

# Time-History Analysis considering Soil-Structure Interaction of a 10-story building with 3 basements with a 50m cliff

## Analisis Tiempo-Historia considerando Interaccion Suelo-Estructura de una Edificacion de 10niveles y 3 sotanos con un acantilado de 50m

<sup>1</sup>Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, u201522882@upc.edu.pe, u201014767@upc.edu.pe, pccighua@upc.edu.pe

Diego Hoyos Quiroz, Bachiller<sup>1</sup>, Yoan Zamudio Quiroz, Bachiller<sup>1</sup>, Guillermo Huaco Cárdenas PhD PE, Profesor<sup>1</sup>

**Resumen**—La información del comportamiento de edificios de mediana altura situados en la parte superior de los acantilados no es extensa. A veces se realiza una práctica no correcta de diseño estructural de estos edificios considerando que dichas estructuras estuvieran cimentadas en una superficie plana, mas no considerando su cercanía al borde del acantilado en si y tampoco la interacción entre los estratos de suelo del acantilado y la estructura del edificio. Las causas involucradas en el problema parten de la naturaleza del edificio, el empuje pasivo producido por el peso del edificio que se amplifica en un sismo y las vibraciones producidas por el flujo vehicular cercano a la zona; por otro lado, la vulnerabilidad sísmica traducida en el tipo de suelo en el borde de acantilados y su localización de acuerdo con la zonificación sísmica. En esta investigación se presenta una metodología de análisis para edificaciones encima de acantilados, incluyendo análisis tiempo historia de un edificio de diez niveles ubicado cerca de un acantilado con registros escalados cercanos al edificio considerando los estratos del acantilado para conocer el comportamiento de la estructura. Como resultados existen amplificaciones de fuerzas internas en los elementos estructurales obtenidos debido a la interacción suelo estructura del acantilado y el edificio. La investigación demuestra que el efecto que ocurre en elementos estructurales del edificio de diez niveles como placas y columnas sobrepasan los límites establecidos por la norma que se rige en el lugar, lo que puede generar fallas estructurales en la edificación.

**Palabras claves**— *Análisis tiempo-historia; interacción suelo-estructura; registros sísmicos, acantilado, estado plano de deformaciones*

**Abstract**— *Information on the behavior of medium-rise buildings located on top of cliffs is not extensive. Sometimes an incorrect practice of structural design of these buildings is carried out considering that said structures were founded on a flat surface, but not considering their proximity to the edge of the cliff itself and neither the interaction between the soil strata of the cliff and the structure. of the building. The causes involved in the problem stem from the nature of the building, the passive thrust produced by the weight of the building that is amplified in an earthquake, and the vibrations produced by the vehicular flow near the area; on the other hand, the seismic vulnerability translated into the type of soil on the edge of the cliffs and their*

*location according to the seismic zoning. In this research, an analysis methodology for buildings on top of cliffs is presented, including time history analysis of a ten-story building located near a cliff with scaled records close to the building considering the strata of the cliff to know the behavior of the structure. As a result, there are amplifications of internal forces in the structural elements obtained due to the interaction between the soil structure of the cliff and the building. The investigation shows that the effect that occurs in structural elements of the ten-story building such as plates and columns exceed the limits established by the regulations that govern the place, which can generate structural failures in the building.*

**Keywords**— *Time-History Analysis; soil-structure interaction; ground motion records, cliff, plane stress deformation analysis*

### I. INTRODUCCIÓN

Existe a lo largo de la costa del pacifico edificaciones encima de acantilados, estos algunas veces de igual o mayor altura del mismo acantilado. Por ejemplo el litoral de la ciudad de Lima Perú tiene este tipo de borde costero, donde la estratigrafía de estos acantilados o barrancos tiene suelos arcillosos y arenosos como también canto rodado o gravas; como consecuencia, zonas en Lima como los acantilados son vulnerables ante un posible terremoto. Es por eso que la información del comportamiento de edificios altos situados en los acantilados es de vital importancia; sin embargo, no se tiene mayor conocimiento de registros sísmicos de edificaciones altas ubicados cerca al acantilado. Las causas involucradas en el problema parten de la naturaleza del edificio, el empuje pasivo producido por el peso del edificio que se amplifica en un sismo y las vibraciones producidas por el flujo vehicular cercano a la zona; por otro lado, la vulnerabilidad sísmica traducida en el tipo de suelo en el borde de acantilados y su localización de acuerdo a las zonificación sísmica. Además no se tiene una metodología confiable para controlar el posible volteo del material del acantilado como las amplificaciones de respuestas estructurales en los edificios debido a su ubicación precisamente encima del acantilado.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.795>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390



Fig. 1. Acantilado de 50mts promedio de altura y edificios de mediana altura encima.

Diversos estudios se centran en el problema que generan las grandes pendientes, la amenaza de fallas que puede ocasionar debido al peso de la estructura o de los movimientos sísmicos y examina la relación entre vulnerabilidad y adaptación de la sociedad para enfrentar estas amenazas [1]. Encontramos también que diversos autores se inclinan por la utilización de softwares para realizar distintos análisis dinámicos en edificaciones como es el caso de los autores Acharyya y Dey [2].

El uso de registros sísmicos en el diseño de estructuras pesadas ha ayudado a realizar predicciones en el posible comportamiento de la estructura en un eventual sismo, el uso de los acelerógrafos permite realizar posteriormente análisis dinámicos con detalle dentro de un modelo de elementos finitos, todo esto con la ayuda de ecuaciones que son simplificadas y modificadas de acuerdo a la norma estructural vigente del lugar donde se realizará la obra de ingeniería civil [3].

Cuando se diseñan estructuras altas, siempre se tiene que tomar en cuenta el efecto que realizan los terremotos sobre ellas, considerando puntos como el límite de deformaciones de todos los niveles de la estructura según la norma que se rige en el lugar donde se encuentra la edificación, es por eso que se optan por diseñar elementos estructurales compuestos donde sus componentes son placas y columnas de concreto armado; con ello, se realiza un estudio numérico del comportamiento de las estructuras adoptando modelos de cada elemento con elementos finitos tal y como lo describen los autores Ren, Bai, Yang y Li 2018 [4]. Edificios altos que se encuentran cerca de las laderas muestran diferentes comportamientos en la respuesta sísmica estructura, una pendiente pronunciada es una de las principales causas de dicha variación en la respuesta sísmica [5]. Por último, el uso de sistemas amortiguados en una estructura pesada ayuda a soportar las cargas que son estáticas del edificio en movimiento, para que esto resulte, los amortiguadores mueven una significativa cantidad de masa con el objetivo de controlar aceleraciones producidas en edificios cercanos a un acantilado [6].

Por ello se realizaron diversos tipos de análisis estructural lineal elástico de un edificio de diez pisos con características similares a los edificios existentes en la zona del acantilado de la Costa Verde en la ciudad de Lima. Para considerar el

efecto del acantilado, se usó la teoría del estado plano de deformaciones, es decir, modelos computacionales en 2D mediante el software SAP2000 v.20. En estudio se realizará el análisis lineal tiempo historia con diversos sismos registrados de estaciones acelerográficas cercanas a la zona en cuestión.

En este artículo se presenta una propuesta de modelamiento computacional para este tipo de casos descritos, edificaciones cerca del borde superior del acantilado, donde se mostrara el comportamiento estructural de un edificio de diez pisos sometido a diversos registros sísmicos mediante el análisis lineal tiempo-historia.

## II. METODOLOGIA

### A. Modelamiento del edificio

Existen diversos edificios construidos encima y a pocos metros del borde del acantilado de Lima en la actualidad, estos edificios se encuentran a lo largo del perímetro en diferentes distritos de la ciudad y poseen diversas características. A continuación, se presenta Tabla 1 con la descripción de algunos edificios existentes obtenidos mediante visitas a la zona de estudio:

TABLA 1. EDIFICIOS EN LA COSTA VERDE

N°	Características de los edificios			
	Dirección	Distrito	N° Pisos	Dimensión
1	Av. Costanera 1220	San Miguel	14	30m x 15m
2	Av. Bertolloto 620	San Miguel	14	35m x 17m
3	Av. Bertolloto 280	San Miguel	15	30m x 40m
4	Av. Bertolloto 180	San Miguel	14	28m x 14m
5	Av. Bertolloto 110	San Miguel	12	70m x 35m
6	Jr. Diego Ferre 130	Magdalena	13	16m x 27m
7	Malecón Grau 280	Magdalena	14	60m x 20m
8	Malecón Grau 330	Magdalena	14	16m x 17m

Desde que no se tiene acceso a los planos estructurales de algún edificio, se optó por proponer uno de concreto armado conformado de placas y pórticos de concreto armado. Las principales características del edificio son el número de pisos que son 10 con altura de entrepiso 3m, con 3 sótanos también de 3m altura, y área de 30m x 20m. cuyo uso es de apartamentos. El modelo computacional se realizó con el software SAP2000. Concreto con  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> y acero Gr.60 fueron materiales usados. Placas de 20cm de espesor y 6m de largo, columnas de 50x50 y vigas de 30x60 fueron diseñadas siguiendo los códigos de diseño peruanos E030 sísmico y E060 concreto armado.

Los datos obtenidos son una muestra de los diferentes comportamientos existentes en una misma edificación, lo que permite obtener conclusiones sobre los eventos que pueden ocurrir en edificios construidos al borde del acantilado de la

### B. Parametros de Diseño Sísmico de la Edificación

El acantilado de la Costa Verde en el distrito de Magdalena es la zona de estudio en la que se encuentra el caso de estudio. En el terreno hay la existencia de suelos arcillosos cohesivos en la parte superficial del acantilado, en la parte más profunda existe suelo gravoso y arcilloso. Los taludes de la Costa Verde en la zona del distrito de Magdalena están constituidos en su mayoría por una grava

mal gradada (o graduada) con matriz areno arcillosa, que comúnmente se identifica como el “conglomerado” de Lima. Las gravas que lo conforman son redondeadas a sub redondeadas, cantos rodados, tienen un tamaño máximo de 25 cm, un tamaño medio menor de 10 cm y es susceptible al intemperismo.

Se estableció los parámetros sísmicos según la Norma Técnica E.030. Parámetro de zonificación sísmica, el edificio se encuentra situado en la ciudad de Lima; por eso, la clasificación es de la zona cuatro (Z4), lo que le corresponde un coeficiente de 0.45. Parámetro del perfil del suelo, la zona de estudio en el que se encuentra el edificio en estudio presenta suelo con una propagación de onda de corte entre 180 m/s y 500 m/s; es por ello por lo que su clasificación es S2 correspondiente a suelos intermedios. Parámetro del perfil del sitio, ya con los dos parámetros obtenidos con anterioridad (Z4 y S2), se establece un coeficiente de 1.05; además se obtiene los periodos TP y TL los cuales son 0.60 y 2.00 respectivamente. Factor de amplificación sísmica: El periodo natural se obtuvo gracias al software SAP2000, el valor es de 0.91; con ello se establece que  $TP < T < TL$ ; por lo cual, el valor del coeficiente de este parámetro es 1.65. Factor de uso: Es una edificación común (Vivienda), es por ello por lo que el coeficiente es 1.00. Coeficiente básico de reducción: Es un sistema estructural de concreto armado dual (pórticos y placas), es por eso por lo que el coeficiente en este caso es 7. A continuación, se presenta un cuadro resumiendo los parámetros sísmicos.

### C. Estaciones y registros sísmicos

En la selección de registros se tomó en cuenta tres criterios de selección. El primer criterio de selección es la cercanía de las estaciones al lugar de estudio, El segundo criterio es el tipo de suelo en el cual se encuentra la estación. Y el tercer criterio es la localización y fecha de los registros ya antes seleccionados.

En el primer criterio, la selección de estaciones se tomó en cuenta la cercanía a la zona de estudio (Acantilado del distrito de Magdalena del Mar); en ese sentido, se encontraron 7 estaciones que cumplen que este primer criterio con los nombres CAL001, LIM027, CAL002, LIM036, LIM012, LIM025 y LIM011 según la red acelerográfica del CISMID; estos fueron son los escogidos de acuerdo con el primer criterio de selección. El segundo criterio, la selección fue realizada por el tipo de suelo en el cual está presente la estación acelerográfico. El tercer y último criterio consta en verificar los registros realizados por cada estación preseleccionada según el primer criterio; en ese sentido, la selección de las estaciones de acuerdo con el segundo y tercer criterio serán las estaciones número cuatro y número cinco (LIM036 y LIM012). En la Tabla 2 se muestran las estaciones involucradas en la selección.

TABLA 2. UBICACIÓN DE ESTACIONES

Código	Estaciones	
	Institución o lugar	Suelo
CAL001	Dirección de Hidrografía y Navegación, La Punta, Callao	Blando
LIM027	Dirección de Dirección de Sanidad Marina Internacional	Blando
CAL002	Colegio San Antonio Marianistas, Bellavista, Callao	Intermedio
LIM036	Colegio Militar Leoncio Prado	Intermedio
LIM012	Facultad de Ingeniería Civil - UNFV, San Miguel, Lima	Intermedio
LIM025	Centro Pre-Universitario de la UNI	Rígido
LIM011	Consejo Nacional, CIP, San Isidro, Lima	Rígido

Ya realizado la selección de las estaciones, el siguiente paso es realizar la selección de los registros a tomar en cuenta para realizar el análisis lineal dinámico tiempo-historia en los tres edificios en estudio. La selección de los registros sísmicos se tomó en cuenta la fecha y hora del registro de los sismos dando como prioridad a los sismos actuales, es por ello por lo que en Tabla 3 se muestran los registros seleccionados en las dos estaciones acelerográficas, la fecha y hora de los eventos sísmicos, el lugar del sismo y la magnitud de estos.

TABLA 3. EVENTOS SÍSMICOS

Estación	Eventos Sísmicos		
	Magnitud	Fecha	Hora
LIM036	4.8 ML	27/05/2019	22:14:36
LIM036	5.3 ML	11/04/2019	10:50:31
LIM036	4.9 ML	22/03/2019	07:50:00
LIM012	5.7 ML	20/11/2018	01:38:03
LIM012	4.9 ML	22/05/2018	13:08:34
LIM012	5.5 ML	17/05/2018	06:07:13

Al realizar la selección de las estaciones y los registros sísmicos, es necesario hacer un tratamiento de estos, que garantice un análisis lineal dinámico tiempo-historia correcto; para ello, es necesario el uso del software SeismoSignal, este software permite realizar el tratamiento de los registros aplicando la corrección de la lineal base, aplicando un filtrado e incluso mostrando los resultados sin corregir para realizar un comparativo entre registros corregidos y sin corregir.

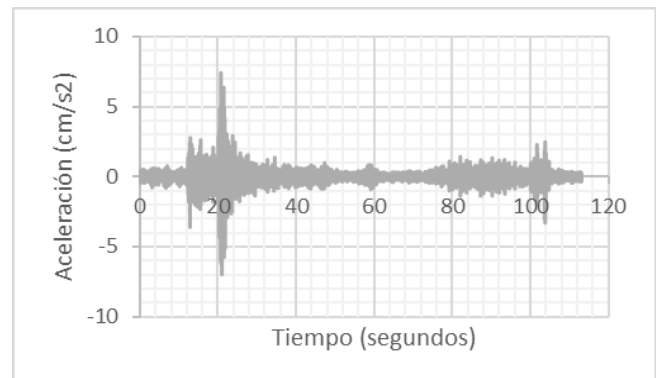
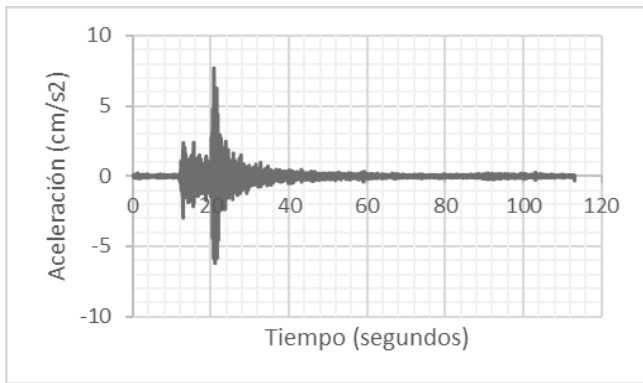


Fig. 2. Registro sísmico sin corregir. (Fuente propia)

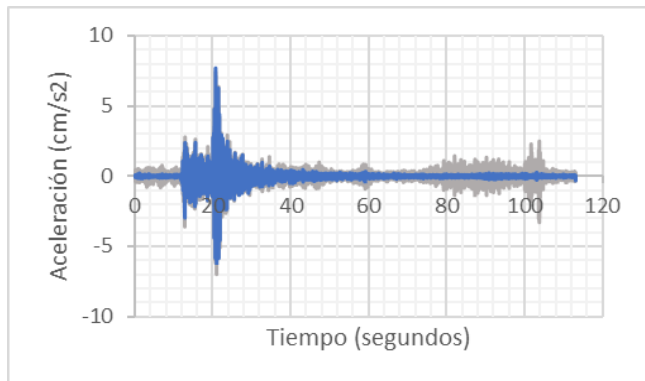
La figura 2 muestra el registro sísmico del evento sísmico ocurrido el día 27/05/19 donde se muestra las aceleraciones versus el tiempo.

A ese registro se corrige por línea base lo cual modifica los valores iniciales y este registro es el que se utiliza para el análisis tiempo-historia. En la siguiente imagen se visualiza el gráfico corregido.



La Figura 3 muestra el registro sísmico del evento sísmico ocurrido el día 27/05/19 donde se muestra las aceleraciones versus el tiempo.

En la Figura 4 se observa visualmente la diferencia que existe en un registro corregido y no corregido. En la figura, la gráfica de color gris es el registro sin corregir y la gráfica de color azul es el registro corregido, en ambos casos son del registro del día 27/05/19.



Posteriormente, para el uso de los registros corregidos en el software SAP2000 es necesario reducir el rango del tiempo del registro acelerográfico considerando un rango de intensidad de áreas entre 5% y 95% según el tiempo transcurrido. En el caso del registro sísmico corregido del día 27/05/19, el tiempo en el que ocurre un rango de intensidad entre el 5% y 95% es del segundo 10 hasta el segundo 35, este rango permite simplificar el número de pasos en cada registro sin afectar los valores reales del registro.

#### D. Modelo de los perfiles

Se realiza el estudio de los edificios implicados considerando en el comportamiento de los suelos del acantilado; para ello, se realiza una interacción suelo-estructura. Dicha interacción suelo-estructura en los edificios se observa la respuesta de una estructura expuesta a un terremoto se ve afectada por las interacciones entre tres elementos vinculados: la estructura, los cimientos y el suelo que rodea los cimientos. El análisis de la interacción suelo-estructura evalúa la respuesta colectiva de estos sistemas a un movimiento específico del suelo. Se describen técnicas específicas que permiten simular los fenómenos de Interacción Suelo-Estructura (SSI siglas en inglés) en la práctica de la ingeniería. A su vez, se presentan

recomendaciones para modelar los efectos de la interacción sísmica entre suelo y estructura de los edificios. Teniendo en cuenta estos procesos, se llevó a cabo el modelamiento 2D de los edificios y el perfil del acantilado.

El estrato es modelado de acuerdo con los estudios del acantilado realizados previamente. Las características físicas del suelo fueron extraídas de la investigación realizada por el autor Javier Diaz [7], el cual realiza un análisis de los estudios previos en la zona y selecciona los valores que hacían más críticos al terreno. Posteriormente, esos datos se asignan en el modelo.

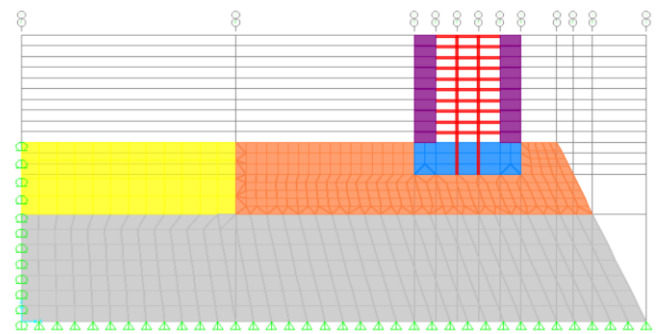
TABLA 4. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

	Grava (arenosa mal graduada)	Arcilla (limosa)	Arena
Cohesión	0.8	0.84	0.84
Ángulo de fricción	47.5	22	25
Peso específico	2.3	1.53	1.83

En la Tabla 4 se muestran los factores de cohesión, ángulos de fricción y peso específico de los suelos estudiados en el acantilado.

El espesor del estrato es de la misma longitud correspondiente al ancho tributario del pórtico en estudio, en este caso, el ancho tributario es de cuatro metros.

El modelo 2D del edificio se realiza mediante un pórtico representativo de los mismos. Se conservan las dimensiones de los elementos estructurales del edificio y, como se especificó anteriormente, existe correspondencia entre el ancho tributario del pórtico con el espesor del estrato.



En Figura 5 se muestra el modelo del perfil del edificio y el acantilado realizado en el software SAP2000.

#### E. Análisis tiempo-historia

Para realizar este análisis se tomaron los datos de los seis registros vistos en el anteriormente. En cada registro se identificó el PGA máximo de cada registro sísmico en ambos ejes; además, se identifica el instante en donde se encuentra la aceleración máxima de los eventos sísmicos.

TABLA 5. REGISTROS SÍSMICOS

Estación	Registros Sísmicos		
	Fecha	Tiempo PGA (s)	PGA (gals)
LIM036	27/05/2019	10.760	7.701
LIM036	11/04/2019	16.395	2.938
LIM036	22/03/2019	11.155	4.970
LIM012	20/11/2018	30.985	0.915
LIM012	22/05/2018	13.600	1.866
LIM012	17/05/2018	2.850	10.550

En la Tabla 5 se muestran el momento en el que ocurren las aceleraciones máximas en cada registro estudiado.

Luego se identifica el instante en donde se encuentra la aceleración máxima de los registros sísmicos, para ello es necesario el uso del software Excel para encontrar los valores de aceleración máxima.

Por último, se escalan los registros sísmicos de cada evento sísmico a un PGA de 0.45 g, esto se realiza debido a que la estructura se encuentra en la costa.

TABLA 6 REGISTROS ESCALADOS

Fecha	Factor de Escala para PGA 0.45g (x100)
27/05/2019	0.5732
11/04/2019	1.5025
22/03/2019	0.8883
20/11/2018	4.8237
22/05/2018	2.3659
17/05/2018	0.4184

El análisis tiempo-historia se realiza en el tiempo donde ocurre la aceleración máxima del sismo. El modelo permite conocer el comportamiento de la estructura de acuerdo con los seis registros asignados en el modelo. En estos cálculos se tomaron en cuenta las envolventes de la fuerza axial de los seis registros, con ello se obtienen resultados máximos que soportan las placas. También, en este análisis se tiene en cuenta la fuerza cortante que actúa las placas del primer nivel con respecto en el tiempo en los tres casos de estudio. Y en el caso del momento flector, se escogieron columnas del primer nivel en todos los edificios ya que se identificó que son los que tienen valores más altos.

### III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El presente trabajo se centra en el análisis lineal tiempo-historia de un edificio situado cerca del acantilado; es por ello por lo que los principales resultados parten del comportamiento del edificio ante eventos sísmicos de los registros de aceleraciones colectados en estaciones cercanas al lugar. Los datos mostrados son de aquellos registros que al analizarlos se obtienen resultados concluyentes.

#### A. Fuerza cortante por registros con respecto al tiempo

En este análisis, se tiene en cuenta la fuerza cortante que actúa las placas del primer nivel con respecto en el tiempo en el caso de estudio. A continuación, se presenta la variación en el tiempo de la fuerza cortante en el edificio.

Variación de la fuerza cortante en toneladas del sismo del 20/11/18 con respecto al tiempo.



Fig. 6. Fuerza cortante del sismo del 20/11/18. (Fuente propia)

En Figura 6 se evidencia la variación de la fuerza cortante con respecto al tiempo de la placa del primer nivel que se encuentra más alejada del acantilado. En este sismo se observa que la fuerza cortante sobrepasa la capacidad del concreto sin refuerzo a corte que numéricamente es 73.7 toneladas, el momento en el que ocurre esto es entre el segundo 25 y el segundo 50 de este sismo y, además, el valor máximo de la fuerza cortante en este sismo sobrepasa las 130 toneladas.

Variación de la fuerza cortante en toneladas del sismo del 20/11/18 con respecto al tiempo.

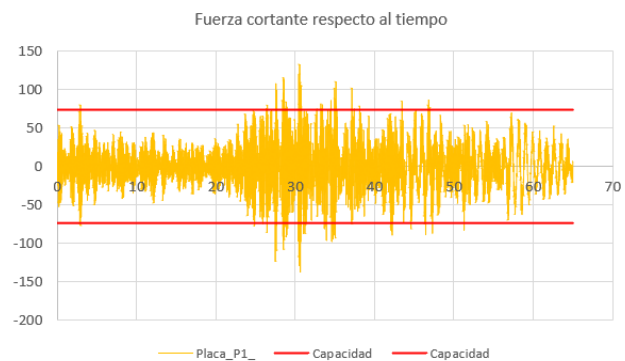


Fig. 7. Fuerza cortante del sismo del 20/11/18. (Fuente propia)

En Figura 7 se evidencia la variación de la fuerza cortante con respecto al tiempo de la placa del primer nivel que se encuentra más cerca del acantilado. En este sismo se observa que la fuerza cortante sobrepasa la capacidad del concreto sin refuerzo a corte que numéricamente es 73.7 toneladas, el momento en el que ocurre esto es entre el segundo 25 y el segundo 50 de este sismo y, además, el valor máximo de la fuerza cortante en este sismo sobrepasa las 130 toneladas.

Variación de la fuerza cortante en toneladas del sismo del 27/05/19 con respecto al tiempo.



Fig. 8. Fuerza cortante del sismo del 27/05/19. (Fuente propia)

En Figura 8 se puede ver la variación de la fuerza cortante con respecto al tiempo de la placa del segundo nivel que se encuentra más alejada del acantilado. En este sismo se observa que la fuerza cortante sobrepasa la capacidad del concreto sin refuerzo a corte que numéricamente es 73.7 toneladas, el momento en el que ocurre esto es entre el segundo 10 y el segundo 13 de este sismo y, además, el valor máximo de la fuerza cortante en este sismo sobrepasa las 80 toneladas.

Variación de la fuerza cortante en toneladas del sismo del 27/05/19 con respecto al tiempo.



Fig. 9. Fuerza cortante del sismo del 27/05/19. (Fuente propia)

En Figura 9 se evidencia la variación de la fuerza cortante con respecto al tiempo de la placa del segundo nivel que se encuentra más cerca del acantilado. En este sismo se observa que la fuerza cortante sobrepasa la capacidad del concreto sin refuerzo a corte que numéricamente es 73.7 toneladas, el momento en el que ocurre esto es entre el segundo 10 y el segundo 13 de este sismo y, además, el valor máximo de la fuerza cortante en este sismo sobrepasa las 80 toneladas.

Variación de la fuerza cortante en toneladas del sismo del 17/05/18 con respecto al tiempo.



Fig. 10. Fuerza cortante del sismo del 17/05/18. (Fuente propia)

En esta figura se evidencia la variación de la fuerza cortante con respecto al tiempo de la placa del tercer nivel que se encuentra más alejada del acantilado. En este sismo se observa que la fuerza cortante sobrepasa la capacidad del concreto sin refuerzo a corte que numéricamente es 73.7 toneladas, el momento en el que ocurre esto es entre el segundo 2 y el segundo 8 de este sismo y, además, el valor máximo de la fuerza cortante en este sismo sobrepasa las 90 toneladas.

Variación de la fuerza cortante en toneladas del sismo del 17/05/18 con respecto al tiempo.



Fig. 11. Fuerza cortante del sismo del 17/05/18. (Fuente propia)

En Figura 11 se evidencia la variación de la fuerza cortante con respecto al tiempo de la placa del tercer nivel que se encuentra más cerca del acantilado. En este sismo se observa que la fuerza cortante sobrepasa la capacidad del concreto sin refuerzo a corte que numéricamente es 73.7 toneladas, el momento en el que ocurre esto es entre el segundo 2 y el segundo 8 de este sismo y, además, el valor máximo de la fuerza cortante en este sismo sobrepasa las 90 toneladas.

El análisis de la fuerza cortante respecto al tiempo de las placas situadas en los tres primeros niveles evidencia que la fuerza no se distribuye equitativamente para cada nivel, diversos sismos tienen diferentes comportamientos que condicionan el diseño de los elementos estructurales. Por otro lado, el tiempo en el que ocurre que la fuerza cortante sobrepasa la capacidad del concreto sin esfuerzo ocurre en diferentes momentos en cada nivel del edificio, en ese sentido, el diseño de las placas en cada nivel tiene que realizarse considerando la influencia de los sismos en cada

nivel de la estructura y para cada sismo escalado presente en los estudios estructurales.

### B. Momento flector en columnas en cada sismo

En el caso del momento flector, se escogieron columnas del primer nivel en todos los edificios ya que se identificó que son los que tienen valores más altos. A continuación, se presentan los momentos flectores y fuerza axial de las columnas del primer nivel en Figura 12.

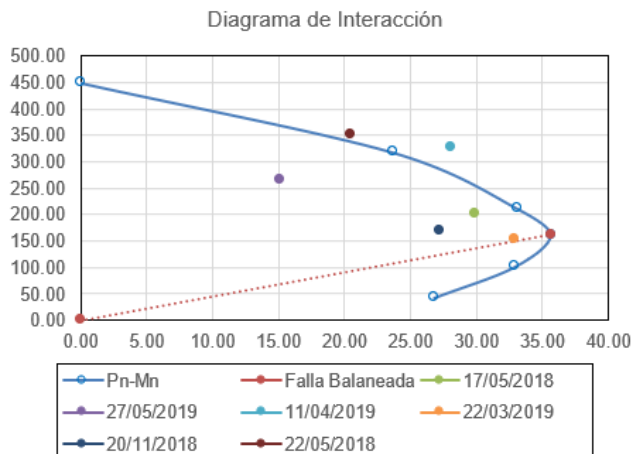


Fig. 12. Diagrama de interacción de columnas de primer piso. (Fuente propia)

En el caso del momento flector, el análisis realizado corresponde a columnas del primer nivel para los seis registros en el edificio de 10 niveles ya que se identificó que son los elementos estructurales que reciben más momento flector y fuerza axial en toda la estructura. El análisis, a diferencia del anterior, no se realizó con respecto al tiempo, sino que se realizó en el instante en el que existe una mayor aceleración en el sismo escalado. En los eventos sísmicos ocurridos los días 11/04/19 y 22/05/19, se excede la capacidad de las columnas del primer nivel en el instante donde ocurre la máxima aceleración, esto sucede solo en un instante del sismo; sin embargo, esto excede los límites permitidos por norma lo cual manifiesta que se debe tener cuidado en el momento que ocurre esto ya que son elementos que se encuentran en el primer nivel y afectan el comportamiento de toda la estructura.

## IV. CONCLUSIONES

Se propone una metodología de análisis para edificaciones de concreto armado de mediana altura que se encuentran en la parte superior y cerca del borde de acantilados de 50mts.

Se logra comprobar ampliaciones de respuestas estructurales no contempladas en un diseño regular al momento considerar la interacción suelo-estructura. Ello se vio en cada uno de los análisis tiempo historia de cada registro sísmico usado. Dicha variación se origina luego de conocer las aceleraciones corregidas y escaladas de los registros sísmicos de estaciones cercanas a la zona de estudio; además, nuestra investigación abre la posibilidad de conocer más el comportamiento del edificio en un análisis no lineal tiempo-historia con interacción suelo-estructura de un acantilado de 50m de altura.

El análisis lineal tiempo-historia revela variaciones significativas que sobrepasan las capacidades de elementos estructurales como los muros. Si bien las variaciones que se muestran no ocurren en gran parte del evento sísmico, en el momento en el que sobrepasa su capacidad significa un daño en la estructura. Para la obtención de los parámetros del suelo del acantilado de Magdalena, recurrimos a estudios anteriores realizados en la zona. Sin embargo, debido a que no hay muchos al respecto, y si los hay no poseen la profundidad en los estratos necesaria, se optó por realizar un análisis de todos los estudios previos y seleccionar valores promedios significativos que estén dentro de los rangos establecidos para los tipos de suelo del lugar.

## REFERENCIAS

- [1] P. Thanapackiam, O. Khairulmaini, and A. G. Fauza. "Vulnerability and adaptive capacities to slope failure threat: a study of the Klang Valley Region." *Natural hazards* 62.3 (2012): 805-826.
- [2] R. Acharyya, and A. Dey. "Assessment of bearing capacity for strip footing located near sloping surface considering ANN model." *Neural Computing and Applications* 31.11 (2019): 8087-8100.
- [3] E. Abo, Ahmad, A. Rola, and T. Miralvand. "Seismic floor acceleration amplification based on instrumented building records." *Journal of Architectural Engineering* 26.2 (2020): 04020004.
- [4] X. Ren, Q. Bai, C. Yang, and J. Li. "Seismic behavior of tall buildings using steel-concrete composite columns and shear walls". *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 27.4 (2018): e1441.
- [5] R. Khadiranaikar and A. Masali. "Seismic Performance of Buildings Resting on Sloping Ground." *Advances in Structural Engineering*. Springer, New Delhi, 2015. 803-813.
- [6] M. Martinez-Paneda, and E. Ahmed. "An integrated damping system for tall buildings." *The Structural Design of Tall and Special Buildings* 29.7 (2020): e1724.
- [7] Diaz, J. (2008). "Estabilización del Talud de la Costa Verde en la Zona del Distrito de Magdalena". PUCP, Lima, Perú.