

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



“ANÁLISIS DE LA RESPUESTA SÍSMICA EN UN EDIFICIO, DEBIDO AL  
COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO DE UNA PISCINA ANCLADA A  
SU SISTEMA ESTRUCTURAL EN LA AZOTEA, UBICADO EN BAÑOS  
DEL INCA - CAJAMARCA”

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

Bach. EDGAR DILSON VÁSQUEZ ESCOBAR

**ASESOR:**

Dr. Ing. HERMES ROBERTO MOSQUEIRA RAMÍREZ

CAJAMARCA - PERÚ

2023

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** Bach. EDGAR DILSON VÁSQUEZ ESCOBAR  
**DNI:** 76317041  
**Escuela Profesional:**
- Asesor:** Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramirez  
**Facultad:** Ingeniería  
**DNI:** 26673916
- Grado académico o título profesional**  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
- Tipo de Investigación:**  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**  
"ANÁLISIS DE LA RESPUESTA SÍSMICA EN UN EDIFICIO, DEBIDO AL COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO DE UNA PISCINA ANCLADA A SU SISTEMA ESTRUCTURAL EN LA AZOTEA, UBICADO EN BAÑOS DEL INCA - CAJAMARCA"
- Fecha de evaluación:** 31 de julio del 2024
- Software antiplagio:**       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 16%
- Código Documento: oíd:** 3117:371028691
- Resultado de la Evaluación de Similitud:** 16%  
 APROBADO       PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 1 de Agosto 2024



FIRMA DEL ASESOR

Nombres y Apellidos

DNI: 26673916



Firmado digitalmente por:  
FERNANDEZ LEON Yvonne  
Katherine FAU 20148258601 soft  
Motivo: Soy el autor del  
documento  
Fecha: 01/08/2024 17:10:57-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

## **AGRADECIMIENTO**

Inicialmente, hago presente mi agradecimiento a los docentes de la Universidad Nacional de Cajamarca, en específico de la carrera de ingeniería civil, por los conocimientos impartidos hacia mi persona y demás compañeros, en favor de nuestra formación académica y preparación para la vida profesional.

Asimismo, agradezco infinitamente a mis padres Evelio Vásquez Becerra y Elicia Escobar Pérez, a mis hermanos y familiares en general, quienes en todo momento y en toda circunstancia siempre me brindaron su apoyo incondicional mediante el cual pude lograr todos mis objetivos propuestos.

De igual forma, mi agradecimiento al Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez, por asesorarme en cada momento primordial de la elaboración de la tesis, haciendo más viable cada etapa que conlleva la realización del presente trabajo, guiándome con sus valiosos aportes y conocimientos sobre el tema abordado.

## ÍNDICE GENERAL

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	i
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	ii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>RESUMEN</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. HIPÓTESIS.....	2
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.5. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.6. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.7. OBJETIVOS.....	4
1.7.1. Objetivo general.....	4
1.7.2. Objetivos específicos.....	4
1.8. DELIMITACIONES.....	4
1.9. LIMITACIONES.....	5
1.10. ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	6
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	7
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	7
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	7
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	8
2.1.3. Antecedentes locales.....	9
2.2. BASES TEÓRICAS.....	10
2.2.1. Estructuras de concreto armado.....	10
2.2.1.1. El concreto armado.....	11
2.2.1.2. El acero de refuerzo.....	14
2.2.1.3. Confinamiento del concreto.....	14
2.2.2. Piscinas en edificios.....	15
2.2.3. Estructuras contenedoras de líquidos.....	17
2.2.3.1. Comportamiento hidrodinámico de una piscina.....	18
2.2.3.2. Modelo del sistema estructural.....	20
2.2.4. Estructuras contenedoras de líquidos en altura, sometidos a sismos.....	21
2.2.4.1. La respuesta sísmica.....	23
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	25

<b>CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	27
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
3.2. ÉPOCA DE LA INVESTIGACIÓN.....	28
3.3. PROCEDIMIENTO.....	28
3.3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS A ESTUDIAR.....	28
3.3.2. PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	29
3.3.2.1. Descripción de estructura típica en planta.....	29
3.3.2.2. Resistencia de los elementos estructurales.....	32
3.3.2.3. Metrado de cargas.....	33
3.3.3. ANÁLISIS SÍSMICO.....	34
3.3.3.1. Selección de parámetros sísmicos.....	34
3.3.3.2. Análisis dinámico .....	37
3.4. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	41
3.4.1. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO.....	41
3.4.1.1. Población del estudio.....	41
3.4.1.2. Muestra.....	41
3.4.2. TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	41
3.4.3. TIPO DE ANÁLISIS.....	41
3.4.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	41
3.4.5. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	42
3.4.6. ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	43
3.4.6.1. Cálculo de parámetros y análisis sísmico.....	43
A. Cálculo de la presión hidrostática del líquido en la piscina.....	43
B. Análisis sísmico dinámico del edificio y piscina.....	44
B.1. Cálculo de parámetros sísmicos para la piscina.....	44
B.2. Determinación del espectro de pseudoaceleraciones.....	46
B.3. Combinaciones de carga.....	48
B.4. Análisis modal.....	49
B.5. Modelamiento estructural del edificio con piscina.....	49
B.6. Modos y periodos resultantes del análisis.....	51
B.7. Fuerza cortante mínima de diseño.....	52
B.8. Desplazamientos laterales máximos.....	52
3.4.6.2. Presentación de resultados.....	53
A. Cortante basal.....	53
B. Periodo fundamental de vibración.....	55
C. Desplazamiento máximo.....	57

<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	59
4.1. CORTANTE BASAL.....	59
4.2. PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN.....	60
4.3. DESPLAZAMIENTO MÁXIMO.....	62
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	65
5.1. CONCLUSIONES.....	65
5.2. RECOMENDACIONES.....	66
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	67
<b>ANEXOS</b> .....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de los materiales en los elementos del edificio y piscina.....	32
Tabla 2. Cargas adicionales asignadas al edificio y piscina.....	33
Tabla 3. Factores de amplificación para el suelo.....	35
Tabla 4. Periodos TP y TL.....	36
Tabla 5. Parámetros sísmicos para el espectro de pseudoaceleraciones.....	46
Tabla 6. Cálculo del espectro de pseudoaceleraciones.....	47
Tabla 7. Parámetros para el modelamiento estructural y análisis dinámico.....	50
Tabla 8. Valores de la cortante basal en la dirección X.....	53
Tabla 9. Valores de la cortante basal en la dirección Y.....	54
Tabla 10. Valores del periodo fundamental de vibración en la dirección X.....	55
Tabla 11. Valores del periodo fundamental de vibración en la dirección Y.....	56
Tabla 12. Valores del desplazamiento máximo en dirección X.....	57
Tabla 13. Valores del desplazamiento máximo en dirección Y.....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Edificio de concreto armado en construcción.....	12
Figura 2. Piscina en azotea de edificio.....	15
Figura 3. Estructuras contenedoras de líquidos en alturas.....	18
Figura 4. Movimiento del fluido en un tanque rectangular.....	20
Figura 5. Sistema mecánico equivalente.....	21
Figura 6. Edificios con tanques elevados unidos a su estructura.....	22
Figura 7. Tanque elevado colapsado a consecuencia de un sismo.....	23
Figura 8. Periodo fundamental de vibración.....	24
Figura 9. Desplazamiento lateral ocasionado por la carga sísmica.....	24
Figura 10. Cortante basal para una edificación.....	25
Figura 11. Ubicación geográfica de la investigación.....	27
Figura 12. Planta estructural típica del edificio.....	29
Figura 13. Planta estructural típica del último piso, donde se encuentra anclada la piscina...30	
Figura 14. Secciones de columnas.....	31
Figura 15. Secciones de vigas.....	31
Figura 16. Secciones de placas del edificio y muro de la piscina.....	32
Figura 17. Zonificación sísmica del Perú.....	35
Figura 18. Espectro de pseudoaceleraciones.....	48
Figura 19. Modelamiento del edificio con piscina, en el programa SAP2000.....	50
Figura 20. Vista de la piscina, donde se notan los resortes asignados.....	51
Figura 21. Modo de vibración donde se encuentra el mayor periodo.....	52
Figura 22. Cortante basal en la dirección X, según la condición del edificio.....	53
Figura 23. Cortante basal en la dirección Y, según la condición del edificio.....	54
Figura 24. Periodo fundamental de vibración dirección X, según condición del edificio.....	55
Figura 25. Periodo fundamental de vibración dirección Y, según condición del edificio.....	56
Figura 26. Desplazamiento máximo en dirección X, según la condición del edificio.....	57
Figura 27. Desplazamiento máximo en dirección Y, según la condición del edificio.....	58
Figura 28. Gráfico de la cortante basal para todos los casos estudiados y en ambas direcciones X e Y.....	60
Figura 29. Gráfico del periodo fundamental para todos los casos estudiados y en ambas direcciones X e Y.....	61
Figura 30. Gráfico del desplazamiento máximo para todos los casos estudiados y en ambas direcciones X e Y.....	63

## RESUMEN

Los tanques de agua en las azoteas, como las piscinas, que están acoplados al sistema estructural de los edificios, tienen un impacto significativo en los parámetros de respuesta sísmica debido al efecto hidrodinámico inducido durante un evento sísmico. Este efecto puede generar problemas que afectan directamente la integridad de la estructura principal del edificio. En esta investigación, se analizó la influencia del comportamiento hidrodinámico de una piscina anclada en la azotea sobre la respuesta sísmica del edificio. Se utilizó el software SAP2000 v22 para realizar un análisis sísmico modal espectral en prototipos de edificios con 5, 6, 7 y 8 pisos. La investigación adoptó un enfoque cuantitativo con parámetros de respuesta que incluyen la cortante basal, el periodo fundamental de vibración y el desplazamiento máximo. Los resultados mostraron que los parámetros de respuesta sísmica varían más en la dirección donde la piscina tiene mayor longitud. Las conclusiones indican que el comportamiento hidrodinámico de la piscina tiene una influencia significativa en los parámetros de respuesta sísmica. Se observó un incremento notable en la cortante basal, alcanzando hasta el 10.91% en la dirección X para el edificio de 8 pisos. El periodo fundamental de vibración aumenta más en la dirección Y, con un incremento del 10.00% en el edificio de 5 pisos. El desplazamiento máximo presenta una alta variación en la dirección X, llegando al 63.33% en el edificio de 5 pisos. Estos resultados confirman que la masa adicional del agua de la piscina y su comportamiento durante un sismo contribuyen a un incremento en todos los parámetros estudiados, siendo las mayores variaciones observadas en la dirección de mayor longitud de la piscina.

**Palabras clave:** cortante basal, periodo fundamental, desplazamientos, esfuerzos internos, comportamiento hidrodinámico.

## ABSTRACT

The water tanks on rooftops, such as swimming pools, integrated into the structural system of buildings significantly impact the seismic response parameters due to the hydrodynamic effects induced during an earthquake. This effect can lead to issues that directly affect the integrity of the building's main structure. This research analyzed the influence of the hydrodynamic behavior of a rooftop pool on the seismic response of the building. The software SAP2000 v22 was used to perform modal spectral seismic analysis on prototypes of buildings with 5, 6, 7, and 8 floors. The research adopted a quantitative approach with response parameters including base shear, fundamental vibration period, and maximum displacement. The results showed that seismic response parameters vary more in the direction where the pool has the greatest length. The conclusions indicate that the hydrodynamic behavior of the pool has a significant influence on the seismic response parameters. Notable increases in base shear were observed, reaching up to 10.91% in the X direction for the 8-story building. The fundamental vibration period increased more in the Y direction, with a 10.00% increase in the 5-story building. Maximum displacement showed a high variation in the X direction, reaching 63.33% in the 5-story building. These results confirm that the additional mass of the pool water and its behavior during an earthquake contribute to an increase in all studied parameters, with the greatest variations observed in the direction of the pool's greatest length.

**Key words:** basal shear, fundamental period, displacements, internal efforts, hydrodynamic behavior.

# **CAPÍTULO I.**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Se ha evidenciado que los tanques contenedores de agua en las azoteas, ya sean piscinas o de abastecimiento de agua potable, contruidos de concreto armado y acoplados al sistema estructural del edificio, influyen de manera directa en los parámetros de respuesta sísmica que son clave en el diseño de las edificaciones, más aún encontrándonos en una zona altamente sísmica. El movimiento de la gran masa de agua ocasionada por la fuerza telúrica conlleva a ciertos problemas como colapsos totales o parciales, además de agrietamientos, filtraciones y otros contratiempos que repercuten directamente en la estructura principal del edificio. (Anconeira, 2017).

La ocurrencia de un terremoto de gran magnitud deja consecuencias devastadoras en las edificaciones, afectando seriamente a los edificios y si cuentan con tanques elevados de concreto armado estos colapsan inundando los ambientes en la parte inferior, además de dañar severamente a los elementos estructurales que lo soportan produciendo fracturas en las columnas y fallas en los nudos, conllevando a pérdidas cuantiosas para los propietarios. (Rivera, 2018).

Debido al auge del sector de construcción las empresas de este rubro se ven obligadas a innovar, colocando ambientes y estructuras que mejoren la calidad de vida de los usuarios, tal es el caso de las piscinas en las azoteas, pero en nuestro medio no se cuenta con una metodología precisa para el análisis de estas estructuras contenedoras de agua en altura y son pocos los estudios específicos para comprender a cabalidad su comportamiento hidrodinámico, por lo cual surge la necesidad de investigar en términos cuantitativos cómo afecta a la respuesta sísmica del edificio. (Lozano, 2017).

Es de mucha relevancia que el diseño de edificios contemple una alta probabilidad de ocurrencia de terremotos, dado que la corteza terrestre está en constante movimiento, generando vibraciones y liberando grandes cantidades de energía en forma de ondas sísmicas que se propagan a largas distancias. Estas vibraciones

ponen en peligro las edificaciones al inducir movimientos en su base, generando esfuerzos significativos que pueden dañarlas gravemente o incluso destruirlas por completo.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

En la presente tesis, el problema de investigación se ha sintetizado en la siguiente interrogante:

¿Cómo afecta el comportamiento hidrodinámico de una piscina anclada a su sistema estructural en la azotea a la respuesta sísmica del edificio ubicado en Baños del Inca - Cajamarca, en términos de cortante basal, periodo fundamental y desplazamientos de su estructura?

## **1.3. HIPÓTESIS**

El comportamiento hidrodinámico de una piscina anclada a la azotea de un edificio tiene un impacto significativo en la respuesta sísmica del edificio, aumentando la cortante basal, el periodo fundamental y los desplazamientos de su estructura.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Se justifica esta investigación bajo un aspecto práctico, considerando que en nuestro país tenemos una alta probabilidad de que ocurran eventos sísmicos, los cuales pueden llegar a ser demasiado destructores, dañando severamente las estructuras de todo tipo de material incluyendo las de concreto armado, lo cual acarrea cuantiosas pérdidas económicas y pone en riesgo la vida de sus habitantes.

En lo referente al aspecto técnico, este estudio pretende brindar un aporte relacionado a la evaluación de los parámetros de respuesta sísmica, los cuales son afectados directamente por la actividad hidrodinámica de una piscina en la azotea de un edificio de concreto armado, observando cómo el incremento de masa en altura aumenta la variación de dichos parámetros, Para que teniendo este conocimiento posteriormente se puedan realizar los diseños y análisis de la manera más acertada posible.

## **1.5. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

La importancia del presente trabajo de investigación radica en la determinación de la influencia que tiene una piscina al estar anclada en la parte más elevada de un edificio de concreto armado, la cual debido al líquido que contiene en su interior origina un comportamiento hidrodinámico muy particular, de lo cual nos ocupamos en este estudio y las repercusiones que tiene sobre la estructura principal del edificio en cuanto todo el conjunto sea afectado sísmicamente, determinando los efectos mediante los principales parámetros sísmicos para así poder establecer los resultados más realistas que puedan ser utilizados en posteriores edificaciones similares.

## **1.6. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN**

En este trabajo de investigación se analiza la manera cómo una piscina con un volumen de 269.29 m<sup>3</sup> ubicada en el último nivel de un edificio para la ciudad de Baños del Inca departamento de Cajamarca, se comporta frente a la ocurrencia de un sismo de gran magnitud, para lo cual se tiene en cuenta el comportamiento hidrodinámico del agua contenida en su interior. La geometría del modelo consta de un largo de 16.70 m, ancho de 6.45 y una altura efectiva del agua de 2.50 m.

La comparación para determinar la influencia hidrodinámica al anclar una piscina en la azotea fue hecha entre edificios de la misma altura uno con piscina y otro sin esta, se analizaron dos edificios de 5 pisos, dos de 6, dos de 7 y dos de 8 pisos, adicionalmente se comparó los resultados de todos juntos para ver cómo varían los parámetros a medida que se hacen más altos.

Referente al análisis sísmico, este se realizó en el programa computacional SAP2000 v.22, en este programa se modelaron los edificios de diferentes alturas antes mencionados a los cuales se les incorporó la piscina llena ya que los movimientos del agua influyen significativamente.

Los parámetros sísmicos a estudiar en la presente investigación son: el periodo fundamental de vibración de la estructura total, el desplazamiento máximo para todo el edificio y la cortante basal. Estos parámetros de observación nos sirven para determinar la influencia que ejerce la piscina ubicada en lo más alto del edificio.

## 1.7. OBJETIVOS

### 1.7.1. Objetivo General

- Analizar el impacto del comportamiento hidrodinámico de una piscina anclada a la azotea de un edificio de concreto armado en la respuesta sísmica del mismo, en términos de cortante basal, periodo fundamental y desplazamientos, en Baños del Inca – Cajamarca.

### 1.7.2. Objetivos Específicos

- Evaluar cómo el comportamiento hidrodinámico de una piscina en la azotea influye en la cortante basal del edificio, en ambas direcciones.
- Analizar el efecto del comportamiento hidrodinámico de la piscina en el periodo fundamental de vibración de la estructura completa del edificio.
- Determinar el impacto del comportamiento hidrodinámico de la piscina anclada en la azotea sobre el desplazamiento máximo del edificio en ambas direcciones.

## 1.8. DELIMITACIONES

Con el fin de determinar la respuesta sísmica, a toda la estructura incluida la piscina, se sometió a un análisis dinámico modal espectral, mediante un espectro de pseudoaceleraciones elaborado en base a la norma E.030 – 2018 del RNE. Los parámetros utilizados son:

Factor de zona:  $Z = 0.35$  (por la ubicación del distrito de Baños del Inca).

Factor de uso:  $U = 1$  (edificio de viviendas).

Factor de amplificación sísmica:  $C$  (de acuerdo a los parámetros de la norma).

Factor de modificación de respuesta:  $R = 7$  (sistema estructural dual).

Factor de amplificación del suelo:  $S = 1.20$  (suelo blando)

El parámetro de sitio referente al factor de amplificación del suelo que se utilizó en el análisis sísmico fue recabado del expediente técnico: “Mejoramiento y ampliación del servicio de agua potable y saneamiento en la localidad de Baños del Inca y anexos, distrito de Los Baños el Inca – Cajamarca – Cajamarca” del año 2017, la calicata utilizada de este expediente es la C-26 y queda justamente en la zona del

edificio, la profundidad de excavación fue de 3 m. En estos estudios de suelos se presenta un tipo de suelo CL es decir es arcilloso, con una capacidad portante promedio del terreno de  $1 \text{ kg/cm}^2$ , lo cual nos indica que es un suelo blando.

Se realizaron los cálculos de las masas impulsiva y convectiva del agua, estas fueron incorporadas en el modelo mediante el programa SAP2000. También fue determinada la rigidez de los resortes de la masa convectiva, ya que de acuerdo a la teoría hidrodinámica de tanques, esta parte superior del líquido presenta un comportamiento similar a estos elementos.

Los modelos estructurales ensayados son de 5; 6; 7 y 8 pisos con sistema estructural dual, comparándose cada edificio sin piscina con otro prototipo de su misma altura pero con piscina en la cual se hallan incorporadas las masas de las componentes del agua mencionadas anteriormente.

### **1.9. LIMITACIONES**

No se tiene en cuenta el efecto del agua sobre los esfuerzos internos en las paredes de la piscina, ya que de acuerdo a los objetivos, los parámetros de respuesta sísmica que se analizan en el presente estudio tienen que ver con toda la estructura global del edificio, tales como la cortante basal, el periodo fundamental de vibración y los desplazamientos máximos.

En lo referente a los efectos del viento no se realiza un análisis de este fenómeno por ser considerado poco relevante, ya que según la Norma E.020 del RNE, artículo 12, sección 12.2. los edificios en estudio se clasifican como edificaciones poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento por tratarse de edificios de poca altura ( $< 35 \text{ m}$ ), el más alto en estudio es del de 8 pisos y llega hasta 24 m, además todos los edificios son no esbeltos. Asimismo la piscina cuenta con 50 cm de borde libre, lo cual hace que viento tenga menos incidencia sobre la superficie del agua, minimizando así cualquier efecto negativo.

Asimismo, en esta tesis no se realiza el análisis de interacción suelo-estructura, considerándose así todas las bases de las columnas y placas con empotramiento perfecto.

## 1.10. ESTRUCTURA DE LA TESIS

Esta investigación consta de la siguiente estructura:

- **Capítulo I:** Describe lo referente a la introducción en la que se encuentran el planteamiento y formulación del problema, hipótesis, justificación, se indica la importancia de la investigación, los alcances y objetivos.
- **Capítulo II:** Este capítulo comprende al marco teórico, donde se consideran los antecedentes teóricos, así como las bases teóricas de la investigación.
- **Capítulo III:** Corresponde a la descripción de los materiales, la metodología utilizada, se expone el procedimiento de la investigación, asimismo se realiza el tratamiento, análisis de datos y posteriormente presentación de resultados.
- **Capítulo IV:** Se realiza el análisis y la discusión de los resultados, describiendo la información hallada para su posterior contrastación con la teoría que se empleó, luego se explican los resultados.
- **Capítulo V:** Comprende a las conclusiones y recomendaciones relacionadas a posteriores investigaciones en esta área.
- **Referencias bibliográficas.**
- **Anexos.**

## **CAPÍTULO II.**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS**

##### **2.1.1. Antecedentes Internacionales**

- Rumipamba (2021) de la Universidad Técnica de Ambato de Ecuador, en su tesis, “ANÁLISIS DEL EFECTO HIDRODINÁMICO DE LÍQUIDOS EN MOVIMIENTO APLICADO A EDIFICIOS CON PISCINAS EN AZOTEAS SOMETIDOS A SISMOS INTENSOS” realizó modelos matemáticos tridimensionales basados en elementos finitos de un edificio porticado regular de 12 niveles en concreto reforzado, considerando los efectos hidrodinámicos y sin incluirlos, con fines comparativos. Concluyendo según los resultados obtenidos que, al incorporar el efecto hidrodinámico en los modelos, se observan variaciones considerables en los parámetros modales como períodos de vibración. Adicionalmente, se produce un incremento de fuerzas, desplazamientos, velocidades y aceleraciones; así como un mayor grado de daño y número de elementos estructurales que incursionan inelásticamente.
  
- Bazán (2016) de la Universidad de Guayaquil, en su tesis “ANÁLISIS Y DISEÑO SISMORRESISTENTE DE UN TANQUE ELEVADO DE ALMACENAMIENTO DE AGUA PARA EL CONJUNTO HABITACIONAL VILLA HERMOSA”, mediante un espectro de diseño efectuó un análisis estático y dinámico, con el que logró obtener los esfuerzos que se producen; utilizando conceptos basados en las recomendaciones del ACI 350.3- 01, debido a la configuración de los tanques elevados un aspecto muy importante a considerar es la inclusión de las cargas sísmicas. Llegando a la conclusión de que utilizando el método de Housner mediante un software especializado en estructuras, se obtienen resultados muy buenos, ya que permite ahorrar mucho tiempo al momento de introducir cargas y mostrar resultados, por lo que este método si es consistente como teoría fundamental de análisis dinámico de las masas de agua en el tanque.

- Niño (2016) de la Universidad Militar Nueva Granada, en su tesis “DISEÑO ESTRUCTURAL DE TORRE PORTICO EN CONCRETO REFORZADO PARA TANQUE ELEVADO DE ALMACENAMIENTO DE AGUA CON CAPACIDAD DE 300 m<sup>3</sup>” se propuso realizar el diseño de una estructura aporticada que soporte un tanque elevado de relativa capacidad, bajo los parámetros normativos que rigen estas estructuras, considerando la microzonificación sísmica, llegando a las conclusiones de que las solicitaciones más influyentes cuando existe una estructura contenedora de agua en altura son las solicitaciones sísmicas, en segundo lugar el peso propio debido a la masa del agua, asimismo es recomendable un análisis dinámico modal espectral por ser más detallado ya que al utilizar todos los modos de vibración genera una envolvente, lo cual nos acerca más a la realidad durante una eventualidad sísmica. Por otra parte asevera que la carga de viento no tiene una mayor incidencia en estas estructuras debido a su poca área superficial que expone, por esto el viento no influye considerablemente en el análisis.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

- Anconeira (2017) de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, en su tesis “IMPORTANCIA DE CONSIDERAR MODELOS DINÁMICOS DE LOS TANQUES ELEVADOS EN EL ANÁLISIS SÍSMICO EN EDIFICACIONES” demostró la importancia de modelar el tanque para ver las características dinámicas de este y su correspondiente relación con la estructura principal de la edificación, ya que estas pueden acoplarse si sus periodos son parecidos y amplificar la respuesta en el tanque. Las deformaciones máximas encontradas a partir de los modelos que no consideran tanque pueden reducirse, al lograr la sintonización del primer modo de la estructura original con el modo impulsivo del tanque, ambos poseen el mayor porcentaje de masa participante independientemente, obteniéndose una máxima reducción de 21.22% en modelos aporticados, y 16.81% en modelos de muros estructurales.
- Coral y Fernández (2018) de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, en su tesis “ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN TANQUE ELEVADO DE CONCRETO ARMADO CON CAPACIDAD DE 2000 m<sup>3</sup>” realizaron el análisis y diseño de un tanque elevado de concreto armado para

almacenamiento de agua, utilizando para ello las Normas de Diseño Sismorresistente (E.030) y Diseño de Concreto Armado (E.060) del Reglamento Nacional de Edificaciones, se usaron además las Normas Internacionales Seismic Design of Liquid – Containing Concrete Structures and Commentary (ACI 350.3 – 06) y American Society of Civil Engineers (ASCE 7-05), así mismo, para el modelo dinámico de interacción del líquido con la estructura se usó el modelo propuesto por G.W.Housner; posteriormente propusieron la implementación de anillos deflectores con el fin reducir la incidencia de la masa convectiva en la estructura. Mediante lo cual se genera una reducción de las fuerzas y desplazamientos en la estructura de un 30% y 20 % respectivamente.

- Rivera (2018) de la Universidad César Vallejo, en su tesis “INFLUENCIA DEL TANQUE ELEVADO EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICACIONES APORTICADAS DE CONCRETO ARMADO, PUEBLO LIBRE, LIMA - 2018” hizo un estudio sobre la influencia que ejercen los tanques elevados en edificios con sistema estructural de pórticos, considerando al tanque como un elemento no estructural, es decir como un apéndice, otorgándole un peso en función al último nivel de la estructura. De ello obtuvo como resultados que la respuesta sísmica en lo referente a las distorsiones de entrepiso y las aceleraciones de cada piso se reducen. Concluyendo que al considerar al tanque elevado como un apéndice no unido estructuralmente al edificio este actúa como un dissipador de energía, el cual cuenta con su masa y rigidez propia, lo cual indica que en este caso existe una respuesta sísmica favorable en edificaciones aporticadas de concreto armado.

### **2.1.3. Antecedentes Locales**

- Julca (2017) de la Universidad Nacional de Cajamarca, en su tesis “COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE RESERVORIOS ELEVADOS CON ESTRUCTURA DE SOPORTE TIPO MARCO, EVALUADOS CON LAS NORMAS NORTEAMERICANA Y NEOZELANDESA” realizó el análisis comparativo del comportamiento dinámico de reservorios elevados con estructura de soporte tipo marco, así como también estudió la

teoría y aplicabilidad de los requisitos de diseño y las recomendaciones propuestas, para dar una concepción más clara del cálculo estructural de los tanques elevados. Llegando a la conclusión, según los resultados, que de acuerdo a la realidad peruana, los reservorios elevados con estructura de soporte tipo marco evaluados con la norma norteamericana ACI 350.03-06 presentan un mejor comportamiento dinámico en comparación con otras normas.

- Lozano (2017) en su tesis “VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL Y DEFICIENCIAS DEL TANQUE ELEVADO DEL C.P. TRES PUENTES (16 m<sup>3</sup>) – PÍTIPO – FERREÑAFE - LAMBAYEQUE” se propuso realizar la verificación estructural de los elementos estructurales que conforman el tanque elevado tales como los muros, tapas, columnas y vigas mediante el uso del programa SAP2000, considerando el tipo de suelo a nivel freático, según el ensayo de laboratorio, aplicándole un análisis dinámico modal espectral. Luego de realizar las investigaciones en campo y mediante el software concluye que en lo referente a la asignación de acero en los elementos de soporte no concuerda lo encontrado con lo establecido en los planos y calculado en la investigación, asimismo en las vigas y techo se encontró que fue asignado un 40% más de acero que lo descrito en los planos. Esta tesis propone un esquema de análisis de acuerdo a un proceso metodológico para la evaluación y diseño estructural de tanques elevados.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Estructuras de concreto armado**

Las estructuras se vuelven más complejas a medida que avanza la modernidad, cuando estas se encuentran unidas a otros sistemas o cuando sirven de soporte a otras más pequeñas, mayor será en grado de perfección del diseño estructural. El ingeniero tiene la responsabilidad de crear espacios seguros y estables, donde la estructura sea armoniosa y económica que brinde seguridad a quienes lo habitan y preserve sus bienes, para lograr esto es necesario un profundo conocimiento de la resistencia de los materiales, estática, pero además de un gran equilibrio sensitivo.

Los proyectos de infraestructura están influenciados directamente por la gran importancia del concreto armado de acuerdo a su amplia variedad de tecnologías que lo han llevado a una mayor calidad y desempeño que garantiza las diferentes aplicaciones y usos en distintas condiciones, ya sea al aire libre o expuestos al agua como en el caso de tanques, su durabilidad y disponibilidad de los materiales que lo componen permiten su fabricación en todo lugar, además de su trabajabilidad hace posible moldear las distintas estructuras. (Cevallos, 2016).

Teniendo en cuenta el aumento en la resistencia de los diferentes materiales que en la actualidad se logró, se ha podido obtener una gran reducción en las secciones de las estructuras de soporte, por ejemplo, si comparamos un templo egipcio de la antigüedad podemos observar que las secciones de los elementos de soporte cubrían un 20% de la planta total, a diferencia de lo que sería hoy en día con los materiales que disponemos las secciones solamente llegarían a cubrir el 0.5% de dicha planta, lo cual nos permite tener espacios más libres y funcionales.

Dada la alta cantidad de tecnologías de construcción y los materiales disponibles para una edificación se tienen varias opciones en cuanto al sistema estructural, debido a ello y para tener un proyecto óptimo se debe tener presente además la importancia de los diseños estructurales, este tiene que conjugar la amplia variedad de opciones relacionadas a las variables mencionadas anteriormente como son la tecnología a utilizarse, la disponibilidad de mano de obra y la calidad de los materiales, sobre todo de estos últimos los que se pueden utilizar como estructuras de soporte son los perfiles de acero, barras de acero, madera y el concreto armado.

El uso del concreto otorga muchas ventajas al momento de construir una variedad de estructuras ya que se adapta a cualquier forma y posee una gran resistencia a la compresión, además se debe tener en cuenta que el uso del concreto dinamiza el proceso constructivo acelerando las actividades. (Gutiérrez, 2021).

#### **2.2.1.1. El concreto armado**

El concreto se puede definir como una mezcla en las proporciones adecuadas de cemento portland, áridos (agregados gruesos y finos), agua, aire y en ocasiones se le adiciona aditivos según el proyecto, todo esto le da una apariencia de roca artificial

pero con una naturaleza interna complicada. El agua se junta con el cemento formando una pasta que rodea a los agregados, formando un material que tiene una gran durabilidad al fraguar, incrementando su resistencia a medida que pasa el tiempo. El concreto por sí solo tiene una alta resistencia a la compresión pero resiste poco a fuerzas de tracción lo cual se contrarresta al colocarle varillas de acero de refuerzo, conformando así el concreto armado, logrando una mayor resistencia a las sollicitaciones externas. (Rendon, 2018).

**Figura 1. Edificio de concreto armado en construcción.**



Fuente: Bastidas (2019).

*Esfuerzo de compresión* El concreto posee una resistencia a la compresión definida como la capacidad de soportar una carga por unidad de área, se expresa en términos de esfuerzo, en nuestro medio en  $\text{kg/cm}^2$  o en MPa, las pruebas para determinar esta resistencia se emplean para determinar que la mezcla cumpla con los requerimientos de resistencia especificada  $f'c$  de acuerdo a cada estructura. (Cemex, 2019).

El ensayo de compresión se realiza con probetas, estas son cargadas longitudinalmente con una tasa lenta de deformación hasta alcanzar la deformación máxima en unos pocos minutos, obteniéndose la curva de esfuerzo-deformación.

Efectos sobre la resistencia a compresión del concreto: a continuación, se detallan algunos efectos que tienen ciertos factores.

- *Relación agua/cemento:* está relacionada a la resistencia y es directamente proporcional a su valor.
- *La edad del concreto:* a medida que aumenta la edad el concreto obtiene mayor resistencia, es decir, incrementa su capacidad de carga, pero depende también de las condiciones de hidratación a través del tiempo.
- *La esbeltez:* se tiene que generalmente para especímenes más esbeltos la resistencia a la compresión es menor.
- *La velocidad de carga:* durante la prueba de compresión se observa que la resistencia de un espécimen que alcanza su carga máxima en poco tiempo es mayor a la que demora más en llegar a alcanzar esta carga máxima.
- *La velocidad de deformación:* la curva esfuerzo-deformación desciende bruscamente si la velocidad de deformación es grande, mientras que el descenso de la curva será más suave si la velocidad disminuye.

Esfuerzo de tensión Para estudios del concreto con esfuerzos de tensión se realiza la prueba brasilera, sometiendo el espécimen a compresión uniaxial diametral, el esfuerzo de ruptura de tensión a través del diámetro está en una relación de  $2P/(\pi hd)$ , siendo P la carga se que aplica durante la ruptura, d es el diámetro y h la altura de la probeta.

Módulo de elasticidad del concreto El módulo de elasticidad es una propiedad mecánica del concreto y evidencia la capacidad que tiene este para obtener una deformación de manera elástica al aplicarle a un espécimen una cantidad de cargas conocidas, mediante lo cual se evaluará la deformación del material.

Este se basa en consideraciones empíricas, determinándose el módulo tangente inicial, este módulo es un punto que se encuentra en la curva esfuerzo-deformación. El módulo de elasticidad o también llamado módulo elástico se puede hallar en función del peso volumétrico y de la resistencia del concreto.

Para realizar los análisis elásticos se toma al módulo cortante G como una fracción del módulo de elasticidad que se usa en compresión, de 0.4; así como el coeficiente de Poisson  $\mu$  se determinó experimentalmente que tiene un valor entre 0.12 y 0.20.

### **2.2.1.2. El acero de refuerzo**

Es un material utilizado justamente para reforzar al concreto ante cargas de tracción, es el primer componente que se coloca dentro de las estructuras que estén sujetas a fuertes cargas. El fin es que exista un apoyo y un equilibrio entre los esfuerzos de tensión y compresión. (Aceriform, 2023).

El acero estructural que sirve como refuerzo a las estructuras de concreto armado son varillas de sección redonda provistas de corrugaciones las cuales restringen el movimiento longitudinal de las varillas dentro del concreto que las rodea. La principal característica para determinar el tipo de acero es el esfuerzo de fluencia, dentro de los cuales se tiene los de grado 40, grado 50 y 60; los cuales corresponden a los límites de fluencia de 2800; 3500 y 4200 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

En una prueba de tracción normal se obtiene una curva de esfuerzo-deformación que tiene un tramo elástico lineal, posteriormente se llega a una plataforma de fluencia donde el esfuerzo sigue sin incremento, pero la deformación si aumenta, este es el llamado esfuerzo de fluencia, luego viene una región de endurecimiento por deformación y al final decae el esfuerzo hasta llegar a la ruptura.

*Módulo de elasticidad del acero de refuerzo* El acero consta con un módulo elástico, el cual está dado por la pendiente del tramo elástico lineal, dentro de la curva esfuerzo-deformación que se obtuvo en la prueba de tracción, para los distintos tipos de aceros existentes el módulo de elasticidad tiene un poco variación y por lo general se toma el valor de  $2 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>.

### **2.2.1.3. Confinamiento del concreto**

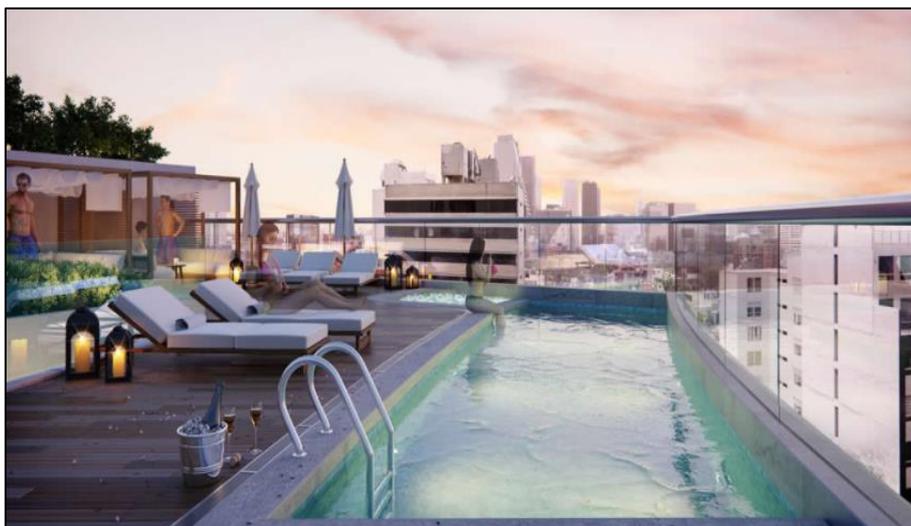
Según investigaciones se ha demostrado que el confinamiento del concreto mediante el refuerzo transversal mejora en gran medida en comportamiento del esfuerzo-deformación cuando hay deformaciones altas. Este confinamiento se puede dar mediante estribos o zunchos (estos últimos otorgan un confinamiento más eficaz al concreto). El concreto se llega a confinar cuando las deformaciones transversales se elevan debido al agrietamiento por esfuerzos que se aproximan a la resistencia uniaxial  $f'_c$ , en este proceso el concreto se apoya sobre el refuerzo transversal aplicándole una reacción de confinamiento. El concreto que se encuentra alrededor

fuera del confinamiento recubriéndolo tiene características de esfuerzo deformación distintas a las del concreto que se encuentra confinado en el núcleo, cuando se alcanza la resistencia no confinada el recubrimiento se empieza a desprender, si la cuantía del acero de refuerzo transversal es alta origina un plano de debilidad entre el núcleo y el recubrimiento, originando su rápido desprendimiento.

### **2.2.2. Piscinas en edificios**

En la actualidad el sector inmobiliario, para incrementar sus ventas, ha originado una tendencia sobre la construcción de piscinas ancladas en una azotea ya sea edificios condominios o viviendas. En las grandes metrópolis se está viendo como una solución muy habitual para el disfrute de sus usuarios donde se pueden integrar además solarios, área de masajes, complementándolo con impresionantes vistas panorámicas de la ciudad o de ciertos espacios de la urbe. Para su diseño de estas piscinas en cubierta se puede destacar el uso de diversos sistemas en función a los materiales usados y con ello se tendrá una piscina imponente y entre los cuales tenemos como el acero inoxidable, poliéster y también con el clásico concreto armado. (Marrufo, 2019). Una piscina otorga un mejor nivel de bienestar tal como se observa en la figura 2.

**Figura 2. Piscina en azotea de edificio.**



Fuente: Revista Constructivo (2020).

Las piscinas se han convertido en un aspecto muy importante de los nuevos proyectos inmobiliarios, si tenemos en cuenta que uno de los objetivos más decisivos e importantes para las personas es el adquirir una edificación para su hogar, lo cual suele ser muy exhaustivo conociendo todas las alternativas ofrecidas en el mercado hay diversas opciones cada con características que se van adecuando a las exigencias de cada uno considerando los gustos y necesidades de las personas, reconociendo que es prioridad el bienestar familiar en el que se debe considerar la ubicación del inmueble, las áreas comunes, el tipo y los servicios novedosos que ofrece. (Constructivo, 2020).

Al momento de adquirir el inmueble, un factor preponderante y que influye poderosamente es un edificio que incluya una piscina entre sus áreas comunes. Hoy en día es un factor clave debido al uso que se le da, aparentemente es una necesidad básica pero mucha gente lo considera muy importante. Asimismo, el edificio se consolida con una gran revalorización al tener propuestas que contengan áreas como la piscina.

Entre otras ventajas que influyen en la adquisición de un inmueble en un edificio con piscina son:

- Salud práctica de actividades acuáticas que permiten a las personas desesterarse en espacios al aire libre son unas de las recomendaciones de los especialistas de la salud.
- Económico pese a que tener una piscina en el edificio puede significar un costo mayor de mantenimiento, este se compensa con el uso que se le dé, evitando gastos de traslado a clubes o playas.
- Social desde el inicio se debe determinar cuáles serán las condiciones de uso, los horarios, con el fin de que se pueda disfrutar de acuerdo a las reglas de convivencia social. En época de verano se tendrá una piscina disponible sin necesidad de trasladarse fuera del edificio.
- Plusvalía a lo largo del tiempo un inmueble aumenta su valor, en el caso de adquirir un departamento en un edificio con piscina el costo-beneficio se

incrementa y es mucho mayor en comparación de los edificios que no la tienen. (Constructivo, 2020).

### **2.2.3. Estructuras contenedoras de líquidos**

En nuestro país y en otros lugares del mundo hay necesidad de almacenar agua, ya sea con fines de uso doméstico o recreacionales, como en el caso de las piscinas, el agua se almacena generalmente en tanques de distintos materiales. Es preciso que tengan un proceso constructivo eficiente y que sean muy resistentes, durables e impermeables, además de una adecuada estética, como se observa en la figura 3; esto se puede conseguir solo siguiendo las diferentes normativas de diseño que contemplan todos estos factores, además para garantizar el cumplimiento de los requisitos también se debe tener en cuenta que el material de mayor uso es el concreto armado por su disponibilidad y fácil manejo constructivo. (Orihuela y Sánchez, 2016).

Durante el análisis y diseño de estas estructuras se tiene que considerar o ser sometidas por lo menos tres estados de carga, tales como las cargas gravitacionales (carga viva y carga muerta), la carga hidrostática y la carga de sismo; al tratarse de una estructura en altura eventualmente también se debería considerar la carga de viento. De acuerdo al criterio del diseñador las cargas gravitacionales son las generadas por el peso propio, el peso del líquido contenido y las sobrecargas que serán aplicadas según el reglamento. En función a la profundidad y teniendo en cuenta el peso específico del líquido cuando la estructura está parcial o totalmente llena el agua genera presiones hidrostáticas sobre las paredes de la piscina.

En la evaluación sísmica de las estructuras contenedoras de líquidos en altura se tienen en cuenta los efectos hidrodinámicos del agua, los cuales interactúan con las paredes de la estructura (paredes y fondo), para ello se tiene que recurrir a las normas internacionales como el ACI 350.3, la cual proporciona los parámetros y coeficientes para amplificar las cargas últimas, además brinda modelos dinámicos para poder realizar un correcto análisis sísmico y diseño estructural. (Orihuela y Sánchez, 2016).

**Figura 3. Estructuras contenedoras de líquidos en alturas.**



Fuente: Silva (2022).

Muchos investigadores han realizado estudios para el análisis del comportamiento hidrodinámico del agua almacenada en estructuras contenedoras de este líquido cuando estas se encuentran en altura, en el año 1933 Westergard determinó las presiones en un contenedor rectangular, cuando el contenedor está sometido a una aceleración horizontal; posteriormente se desarrolla en forma más detallada la teoría de las presiones sísmicas en los tanques de almacenamiento y se establece un modelo simplificado, estableciéndose dos componentes, en la parte media e inferior una componente llamada masa impulsiva y en la parte media y superior, la masa convectiva la cual representa la acción del oleaje. (Coral y Fernández, 2018).

#### **2.2.3.1. Comportamiento hidrodinámico de una piscina**

Llaza, en su trabajo de investigación menciona que cuando ocurre un movimiento sísmico se acelera la base de la estructura y esta perturbación es transmitida directamente al tanque contenedor del líquido a través de la vibración del soporte, estas cargas inducidas por el sismo mediante el principio de inercia son proporcionales con la masa y con el amortiguamiento de cada una de las partes, debido a esto se debe considerar la masa del líquido contenido y la masa del sistema contenedor. Como la piscina está configurada en concreto armado, la masa total de la estructura cuando está vacía se puede calcular como el peso total entre la gravedad

y es una masa estática, como este es un sistema rígido puede resistir fuerzas de corte o laterales hasta cierto límite, por el concreto y el acero de refuerzo estructural.

Para determinar cuál será el comportamiento hidrodinámico de una piscina, es necesario realizar varias simplificaciones a la solución rigurosa del problema hidrodinámico del agua almacenada en la piscina, la primera de ellas es considerar a las paredes rígidas, otra se puede describir como una membrana sobre el líquido, la cual solamente permite pequeñas deformaciones.

Housner planteó su modelo considerando dos tipos de presiones dinámicas, las cuales se deben a la masa del líquido contenido, la presión impulsiva debida a un movimiento inercial del agua confinada en la base y la presión convectiva relacionada al oleaje cuando ocurre un evento sísmico.

Según en ACI 350.3, el diseñador debe calcular las fuerzas sísmicas que se aplicarán a la estructura, además de considerar tales fuerzas en los componentes externos como son por ejemplo los equipos, las tuberías, los mecanismos clarificadores o de tratamiento del agua; es decir donde los movimientos horizontales y verticales entre las estructuras adjuntas puedan tener una influencia negativa en el libre funcionamiento de la estructura durante un movimiento sísmico, teniendo en cuenta además que en las conexiones de las tuberías con la estructura se pueden producir cortes o interrupciones de estas.

Asimismo, el ACI 350.3, capítulo 3 página 15, menciona que los pisos, los muros y las cubiertas de las estructuras que contienen líquidos se deben diseñar de tal manera que resistan los efectos de las aceleraciones verticales y horizontales combinadas con los efectos de las cargas estáticas aplicables.

En lo referente a la aceleración horizontal, el diseño debe considerar los efectos de la transferencia de la cortante basal total entre el muro y la base que lo está soportando, entre el muro y la cubierta, así como también considerar la presión dinámica que actúa en el muro sobre la base.

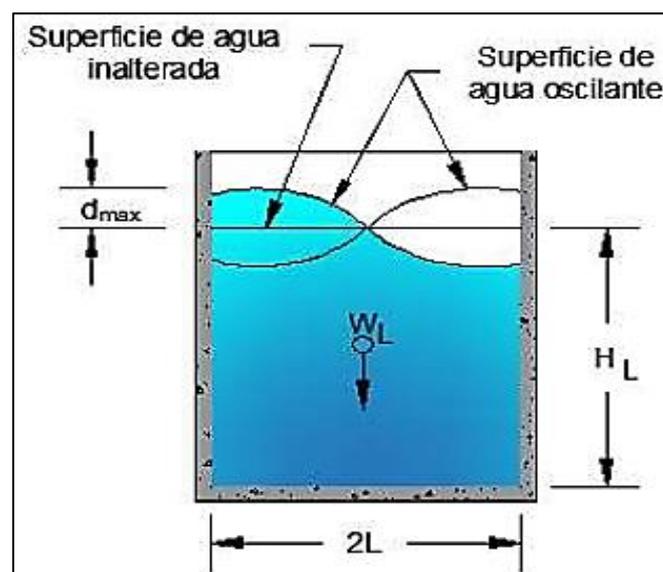
Se deben combinar los efectos de la aceleración máxima horizontal y vertical mediante el método de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados.

### 2.2.3.2. Modelo del sistema estructural

En el comportamiento hidrodinámico de la piscina presentado durante una perturbación sísmica podemos darnos cuenta que del total de la masa de agua contenida una parte queda impregnada de manera rígida a las paredes del recipiente y además se encuentra confinada ubicada en la parte inferior, a esta parte de la masa de agua se la conoce como la parte impulsiva, mientras que la ubicada en la parte superior tiene libertad de movimiento ya que cuenta con el borde libre, esta oscila durante el movimiento sísmico generando un oleaje, a esta masa complementaria se la conoce como convectiva. (Orihuela y Sánchez, 2016).

Compagnoni et al, mencionan que el modelo estructural para este tipo de configuraciones es el modelo equivalente que propuso G.W. Housner en 1954, es decir el fluido es representado por una masa llamada masa impulsiva la cual se representa unida rígidamente a la pared del contenedor, y por otra la llamada masa convectiva la cual se conecta a la pared de la cuba mediante resortes con una rigidez que se determinará "k". Se podría considerar una serie de masas convectivas las cuales simulan las frecuencias naturales del oleaje del agua a causa de una fuerza horizontal, como se muestra en la figura 4.

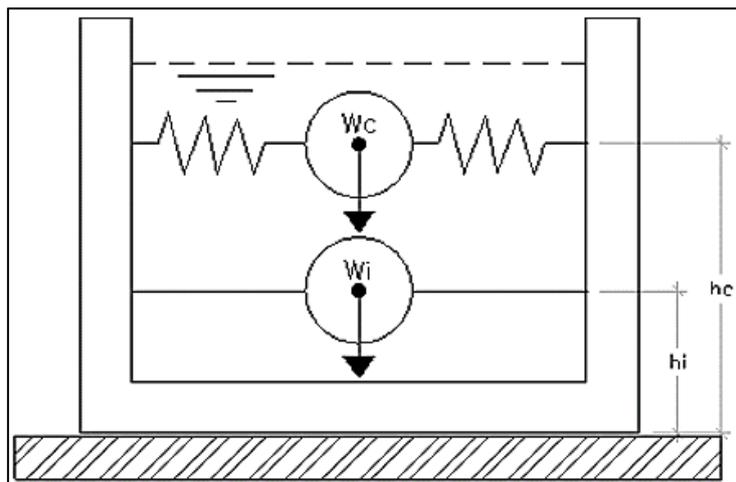
Figura 4. Movimiento del fluido en un tanque rectangular.



Fuente: ACI 350.3

Para el proceso de modelado y análisis sísmico estas componentes del agua son incorporadas en el software SAP2000 en las respectivas alturas de sus centros de gravedad, previamente calculadas las masas y dichas alturas de acuerdo a las fórmulas establecidas en la norma ACI 350.3. Cabe mencionar que adicional a esto, la componente convectiva es modelada mediante factores de rigidez ya que su comportamiento se asemeja a los resortes, esto se muestra en la figura 5.

**Figura 5. Sistema mecánico equivalente.**



Fuente: Housner (1954).

#### **2.2.4. Estructuras contenedoras de líquidos ubicadas en altura, sometidas a sismos**

La configuración de los elementos y componentes de la edificación tienen su origen en la programación arquitectónica del edificio, lo que se puede resumir como una descripción de las actividades que se van a desarrollar en dicha construcción, los servicios con los que constará, entre otros.

Una vez que se haya determinado la configuración se procede a elegir el tipo de sistema resistente que se puede utilizar, en este caso que contemple a otros sistemas adheridos a la estructura como un tanque elevado de concreto armado o una piscina en el último piso del edificio. La concepción de la configuración debe ser tal que no se incurra en errores de ingeniería los que pueden ocasionar daños graves o colapso, por esto se debe tener presente siempre que la configuración del edificio en su conjunto es tal que las fuerzas sísmicas producen un esfuerzo muy superior a la

resistencia de algún material o conexión estructural en específico y es por ello que la estructura falla.

En el análisis sísmico de estructuras contenedoras de líquidos en alturas intervienen básicamente los siguientes aspectos: durante el evento sísmico el agua ejerce presión hidrodinámica sobre las paredes y el elemento estructural que sirve de apoyo presenta por lo general una menor ductilidad. (Hernández, 2018).

**Figura 6. Edificios con tanques elevados unidos a su estructura.**



Fuente: Anconeira (2017).

Las estructuras contenedoras de líquidos que se encuentran ubicadas a cierta altura con respecto al nivel del suelo están sometidas a muchos riesgos, entre los principales tenemos a los terremotos debido a que nuestro país tiene una frecuente actividad sísmica, por lo tanto, se debe estudiar su comportamiento sismorresistente que ayudará a tener un mejor criterio al momento de diseñar y analizarlos.

Las presiones hidrodinámicas durante un evento sísmico son de importancia para comprender el comportamiento de la estructura, sobre todo las presiones impulsivas y convectivas en contenedores rectangulares. Posteriormente se desarrolló uno de los estudios más reconocidos sobre la teoría de presiones hidrodinámicas en estructuras que contenían agua y la idealización de un modelo mecánico masa – resorte capaz de simplificar su respuesta. En primera instancia, el estudio y formulación analítica se aplica al comportamiento de estructuras rectangulares y desde ahí se hace extensiva a los circulares.

Tales estudios consideran una superficie de líquido completamente horizontal y a las paredes del contenedor se les aplica una aceleración horizontal en la dirección “x”, además, para determinar las presiones que actúan sobre las paredes debidas a la aceleración y la interacción del líquido se deben considerar para el fluido una columna de agua “ $h$ ” y longitud “ $2l$ ”. (Huisa, 2017).

**Figura 7. Tanque elevado colapsado a consecuencia de un sismo.**



Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2004).

#### **2.2.4.1. La respuesta sísmica**

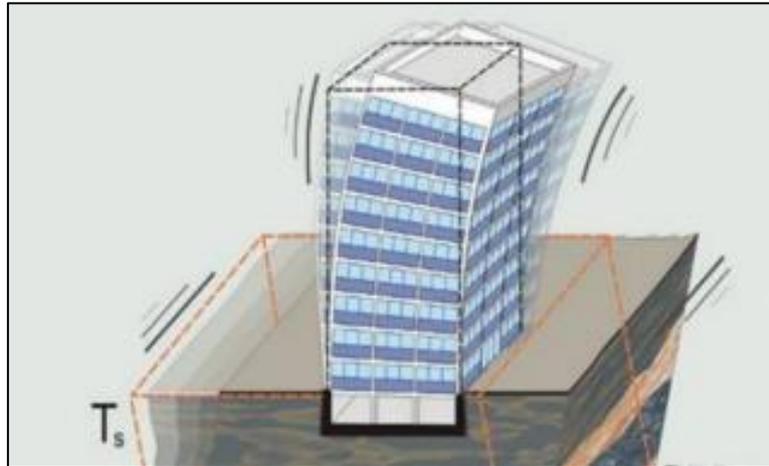
La respuesta sísmica de las estructuras de concreto armado depende de las vibraciones del suelo y del diseño estructural de las mismas, en algunos casos se puede llegar al colapso parcial o total, debido a las condiciones particulares antes mencionadas, la identificación de cada factor para conocer cómo responderá la estructura a las sollicitaciones sísmicas depende del nivel de análisis aplicado. Los parámetros de la respuesta sísmica son:

##### **A. El periodo fundamental de vibración de la estructura**

Ante la ocurrencia de un sismo todos los edificios tienen un periodo natural o fundamental de vibración, el cual depende de las características físicas y geométricas de los elementos estructurales que lo componen. El periodo de vibración no depende directamente de la intensidad del sismo sino mayormente de la altura del edificio,

densidad de muros, longitud en la dirección en estudio y la rigidez del edificio. (Cevallos, 2017).

**Figura 8. Periodo fundamental de vibración.**

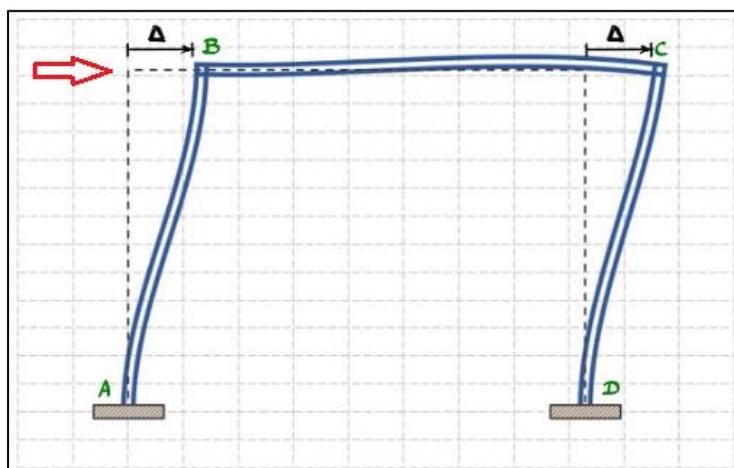


Fuente: Muñoz (2020).

### **B. Desplazamientos laterales en el extremo lateral superior**

Son los cambios de posición de un punto en la parte lateral superior del edificio, originado por la acción de una fuerza lateral que desplaza cada entrepiso en su totalidad y que al ser comparado con un entrepiso inferior consecutivo respecto a una línea vertical se conocen los desplazamientos relativos. (Cevallos, 2017).

**Figura 9. Desplazamiento lateral ocasionado por la carga sísmica.**

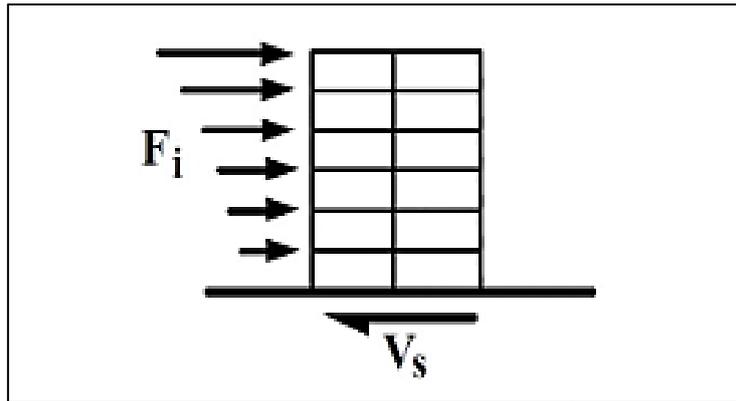


Fuente: Inga (2019).

### C. La cortante basal

La cortante basal en una estructura es la acumulación progresiva de las fuerzas cortantes de cada piso, estos cortantes en cada piso son la aplicación de la fuerza sísmica en un nivel determinado y se va acumulando a medida que nos acercamos a la base de la estructura. (Saavedra, 2016).

Figura 10. Cortante basal para una edificación.



Fuente: Barrero (2020).

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Incremento de masa.** El incremento de masa se refiere al aumento en la cantidad de materia de un objeto o sistema, generalmente medido en kilogramos (kg) o gramos (g). En el contexto de ingeniería estructural o mecánica, puede referirse a la adición de masa a una estructura o componente para mejorar sus propiedades dinámicas o de estabilidad. (ASTM International, 2020).
- **Hidrodinámica de tanques.** La hidrodinámica de tanques se refiere al estudio del comportamiento de fluidos en movimiento dentro de tanques de almacenamiento o contenedores. Este estudio incluye el análisis de las fuerzas y movimientos que resultan del flujo de fluidos, la interacción con las paredes del tanque y los efectos de la agitación o la dinámica del fluido. (American Society of Mechanical Engineers [ASME], 2021).

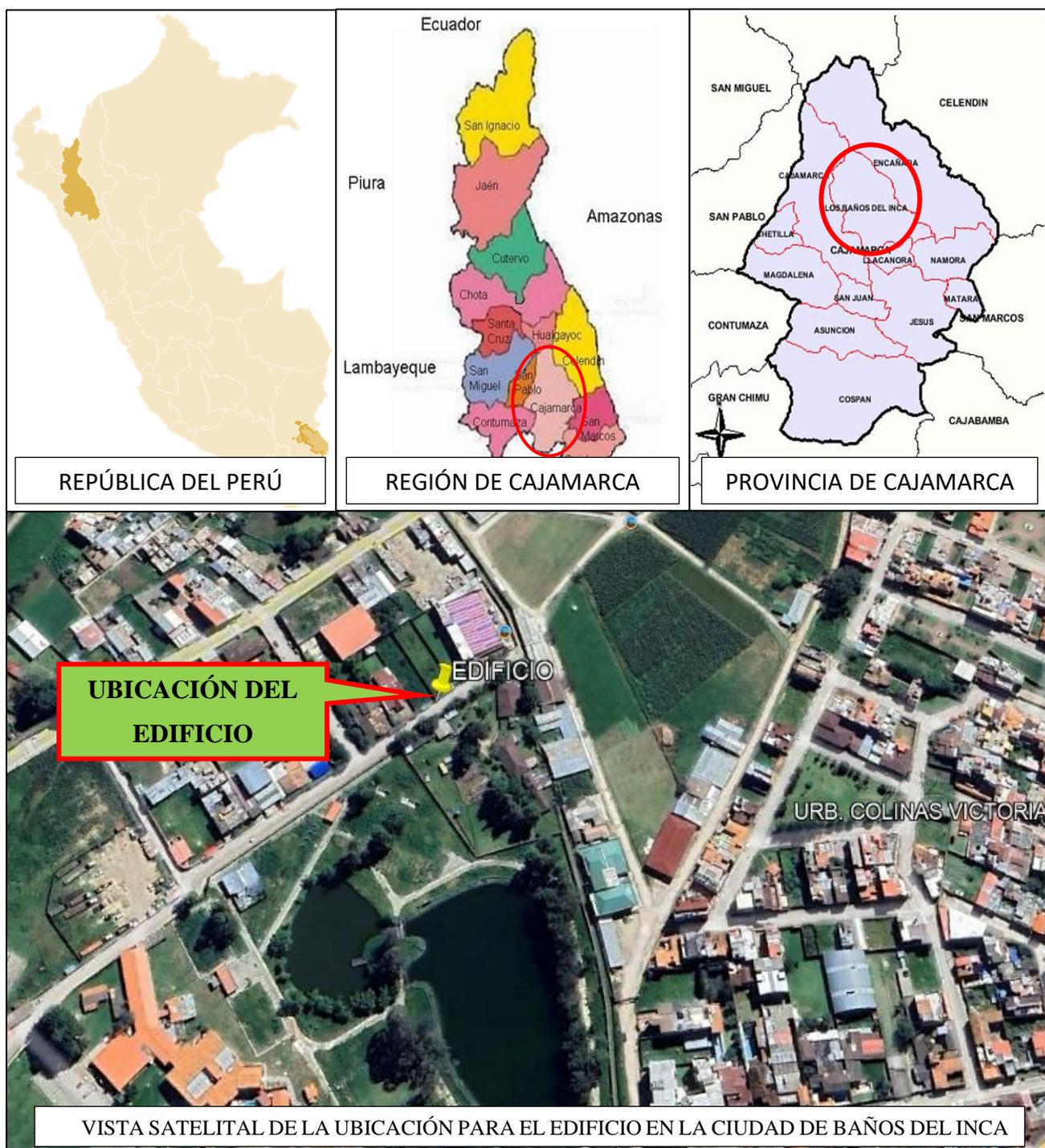
- **Modelo estructural.** Un modelo estructural es una representación simplificada de una estructura física utilizada para analizar su comportamiento bajo diversas cargas y condiciones. Este modelo puede ser matemático, computacional o físico, y se utiliza para predecir cómo se comportará la estructura en términos de desplazamientos, tensiones y deformaciones. (European Committee for Standardization [CEN], 2023).
- **Análisis dinámico.** El análisis dinámico es una técnica utilizada en ingeniería para estudiar la respuesta de estructuras y sistemas mecánicos a cargas que varían con el tiempo, como cargas sísmicas, viento, vibraciones o impactos. Este análisis puede incluir métodos lineales y no lineales para evaluar la estabilidad y la resistencia de la estructura bajo condiciones dinámicas. (American Society of Civil Engineers [ASCE], 2022).
- **Comportamiento estructural.** El comportamiento estructural se refiere a la manera en que una estructura responde a las fuerzas y cargas aplicadas, incluyendo su capacidad para soportar estas cargas sin fallar. Esto incluye aspectos como la distribución de tensiones, deformaciones, estabilidad y resistencia. (American Concrete Institute [ACI], 2019).
- **Equilibrio estructural.** El equilibrio estructural es el estado en el cual todas las fuerzas y momentos que actúan sobre una estructura están balanceados, de modo que la estructura se mantiene en reposo o en movimiento uniforme. Esto implica que la suma de todas las fuerzas y la suma de todos los momentos en cualquier punto de la estructura son iguales a cero. (Beer & Johnston, 2023).

### CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación tiene como ubicación en el distrito de Baños del Inca, provincia de Cajamarca, región de Cajamarca – Perú. Coordenadas UTM: Este 780220.52, Norte 9207783.28, Cota 2669.54 msnm.

Figura 11. Ubicación geográfica de la investigación.



### **3.2. ÉPOCA DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación denominada “*Análisis de la respuesta sísmica en un edificio, debido al comportamiento hidrodinámico de una piscina anclada a su sistema estructural en la azotea, ubicado en Baños del Inca - Cajamarca*”, se realizó desde el mes de mayo del 2023 hasta el mes de septiembre del 2023, siguiéndose el procedimiento adecuado para la elaboración del informe final.

### **3.3. PROCEDIMIENTO**

El procedimiento de la presente investigación se detalla a continuación:

#### **3.3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS A ESTUDIAR**

Los edificios y la piscina anclada a su sistema estructural, utilizados como prototipos tienen las siguientes características:

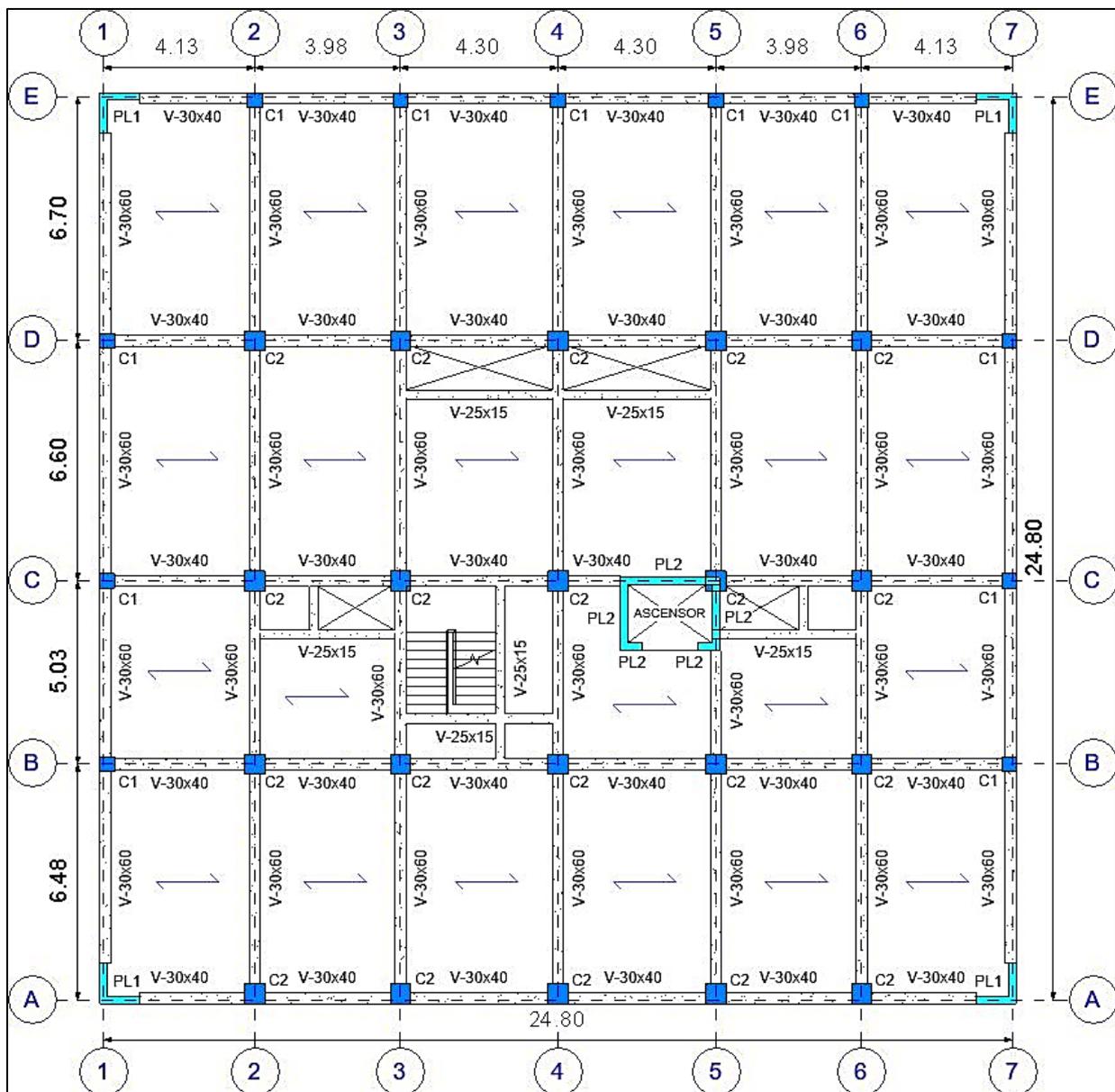
- La ubicación elegida es el Jr. Atahualpa N° 450, distrito de Baños del Inca, provincia de Cajamarca.
- Todos los edificios son multifamiliares y tienen las siguientes características:  
Área construida = 625.00 m<sup>2</sup>  
Altura del primer piso = 3.00 m  
Altura de pisos superiores = 3.00 m  
Cantidad de departamentos = 4 por cada nivel
- La piscina está ubicada en la azotea, tiene forma rectangular, es de concreto armado y presenta las siguientes características:  
Volumen efectivo = 269.29 m<sup>3</sup>  
Largo = 16.70 m  
Ancho = 6.45 m  
Altura total = 3.00 m  
Altura efectiva del agua = 2.50 m
- Todos los prototipos de los edificios a estudiar poseen el mismo sistema y son iguales en cada piso estructuralmente, los modelos son dos por cada número de pisos (uno con piscina y otro idéntico pero sin esta), es decir dos edificios de 5 pisos, dos de 6, dos de 7 y dos de 8 pisos.

### 3.3.2. PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

#### 3.3.2.1. Descripción de estructura típica en planta

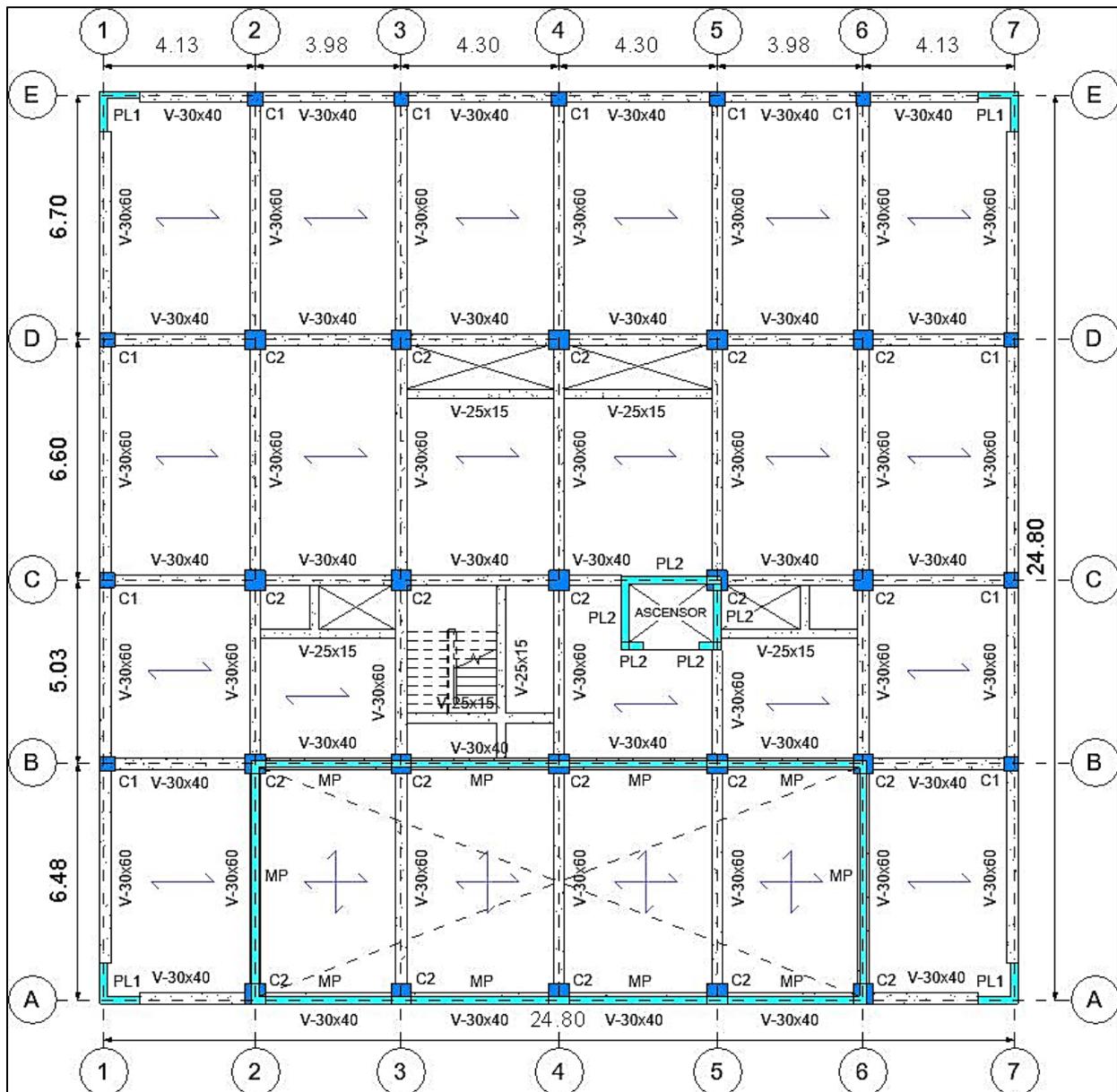
En el anexo 01 de la presente tesis se realizó el diseño del edificio de 8 pisos, el análisis sísmico y validación del prototipo están de acuerdo a la norma E.030 del RNE. La planta típica estructural proyectada para todos los edificios, tiene una altura constante de entrepiso de 3 m, intentando conservar la mayor simetría en planta y elevación. En la dirección X, presenta una luz crítica de 4.30 m, en la dirección Y la luz crítica es de 6.70 m

Figura 12. Planta estructural típica del edificio.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 13. Planta estructural típica del último piso, donde se encuentra anclada la piscina.**

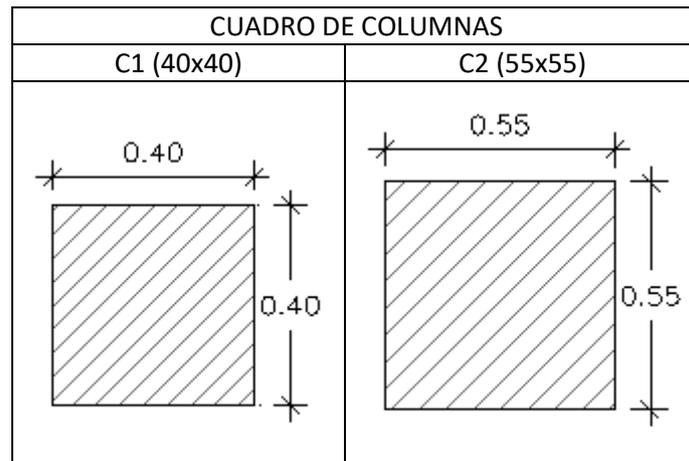


Fuente: Elaboración propia.

Luego de haber realizado el diseño y validado el prototipo según la norma, se tienen 2 tipos de columnas, las columnas laterales C1 de 0.40 m x 0.40 m y las columnas C2 de 0.55 m x 0.55 m, además se consideraron vigas en dirección X de 0.30 m x 0.40 m, en dirección Y de 0.30 m x 0.60 m y vigas de borde de 0.25 m x 0.15 m.

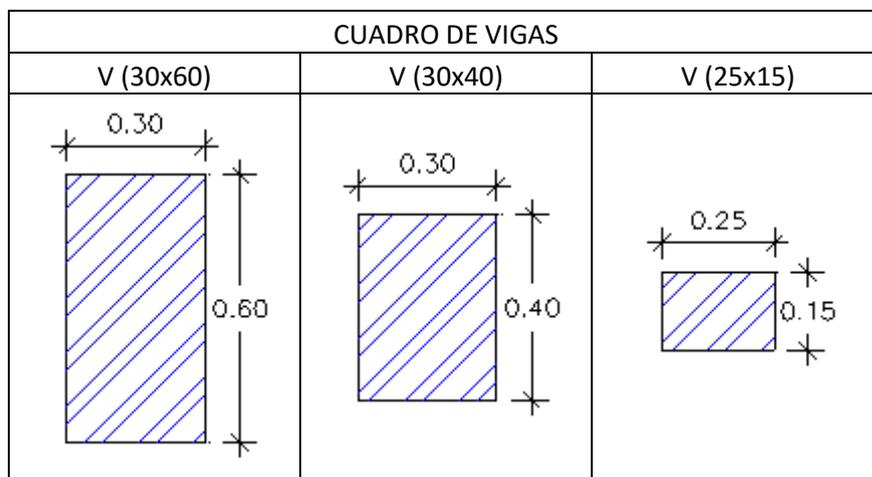
Se realizó el diseño y validación del edificio de 8 pisos (revisar anexo 01), en el cual de acuerdo a la Norma E.030 – 2018 se controlaron los periodos fundamentales de vibración, las derivas de entrepiso, los porcentajes de masas participativas, la cortante basal de diseño, entre otros. Dando como resultado que las secciones mostradas a continuación cumplen a cabalidad con los requerimientos para el diseño sismorresistente.

**Figura 14. Secciones de columnas.**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 15. Secciones de vigas.**

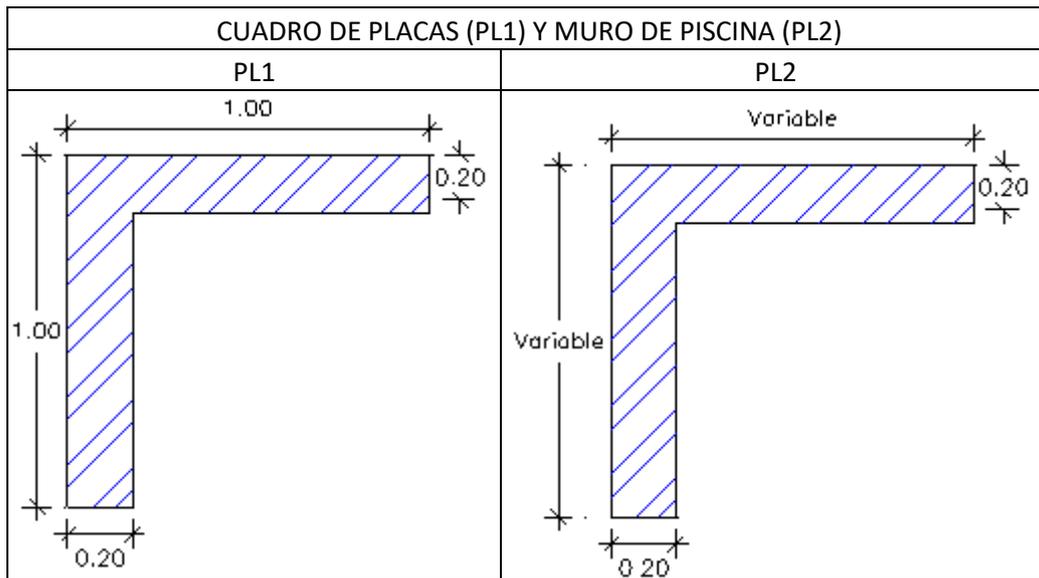


Fuente: Elaboración propia

Se consideró placas tanto en las esquinas del edificio como en la caja del ascensor de 0.20 m de espesor, también se consideraron losas macizas de 0.15 m.

La piscina, en base al ACI 350, cuenta con un muro de 0.20 m, losa maciza como base de 0.20 m y la soportan 10 columnas con una sección de 0.55 m x 0.55 m.

**Figura 16. Secciones de placas del edificio y muro de la piscina.**



Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2.2. Resistencia de los elementos estructurales

En la siguiente tabla se muestran las características del concreto y del acero que se encuentran en los elementos del edificio y de la piscina:

**Tabla 1. Propiedades de los materiales en los elementos del edificio y piscina.**

	EDIFICIO	PISCINA
Resistencia a la compresión del concreto ( $f'c$ )	280 kgf/cm <sup>2</sup>	280 kgf/cm <sup>2</sup>
Peso unitario del concreto (PU)	2400 kgf/m <sup>3</sup>	2400 kgf/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ )	252671.33 kgf/cm <sup>2</sup>	252671.33 kgf/cm <sup>2</sup>
Módulo de poisson del concreto ( $\nu$ )	0.2	0.2
Esfuerzo de fluencia del acero ( $f_y$ )	4200 kgf/cm <sup>2</sup>	4200 kgf/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad del acero ( $E_s$ )	2100000 kgf/cm <sup>2</sup>	2100000 kgf/cm <sup>2</sup>

### 3.3.2.3. Metrado de cargas

En esta investigación el metrado de cargas fue realizado de acuerdo a lo especificado en la norma peruana E.020, del RNE; de esta manera se asignaron las cargas muertas y las cargas vivas según el caso.

Las cargas por peso propio son las aportadas por los elementos del edificio y piscina. Además, se asignaron las siguientes cargas:

**Tabla 2. Cargas adicionales asignadas al edificio y piscina.**

Cargas adicionales asignadas		
Cargas Muertas	acabados	100 kgf/m <sup>2</sup>
Cargas Vivas	sobrecarga	200 kgf/m <sup>2</sup>
Carga del agua en la piscina		2500 kgf/m <sup>2</sup>
Presión hidrostática en muro de piscina	superior	0 kgf/m <sup>2</sup>
	base	2500 kgf/m <sup>2</sup>

Fuente: Según Norma E.020 Cargas

En el caso de la carga debida a la presión del agua en la piscina se evalúan las deformaciones de la estructura teniéndose una altura efectiva del agua de 2.50 m.

Esta presión se debe al fluido contenido en la piscina y actúa como una carga triangular adherida al muro que lo contiene, se calcula de la siguiente manera:

$$P_a = \gamma_a \times h \dots\dots\dots(\text{Ec.1})$$

Donde:

$P_a$ : Presión ejercida por el agua.

$\gamma_a$ : Peso específico.

$h$ : Altura de columna de agua.

Se va incrementando desde 0.00 kgf/m<sup>2</sup> en la altura total del líquido hasta una presión máxima de 2500.00 kgf/m<sup>2</sup>, la cual la encontramos en el fondo de la piscina.

### 3.3.3. ANÁLISIS SÍSMICO

En la evaluación de la respuesta sísmica del modelo del edificio con piscina en la azotea, se utilizó principalmente el análisis dinámico modal espectral, en cual fue realizado en base a la norma E.030 en criterio considerado es el de combinación cuadrática completa (CQC). Cabe reiterar que esta investigación se ha centrado en efectuar el análisis de la respuesta sísmica de un edificio de concreto armado, debido al comportamiento hidrodinámico de la piscina en su azotea, para ver cómo varían los parámetros sísmicos.

Con el fin de calcular la fuerza cortante mínima de diseño del edificio se realizó también el análisis estático, además del método dinámico modal espectral; según la Norma E.030, en estructuras irregulares la cortante basal dinámica no puede ser menor que el 90% de la cortante basal estática, ni menor al 80% para estructuras regulares.

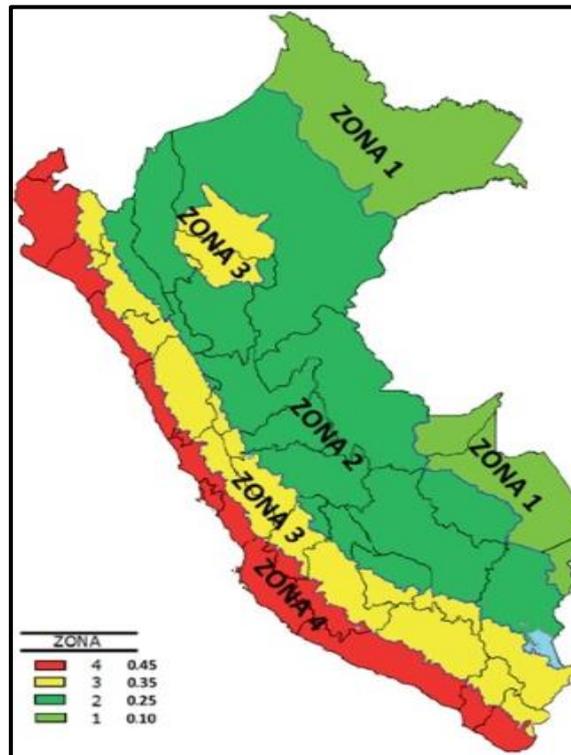
En el desarrollo de este análisis se utilizan los parámetros sísmicos determinados por la Norma E.030 – 2018 del RNE, los cuales son descritos a continuación:

#### 3.3.3.1. Selección de parámetros sísmicos

##### A. Zonificación

Teniendo en cuenta el RNE y de acuerdo la Norma sismorresistente peruana E.030 – 2018, nuestro territorio nacional se encuentra dividido en cuatro zonas bien definidas, dentro de las cuales el distrito de Baños del Inca se encuentra en la **zona 3**. Teniendo en cuenta esto, le corresponde un factor de zona de **Z=0.35**.

Figura 17. Zonificación sísmica del Perú.



Fuente: Norma E.030 – 2018.

## B. Parámetros de sitio (S, T<sub>P</sub>, T<sub>L</sub>)

### ➤ Factor de amplificación del suelo “S”

En base a la ubicación referencial del edificio en la ciudad de Baños del Inca, el suelo en donde se ha decidido ubicar el edificio es del tipo blando, con una capacidad portante en promedio de 1 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual corresponde a un perfil de suelo **tipo S3**. Al tener un tipo de suelo S3 y además al estar ubicado en la zona 3, de la siguiente tabla se determinó que el factor de amplificación del suelo es de: **S=1.20**.

Tabla 3. Factores de amplificación para el suelo.

FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DEL SUELO “S”				
SUELO \ ZONA	S0	S1	S2	S3
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: Norma E.030 – 2018.

Teniendo un perfil de suelo tipo S3, se obtiene el periodo  $T_P$  (este indica el fin de plataforma del espectro), junto con el periodo  $T_L$  (limita el comportamiento elástico de la estructura en estudio), por lo tanto, de la siguiente tabla  $T_P=1.0$  y  $T_L=1.6$ .

**Tabla 4. Periodos  $T_P$  y  $T_L$**

PERIODOS "TP" Y "TL"				
	PERFIL DEL SUELO			
	S0	S1	S2	S3
<b><math>T_P(s)</math></b>	0.3	0.4	0.6	1.0
<b><math>T_L(s)</math></b>	3.0	2.5	2.0	1.6

Fuente: Norma E.030 – 2018.

### C. Factor de amplificación sísmica (C)

En base a las características del sitio, se procede a definir el factor de amplificación, este factor depende del periodo  $T$ , el cual presenta una variación que se encuentra dentro de los rangos limitados por  $T_P$  y  $T_L$ , según la norma peruana del RNE, Norma E.030 – 2018 se tienen las ecuaciones siguientes:

$$T < T_P \quad \rightarrow \quad C = 2.5 \dots \dots \dots \text{(Ec.2)}$$

$$T_P < T < T_L \quad \rightarrow \quad C = 2.5 \left( \frac{T_P}{T} \right) \dots \dots \dots \text{(Ec.3)}$$

$$T > T_L \quad \rightarrow \quad C = 2.5 \left( \frac{T_P * T_L}{T^2} \right) \dots \dots \dots \text{(Ec.4)}$$

### D. Factor de uso o importancia (I)

De acuerdo a la tabla N°5 del capítulo 3 en la Norma E.030 – 2018, se determina la clasificación de las estructuras, según esto y teniendo en cuenta que el edificio será de departamentos para viviendas, entonces esta edificación se encuentra en la **categoría C** es decir en edificaciones esenciales, por lo tanto, le corresponde un factor de importancia **I=1**. Mientras que la piscina es una estructura que, dada su ubicación en lo más alto del edificio, su colapso puede representar un riesgo adicional, por lo tanto, se ha visto conveniente darle un factor de importancia de **I=1.5** (según RNE)

### **E. Factor de modificación de respuesta (R)**

Para el edificio con la piscina acoplada en su azotea se tiene un factor de modificación de respuesta, dado el sistema estructural dual de la estructura principal, de **R=7**.

#### **3.3.3.2. Análisis dinámico**

Este análisis dinámico es realizado cuando los desplazamientos que presenta la estructura del edificio no se pueden despreciar por su magnitud y por lo tanto estos afectan a la ecuación de equilibrio de las fuerzas que actúan, mediante este método se determinan las respuestas que puede llegar a tener el edificio conjuntamente con piscina a partir de las frecuencias y de sus deformadas. Mediante un factor de participación dependiente de la masa y de acuerdo a la dirección del sismo se tendrá una combinación modal, en relación combinación de todas las cargas que se presentan afectando al edificio junto con la piscina.

Se somete a la estructura del edificio a varios registros sísmicos, los cuales están escalados a una pseudoaceleración, del cual su valor depende de los parámetros sísmicos establecidos en la norma técnica E.030 – 2018 del RNE.

Para la piscina, este análisis utiliza el sistema mecánico equivalente que fue propuesto por Housner en el año de 1963, este sistema considera al líquido contenido dividido en dos componentes: la componente convectiva y la componente impulsiva, estos componentes representan al líquido que está en movimiento, adquiriendo una rigidez diferente cada una debido a su condición y ubicación.

#### **A. Parámetros para el análisis dinámico de la piscina**

##### **A.1. Pesos equivalentes de componente impulsiva ( $W_i$ ) y convectiva ( $W_c$ )**

En base al sistema mecánico equivalente que fue propuesto por Housner, se consideran las dos componentes del líquido contenido en la piscina, la impulsiva tiende a moverse en conjunto con la estructura, mientras que la convectiva se relaciona directamente con el oleaje en la parte superior.

De ambas componentes se determinan sus pesos equivalentes, esto según ACI 350.3-06, utilizando las siguientes fórmulas:

Para hallar el peso de la componente impulsiva del líquido:

$$\frac{W_i}{W_l} = \frac{\tanh\left(0.866x\frac{L}{Hl}\right)}{0.866x\frac{L}{Hl}} \dots\dots\dots (Ec.5)$$

Para hallar el peso de la componente convectiva del líquido:

$$\frac{W_c}{W_l} = 0.264x\left(\frac{L}{Hl}\right) \tanh\left(3.16\frac{Hl}{L}\right) \dots\dots\dots (Ec.6)$$

$$W_l = A x Hl x \gamma_a \dots\dots\dots (Ec.7)$$

Donde:

- Wi: Peso equivalente de la componente impulsiva.
- Wc: Peso equivalente de la componente convectiva.
- Wl: Peso del agua.
- L: Largo de la piscina.
- A: Área de la piscina.
- Hl: Altura total del agua.
- $\gamma_a$ : Peso específico del agua.

**A.2. Rigidez de los resortes para la componente convectiva**

El ACI 350.3-01 proporciona la siguiente fórmula para la rigidez de los resortes:

$$K_c = 45 x \left(\frac{W_c}{W_l}\right)^2 x \left(\frac{Hl}{L}\right)^2 x \left(0.5 \frac{W_l}{Hl}\right) \dots\dots\dots (Ec.8)$$

Donde:

- Kc: Constante de rigidez de los resortes.
- Wc: Peso equivalente de la componente convectiva.
- Wl: Peso total del agua.
- L: Largo de la piscina.
- Hl: Altura total del agua.

### A.3. Alturas de los centros de gravedad de las componentes

Altura del centro de gravedad para la componente impulsiva ( $h_i$ ) del líquido:

Mediante la fórmula siguiente del ACI 350.3-06 se tiene:

$$\frac{L}{Hl} < 1.333 \quad \rightarrow \quad \frac{h_i}{Hl} = 0.5 - 0.09375 \frac{L}{Hl} \quad \dots\dots\dots \text{(Ec.9)}$$

$$\frac{L}{Hl} \geq 1.333 \quad \rightarrow \quad \frac{h_i}{Hl} = 0.375 \quad \dots\dots\dots \text{(Ec.10)}$$

Donde:

$h_i$ : Altura del centro de gravedad para la componente impulsiva.

L: Largo de la piscina.

Hl: Altura total del agua.

Altura del centro de gravedad para la componente convectiva ( $h_c$ ):

Mediante la fórmula de ACI 350.3-06 se tiene:

$$\frac{h_c}{Hl} = 1 - \frac{\cosh\left(3.16x\frac{Hl}{L}\right) - 1}{3.16x\frac{Hl}{L} \times \sinh\left(3.16x\frac{Hl}{L}\right)} \quad \dots\dots\dots \text{(Ec.11)}$$

Donde:

$h_c$ : Altura del centro de gravedad para la componente convectiva.

L: Largo de la piscina.

Hl: Altura total del agua.

## B. Análisis dinámico modal espectral para el edificio con piscina

Este tipo de análisis es una técnica en la cual se estiman las propiedades que tienen que ver con los modos naturales de vibración y las frecuencias, al simular un evento dinámico producido por el sismo.

Para poder efectuar este análisis se hace necesario emplear un espectro de pseudoaceleraciones, este genera la fuerza sísmica; para elaborar este espectro la Norma sismorresistente del RNE tiene bien definidos los parámetros sísmicos, los cuales se encuentran en función a la zona donde se ubica el edificio, tipo de suelo donde se construye, uso y tipo de la edificación.

De acuerdo a la Norma sismorresistente E.030 – 2018, para la aceleración espectral se utiliza la fórmula siguiente:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \times g \dots\dots\dots (Ec.12)$$

Donde:

- Sa: Pseudoaceleración.
- Z: Factor de zona.
- U: Factor de importancia o uso.
- C: Factor de amplificación sísmica.
- S: Factor de amplificación del suelo.
- R: Factor de modificación de respuesta.
- g: Aceleración de la gravedad.

El edificio presenta un sistema de pórticos y de placas, es decir es dual, se realiza el análisis con el espectro determinado según la Norma E.030 del RNE, en el cual se ha definido un factor de modificación de respuesta para edificios con sistema estructural dual de R=7.

En la piscina, las mayores aceleraciones se dan para el sistema rígido inercial compuesto la masa impulsiva y las paredes unidas rígidamente, dado esto los periodos de oscilación son inferiores a 2.4 segundos. Mientras que la masa convectiva que forma el oleaje tiene periodos mayores de oscilación por su poca rigidez y demasiada flexibilidad, es decir, posee una gran ductilidad con respecto al primero el cual es un sistema rígido.

Los parámetros sísmicos ZUCS han sido definidos anteriormente, en el apartado 3.3.3.1.

## **3.4. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

### **3.4.1. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO**

#### **3.4.1.1. Población**

Esta investigación está orientada hacia todos los edificios de concreto armado con piscina en su azotea, anclada a su sistema estructural; que se encuentren en nuestro país y que la piscina tenga como principal función el disfrute de sus usuarios.

#### **3.4.1.2. Muestra**

Se utiliza la técnica de muestreo no probabilística, para lo cual se considera como muestra un edificio de concreto armado con piscina en su último nivel de 269.29 m<sup>3</sup> de capacidad, ubicado en el distrito de Baños de Inca, Provincia de Cajamarca.

### **3.4.2. TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

- Esta investigación de acuerdo con su propósito será del tipo Aplicada.
- En cuanto a su enfoque será Cuantitativa.
- En lo referente al ámbito en el que se realizará, será No Experimental, pues no se manipularan variables.
- Asimismo, de acuerdo con el periodo que se realiza será Transversal.
- De acuerdo con el alcance esta investigación será Descriptiva Correlacional.

### **3.4.3. TIPO DE ANÁLISIS**

Se da a conocer un análisis de tipo cuantitativo, recolectando la información, asimismo la normativa nacional como internacional, la documentación y otros aspectos que son necesarios para el desarrollo. Todo lo descrito anteriormente fue sintetizado adecuadamente, en base a la hipótesis que se formuló para la investigación, finalmente se procesa y se analizan los resultados que se obtuvieron, con el fin de contrastar con la hipótesis planteada al inicio de la tesis.

### **3.4.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **Técnicas:**

Se empleó las siguientes técnicas:

- Modelamiento: Se realizó modelamientos para 4 casos de estudio del edificio (edificios de 5; 6; 7 y 8 pisos con y sin piscina).
- Análisis comparativo: Se comparó los resultados de los diferentes análisis.

#### **Instrumentos:**

Se utilizó los siguientes instrumentos:

- Software Sap2000 v22.
- Software Revit.
- Software AutoCAD.
- Softwares del entorno Microsoft.

La observación directa. Mediante esta se perciben deliberadamente las características reales de la zona en la que se diseñó el edificio, relacionándolo con las posibles incidencias sísmicas del lugar, posteriormente en el software de análisis se observan y recaban los datos en base a los parámetros preestablecidos para el estudio.

Análisis documental. Este análisis se realiza en base a la información principalmente escrita, ya sea esta física o digital, la cual ya ha sido anteriormente establecida por otros autores e investigadores sobre el tema, tales documentos son los que se refieren específicamente a nuestro tema de la tesis y que contribuyen a su desarrollo.

Es decir, se realizan los planos del edificio y de la piscina, para determinar la estructuración y el modelamiento sísmico de los mismos, además normativas pertinentes tanto nacionales como extranjeras para edificaciones y estructuras contenedoras de agua. Se tienen además fichas de control para determinar la información observada. Formatos de resultados del análisis del comportamiento y respuesta sísmica de las estructuras.

#### **3.4.5. PROCESAMIENTO DE DATOS**

El procesamiento de la información durante el desarrollo de esta investigación se efectuó de forma computarizada, mediante el uso del programa SAP2000 v22, en

dicho programa se modelaron los prototipos estructurales del edificio con piscina en la azotea anclada a su sistema estructural, acá se realizaron los análisis sísmicos, los resultados fueron procesados y presentados posteriormente en tablas de hojas de cálculo y gráficos. Asimismo, cabe mencionar que se utilizó adicionalmente otros programas tales como: Microsoft Word y Microsoft Excel, Revit y AutoCAD.

### 3.4.6. ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 3.4.6.1. Cálculo de parámetros y análisis sísmico

##### A. Cálculo de la presión hidrostática del líquido en la piscina

Esta presión hidrostática va desde 0.00 kgf/m<sup>2</sup> ubicada en la altura total del líquido hasta una presión máxima en el fondo de la piscina y se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$P_a = \gamma_a \times h$$

La presión hidrostática en el fondo de la piscina será:

$$P_a = 1000 \times 2.5$$

$$P_a = 2500 \text{ kgf/m}^2 = 2.5 \text{ Tonf/m}^2$$

*Ver Ec. 1*

Al momento de asignar esta presión al modelo en el programa SAP2000 se lo realiza mediante Join Pattern (nudo maestro), ahí se van determinando además las alturas, se expresa en función de las tres coordenadas globales (x,y,z) mediante lo siguiente:

$$P = Ax + By + Cz + D$$

Los coeficientes A y B son cero (0) ya que la presión en la pared de la piscina no depende de x e y, por lo tanto, tenemos la expresión reducida:

$$P = Cz + D$$

Ahora las incógnitas C y D se las encuentra así:

Como se sabe que la presión hidrostática en la base de la piscina es máxima, entonces: z = 0 m, P = 2.5 Tonf/m<sup>2</sup>.

Asimismo, la presión en la parte superior del nivel de agua también es cero, por lo tanto: z=2.5m, P=0Tonf/m<sup>2</sup>

Finalmente, los valores de las incógnitas C y D anteriores son: C= -1 y D=2.5

## B. Análisis sísmico dinámico del edificio y piscina

### B.1. Cálculo de parámetros sísmicos para la piscina

#### B.1.1. Cálculo de los pesos equivalentes de la componente impulsiva ( $W_i$ ) y convectiva ( $W_c$ )

Se hallaron los pesos equivalentes para las dos componentes impulsiva y convectiva del líquido.

Primeramente, calculamos el peso total del agua en la piscina:

$$Wl = A \times Hl \times \gamma_a$$

$$Wl = 16.70 \times 6.45 \times 2.50 \times 1000$$

$$Wl = 269288 \text{ kgf} \quad \text{Ver Ec.7}$$

Peso de la componente impulsiva:

$$\frac{W_i}{Wl} = \frac{\tanh\left(0.866x\frac{L}{Hl}\right)}{0.866x\frac{L}{Hl}}$$

$$\frac{W_i}{269288} = \frac{\tanh\left(0.866x\frac{16.70}{2.50}\right)}{0.866x\frac{16.70}{2.50}}$$

$$W_i = 46549.4 \text{ kgf} = 46.549 \text{ Tonf} \quad \text{Ver Ec.5}$$

Peso de la componente convectiva:

$$\frac{W_c}{Wl} = 0.264x\left(\frac{L}{Hl}\right) \tanh\left(3.16\frac{Hl}{L}\right)$$

$$\frac{W_c}{269288} = 0.264x\left(\frac{16.70}{2.50}\right) \tanh\left(3.16\frac{2.50}{16.70}\right)$$

$$W_c = 209268.79 \text{ kgf} = 209.269 \text{ Tonf} \quad \text{Ver Ec.6}$$

#### B.1.2. Cálculo de la rigidez de los resortes de la componente convectiva

La rigidez de los resortes para la componente convectiva se calculó con la siguiente fórmula:

$$Kc = 45 \times \left(\frac{W_c}{Wl}\right)^2 \times \left(\frac{Hl}{L}\right)^2 \times \left(0.5 \frac{Wl}{Hl}\right)$$

$$K_c = 45 \times \left( \frac{209268.79}{269288} \right)^2 \times \left( \frac{2.50}{16.70} \right)^2 \times \left( 0.5 \times \frac{269288}{2.50} \right)$$

$$K_c = 32800.6 \text{ kgf/m} = 32.801 \text{ Tonf/m} \quad \text{Ver Ec.8}$$

Numero de resortes que fueron asignados: 50

Entonces la rigidez de cada resorte será:

$$K_i = 32800.6 / 50$$

$$K_i = 656.01 \text{ kgf} = 0.656 \text{ Tonf}$$

### B.1.3. Cálculo de las alturas de los centros de gravedad

- Cálculo de la altura del centro de gravedad para la componente impulsiva ( $h_i$ ) y la componente convectiva ( $h_c$ ) del líquido en la piscina.

Altura hasta el centro de gravedad para la componente impulsiva ( $h_i$ ):

$$\text{Para: } \frac{L}{Hl} < 1.333 \quad \rightarrow \quad \frac{h_i}{Hl} = 0.5 - 0.09375 \frac{L}{Hl}$$

$$\text{Para: } \frac{L}{Hl} \geq 1.333 \quad \rightarrow \quad \frac{h_i}{Hl} = 0.375$$

Se tiene:

$$\frac{L}{Hl} = \frac{16.70}{2.50} = 6.68 > 1.333$$

Entonces será:

$$\frac{h_i}{Hl} = 0.375 \quad \rightarrow \quad h_i = 0.375 \times 2.50 \text{ m}$$

$$h_i = 0.94 \text{ m} \quad \text{Ver Ec.10}$$

Altura hasta el centro de gravedad para la componente convectiva ( $h_c$ ):

$$\frac{h_c}{Hl} = 1 - \frac{\cosh\left(3.16x\frac{Hl}{L}\right) - 1}{3.16x\frac{Hl}{L} \times \sinh\left(3.16x\frac{Hl}{L}\right)}$$

$$\frac{h_c}{2.50} = 1 - \frac{\cosh\left(3.16x\frac{2.50}{16.70}\right) - 1}{3.16x\frac{2.50}{16.70} \times \sinh\left(3.16x\frac{2.50}{16.70}\right)}$$

$$h_c = 1.27 \text{ m} \quad \text{Ver Ec.11}$$

## B.2. Determinación del espectro de pseudoaceleraciones

Para el análisis dinámico se utilizó el espectro de pseudoaceleraciones, para el edificio en su totalidad (con y sin piscina) de acuerdo a la norma E.030 – 2018 del RNE, utilizando para ello la siguiente fórmula:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \times g \quad \text{Ver Ec. 12}$$

Recordando que los parámetros sísmicos son previamente establecidos en la norma E.030 – 2018 del RNE, los cuales fueron determinados en el apartado 3.3.3.1. de la presente investigación.

**Tabla 5. Parámetros sísmicos para el espectro de pseudoaceleraciones.**

PARÁMETRO SÍSMICO		VALOR
Factor de zona	Z	0.35
Factor de uso	U	1
Factor de amplificación sísmica	C	$T < T_P \rightarrow C = 2.5$ $T_P < T < T_L \rightarrow C = 2.5 \left(\frac{T_P}{T}\right)$ $T > T_L \rightarrow C = 2.5 \left(\frac{T_P + T_L}{T^2}\right)$
Factor de amplificación del suelo	S	1.20
Factor de modificación de respuesta	R	7
Aceleración de la gravedad	g	9.81 m/s <sup>2</sup>

Fuente: norma E.030 – 2018

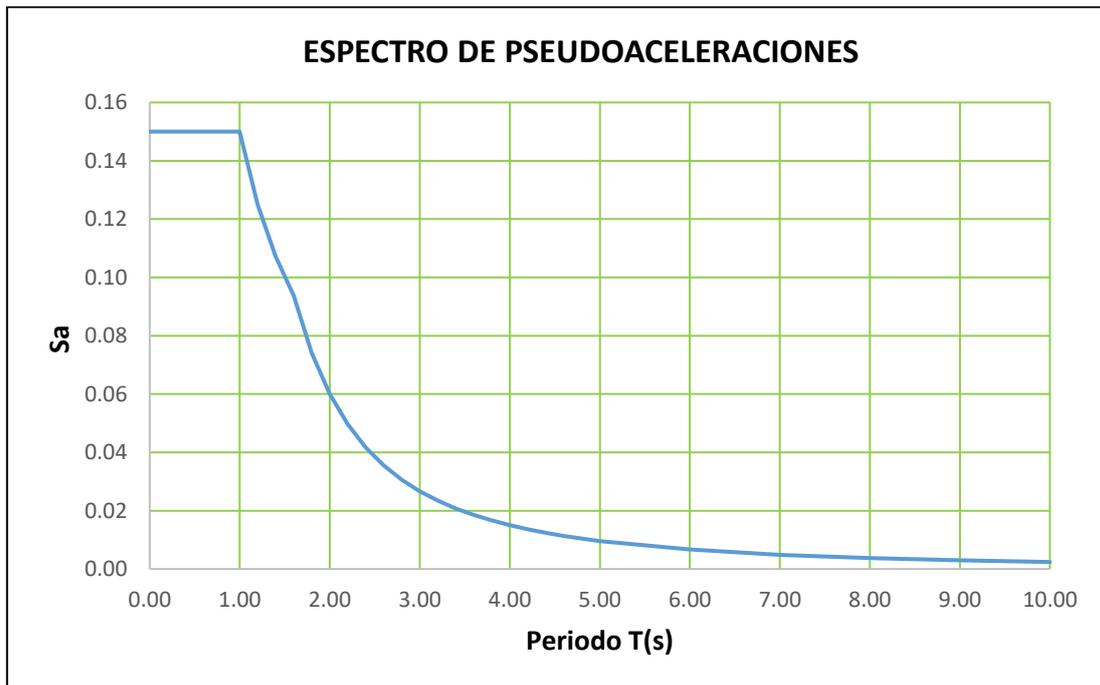
Cabe mencionar que el factor de amplificación sísmica (C) toma valores que dependen del periodo T, este periodo varía entre los intervalos limitados según la norma por  $T_P$  y  $T_L$ . En el apartado 3.3.3.1 de esta tesis se determinaron dichos valores para  $T_P$  y  $T_L$  respectivamente, siendo:  $T_P=1.0$  y  $T_L=1.6$ . Además, la gravedad es ingresada como factor para el análisis sísmico en el programa SAP2000.

**Tabla 6. Cálculo del espectro de pseudoaceleraciones.**

	T(s)	C	Sa
T<Tp	0.00	2.50	0.15
	0.20	2.50	0.15
	0.40	2.50	0.15
	0.60	2.50	0.15
	0.80	2.50	0.15
Tp≤T≤TI	1.00	2.50	0.15
	1.20	2.08	0.13
	1.40	1.79	0.11
	1.60	1.56	0.09
T>TI	1.80	1.23	0.07
	2.00	1.00	0.06
	2.20	0.83	0.05
	2.40	0.69	0.04
	2.60	0.59	0.04
	2.80	0.51	0.03
	3.00	0.44	0.03
	3.20	0.39	0.02
	3.40	0.35	0.02
	3.60	0.31	0.02
	3.80	0.28	0.02
	4.00	0.25	0.02
	4.20	0.23	0.01
	4.40	0.21	0.01
	4.60	0.19	0.01
	4.80	0.17	0.01
	5.00	0.16	0.01
6.00	0.11	0.01	
7.00	0.08	0.00	
8.00	0.06	0.00	
9.00	0.05	0.00	
10.00	0.04	0.00	

Fuente: Obtenido en base a la norma E.030 – 2018

**Figura 18. Espectro de pseudoaceleraciones.**



Fuente: Elaboración propia

### **B.3. Combinaciones de carga**

De acuerdo a la Norma del RNE la E.060 – 2009 y la Norma ACI 350, se obtiene una resistencia requerida  $U$  al multiplicar las cargas de servicio por los respectivos factores de carga establecidos en dichas normas de diseño. Estas combinaciones tienen en cuenta una posible ocurrencia simultáneamente de los esfuerzos máximos en la estructura. Se tienen las siguientes combinaciones de carga, establecidas en la Norma E.060 – 2009 del RNE:

$$U_1 = 1.4CM + 1.7CV$$

$$U_2 = 1.4CM + 1.4PH + 1.7CV$$

$$U_3 = 1.25 (CM + CV) + CS$$

$$U_4 = 0.9CM + CS$$

Para el muro de la piscina, la resistencia requerida mencionada anteriormente se ha tenido que multiplicar por un coeficiente de durabilidad sanitario  $S$ , el cual está establecido por la PCA (Portland Cement Association), dichos coeficientes son los siguientes:

*Resistencia requerida = Coeficiente sanitario x U*

Resistencia para la flexión y corte:  $1.3 \times U$

Resistencia para la tensión directa:  $1.65 \times U$

En cuanto al sismo, este se definió en dirección X e Y, ya que el edificio y la piscina son rectangulares.

#### **B.4. Análisis modal**

Este se realiza según la Norma peruana E.030, en cada dirección del edificio y la piscina se consideran aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea al menos el 90% de la masa total de las estructuras, pero se toma en cuenta como mínimo los tres primeros modos predominantes en cada dirección del análisis que se está realizando.

En esta investigación se utilizaron 3 modos por nivel, haciendo un total de 24 modos de vibración para que de acuerdo a esto los resultados sean lo menos distorsionados posibles en el análisis modal efectuado.

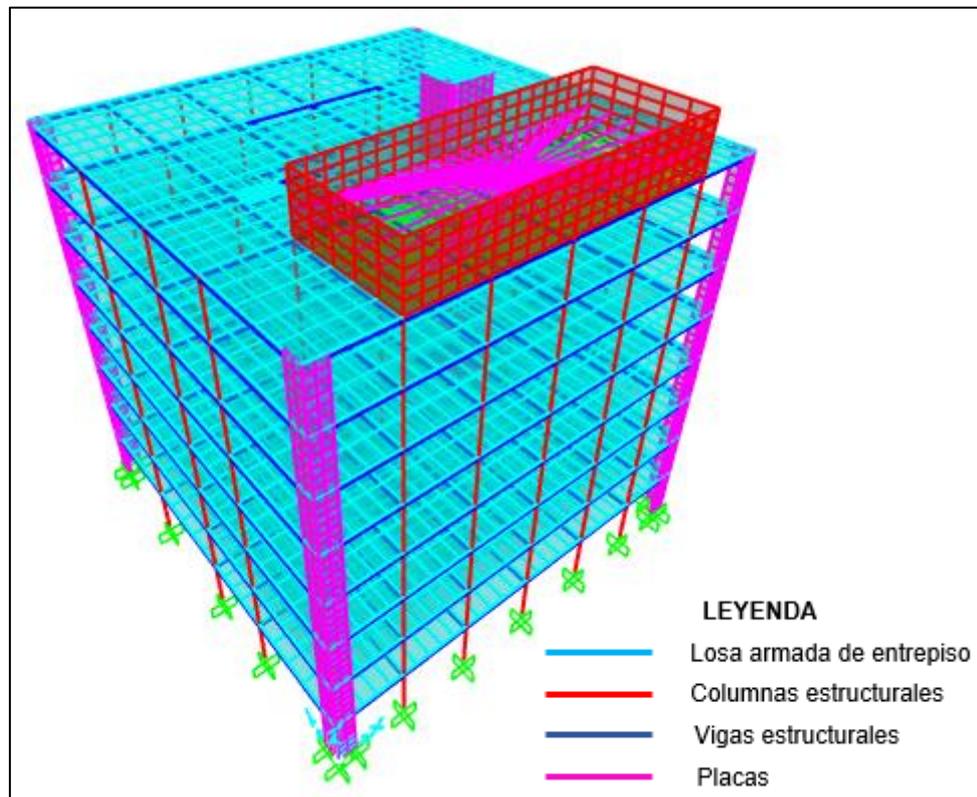
#### **B.5. Modelamiento estructural del edificio con piscina**

El edificio con piscina en su azotea anclada al sistema estructural ha sido modelado en el programa SAP2000 v22, teniendo siempre en cuenta que las características geométricas, así como las propiedades de sus materiales están en base a las especificaciones técnicas que son requeridas para este tipo de estructuras de concreto armado.

**Tabla 7. Parámetros para el modelamiento estructural y análisis dinámico.**

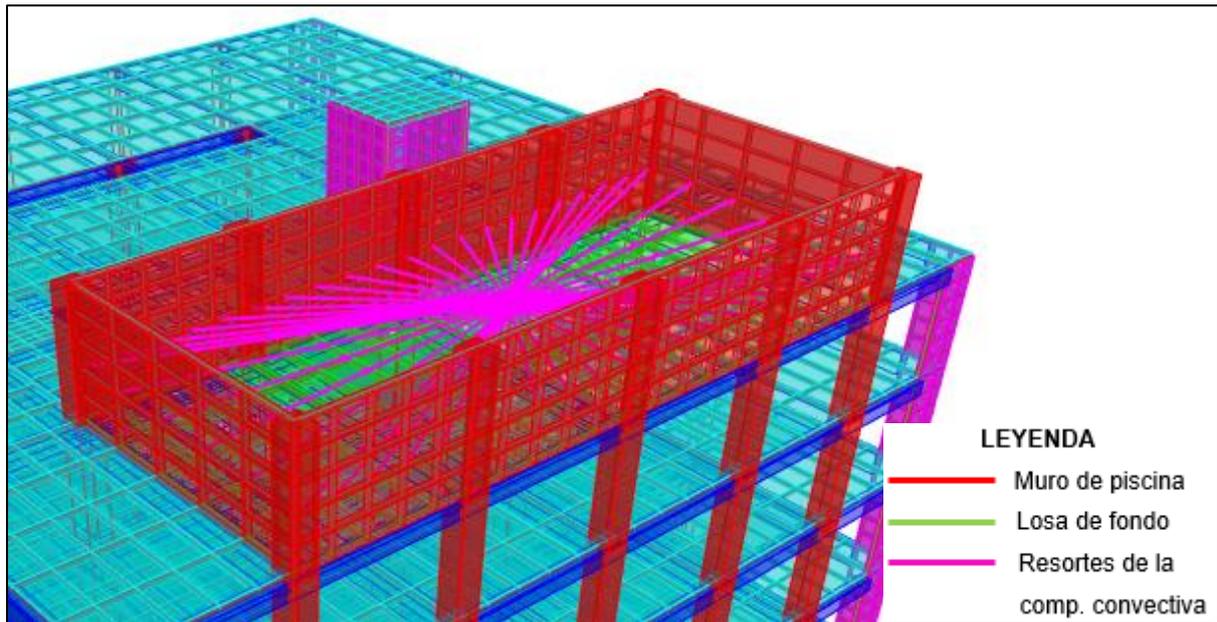
Parámetros para el modelamiento y análisis dinámico	
Columnas del edificio	C1(40x40), C2 (55x55)
Vigas del edificio	30x60, 30x40, 25x15
Losas macizas de entrepiso	0.15 m
Placas en esquinas y del ascensor	0.20 m
Espesor del muro de la piscina	0.20 m
Losa de fondo de piscina	0.20 m
Concreto del edificio y piscina: $f'c$	280 kgf/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad del concreto: $E_c$	252671.33 kgf/cm <sup>2</sup>
Módulo de poisson: $\nu$	0.20
Peso unitario del concreto: PU	2400 kgf/m <sup>3</sup>
Esfuerzo de fluencia del acero: $f_y$	4200 kgf/cm <sup>2</sup>
Masa impulsiva: $W_i/g$	4.745 Tonf.s <sup>2</sup> /m
Masa convectiva: $W_c/g$	21.332 Tonf.s <sup>2</sup> /m
Altura centro de gravedad, componente impulsiva: $h_i$	0.94 m
Altura centro de gravedad, componente convectiva: $h_c$	1.27 m
Rigidez de cada resorte asignado: $K_i$	0.656 Tonf
Capacidad portante del suelo, obtenido del EMS de Expediente técnico (revisar Ítem 1.8. Delimitaciones)	1 kgf/cm <sup>2</sup>

**Figura 19. Modelamiento del edificio con piscina, en el programa SAP2000.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 20. Vista de la piscina, donde se notan los resortes asignados.**



Fuente: Elaboración propia.

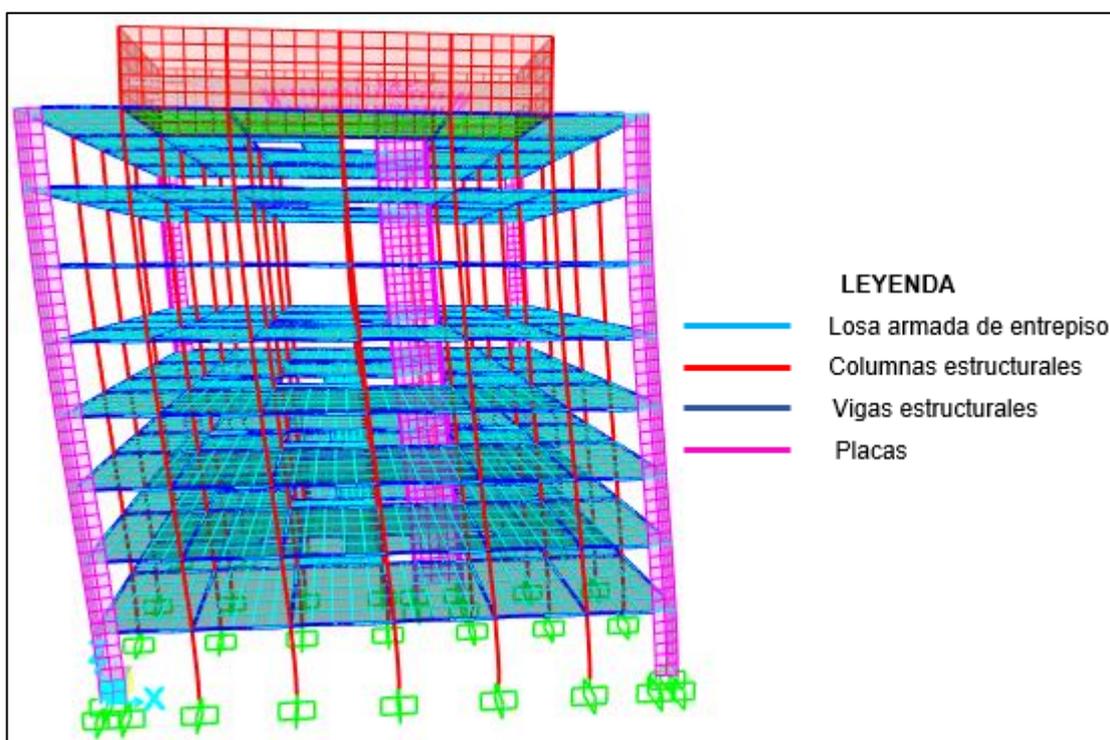
### **B.6. Modos y periodos resultantes del análisis**

Teniendo en cuenta de que cada modo de vibrar está asociado directamente a un periodo específico de la estructura, debido a que estos dependen de la rigidez y la distribución de masas del edificio con piscina.

En el análisis modal el porcentaje de participación de las masas tanto en la dirección X como en la dirección Y con los 24 modos considerados para las estructuras ha superado el 90% de la masa participante requerida por la Norma sismorresistente E.030 – 2018 del RNE.

El detalle de los modos de vibración, así como los porcentajes participativos de masas en cada dirección se encuentran en el anexo 01 de la presente investigación.

**Figura 21. Modo de vibración donde se encuentra el mayor periodo.**



Fuente: Elaboración propia.

### **B.7. Fuerza cortante mínima de diseño**

De acuerdo a lo establecido en la Norma peruana E.030 del RNE, la cortante basal dinámica del edificio en general no puede ser menor que el 90% de la cortante basal estática calculada en estructuras irregulares, ni tampoco menor al 80% en estructuras regulares. El detalle se halla al igual que los demás parámetros de validación en el anexo 01.

### **B.8. Desplazamientos laterales máximos**

En el caso del desplazamiento máximo, teniendo en cuenta la Norma E.030 del RNE, se debe multiplicar por  $0.75R$  para las estructuras regulares, asimismo para las estructuras irregulares se multiplicará por  $0.85R$ , los prototipos de todos los edificios en estudio son estructuras regulares. Como resultado de la validación se tiene que las derivas halladas en el análisis no exceden a la deriva máxima admisible que ha establecido la Norma peruana E.030 – 2018, ya que las placas ubicadas en las esquinas le otorgan una mayor rigidez, ocasionando un reducido desplazamiento lateral relativo de los entrepisos. El detalle de los desplazamientos relativos y derivas inelásticas de entrepiso se encuentran a mayor detalle en el anexo 01.

### 3.4.6.2. Presentación de resultados

Al realizar el procedimiento que se describió anteriormente, haber modelado todos los edificios de 5, 6, 7 y 8 pisos sin y con piscina en la azotea, para posteriormente realizar el análisis sísmico, se obtuvieron los resultados que se muestran a continuación en tablas y figuras, describiéndose la influencia que tiene la piscina anclada a dichos edificios para cada parámetro de respuesta sísmica.

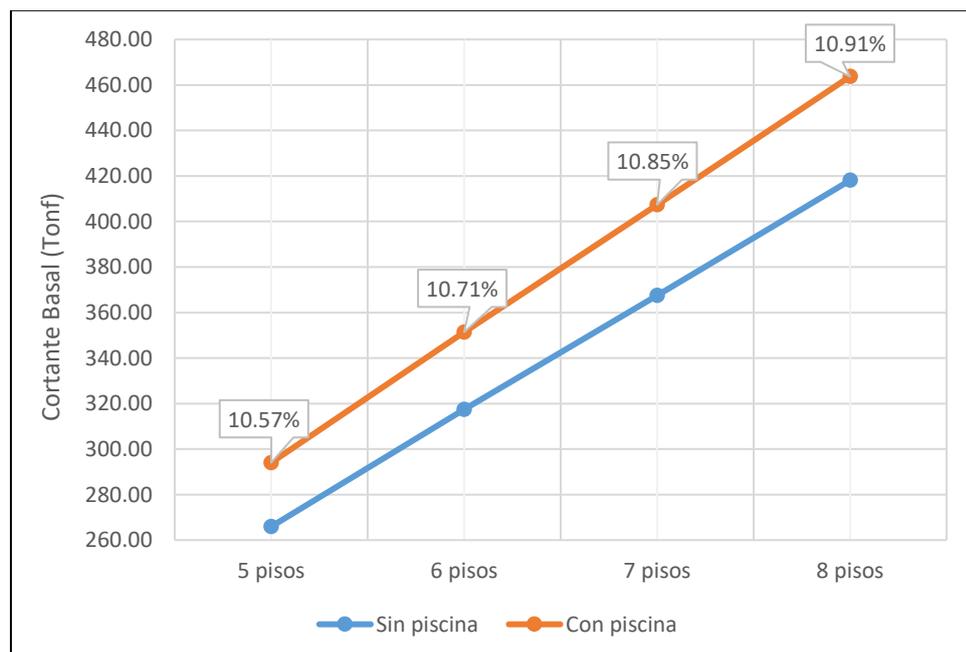
#### A. Cortante basal

Es un parámetro de la respuesta sísmica del edificio en su totalidad, la cual viene a ser la fuerza que la estructura tiene cuando es sometida a fuerzas horizontales provocadas por los sismos, a continuación, se muestran los valores y gráficos de este parámetro en ambas direcciones analizadas X e Y.

**Tabla 8. Valores de la cortante basal en la dirección X.**

EDIFICIO	CORTANTE BASAL (Vx)		VARIACIÓN (%)
	Sin piscina	Con piscina	
5 pisos	265.95 Tonf	294.06 Tonf	10.57%
6 pisos	317.41 Tonf	351.40 Tonf	10.71%
7 pisos	367.47 Tonf	407.35 Tonf	10.85%
8 pisos	418.09 Tonf	463.70 Tonf	10.91%

**Figura 22. Cortante basal en la dirección X, según condición del edificio.**

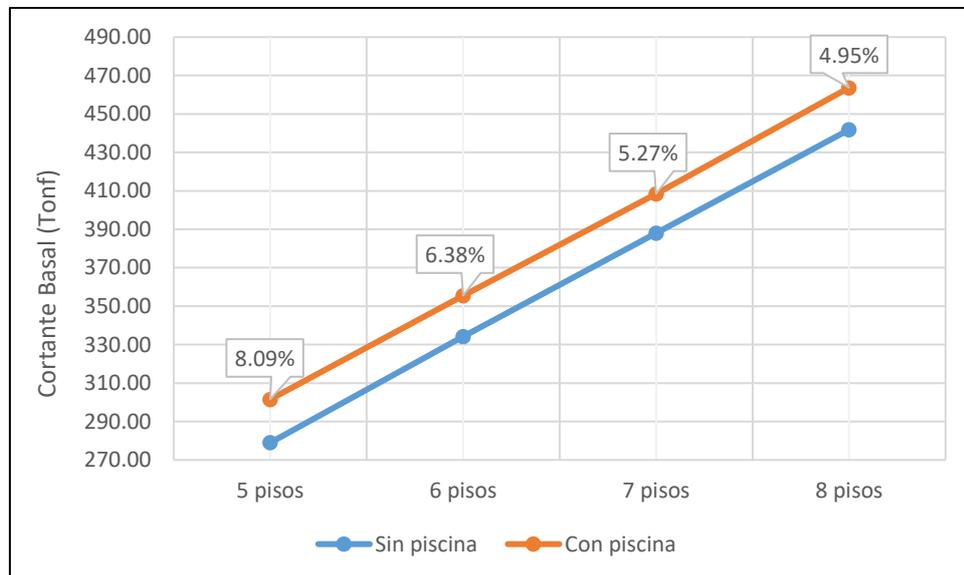


En la tabla 8 junto con la figura 22 se muestran cómo afecta la incorporación de la piscina a cada edificio mediante su comportamiento hidrodinámico, observándose que la cortante basal en dirección X se incrementa cuando se adiciona la piscina a su sistema estructural, esto sucede para todos los edificios desde 5 hasta 8 pisos, incrementando el porcentaje de variación a medida que los edificios se hacen más altos. Asimismo, se evidencia un incremento de masa debida a la cantidad de agua contenida en la piscina, lo cual se observa claramente en la tabla y figura anterior.

**Tabla 9. Valores de la cortante basal en la dirección Y.**

CORTANTE BASAL EN LA DIRECCIÓN Y ( $V_y$ ), SEGÚN LA CONDICIÓN DEL EDIFICIO (SIN Y CON PISCINA)			
EDIFICIO	CORTANTE BASAL ( $V_y$ )		VARIACIÓN (%)
	Sin piscina	Con piscina	
5 pisos	278.97 Tonf	301.53 Tonf	8.09%
6 pisos	334.17 Tonf	355.51 Tonf	6.38%
7 pisos	388.07 Tonf	408.50 Tonf	5.27%
8 pisos	441.81 Tonf	463.68 Tonf	4.95%

**Figura 23. Cortante basal en la dirección Y, según condición del edificio.**



Se tiene en la tabla 9 y figura 23 la cortante basal en dirección Y, observándose que esta se incrementa cuando se incorpora la piscina al edificio, esto sucede para todos los edificios de todos los pisos; pero en menor porcentaje que en la

dirección X, ya que según la geometría de la piscina esta tiene mayores dimensiones en X que en Y.

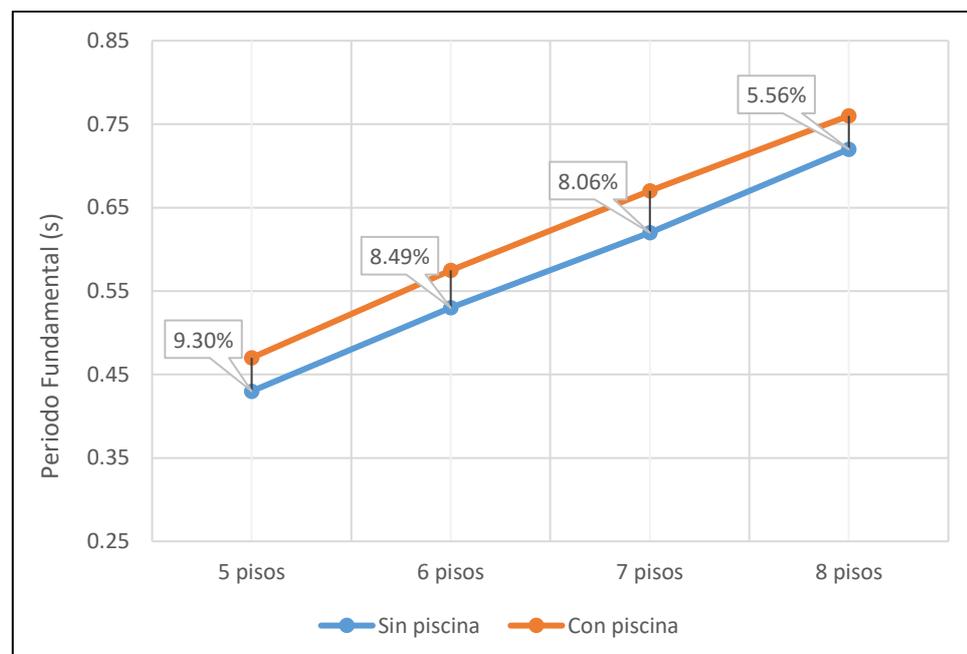
## B. Periodo fundamental de vibración

El periodo fundamental de vibración se traduce cómo el tiempo que demora la estructura en realizar una oscilación, el tiempo de mayor duración es el periodo fundamental, si este parámetro de respuesta sísmica es muy elevado originará un desplazamiento más alto, ocasionando mayores daños a la estructura.

**Tabla 10. Valores del periodo fundamental de vibración en la dirección X.**

PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN EN DIRECCIÓN X, SEGÚN LA CONDICIÓN DEL EDIFICIO (SIN Y CON PISCINA)			
EDIFICIO	PERIODO FUNDAMENTAL		VARIACIÓN (%)
	Sin piscina	Con piscina	
5 pisos	0.43 s	0.47 s	9.30%
6 pisos	0.53 s	0.58 s	8.49%
7 pisos	0.62 s	0.67 s	8.06%
8 pisos	0.72 s	0.76 s	5.56%

**Figura 24. Periodo fundamental de vibración en la dirección X, según condición del edificio.**

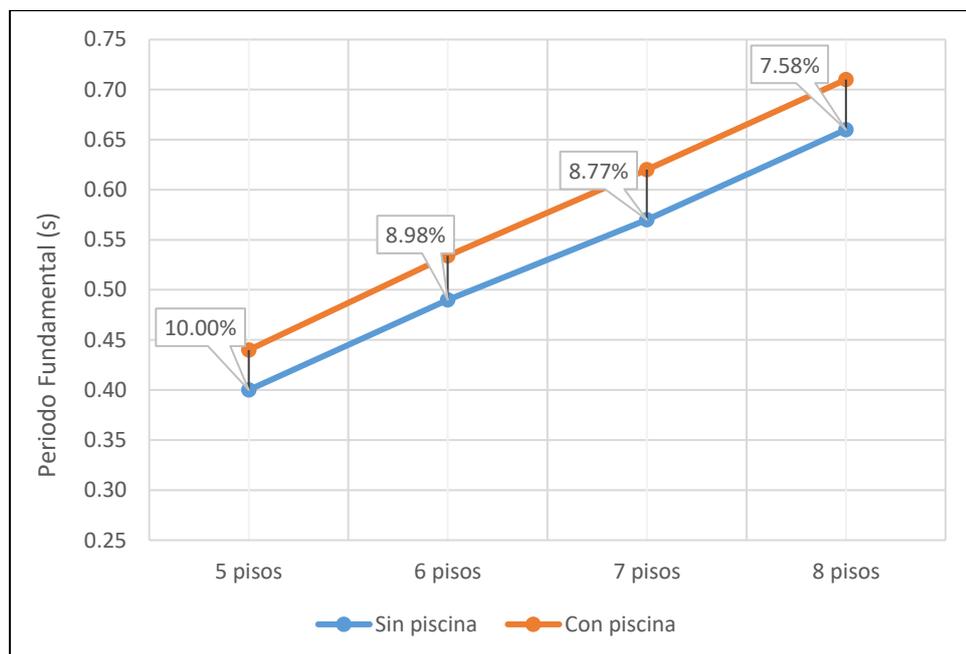


En la tabla 10 junto con la figura 24 se muestran cómo varía el periodo fundamental de vibración en dirección X, el cual se incrementa cuando se adiciona una piscina en lo alto del edificio, por haber incrementado la masa a mayor altura, pero por otro lado vemos que la variación porcentual se reduce a medida que los edificios se van haciendo más altos.

**Tabla 11. Valores del periodo fundamental de vibración en la dirección Y.**

PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN EN DIRECCIÓN Y, SEGÚN LA CONDICIÓN DEL EDIFICIO (SIN Y CON PISCINA)			
EDIFICIO	PERIODO FUNDAMENTAL		VARIACIÓN (%)
	Sin piscina	Con piscina	
5 pisos	0.40 s	0.44 s	10.00%
6 pisos	0.49 s	0.53 s	8.98%
7 pisos	0.57 s	0.62 s	8.77%
8 pisos	0.66 s	0.71 s	7.58%

**Figura 25. Periodo fundamental de vibración en la dirección Y, según condición del edificio.**



En la tabla 11 y la figura 25 se muestran la variación del periodo fundamental de vibración en dirección Y, este se incrementa cuando se le adiciona la piscina en la azotea del edificio, por haber incrementado la masa a mayor altura, pero

también se tiene que la variación porcentual se reduce a medida que los edificios se hacen más altos.

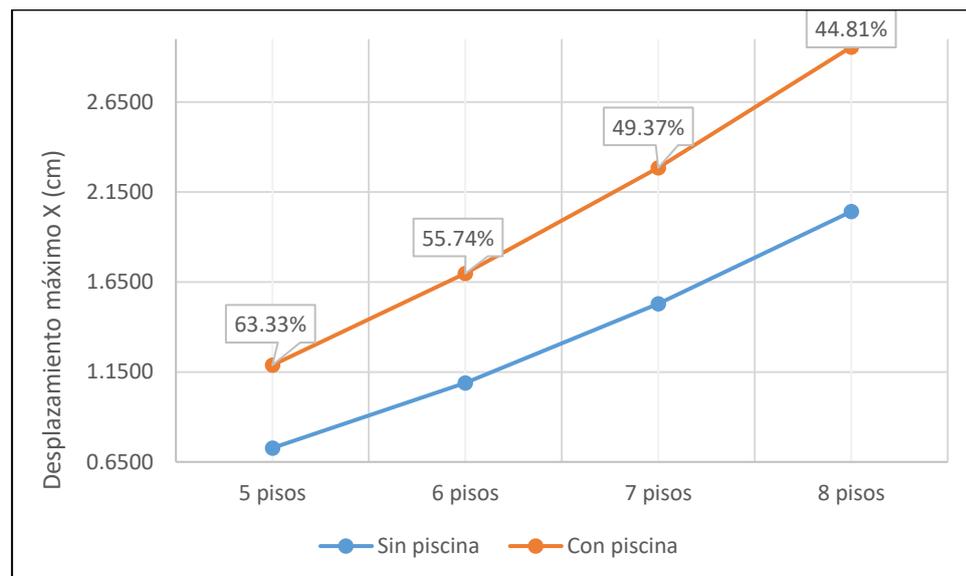
### C. Desplazamiento máximo

El desplazamiento máximo lo encontramos en el extremo superior del edificio, este parámetro de la respuesta sísmica depende en gran medida de la rigidez con la que cuenta la estructura, de la masa inercial y de la fuerza horizontal aplicada, a continuación, se muestran los resultados para todos los edificios.

**Tabla 12. Valores del desplazamiento máximo en dirección X.**

DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EN LA DIRECCIÓN X, SEGÚN LA CONDICIÓN DEL EDIFICIO (SIN Y CON PISCINA)			
EDIFICIO	DESPLAZAMIENTO MÁXIMO X		VARIACIÓN (%)
	Sin piscina	Con piscina	
5 pisos	0.7273 cm	1.1879 cm	63.33%
6 pisos	1.0897 cm	1.6971 cm	55.74%
7 pisos	1.5296 cm	2.2848 cm	49.37%
8 pisos	2.0413 cm	2.9560 cm	44.81%

**Figura 26. Desplazamiento máximo en dirección X, según condición del edificio.**

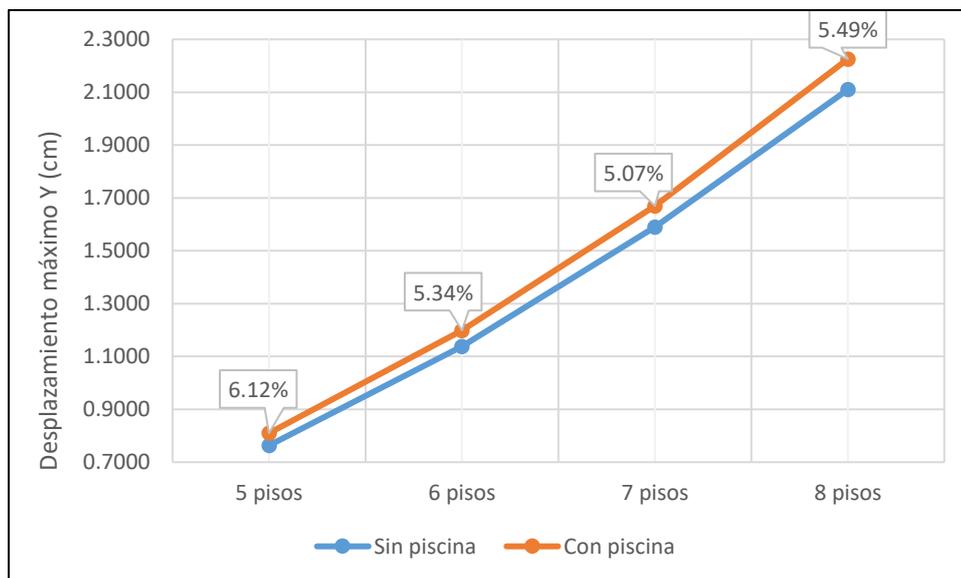


La tabla 12 y la figura 26 muestran cómo el desplazamiento máximo horizontal en la dirección X se ve altamente incrementado al adicionarse una masa en la parte más alta del edificio, es decir al colocarle una piscina en la azotea la masa total se hace mucho más notoria, pero la variación porcentual disminuye a medida que los edificios son más altos.

**Tabla 13. Valores del desplazamiento máximo en dirección Y.**

DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EN LA DIRECCIÓN Y, SEGÚN LA CONDICIÓN DEL EDIFICIO (SIN Y CON PISCINA)			
EDIFICIO	DESPLAZAMIENTO MÁXIMO Y		VARIACIÓN (%)
	Sin piscina	Con piscina	
5 pisos	0.7633 cm	0.8100 cm	6.12%
6 pisos	1.1377 cm	1.1985 cm	5.34%
7 pisos	1.5893 cm	1.6698 cm	5.07%
8 pisos	2.1097 cm	2.2255 cm	5.49%

**Figura 27. Desplazamiento máximo en dirección Y, según condición del edificio**



El desplazamiento máximo en dirección Y se muestra en la tabla 13 y figura 27, se observa un incremento en el desplazamiento máximo horizontal en el extremo superior de cada edificio, pero es relativamente bajo si lo comparamos con la dirección X. En la dirección de análisis Y la piscina presenta menor masa debido a su geometría, lo cual ocasiona una menor variación en cuanto a los desplazamientos máximos

## CAPÍTULO IV.

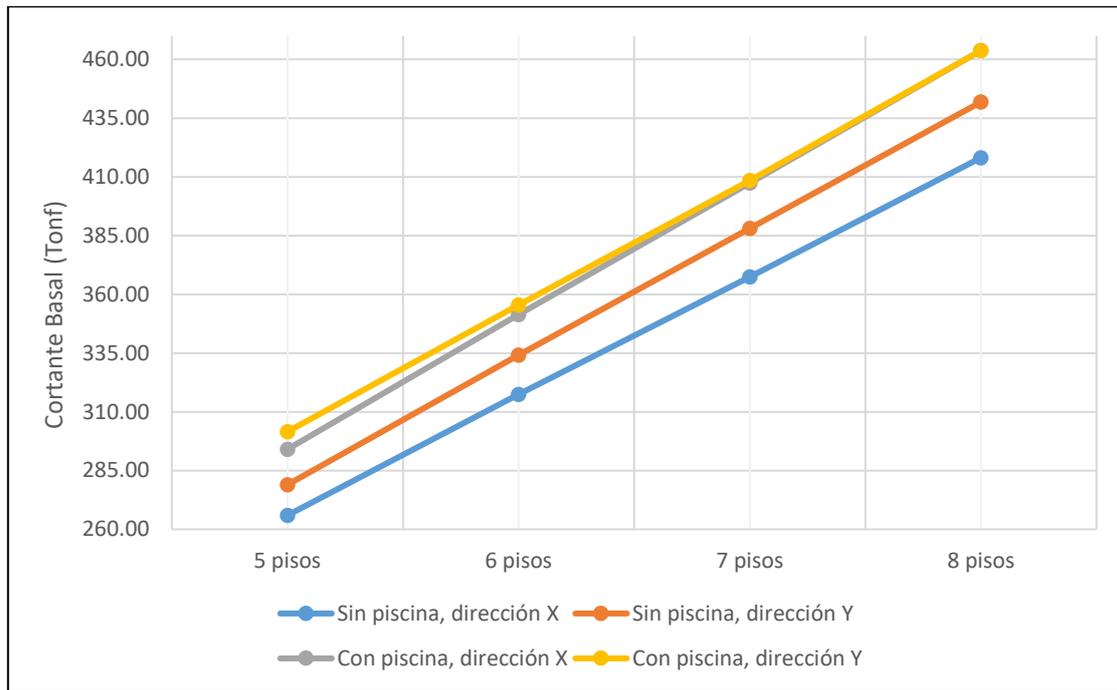
### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. CORTANTE BASAL

Se evidencia un incremento de masa al adicionar una piscina, como se muestra en los resultados descritos a continuación: en la tabla 8 y figura 22 se muestran los valores de la cortante basal en la dirección X, comparando los edificios que no tienen piscina con los que si tienen. Se observa para el edificio más pequeño de 5 pisos que la cortante basal cuando no tiene piscina es de 265.95 Tonf y se incrementa en un 10.57% cuando se le adiciona la piscina en su azotea, es decir llega a 294.06 Tonf. Mientras que el edificio más alto (de 8 pisos), presenta una cortante basal de 418.09 Tonf cuando no tiene piscina y aumenta hasta 463.70 Tonf cuando tiene piscina, es decir alcanzó un incremento de 10.91%. A medida que los niveles del edificio aumentan también se incrementa el porcentaje de variación de la cortante basal en esta dirección.

Para los casos de análisis de la cortante basal en dirección Y, se tienen en la tabla 9 y figura 23 los valores de la cortante basal en esta dirección para los edificios que tienen y los que no tienen piscina, donde el edificio de 5 pisos cuando no tiene piscina posee una cortante basal de 278.97 Tonf, incrementando su valor a 301.53 Tonf cuando ya tiene piscina, es decir al adicionarle esta estructura en su azotea la cortante basal de todo el edificio aumentó en 8.09%. Mientras que para el edificio más alto de 8 pisos cuando no tiene piscina su cortante basal es de 441.81 Tonf y al poseer piscina esta cortante basal se incrementó en 4.95%, es decir llegó a 463.68 Tonf. A diferencia de la dirección anterior, en esta se nota que la variación porcentual disminuye a medida que el número de niveles de los edificios aumentan, esto se debe a que dada la geometría de la piscina en la dirección Y es más corta que en X, por lo cual las cortantes basales también son menores, afectando cada vez menos a medida que la altura sube.

**Figura 28. Gráfico de la cortante basal para todos los casos estudiados y en ambas direcciones X e Y.**



De manera general, para la cortante basal en ambas direcciones X e Y se tiene en la figura 28 y las tablas mencionadas en los párrafos anteriores los valores recabados del análisis para todos los casos, observándose que las mayores variaciones de este parámetro ocurren en la dirección X cuando se compara los edificios sin y con piscina, ya que en esta dirección se encuentra la mayor masa por el agua de la piscina debido a su geometría en planta, llegando a un porcentaje de variación máximo de 10.91%, el cual ocurre en el edificio de 8 pisos.

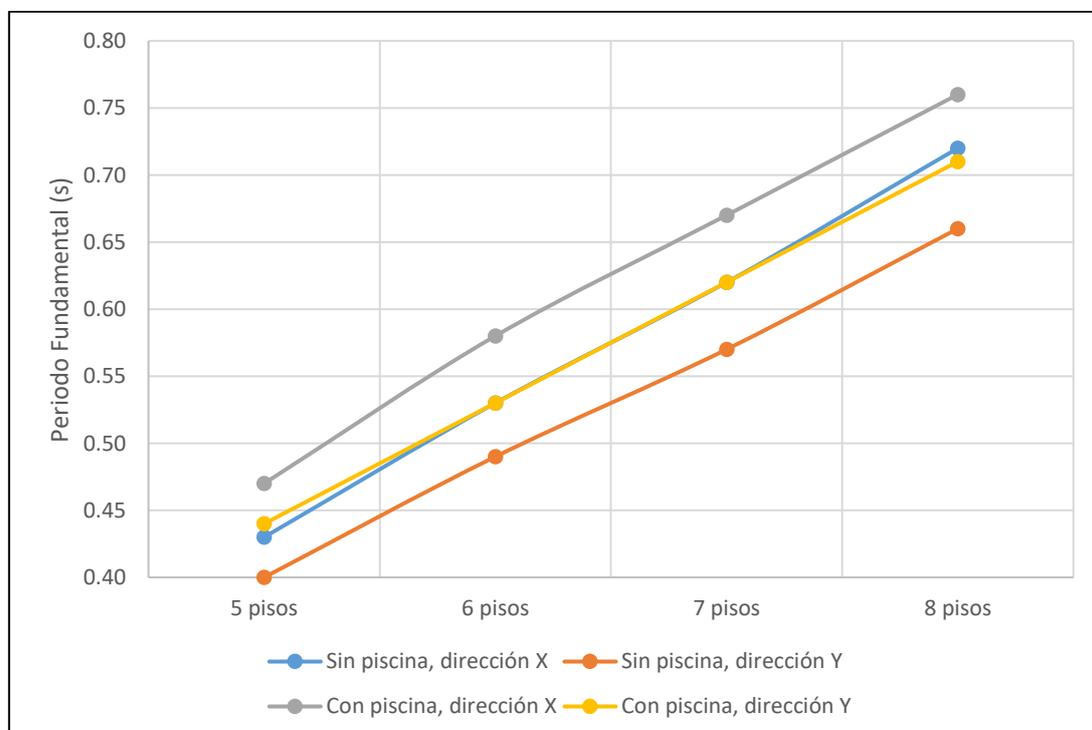
#### **4.2. PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN**

En la tabla 10 y la figura 24 se presentaron los valores del periodo fundamental de vibración en la dirección X, para todos los prototipos de los edificios ensayados para 5, 6, 7 y 8 pisos, sin piscina y con piscina, teniéndose como datos más resaltantes que cuando se le adiciona esta estructura en la azotea del edificio más pequeño de 5 niveles el periodo fundamental de vibración tiene un incremento que va de 0.43 s hasta 0.47 s, es decir varía en 9.30%. Lo cual se interpreta como un incremento relativamente considerable. Para el caso del edificio más alto de 8 niveles, al comparar el que no tiene piscina con el que si tiene, este periodo también va desde 0.72 s hasta 0.76 s, lo cual equivale a un incremento de 5.56%, en todos los edificios

el periodo fundamental tiene un aumento, pero vemos algo notorio que es la disminución de la variación porcentual, a medida que los edificios se hacen más altos esta variación disminuye, lo cual indica que dicha variación tiende a anularse conforme los edificios son más elevados.

Para los casos de análisis del periodo fundamental en dirección Y, se tienen en la tabla 11 y figura 25 los valores en esta dirección para los edificios que tienen y los que no tienen piscina, donde el edificio de 5 pisos cuando no tiene piscina posee un periodo fundamental de 0.40 s, incrementando su valor a 0.44 s cuando ya tiene piscina, es decir al adicionarle esta estructura en su azotea el periodo fundamental de vibración aumentó en 10.00%. Mientras que para el edificio más alto de 8 pisos cuando no tiene piscina su periodo es de 0.66 s y al poseer piscina este periodo se incrementó en 7.58%, es decir llegó a 0.71 s. Al igual que la dirección anterior, en esta se nota también que la variación porcentual disminuye a medida que el número de niveles del edificio aumentan.

**Figura 29. Gráfico del periodo fundamental para todos los casos estudiados y en ambas direcciones X e Y.**



En general, sobre el periodo fundamental de vibración en ambas direcciones X e Y se tiene en la figura 29 y las tablas mencionadas anteriormente los valores del análisis para todos los casos, observándose que las mayores variaciones de este parámetro ocurren en la dirección Y, aunque esta variación es muy semejante a la que ocurre en dirección X. De todos los resultados, en ambas direcciones se observa que el periodo fundamental tiene una menor variación a medida que se incrementa la altura del edificio.

### **4.3. DESPLAZAMIENTO MÁXIMO**

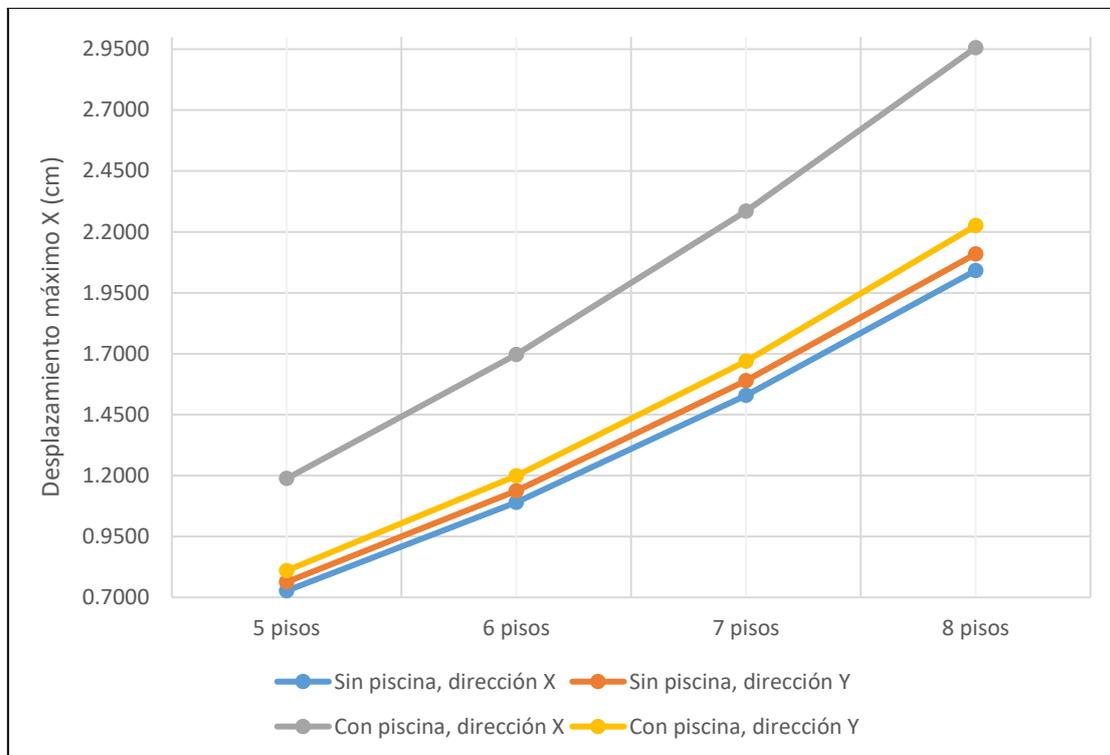
Para el caso del desplazamiento máximo en la dirección X, se tiene en la tabla 12 y la figura 26 los resultados en donde se observa que para el edificio de 5 pisos el desplazamiento máximo es de 0.7273 cm cuando no existe piscina y un desplazamiento de 1.1879 cm cuando ya cuenta con tal estructura en su azotea, representando un incremento de 63.33%. Mientras que en el caso del edificio más alto de 8 pisos empieza en 2.0413 cm cuando no hay piscina hasta 2.9560 cm cuando ya tiene, es decir aumenta en 44.81%. En todos los casos el desplazamiento tiene un alto incremento debido a la masa inercial (aumentada por la piscina) que hace ampliar el desplazamiento cuando la estructura es afectada por la fuerza sísmica. Pero también es notable que a medida que suben los niveles, la variación porcentual es menor.

En la dirección Y, la tabla 13 y figura 27 muestran los resultados referidos al desplazamiento máximo en esta dirección, con respecto a la comparación de los edificios sin piscina con los edificios que si cuentan con dicha estructura, teniendo que en el de 5 pisos el desplazamiento en esta dirección es de 0.7633 cm cuando no tiene piscina y de 0.8100 cm cuando ya cuenta con esta estructura, la variación porcentual es relativamente baja que solo representa el 6.12%. Mientras que en el caso del edificio más alto de 8 pisos, cuando no tiene piscina el desplazamiento en la dirección Y es de 2.1097 cm y cuando cuenta con piscina es de 2.2255 cm, representando una variación 5.49%.

A diferencia de la dirección anterior, en esta la variación es mucho menor, dado que la piscina tiene una longitud menor en este sentido, originando un desplazamiento con menos variación en comparación con la dirección X. Pero lo que si coincide es

que en ambas direcciones la variación porcentual disminuye a medida que los edificios se hacen más altos.

**Figura 30. Gráfico del desplazamiento máximo para todos los casos estudiados y en ambas direcciones X e Y.**



De forma general para el desplazamiento máximo en ambas direcciones X e Y, se tiene en la figura 30 y las tablas mencionadas en los párrafos anteriores los valores resultantes del análisis para este parámetro, en donde se observa que las mayores variaciones del desplazamiento ocurren en la dirección X, cuando se compara los edificios sin y con piscina, llegando a un porcentaje de variación máximo de 63.33%, el cual ocurre en el edificio más pequeño de 5 niveles. Notándose una clara diferencia con respecto a la dirección de análisis Y, debido a la geometría en planta de la piscina.

Teniendo en cuenta todos los parámetros sísmicos en esta investigación como son la cortante basal, el periodo fundamental de vibración y el desplazamiento máximo, se obtuvieron entre los resultados que el parámetro con mayor variación porcentual, fue el desplazamiento máximo en la dirección X (edificio de 5 pisos), mientras que el parámetro que tuvo una menor variación fue la cortante basal en dirección Y (edificio de 8 pisos).

Teniendo en cuenta lo descrito en el capítulo II de esta investigación, en lo referido a los resultados obtenidos por otros investigadores mencionados en los antecedentes teóricos, los resultados hallados coinciden con lo descrito en la literatura mencionada, en lo que respecta a lo siguiente:

- ✓ En las investigaciones anteriores sobre este tema se afirma que, al incorporar el efecto hidrodinámico en los modelos, los parámetros sísmicos como el periodo fundamental de vibración se incrementa, tal como se ha mostrado en los párrafos anteriores, donde el aumento más elevado es de 10.00% cuando se les adiciona la piscina a edificios de la misma altura. De igual forma ocurre con el resto de parámetros observándose un incremento relativamente alto. Adicionalmente se produce un aumento en la intensidad de las fuerzas y velocidades de la estructura, lo cual corrobora que los resultados comparados con otras investigaciones son siempre coincidentes ya que esta masa adicional en el edificio tiene una influencia negativa al incrementar las sollicitaciones sísmicas.
  
- ✓ Por otro lado, en base a la literatura utilizada en los antecedentes teóricos y teniendo en cuenta la aseveración de otros autores quienes también afirman que la componente con mayor incidencia en el muro de la piscina es la componente convectiva, algunos proponen implementación de anillos deflectores para reducir tal incidencia, esto es verificado en esta tesis ya que se observó en los resultados que la masa inercial aumenta provocando mayores esfuerzos en la piscina. De acuerdo a la solución propuesta por investigadores se confirma que es adecuada, ya que se esta forma se reduce directamente el efecto de la componente convectiva que incrementa las cargas axiales y de flexión.

## **CAPÍTULO V.**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

- El análisis revela que el comportamiento hidrodinámico de una piscina anclada a la azotea de un edificio tiene una influencia significativa en la respuesta sísmica del edificio. Esta influencia se manifiesta en varios aspectos clave de la dinámica estructural, incluyendo la cortante basal, el periodo fundamental de vibración y los desplazamientos máximos.
- El comportamiento hidrodinámico de la piscina incrementa la cortante basal en el edificio, con un aumento notable de hasta el 10.91% en la dirección X para el edificio de 8 pisos. En la dirección Y, el aumento es menor, alcanzando un máximo del 8.09% en el edificio de 5 pisos. Este incremento se debe a la adición de masa en altura, que eleva el peso sísmico del edificio. La variación en la cortante basal es más pronunciada en la dirección X y disminuye en la dirección Y a medida que aumenta la altura del edificio.
- La presencia de la piscina en la azotea también afecta el periodo fundamental de vibración de la estructura. Se observa un aumento en el periodo fundamental en todos los edificios, siendo mayor en la dirección Y, con una variación que puede alcanzar hasta el 10.00% en el edificio de 5 pisos. En la dirección X, el incremento máximo es del 9.30%, también en el edificio de 5 pisos. Aunque el periodo fundamental aumenta con la altura, la variación porcentual entre edificios con y sin piscina tiende a estabilizarse en alturas mayores.
- El comportamiento hidrodinámico de la piscina también influye en el desplazamiento máximo del edificio. En la dirección X, el aumento puede ser considerable, alcanzando hasta el 63.33% en el edificio de 5 pisos. En la dirección Y, las variaciones son menores, con un máximo del 6.12% en el mismo edificio. Esto indica que la piscina provoca mayores deformaciones en

la dirección X debido al movimiento de la masa de agua durante un evento sísmico, mientras que el efecto es menos pronunciado en la dirección Y.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- En posteriores investigaciones realizar este tipo de estudio pero variando la geometría de la piscina en planta, por ejemplo haciéndola de forma circular, con el fin de comparar resultados.
- También es recomendable realizar una investigación utilizando un prototipo de edificio con sistema estructural diferente al utilizado (dual), como de albañilería confinada u otro, para establecer las similitudes y diferencias en la respuesta sísmica.
- Realizar el análisis sísmico considerando siempre la piscina llena, ya que el líquido en movimiento genera una mayor fuerza inercial, por lo tanto los esfuerzos de diseño serán también mayores.
- Se recomienda hacer un análisis de interacción suelo-estructura para que aunado con los efectos hidrodinámicos se tengan resultados acordes al lugar de emplazamiento del edificio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Concrete Institute. 2006. Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures (ACI 350.3-06) And Commentary (ACI 350.3R-06). Consultado 10 mar. 2022. Disponible en <https://es.scribd.com/document/351436582/ACI-350-3-06-Seismic-Design-of-Liquid-Containing-Concrete-Structures-and-Commentary>
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2022). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-22). Reston, VA: ASCE.
- American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2021). ASME Boiler and Pressure Vessel Code. Recuperado de <https://www.asme.org/codes-standards>
- ASTM International. (2020). Annual Book of ASTM Standards. Recuperado de <https://www.astm.org/>
- Anconeira Rojas, E. 2017. Importancia de considerar modelos dinámicos de tanques elevados en el análisis sísmico en edificaciones. Tesis de titulación. Arequipa, PE, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 135 p.
- Bazán Guillen, AA. 2016. Análisis y diseño sismorresistente de tanque elevado de almacenamiento de agua para el conjunto habitacional Villa Hermosa. Trabajo de titulación. Guayaquil, EC, Universidad de Guayaquil. 95 p.
- Beer, F. P., & Johnston, E. R. (2023). Mecánica de Materiales (7ma ed.). Nueva York: McGraw-Hill Education.
- Castillo Aedo, J. y Alva Hurtado, J. 1993. Peligro sísmico en el Perú. Estudio científico, CISMID. Lima, PE, Universidad Nacional de Ingeniería. p. 1-19.
- Cevallos Varzallo, CE. 2017. Análisis de la relación de la frecuencia fundamental de una estructura con la deriva inelástica de piso en una estructura irregular de 5 pisos. Trabajo de titulación. Ambato, EC, Universidad Técnica de Ambato. 141 p.
- Coral Carrera, KM. y Fernández Arana, SB. Análisis y diseño estructural de un tanque elevado de concreto armado con capacidad de 2000 m<sup>3</sup>. Tesis de titulación. Lima, PE, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. 131 p.
- Domínguez Caicedo, M. 2014. Periodos de vibración de las edificaciones. Artículo científico. Matanzas, CU, Revista de arquitectura e ingeniería, vol. 8, núm. 2. p. 1-13.

- European Committee for Standardization (CEN). (2023). Eurocode: Basis of structural design (EN 1990:2023). Recuperado de <https://www.cen.eu/>
- Hernández Barrios, H. 2018. Respuesta sísmica de tanques elevados tipo péndulo invertido. Trabajo de investigación. Michoacán, MX, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica A.C. 27 p.
- Housner, GW. 1963. The Dynamic Behavior of Water Tanks. Bulletin of the Seismological Society of America. USA. 387 p.
- Huisa Chura, JC. 2017. Formulación de una guía de diseño para mejorar la respuesta sísmica en reservorios de concreto armado para almacenamiento de agua. Tesis postgrado. Tacna, PE, Universidad Privada de Tacna. 249 p.
- Jaimes Estupiñan, DF. et al. 2020. Importancia del concreto en el campo de la construcción. Trabajo de investigación. Cúcuta, CO, Revista Formación Estratégica, Vol. 01 N 2. p. 1-13.
- Julca Varas, CA. 2017. Comparación del comportamiento dinámico de reservorios elevados con estructura de soporte tipo marco, evaluados con las normas norteamericana y neozelandesa. Tesis de titulación. Cajamarca, PE, Universidad Nacional de Cajamarca. 147 p.
- Leuro Camacho, SE. y Quekano Casallas, RO. 2017. Comportamiento estructural de un edificio en concreto reforzado bajo un sistema estructural dual, con disposición de muros en ejes donde no comprometen la arquitectura. Tesis de grado. Bogotá, CO, Universidad Católica de Colombia. 134 p.
- Llaza Funes, O. 2011. Análisis sísmico de reservorios. Artículo de investigación científica. Lima, PE. p.1-8.
- López, C. y Music, J. 2016. Análisis del periodo y desplazamientos en edificios de hormigón armado considerando distintos grados de rigidez en sus elementos resistentes. Antofagasta, CL, Universidad Católica del Norte. 47 p.
- Lozano Pérez, M. 2017. Verificación estructural y deficiencias del tanque elevado del C.P. Tres Puentes (16m<sup>3</sup>) – Pítipo – Ferreñafe – Lambayeque. Tesis de titulación. Cajamarca, PE, Universidad Nacional de Cajamarca. p. 1-25.
- Martínez Cahui, H. 2019. Evaluación del comportamiento sísmico de un reservorio elevado de concreto armado de cuba de sección circular y rectangular,

- aplicando la normativa norteamericana - Tacna 2019. Tesis de titulación. Tacna, PE, Universidad Privada de Tacna. 137 p.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 2009. Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima. Consultado 15 mar. 2022. Disponible en <http://www.vivienda.gob.pe/RNE.html>
- Niño Lizarazo, JD. 2016. Diseño estructural del pórtico en concreto reforzado para tanque elevado de almacenamiento de agua con capacidad de 300m<sup>3</sup>. Tesis de grado. Bogotá, CO, Universidad Militar Nueva Granada. 89 p.
- Orihuela Canchari, J. y Sánchez Arévalo, NA. 2016. Diseño estructural de tanques rectangulares y sus aplicaciones. Artículo científico. Lima, PE, Revista Ingenium, vol. 1. p. 1-13.
- Rivera Asto, CB. 2018. Influencia del tanque elevado en la respuesta sísmica de edificaciones aporricadas de concreto armado, Pueblo libre, Lima – 2018. Tesis de titulación. Lima, PE, Universidad César Vallejo. 158 p.
- Rumipamba Pullugando, V. 2021. Análisis del efecto hidrodinámico de líquidos en movimiento aplicado a edificios con piscinas en azoteas sometidos a sismos intensos. Tesis titulación. Ambato, EC, Universidad Técnica de Ambato. 187 p.
- Velásquez, CA. 2004. Análisis hidrodinámico de tanques de almacenamiento de líquidos. Tesis de postgrado. Santa Fe de Bogotá, CO, Universidad de los Andes. 76 p.

## ANEXOS

### ANEXO 01

#### Diseño y validación para el prototipo del edificio de 8 pisos, según la norma E.030 – 2018 del RNE

##### Dimensiones y cantidades de elementos estructurales

Luego de realizar los análisis sísmicos, tanto estático como dinámico y haber realizado los controles de acuerdo a la normatividad se tienen los siguientes elementos estructurales:

Elemento estructural	Tipo	Dimensiones	Cantidad por nivel
Columna C1	Excéntrica	40 x 40 cm	11
Columna C2	Céntrica	55 x 55 cm	10
Columna C2	Soporte de piscina	55 x 55 cm	10
Viga 1	Principal	30 x 60 cm	7
Viga 2	Secundaria	30 x 40 cm	5
Viga 3	De borde	25 x 15 cm	6
Losa maciza	En una dirección	15 cm	1
Placas PL1	En esquinas	Esp. = 20 cm	4
Placas M1	En ascensor	Esp. = 20 cm	3

##### Modos y periodos resultantes del análisis

Se consideraron 3 modos por cada piso, en total 24 modos de vibración para todo el edificio, con los cuales fue suficiente para lograr superar el 90% de la masa participativa en ambas direcciones, según requiere la norma E.030.

OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	SumUY
MODAL	Mode	1	0.725887	0.679	0.028
MODAL	Mode	2	0.664624	0.738	0.722
MODAL	Mode	3	0.646648	0.788	0.801
MODAL	Mode	4	0.222667	0.878	0.81
MODAL	Mode	5	0.209777	0.897	0.894
MODAL	Mode	6	0.201185	0.909	0.909
MODAL	Mode	7	0.11928	0.929	0.921
MODAL	Mode	8	0.114286	0.948	0.945
MODAL	Mode	9	0.107671	0.954	0.951

MODAL	Mode	10	0.097935	0.954	0.951
MODAL	Mode	11	0.093313	0.954	0.951
MODAL	Mode	12	0.087319	0.954	0.951
MODAL	Mode	13	0.082493	0.955	0.951
MODAL	Mode	14	0.078384	0.962	0.959
MODAL	Mode	15	0.075296	0.974	0.97
MODAL	Mode	16	0.070452	0.976	0.973
MODAL	Mode	17	0.058237	0.982	0.977
MODAL	Mode	18	0.055524	0.987	0.984
MODAL	Mode	19	0.047389	0.991	0.988
MODAL	Mode	20	0.044286	0.994	0.993
MODAL	Mode	21	0.037421	0.998	0.994
MODAL	Mode	22	0.03607	0.998	0.998
MODAL	Mode	23	0.012844	0.999	0.998
MODAL	Mode	24	0.011095	0.999	0.999

Los porcentajes de participación de masas cumplen a cabalidad, para ambas direcciones de análisis:

OutputCase	Item Type	Item	Static Percent	Dynamic Percent
MODAL	Acceleration	UX	100	99.8976
MODAL	Acceleration	UY	100	99.8832
MODAL	Acceleration	UZ	88.8111	73.93

El periodo fundamental de vibración para cada dirección con el fin de validar el edificio, también cumple con lo requerido por la normatividad, arrojando los siguientes valores:

Dirección	Periodo fundamental de vibración: T (s)
Dirección X	0.725887 s
Dirección Y	0.664624 s

### Fuerza cortante mínima de diseño

La norma peruana sismorresistente E.030 indica que en estructuras irregulares la cortante basal dinámica no puede ser menor que el 90% de la cortante basal estática, mientras que en estructuras regulares este porcentaje no puede ser menor que el 80%.

Item	Vx	Vy
Cortante basal estática	556.95 Tnf	556.95 Tnf
Cortante basal dinámica	418.09 Tnf	441.81 Tnf
80% de la cortante basal estática	445.56 Tnf	445.56 Tnf
Factor a escalar el espectro de diseño	1.0657	1.0085

### Porcentajes de absorción de la fuerza cortante

Con el fin de que se cumpla con lo establecido en la norma y para que el sistema estructural se dual, el porcentaje de absorción de la fuerza cortante por las placas no debe ser menor al 20% ni mayor que el 70% de la cortante total, siendo tomado el porcentaje restante por los pórticos.

	Dirección	
	X	Y
V total	418.09 Tnf	441.81 Tnf
V muros	200.15 Tnf	185.26 Tnf
V pórticos	217.95 Tnf	256.56 Tnf
% V muros	47.87%	41.93%
% V pórticos	52.13%	58.07%

### Control de derivas de entrecaposo

Se realizó el control de derivas inelásticas en cada dirección de análisis en base al límite máximo establecido por la norma E.030, la cual nos indica que para estructuras de concreto armado esta distorsión debe ser menor a 0.007 en todos los niveles. Para hallar las derivas inelásticas deberá multiplicarse por 0.75R a las derivas elásticas en el caso de estructuras regulares y por 0.85R cuando se trate de estructuras irregulares. A continuación se detalla el control de derivas tanto en dirección X como en la dirección Y:

Control de derivas en la dirección X:

Nivel	Desplazam. Ux (m)	Desplazam. relativo (m)	Altura entrep. h (m)	Drel/h	(Drel/h)x0.75R	Norma $\leq 0.007$
Nivel 8	0.020413	0.001479	3	0.000493	0.002588	Cumple
Nivel 7	0.018934	0.002002	3	0.000667	0.003504	Cumple
Nivel 6	0.016932	0.002490	3	0.000830	0.004358	Cumple
Nivel 5	0.014442	0.002910	3	0.000970	0.005093	Cumple
Nivel 4	0.011532	0.003196	3	0.001065	0.005593	Cumple
Nivel 3	0.008336	0.003281	3	0.001094	0.005742	Cumple
Nivel 2	0.005055	0.003057	3	0.001019	0.005350	Cumple
Nivel 1	0.001998	0.001998	3	0.000666	0.003497	Cumple

Control de derivas en la dirección Y:

Nivel	Desplazam. Uy (m)	Desplazam. relativo (m)	Altura entrep. h (m)	Drel/h	(Drel/h)x0.75R	Norma $\leq 0.007$
Nivel 8	0.021097	0.001328	3	0.000443	0.002324	Cumple
Nivel 7	0.019769	0.001872	3	0.000624	0.003276	Cumple
Nivel 6	0.017897	0.002452	3	0.000817	0.004291	Cumple
Nivel 5	0.015445	0.002973	3	0.000991	0.005203	Cumple
Nivel 4	0.012472	0.003366	3	0.001122	0.005891	Cumple
Nivel 3	0.009106	0.003545	3	0.001182	0.006204	Cumple
Nivel 2	0.005561	0.003356	3	0.001119	0.005873	Cumple
Nivel 1	0.002205	0.002205	3	0.000735	0.003859	Cumple

## ANEXO 02

### Proceso del modelamiento y análisis sísmico.

El modelamiento y análisis se realizó mediante el software SAP2000 v22, empezando por definir el Grid, en planta respecto al plano XY, en altura Z se definió la altura típica, así como los centros de gravedad de cada componente del agua en la piscina. También se realizó la discretización de los elementos del edificio y la piscina:

Divide Options

- Divide Area into This Number of Objects (Quads and Triangles Only)
  - Along Edge from Point 1 to 2
  - Along Edge from Point 1 to 3
- Divide Area Into Objects of This Maximum Size (Quads and Triangles Only)
  - Along Edge from Point 1 to 2: 0.3 m
  - Along Edge from Point 1 to 3: 0.3 m
- Divide Area Based on Points on Area Edges (Quads and Triangles Only)

Points Determined From:

  - Intersections of Visible Straight Grid Lines with Area Edges
  - Intersections of Selected Straight Frame Objects with Area Edges
  - Selected Point Objects on Area Edges

Posteriormente se definieron los materiales:

General Data

Material Name and Display Color: CONCRETO 280 kg/cm2

Material Type: Concrete

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 2.400E-03

Mass per Unit Volume: 2.447E-06

Units: Kgf, cm, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 252671.33

Poisson, U: 0.2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 9.900E-06

Shear Modulus, G: 105279.72

Other Properties For Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f<sub>c</sub>: 280.

**General Data**

Material Name and Display Color: ACERO 4200 kg/cm<sup>2</sup> ■

Material Type: Rebar

Material Grade:

Material Notes:

---

**Weight and Mass**

Weight per Unit Volume:

Mass per Unit Volume:

**Units**

---

**Uniaxial Property Data**

Modulus Of Elasticity, E:

Poisson, U:

Coefficient Of Thermal Expansion, A:

Shear Modulus, G:

---

**Other Properties For Rebar Materials**

Minimum Yield Stress, Fy:

Luego se modelaron las secciones de cada elemento del edificio:

**Section Name**: COLUMNA 55 x 55 Display Color: ■

Section Notes:

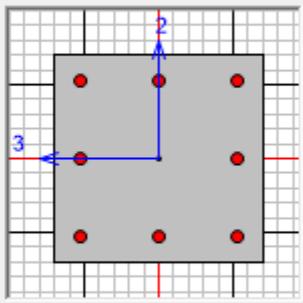
---

**Dimensions**

Depth (t3):

Width (t2):

**Section**



**Material**:  CONCRETO 280 kg/cm<sup>2</sup>

**Property Modifiers**:

**Properties**

**Section Name** VIGA 30 x 60 **Display Color** 

**Section Notes** Modify/Show Notes...

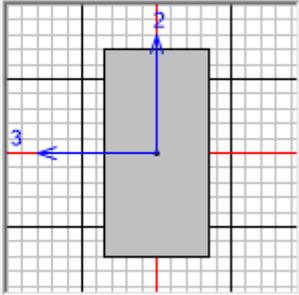
---

**Dimensions**

Depth ( t3 )

Width ( t2 )

**Section**



---

**Material** **Property Modifiers**

CONCRETO 280 kg/cm2

**Properties**

**Section Name** PLACA 20 cm **Display Color** 

**Section Notes** Modify/Show...

---

**Type**

Shell - Thin

Shell - Thick

Plate - Thin

Plate Thick

Membrane

Shell - Layered/Nonlinear

**Thickness**

Membrane

Bending

---

**Material**

Material Name  CONCRETO 280 kg/cm2

Material Angle

Time Dependent Properties

**Section Name** LOSA MACIZA 15 cm **Display Color** 

**Section Notes** Modify/Show...

---

**Type**

Shell - Thin

Shell - Thick

Plate - Thin

Plate Thick

Membrane

**Thickness**

Membrane

Bending

---

**Material**

Material Name  CONCRETO 280 kg/cm2

Material Angle

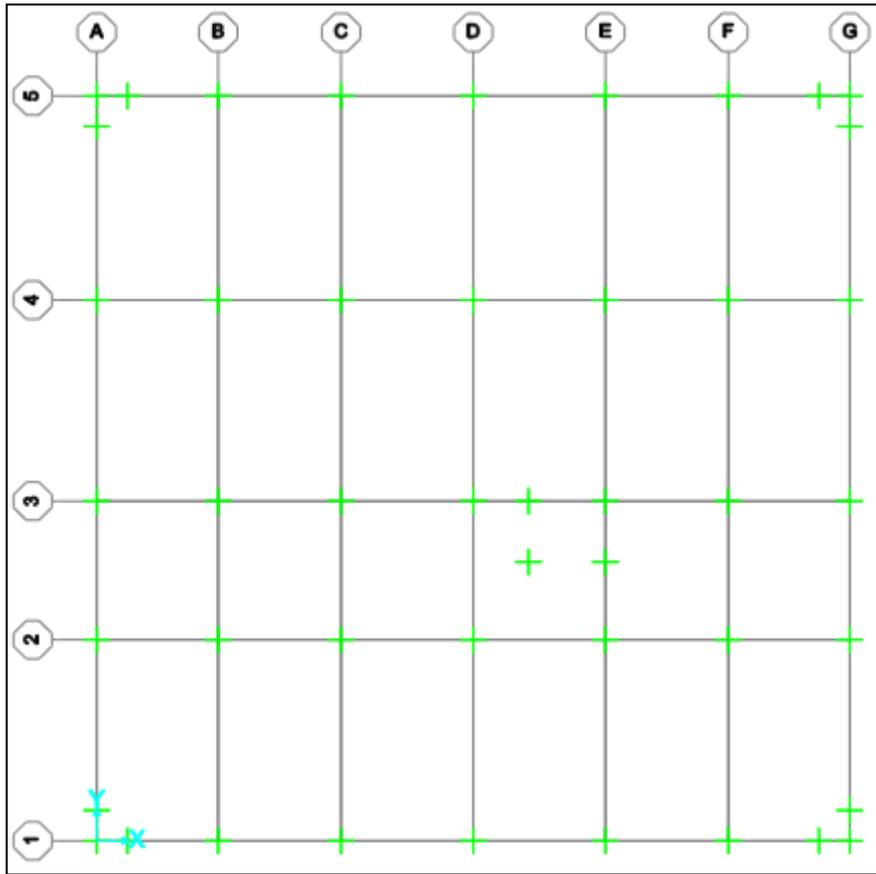
De igual forma los elementos de área, componentes de la piscina:

<b>Section Name</b>	MURO PISCINA 20 cm	<b>Display Color</b>	
<b>Section Notes</b>	Modify/Show...		
<b>Type</b>		<b>Thickness</b>	
<input type="radio"/> Shell - Thin		Membrane	20.
<input checked="" type="radio"/> Shell - Thick		Bending	20.
<input type="radio"/> Plate - Thin		<b>Material</b>	
<input type="radio"/> Plate Thick		Material Name	+ CONCRETO 280 kg/cm2
<input type="radio"/> Membrane		Material Angle	0.

<b>Section Name</b>	LOSA FONDO PISCINA 20 cm	<b>Display Color</b>	
<b>Section Notes</b>	Modify/Show...		
<b>Type</b>		<b>Thickness</b>	
<input type="radio"/> Shell - Thin		Membrane	20.
<input checked="" type="radio"/> Shell - Thick		Bending	20.
<input type="radio"/> Plate - Thin		<b>Material</b>	
<input type="radio"/> Plate Thick		Material Name	+ CONCRETO 280 kg/cm2
<input type="radio"/> Membrane		Material Angle	0.

Se le asignó el empotramiento en la base del edificio, restringiendo todo desplazamiento:

<b>S Assign Joint Restraints</b> <span style="float: right;">×</span>			
<b>Restraints in Joint Local Directions</b>			
<input checked="" type="checkbox"/> Translation 1	<input checked="" type="checkbox"/> Rotation about 1		
<input checked="" type="checkbox"/> Translation 2	<input checked="" type="checkbox"/> Rotation about 2		
<input checked="" type="checkbox"/> Translation 3	<input checked="" type="checkbox"/> Rotation about 3		
<b>Fast Restraints</b>			
			



Posteriormente corresponde definir todos los patrones de carga que actúan en las estructuras:

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
Peso propio	Dead	1	
Peso propio	Dead	1	
Acabados	Super Dead	0	
Live	Reducible Live	0	
Live UP	Roof Live	0	
Sismo Est. X	Quake	0	User Coefficient
Sismo Est. Y	Quake	0	User Coefficient
Water PR	Other	0	
Peso agua	Dead	0	

Como siguiente paso, se realizó la asignación de cargas vivas y muertas, donde corresponde:

General	
Load Pattern	Live
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Load Distribution	One Way
Uniform Load	
Load	200 kgf/m <sup>2</sup>

Por otro lado, en la piscina se asignó la presión hidrostática en el muro:

Patterns	Click to:
PH	Add New Pattern Name
PH	Change Pattern Name
	Delete Pattern

General	
Joint Pattern Name	PH
Pattern Assignment Type	
<input checked="" type="radio"/> X, Y, Z Multipliers (Pattern Value = Ax + By + Cz + D)	
<input type="radio"/> Z Coordinate at Zero Pressure and Weight per Unit Volume	
Pattern Value = Ax + By + Cz + D	
Constant A	0 1/m
Constant B	0 1/m
Constant C	-1 1/m
Constant D	2.5
Restrictions	
<input type="radio"/> Use All Values	
<input checked="" type="radio"/> Zero Negative Values	
<input type="radio"/> Zero Positive Values	
Options	
<input type="radio"/> Add to Existing Values	
<input checked="" type="radio"/> Replace Existing Values	
<input type="radio"/> Delete Existing Values	

Load Pattern

Load Pattern

---

Loaded Face

Top

Bottom

Edge

Edge Face Number

---

Pressure

By Element

Pressure

By Joint Pattern

Joint Pattern

Multiplier  kgf/m<sup>2</sup>

En lo referente a las cargas provenientes de las componentes del agua en la piscina, primero se le define el resorte equivalente de la componente convectiva:

Link/Support Name

---

Directional Control

Direction	Fixed
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>

---

Stiffness Values Used For All Load Cases

Stiffness Is Uncoupled  Stiffness

U1	U2	U3	R1
<input type="text" value="0.656*2"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

---

Damping Values Used For All Load Cases

Damping Is Uncoupled  Damping

U1	U2	U3	R1
<input type="text" value="0."/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Posteriormente se le asignó la masa convectiva:

Specify Joint Mass

As Mass  
 As Weight  
 As Volume and Material Property

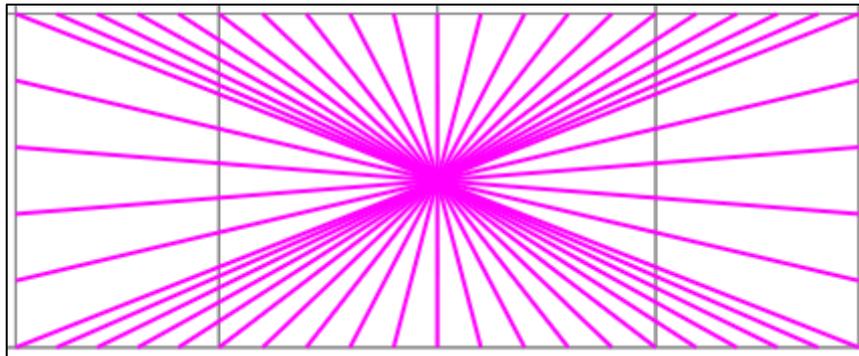
Material

Mass Coordinate System

Direction

Mass

Translation Global X  tonf-s<sup>2</sup>/m  
Translation Global Y  tonf-s<sup>2</sup>/m  
Translation Global Z  tonf-s<sup>2</sup>/m



De igual forma se realizó la asignación de la masa impulsiva:

Specify Joint Mass

As Mass  
 As Weight  
 As Volume and Material Property

Material

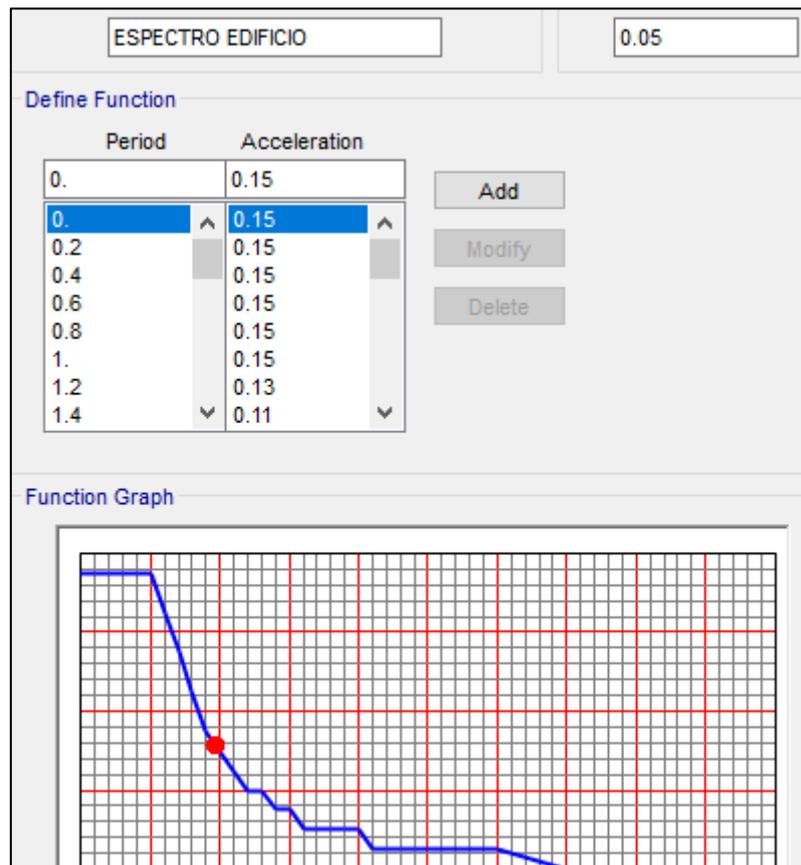
Mass Coordinate System

Direction

Mass

Translation Global X  tonf-s<sup>2</sup>/m  
Translation Global Y  tonf-s<sup>2</sup>/m  
Translation Global Z  tonf-s<sup>2</sup>/m

Fue asignado también el espectro de pseudoaceleraciones:



Casos de carga para el análisis de las estructuras:

The screenshot shows the 'Load Cases' dialog box. It contains a table with two columns: 'Load Case Name' and 'Load Case Type'. The table lists the following load cases and their types:

Load Case Name	Load Case Type
MODAL	Modal
Peso propio	Linear Static
Acabados	Linear Static
Live	Linear Static
Live UP	Linear Static
Sismo Est. X	Linear Static
Sismo Est. Y	Linear Static
SISMO DIN. X	Response Spectrum
SISMO DIN. Y	Response Spectrum
Water PR	Linear Static
Peso agua	Linear Static

On the right side of the table, there are two arrow buttons: an upward-pointing arrow and a downward-pointing arrow.

Definición del número de modos de vibración, fueron definidos tres por cada nivel, en total 24 modos de vibración:

**Load Case Name** **Notes**

MODAL Set Def Name Modify/Show...

---

**Stiffness to Use**

Zero Initial Conditions - Unstressed State

Stiffness at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

---

**Number of Modes**

Maximum Number of Modes 24

Minimum Number of Modes 1

---

**Loads Applied**

Show Advanced Load Parameters

---

**Other Parameters**

Frequency Shift (Center) 0.

Cutoff Frequency (Radius) 0.

Convergence Tolerance 1.000E-09

Allow Automatic Frequency Shifting

Se realizaron las respectivas combinaciones de carga, según la normatividad:

**Load Combinations** **Click to:**

U1=1.4CM+1.7CV

U2=1.25(CM+CV)+CS

U3=0.9CM+CS

SERVICIO

ENVOLVENTE

Add New Combo...

Add Copy of Combo...

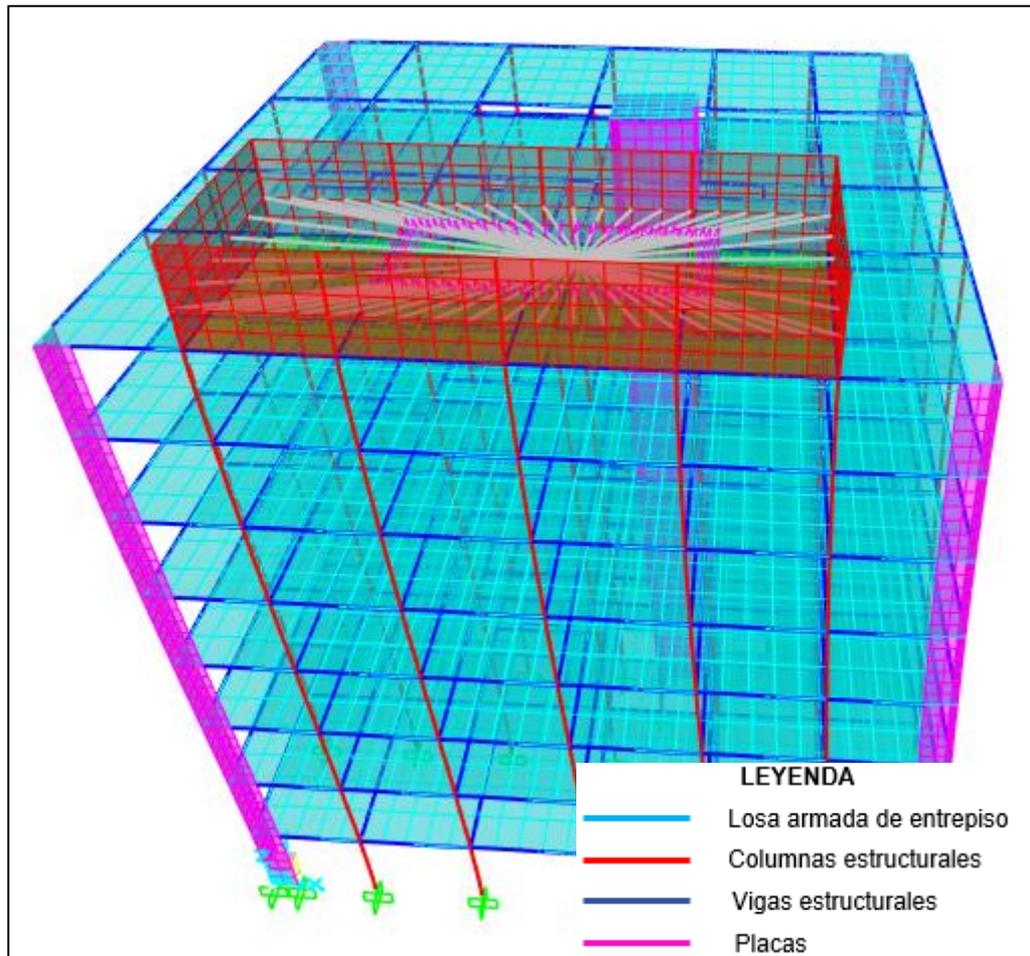
Modify/Show Combo...

Delete Combo

Finalmente se procedió a correr el modelo, según todos los casos de carga asignados:

Case Name	Type	Status	Action
MODAL	Modal	Not Run	Run
Peso propio	Linear Static	Not Run	Run
Acabados	Linear Static	Not Run	Run
Live	Linear Static	Not Run	Run
Live UP	Linear Static	Not Run	Run
Sismo Est. X	Linear Static	Not Run	Run
Sismo Est. Y	Linear Static	Not Run	Run
SISMO DIN. X	Response Spectrum	Not Run	Run
SISMO DIN. Y	Response Spectrum	Not Run	Run
Water PR	Linear Static	Not Run	Run
Peso agua	Linear Static	Not Run	Run

Se muestra la forma distorsionada del edificio en el modo de vibración donde se tiene el mayor periodo fundamental de vibración y en el que se encuentra el mayor porcentaje de masa participativa, para todo el edificio en general:



Fuente: Elaboración propia.

## **ANEXO 03**

### **Planos del edificio con piscina**

A continuación, se muestra los planos de planta típica estructural del edificio y la planta de la azotea donde se encuentra la piscina anclada al sistema estructural, asimismo se presentan los planos de los edificios de 5, 6, 7 y 8 en elevación y modelamientos en 3D.