

# **UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO BENEDICTO XVI**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**“EFECTO DE LA VARIACIÓN VERTICAL DEL CENTRO DE GRAVEDAD DE EDIFICIOS EN SU DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL ANTE SISMOS.”**

### **TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

#### **AUTOR**

Br. Yanela Margot Diaz Villalobos

#### **ASESOR**

Mg. Ing. Fernando Arístides Saldaña Milla

#### **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Vivienda, Saneamiento y Transporte

**TRUJILLO – PERÚ**

2021

## **AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**Monseñor Dr. Héctor Miguel Cabrejos Vidarte, OFM**

Arzobispo Metropolitano de Trujillo

**Gran Canciller y Fundador de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI**

**R.P. Dr. John Joseph Lydon Mc Hugh, OSA**

Rector y Vice Gran Canciller

**Dra. Silvia Valverde Zavaleta**

Vicerrectora Académica

**Dr. Francisco Alejandro Espinoza Polo**

Vicerrector de Investigación

**Mg. Ing. Edwar Luján Segura**

Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

**Mons. Ricardo Exequiel Angulo Bazauri**

Gerente de Desarrollo Institucional

**Ing. Marco Antonio Dávila Cabrejos**

Gerente de Administración y Finanzas

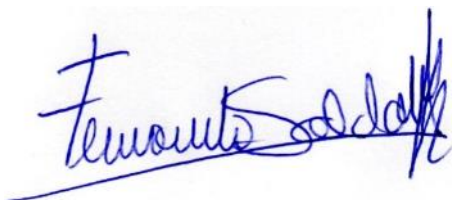
**Mg. José Andrés Cruzado Albarrán**

Secretario General

## CONFORMIDAD DEL ASESOR

Yo Mg. Fernando Arístides Saldaña Milla con DNI N° 18135414, como asesor del trabajo de investigación “EFECTO DE LA VARIACION VERTICAL DEL CENTRO DE GRAVEDAD DE EDIFICIOS EN SU DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL ANTE SISMOS” desarrollado por la bachiller Yanela Margot Diaz Villalobos con DNI N° 71130690, egresada del Programa Profesional de Ingeniería Civil, considero que dicho trabajo de titulación reúne los requisitos tanto técnicos como científicos y corresponde con las normas establecidas en el reglamento de titulación de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI y en normativa para la presentación de trabajos de titulación de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Por tanto, autorizo la presentación del mismo ante el organismo pertinente para que sea sometido a evaluación por la comisión de la clasificación designado por el Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

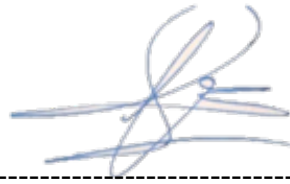


---

Mg. Fernando Arístides Saldaña Milla

DNI 18135414

## PAGINA DE JURADO



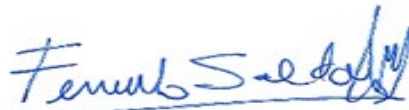
---

Mg. Luis Alberto Alva Reyes  
PRESIDENTE



---

Mg. Janet Edith Gonzales Valdivia  
SECRETARIO



---

Mg. Fernando Arístides Saldaña Milla  
VOCAL

## **DEDICATORIA**

### ***A mi hija***

*Mi tesis la dedico con todo mi amor a mi hija Maddisson Sophía Salazar Diaz, por ser mi fuente de inspiración y motivarme día a día a lograr mis metas.*

### ***A mi Asesor***

*A mi querido asesor, el Ingeniero Fernando Aristides Saldaña Milla, por haber sido el principal formador en mi vida universitaria y personal, durante estos últimos seis años, gracias por compartir sus sabios consejos conmigo, por inculcarme valores, y estar presente en todo momento.*

**Diaz Villalobos, Yanela**

***Autor***

## AGRADECIMIENTO

*Gracias a Dios por permitirme vivir una experiencia universitaria, gracias a mi universidad por convertirme en una profesional.*

*Agradezco también a mis formadores, personas de gran sabiduría, quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro.*

*A mis Padres Miguel Diaz González y Heyla Villalobos Aguilar, por su sacrificio y esfuerzo con el fin de darme una carrera profesional, por creer en mi capacidad y sobre todo por brindarme su amor de manera incondicional, así mismo por cada uno de sus consejos de superación.*

*A mis hermanos, Anderson, Susana, Katherin y Ángel, por ser fuente de motivación e inspiración, para poder superarme cada día; en especial a mi hermano mayor, por ser un ejemplo digno por seguir, siempre me brindaste tu apoyo, compartiste tus conocimientos y me enseñaste a ser perseverante, lo cual me sirvió para cumplir cada una de mis metas.*

***La Autora***

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Yanela Margot, Diaz Villalobos ,con número de DNI 71130690, Bachiller en Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, con la tesis titulada “EFECTO DE LA VARIACIÓN VERTICAL DEL CENTRO DE GRAVEDAD DE EDIFICIOS EN SU DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL ANTE SISMOS”, doy fe que he seguido rigurosamente los procedimientos académicos y administrativos procedidos por la facultad de ingeniería y Arquitectura de la mencionada universidad para la elaboración y sustentación de la tesis. Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la tesis son auténticos y veraces.

Además, en esta presente investigación se ha señalado todas las fuentes empleadas identificando correctamente toda cita textual, asumiendo un mínimo porcentaje de omisión involuntaria respecto al tratamiento de cita de autores, lo cual es de mi entera responsabilidad.

En tal sentido de identificarse fraude, plagio o piratería asumo las consecuencias y sanciones sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI.

Trujillo, octubre del 2021



---

Br. Yanela Margot, Diaz Villalobos

DNI 71130690

## INDICE

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS .....	2
CONFORMIDAD DEL ASESOR.....	3
PAGINA DE JURADO .....	4
DEDICATORIA .....	5
AGRADECIMIENTO .....	6
DECLARATORIA DE AUTETINCIDAD .....	7
INDICE.....	8
INDICE DE FIGURAS.....	11
INDICE DE TABLAS .....	12
RESUMEN .....	13
ABSTRACT.....	15
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	17
1.1. Planteamiento del problema.....	17
1.2. Formulación del problema .....	19
1.2.1. Problema general .....	19
1.2.2. Problemas específicos.....	19
1.3. Formulación de objetivos .....	20
1.3.1. Objetivo General.....	20
1.3.2. Objetivos Específicos.....	20
1.4. Justificación e importancia.....	20
1.4.1. Importancia .....	20
1.4.2. Justificación .....	21
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	22
2.1. Antecedentes de la investigación .....	22
2.2. Bases teórico científicas .....	27
2.2.1. Sismología.....	27
2.2.2. Características de un sismo .....	43
2.2.2. Rigidez de una edificación.....	48
2.3. Definición de términos básicos .....	49



2.3.1.	La gravedad.....	49
2.3.2.	Centro de gravedad .....	49
2.3.3.	Periodo de vibración .....	49
2.3.4.	Estructura .....	50
2.3.5.	Edificios .....	50
2.3.6.	Sismo.....	50
2.3.7.	Estabilidad.....	50
2.3.8.	Resistencia .....	51
2.3.9.	Rigidez .....	51
2.3.10.	Flexibilidad.....	51
2.3.11.	Desplazamiento lateral .....	51
2.4.	Formulación de hipótesis .....	52
2.4.1.	Hipótesis general.....	52
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	52
2.5.	Operacionalización de Variables.....	53
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....		54
3.1.	Tipo de investigación. ....	54
3.2.	Método de investigación .....	54
3.3.	Diseño de investigación. ....	54
3.4.	Población, muestra y muestreo.....	62
3.4.1.	Población.....	62
3.4.2.	Muestra. ....	62
3.4.3.	Muestreo .....	62
3.5.	Técnicas e instrumentos de recojo de datos .....	62
3.6.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	62
3.7.	Ética investigativa .....	62
CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....		63
4.1	Presentación y análisis de resultados .....	63
4.1.1.	Simulación 1: primer nivel.....	64
4.1.2.	Simulación 2: segundo nivel.....	66
4.1.3.	Simulación 3: tercer nivel .....	68
4.1.4.	Simulación 4: cuarto nivel .....	70

4.1.5.	Simulación 5: quinto nivel.....	72
4.1.6.	Simulación 6: sexto nivel.....	74
4.1.7.	Simulación 7: séptimo nivel.....	76
4.1.8.	Simulación 8: octavo nivel.....	78
4.1.9.	Simulación 9: noveno nivel .....	80
4.1.10.	Simulación 10: décimo nivel.....	82
4.2	Prueba de hipótesis (si corresponde).....	86
4.3	Discusión de resultados.....	86
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS .....		88
4.1	Conclusiones .....	88
5.2	Sugerencias.....	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		89

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Wave love.....	30
<b>Figura 2:</b> Wave Rayleigh .....	30
<b>Figura 3:</b> Ondas primarias, secundarias, love y Rayleigh wave .....	31
<b>Figura 4:</b> Tipos de Ondas.....	33
<b>Figura 5:</b> Generación de los reflejos sísmicos .....	35
<b>Figura 6:</b> La energía sísmica viaja en todas las direcciones desde el origen del terremoto....	42
<b>Figura 7:</b> Sismógrafo diseñado para registrar el movimiento vertical del terreno.....	43
<b>Figura 8:</b> Sismograma.....	43
<b>Figura 9:</b> Representación de un edificio con simetría axial en X, Y y Z.....	54
<b>Figura 10:</b> Representación de un edificio con simetría axial en X, Y y Z.....	57
<b>Figura 11:</b> Ubicación del centro de gravedad .....	58
<b>Figura 12:</b> Desplazamiento horizontal.....	59
<b>Figura 13:</b> Desplazamiento horizontal.....	60
<b>Figura 14:</b> Dimensiones dadas para el modelo de edificio a simular .....	63
<b>Figura 15:</b> Coordenadas de la gráfica tabulada - 1 .....	65
<b>Figura 16:</b> Coordenadas de la gráfica tabulada - 2 .....	67
<b>Figura 17:</b> Coordenadas de la gráfica tabulada - 3 .....	69
<b>Figura 18:</b> Coordenadas de la gráfica tabulada - 4 .....	71
<b>Figura 19:</b> Coordenadas de la gráfica tabulada - 5 .....	73
<b>Figura 20:</b> Coordenadas de la gráfica tabulada - 6 .....	75
<b>Figura 21:</b> Coordenadas de la gráfica tabulada - 7 .....	77
<b>Figura 22:</b> Coordenadas de la gráfica tabulada - 8 .....	79
<b>Figura 23:</b> Coordenadas de la gráfica tabulada - 9 .....	81
<b>Figura 24:</b> Coordenadas de la gráfica tabulada - 10 .....	83

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Velocidad $\alpha$ de algunos materiales .....	38
<b>Tabla 2:</b> Grados de intensidad de un sismo.....	46
<b>Tabla 3:</b> Variables tomadas de acuerdo al estudio.....	53
<b>Tabla 4:</b> Valores de desplazamientos máximos de entrepiso – 1.....	65
<b>Tabla 5:</b> Valores de desplazamientos máximos de entrepiso – 2.....	67
<b>Tabla 6:</b> Valores de desplazamientos máximos de entrepiso – 3.....	69
<b>Tabla 7:</b> Valores de desplazamientos máximos de entrepiso - 4 .....	71
<b>Tabla 8:</b> Valores de desplazamientos máximos de entrepiso – 5.....	73
<b>Tabla 9:</b> Valores de desplazamientos máximos de entrepiso - 6 .....	75
<b>Tabla 10:</b> Valores de desplazamientos máximos de entrepiso - 7 .....	77
<b>Tabla 11:</b> Valores de desplazamientos máximos de entrepiso – 8.....	79
<b>Tabla 12:</b> Valores de desplazamientos máximos de entrepiso – 9.....	81
<b>Tabla 13:</b> Valores de desplazamientos máximos de entrepiso – 10.....	84
<b>Tabla 14:</b> Simulaciones sísmicas y sus desplazamientos horizontales .....	85

## RESUMEN

El Perú se encuentra en una zona de alta actividad sísmica, por lo que es vulnerable a este tipo de eventos. Los sismos son un desafío para el mundo de la ingeniería civil, es por ello, que en esta investigación se ha visto la necesidad de considerar la variación de la ubicación vertical del centro de gravedad de edificaciones, que es importante para disminuir el desplazamiento horizontal causado por la oscilación, por ello, se realizó un análisis para variar dicho centro, del tal forma que se logre controlar el desplazamiento horizontal en una edificación; para lo cual, se identificó el efecto de la variación vertical del centro de gravedad en su desplazamiento horizontal ante sismos; se realizó un modelo matemático básico con la finalidad de ubicar el centro de gravedad similar al del modelo a evaluar, luego simulando con software un edificio simétrico con su centro de gravedad modificado, mostrando similar comportamiento del desplazamiento horizontal con el modelo matemático básico, lo que determinó el efecto causado al desplazar el centro de gravedad y el desplazamiento horizontal del modelo del edificio ante sismos.

Como se ha demostrado, se realizó la variación del centro de gravedad del edificio, tanto en el modelo matemático como en la simulación sísmica con software ETABS 16, en el que se sumó una masa de 200 kg por nivel, realizando un total de 10 simulaciones (una por cada piso con las 200 kg de masa agregada), en ambas operaciones obtuvimos por resultado que el desplazamiento horizontal ante sismos en los primeros cuatro pisos era menor que en los seis siguientes, pues en los últimos niveles oscilaban más, puesto que presentan una altura superior; se llega a las siguientes conclusiones: se logró identificar el efecto de la variación vertical del centro de gravedad del edificio modelado en su desplazamiento horizontal ante sismos; se realizó el modelo matemático básico, con el cual se logró ubicar el centro de gravedad similar al modelo evaluado; se simuló con Software un edificio simétrico de 10 pisos con su centro de gravedad modificado para mostrar similitud del desplazamiento horizontal con el modelo matemático realizado, al desplazar el centro de gravedad de un edificio simétrico de 10 pisos y; el desplazamiento horizontal del modelo del edificio ante la ocurrencia de un sismo será menor en sus cuatro primeros niveles.

Se recomienda llevar a cabo esta investigación haciendo uso de una mesa sísmica para realizar la simulación con el edificio simétrico, y así poder obtener los datos con mayor exactitud.

**Palabras claves:** Sismo, centro de gravedad, desplazamiento horizontal y desplazamiento vertical

## ABSTRACT

Peru is located in an area of high seismic activity, so it is vulnerable to this type of event. The seismicity is a challenge for the world of civil engineering, that is why, in this research it has been seen the need to consider the variation of the vertical location of the center of gravity of buildings, which is important to reduce the horizontal displacement caused by the oscillation, therefore, an analysis was carried out to vary this center, in such a way that it is possible to control the horizontal displacement in a building; for which, the effect of the vertical variation of the center of gravity in its horizontal displacement before asymmetries was identified; a basic mathematical model was made in order to locate the center of gravity similar to that of the model to be evaluated, then simulating with software a symmetrical building with its modified center of gravity, showing similar behavior of the horizontal displacement with the basic mathematical model, which determined the effect caused by shifting the center of gravity and the horizontal displacement of the building model in the face of an accident.

As has been demonstrated, we performed the variation of the center of gravity of the building, both in the mathematical model and in the seismic simulation with ETABS 16 software, in which a maximum of 200 kg per level was added, performing a total of 10 simulations (one for each floor with the 200 kg of added mass), in both operations we obtained as a result that the horizontal displacement before sismos in the first four floors was lower than in the following six, since in the last levels they oscillated more, since they have a higher height; the following conclusions are reached: we managed to identify the effect of the vertical variation of the center of gravity of the modeled building in its horizontal displacement before earthquakes; the basic mathematical model was made, with which it was possible to locate the center of gravity similar to the evaluated model; a symmetrical building of 10 floors with its center of gravity modified to show similarity of the horizontal displacement with the mathematical model made, by displacing the center of gravity of a symmetrical building of 10 floors and; the horizontal displacement of the model of the building before the occurrence of an earthquake will be minor in its first four levels.

It is recommended to carry out this research using a seismic table to perform the simulation with the symmetrical building, and thus be able to obtain the data more accurately.

**Keywords:** Earthquake, center of gravity, horizontal displacement and vertical displacement