesta espectral de sistemas continuos usando modelos de un grado de libertad es una herramienta muy importante en la ingeniería Sismorresistente, puesto que ofrece los resultados muy aproximados a la realidad; y porque nos permite determinar los parámetros más importantes del diseño sísmico, sin la necesidad de emplear software, ya que en algunas ocasiones es difícil de utilizar en campo.

Referencias

1. Cabanillas Flores, L. P. (2021). Metodología de análisis por desempeño basado en desplazamientos para el comportamiento sísmico en reservorios elevados tipo fuste – Chiclayo. [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]. Chiclayo, Perú.
2. Castillo Fritz, R. E. (2016). Riesgo Sísmico en Viviendas Autoconstruidas del Distrito de Subtanjalla [Tesis de Pregrado, Universidad Alas Peruanas]. <https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/4588>
3. Chopra, A. K. (2014). Dinámica de Estructuras (4 ed.). México: Pearson Educación de México.
4. García Reyes, L. E. (1998). Dinámica Estructural aplicada al Diseño Sísmico. Bogotá: Universidad de los Andes.
5. Garrido Chavez, C. A. (2018). Análisis Sísmicos de Tanques Esféricos Elevados. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
6. Godiño Poma, F., López Yarango, J. S. y Rupay Vargas, M. J. (2017). Análisis Estructural I. Métodos Energético y Matricial con Aplicaciones Mathcad. Huancayo: Impresos S.R.L.
7. Fleisner, A. (2012). La referencia del término de magnitud física “Masa”. Páginas de Filosofía (16), 5-25. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5037664>
8. Instituto Geofísico del Perú. (Junio de 2024). Se registró un temblor de magnitud 4.7 en La Libertad. <https://www.infobae.com/peru/2024/06/08/se-registro-un-temblor-de-magnitud-47-en-la-libertad/>
9. López Alay, J. R. (2024). Mejoramiento de los servicio publicos de integracion economica y social en la plaza civica Coronel Gregorio Albarracin Lanchipa en la A.V. Villa San Francisco del distrito de Coronel Gregorio Albarracin de la provincia de Tacna. Tacna. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-alas-peruanas/estructuras-i/21-mc-obelisco/98166622?origin=home-recent-1>

10. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018). Norma Técnica E. 030 Diseño Sismorresistente. Lima, Perú: Editora Perú.
11. Muñoz Pelaez, A. (2002). Ingeniería Sismorresistente. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería.
12. Rupay Vargas, M. J. (2023). Respuesta de Sistemas Continuos usando modelos de 1 GDL. La Merced - Chanchamayo: Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa.
13. Rupay Vargas, M. J. (2023). Vibración Libre. La Merced - Chanchamayo: Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa.
14. Rupay Vargas, M., Godiño Poma, F. y Lopez Yarango, J. (2018). Estructuración y diseño sísmico de edificaciones. Huancayo, Perú.
15. Salinas Basualdo, R. (2014). Introducción a la dinámica estructural [Archivo PDF]. https://www.academia.edu/11398297/Introducci%C3%B3n_a_la_Ingenier%C3%ADa_Din%C3%A1mica_Rafael_Salinas_Basualdo_1_
16. Tarque Ruiz, N. y Loaiza Fuentes, C. (2003). Análisis Sísmico de Edificios. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería.