

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**INFLUENCIA DEL EFECTO DE SITIO EN EL PERIODO DE  
VIBRACIÓN DE UNA EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO  
EN LA MOLINA**

**TESIS**

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

**PRESENTADA POR:**

**Bach. MORALES GUERRERO, ASTRID STEPHANIE**

**Asesor: Mg. Ing. GÁRATE CÁCERES, FRANCISCO HÉCTOR**

**LIMA-PERÚ**

**2020**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por estar conmigo siempre, me guía y me reconforta.

A mi padre, por ser mi mayor ejemplo a seguir.

A mi madre, por impulsarme a ser mejor cada día.

A mis hermanas y puppie, por su apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Ricardo Palma, por las experiencias aprendidas a lo largo de la carrera, a los profesores que supieron brindarme enseñanzas y conocimientos.

Un agradecimiento especial al Ing. Wong, por su enorme amabilidad y los consejos académicos brindados, es muy admirable su labor profesional.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1    Descripción del problema.....	2
1.2    Formulación del problema.....	3
1.2.1    Problema General.....	3
1.2.2    Problemas Específicos .....	3
1.3    Importancia y Justificación.....	3
1.4    Delimitación del estudio.....	5
1.5    Objetivos de la Investigación .....	5
1.5.1    Objetivo Principal .....	5
1.5.2    Objetivos Específicos.....	5
1.6    Limitaciones del estudio.....	6
1.7    Viabilidad de la Investigación .....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	7
2.1    Antecedentes de la investigación.....	7
2.1.1    Investigaciones Nacionales .....	7
2.1.2    Investigaciones Internacionales .....	11
2.2    Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....	18
2.2.1    Normas .....	18
2.2.2    Causa y efecto de eventos Sísmicos.....	18
2.2.3    Registro Sísmicos.....	20
2.2.4    Funciones de Transferencia Teórica .....	23
2.2.5    Funciones de Transferencia Empírica.....	24
2.2.6    Efecto de Sitio .....	25

2.2.7	Interacción Suelo- Estructura.....	26
2.2.8	Análisis Sísmico Dinámico.....	30
2.2.9	Espectros de diseño.....	34
2.3	Definición de términos básicos.....	35
2.4	Formulación de hipótesis.....	36
2.4.1	Hipótesis General.....	36
2.4.2	Hipótesis Específicas.....	36
2.4.3	Variables de la investigación.....	37
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		39
3.1	Tipo y nivel de investigación.....	39
3.1.1	Tipo.....	39
3.1.2	Nivel.....	39
3.2	Método y diseño de la investigación.....	39
3.2.1	Método.....	39
3.2.2	Diseño.....	39
3.3	Población y muestra.....	40
3.3.1	Población.....	40
3.3.2	Muestra.....	40
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	40
3.4.1	Instrumentos.....	40
3.5	Validez y confiabilidad de los instrumentos.....	41
3.6	Descripción de procedimientos de análisis.....	41
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS FACTOR SUELO.....		42
4.1	Ubicación del Registro por Vibración.....	42
4.2	Filtrado de la Información.....	42
4.3	Procesamiento bajo el método del cociente espectral H/V.....	44
4.4	Generación de familias espectrales de los rangos estimados.....	46

4.4.1	Familias Espectrales.....	59
CAPÍTULO V: ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....		62
5.1	Generalidades de la Estructura .....	62
5.2	Elementos Estructurales .....	63
5.2.1	Losas .....	63
5.2.2	Vigas .....	63
5.2.3	Muros .....	63
5.2.4	Columnas.....	63
5.2.5	Escaleras.....	63
5.3	Propiedades de los Materiales .....	64
5.4	Metrado de Cargas de Gravedad .....	65
5.4.1	Carga Viva .....	65
5.4.2	Carga Muerta.....	66
5.5	Carga de Sismo Estático en XX-YY .....	67
5.6	Masa Participante .....	68
5.7	Asignación de Combinaciones .....	70
5.8	Definición del Diafragma Rígido .....	71
5.9	Asignación de Etiquetas .....	71
5.10	Representación del Modelo Estructural.....	72
5.11	Análisis Sísmico de la Estructura .....	73
5.11.1	Parámetros Sísmicos de la Estructura .....	73
5.11.2	Análisis Modal .....	75
5.12	Regularidad de la Estructura .....	77
5.13	Análisis Estático .....	80
5.13.1	Fuerza Cortante .....	80
5.13.2	Fuerzas de Sismos de acuerdo con la Altura de cada entrepiso....	82
5.14	Análisis Dinámico Modal Espectral .....	83

5.14.1	Cortante Dinámico .....	85
5.14.2	Fuerza Cortante Dinámica.....	87
5.14.3	Derivas de Piso de Acuerdo a la NTE 0.30.....	88
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....		90
6.1	Resultados del Análisis Factor Suelo .....	90
6.1.1	Amplitudes y Frecuencias .....	90
6.1.2	Periodos de Vibración en la Familia Espectral I.....	91
6.1.3	Periodos de Vibración en la Familia Espectral II.....	92
6.1.4	Periodos de Vibración en la Familia Espectral III .....	93
6.1.5	Periodos de Vibración en la Familia Espectral IV .....	93
6.2	Resultados del Análisis Factor Estructura.....	95
6.2.1	Modos de Vibración.....	95
6.2.2	Fuerzas Cortantes .....	96
6.2.3	Fuerzas Sísmicas en Altura .....	97
6.2.4	Derivas .....	98
6.3	Resultados Factor Suelo-Estructura .....	101
6.4	Contrastación de Hipótesis .....	104
CONCLUSIONES .....		106
RECOMENDACIONES.....		107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		108
ANEXOS .....		112

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de Subducción y Ubicación de Fuentes Sismogénicas .....	19
Figura 2 Acelerogramas de Tres Movimientos Sísmicos Típicos .....	21
Figura 3 Uso del Ruido en Sismología .....	23
Figura 4 Función de Amplificación de Suelo Rocoso .....	23
Figura 5 Modelo de la Interacción Suelo-Estructura .....	27
Figura 6 Representación del Efecto Suelo-Estructura para el Modo de Vibración .....	28
Figura 7 Modelo de un Sistema de un Grado de Libertad .....	29
Figura 8 Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño NSR-10.....	35
Figura 9 Mapa de Ubicación de la Información del Registro.....	42
Figura 10 Filtrado del Frecuencia del Ruido .....	43
Figura 11 Bandas de Filtración .....	44
Figura 12 Cuadro de Procesamiento- Método del Cociente Espectral H/V .....	44
Figura 13 Resultados de Salida .....	45
Figura 14 Espectrogramas H/V.....	45
Figura 15 Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto MO-0 .....	50
Figura 16 Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 01 .....	51
Figura 17 Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 02 .....	51
Figura 18 Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 03 .....	52
Figura 19 Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 04 .....	52
Figura 20 Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 05 .....	53
Figura 21 Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 06 .....	53
Figura 22 Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 07 .....	54
Figura 23 Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 08 .....	54
Figura 24 Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 09 .....	55
Figura 25 Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 10 .....	55
Figura 26 Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 11 .....	56
Figura 27 Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 12 .....	56
Figura 28 Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 13 .....	57
Figura 29 Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 14 .....	57
Figura 30 Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 15 .....	58
Figura 31 Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 16 .....	58

Figura 32 Familia Espectral de las FTE-MO-00 a FTE-MO-16.....	59
Figura 33 Familia Espectral I.....	60
Figura 34 Familia Espectral II .....	60
Figura 35 Familia Espectral III.....	61
Figura 36 Familia Espectral IV.....	61
Figura 37 Coeficiente de la Cortante en la Base Sismo XX.....	67
Figura 38 Coeficiente de la Cortante en la Base Sismo YY.....	68
Figura 39 Definición de Cargas Actuantes .....	68
Figura 40 Masa Participante .....	70
Figura 41 Definición de Combinaciones .....	71
Figura 42 Definición de Diafragmas Rígidos por Niveles .....	71
Figura 43 Definición de Etiquetas en Muros .....	72
Figura 44 Modelamiento Estructural de la Edificación de Baja Altura.....	72
Figura 45 Espectro de Diseño.....	85
Figura 46 Caso de Carga Eje X .....	86
Figura 47 Caso de Carga Eje Y .....	86
Figura 48 Periodos en los Modos de Vibrar .....	96
Figura 49 Fuerza Cortante en la Base.....	97
Figura 50 Fuerza de Sismo en Altura .....	98
Figura 51 Derivas Admisibles en Sx .....	99
Figura 52 Derivas Admisibles en Sy .....	99
Figura 53 Derivas Admisibles en Sx-Sy.....	100
Figura 54 Periodos Factor Suelo-Estructura.....	102
Figura 55 Periodo Fundamental.....	103

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rangos de Frecuencias de Algunas Fuentes de Ruido Conocido.....	22
Tabla 2 Matriz de Operacionalización de Variables.....	38
Tabla 3 Datos del Muestreo y Amplitud Pico en el Punto MO-0.....	46
Tabla 4 Rango de Frecuencias Crecientes y Amplitudes en el Punto MO-0.....	46
Tabla 5 Rango de Frecuencias Decrecientes y Amplitudes en el Punto MO-0.....	47
Tabla 6 Dimensiones de los Elementos Estructurales .....	64
Tabla 7 Cargas Vivas Repartidas.....	66
Tabla 8 Datos de las Cargas Vivas Requeridas .....	66
Tabla 9 Datos de las Cargas Muertas Requeridas.....	67
Tabla 10 Categoría de la Edificaciones de acuerdo con el Uso.....	69
Tabla 11 Combinaciones de Cargas Requeridas.....	70
Tabla 12 Factores de Zonificación “Z”.....	73
Tabla 13 Perfil del Suelo $V_s$ , $N_{60}$ , $S_u$ .....	73
Tabla 14 Parámetros $S$ , $T_P$ y $T_L$ .....	74
Tabla 15 Parámetros para el Espectro de Diseño en los ejes X-X, Y-Y.....	75
Tabla 16 Periodos en los Modos de Vibrar y % de Masa Participante.....	76
Tabla 17 Resumen del Periodo Fundamental .....	77
Tabla 18 Pesos por Nivel.....	77
Tabla 19 1° Verificación Irregularidad Torsional Eje X .....	78
Tabla 20 2° Verificación Irregularidad Torsional Eje X .....	78
Tabla 21 1° Verificación Irregularidad Torsional Eje Y .....	79
Tabla 22 2° Verificación Irregularidad Torsional Eje Y .....	79
Tabla 23 Peso de la Estructura.....	80
Tabla 24 Cortante Basal en los 4 niveles.....	80
Tabla 25 Parámetros para la Cortante Basal en el Eje X-X e Y-Y.....	81
Tabla 26 Resultados de la Cortante Basal General.....	81
Tabla 27 Fuerzas Sísmicas de la Estructura.....	82
Tabla 28 Momento Torsor Accidental.....	82
Tabla 29 Parámetros para el Espectro de Diseño en el Eje XX-YY.....	83
Tabla 30 Aceleración Espectral en los Ejes XX e YY.....	84
Tabla 31 Fuerza Cortante Mínima en los Ejes XX-YY .....	87

Tabla 32 Factor de Escalamiento en los Ejes XX-YY.....	87
Tabla 33 Límites de Distorsión de la Norma E 0.30 .....	88
Tabla 34 Derivas de Entrepiso Ejes xx-yy.....	88
Tabla 35 Derivas Inelásticas de entrepiso Sismo X.....	89
Tabla 36 Derivas Inelásticas de entrepiso Sismo Y .....	89
Tabla 37 Resultados de Amplitudes y Frecuencias .....	90
Tabla 38 Resultados de los Periodos de Vibración en la Familia Espectral I.....	91
Tabla 39 Resultados de los Periodos de Vibración en la Familia Espectral II .....	92
Tabla 40 Resultados de los Periodos de Vibración en la Familia Espectral III.....	93
Tabla 41 Resultados de los Periodos de Vibración en la Familia Espectral IV.....	94
Tabla 42 Resultado de Periodos-Caso Modal.....	95
Tabla 43 Cortante Basal en los 4 niveles .....	96
Tabla 44 Fuerzas Sísmicas en Altura.....	97
Tabla 45 Derivas Sismo X.....	98
Tabla 46 Derivas Sismo Y .....	99
Tabla 47 Derivas en Sismo XX-YY .....	100
Tabla 48 Descripción de Microzonificación Sísmica .....	101
Tabla 49 Comparación de Periodos .....	101
Tabla 50 Clasificación Factor Suelo-Estructura .....	102
Tabla 51 Clasificación de los Periodos Fundamentales.....	103

## RESUMEN

En la presente investigación se analizó la influencia del efecto de sitio en términos de amplitudes, frecuencia y periodos de vibración del factor suelo mediante un procesamiento de datos de un registro de vibración ambiental y para el análisis del factor estructura se identificó los periodos fundamentales de los modos de vibrar de una edificación de 4 niveles de concreto armado, mediante la verificación de derivas de entrepiso, desplazamientos, fuerzas cortantes a través de un análisis estático y el espectro de pseudo-aceleraciones para el análisis modal espectral.

De los resultados que se obtuvieron se detalla que solo en la Zona I, definida por Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) como suelos rocosos y gravoso coluvial con periodos de 0.10 s, no existe el efecto de sitio, mientras que en la Zona II hay probabilidad de que exista efecto de sitio, debido a que se obtuvo el periodo fundamental de vibración de la estructura en dirección X de 0.286 s y en dirección Y con un valor de 0.249 s encontrándose dentro de los parámetros del periodo fundamental del factor suelo de la Familia Espectral III con un rango de 0.225 a 0.427 s, descartando las demás zonas III y IV por el alto nivel de peligro sísmico que presentan.

De acuerdo a los parámetros sísmicos de la Normativa Sismorresistente Vigente, los resultados favorecieron solo para una de las zonas de la clasificación estipulada por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, esto debido a que también se reducen en un 50% los periodos fundamentales analizados por cada Familia Espectral, verificándose el comportamiento sísmico para una edificación de muros estructurales de baja altura en referencia a la interacción suelo-estructura.

**Palabras Claves:** Efecto de sitio, Periodos Fundamentales, Peligro Sísmico, Interacción Suelo-Estructura.

## ABSTRACT

In the present investigation, the influence of the site effect in terms of amplitudes, frequency and vibration periods of the soil factor was analyzed through data processing of an environmental vibration record and for the analysis of the structure factor, the fundamental periods of the modes of vibrating in a 4-level reinforced concrete building, by verifying mezzanine drifts, displacements, shear forces through static analysis and the pseudo-acceleration spectrum for spectral modal analysis.

From the results obtained, it is detailed that only in Zone I, defined by the Japanese Peruvian Center for Seismic Research and Disaster Mitigation (CISMID) as rocky soils and colluvial burdens with periods of 0.10 s, there is no site effect, while that in Zone II there is a probability of a site effect, because the fundamental period of vibration of the structure was obtained in the X direction of 0.286 s and in the Y direction with a value of 0.249 s being within the parameters of the fundamental period of the soil factor of Spectral Family III with a range of 0.225 to 0.427 s, ruling out the other zones III and IV due to the high level of seismic danger they present.

According to the seismic parameters of the Current Seismic Resistant Regulations, the results favored only for one of the areas of the classification stipulated by the Japanese Peruvian Center for Seismic Research and Disaster Mitigation, this because they are also reduced by a 50% of the fundamental periods analyzed by each Spectral Family, verifying the seismic behavior for a low-height structural wall building in reference to the soil-structure interaction.

**Keywords:** Site effect, Fundamental Periods, Seismic Hazard, Soil-Structure Interaction.

## INTRODUCCIÓN

En el 2004 el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) realizó la evaluación de la vulnerabilidad estructural en el distrito de la Molina, presentado técnicas de reforzamiento solo en viviendas de albañilería confinada, posteriormente en el 2010 presenta el estudio de microzonificación sísmica, señalando las áreas más desfavorables del suelo ante la ocurrencia de un evento sísmico (CISMID, 2010, p.2). Debido a estos principales aportes, se plantea la necesidad de relacionar un estudio más actual del factor suelo en términos de periodos involucrando al efecto de sitio y el factor estructura para edificaciones de concreto armado de muros estructurales distinta a los casos de estudios realizados.

Entorno a lo descrito, en el Capítulo I se define el planteamiento del problema, partiendo de la formulación del problema general y específicos, los objetivos planteados, así como la delimitación del estudio, importancia, justificación, limitaciones y viabilidad de la investigación.

Siguiendo con el Capítulo II, se realiza un análisis de los antecedentes nacionales e internacionales, para sustentar las bases teóricas y científicas en lo concerniente a la interacción del factor suelo-estructura, definiendo los términos y formulando la hipótesis tanto general y específicas de acuerdo con las variables de la investigación.

En el Capítulo III, se realiza la metodología de la investigación describiendo el tipo, nivel, método y diseño requerido de acuerdo con la población y muestra generada, validando las técnicas y confiabilidad de los instrumentos empleados en el estudio para relacionar y describir el proceso secuencial del análisis que se plantea.

En el Capítulo IV, se realiza el caso de estudio del Factor Suelo, considerando un análisis dinámico, calculando los rangos de amplitudes, frecuencias y periodos fundamentales. En el Capítulo V, se presenta el análisis estructural de una edificación de baja altura, mediante un modelamiento de elementos finitos y su respectivo análisis sísmico para poder realizar las verificaciones de acuerdo con la Norma Sismorresistente en los periodos de vibración, derivas, cortantes y el espectro de respuesta dinámico.

En el Capítulo VI, se realiza la presentación de los resultados y poder realizar la contrastación de las hipótesis planteadas de ambas variables.

Finalmente, en el Capítulo VII, se define las conclusiones y recomendaciones de acuerdo con el análisis suelo-estructura, entorno a los objetivos planteados en la investigación, validando así cada resultado generado en la investigación propuesta.

# **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1 Descripción del problema**

El distrito de la Molina pertenece a uno de los lugares con mayor riesgo sísmico en la ciudad de Lima, dando origen a que se registre altos niveles de intensidad de ocurrir un fenómeno sísmico. Existen registros de daños ocurridos por sismos de magnitudes superiores a 8.0 Mw que datan desde 1940, donde se manifiesta que la vulnerabilidad estructural es una de los principales factores presentes debido a las condiciones del sitio (CISMID, 2010).

Estudios pasados describen a la vulnerabilidad sísmica como el grado de susceptibilidad de daño que presenta una estructura por el peligro sísmico latente. A partir de ello se dan ciertas restricciones ya sea por el comportamiento dinámico o las características geomorfológicas del distrito para poder diseñar una estructura, por ejemplo, los niveles de alturas máximas permitidas en viviendas no deben superar los 3 a 4 pisos y para edificaciones en zonas comerciales los rangos son de 5 a 12 pisos, sumado a ello el tipo de sistema estructural ya tiene como pieza convencional a las viviendas de albañilería armada (Diario Oficial El Peruano, 2013).

Por otro lado, los mapas de microzonificación registran en gran parte de la zona, suelos con baja capacidad portante generado por las mismas condiciones de sitio, ante ello la respuesta dinámica que debe tener cualquier estructura depende mucho del lugar donde se asientan las edificaciones y de la interacción que tiene la cimentación sobre el estrato (Calvo Díaz, 2012) .

Ante una acción sísmica los movimientos que tiene el suelo partiendo desde el origen o el hipocentro de una onda sísmica, se amplifican hasta llegar a la superficie, conociéndose como el efecto de sitio, mientras un suelo sea más blando, como en este caso, mayor será la amplificación de estas ondas y por consiguiente resulta ser directamente proporcional el registro vulnerabilidad sísmica que se presenta (Ballén, 2015).

De manera general estudiar este fenómeno con registros de vibración ambiental proporciona información a detalle si se requiere conocer las zonas donde el peligro sísmico es mayor. En los últimos años diversos autores realizaron investigaciones del análisis de la interacción suelo-estructura, conjugando la respuesta dinámica de elementos estructurales a consecuencia de ondas incidentes y ondas generadas.

Según Fiala et al.(2007), en su investigación describen que el registro de vibración de elementos estructurales simples como vigas y muros de cimentación parten de la consigna

de primero analizar el suelo de la edificación, vistos desde cualquier punto de vista desarrollar un estudio donde se involucre los modos de vibrar de cualquier estructura debe partir primordialmente de tener un buen análisis de vibración en la base.

## **1.2 Formulación del problema**

### 1.2.1 Problema General

¿Cómo determinar la influencia del efecto de sitio en los periodos de vibración de una edificación de concreto armado en el distrito de la Molina?

### 1.2.2 Problemas Específicos

- a) ¿Como se determina el modo de vibración del suelo en puntos estratégicos bajo un registro de ensayo de vibración ambiental?
- b) ¿Cuál es el método empírico utilizado para evaluación de las amplitudes y frecuencias de vibración?
- c) ¿Cómo se determina el periodo promedio bajo el concepto de familias espectrales del factor suelo?
- d) ¿Cómo se puede estimar el periodo y modos de vibración de una edificación de concreto armado mediante un modelamiento de elementos finitos y bajo el análisis sísmico?

## **1.3 Importancia y Justificación**

En la actualidad contamos con estudios del CISMID (Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres) y otras investigaciones sobre vulnerabilidad y microzonificación en el distrito, al analizar esta información se puede registrar que los estudios realizados en la interacción suelo y estructura solo tiene registros para edificaciones convencionales de albañilería confinada y lo que se requiere es complementarlo a otros sistemas estructurales. Por otra parte, el distrito se encuentra dividido en 4 micro zonas sísmicas según su comportamiento dinámico del suelo (CISMID, 2010), presentándose en gran medida una configuración de suelos muy errática y heterogénea condicionando a que si se quiere diseñar con un comportamiento estructural satisfactorio se debe primero poner mayor grado y énfasis a las fallas por corte que se pueden generar y a los asentamientos que producen las cargas transmitidas con el

fin de calcular los valores de periodo dominante del suelo y su amplificación relativa para la zona en estudio.

Por otro lado, desde el punto de vista ingenieril diseñar una estructura de concreto armado debe de regirse a los parámetros urbanísticos estipulados, ya sea diseñar como principal elemento la base de cimentación, complementándolo con las condiciones registradas en los mapas de microzonificación y de acuerdo con estudios de vulnerabilidad y riesgo sísmico en Lima. Por otro lado, si bien el área de estudio se encuentra dividido en cuatro zonas en función a los perfiles estratigráficos para un mejor entendimiento, las cuales son conocidas como: Zona I, Zona II, Zona III y Zona IV, en la presente investigación se tiene especial énfasis a 2 zonas de las mencionadas, puesto que en estudios anteriores las características del terreno mantienen esa capacidad de carga para poder aceptar esta tipología de sistema estructural (Severino Huapaya, 2015).

Al evaluar la relación que existe entre el suelo-estructura, lo que se busca en la presente investigación es simplificar el comportamiento de una estructura poca convencional, solo para dicha zona, como la de concreto armado de muros estructurales analizándola desde un registro de vibración partiendo desde la convolución de una señal de ruido generado en direcciones Norte-Sur, Este-Oeste y Vertical aproximándolos de cierta forma como un registro sísmico, de modo que se pueda hallar el periodo que tiene el suelo y buscando de cierto modo la existencia o no de resonancia estructural en términos de efecto de sitio (Geoinstruments, 2016).

El poder determinar si en un sitio en específico se pueda edificar o no una estructura de esta tipología, tiene como principal factor para la investigación conocer que el lugar de referencia sea evaluado bajo el efecto de sitio propiamente dicho, en este caso utilizando la técnica del cociente espectral H/V (Lermo & Chávez-García, 1993), estimando así el factor de amplificación de los registros obtenidos, que no son más que esas pequeñas vibraciones que se dan en la superficie del terreno producto del viento, tráfico vehicular, oleajes y casi imperceptibles vibraciones sísmicas in situ. Por otro lado, las frecuencias determinadas, son el número de vibraciones por segundo en el aire por el cual se propagan estos ruidos (Vacca Gámez et al., 2011).

Realizar cierto alcance donde se pueda fusionar información geotécnica, geofísica y estructural. nos permite evaluar las condiciones de sitio real, primordialmente en el comportamiento dinámico del factor suelo y el comportamiento sísmico de la estructura bajo comparaciones de periodos con niveles aceptables o no, desligando de cierto modo

estudios en viviendas convencionales y sobre todo incrementar mejor una investigación correlativa para la actualización de la información en viviendas de concreto armado. Si bien el estudio del efecto de sitio resulta independiente de la interacción suelo-estructura (Espinoza, 2016), en esta investigación se busca enfatizar y relacionar en el ámbito teórico, a los estudios de vibración en función de la obtención de la respuesta dinámica de estructuras existentes, de modo que resulta necesario identificar el comportamiento de una edificación ante una acción sísmica, en este caso, ante ondas de vibración generadas por el ruido ambiental de la zona, de modo que de un mejor aporte en el ámbito práctico, a las construcciones nuevas de esta tipología (muros estructurales) en fases de diseño, con información más realística que permita diseñar estructuras que verifiquen un adecuado comportamiento estructural, que de cierta forma pueda compararse con información obtenida en otros sitios con comportamientos similares y que a su vez contribuya a generar medidas correctivas y/o preventivas en fases previas de diseño-construcción entorno a problemas de vulnerabilidad estructural y por ende este tipo de estructuras no se vean severamente afectadas ante movimientos sísmicos o que en su defecto cumplan su vida útil pactada.

#### **1.4 Delimitación del estudio**

La investigación de una de las variables requiere la base de datos del registro por vibración ambiental, bajo un ensayo por ruido ambiental que abarca los puntos zonales de las coordenadas en grados decimales de  $76.95^\circ$  y  $12.08^\circ$ , en el distrito de La Molina. Para la segunda variable de análisis, la investigación se limita a la simulación de la edificación prototipo de concreto armado destinado al uso de vivienda de baja altura, bajo los parámetros urbanísticos de la zona en estudio.

#### **1.5 Objetivos de la Investigación**

##### **1.5.1 Objetivo Principal**

Determinar la influencia del efecto de sitio en los periodos de vibración en una edificación de concreto armado en el distrito de la Molina.

##### **1.5.2 Objetivos Específicos**

a) Determinar el modo de vibración del suelo en puntos estratégicos bajo un

registro de ensayo de vibración ambiental.

b) Determinar el método empírico para la evaluación de los rangos de las amplitudes y frecuencias de vibración del factor suelo.

c) Determinar el periodo promedio del suelo bajo el concepto de familias espectrales.

d) Estimar el periodo y modos de vibración de una edificación de concreto armado mediante un modelamiento de elementos finitos y bajo el análisis sísmico.

## **1.6 Limitaciones del estudio**

Las limitaciones que se consideran en el estudio están presentes en las mediciones experimentales que se tiene que realizar para los registros por vibración ambiental, es decir para la obtención de datos entorno a un sitio o lugar en específico, donde se desea analizar una estructura de características diferentes a las convencionales, además de que los registros que se obtengan sean señales óptimas para un buen análisis, es decir varía en función de una adecuada toma de datos, dependiente del flujo y tránsito de la zona para la captación del ruido.

## **1.7 Viabilidad de la Investigación**

Para el presente estudio se tiene el registro necesario para el análisis del efecto de sitio en la zona, por consiguiente, se cumple con la viabilidad de la información de base de datos de ensayos no invasivos; mientras que para el análisis estructural de la edificación de baja altura se cuenta con las especificaciones de la Norma de Cargas E 0.20, Norma de Concreto Armado E 0.60 y Norma Sismorresistente E 0.30, que contemplan el metrado de cargas, requisitos de resistencia y el análisis sísmico respectivamente que complementan a la simulación y el modelamiento estructural.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1 Investigaciones Nacionales

En el estudio realizado por Ríos, J. (2018) sobre la “Evaluación del comportamiento dinámico del suelo en Lima y Callao utilizando el método del cociente espectral H/V”, se desarrolla un enfoque basado en correlacionar las funciones de transferencia empírica y la estratigrafía de los suelos analizados. La muestra utilizada fue de 38 estaciones acelerográfica y 100 puntos de referencia para el registro por vibración ambiental. La metodología aplicada estuvo basada en las teorías de vibraciones con la finalidad de estimar espectros de respuesta, permitiendo así generar mapas de intensidad sísmica. Por otro lado, para la sistematización de toda la data, esta investigación provee de un código algorítmico en el programa de MATLAB.

Finalmente, los resultados demostraron que hay una existencia de amplificación en los conglomerados de la ciudad de Lima, además de realizar una comprobación basado en las funciones de transferencia (FTE), dónde muestra que no existe correspondencia en la caracterización realizada por CISMID en el año 2016 con la que el autor realizó en el 2018, por lo tanto, sugirió un nuevo agrupamiento.

La data proporcionada satisface actualmente al desarrollo de nuevos mapas de microzonificación entorno a factores tales como aceleración máxima en roca, con el fin de que se pueda proveer de espectros de diseño más actuales para nuevos estudios de microzonificación tanto en Lima y Callao.

Severino, E. (2015) en su investigación sobre “Evaluación de desplazamientos laterales por solicitaciones sísmicas del edificio de la Biblioteca Agrícola Nacional según la normativa vigente”, plantea una evaluación sismorresistente basado en los desplazamientos y fuerzas sísmicas. La muestra analizada fue la Biblioteca UNALM, consistente en una edificación de concreto armado aporticado de 4 niveles y un solo sótano realizando un levantamiento arquitectónico in situ. La metodología

consistió en analizar la estructura bajo un análisis estático y dinámico mediante una simulación estructural para evaluar desplazamientos y fuerzas internas.

Los resultados obtenidos concluyeron que los desplazamientos laterales máximos de la aceleración de un evento sísmico simulado no cumplen o no se encuentran dentro del rango permisible sugiriéndose un reforzamiento estructural.

A partir de la investigación, los análisis sísmicos de la Normativa Sismorresistente proporcionan mejores alternativas de reforzamiento estructural en edificios aporticados, teniendo en cuenta la zona dónde se realiza el estudio y el desarrollo del mismo, variando en metodologías tanto por los niveles de daño y vulnerabilidad estructural.

Zeballos & Lermo (2017) en su investigación sobre el “Estudio de microzonificación sísmica en 4 distritos: Barranco, Surquillo, Bellavista (Callao) y el Porvenir (Trujillo)” se basaron en obtener mapas de isoperiodos ( $T_0$ ), mapas de amplificación relativa ( $S$ ), mapas de isopacas o estratigráfico y mapas de velocidades de ondas de corte promedio ( $V_s$ ). El estudio plantea ser determinista en base a la red sísmica provisto por CISMID y el IGP con sismos que oscilaron desde 1951 hasta el 2015 con un rango de magnitudes entre 5 Mw y 8.1 Mw, la muestra analizada fue de 21 registros con condiciones diferentes en cuanto a magnitud y fuentes de obtención bajo ensayos de microtemores, y por efecto de sitio la técnica de Nakamura es la que mejor se adecuó en la investigación realizada. Finalmente, al generar los mapas descritos se dio un mejor aporte en cuanto al factor suelo en los cuatro distritos mencionados por la caracterización de singular similitud presentada en términos de estratigrafía, puesto que se da mejores alcances en cuanto al desempeño estructural relacionado frente a mecanismos de falla.

Herrera, D. (2013) en su tesis “Caracterización de sitio para el área urbana de Chosica utilizando Métodos sísmicos (Distrito de Lurigancho-Chosica,

Lima)”, tuvo como objetivo principal realizar una propuesta en cuanto a un nuevo Mapa de microzonificación Sísmica y geotécnica valiéndose de métodos geofísicos para la caracterización dinámica del terreno. El ensayo se realizó en un área urbana de Chosica en 182 puntos de referencia utilizando dos sismógrafos, siguiendo con la metodología aplicada el procesamiento se realizó con cálculos de razones espectrales y bajo un análisis H/V, llegando a la conclusión de que de las curvas obtenidas aplicando la técnica en muchas no precisa los picos de las frecuencias fundamentales, mientras que en otras curvas si, por otro lado una vez determinados los valores picos también fue posible que el suelo de estudio presente una estructura compleja en cuanto a los estratos que lo conforman con frecuencias que oscilaron entre 0.5 a 2 Hertz, 2 a 10 Hertz y de 10 a 30 Hertz, siendo los menores a 1 Hertz vibraciones de periodo largo y catalogándose el terreno como muy heterogéneo para la construcción de edificaciones altas.

CISMID (2010), en su estudio sobre “Microzonificación Sísmica en el Distrito de la Molina”, realizó una investigación para evaluar tres principales factores: el peligro sísmico, la caracterización del suelo y la dinámica de estos. La ubicación de estudio lo comprende punto de referencia en zonas urbanizadas del distrito, evaluado de acuerdo con la geología, aspectos geomorfológicos y geotécnicos. Como resultado describen al peligro sísmico en base a la aceleración máxima considerando que para un suelo de tipo B o roca es de 0.32 g, mientras que para un suelo tipo C existe variación en el rango de aceleración entre 0.43 a 0.52 g. Finalmente realizó un mapa de microzonificación sísmica en las cuatro zonas que clasificó como Zona I donde existe una base rocosa con buena capacidad portante con un comportamiento dinámico muy favorable con periodos que predominan entre 0.10 segundos, excepto en áreas donde exista pendiente; para la Zona II conformada por suelos gravosos y estratos de arena mal graduada, existiendo en términos promedios moderado peligro sísmico con periodos que oscilan entre 0.10 a 0.20 segundos; la Zona III catalogada como suelos arenosos con

un comportamiento del suelo muy por debajo de lo que se estima con periodos entre 0.30 a 0.40 segundos, existiendo un alto nivel de peligro sísmico y la Zona IV con una caracterización dinámica predominante de suelos muy arenosos, con periodos mayores a 0.40 segundos es el más desfavorable. A partir de lo descrito se generó el mapa de microzonificación ubicando las zonas donde los suelos tienden a ser más favorables y desfavorable, dando un gran alcance en cuanto a vulnerabilidad sísmica.

El estudio es parte imprescindible dentro de la evaluación del peligro sísmico en todo el Perú, puesto que la generación de microzonas son parte de la evaluación del suelo para el análisis de su comportamiento estratigráfico en diversas evaluaciones sísmicas.

CISMID-UNI, (2003) presentó una investigación sobre “Vulnerabilidad Sísmica en el distrito de la Molina” la evaluación del riesgo que presentan las viviendas en el distrito calculados y sugiriendo una propuesta técnica de reforzamiento en edificaciones. Se tomó como muestra manzanas y lotes representativos urbanos, mediante estimaciones probabilísticas en edificaciones de albañilería, concreto armado, sistemas mixtos. La metodología seguida fue a través de métodos determinísticos y evaluaciones a través de inspecciones y toma de muestra de materiales, es decir trabajos en campo y modelaciones matemáticas de las estructuras con programas especializados; otro método utilizado fue por criterio, mediante datos estadísticos lograron generar curvas de respuestas sísmicas.

Como resultado final se presentó que la vivienda más convencional y que representa alrededor del 90% es la del sistema estructural por albañilería confinada, donde la vulnerabilidad se ve influenciada por las condiciones de suelo y debido al número de pisos con un grado de vulnerabilidad alta. En cuanto al riesgo sísmico, se estimó a partir de las distorsiones máximas un análisis de los niveles de daño, concluyendo que para un sismo severo las edificaciones esenciales como colegios y establecimientos de salud estarían operativos en un

36% y el 18% presentaría niveles de riesgos altos y colapso, sugiriendo técnicas para refuerzos estructurales que contrarrestarían parcialmente los daños a futuro.

### 2.1.2 Investigaciones Internacionales

Isidoro, C. (2016) en su investigación acerca de “Interacción dinámica suelo-estructura”, propone como principal objetivo una comparación de tres criterios en cuanto al diseño sismorresistente; para ello los dos primeros criterios estuvieron bajo la norma mexicana y un criterio basado en espectros envolventes de diseño. La muestra consistió en un registro stratigráfico en la zona Sur de Ciudad de México y un edificio de oficinas de 6 niveles de configuración regular. La metodología consistió en realizar un método sísmico bajo un análisis dinámico modal (ADM), el método interacción dinámica suelo- estructura (IDSE) y el método de envolventes.

Finalmente, los resultados que se obtuvieron estuvieron en función del factor de amortiguamiento de 5% al 4.64%, siendo despreciable y similar según el criterio de análisis dinámico modal y por criterio de espectros de envolvente, los valores de la aceleración resultaron mayores a lo estipulado.

La combinación de las tres técnicas descritas, aportan un valor agregado para analizar el movimiento generado por distintos niveles de sismos que permiten realizar un mejor registro de los valores obtenidos para poder diseñar o en su defecto analizar el comportamiento de una estructura en términos de la aceleración espectral.

En el estudio realizado por Martínez, L. (2015) sobre “Validación del factor de amplificación de los cocientes espectrales a partir de microtemores, para fines de mapas sísmicos de intensidad”, el objetivo fundamental fue generar un método que permita realizar mapas de amenazas sísmica. Entorno a ello obtuvieron como muestra representativa 72 estaciones que forman parte de la Red de acelerogramas de la ciudad de México.

La metodología aplicada se basó en agrupar cada una de las familias espectrales bajo el método de cociente espectral H/V de los valores extraídos de un registro de ruido ambiental o mediciones de microtemores, teniendo en cuenta también los rasgos predominantes para clasificar las microzonas de estudio, a través de las frecuencias y amplitudes de los registros. A modo de ejemplificar, analizaron los cambios que se presentan en el comportamiento dinámico del suelo que soporta la construcción de un edificio de 15 pisos, de modo que se cumpla que el periodo del suelo debería ser menor que el de la estructura estipulada para contrarrestar que se produzca el efecto de resonancia estructural. Finalmente, el ajuste de bondad que se obtuvo de los datos estuvo dentro del rango permisible de 62 a 77, validando así el método propuesto, justificando que el factor de amplificación varía dependiendo del estrato donde se registra el ruido ambiental.

Carrillo, W. (2009) en su artículo sobre “Estimación de los periodos naturales de vibración de viviendas de baja altura con muros de concreto”, propuso evaluar los periodos bajo la técnica paramétrica o modelación numérica y la técnica no paramétrica pruebas de vibración ambiental. La muestra consistió en 3 edificaciones de hasta 2 niveles, la estructura de Tipo I fue de interés social con muros de 10 cm de espesor y la estructura de tipo II corresponde a dos prototipos de viviendas con área aproximada de  $36\text{m}^2$ . Para el ensayo de vibración se tomó 8 puntos de referencias en cada vivienda mediante un servo-acelerómetro de banda ancha con amplitudes de 10 a 4, de 10 a 5 g y acondicionadores de señales. La metodología consistió en el registro por PVA (Periodos de Vibración Ambiental) en los puntos interiores y exteriores de las viviendas, para el procesamiento de la información se realizó un modelamiento en base a un análisis dinámico por el método de elementos finitos (MEF) mediante ecuaciones matriciales y diferenciales en el programa SAP 2000 y por el método de columna ancha, cabe resaltar que en esta metodología se buscó concentrar los segmentos de un muro en columnas ficticias analizadas como

estructuras esqueléticas. Ambos métodos evaluados bajo la Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el diseño por sismo de México.

Una vez registrado el muestreo, se logró comparar los resultados obtenidos en base a los periodos donde la relación del período analítico y experimental resultaron ser los adecuados en términos generales, siendo los valores analizados bajo el método de columna ancha (MCA) mayores que en el análisis por método de elementos finitos (MEF).

Mejía, N.A. (2018) en su tesis “Análisis de interacción suelo estructura en conjunto con un análisis Pushover en una edificación de 10 pisos en pórticos de concreto, en zonas lacustres de la microzonificación sísmica de Bogotá”, presenta una evaluación de las ventajas y desventajas del problema base entre la relación del suelo y la estructura en zonas lacustres en la ciudad de Bogotá. La muestra analizada fue edificio de 10 pisos con pórticos de concreto considerando el comportamiento lineal y no lineal del estrato analizado. La metodología aplicada parte desde el diseño correlacional el modelamiento estructural en dos tipos de programas de modelamiento numérico mediante un análisis estático no lineal en el programa Etabs y para el comportamiento del suelo con curvas de esfuerzo-deformación a partir de ensayos triaxiales se utilizó el programa Plaxis, a fin de realizar también una comparación se añadió un análisis elástico para la respuesta sísmica con periodos de retorno de 50, 100, 200, 300, 500 años de la ciudad de Bogotá.

Los resultados se enfocaron en los tres análisis por separado, para el análisis elástico las sollicitaciones y desplazamientos tienden a disminuir en dos de los periodos de retorno de 50 y 500 años, proponiendo así un refuerzo estructural; en el análisis lineal los valores de índice de estabilización obtenidos son menores al análisis no lineal, debido a las comparaciones realizadas el autor ratifica el nivel de influencia que tiene los materiales estructurales en la configuración estructural.

Calvo, R. (2012) en su tesis sobre “Resonancia suelo-estructura y norma de construcción sismorresistente española” tuvo el propósito de caracterizar el terreno de cimentación para ver si existe el efecto de resonancia con la estructura que proponía. La metodología aplicada parte de un registro sísmico provisto por el Municipio de Almería-España, aparte de ello parametrizó una relación entre la velocidad de ondas de corte y periodos predominantes, para realizar el cálculo de efecto de sitio. La metodología empleada se basó en el análisis dinámico modal espectral y el análisis dinámico transitorio bajo la normativa NCSE-02. La muestra representativa fueron 3 edificios de 4 plantas de 3 m de altura, para una estructura no se le consideró el efecto de tabiquería ni cerramientos, mientras que para las siguientes estructuras está presente el efecto de tabiquería; para el factor suelo se utilizó un suelo tipo S6 según la normativa española. Los resultados obtenidos se basaron en la comparación de los acelerogramas de respuesta bajo los análisis dinámicos mencionados y la NCSE-02.

Gallo et al. (2017) en su artículo presentado en el VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica 2017, realiza un alcance sobre la evaluación de los efectos de sitio con la técnica de cocientes espectrales (SSR) a partir de vibraciones ambientales. El estudio fue realizado el campus de la Universidad del Valle en Santiago de Cali-Colombia con una estación móvil de monitoreo sísmico y el registro de tres sismos, siguiendo con la metodología propuesta prosiguió al empleo del software MATLAB para procesar las señales mediante un algoritmo con frecuencias de 100 datos/segundos.

Los resultados presentaron amplificaciones altas para frecuencias mayores a 1 Hertz validando el registro presentado por el informe de microzonificación de la ciudad años atrás, la variación entre los periodos dificultando identificar las frecuencias que predominan en el suelo de estudio.

Schmidt, V. (2016) en su investigación sobre la “Aplicación de la técnica H/V en distintos emplazamientos a partir de la medición de vibraciones ambientales y de sismos”. Tuvo como objeto principal evaluar la técnica de Nakamura (1989) en 4 tipos de ensayos con la finalidad de registrar y comparar periodos fundamentales. El ensayo por vibración ambiental bajo los 4 métodos se realizó en 26 puntos de referencia cada uno con sismógrafos y acelerógrafos. Para el diseño metodológico se basó en estas 4 técnicas con el fin de registrar valores y rangos estimados de frecuencia, amplitudes y periodos fundamentales, es decir ensayos por VAA (vibración ambiental con acelerógrafos), VAS (vibración ambiental con sismógrafos), ST (sismos completos) y SOS (ventanas de 5 segundos con la llegada de ondas S).

Llegando a la conclusión que cuando se aplica un ensayo por VAA se logran mejores registros en amplitudes que si lo comparamos con un VAS, finalmente sugiere que los ensayos ST y SOS tiene mejor justificación teórico bajo los espectros de Fourier propio del cociente espectral, porque mide la efectividad en el espectro de amplificación; por otro lado en cuanto al ensayo SOS se probó que es de más fácil aplicación si se compara con un ensayo ST, fundamentando que no se requiere algoritmos especiales para reconocer las ondas S; en cuanto a los sitios de referencia llegó a la conclusión que solo 15 de ellos registran iguales amplitudes.

Cacho-Pérez et al. (2017) en su artículo sobre “Estimación de parámetros modales de estructuras civiles a partir de la función de respuesta en frecuencia”, tuvo como principal objetivo identificar los principales parámetros en cuanto al análisis modal, calculando las masas generalizadas. La muestra empleada fue una estructura tipo pasarela en la ciudad de Valladolid-España bajo ensayos OMA (Análisis modal operacional) y EMA (Análisis modal experimental). La metodología utilizada aparte de calcular las frecuencias, periodos predominantes y el factor de amortiguamiento a partir de registros de aceleración de ensayos OMA y EMA, obteniendo una representación de un sistema

dinámico modal con la técnica SSI (Identificación del sub suelo estocástico) y los modos de vibrar con la técnica FRF (función de respuestas en frecuencia) sin tener que recurrir al método más común y frecuente que es realizar un modelamiento de elementos finitos bajo softwares.

Al realizar el ensayo EMA, se priorizó como el elemento más sensible para percibir vibraciones inducidas, al vano de dicha pasarela, en este caso debido al tránsito; para ello analizó los 4 modos de vibrar calculados de forma analítica y de forma estimada. En cuanto a los test realizados, la estructura en general se basó en 9 test y bajo estos registros, se pudo concluir que solo 6 coinciden en un rango de frecuencias de 2.5 a 45 Hertz, mientras los restantes coinciden en el rango 1 a 1.5 Hertz. Finalmente, los autores expresan que, de existir incertidumbre en los resultados obtenidos, es debido a que éstos tienden a incrementar su valor, ya que la respuesta dinámica de los modos tiende a decrecer.

Auersch et al. (2014) en su estudio sobre la “Respuesta dinámica de edificaciones producida por campos de ondas incidentes considerando la interacción suelo-estructura”, parte del problema principal de realizar mejores alcances para una evaluación más sofisticada en cuanto a la interacción suelo -estructura. El estudio se realizó en un edificio de 3 plantas con un registro de ondas incidentes. La metodología fue aplicada en base a 2 tipos de métodos, el primer método es mediante el MEC o método de elementos de contorno y el segundo método fue el MEF o método por elementos finitos, una vez simulada estructuralmente, la evaluación presenta la respuesta de forjados en rangos de frecuencias de 10 a 30 Hertz, en cada uno de los métodos presenta variaciones en la influencia y el sistema de cimentación de la respuesta resonante, siendo una influencia baja en suelos cuando la rigidez de la cimentación es alta. De los resultados que se obtuvieron se validó un modelo más cercano que ratifica mejores estudios cuando se evalúa la interacción bajo el método de elementos de contorno descrito.

Corratgé Yzaguirre et al. (2020) en el artículo sobre “Influencia de la altura en la respuesta estructural de una edificación considerando la interacción suelo-estructura”, indaga el comportamiento y la respuesta estructural de 3 edificaciones con niveles muy altos de 15, 20 y 30 pisos con tipologías mixtas ubicados en Santiago de Cuba. La metodología realizada fue en base a un método estático equivalente de la NC-46: 2017 (Criterios de la norma cubana). Realizó simulaciones de estas tres estructuras con efectos de ISE (Interacción suelo-estructura) y sin ella, de modo que se pueda identificar solicitaciones de momentos, fuerzas axiales, los periodos fundamentales para cada estructura, así como derivas de entrepiso y desplazamientos. Los resultados en cuanto a la interacción suelo- estructura (ISE) presentaron valores heterogéneos, las derivas y desplazamientos incrementan; por otro lado, para la edificación con 15 niveles no se cumplió con el desplazamiento lateral permisible.

Finalmente determinaron que la altura tiene una influencia en la ISE sobre todo en la existencia de suelos blandos, precisando que al incrementarse los niveles de alturas se registra disminución del efecto ISE en los desplazamientos, esto con el fin de no incrementar los valores de los periodos de las estructuras.

González Herrera et al. (2020) en su artículo estudio el “Efecto de sitio en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, un determinante en los daños históricos en edificaciones”, tuvo como objetivo primordial realizar un alcance a partir de las principales causas generadas en edificios por acciones sísmicas a través de información de registros por sismos de la historia de México. Para la formulación de la base de datos fue primordial analizar reportes de protección y de data histórica, para el sismo del 7 de setiembre del 2017 se recopiló trabajos de campos realizados en la microzonificación de México, en base a la información geográfica para la caracterización del sitio, el siguiente evento considerado fue del 23 de setiembre de 1902, lo cual generó muchos daños importantes por las carencias en construcción de la época catalogándose como muy

perjudicial. El siguiente evento analizado fue del 21 de octubre de 1995 con registros de sismos severos, los daños generados ocasionaron fallas estructurales importantes en las edificaciones.

En términos generales, el sistema estructural que sufrieron mayores daños fueron los de mampostería confinada debido a que la mayor cantidad de estas edificaciones cuenta con alturas que no está dentro de los parámetros de zona permisible, existiendo coincidencia con el periodo del suelo y por ende se genere el fenómeno de resonancia estructural, definiendo valores predominantes para identificar los periodos de vibración en el tipo de sistema estructural analizado.

## **2.2 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio**

### 2.2.1 Normas

2.2.1.1 Normas Nacionales. Para la presente investigación se utilizan las siguientes normas:

- Norma Técnica E 0.30 Diseño Sismorresistente
- Norma Técnica E 0.20 Cargas
- Norma Técnica E 0.60 Concreto Armado

### 2.2.1.2 Normas Internacionales

- Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismo 2017-México
- Manual de Diseño de Obras Civiles (CDS-MDOC-CFE)- 2015
- ASCE/ SEI 7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures

### 2.2.2 Causa y efecto de eventos Sísmicos

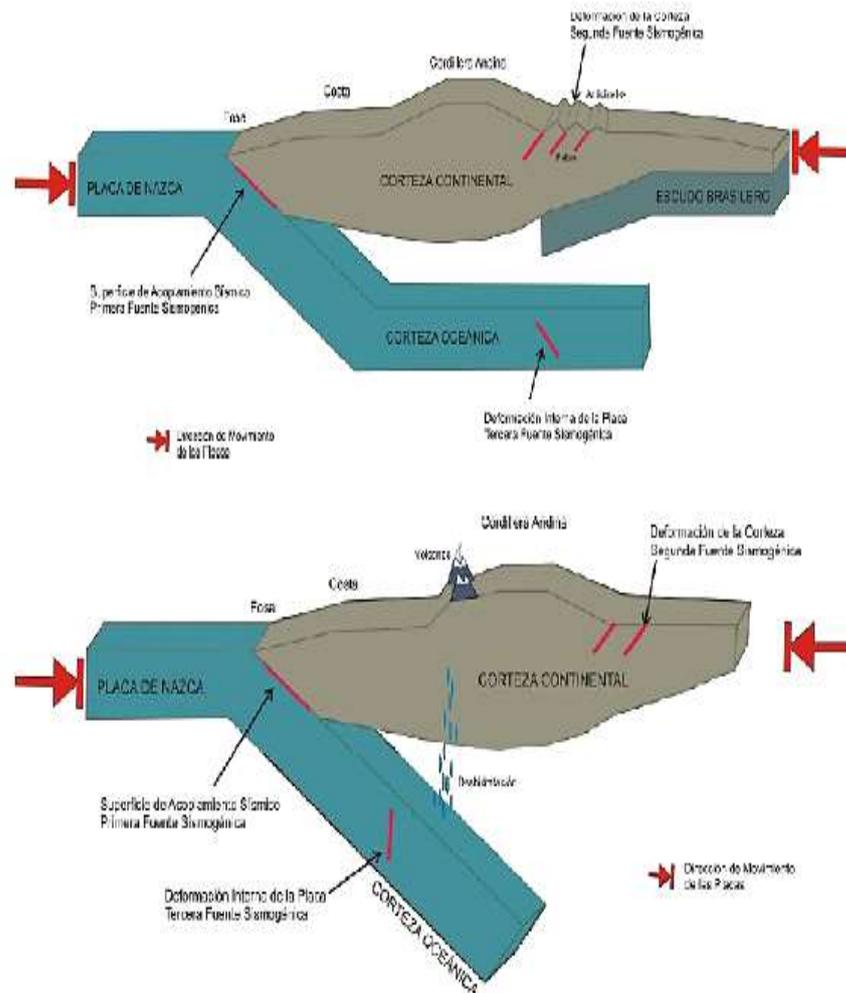
En el estudio realizado por Bazán & Meli (2004), las presiones que se generan en la corteza por los flujos de magma desde el interior de la tierra llegan a vencer la fricción que mantiene el contacto los bordes de las placas y producen caídas de esfuerzos y liberación de enormes cantidades de energía almacenada en la roca. La energía se libera principalmente en forma de ondas

vibratorias que se propagan a grandes distancias a través de la roca de la corteza.

Tavera (2014), describe que la colisión de las placas Nazca y Sudamericana producen el levantamiento de la cordillera y generan sismos de diferentes magnitudes en la superficie de acoplamiento sísmico. En las regiones norte-centro del Perú, el escudo brasilero produce el plegamiento de las capas superficiales como se aprecia en la Figura 1, para formar anticlinales y fallas geológicas.

Figura 1

Esquema de Subducción y Ubicación de Fuentes Sismogénicas



Nota. Adaptado de “Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en el Perú” (p. 8), por Tavera, 2014.

La placa de Nazca se introduce debajo de la cordillera de manera casi horizontal y por acción de fuerzas internas se fractura y genera sismos, produciéndose además procesos de licuación de suelos de manera frecuente en la superficie. En la región Sur, el modo diferente de producirse la subducción trae como consecuencia la presencia de volcanes.

Por otro lado, esta placa lleva en su interior agua que se evapora por el incremento de la temperatura a mayor profundidad, se mezcla con los minerales presente en el manto y por densidad, asciende a superficie para formar los volcanes. Estos últimos representan ser un peligro adicional para la región del Sur (p.8).

### 2.2.3 Registro Sísmicos

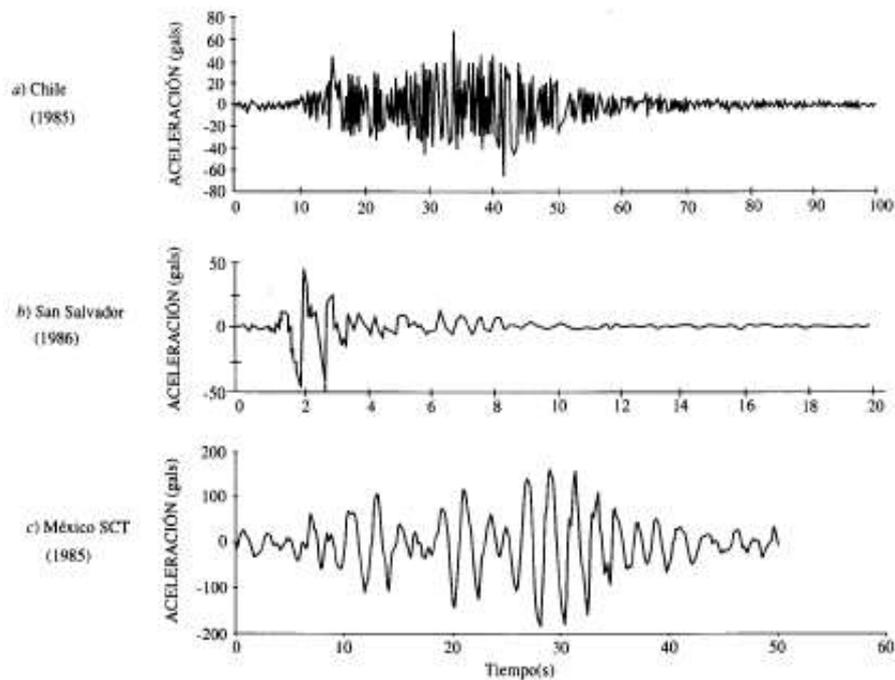
Bazán & Meli (2004) resaltan que una de las principales herramientas para el registro sísmico son los sismógrafos, puesto que determinan epicentros y mecanismos focales. En los últimos años estos aparatos han generado grandes aportes permitiendo avances en el conocimiento a través de los registros sísmicos inducidos en las construcciones encontrando parámetros para evaluar la capacidad y respuesta estructural.

Por otro lado, los acelerógrafos contienen sensores que registran en tres direcciones la vibración del terreno, de los cuales dos son de tipo horizontal y una de tipo vertical, como se aprecia en la Figura 2.

Para el cálculo de la intensidad del movimiento, las aceleraciones máximas cumplen un papel muy importante, de igual modo la duración de la fase interna de la vibración está presente. Finalmente, las frecuencias registradas como la rapidez de la variación de las direcciones reflejan los espectros de respuesta encontrándose la analogía que “mientras más cercanos sean los periodos dominantes del movimiento del suelo y el período fundamental de vibración de la estructura, más críticos serán los efectos del sismo” (p.21).

Figura 2

Acelerogramas de Tres Movimientos Sísmicos Típicos



Nota. El gráfico registra aceleraciones espectrales en Chile, San Salvador y México. Tomado de “Diseño Sísmico de Edificios” (p. 8), por Bazán & Meli, 2004.

Definidas como las perturbaciones aleatorias registradas por aparatos sismográficos, las fuentes que generan estas señales están presentes en el ruido de la zona, ya sea el tráfico, actividad humana, el aire, siendo el oleaje y la vibración de las estructuras como las fuentes principales (Ramos, 2017, pp.15-17).

La Tabla 1 muestra la distribución de las fuentes de ruido y el rango de frecuencias de oscilación, siendo muy notoria las variaciones mayores a 1 Hz , debido a la actividad humana que se genera (Lehujour et al., 2015).

Tabla 1

Rangos de Frecuencias de Algunas Fuentes de Ruido Conocido

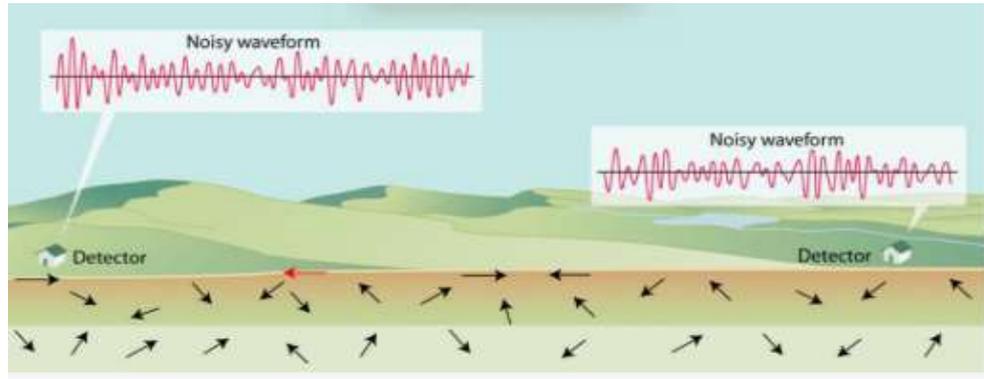
<b>Frecuencias</b>	<b>Fuente</b>
$1 \times 10^{-6}$ - $1 \times 10^{-3}$ [Hz]	Atracción Newtoniana. Movimiento de masas de aire en la atmósfera local
2 -7 [mHz]	"Zumbido", coincide con los modos fundamentales esferoidales (s.f)
7 y 30 [mHz]	Ondas Rayleigh aun circulando
	0.033- 0.1 [Hz]
	Oleaje viajando en la misma dirección.
0.033- 0.25 [Hz]	Micro sismicidad
	0.25- 0.1 [Hz]
	Oleaje en diferentes direcciones.
	Marina
	Principalmente antropogénico:
	-Oscilaciones de árboles
	-Automóviles
	-Motores
	-Actividad humana o animal
	-Viento

Nota. Adoptado de "Tomografía de ondas superficiales obtenidas con el método de correlación cruzada de ruido sísmico" (p. 15), por V. Ramos, 2017.

Estas señales registradas provenientes de fuentes aleatorias que tienen viajes en diversas direcciones en el sitio dónde se realiza el registro, en la Figura 3 se muestra las direcciones de las señales que se propagan, resultando casi invariable que exista al menos una onda que cruce las señales recogidas por los dos detectores o sismógrafos.

Figura 3

### Uso del Ruido en Sismología



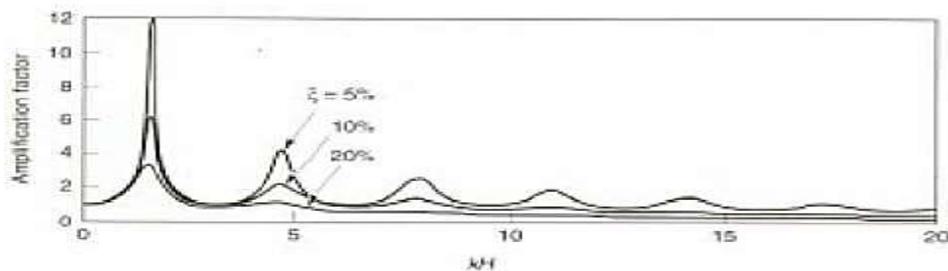
Nota. En el esquema se simplifica un campo de ondas dispersándose de forma aleatoria. Tomado de "Seismic Noise" (p.2), por R.Weaver, 2014.

#### 2.2.4 Funciones de Transferencia Teórica

El siguiente método se basa en el análisis propuesto por Thompson-Haskell en 1962, lo cual se enfoca en modelar el sitio específico como si fuese un solo estrato bajo el régimen elástico y sin factor de amortiguamiento del suelo; se diferencia de la función empírica en que los valores de amplitudes son un número infinito (efecto de resonancia) que oscilan entre las siguientes frecuencias:  $\pi/2 + n\pi$ . No obstante, debido a la capacidad que posee del suelo para amortiguar movimientos y oscilaciones en un contexto más real, existen amplificaciones, pero sin tendencia infinita como se representa en la Figura 4 lo cual representa que el factor de amortiguamiento en este caso no es nulo (Trigo, 2007, pp. 15-17).

Figura 4

### Función de Amplificación de Suelo Rocoso



Nota. En la figura se identifica factores de amortiguamiento no nulo. Tomado de "Influencia de la Amplificación local de las ondas sísmicas", por T. Trigo, 2007.

De la gráfica mostrada se puede diferir que las frecuencias naturales del suelo dependen tanto como de la Onda S ( $V_s$ ) y del espesor del estrato H:

$$\omega_n = \frac{V_s}{H} * \left( \frac{\pi}{2} + n\pi \right), \text{ si } n = 0, 1, 2, \dots, \infty \quad (2.1)$$

Si:  $n=0$ ; el período se obtiene como la siguiente expresión:

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = \left( \frac{4H}{V_s} \right) \quad (2.2)$$

Finalmente, la frecuencia bajo los parámetros H y  $V_s$  es la inversa del periodo fundamental:

$$f_0 = \frac{1}{T_0} = \left( \frac{V_s}{4H} \right) \quad (2.3)$$

### 2.2.5 Funciones de Transferencia Empírica

Existen 3 técnicas empíricas conocidas como: Técnica Estándar (Standard Spectral Ratio, SSR) propuesta en 1970 por Borchardt, cuyas consideraciones están dados en ensayos de mediciones con estación de referencia en estratos únicamente rocosos, con velocidad de onda S mayor igual a 700 m/s. La técnica aplica el espectro matemático de Fourier con respecto a un sitio en referencia en especial, lo cual condiciona a tener una estación de referencia (Martinez, 2015).

La siguiente técnica es conocida como HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) propuesta por Nakamura, analizado bajo el espectro de Fourier en función de las componentes verticales y horizontales, una de sus principales ventajas es que no requiere una estación fija, pero se condiciona por la magnitud de sismos con los que solo se puede analizar para sismos leves y moderados (p. 23-25).

Ritta et al. (2012) La técnica con mayor énfasis en registros por vibración, es la HVNR (Horizontal to Vertical Noise Ratio) o el cociente espectral H/V,

propuesta por Nakamura al igual que la HVSR es la que mejor ventaja tiene puesto que si se expresa como una sumatoria de los movimientos de las ondas de cuerpo y las ondas superficiales puede también ser expresado en función del movimiento en la componente horizontal ( $H_f$ ) y la componente vertical ( $V_f$ ) del basamento rocoso. Por lo tanto, para ambos componentes resulta ser analizados en el dominio de la frecuencia, siendo  $H_f(\omega)$  y  $V_f(\omega)$  la transformada de Fourier (pp. 8-10).

Para el cálculo de los periodos en ambos componentes en función de espectros en el basamento rocoso:

$$T_h(\omega) = \frac{H_f(\omega)}{H_b(\omega)} \quad (2.4)$$

$$T_v(\omega) = \frac{V_f(\omega)}{V_b(\omega)} \quad (2.5)$$

Debido a que resulta un tanto dificultoso generar espectros en estratos rocosos, Nakamura plantea el cociente H/V en función de los periodos y frecuencias del suelo:

$$T_h(\omega) = \frac{T_h(\omega)}{T_v(\omega)} = \frac{H_f(\omega)}{V_f(\omega)} \quad (2.6)$$

### 2.2.6 Efecto de Sitio

Cuando se realice un estudio de diseño de cualquier obra de ingeniería, el sitio de referencia debería estar bajo un suelo donde predomine la roca dura, de este modo la amplificación del movimiento sería mucho menor que ante un suelo blando, por lo tanto, a estas amplificaciones que sufren las ondas de vibración en el transcurso hasta llegar al terreno superficial se le conoce como el efecto de sitio, generando una variación en los registros de vibración con respecto a la actividad en suelos (Febres, 2019, pp. 64-66).

Lermo & Chávez-García (1993) describieron que cuando ocurra una acción sísmica existirá variaciones en las señales dependiendo del tipo de suelo estudiado, así como también los parámetros de amplitud y frecuencias de las mismas ondas cuando se propagan en diversos estratos.

Para el análisis del efecto los registros obtenidos por ensayos de vibración ambiental predominan ante otros ensayos más invasivos donde se requiere analizar y determinar a fondo las propiedades mecánicas del suelo en estudio (González Herrera et al., 2020).

#### 2.2.7 Interacción Suelo- Estructura

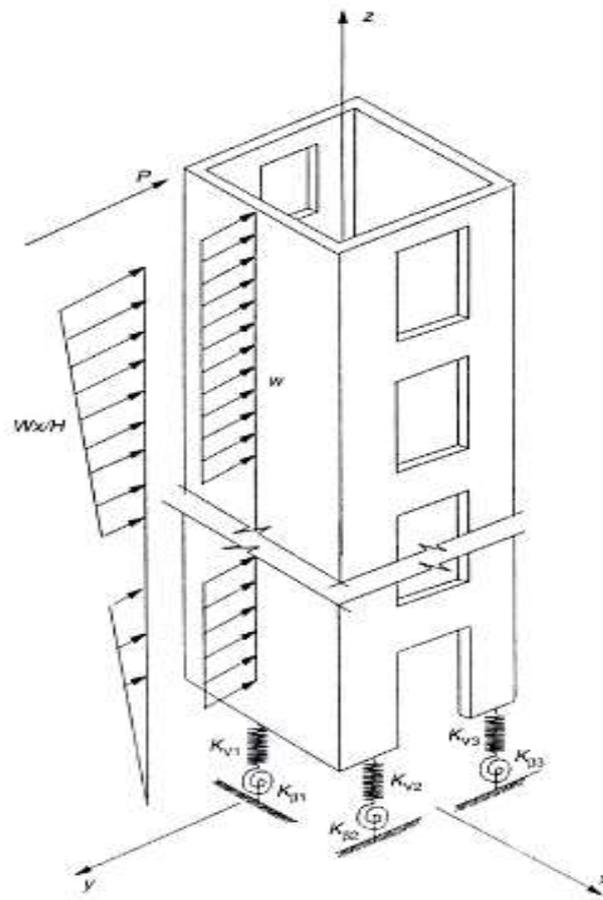
Según Espinoza (2016) analizar esta relación en conjunto requiere de información de registros de aceleraciones en la estructura, con la finalidad de que los modelos estructurales que se consigan luego de los respectivos cálculos y análisis sísmicos aporten un mejor desarrollo matemático como el siguiente ejemplo, donde el factor suelo está representado como resortes.

Por otro lado, al realizar una simulación hay que tener un especial cuidado en variaciones de frecuencias y la influencia de los niveles de pisos. Uno de los métodos más conocidos fue propuesto por Safak (1995), donde se pone de manifiesto los registros por micro trepidaciones, teniendo como fuente a los terremotos y validando así la importancia de realizar un mejor tratamiento de las señales recogidas, ya sea con filtraciones numéricas y correcciones de línea base.

En la Figura 5, se muestra dos tipos de resortes en función de toda la estructura, los parámetros de resorte  $K_v$  conocido como resortes por rigidez elástica y  $K_\beta$  como resortes de rotación efectiva. ambos factores fueron planteados para la aplicación del método de fuerzas discretas en edificios altos (Nadjai et al., 1999).

Figura 5

Modelo de la Interacción Suelo-Estructura

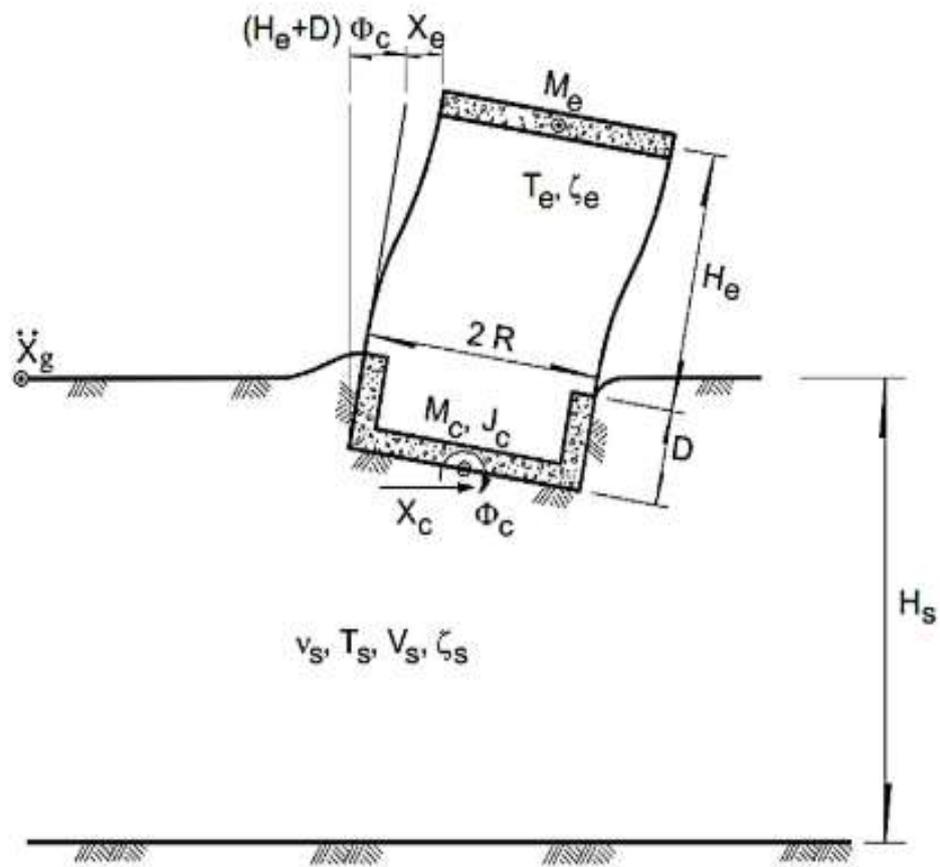


Nota. Tomado de “Soil – structure interaction” (p. 4), por Nadjai & Lyness, 1999.

Coyolt, C. (2016) define esta relación en base a los registros de vibración que se producen en el suelo y la estructura ante acciones dinámicas, es decir surge de darle un mayor relevo y fijarnos en primera instancia al comportamiento dinámico de la base, por consiguiente, conocer su respuesta y correlacionarlo con la respuesta estructural. La Figura 6 se caracteriza por tener a una estructura con varios grados de libertad y su representación está definida como un oscilador que trabaja en conjunto con el suelo donde se asienta, conociéndose un comportamiento homogéneo ante las sollicitaciones sísmicas que perciben (p. 32).

Figura 6

Representación del Efecto Suelo-Estructura para el Modo de Vibración

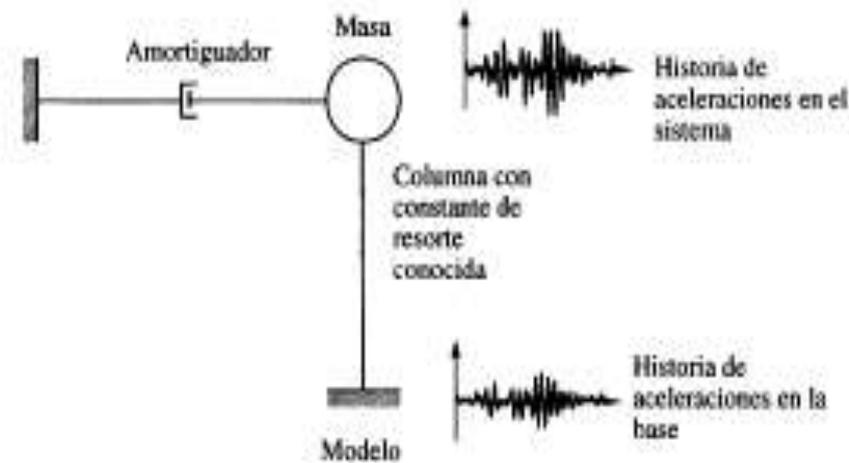


Nota. Adaptado de "Updated guidelines for the seismic design of buildings in the MOC-2008 code of Mexico", por Tena-Colunga et al., 2008.

Una demostración aproximada de la respuesta sísmica de una estructura se tiene al estudiar un modelo simple del sistema de un grado de libertad como se aprecia en la Figura 7, constituido por una masa concentrada y un elemento resistente con cierta rigidez lateral y cierto amortiguamiento.

Figura 7

Modelo de un Sistema de un Grado de Libertad



Nota. Adaptado de “Diseño Sísmico de Edificios” (fig. 1.15), por Bazán & Meli, 2004.

En Bazán & Meli (2004) se describe que, cuando los movimientos del suelo son bruscos con predominio de ondas de periodo corto, resultan más afectadas las construcciones rígidas y pesadas. Cuando el movimiento del terreno es lento, con periodos dominantes largos es en las estructuras altas y flexibles donde se amplifican las vibraciones y se generan aceleraciones más elevadas y por ende las fuerzas de inercia resultan ser mayores (pp. 8-10).

De acuerdo a Boroschek (2009), cuando el suelo se mueve de acuerdo al eje de simetría las masas de la estructura con 1 GDL, se aceleran y en cada diafragma aparece una fuerza de inercia.

Por la 2 ° Ley de Newton se tiene que la sumatoria de las Fuerza ( $F_E$ ) están en función de la masa y aceleración absoluta, de aquí que se desprende las siguientes ecuaciones en relación con el Principio de D'Alembert:

$$\Sigma \vec{F} = M \cdot \ddot{U}_{abs} \quad (2.7)$$

Siendo  $M$ , la masa y  $\ddot{U}_{abs}$ , el desplazamiento absoluto de la masa de la estructura. De este modo se obtiene la relación de las fuerzas de amortiguamiento, restitutiva y de inercia:

$$-F_D - F_S + p(t) = M \cdot \ddot{U}_{abs} \quad (2.8)$$

## 2.2.8 Análisis Sísmico Dinámico

Al realizar el análisis dinámico modal espectral es imprescindible calcular los modos de vibrar y los periodos de la estructura, por consiguiente, realizar un análisis sísmico, requiere de la aplicación de diversas ecuaciones dinámicas donde se pueda distinguir también las propiedades de amortiguamiento de las estructuras.

Existen tres tipos de análisis dentro del rango dinámico: el análisis modal, el análisis lineal y el análisis no lineal, la diferencia entre estos tres tipos de análisis radica en el comportamiento estructural, la definición de la excitación sísmica y los cálculos que se deben de realizar para la evaluación del espectro de diseño (Bazán & Meli, 2004, p. 238).

### 2.2.8.1 Parámetros empleados para el análisis espectral

El comportamiento adecuado de una edificación de concreto armado tiende a que ante un sismo de gran magnitud se consuma un porcentaje de su ductilidad por lo que se espera un comportamiento no lineal evaluado bajo un sistema de desempeño.

Por lo tanto, inicialmente se debe predecir la respuesta  $U(t)$  de un sistema de un grado de libertad a través de una fuerza elástica  $K.u(t)$ , a un espectro de respuesta frente a cargas sísmicas reales o artificiales, mediante la ecuación dinámica generalizada.

$$M.\ddot{u}(t)+C.\dot{u}(t)+K.u(t)=-M.\ddot{u}_g(t) \quad (2.9)$$

La Norma Técnica E 030 “Diseño Sismorresistente” establece en el Art. 29:

- Modos de Vibración: Considera las características de rigidez y masas.
- Aceleración espectral: Se determina el espectro inelástico de pseudo-aceleraciones mediante:

$$S_a = \frac{Z.U.C.S}{R} \cdot g \quad (2.10)$$

Dónde:

Z: Factor de zona

U: Factor de uso e importancia

C: Factor de amplificación sísmica

S: Factor de amplificación de suelo

R: Coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas

g: Aceleración de la gravedad

Vistos desde el punto de la ingeniería, no se diseña una estructura para comportarse elásticamente durante un evento sísmico, por lo que se tiene en consideración la disipación de energía al incursionar en su rango inelástico, modificando el espectro elástico para obtener un espectro en el rango inelástico usando factores como la importancia del edificio y las deformaciones permanentes de la estructura evitando el colapso.

Newmark y Hall (1982) mostraron que, en estructuras de periodos cortos, la reducción de la fuerza elástica requiere una ductilidad excesiva, mientras que para periodos intermedios el factor de reducción se calcula como:

$$\frac{1}{\sqrt{2\mu - 1}} = \frac{1}{R} \quad (2.11)$$

Siendo  $\mu$  la ductilidad de la estructura y R el factor de modificación de respuesta.

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{R} \quad (2.12)$$

El ATC-3 (Applied Technology Council) adopta el método de modificar el espectro elástico por un valor constante obtenido de forma empírica. Para ello se debe tener en cuenta los siguientes parámetros sísmicos:

Zonificación sísmica.

La amenaza sísmica local está en función de un terremoto, que al propagarse por en el suelo se amplifica y llega en forma de excitación sísmica. En base a la definición del ATC-3 el factor de zona indica la amenaza sísmica de sitio, asociado a la probabilidad de excedencia del 10% excedida en un lapso de 50 años, para un periodo de retorno de 465 años y el valor que tome multiplicado por la gravedad representa la aceleración pico efectiva. Este factor se muestra en la Normativa Sismorresistente E 0.30, como el factor Z en indicado en art. 10 como zonificación, mientras que a diferencia de la Normativa Americana (ASCE 7-16) se hace una evaluación con la respuesta de un sistema de 1GDL con un amortiguamiento de 5% obteniendo un mapa de isoaceleraciones con valores en porcentajes de la gravedad.

Perfiles de suelo y condiciones geotécnicas.

Las ondas sísmicas en roca no se amplifican si el suelo local es estable, pero si es blando, la amplificación tiene mucha relevancia. Por ello el NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program), evalúa según la velocidad media de la onda de corte ( $V_s$  m/s), a los 30 m superiores del perfil del suelo, mediante ensayos de muestras tomadas cada 1.5 m, teniendo cinco tipos de suelo (MVCS, 2018), mientras que en la Normativa ASCE 7-16 se incluye 06 tipos de perfiles de suelo. En suelos donde lo anterior no brinda un grado aceptable de certeza (arcillas, arenas, etc.) se usan los ensayos de penetración estándar, índice de plasticidad y contenido de agua para poder clasificarlo y deberá ser realizado por un ingeniero geotécnico. Habiéndose clasificado el suelo local en estudio se puede hacer una evaluación con la zonificación, para la obtención del coeficiente de sitio que reducirá el efecto sísmico. La norma ASCE 7-16 (Tabla 11.4.-1, 11.4-2) hace una distinción para parámetros de sitio mediante el periodo corto y/o largo.

Factor de amplificación sísmica.

Considerando que la aceleración máxima que recibe un edificio en su cimentación puede aumentar o no, de acuerdo con su período de vibración  $T$  y su amortiguamiento (5%). La norma E.030 considera este efecto con el factor de amplificación sísmica  $C$ , que se calcula con lo indicado en el artículo 2.5 y el valor necesario del periodo “ $T$ ”, es calculado con lo indicado en el artículo 4.5.

Factores de importancia.

Este coeficiente indica el nivel de seguridad y funcionabilidad requerida posterior a un evento sísmico importante. La mayoría de las normativas se basan en lo indicado por las normas americanas y mostradas en la tabla 1.5-1 de la ASCE 7-16, donde se tiene 4 categorías de edificaciones desde esenciales que tienen que mantener su funcionalidad siempre hasta edificaciones de bajo riesgo para la población.

Coeficiente de reducción sísmica.

Para el comportamiento inelástico ante cargas dinámicas de cualquier estructura, existen esencialmente tres factores importantes: ductilidad ( $\mu$ ), sobre resistencia ( $\Omega$ ) y la redundancia ( $\rho$ ), asociados a un componente de factor  $R_o$ :

$$R_o = R_{o\mu} * R_{o\Omega} * R_o \quad (2.13)$$

Para el cálculo de  $R_{o\mu}$ , Newmark y Hall (1982) encontraron la siguiente relación para dos casos predominantes: Para estructuras con periodos mayores a 1s, existe una relación simple y directa entre el factor  $R_o$  y la ductilidad siendo:

$$R_{o\mu} = \mu \quad (T > 1s) \quad (2.14)$$

Mientras que para periodos cortos ( $0.12s < T < 0.5s$ ), la relación es de:

$$R_{o\mu} = \sqrt{2\mu - 1} \quad (2.15)$$

En los rangos no cubiertos Newmark y Hall indicaron  $R_{o\mu} = 1$  ( $T < 0.03s$ ) y una interpolación para los valores de  $T$  entre 0.03 y 0.12 segundos. Estudios posteriores han validado estas afirmaciones, por lo que las normas consideran sólo el factor de ductilidad  $R_{o\mu}$ , en el caso de la Normativa Peruana, ésta se ve afectada por coeficientes de irregularidad en planta y en altura, para el ASCE 7-16 valores de  $R_{o\rho}$  iguales a 1 para estructuras sin irregularidades y 1.3 para estructuras con irregularidades (Art. 12.3.4). Tanto los factores  $R_{o\Omega}$  y  $R_{o\rho}$  suelen aplicarse en el valor del efecto sísmico en las combinaciones de diseño, más no del análisis por tratarse de consideraciones no lineales.

La resistencia real de toda estructura suele ser mayor a la de diseño, por lo que dicha sobre resistencia es posible realizarlo mediante un análisis elástico no lineal. Por lo que  $R_{o\Omega}$ , se calcula como el coeficiente entre el cortante basal máximo alcanzado en su estado límite y la de diseño:

$$R_{o\Omega} = \frac{V_u}{V_{diseño}} \quad (2.16)$$

Por otro lado, aún no se puede establecer ciertos valores característicos para diferentes sistemas estructurales, por lo que un análisis no lineal resulta muy importante pese a que su procedimiento obligatorio aún se implementa. Los estudios demuestran que la redundancia tiene relación con la cantidad de elementos verticales resistentes y las rótulas necesarias.

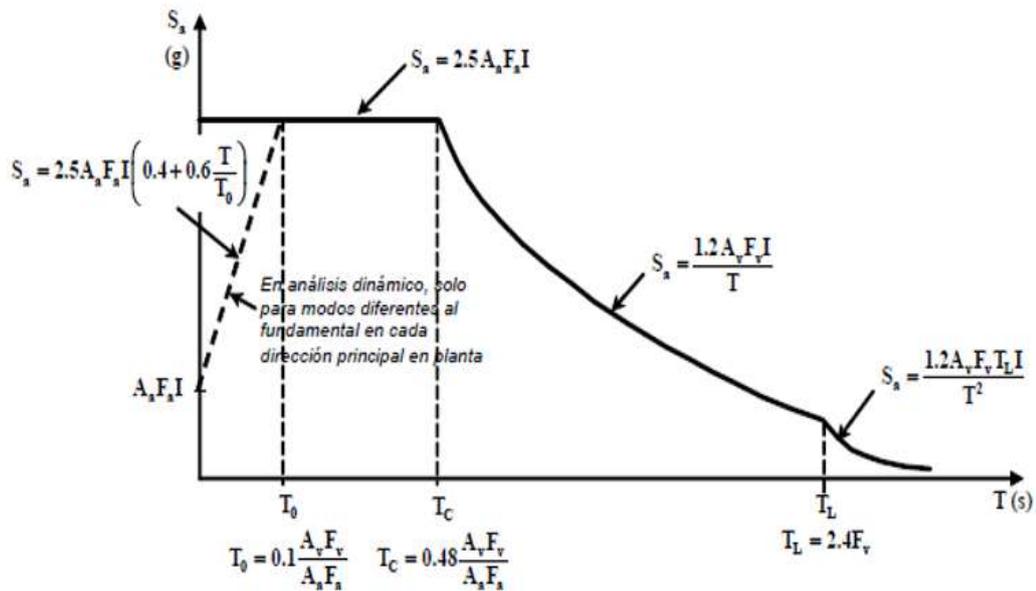
#### 2.2.9 Espectros de diseño

El espectro de respuesta describe el efecto de una acción sísmica por cada uno de los grados de libertad presentes en una edificación. Al determinar un registro de ondas en vibración, los valores a determinar son la Amplitud y el Período, identificando a la amplitud como el valor mayor registrado en aceleraciones y velocidades, mientras que el periodo medido en segundos para realizar oscilaciones. Las normativas vigentes determinan a los espectros a partir de la energía que se libera y se disipa mediante distancias, con la consideración sean analizados para sismos cercanos y no figurarlos en sismos muy severos con condiciones críticas. La Figura 8 , se muestra como una forma de ejemplificar un espectro de diseño sísmico que difiere en que la aceleración está en función del periodo fundamental de la estructura y de los diferentes modos de vibrar, cabe resaltar que para el periodo fundamental la rigidez es uno de los factores participativos en conjunto con la altura y masa de la estructura (Domínguez, 2014, pp. 7-14).

El grado de influencia del amortiguamiento nos da mejor registro de variación de estos espectros, por consiguiente, se puede identificar en el espectro de diseño un ensanchamiento en los picos bajo los parámetros del análisis espectral en función de las características locales del suelo y un amortiguamiento del 5%, empleando un estudio estadístico mejorando estos espectros y aceptados por la mayoría de las normativas sismorresistentes (Bozzo & Barbat, 2000).

Figura 8

Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño NSR-10



Nota. El espectro está en función de un 5% de amortiguamiento crítico. Tomado del “Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente NSR-10”.

### 2.3 Definición de términos básicos

- 1) Acelerómetro: Es una herramienta que registra aceleraciones producto de movimientos y vibraciones del terreno.
- 2) Amplitud: Es la distancia desde un punto de equilibrio o un plano de referencia hasta la cresta de una onda sísmica.
- 3) Cargas Dinámicas: Estas cargas dependen en sí del factor tiempo, posición y magnitud para la generación de la respuesta dinámica.
- 4) Ductilidad: Esta propiedad con respecto a los edificios, se representa por la capacidad de soporte de este ante las deformaciones frente a cargas laterales.
- 5) Espectro de respuesta elástica: Respuesta máxima en función de los periodos ante un movimiento sísmico de un sistema de un grado de libertad.
- 6) Gal: Unidad de medida que corresponde a la aceleración en un análisis modal en centímetros por el tiempo en segundos (cm/seg<sup>2</sup>).
- 7) Inercia: Propiedad de resistencia que presenta una estructura ante movimientos oscilatorios de un sismo.
- 8) Interacción Inercial: Relacionado a un aplazamiento del período de la estructura

con respecto a las variaciones del amortiguamiento.

- 9) Microtremores: Mediciones de los movimientos en forma oscilatoria que son producto de vibraciones en el ambiente ya sea por fuentes generados y naturales.
- 10) Onda Sísmica: Oscilaciones o perturbaciones en el movimiento que se propagan desde una fuente de medio elástico hasta llegar a la fase de disipación.
- 11) Ondas de Cuerpo: Conocidas por su forma de propagación que parten desde el interior de la tierra, a través de medios presentes en estados sólidos, líquidos o gaseoso. Se dividen en las ondas P, también llamadas ondas primarias y ondas S también llamadas ondas secundarias.
- 12) Período Fundamental: Es el parámetro más importante para diseñar una estructura en torno a la seguridad estructural depende específicamente de la amplificación.
- 13) Resonancia estructural: Fenómeno que se produce cuando existe coincidencia en torno a los periodos del suelo y estructura como parámetros fundamentales.
- 14) Rigidez: Capacidad de resistencia de cualquier elemento estructural frente a fuerzas externas, reduciendo las desviaciones y calculándose las deflexiones producidas.
- 15) Sismo: Liberación de energía acumulada que se propaga en forma de ondas hasta llegar a la superficie.
- 16) Sistema de un grado de libertad: Sistema donde solo un tipo de movimiento es el adecuado definiendo la posición en una sola coordenada.

## **2.4 Formulación de hipótesis**

### 2.4.1 Hipótesis General

Si los periodos de vibración en una edificación de concreto armado coinciden con el periodo del suelo, la influencia del efecto de sitio se incrementa.

### 2.4.2 Hipótesis Específicas

- a) Si se analiza un registro de ensayo de vibración ambiental, se determina valores más ciertos en los modos de vibración del suelo.
- b) Si determinamos un método empírico adecuado, se puede evaluar los rangos de las amplitudes y frecuencias de vibración del factor suelo.

c) Al generar familias espectrales se determina con mayor precisión el periodo promedio del suelo.

d) Al realizar un modelamiento de elementos finitos y el análisis sísmico se estima valores reducidos en los periodos y modos de vibración de una edificación de concreto armado.

### 2.4.3 Variables de la investigación

#### 2.4.3.1 Definición conceptual de las variables

X: Efecto de sitio

La siguiente variable se define como variaciones en la característica dinámica en el terreno de estudio, a través de una amplificación de señales sísmicas naturales o simulados, esta característica es analizada por técnicas de medición ambiental obteniéndose parámetros como la frecuencia, periodos y velocidades de ondas S que predominan en la vibración del suelo.

Para analizar cuantitativamente la amplificación sísmica en el suelo se requiere fijar el sitio referencia y se analiza las causas y corrección de esta amplificación.

Cuando el comportamiento resulte aceptable y no exista el fenómeno de resonancia la influencia que tiene el efecto de sitio es despreciable a las correcciones. En otras palabras, no se busca describir a un suelo blando como gran amplificador de una señal sísmica sino describir que tan perjudicial puede resultar un suelo de diseño si los periodos de vibración se acercan al periodo predominante de la estructura (Calvo Díaz, 2012, p. 3).

Y: Simulación de una edificación de concreto armado

Se define como la variable dependiente en el estudio, referido al modelamiento de una estructura de concreto armado de baja altura según el reglamento de parámetros urbanísticos y edificatorios en el distrito de la Molina (2016) para el uso de vivienda de baja altura condicionado a niveles menores de 3 pisos, permitiendo en este caso el análisis modal a

través de los vectores propios definidos por la estructura definiendo así las funciones de espectros de respuesta.

#### 2.4.3.2 Operacionalización de las variables

En la Tabla 2 mostrada se describe la operacionalización de la variable independiente y dependiente de acuerdo con la escala de medición de los valores encontrados.

Tabla 2

Matriz de Operacionalización de Variables

<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Índices</b>	<b>Escala Valorativa</b>	<b>Instrumentos</b>
Efecto de sitio (Variable Independiente)	Señales del ensayo de vibración ambiental (EVA)	Amplitudes	veces	Registro del Sismómetro de bancha ancha
		Frecuencias	Hertz	
		PGA	m/s <sup>2</sup>	Geopsy 2.9.0
Simulación de una edificación de concreto armado (Variable Dependiente)	Método de elementos finitos (MEF)	Periodos de vibración estructural	segundos	Norma Sismorresistente NTE E 0.30
	Análisis modal espectral	Aceleración	cm/s <sup>2</sup>	Norma Técnica NTE 0.60 Norma Técnica NTE 0.20
				Etabs v 16.2.1

Fuente: Elaboración Propia

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1 Tipo y nivel de investigación**

#### 3.1.1 Tipo

El presente estudio es de tipo investigación aplicada, porque se sugiere comprobar y analizar una respuesta ante un problema (Hernández et al., 2010), en este caso mediante el procesamiento de datos obtenidos de un registro de ruido ambiental y por otro lado la simulación numérica de una estructura de concreto armado a fin de validar una relación causal de periodos entre ellas.

#### 3.1.2 Nivel

El nivel de investigación es explicativo, porque se analiza la interacción suelo-estructura como causa y efecto, además de que el registro de medición sirve como factor causal para la simulación. Por lo general este nivel tiende a generalizar los conceptos, buscando el control y la estructuración de ambas variables, que en el presente estudio es lo que se requiere, a partir de la influencia del efecto de sitio en las estructuras de concreto armado (Hernández et al., 2010, p.73).

### **3.2 Método y diseño de la investigación**

#### 3.2.1 Método

El método de la investigación es de alcance explicativo con un enfoque cuantitativo, al ser un estudio medible y propio de un contexto real (Kerlinger & Lee, 2002), se realizó un estudio de la información numérica en la convolución de espectros de la data extraída del ensayo de vibración ambiental por microtemores y posteriormente con un modelamiento numérico de una estructura de concreto armado.

#### 3.2.2 Diseño

El diseño es la estrategia para la obtención de la información que se desea, bajo un enfoque cuantitativo donde se requiere dar a o no certeza a las hipótesis (Hernández et al., 2010, p. 193).

El diseño de la investigación es no experimental y transversal, porque se manipulan los datos extraídos de un ensayo de vibración en el distrito de la Molina generado por esas pequeñas perturbaciones aleatorias en ausencia de una fuente activa in situ, transversal porque describimos la incidencia de las variables en un momento dado para posteriormente analizar la incidencia que tiene la variable independiente, en este caso el efecto de sitio sobre la variable dependiente, es decir, la influencia generada hacia la estructura de concreto armado configurada para la zona donde se recabó la data.

### **3.3 Población y muestra**

#### **3.3.1 Población**

Según Hernández et al. (2010) la población es el conjunto de diversos casos que tienen un fin común, es decir concordar con características específicas en un contexto de lugar y tiempo específico, en este caso la población se define como las todas las señales del registro de ruido ambiental existente en el distrito de la Molina y todas las edificaciones de concreto armado.

#### **3.3.2 Muestra**

Es el subgrupo de todos los elementos pertenecientes al grupo o en su defecto el conjunto población, pretendiéndose que sea un reflejo del mismo (Hernández et al., 2010, p. 175). Para el presente estudio, la muestra está constituida por 17 registros de ruido ambiental en el distrito de la Molina y 1 estructura de concreto armado de 4 niveles con uso destinado a viviendas.

El tamaño de la muestra es apropiado puesto que toda la investigación está en torno a la interacción que debe de tener el suelo-estructura bajo las condiciones y los parámetros urbanísticos establecidos.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica consistió en procesar un registro de una base de datos de un ensayo por vibración ambiental, realizado con un sismómetro y posteriormente herramientas computacionales especializadas para el procesamiento, filtrado y análisis de las señales ambientales, así mismo la simulación estructural de la edificación prototipo previamente parametrizado y simulada mediante software para su modelamiento numérico.

Registro documental: Recopilación de información bibliográfica, normativas vigentes, libros, manuales, tesis de investigación, artículos especializados e informes técnicos.

#### **3.4.1 Instrumentos**

Se identificó que los instrumentos utilizados en el ensayo de vibración fueron Sismómetros Güralp 6TD de banda ancha de tres componentes H, V y Z con sensor y digitalizador, incluyendo brújula y ojo de pollo integrado con bandas de frecuencias en el rango de frecuencias de 0.03 – 100 Hz.

Se requirió de un computador para la visualización y procesamiento de la base de datos de las señales de ruido ambiental con programas especializados como Geopsy 2.9.0, software integrado para la aplicación del método del cociente espectral H/V y para el

análisis modal espectral, el software de simulación estructural mediante método de elementos finitos Etabs v 16.2.1.

### **3.5 Validez y confiabilidad de los instrumentos**

Se verificó que el instrumento utilizado y que extrajo la información necesaria trabaje bajo los parámetros de calidad que debe de tener cualquier equipo que realiza un ensayo de vibración ambiental, para ello se verificó la existencia de la calibración oportuna en cada punto de referencia por el sismómetro. En cuanto a la simulación estructural se definió previamente en el programa de simulación Etabs v 16.2.1 la hoja de trabajo y el sistema de medición a utilizar, para el diseño y análisis sísmico estructural.

### **3.6 Descripción de procedimientos de análisis**

1. Revisión de investigaciones y bibliografía para las variables de estudio
  - 1.1. Revisión de información sobre ensayos y/o registro de vibración ambiental, así como otros ensayos no invasivos.
  - 1.2. Revisión de literatura en torno a la simulación estructural de edificaciones de concreto armado de baja altura.
  - 1.3. Análisis de toda la información alcanzada en el registro por vibración.
2. Procesamiento y análisis de datos registrados por el registro de vibración
  - 2.1. Filtrado de la base de datos de ruido ambiental obtenido del programa.
  - 2.2. Procesamiento bajo el método del cociente espectral H/V en términos de amplitud y frecuencia.
  - 2.3. Generación de familias espectrales de los rangos estimados.
3. Análisis Sísmico de la Estructura
  - 3.1. Identificar los parámetros de diseño bajo la normativa vigente y como estipula el “Reglamento de Parámetros Urbanísticos y Edificatorios en el Distrito de La Molina”.
    - 1.1. Generación del modelo en el programa de elementos finitos.
    - 1.2. Análisis estático y dinámico modal de la estructura.
2. Análisis de resultados
  - 2.1. Interpretación de la información obtenida
  - 2.2. Conclusiones de los resultados obtenidos.

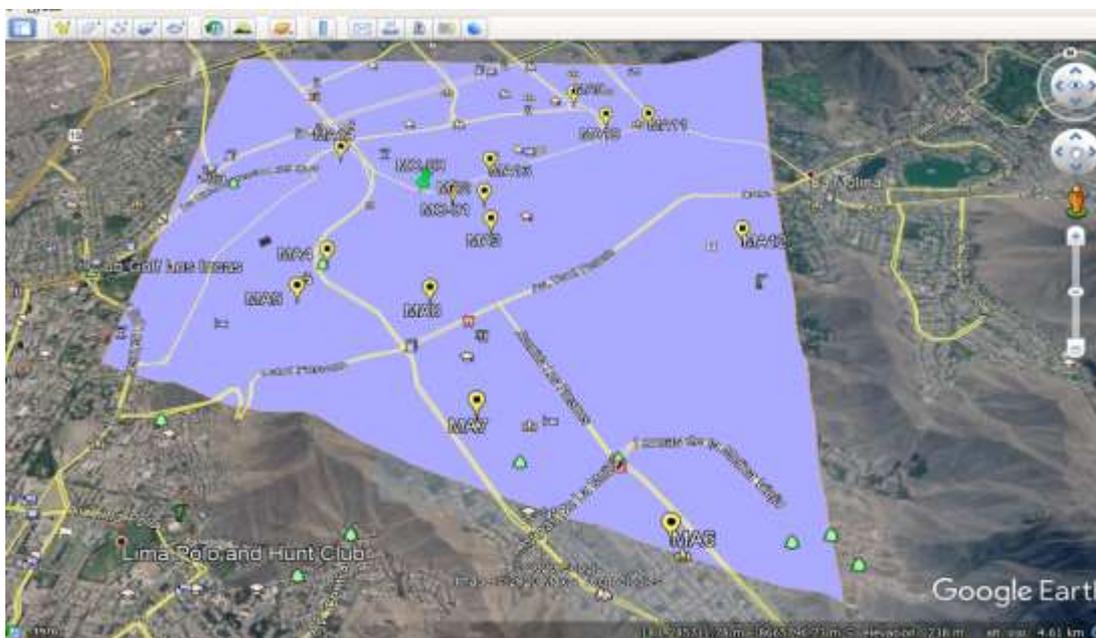
## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS FACTOR SUELO

### 4.1 Ubicación del Registro por Vibración

El factor Suelo en la investigación parte de la información de registros de vibración en 17 puntos específicos en el distrito de La Molina mostrados en la Figura 09, teniendo a la Universidad Nacional Agraria La Molina como un sitio de referencia principal, lo cual permitió referenciar toda la data para la obtención de la frecuencia fundamental del suelo en primera instancia y su distribución en el sitio de estudio.

Figura 9

Mapa de Ubicación de la Información del Registro



Nota. En el mapa se registra los 17 puntos del registro tomado como análisis, siendo MO-00 el punto de inicio Molina. Tomado del “Programa Google Earth”. Elaboración Propia

### 4.2 Filtrado de la Información

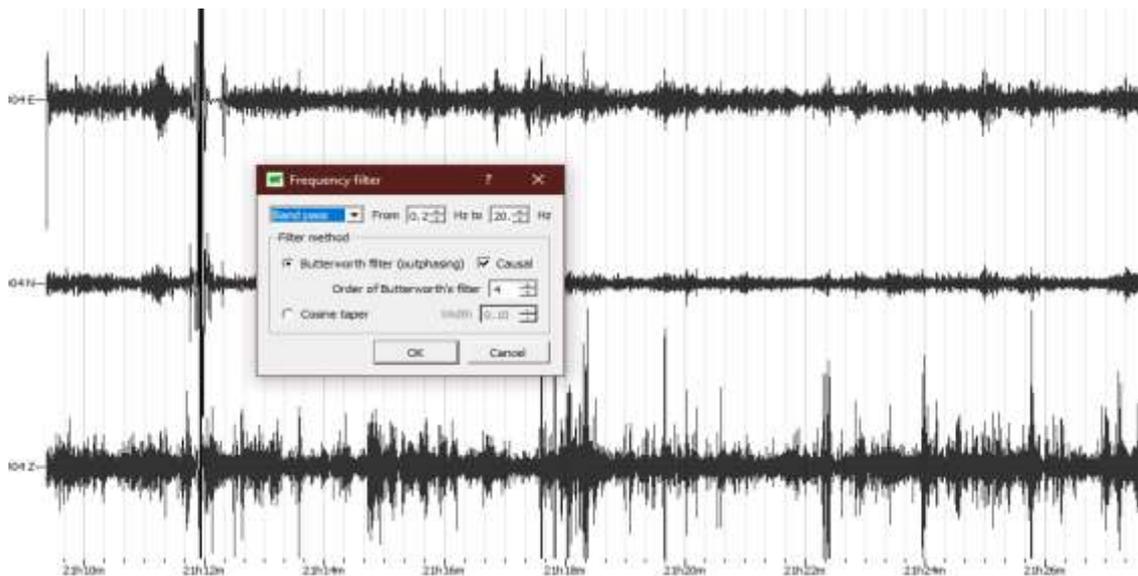
Partiendo del registro de datos con coordenadas N, E y Z, se realizó el filtrado y procesamiento bajo el programa Geopsy, cuyo método de aplicación está basado en la Técnica del Cociente Espectral H/V de Nakamura, con los siguientes parámetros establecidos:

- Filtro: Band Pass (Pasa Banda)
- Desde 0.2 Hz a 20 Hz

En la Figura 10, se muestra el método de filtración del ruido, algunos autores recomiendan utilizar el “Frequency Domain Filter”, en esta oportunidad se utilizó el método “Outpasing” dependiente de la versión a utilizar el programa.

Figura 10

Filtrado del Frecuencia del Ruido



Fuente: Tomado del “Programa Geopsy v.2.9.0”. Elaboración Propia

Se configura el ruido en 20.48 s sin traslape (Overlap by) y el tipo de procesado Konno & Ohmachi al 5 % como se muestra en la Figura 11, el método está en función de la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{sen} \left( \left( \log_{10} \frac{f}{f_c} \right)^b \right)}{\left( \left( \log_{10} \frac{f}{f_c} \right)^b \right)^4} \quad (4.1)$$

Dónde:

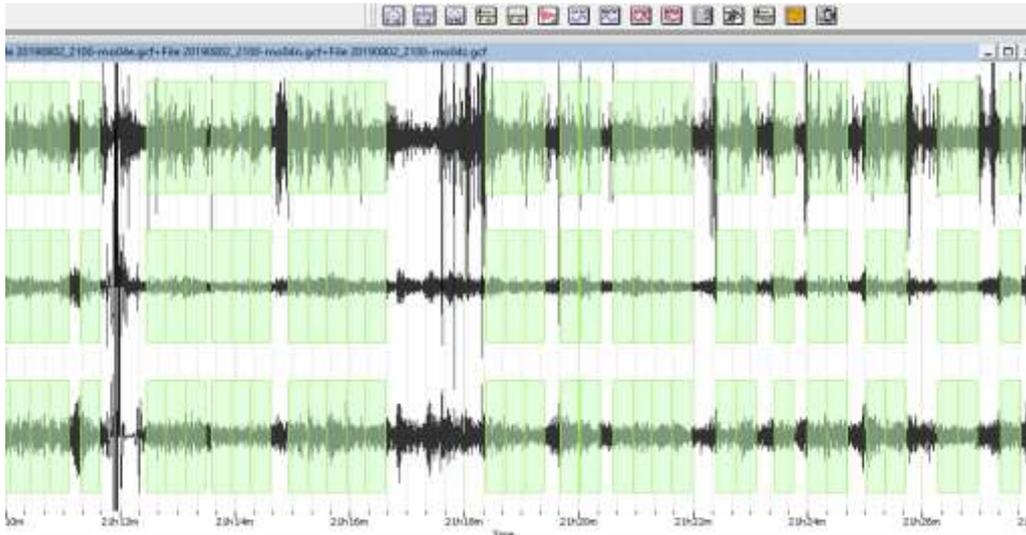
f: Frecuencia

$f_c$ : Frecuencia central dónde se realizó el suavizado

b: Coeficiente de ancho de banda

Figura 11

Bandas de Filtración



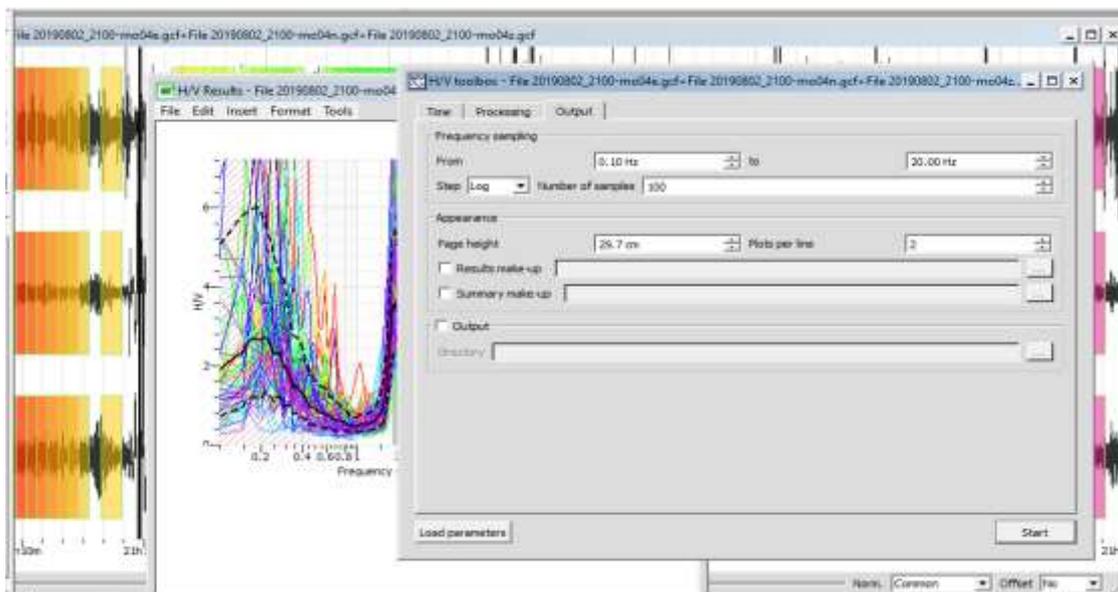
Fuente: Tomado del “Programa Geopsy v.2.9.0”. Elaboración Propia

### 4.3 Procesamiento bajo el método del cociente espectral H/V

Una vez realizado el procesamiento bajo la ecuación 4.1 se generó el gráfico de Amplitud vs Frecuencia del registro como se aprecia en la Figura 12, con parámetros de frecuencias de 0.1 a 20 Hertz y número de muestras cada 100.

Figura 12

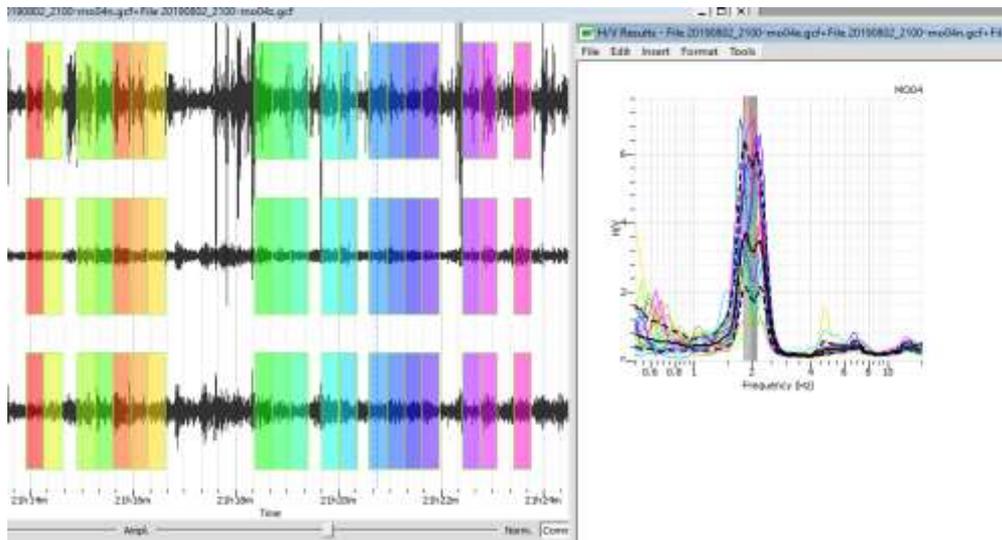
Cuadro de Procesamiento- Método del Cociente Espectral H/V



Nota. Se configura las tres pestañas principales Tiempo (Time), Proceso (Processing) y Salida (Output). Tomado del “Programa Geopsy v.2.9.0”. Elaboración Propia

Figura 13

### Resultados de Salida

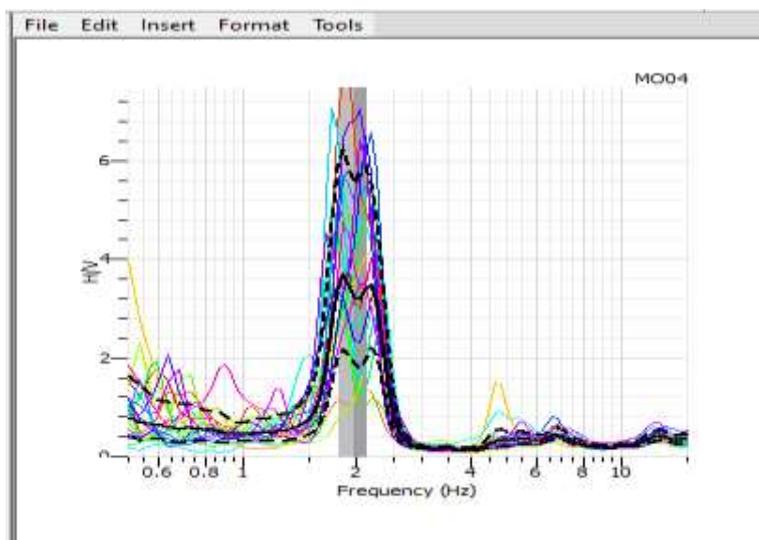


Nota. La gráfica de la izquierda representa el auto filtrado por defecto, mientras que la gráfica de la derecha es añadida manualmente “Selected-Add” para la generación de la Curva Amplitud vs Frecuencia para un punto dado en componentes Norte, Este. Tomado del “Programa Geopsy v.2.9.0”. Elaboración Propia

En la Figura 14, se muestra un esquema del procesamiento de los puntos de referencia del registro, permitiendo así determinar la frecuencia predominante del suelo, el gráfico Amplitud (H/V) vs Frecuencia (Hz), recopilando así el llamado “Espectrograma” del cociente espectral y las frecuencias fundamentales.

Figura 14

### Espectrogramas H/V



Fuente: Tomado del “Programa Geopsy v.2.9.0”. Elaboración Propia

#### 4.4 Generación de familias espectrales de los rangos estimados

Realizado todo el procesamiento y el filtrado para la generación de los espectrogramas por cada punto, se extrajo los valores de salida en cada punto como se muestra en la Tabla 3, entre ellos el Número de ventanas, frecuencias de promedio y ventana en un rango de 0.16 a 0.23 Hz y una Amplitud con un valor Pico de 7.792 veces.

Tabla 3

Datos del Muestreo y Amplitud Pico en el Punto MO-0

# Number of windows	138		
# f0 from average	0.180165		
# Number of windows for f0	121		
# f0 from windows	0.196098	0.159777	0.232418
# Peak amplitude	7.79162		

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 4, muestra los valores obtenidos en Frecuencias crecientes desde 0.1 hasta 0.498 Hz, así como también Amplitudes mínimas, máximas y promedio del Punto de Inicio (MO-0) con valores promedios desde 3.704 hasta 7.923 veces.

Tabla 4

Rango de Frecuencias Crecientes y Amplitudes en el Punto MO-0

# Frequency	Average	Min	Max
0.1	5.51785	1.74993	17.3988
0.105498	5.8039	1.84697	18.2382
0.111298	6.04398	1.91589	19.0667
0.117416	6.25664	1.96824	19.8886
0.123871	6.44842	2.00787	20.7096
0.130681	6.62157	2.036	21.5349
0.137866	6.77578	2.05238	22.3698
0.145445	6.90839	2.05523	23.2216
0.153441	7.31382	2.26071	23.6616

0.161877	7.62548	2.41279	24.0999
0.170776	7.82534	2.50187	24.476
0.180165	7.91255	2.5334	24.7132
0.276447	5.24359	2.97252	9.24982
0.291645	5.20276	3.31127	8.17474
0.307679	5.22373	3.42702	7.96239
0.324594	5.18659	3.59008	7.49307
0.342439	5.3417	3.69456	7.7232
0.361265	5.51292	3.66818	8.28538
0.381126	5.15907	3.16721	8.40362
0.402079	4.66838	2.727	7.99184
0.424183	4.61017	2.8341	7.49928
0.447503	4.36052	3.05563	6.22267
0.472106	4.00134	2.69829	5.93367
0.49806	3.70417	2.18717	6.27337

Fuente: Elaboración Propia

Mientras que en la Tabla 5 se muestran los valores de frecuencias decrecientes en el rango de 0.525 hasta 20 Hz, así como también Amplitudes mínimas, máximas y promedio del Punto de Inicio (MO-0) como valores representativos a los correspondientes registros filtrados.

Tabla 5

Rango de Frecuencias Decrecientes y Amplitudes en el Punto MO-0

# Frequency	Average	Min	Max
0.525442	3.61656	2.10654	6.20899
0.554329	3.64134	2.10111	6.31064
0.584804	3.38943	1.91482	5.99966
0.616954	3.03978	1.82269	5.06958

0.650872	2.77877	1.69069	4.5671
0.686654	2.50061	1.55803	4.01344
0.724404	2.3519	1.48549	3.72365
0.764229	2.27786	1.42592	3.63879
0.806244	2.12997	1.36673	3.31943
0.850568	1.95028	1.32188	2.87743
0.897329	1.89198	1.33307	2.68523
0.946661	1.91458	1.34739	2.72054
0.998705	1.84654	1.23961	2.75062
1.05361	1.73255	1.14209	2.62828
1.11153	1.68374	1.09916	2.57924
1.17264	1.62674	1.0629	2.48967
1.23711	1.46755	0.985345	2.18573
1.30512	1.33252	0.923377	1.92295
1.37687	1.28624	0.950378	1.7408
1.45257	1.27727	0.98179	1.66168
1.53242	1.26125	0.919572	1.72988
1.61667	1.26238	0.910275	1.75069
1.70555	1.25555	0.934939	1.6861
1.79932	1.20314	0.905232	1.5991
1.89824	1.14773	0.862388	1.52749
2.00259	1.15602	0.912463	1.4646
2.11269	1.09496	0.91334	1.31269
2.22884	0.95128	0.767771	1.17866
2.35137	0.92574	0.746467	1.14808
2.48064	0.98254	0.823089	1.17289

2.61702	1.04301	0.910905	1.19426
2.76089	1.13923	0.963123	1.34755
2.91267	1.2116	1.02347	1.43431
3.0728	1.19479	1.03761	1.37578
3.24173	1.16063	1.0263	1.31253
3.41995	1.20403	1.03129	1.4057
3.60797	1.28854	1.09838	1.51161
3.80632	1.31068	1.10274	1.55784
4.01558	1.30101	1.10716	1.5288
4.23634	1.27427	1.0469	1.55102
4.46924	1.23465	0.995797	1.53081
4.71494	1.21431	1.02099	1.44425
4.97415	1.208	1.03863	1.40499
5.24761	1.22292	1.0298	1.45227
5.53611	1.22706	1.00482	1.49844
5.84046	1.15849	0.947227	1.41687
6.16155	1.08977	0.919193	1.29199
6.50029	1.11245	0.936322	1.32171
6.85765	1.19304	1.00339	1.41854
7.23466	1.25842	1.08667	1.45731
7.6324	1.30178	1.11858	1.51498
8.052	1.37181	1.18524	1.58774
8.49467	1.49021	1.31746	1.68562
8.96167	1.59825	1.38749	1.84102
9.45435	1.67969	1.42992	1.9731
9.97412	1.7231	1.42257	2.08713
10.5225	1.62712	1.36383	1.94124

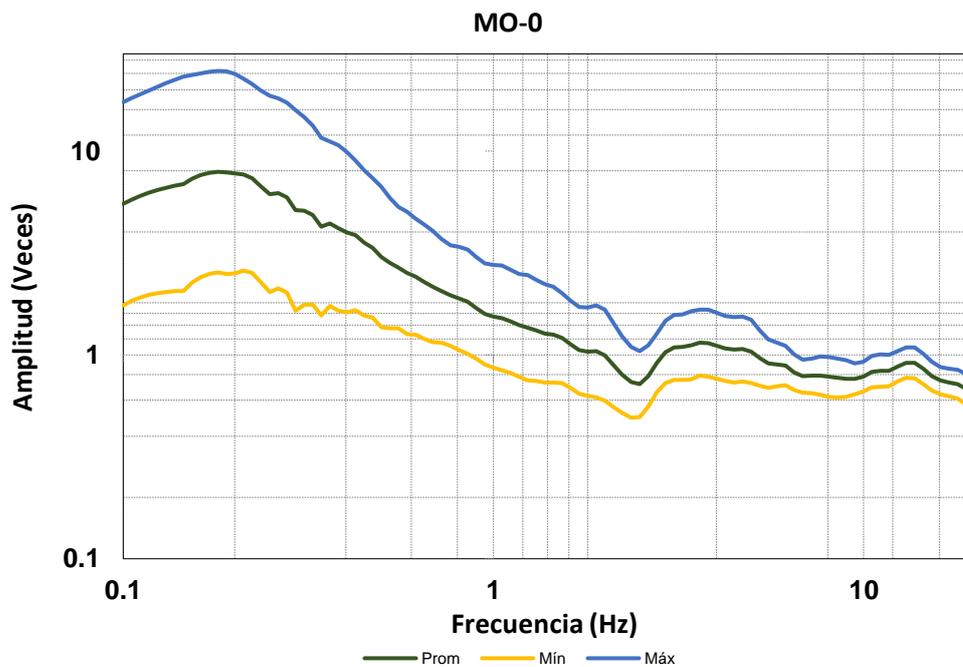
11.1009	1.48626	1.28494	1.71913
11.7112	1.40061	1.16284	1.687
12.3551	1.32509	1.07396	1.63495
13.0343	1.26551	1.04739	1.52904
14.5069	1.37166	1.20462	1.56185
15.3044	1.36341	1.25009	1.487
16.1458	1.21787	1.12214	1.32178
17.9699	1.04516	0.922667	1.18392
18.9578	1.00391	0.856269	1.177
20	0.995313	0.823134	1.20351

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 15 se muestra la curva de valores de Amplitud en un rango de 2.5 a 23.90 veces y Frecuencias desde 0.1 a 20 Hertz obtenido de las Tablas 5 y 6.

Figura 15

Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto MO-0



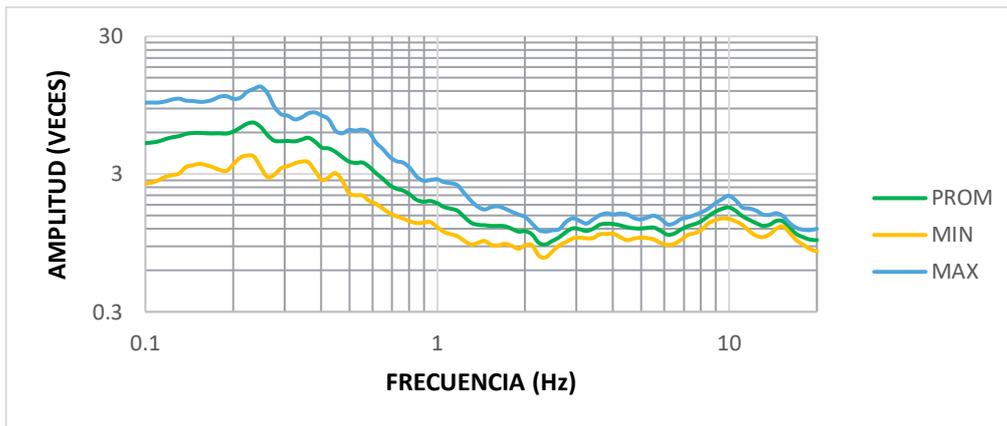
Fuente: Elaboración Propia

De esta forma se procedió a graficar la curva de amplitud y frecuencias de los 16 puntos restantes, con los valores correspondientes en frecuencias (Hz) y amplitudes (veces) promedios, mínimas y máximas, enfatizando los puntos picos de cada curva promedio para su posterior agrupamiento.

En la Figura 16 correspondiente a la Función de Transferencia Empírica del punto 01, se tiene una amplitud promedio de 6.59 veces y rangos de frecuencias de 0.1 a 20 Hz.

Figura 16

Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 01

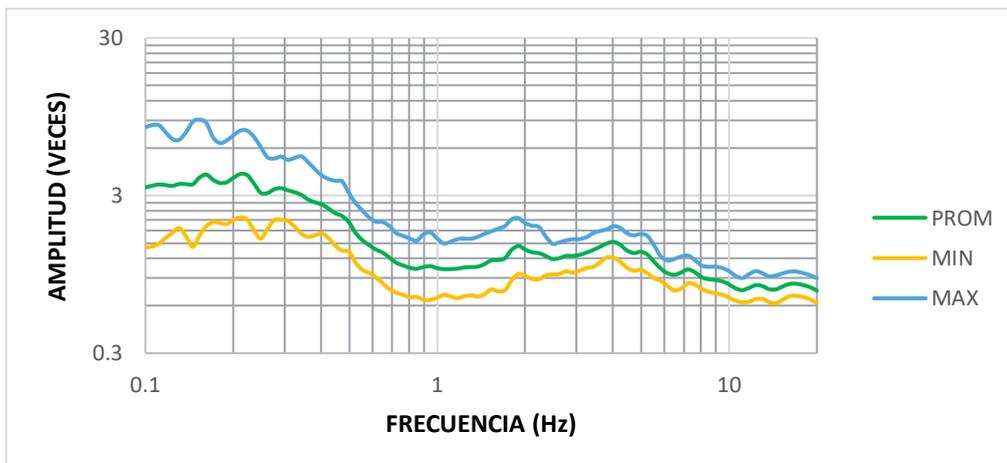


Fuente: Elaboración Propia

Para la Figura 17 correspondiente a la Función de Transferencia Empírica del punto 02, el valor máximo de la amplitud promedio es de 3.58 veces y rangos de frecuencias de 0.1 a 20 Hz.

Figura 17

Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 02

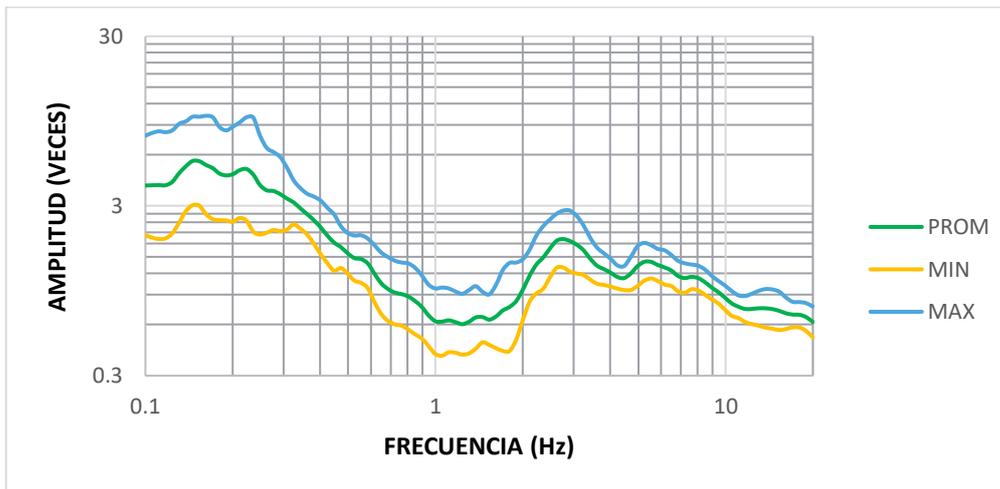


Fuente: Elaboración Propia

La Figura 18 corresponde a la Función de Transferencia Empírica del punto 03, presentando un valor de 5.226 veces en el punto máximo de la amplitud promedio en un rango de frecuencias de 0.1 a 20 Hz.

Figura 18

Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 03

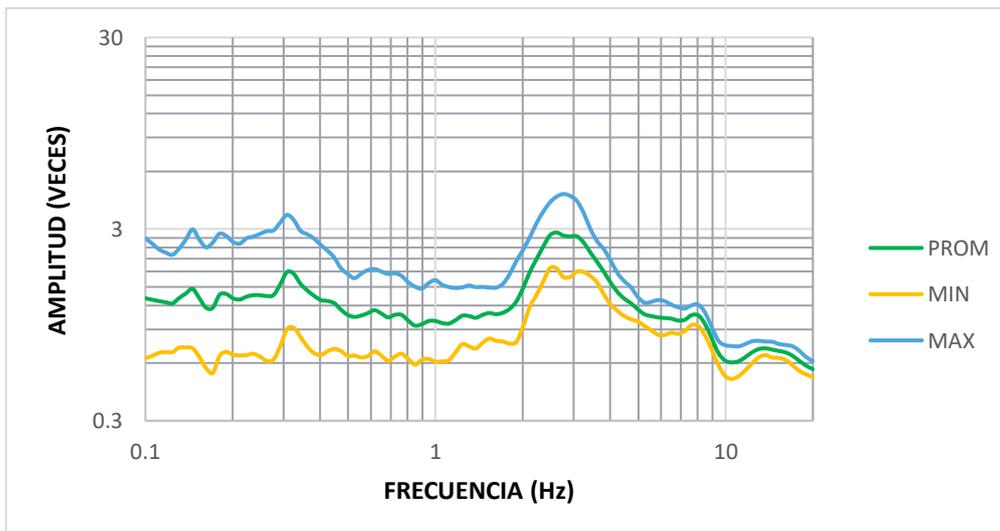


Fuente: Elaboración Propia

Para la Figura 19 correspondiente a la Función de Transferencia Empírica del punto 04, el valor máximo de la amplitud promedio es de 2.749 veces y rangos de frecuencias de 0.1 a 20 Hz.

Figura 19

Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 04

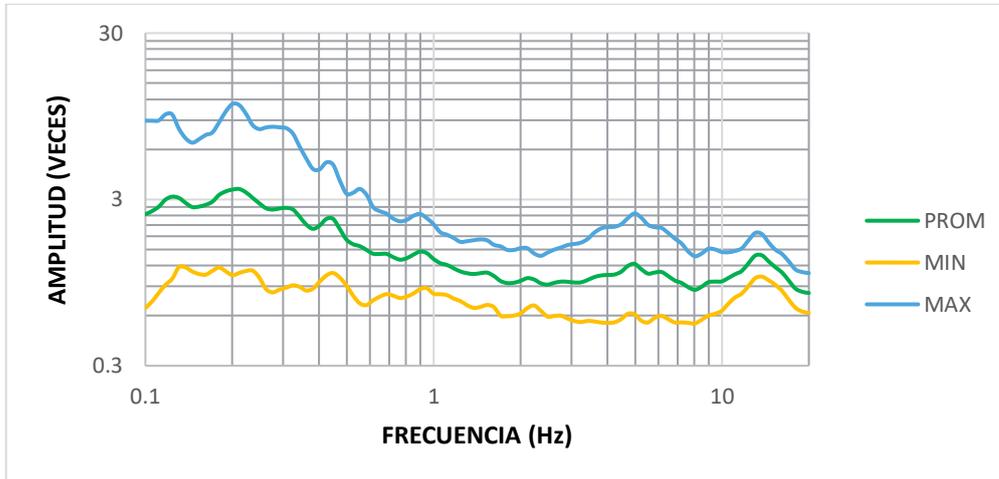


Fuente: Elaboración Propia

Para la Figura 20 correspondiente a la Función de Transferencia Empírica del punto 05, el valor máximo de la amplitud promedio es de 3.307 veces y rangos de frecuencias de 0.1 a 20 Hz.

Figura 20

Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 05

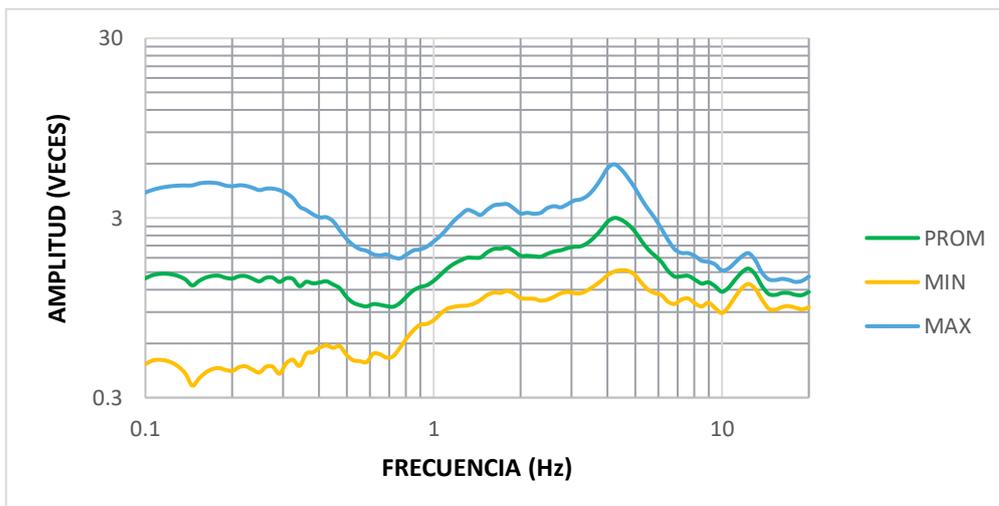


Fuente: Elaboración Propia

Para la Figura 21 correspondiente a la Función de Transferencia Empírica del punto 06, el valor máximo de la amplitud promedio es de 3.003 veces y rangos de frecuencias de 0.1 a 20 Hz.

Figura 21

Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 06

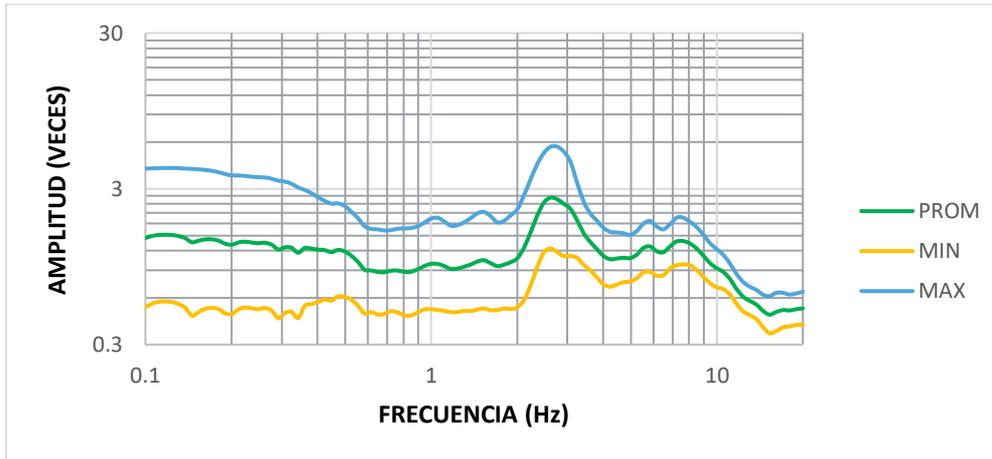


Fuente: Elaboración Propia

Para la Figura 22 correspondiente a la Función de Transferencia Empírica del punto 07, el valor máximo de la amplitud promedio es de 2.570 veces y rangos de frecuencias de 0.1 a 20 Hz.

Figura 22

Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 07

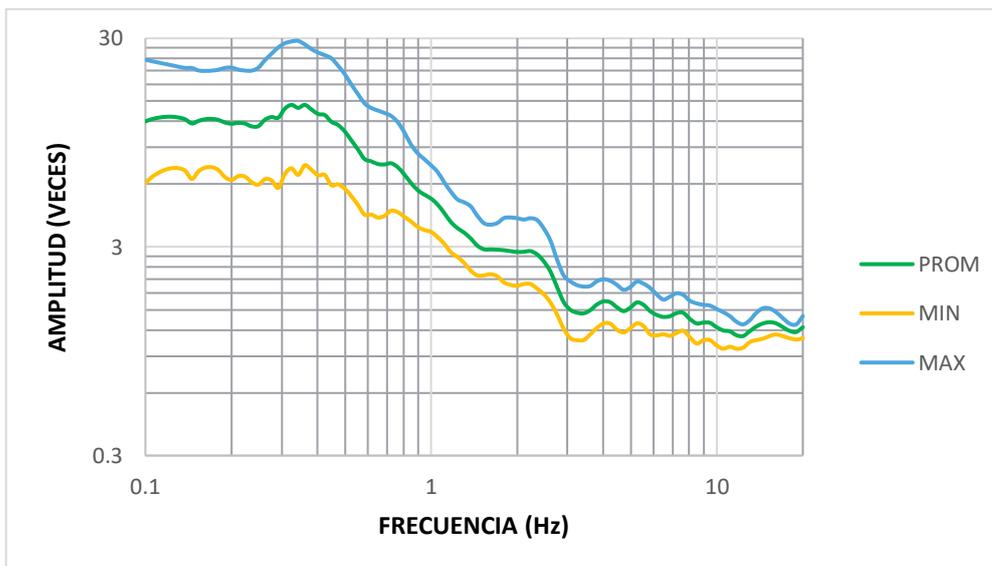


Fuente: Elaboración Propia

Para la Figura 23 correspondiente a la Función de Transferencia Empírica del punto 08, el valor máximo de la amplitud promedio es de 13.922 veces y rangos de frecuencias de 0.1 a 20 Hz.

Figura 23

Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 08

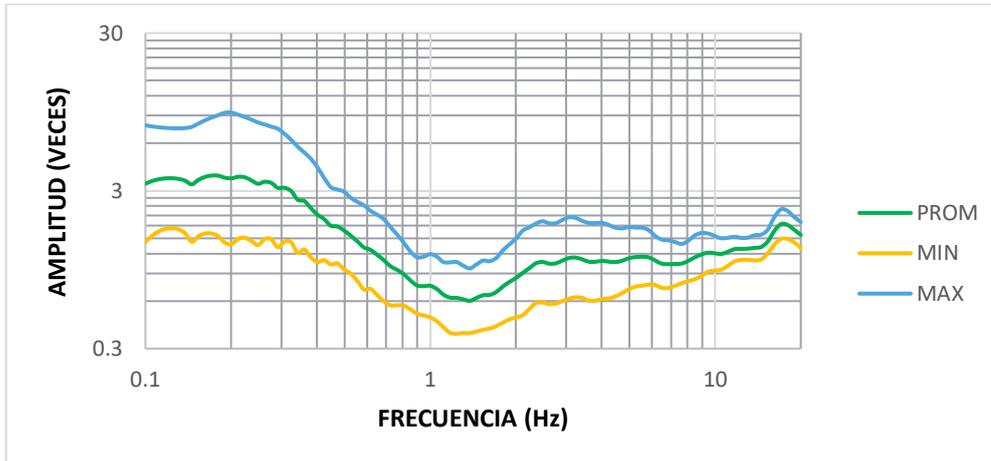


Fuente: Elaboración Propia

Para la Figura 24 correspondiente a la Función de Transferencia Empírica del punto 09, el valor máximo de la amplitud promedio es de 3.655 veces y rangos de frecuencias de 0.1 a 20 Hz.

Figura 24

Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 09

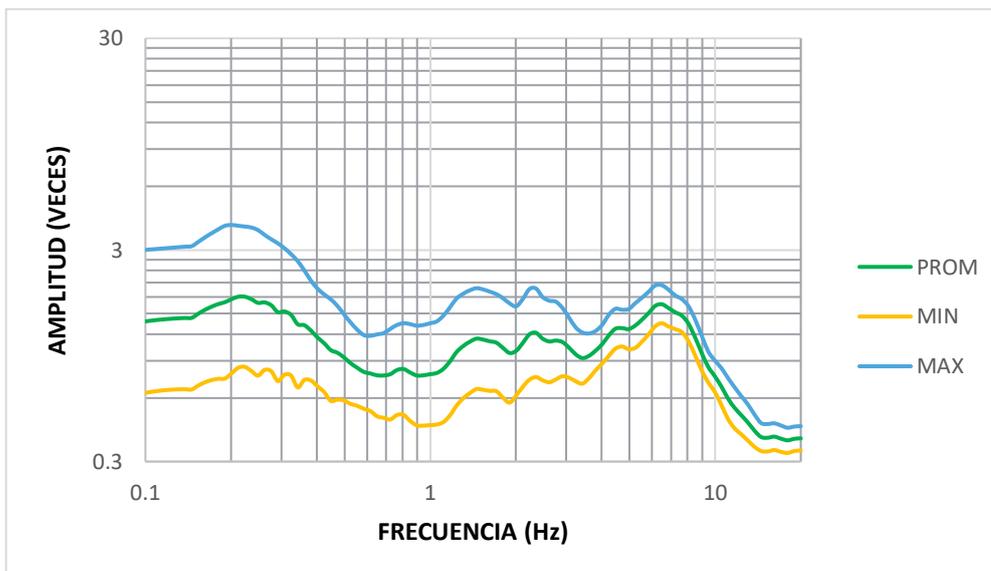


Fuente: Elaboración Propia

Para la Figura 25 correspondiente a la Función de Transferencia Empírica del punto 10, el valor máximo de la amplitud promedio es de 1.803 veces y rangos de frecuencias de 0.1 a 20 Hz.

Figura 25

Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 10

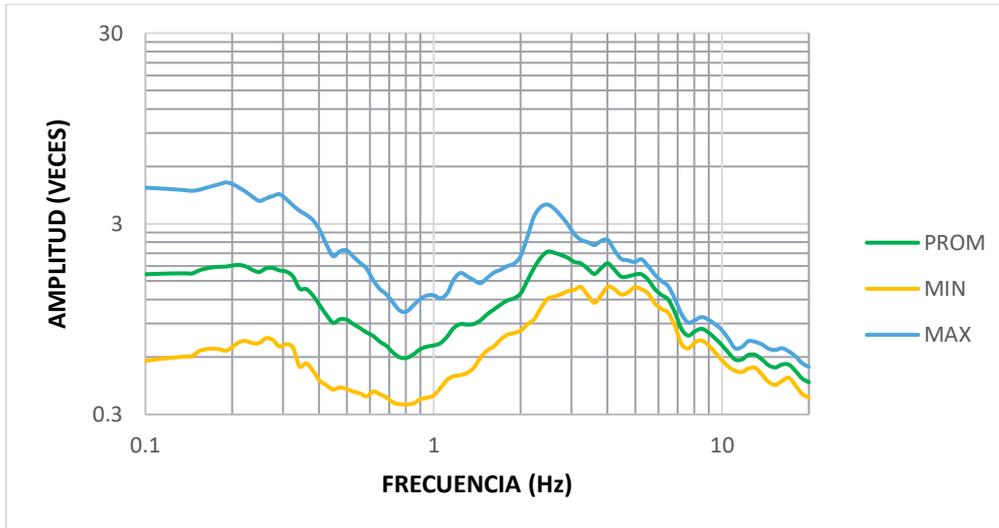


Fuente: Elaboración Propia

Para la Figura 26 correspondiente a la Función de Transferencia Empírica del punto 11, el valor máximo de la amplitud promedio es de 2.116 veces y rangos de frecuencias de 0.1 a 20 Hz.

Figura 26

Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 11

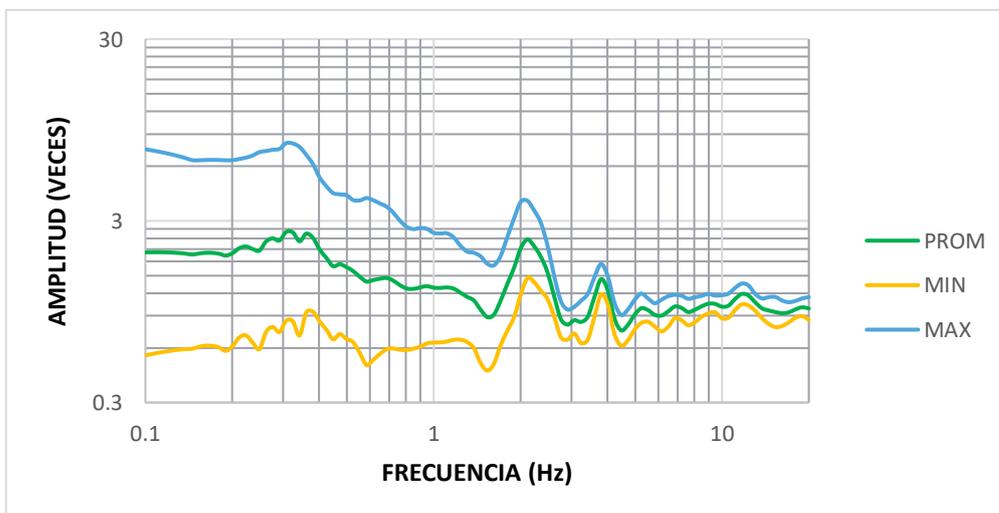


Fuente: Elaboración Propia

Para la Figura 27 correspondiente a la Función de Transferencia Empírica del punto 12, el valor máximo de la amplitud promedio es de 2.371 veces y rangos de frecuencias de 0.1 a 20 Hz.

Figura 27

Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 12

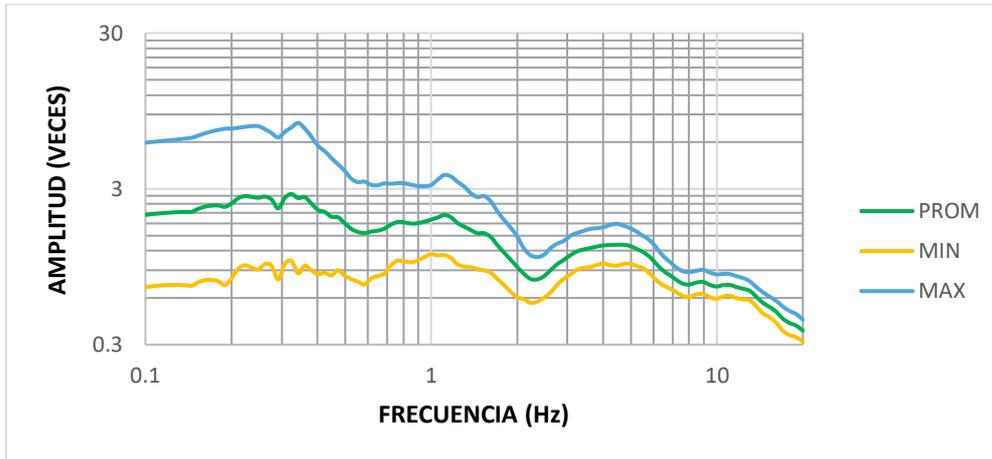


Fuente: Elaboración Propia

Para la Figura 28 correspondiente a la Función de Transferencia Empírica del punto 13, el valor máximo de la amplitud promedio es de 2.777 veces y rangos de frecuencias de 0.1 a 20 Hz.

Figura 28

Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 13

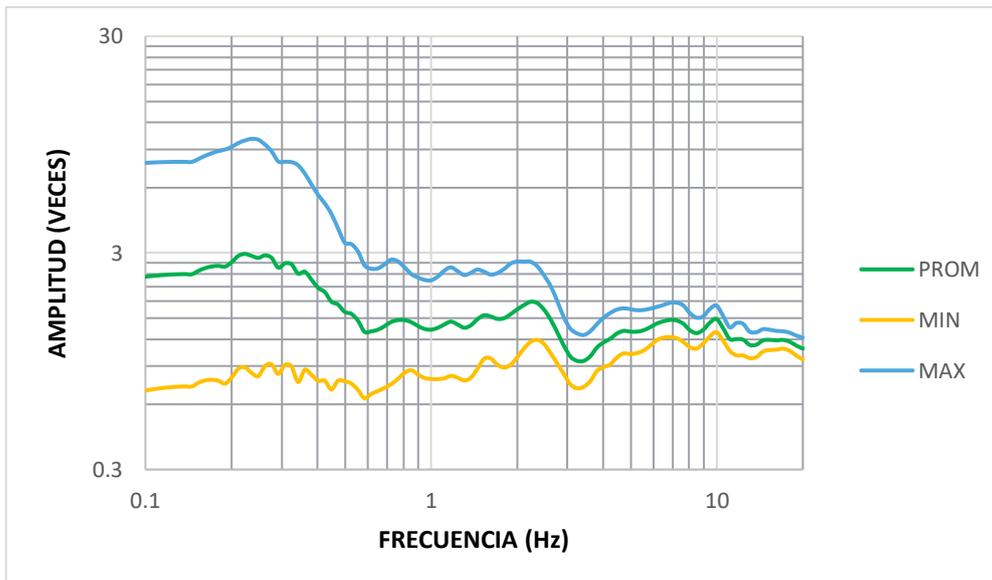


Fuente: Elaboración Propia

Para la Figura 29 correspondiente a la Función de Transferencia Empírica del punto 14, el valor máximo de la amplitud promedio es de 2.908 veces y rangos de frecuencias de 0.1 a 20 Hz.

Figura 29

Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 14

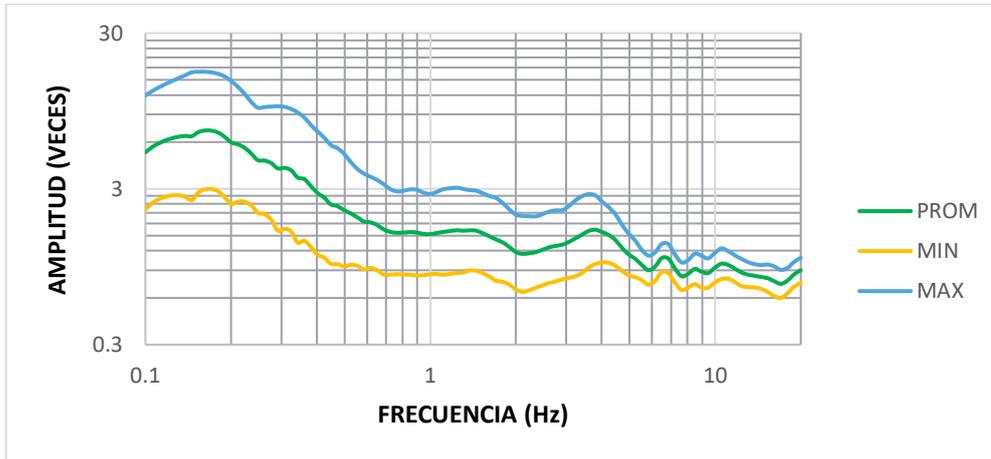


Fuente: Elaboración Propia

Para la Figura 30 correspondiente a la Función de Transferencia Empírica del punto 15, el valor máximo de la amplitud promedio es de 7.085 veces y rangos de frecuencias de 0.1 a 20 Hz.

Figura 30

Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 15

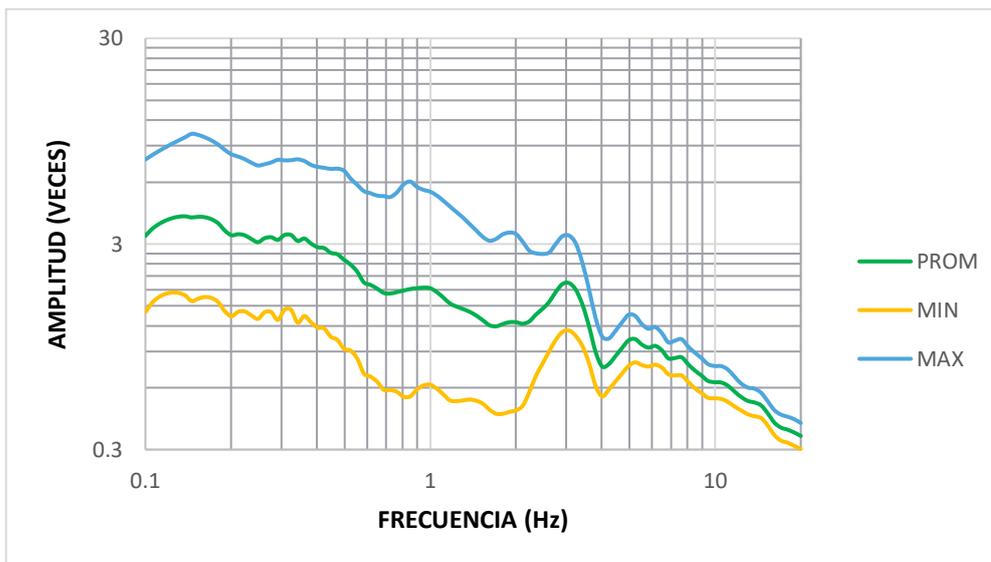


Fuente: Elaboración Propia

La Figura 31 corresponde a la Función de Transferencia Empírica del punto 16, con un valor máximo de amplitud promedio de 4.070 veces y rangos de frecuencias de 0.1 a 20 Hz.

Figura 31

Gráfica Amplitud vs Frecuencia Punto 16



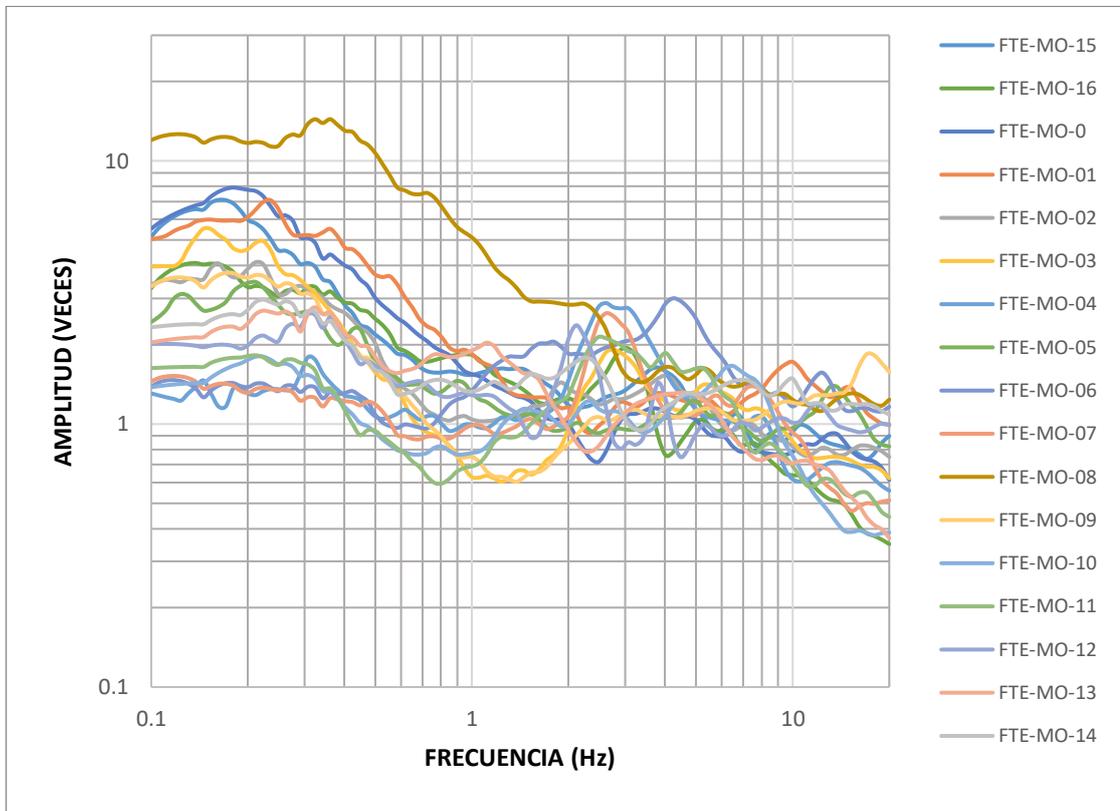
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4.1 Familias Espectrales

Luego de realizar las curvas de Amplitud y Frecuencias por cada registro de la información procesada con un total de 17, se procedió a agrupar de acuerdo a la forma espectral bajo el nombre de Familias Espectrales como se aprecia en la Figura 32, esto con el fin de poder agrupar de acuerdo a las características dinámicas, las amplitudes picos promedios (veces) y Frecuencias (Hz) desde 0.1 hasta 20 Hz con cierta similitud en los valores picos máximos desde 1.803 a 13.922 veces, valores predominantes en cada curva espectral.

Figura 32

Familia Espectral de las FTE-MO-00 a FTE-MO-16



Nota. En el gráfico se muestra de forma agrupada los espectros de la distribución seguida, bajo la denominación de funciones de transferencia empírica en los puntos (FTE-MO), el punto 8 es el único que no sigue la forma secuencial del conjunto. Elaboración Propia

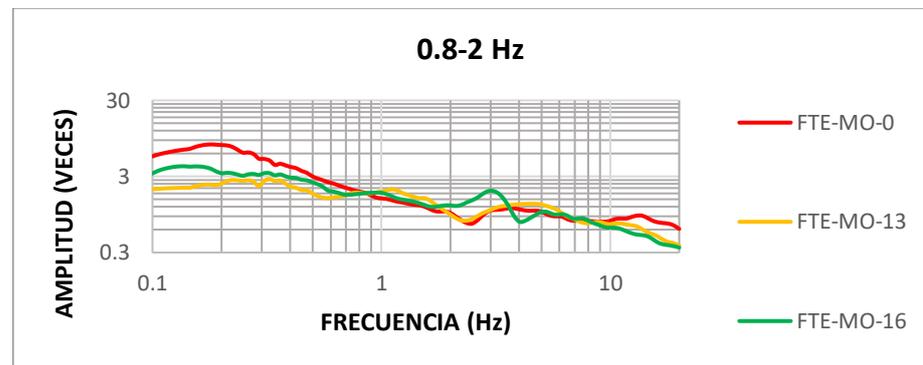
De acuerdo a los datos presentados se procedió a agrupar por frecuencias que oscilan desde 0.8 a 20 Hertz, con la finalidad de encontrar los valores de periodos dominantes basándonos en lo que estipuló CISMID (2010) en la distribución de las 4 zonas.

#### 4.4.1.1 Familia Espectral I

En esta clasificación se consideró las frecuencias fundamentales en el ancho de banda que oscilan en un rango de 0.8 a 2 Hertz. En la Figura 33, se muestra las curvas de las funciones de transferencia empírica de los puntos (FTE- MO): 13 y 16 con amplitudes mayores a dos veces y con un promedio de frecuencias de 1.029 Hz.

Figura 33

Familia Espectral I



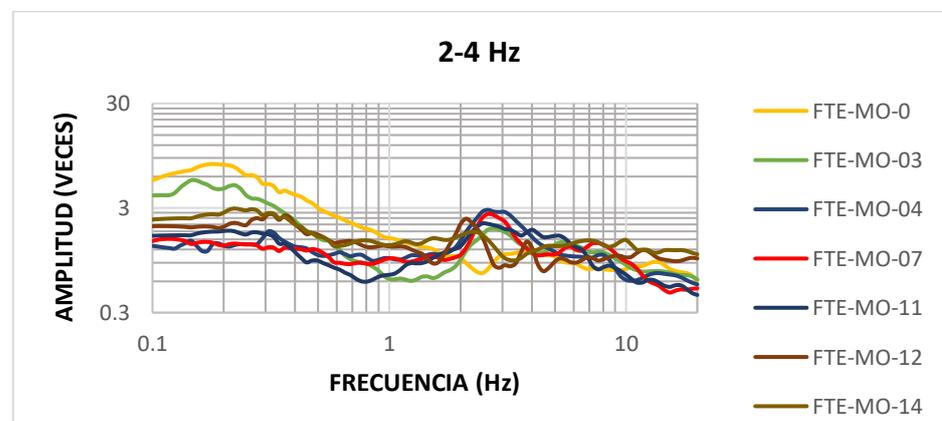
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4.1.2 Familia Espectral II

Se consideró las frecuencias fundamentales en el ancho de banda que oscilan entre 2 a 4 Hertz. En la Figura 34, se muestra las curvas de las funciones de transferencia de los puntos (MO): 03, 04, 07, 11, 12, 14, con un promedio de frecuencias de 2.395 Hz.

Figura 34

Familia Espectral II



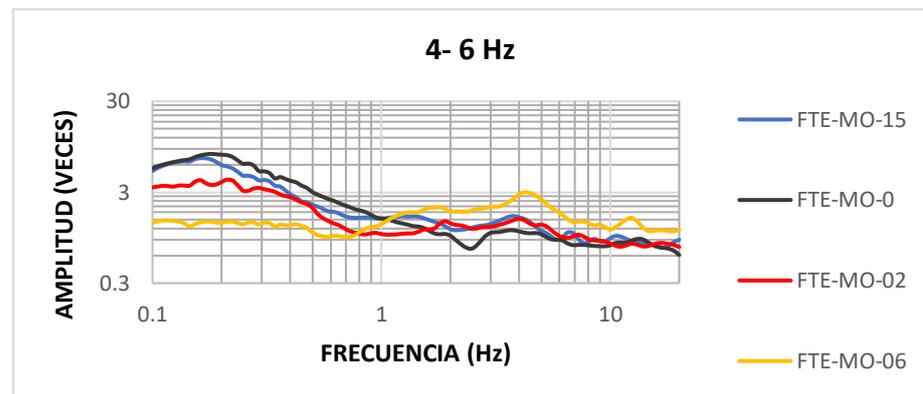
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4.1.3 Familia Espectral III

Para este grupo se consideró las frecuencias fundamentales comprendidos de 4 a 6 Hertz. En la Figura 35, se muestra las curvas de las funciones de transferencia en los puntos (FTE-MO): 02, 06, 15, con un promedio de frecuencias de 4.5 Hz.

Figura 35

Familia Espectral III



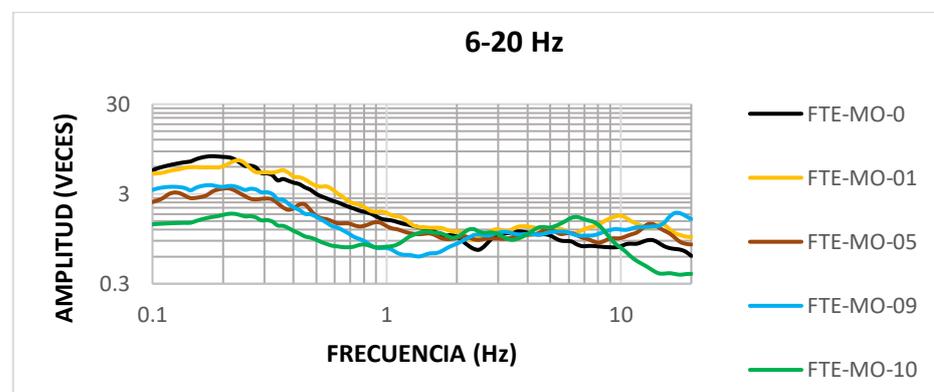
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4.1.4 Familia Espectral IV

En esta clasificación se consideró las frecuencias fundamentales en el ancho de banda que oscilan entre 6 a 20 Hertz. En la Figura 36, se muestran las curvas de las funciones de transferencia en el punto (FTE-MO): 01, 05, 09, 10 y un promedio de frecuencias de 11.815 Hz.

Figura 36

Familia Espectral IV



Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO V: ANÁLISIS ESTRUCTURAL

### 5.1 Generalidades de la Estructura

La estructura es una edificación de 4 pisos con uso destinado a vivienda, se ubica en el Distrito de La Molina- Lima, caracterizado por un alto peligro sísmico, para ello el análisis de la estructura, debe cumplir con los parámetros sísmicos estipulados en la Normativa Sismorresistente Peruana, así como el de cumplir derivas menores a la que se admite en dicha norma de acuerdo con el Art.32 que define los límites de distorsión de entrepiso relacionándolo con el material de la estructura.

A partir del plano de arquitectura, se define que el sistema estructural que predomina es de tipo Muros Estructurales, que según el Art.16 de la Normativa Peruana, la resistencia sísmica se debe a que tiene mayor relevancia los muros sobre el que actúa al menos el 70% de la cortante en la base, comprobándose en el análisis estático y dinámico modal espectral que se presentan en el análisis sísmico de la estructura.

El planteamiento requirió la identificación de las propiedades de los materiales, la identificación de los todos elementos estructurales y el metrado de cargas de gravedad según la Norma E 0.20, cargas vivas y muertas que intervienen para la simulación estructural en el software Etabs, debido a que analiza a las estructuras con varios grados de libertad, en este caso y de acuerdo al número de pisos, se obtuvo los 12 modos de vibrar del modelo puesto que consideramos a los grados de libertad por los 4 pisos en análisis, entre ellas 1 rotacional y 2 traslacionales, es decir aparecen dos fuerzas y un momento torsor por nivel ligadas a las condiciones de coordenadas dinámicas necesarias para poder describir el conjunto de fuerzas inerciales o grados de libertad.

De este modo las vigas y columnas fueron definidas como elementos de barra, los muros y losas de entrepiso como (elementos) objetos de área en la etapa de generación del modelo para lograr la conexión de nudos, barras y elementos Shell.

Finalmente es necesario dar al software los alcances del metrado de carga viva y carga muerta (cargas de gravedad) que intervienen en la estructura para la obtención de los pesos por nivel y posteriormente en el análisis sísmico otorgar el espectro del sismo a partir de los parámetros de la estructura ya sea zonificación, uso, condiciones geotécnicas para el análisis del comportamiento de los elementos vigas, columnas (frames), muros o placas y losas.

Se detalla a continuación los elementos estructurales, cargas de gravedad y el análisis sísmico realizado.

## 5.2 Elementos Estructurales

Los elementos de la estructura son los que tiene la funcionalidad de servir como soporte o mecanismos frente a acciones sísmicas y otras sobrecargas:

### 5.2.1 Losas

Soportan las cargas actuantes en la edificación existente y además de ser el nexo transmisor de los efectos de sismos en vigas, en este caso la losa Aligerada es de una sola dirección con un espesor de 0.20m y de igual forma las losas macizas tiene el mismo espesor para poder equiparar la arquitectura de diseño.

### 5.2.2 Vigas

Son los principales elementos que transmiten las cargas hacia los muros y placas, según el plano se señala 2 tipos de vigas peraltadas de dimensiones 0.25x0.60 m y 0.25x0.70 m.

### 5.2.3 Muros

Elementos que transmiten las cargas actuantes desde la losa, vigas hacia las losas de entrepiso y cimentación. Debido a que la arquitectura de la estructura tiene mayor influencia en Muros en sí, se consideró el Sistema de Muros Estructurales para fines en el análisis sísmico estático y dinámico, para ello los muros tiene espesores de 0.20 y 0.25m que varían particularmente en los pisos típicos 2 y 3.

### 5.2.4 Columnas

Elemento dónde el ancho es menor con respecto a la longitud, la función principal de este elemento es transmitir las cargas recibidas desde los elementos horizontales hacia los pisos inferiores. Las secciones de las columnas rectangulares serán de 0.25x0.80m, 0.25x0.85 m y para ejes intermedios de 0.25x0.70m, finalmente existe también columnas circulares apreciados en el frontis de la estructura cuya dimensión es de 0.50m de diámetro para la modelación.

### 5.2.5 Escaleras

Considerado también como una losa maciza para fines a nivel de modelado, situado en cada nivel en el eje C y E.

En la siguiente Tabla 6 se muestra el cuadro resumen de las dimensiones bxh (m) ingresadas al programa.

Tabla 6

Dimensiones de los Elementos Estructurales

Concreto Armado: Muros Estructurales			
	b (m)	h (m)	Diámetro (m)
	0.25	0.8	
C 1-2-3	0.25	0.85	
	0.25	1	
C-O			0.5
Vigas Chatas	0.3		
	0.25	0.6	
Viga Peraltada	0.25	0.7	
Losa	0.2	Eje C-D	
Losa	0.25		
Placas	0.25		

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3 Propiedades de los Materiales

Para la resistencia del concreto ( $f'c$ ) de los elementos estructurales, se definió el mismo valor tanto para:

- Peso Específico del Concreto Armado = 2400 kg/m<sup>3</sup>
- Vigas, Columnas, Losas y muros  $f'c = 210 \text{ Kg/m}^2$

Según la Norma Técnica E 0.60, el Módulo de Elasticidad del Concreto Armado:

$$E_c = 15\,000\sqrt{f'c} = 21\,7370.651 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad (5.1)$$

El Módulo de Poisson:

$$- \lambda = 0.15$$

Para el acero de refuerzo se consideró varillas de acero corrugado de Grado 60

$$- \text{Límite de Fluencia } f_y = 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$- \text{Módulo de Elasticidad } E_s = 2 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

## 5.4 Medrado de Cargas de Gravedad

Para la determinación de las combinaciones de carga se establecieron de acuerdo a los requisitos generales de resistencia de la Norma E 0.60.

$$1,4 \text{ CM} + 1,7 \text{ CV} \quad (5.2)$$

$$1,25 (\text{CM} + \text{CV}) \pm \text{CSx} \quad (5.3)$$

$$1,25 (\text{CM} + \text{CV}) \pm \text{CSy} \quad (5.4)$$

$$0,9 \text{ CM} \pm \text{CSx} \quad (5.5)$$

$$0,9 \text{ CM} \pm \text{CSy} \quad (5.6)$$

Si:

CM: Carga Muerta

CV: Carga Viva

CSx: Carga de Sismo eje X

CSy: Carga de Sismo eje Y

Donde la Resistencia requerida ( $R_u$ ) tiene que ser al menos menor o igual a la Resistencia de Diseño ( $\phi R_n$ ) para garantizar un satisfactorio comportamiento de los elementos estructurales bajo cargas de servicio, obteniéndose de acuerdo al Art.9.1.1 (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2009, p. 61).

$$\phi R_n \geq R_u \quad (5.7)$$

### 5.4.1 Carga Viva

Se considera el peso de la tabiquería, equipos, azotea, corredores, escaleras, etc. que soporta la estructura.

#### 5.4.1.1 Tabiquería Móvil

Se considera una carga de  $100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$  para divisiones livianas de altura completa.

#### 5.4.1.2 Carga Viva Mínima

De acuerdo con el Art.6, en la Tabla 7 se toma en cuenta el uso de viviendas, corredores y escaleras de la estructura.

Tabla 7

#### Cargas Vivas Repartidas

Uso y/o Ocupación	Cargas Vivas Repartidas (Kgf/m <sup>2</sup> )
Viviendas	200
Escaleras y Corredores	200

Nota. Adaptado de “Norma E 0.20 Cargas” (p. 2), por MVCS, 2006

De acuerdo con la Norma E 0.20 se tiene en la Tabla 8 los valores de cada una de las cargas requeridas.

Tabla 8

#### Datos de las Cargas Vivas Requeridas

Uso	Carga (kg/m <sup>2</sup> )
Vivienda	200
Azotea	100
Tabiquería Móvil	100
Corredores y Escaleras	200

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.4.2 Carga Muerta

En la Tabla 9 se considera a los acabados como el piso terminado, de acuerdo con el espesor de la losa el peso propio de concreto armado ( $2400 \frac{kg}{m^3}$ ) multiplicado por el espesor de 0.20 m del aligerado, así como el peso de los elementos que soportan la edificación, equipos de servicio.

Tabla 9  
 Datos de las Cargas Muertas Requeridas

Uso	Peso Propio (kg/m <sup>2</sup> )
Aligerado (e=0.20 m)	300
Losas Macizas	480
Acabados	100

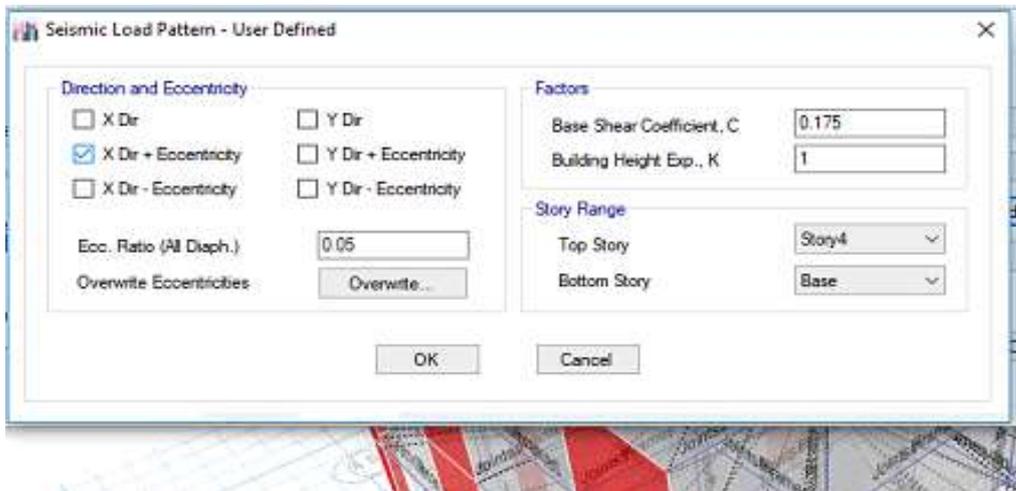
Nota. Adaptado de “Norma E 0.20 Cargas” (p. 7), por MVCS, 2006

### 5.5 Carga de Sismo Estático en XX-YY

Se definió en el Programa utilizado un patrón de cargas en ambas direcciones de acuerdo con lo que estipula la Norma E 0.30 como un porcentaje de la fuerza de inercia como se muestra en las Figuras 37 y 38, para ello el Coeficiente de Cortante en la Base se calcula de la siguiente manera:

$$ZUCS/R = 0.175 \quad (5.8)$$

Figura 37  
 Coeficiente de la Cortante en la Base Sismo XX



Nota. Se considera sin excentricidad accidental en primera instancia. Elaboración Propia

Figura 38

Coeficiente de la Cortante en la Base Sismo YY

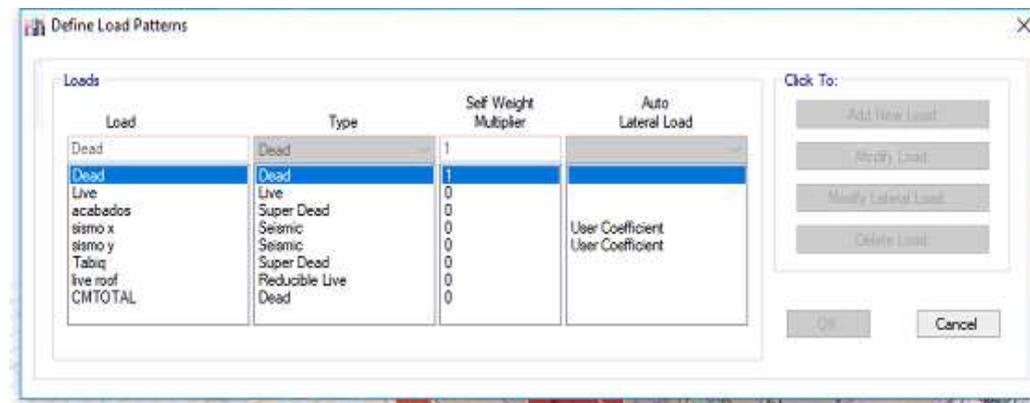


Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 39 se muestra la definición de las cargas de gravedad en el programa (Load Patterns), de acuerdo con las cargas estáticas que intervinieron en la simulación: Peso propio, cargas vivas y muertas, carga de techo y cargas de sismos x e y.

Figura 39

Definición de Cargas Actuantes



Nota. La CM como carga muerta está definida para efectos de comprobación de acabados+tabiquería.  
Elaboración Propia

## 5.6 Masa Participante

De acuerdo con el Art. 26 de la Normativa Sismorresistente E 0.30, la estimación del peso se calcula en función del uso destinado de la Tabla 10, para ello en edificaciones de “Categoría C”, se toma el 25% de la Carga Viva repartida y azoteas o sobre cargas como se muestra en la Figura 40.

Tabla 10

Categoría de la Edificaciones de acuerdo con el Uso

Tabla N° 6 CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR "U"		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	A1: Establecimientos del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo nomado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. Se incluyen las siguientes edificaciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1.</li> <li>- Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales de comunicaciones.</li> <li>- Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía.</li> <li>- Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua.</li> <li>- Instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades.</li> <li>- Edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos.</li> <li>- Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.</li> </ul>	1,5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1,3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

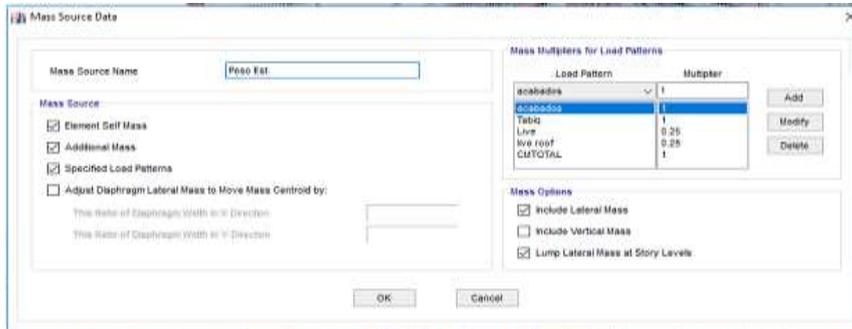
Nota. Se muestra que para edificaciones comunes el Factor de Uso corresponde a la unidad. Adaptado de "Norma E 0.30 Diseño Sismorresistente" (p. 16), por MVCS, 2018

Cuando especificamos las masas en función de las cargas de gravedad, definimos el porcentaje para analizar las masas sísmicas. La Figura 40 muestra esta definición de

acuerdo con la NTE 0.30 y en el programa se selecciona sólo la inclusión de la masa lateral y por los niveles de piso.

Figura 40

Masa Participante



Fuente: Elaboración Propia

### 5.7 Asignación de Combinaciones

En la Tabla 11 se asignaron las cargas descritas en las fórmulas 5.2 a 5.6 de acuerdo con los requisitos de diseño y servicio.

Tabla 11

Combinaciones de Cargas Requeridas

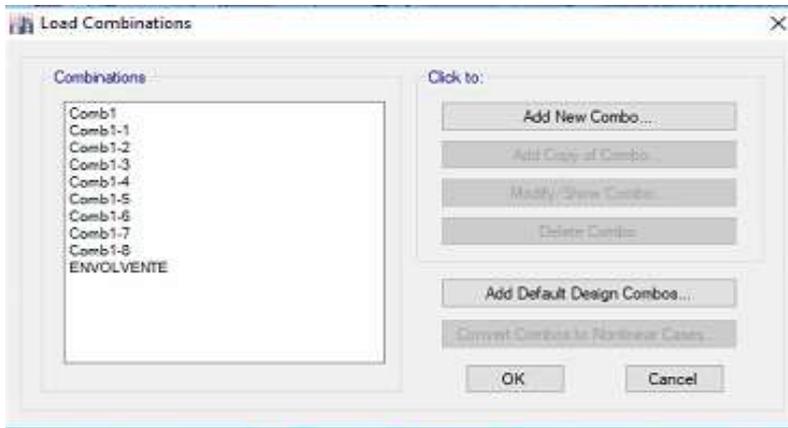
Requisitos Generales	Definición
$1,4 CM + 1,7 CV$	Conjuga las cargas muertas y vivas repartidas.
$1,25 (CM + CV) \pm CSx$	Se considera las Cargas por sismos XX y de resistencia requerida de cargas vivas y muertas.
$1,25 (CM + CV) \pm CSy$	Se considera las Cargas por sismos YY y de resistencia requerida de cargas vivas y muertas.
$0,9 CM \pm CSx$	Solo se conjuga las cargas muertas y de Sismo en XX.
$0,9 CM \pm CSy$	Solo se conjuga las cargas muertas y de Sismo en YY.
ENVOLVENTE	Conjuga todas las solicitaciones de Cargas

Nota. Tomado de “Norma E 0.60 Concreto Armado” (p. 61), por MVCS, 2009

En el programa ETABS se definió las 9 combinaciones de cargas por gravedad y sismo, a la par con la envolvente mostrada en la Figura 41.

Figura 41

Definición de Combinaciones



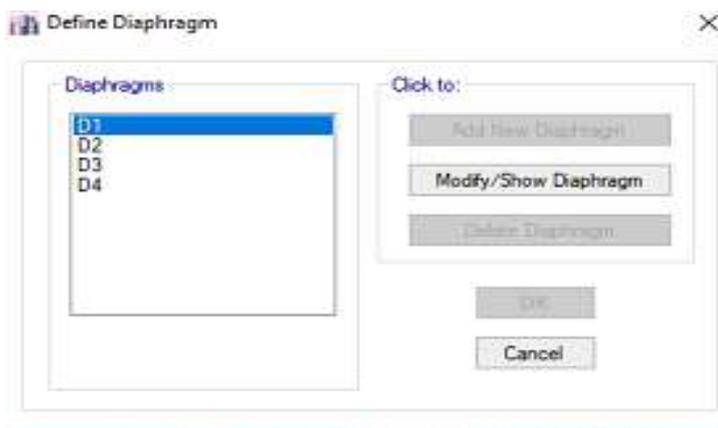
Fuente: Elaboración Propia

## 5.8 Definición del Diafragma Rígido

Los diafragmas se asignaron de acuerdo con el número de pisos de la estructura, cómo consigna el Decreto de Parámetros Urbanísticos con altura máxima permitida de 3 a 4 para uso habitacional o vivienda.

Figura 42

Definición de Diafragmas Rígidos por Niveles



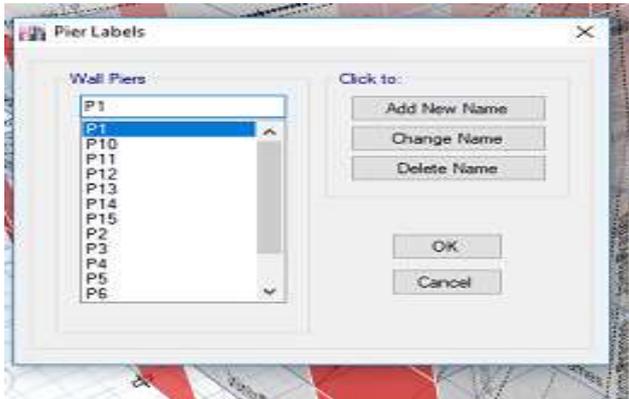
Fuente: Elaboración Propia

## 5.9 Asignación de Etiquetas

La Figura 43 muestra la representación de los 15 muros en dirección vertical y horizontal que requirieron de etiquetas, agrupando el elemento definido como Wall y las etiquetas cómo Piers Labels.

Figura 43

### Definición de Etiquetas en Muros



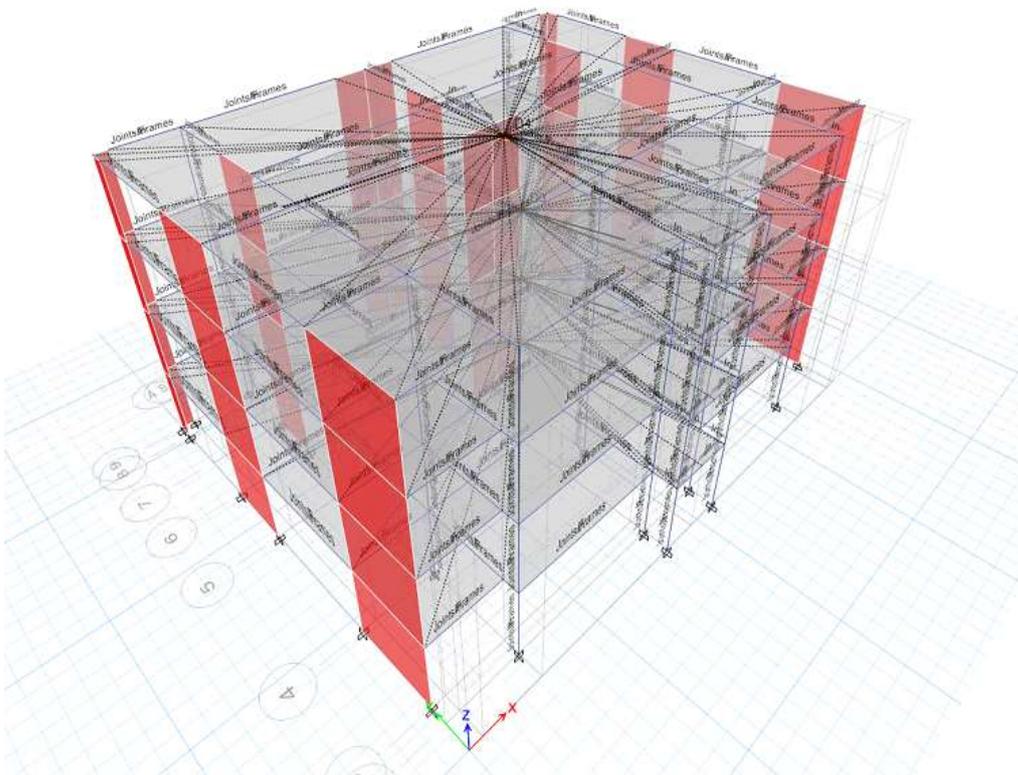
Fuente: Elaboración Propia

## 5.10 Representación del Modelo Estructural

En la Figura 44 se visualiza el modelo 3D de la estructura de análisis y en el Anexo 04 para más detalle con los diafragmas rígidos definidos en cada nivel, las cargas asignadas, la malla de elementos finitos y apoyos empotrados.

Figura 44

### Modelamiento Estructural de la Edificación de Baja Altura



Fuente: Elaboración Propia

## 5.11 Análisis Sísmico de la Estructura

### 5.11.1 Parámetros Sísmicos de la Estructura

Cada edificación que se construya debe de cumplir con los parámetros de diseño vigentes para la resistencia de solicitaciones sísmicas en su vida útil, para ello la Norma nos permite analizar de la siguiente manera:

Zonificación (Z). De acuerdo con la Tabla 12, en el Perú existen 4 zonas propuestas según la distribución espacial y atenuación. La vivienda en análisis se encuentra ubicado en el distrito de La Molina, mediante el artículo 10.2 el factor de zona que le corresponde expresado en fracción de aceleración de gravedad está en la Zona 4 es 0.45:

Tabla 12

Factores de Zonificación “Z”

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Nota. Tomado de “Norma E 0.30 Diseño Sismorresistente” (p. 11), por MVCS, 2018

Condiciones Geotécnicas. El distrito tiene un Suelo Tipo S2, caracterizados por ser suelos medianamente rígidos con ondas de corte entre 180 m/s y 500 m/s como se muestra en la Tabla 13, con valores del SPT (Ensayo de Penetración Estándar) entre 15 a 50.

Tabla 13

Perfil del Suelo  $V_s$ ,  $N_{60}$ ,  $S_u$

Tabla N° 2 CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	$V_s$	$N_{60}$	$S_u$
S <sub>0</sub>	> 1500 m/s	-	-
S <sub>1</sub>	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
S <sub>2</sub>	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S <sub>3</sub>	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S <sub>4</sub>	Clasificación basada en el EMS		

Nota. Tomado de “Norma E 0.30 Diseño Sismorresistente” (p. 13), por MVCS, 2018

Parámetros S, T<sub>P</sub> y T<sub>L</sub>. De acuerdo con el Art. 13 de la Norma E 0.30, se resume los valores del Factor de Suelo S, periodo que define el factor C y el periodo que define el inicio de C, mostrados en la Tabla 14.

Tabla 14

Parámetros S, T<sub>P</sub> y T<sub>L</sub>

Factor	Valor
S	1.05
T <sub>P</sub>	0.6
T <sub>L</sub>	2

Fuente: Elaboración Propia

Factor de Amplificación Sísmica (C). Para la generación del espectro se aplicó la metodología estipulada en la Norma E0.30, con un espectro de diseño correspondiente a un factor amortiguamiento del 5% y se evalúa utilizando las expresiones 5.9, 5.10 y 5.11.

$$T < T_p \quad C=2.5 \quad (5.9)$$

$$T_p < T < T_L \quad C=2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right) \quad (5.10)$$

$$T > T_L \quad C=2.5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right) \quad (5.11)$$

Si:

T<sub>P</sub>: Periodo que define la plataforma del factor C

T<sub>L</sub>: Periodo que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante

Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso (U). El siguiente parámetro, de categoría ya definida como “C” para edificaciones comunes de tipo Vivienda y el factor de Uso de acuerdo con la Tabla 5 de la Norma E 0.30 tiene el valor de U=1.

Coeficiente Básico de Reducción (R).

En el Art. 18.2 de la Norma E 0.30 se define para un sistema estructural de Concreto Armado tipo: Muros Estructurales el valor de un coeficiente básico de reducción igual a  $R_0=6$ .

En la Tabla 15 se presenta los parámetros utilizados para el análisis espectral en dirección X-X y Y-Y de la investigación.

Tabla 15

Parámetros para el Espectro de Diseño en los ejes X-X, Y-Y

<b>Factor</b>	<b>Valor</b>
Factor de Zona (Z)	0.4
Factor de Uso (U)	1
Factor de Amplificación Sísmica (C)	2.5
Factor de Suelo (S)	1.05
Coeficiente Básico de Reducción ( $R_0$ )	6

Fuente: Elaboración Propia

#### 5.11.2 Análisis Modal

Se realizó el análisis para poder encontrar los periodos asociados a la concentración de mayor porcentaje de masa en dirección XX e YY.

En este caso se registró los 12 modos de vibrar considerando los ya descritos 3 grados de libertad por piso, mostrados en la Tabla 16, para el cálculo del periodo fundamental se toma los de mayor % de Masa Efectiva, siendo un máximo de 90% el rango a considerar.

Presentándose que en la dirección X el periodo fundamental, se encuentra en el 1° modo de vibrar con un porcentaje en UX de 74.8%, en dirección Y se encuentra en el 2° modo de vibrar de la estructura con un 71.4% de masa participativa:

Tabla 16

Periodos en los Modos de Vibrar y % de Masa Participante

<b>Caso</b>	<b>Modo</b>	<b>Periodos (s)</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>UX (%)</b>	<b>UY (%)</b>
Modal	1	0.286	0.74790	0.00040	74.790%	0.040%
Modal	2	0.250	0.00101	0.71410	0.101%	71.410%
Modal	3	0.246	0.00100	0.00530	0.100%	0.530%
Modal	4	0.244	0.17270	0.00001	17.270%	0.001%
Modal	5	0.240	0.00030	0.19790	0.030%	19.790%
Modal	6	0.238	0.01720	0.00100	1.720%	0.100%
Modal	7	0.192	0.01260	0.00340	1.260%	0.340%
Modal	8	0.172	0.00010	0.00470	0.010%	0.470%
Modal	9	0.120	0.06500	0.00002	6.500%	0.002%
Modal	10	0.114	0.06310	0.00010	6.310%	0.010%
Modal	11	0.111	0.00100	0.05180	0.100%	5.180%
Modal	12	0.087	0.05000	0.00110	5.000%	0.110%

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 17, se resume los dos periodos fundamentales de la estructura tanto en el Eje X con un valor de 0.286 segundos y en el Eje Y con un valor de 0.249.

Tabla 17

Resumen del Periodo Fundamental

	<b>Periodos (seg)</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>Masa (%)</b>
X-X	0.286	0.74790	0.00040	74.790%
Y-Y	0.250	0.00101	0.71410	71.410%

Fuente: Elaboración Propia

Paso siguiente se detalla el Análisis Estático de acuerdo con el Art. 28 y Modal Espectral a partir del Art. 29.

### 5.12 Regularidad de la Estructura

Según la Norma E 0.30, la determinación de regularidad estructural presenta a los Factores  $I_a$ ,  $I_p=1$ , ambos factores para verificar que una estructura es regular, para ello se analizó si presenta irregularidad en Altura y en Planta. A partir de ello, se presentan las irregularidades que se necesitan en el análisis respectivo.

#### Irregularidad de Masa

De acuerdo con la Norma E 0.30 se tiene esta irregularidad cuándo el peso del nivel ( $P_i$ ) es mayor que 1.5 el peso inmediato ( $P_{i+1}$ ), para ello en la Tabla 18 se muestra que es una estructura regular ya que ningún valor sobre pasa la especificación citada en ninguno de los 4 niveles de análisis.

Tabla 18

Pesos por Nivel

<b>Nivel</b>	<b>W (ton)</b>	<b>Masa (ton*s<sup>2</sup>/m)</b>	<b>1.5W</b>	<b>Verificación</b>
1	312	48.59	468.00	Regular
2	312	42.63	468.00	Regular
3	305	42.54	457.50	Regular
4	291	32.10	436.50	Regular
$\Sigma$	<b>1220</b>	<b>165.86</b>	<b>1830</b>	

Fuente: Elaboración Propia

### Irregularidad Torsional

La Norma E 0.30 especifica que existe esta irregularidad cuando en la dirección X y en la dirección Y, el desplazamiento relativo es mayor que al 1.3 veces el desplazamiento promedio y con la condicionante que los desplazamientos relativos sean mayores en 0.5 del permisible.

La Tabla 19 muestra el análisis en el Eje X, se consideró la primera condición ya que los valores de la tercera columna varían desde 1.15 a 0.57, valores menores a 1.3.

Tabla 19

1° Verificación Irregularidad Torsional Eje X

N°	Desp. Máximo	Desp. Relativo	$\Delta$ máximo/Des. Prom.	$\Delta$ máximo/Des. Prom. > 1.3
1	0.00155	0.00135	1.14793	No cumple
2	0.00296	0.00248	1.19274	No cumple
3	0.00533	0.00421	1.26603	No cumple
4	0.01053	0.01850	0.56919	No cumple

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 20 considera la segunda condición de irregularidad torsional, donde la división de los desplazamientos máximos y las alturas de cada nivel tienen que ser menores a 0.0035 solo del 1° al 3° piso, mientras que para el 4° piso el valor de 0.0038 es mayor.

Tabla 20

2° Verificación Irregularidad Torsional Eje X

N°	Altura(h)	$\Delta$ máx./h	0.5*0.007	Irregularidad
1	2.85	0.0005446	0.0035	No existe
2	2.80	0.0010564	0.0035	No existe
3	2.80	0.0019036	0.0035	No existe
4	2.80	0.0037607	0.0035	No existe

Fuente: Elaboración Propia

Del mismo modo la Tabla 21 muestra el análisis en el Eje YY, se consideró la primera condición, sólo el 1° nivel sobrepasa con un valor de 1.39, para los niveles restantes la condición no se cumple por tener valores menores a 1.3.

Tabla 21

1° Verificación Irregularidad Torsional Eje Y

N°	Desp. Máximo	Desp. Relativo	$\Delta$ máximo/ Des. Prom.	$\Delta$ máximo/ Des. Prom. > 1.3
1	0.001322	0.0009522	1.3884	Si cumple
2	0.002403	0.002115	1.1362	No cumple
3	0.00529	0.008685	0.6091	No cumple
4	0.01074	0.00956	1.1234	No cumple

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 22 considera la segunda condición de irregularidad, observándose que del piso 1 al 3 el cálculo no sobrepasa el valor de 0.0035 mientras que en el último nivel si sobrepasa con un valor de 0.0038.

Tabla 22

2° Verificación Irregularidad Torsional Eje Y

N°	Altura(h)	$\Delta$ máx./h	0.5*0.007	Irregularidad
1	2.85	0.0004639	0.0035	No existe
2	2.80	0.0008582	0.0035	No existe
3	2.80	0.0018893	0.0035	No existe
4	2.80	0.0038357	0.0035	No existe

Fuente: Elaboración Propia

Concluyéndose que para el Eje YY, tampoco se presenta irregularidad torsional a partir de los cálculos realizados, debido a que no hay un factor constante de que todos los pisos cumplan las dos condicionantes en la verificación estructural.

### 5.13 Análisis Estático

#### 5.13.1 Fuerza Cortante

Se calcula de acuerdo con el Art. 28.2 de la Normativa Sismorresistente, para la determinación de la Fuerza Cortante en la Base, considerando que el valor de C/R tiene que ser mayor igual a 0.11.

$$V = \frac{ZUCS}{R} * P \quad (5.12)$$

De acuerdo con la Tabla 23, se pudo extraer los datos necesarios en cuanto a la estimación de Pesos (ton) con un total de 1220 toneladas y Masa (ton\*s<sup>2</sup>/m) de 165.86 extraídos del Programa Etabs.

Tabla 23

Peso de la Estructura

Nivel	W (ton)	Masa (ton*s <sup>2</sup> /m)
1	312	48.59
2	312	42.63
3	305	42.54
4	291	32.1
	<b>1220</b>	<b>165.86</b>

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 24, se analizó la Fuerza Cortante en el Eje X y en el Eje Y, obteniéndose valores desde 54.6 a 50.93 ton de la Cortante por nivel.

Tabla 24

Cortante Basal en los 4 niveles

Nivel	W (Kg)	V cortante (ton)
1	312	54.6
2	312	54.6
3	305	53.375
4	291	50.925

Fuente: Elaboración Propia

Para el cálculo de la cortante basal, se requirió de la sumatoria del peso (W) de los 4 niveles de la estructura como se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25

Parámetros para la Cortante Basal en el Eje X-X e Y-Y

	<b>Eje X-X</b>	<b>Eje Y-Y</b>
<b>ZUCS</b>	1.05	1.05
<b>R</b>	6	6
<b>C</b>	2.5	2.5
<b>P total (ton)</b>	1220	1220

Fuente: Elaboración Propia

El Factor de Amplificación Sísmica (C) presenta el valor antes propuesto de 2.5, debido a que al analizar el Periodo Fundamental de Vibración (T) resulta un valor de:

$$T = \frac{11.25}{60} = 0.188, \text{ Si: } T < T_p \quad (5.13)$$

En la Tabla 26 se presenta los resultados de la Cortante Estática en la Base de la estructura para los dos ejes direccionales, teniendo en cuenta que  $C/R \geq 0.11$ , por consiguiente, el valor de 0.417 cumple la consideración de Fuerza Cortante.

Tabla 26

Resultados de la Cortante Basal General

<b>Eje</b>	<b>V estático (ton)</b>
X	213.5
Y	213.5

Fuente: Elaboración Propia

### 5.13.2 Fuerzas de Sismos de acuerdo con la Altura de cada entrepiso

Se consideró de acuerdo con el número de pisos un factor  $K = 1$ , descrito en el Art. 28.3.2 de la NTE 0.30, presentándose en la Tabla 27 un análisis de fuerzas en cada nivel.

Tabla 27  
Fuerzas Sísmicas de la Estructura

Piso	h (m)	W (ton)	hi (m)	Pi*(hi) <sup>k</sup>	$\alpha$	Fi
1	2.850	312.000	2.850	889.200	0.105	5.710 ton
2	2.800	312.000	5.650	1762.800	0.207	11.319 ton
3	2.800	305.000	8.450	2577.250	0.303	16.178 ton
4	2.800	291.000	11.250	3273.750	0.385	19.607 ton
	<b>11.25</b>	<b>1220</b>	<b>28.2</b>	<b>8503</b>	<b>1</b>	

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 28 muestra el análisis de la excentricidad accidental de la Norma, dónde se estipula un 5% de la dimensión longitudinal de la estructura en ambas direcciones, cumpliéndose con la aplicación del Momento Torsor.

Tabla 28  
Momento Torsor Accidental

Piso	Fi	e <sub>x</sub>	e <sub>y</sub>	M <sub>x</sub> (ton-m)	M <sub>y</sub> (ton-m)
1	5.710	0.820	0.999	4.682	5.704
2	11.319	0.820	0.999	9.282	11.308
3	16.178	0.820	0.999	13.266	16.162
4	19.607	0.820	0.999	16.077	19.587

Fuente: Elaboración Propia

### 5.14 Análisis Dinámico Modal Espectral

Según señala la norma sismorresistente en el Art.29, para cada dirección tanto en el eje XX, YY se emplea un espectro de pseudo-aceleraciones:

$$S_a = \frac{Z.U.C.S}{R} * g \quad (5.14)$$

Con los datos de la Tabla 29, se realizó el espectro de Pseudo-aceleraciones tanto de forma manual como en el Programa Etabs, se tiene en consideración los mismos valores tanto para el Eje XX e YY, debido a que el Factor de Amplificación Sísmica (C) antes mencionada, no presenta modificación por ser  $T < T_p$ .

Tabla 29

Parámetros para el Espectro de Diseño en el Eje XX-YY

Factor	Valor
Z	0.4
U	1
T <sub>p</sub>	0.6
T <sub>L</sub>	2
C	2.5
S	1.05
R <sub>0</sub>	6
g (m/s <sup>2</sup> )	9.81
I <sub>a</sub>	1
I <sub>p</sub>	1
R	6

Fuente: Elaboración Propia

Una vez parametrizado en ambos ejes los valores de los factores sísmicos se realiza la curva del espectro con periodos en un rango de 0 a 10 s, como se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30

Aceleración Espectral en los Ejes XX e YY

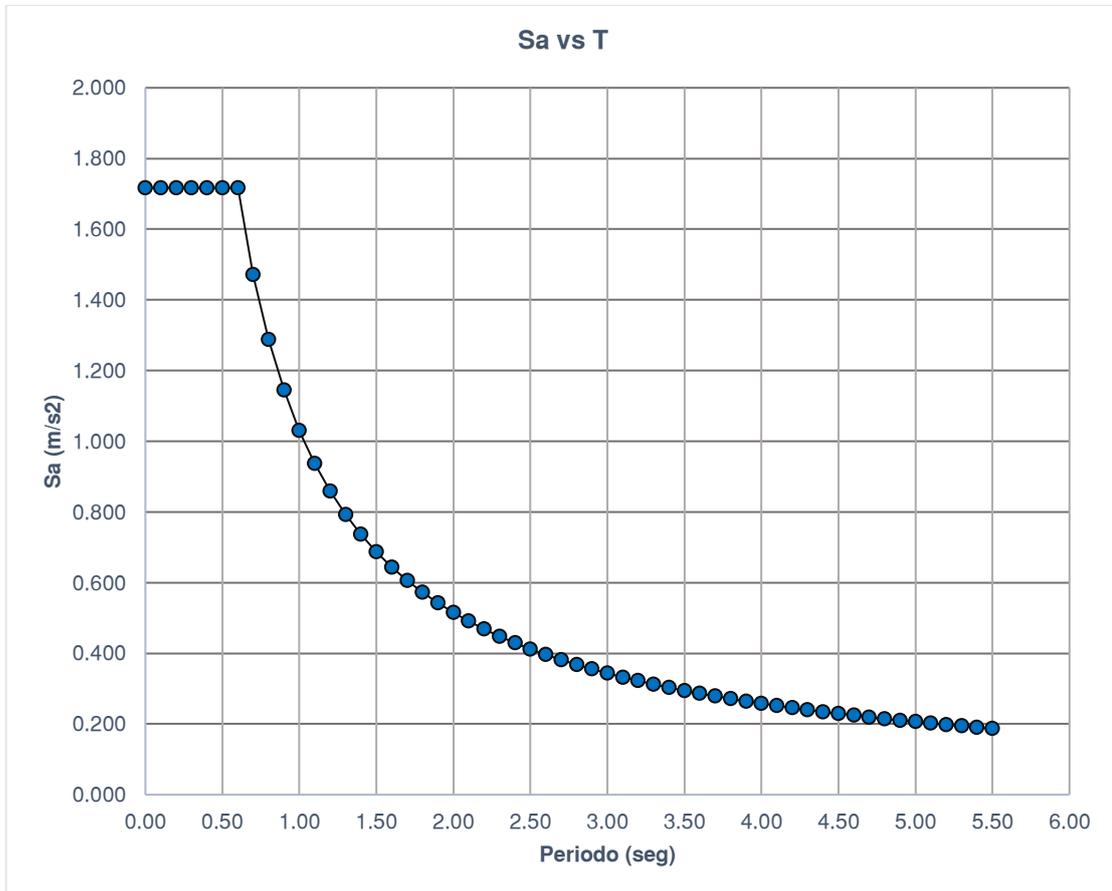
<b>T (s)</b>	<b>C</b>	<b>Sa (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>T (s)</b>	<b>C</b>	<b>Sa (m/s<sup>2</sup>)</b>
0.00	2.500	1.717	5.30	0.283	0.194
0.10	2.500	1.717	5.40	0.278	0.191
0.20	2.500	1.717	5.50	0.273	0.187
0.30	2.500	1.717	5.60	0.268	0.184
0.40	2.500	1.717	5.70	0.263	0.181
0.50	2.500	1.717	5.80	0.259	0.178
0.60	2.500	1.717	5.90	0.254	0.175
0.70	2.143	1.472	6.00	0.250	0.172
0.80	1.875	1.288	6.10	0.246	0.169
0.90	1.667	1.145	6.20	0.242	0.166
1.00	1.500	1.030	6.30	0.238	0.164
1.10	1.364	0.936	6.40	0.234	0.161
1.20	1.250	0.858	6.50	0.231	0.158
1.30	1.154	0.792	6.60	0.227	0.156
1.40	1.071	0.736	6.70	0.224	0.154
1.50	1.000	0.687	6.80	0.221	0.151
1.60	0.938	0.644	6.90	0.217	0.149
1.70	0.882	0.606	7.00	0.214	0.147
1.80	0.833	0.572	7.10	0.211	0.145
1.90	0.789	0.542	7.20	0.208	0.143
2.00	0.750	0.515	7.30	0.205	0.141
2.10	0.714	0.491	7.40	0.203	0.139
2.20	0.682	0.468	7.50	0.200	0.137
2.30	0.652	0.448	7.60	0.197	0.136
2.40	0.625	0.429	7.70	0.195	0.134
2.50	0.600	0.412	7.80	0.192	0.132
2.60	0.577	0.396	7.90	0.190	0.130
2.70	0.556	0.382	8.00	0.188	0.129
2.80	0.536	0.368	8.10	0.185	0.127
2.90	0.517	0.355	8.20	0.183	0.126
3.00	0.500	0.343	8.30	0.181	0.124
3.10	0.484	0.332	8.60	0.174	0.120
3.20	0.469	0.322	8.70	0.172	0.118
3.30	0.455	0.312	8.80	0.170	0.117
3.40	0.441	0.303	8.90	0.169	0.116
3.50	0.429	0.294	9.00	0.167	0.114
3.60	0.417	0.286	9.10	0.165	0.113
3.70	0.405	0.278	9.20	0.163	0.112
3.80	0.395	0.271	9.30	0.161	0.111
3.90	0.385	0.264	9.40	0.160	0.110
4.00	0.375	0.258	10.00	0.150	0.103

Fuente: Elaboración Propia

Presentándose en la Figura 45, la curva de pseudo-aceleraciones en función del periodo  $T$  (s) y la aceleración en términos de  $S_a$  ( $m/s^2$ ).

Figura 45

Espectro de Diseño



Fuente: Elaboración Propia

#### 5.14.1 Cortante Dinámico

Una vez incorporado al Programa el espectro de pseudo-aceleraciones, se define los casos modales de carga dinámica tanto en Dirección X como se muestra en la Figura 46 con el nombre de carga traslacional U1 y en Dirección Y con carga traslacional U2 como se muestra en la Figura 47, teniendo en consideración el 5% de excentricidad para el análisis.

Figura 46

Caso de Carga Eje X

Load Case Data

General

Load Case Name: SDX

Load Case Type: Response Spectrum

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (Peso Est.)

Design... Notes...

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	ESPECTRO 2.2.2.22	9.8067

Add Delete Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, t\_d:

Directional Combination Type: Absolute

Absolute Directional Combination Scale Factor: 1

Modal Damping: Constant at 0.05

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms

Modify/Show... Modify/Show...

OK Cancel

Fuente: Elaboración Propia

Figura 47

Caso de Carga Eje Y

Load Case Data

General

Load Case Name: SDY

Load Case Type: Response Spectrum

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (Peso Est.)

Design... Notes...

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	ESPECTRO 2.2.2.22	9.8067

Add Delete Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, t\_d:

Directional Combination Type: Absolute

Absolute Directional Combination Scale Factor: 1

Modal Damping: Constant at 0.05

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms

Modify/Show... Modify/Show...

OK Cancel

Fuente: Elaboración Propia

### 5.14.2 Fuerza Cortante Dinámica

De los datos extraídos del Programa Etabs, se obtiene los valores de cortante dinámica  $V_{\text{dinámica X-X}}$ ,  $V_{\text{dinámica Y-Y}}$ , que, de acuerdo con la Normativa, la Fuerza Cortante no debe ser menor que el 80% calculado para la  $V$  estática calculado si nos referimos a estructuras regulares, mientras que para estructuras irregulares se debe de cumplir en un 90% como se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31

Fuerza Cortante Mínima en los Ejes XX-YY

Eje	V estático (ton)	V dinámico (ton)
X	213.5	170.530
Y	213.5	170.530

Fuente: Elaboración Propia

Se procede al cálculo del Factor de Escalamiento con las consideraciones mencionadas para verificar si la estructura es regular o irregular.

La Tabla 32, registra valores tanto en el eje X e Y con un factor de escalamiento de 1.002, de modo que satisface la verificación de estructura regular en ambos ejes.

Tabla 32

Factor de Escalamiento en los Ejes XX-YY

Eje	V estático (ton)	V dinámico (ton)	$V_D/V_E$	Cumple	F. S
X	213.500	170.530	0.799	SI	1.002
Y	213.500	170.530	0.799	SI	1.002

Fuente: Elaboración Propia

### 5.14.3 Derivas de Piso de Acuerdo a la NTE 0.30

De acuerdo con el Capítulo V de la Normativa E 0.30 para los requisitos de rigidez, el límite de distorsión de entrepiso mostrada en la Tabla 33, en una Estructura de Concreto Armado no debería exceder el 7%.

Tabla 33

Límites de Distorsión de la Norma E 0.30

Material Predominante	( $\Delta_i / h_w$ )
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Nota. Tomado de “Norma E 0.30 Diseño Sismorresistente” (p. 30), por MVCS, 2018

A partir de ello, mediante Etabs se obtuvieron las derivas de piso de acuerdo con el Sismo en X y Sismo en Y, mediante la terminación Máx. Drift por niveles como se muestra en la Tabla 34, conocidas como derivas en el rango elástico aceptables de 0.05% hasta 0.15% y dentro del rango admisible para  $\Delta_{elástica}$ .

Tabla 34

Derivas de Entrepiso Ejes xx-yy

Nivel	Load Case/Combo	Dirección	Deriva (Drift)
Story4	sismo x	X	0.001496
Story4	sismo y	Y	0.001161
Story3	sismo x	X	0.001413
Story3	sismo y	Y	0.001143
Story2	sismo x	X	0.001545
Story2	sismo y	Y	0.000960
Story1	sismo x	X	0.000834
Story1	sismo y	Y	0.000472

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 35, muestra la verificación del cumplimiento de la deriva límite 0.007, en el caso de Sismo x. Para el cálculo de la deriva inelástica, se presentan valores muy cercanos a la deriva límite en el Caso de Sismo X en el cálculo de la ecuación 5.15 de  $\Delta_{inelástica}$ .

$$\Delta_{inelástica} = 0.75 * R * \Delta, \text{ Si: } R=6 \quad (5.15)$$

Tabla 35

Derivas Inelásticas de entrepiso Sismo X

Nivel	Dirección	Deriva	Deriva Inelástica	$\Delta_{inelástica}\%$	$\Delta$ Límite	Cumple
4°	sismo x	0.00150	0.00673	0.673%	0.7%	Si
3°	sismo x	0.00141	0.00636	0.636%	0.7%	Si
2°	sismo x	0.00155	0.00695	0.695%	0.7%	Si
1°	sismo x	0.00083	0.00375	0.375%	0.7%	Si

Fuente: Elaboración Propia

Para el caso de Carga de Sismo en Y, la Tabla 36 demuestra la verificación en los 4 niveles en porcentajes menores comparados con el Caso de Carga de Sismo en X.

Tabla 36

Derivas Inelásticas de entrepiso Sismo Y

Nivel	Dirección	Deriva	Deriva Inelástica	$\Delta_{inelástica}\%$	$\Delta$ Límite	Cumple
4°	sismo y	0.00116	0.00523	0.523%	0.7%	Si
3°	sismo y	0.00114	0.00514	0.514%	0.7%	Si
2°	sismo y	0.00096	0.00432	0.432%	0.7%	Si
1°	sismo y	0.00047	0.00212	0.212%	0.7%	Si

Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el siguiente capítulo se realizó el análisis de los resultados finales obtenidos del Análisis dinámico del Factor Suelo y el Análisis Estructural de la edificación, para el primer análisis dinámico del factor suelo se muestra tablas de los periodos fundamentales finales obtenidos, amplitudes y frecuencias promedios; mientras que para el caso de Análisis Estructural de la edificación se verificó las derivas de entrepiso, así como un análisis estático y dinámico modal para la verificación de la estructura según la Normativa Sismorresistente vigente.

### 6.1 Resultados del Análisis Factor Suelo

Se detalla los periodos en función de las amplitudes y por ende las frecuencias por cada registro analizado:

#### 6.1.1 Amplitudes y Frecuencias

Una vez generado las curvas, se procedió al cálculo de cada periodo fundamental de acuerdo con el espectro máximo solicitado en el rango de Frecuencias de 0.8 a 2 Hz, 2 a 4 Hz, 4 a 6 Hz y 6 a 20 Hertz. En la Tabla 37, se muestran los resultados en referencia a las 4 familias espectrales rango de amplitud desde 1.033 hasta 3.003 veces y frecuencias de 0.947 a 17.033 Hz.

Tabla 37

Resultados de Amplitudes y Frecuencias

Familia Espectral	FTE	Amplitud (veces)	Frecuencias (Hz)
Familia Espectral I	FTE-MO-16	1.840	0.947
	FTE-MO-13	2.036	1.112
	FTE-MO-03	1.915	2.761
	FTE-MO-04	2.879	2.617
Familia Espectral II	FTE-MO-07	2.633	2.617
	FTE-MO-11	2.141	2.481
	FTE-MO-12	2.371	2.113
	FTE-MO-14	1.785	1.785
Familia Espectral III	FTE-MO-15	1.033	5.248
	FTE-MO-02	1.528	4.016
	FTE-MO-06	3.003	4.236
Familia Espectral IV	FTE-MO-01	1.723	9.974
	FTE-MO-05	1.383	13.751
	FTE-MO-09	1.844	17.033
	FTE-MO-10	1.662	6.500

Nota. Se agruparon todas las funciones de transferencias empíricas (FTE-MO) de los puntos desde 1 al 16. Elaboración Propia

### 6.1.2 Periodos de Vibración en la Familia Espectral I

La Tabla 38, muestra en el rango de frecuencias 0.8 a 2 Hz, amplitudes con valores máximos de 1.8 hasta 2.1 (veces), con una frecuencia promedio de 1.029 Hz y un periodo fundamental promedio de 0.978 segundos.

Tabla 38

Resultados de los Periodos de Vibración en la Familia Espectral I

0.8 a 2 Hz		
f (Hz)	FTE-MO-16	FTE-MO-13
0.8062	1.7803	1.8284
0.8506	1.8117	1.7951
0.8973	1.8276	1.8051
0.9467	1.8398	1.8470
0.9987	1.8291	1.9026
1.0536	1.7517	1.9631
1.1115	1.6462	2.0362
1.1726	1.5410	1.9729
1.2371	1.4877	1.8082
1.3051	1.4468	1.7171
1.3769	1.4022	1.6300
1.4526	1.3435	1.5575
1.5324	1.2736	1.5570
1.6167	1.2062	1.4725
1.7056	1.1934	1.3055
1.7993	1.2241	1.1697
1.8982	1.2494	1.0525
2.0026	1.2491	0.9445
<b>Promedio</b>		1.029
<b>Periodos (1/Hz)</b>	1.056	0.900
<b>Periodo Prom. (seg)</b>		0.978

Fuente: Elaboración Propia

### 6.1.3 Periodos de Vibración en la Familia Espectral II

La Tabla 39, muestra valores más elevados en el rango de frecuencias debido a que existe mayores espectros agrupados en el rango de frecuencias de 2 a 4 Hz, para ello de acuerdo con los máximos valores por cada Función de Transferencia en el rango de Amplitudes (veces) se obtuvo una frecuencia promedio de 2.395 Hz y el periodo fundamental de la Familia Espectral II con un valor de 0.427 segundos.

Tabla 39

Resultados de los Periodos de Vibración en la Familia Espectral II

2.0 a 4.0 hz						
f (Hz)	FTE-MO-03	FTE-MO-04	FTE-MO-07	FTE-MO-11	FTE-MO-12	FTE-MO-14
2.0026	0.9680	1.4736	1.0741	1.2948	2.1178	1.6471
2.1127	1.1688	1.7884	1.2558	1.5102	2.3714	1.7234
2.2288	1.3577	2.0888	1.5737	1.7622	2.1758	1.7846
2.3514	1.4915	2.4300	2.0185	1.9929	1.9051	1.7610
2.4806	1.6852	2.7856	2.4433	2.1410	1.5633	1.6454
2.6170	1.8727	2.8795	2.6333	2.1155	1.1507	1.4801
2.7609	1.9150	2.7755	2.5695	2.0562	0.8621	1.2941
2.9127	1.8620	2.7490	2.4043	1.9925	0.8052	1.1212
3.0728	1.7709	2.7517	2.2319	1.8919	0.8523	0.9970
3.2417	1.6435	2.5546	1.8902	1.8576	0.8333	0.9525
3.4200	1.4630	2.2658	1.5553	1.7440	0.8878	0.9521
3.6080	1.3331	2.0233	1.3680	1.6375	1.1408	1.0006
3.8063	1.2741	1.7961	1.2304	1.7541	1.4335	1.0973
4.0156	1.2139	1.5788	1.1102	1.8612	1.2440	1.1590
<b>Promedio</b>				2.395		
<b>Periodos (1/Hz)</b>	0.362	0.382	0.382	0.403	0.473	0.560
<b>Periodo Prom. (seg)</b>				0.427		

Fuente: Elaboración Propia

#### 6.1.4 Periodos de Vibración en la Familia Espectral III

La Tabla 40, muestra incremento en el rango de frecuencias, con un valor promedio de 4.5 Hertz para 3 funciones de transferencia que inciden en la Familia Espectral señalada, por otro lado, se registró un valor promedio del periodo fundamental en el rango de 0.225 segundos, decreciendo en un 50% con respecto a la Familia Espectral II.

Tabla 40

Resultados de los Periodos de Vibración en la Familia Espectral III

4.0 a 6.0 hz			
f (Hz)	FTE-MO-15	FTE-MO-02	FTE-MO-06
4.0156	0.7604	1.5276	2.8679
4.2363	0.7813	1.4639	3.0028
4.4692	0.8538	1.3456	2.9319
4.7149	0.9364	1.2959	2.7660
4.9742	1.0206	1.3202	2.5367
5.2476	1.0330	1.2695	2.2402
5.5361	0.9715	1.1418	2.0083
5.8405	0.9391	1.0310	1.8540
<b>Promedio</b>		4.500	
<b>Periodos (1/Hz)</b>	0.191	0.249	0.236
<b>Periodo Prom. (seg)</b>		0.225	

Fuente: Elaboración Propia

#### 6.1.5 Periodos de Vibración en la Familia Espectral IV

La Tabla 41 muestra incrementos significativos en el rango de frecuencias, con un valor promedio de 11.815 Hertz para las 4 funciones de transferencia empírica en los puntos (FTE-MO): 01, 05, 09, 10, registrándose un valor promedio del periodo fundamental en el rango de 0.096 segundos.

Tabla 41

## Resultados de los Periodos de Vibración en la Familia Espectral IV

6.0 a 20 hz				
f (Hz)	FTE-MO-01	FTE-MO-05	FTE-MO-09	FTE-MO-10
6.1616	1.0898	1.0992	1.0853	1.6314
6.5003	1.1125	1.0392	1.0360	1.6620
6.8577	1.1930	0.9759	1.0287	1.5949
7.2347	1.2584	0.9440	1.0320	1.5237
7.6324	1.3018	0.8900	1.0372	1.4700
8.0520	1.3718	0.8580	1.0796	1.3493
8.4947	1.4902	0.8966	1.1368	1.1637
8.9617	1.5983	0.9539	1.1850	0.9812
9.4544	1.6797	0.9616	1.2170	0.8416
9.9741	1.7231	0.9645	1.2061	0.7598
10.5225	1.6271	1.0118	1.1944	0.6787
11.1009	1.4863	1.0655	1.2336	0.5956
11.7112	1.4006	1.1151	1.2821	0.5384
12.3551	1.3251	1.2416	1.2853	0.4970
13.0343	1.2655	1.3792	1.2895	0.4593
13.7509	1.2869	1.3828	1.3063	0.4199
14.5069	1.3717	1.2726	1.3198	0.3918
15.3044	1.3634	1.1729	1.4307	0.3887
16.1458	1.2179	1.0912	1.6702	0.3933
17.0334	1.1003	0.9751	1.8440	0.3848
17.9699	1.0452	0.8730	1.8233	0.3778
18.9578	1.0039	0.8353	1.7010	0.3843
20.0000	0.9953	0.8212	1.5757	0.3862
<b>Promedio</b>			11.815	
<b>Periodos (1/Hz)</b>	0.100	0.073	0.059	0.154
<b>Periodo Prom. (seg)</b>			0.096	

Fuente: Elaboración Propia

## 6.2 Resultados del Análisis Factor Estructura

### 6.2.1 Modos de Vibración

Se detalla en primera instancia los modos de vibrar de la estructura, información extraída del Programa Etabs para ambos ejes, en la Tabla 42 se muestra de manera resumida los 12 modos de vibrar y su respecto % de incidencia, que según detalla la Norma E 0.30 están en función de la rigidez de la estructura, encontrándose para el 1° Modo un valor de 0.286 segundos en dirección X y para el 2° Modo un valor de 0.249 segundos en la dirección Y.

Tabla 42

Resultado de Periodos-Caso Modal

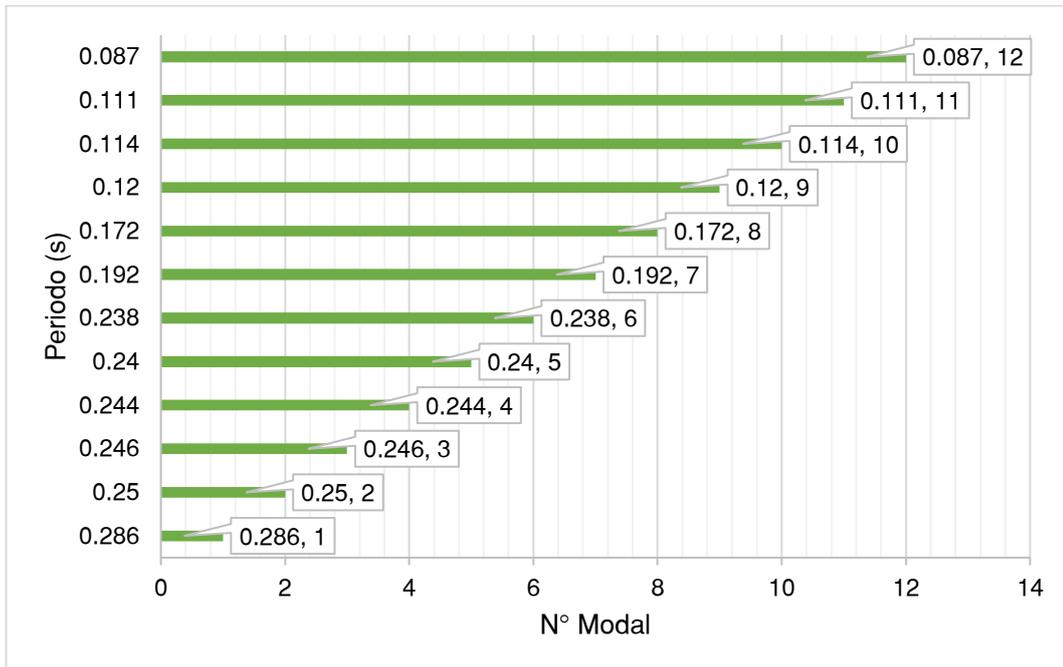
Modo	Periodos (s)
1	0.286
2	0.250
3	0.246
4	0.244
5	0.240
6	0.238
7	0.192
8	0.172
9	0.120
10	0.114
11	0.111
12	0.087

Fuente: Elaboración Propia

Se graficó los periodos y modos de vibrar de la estructura, como se aprecia en la Figura 48, con la finalidad de mostrar que a medida que sube el nivel o por cada entrepiso, en la estructura los modos de vibrar en función de los periodos tienden a decrecer, validando que en los primeros modos se tiene la mayor influencia traslacional (%) de periodos de la estructura.

Figura 48

Periodos en los Modos de Vibrar



Fuente: Elaboración Propia

6.2.2 Fuerzas Cortantes

La Tabla 43, contiene los resultados de las Fuerzas Cortante en el Eje X y en el Eje Y analizados por cada entrepiso, obteniéndose valores que van desde 50 a 55 ton.

Tabla 43

Cortante Basal en los 4 niveles

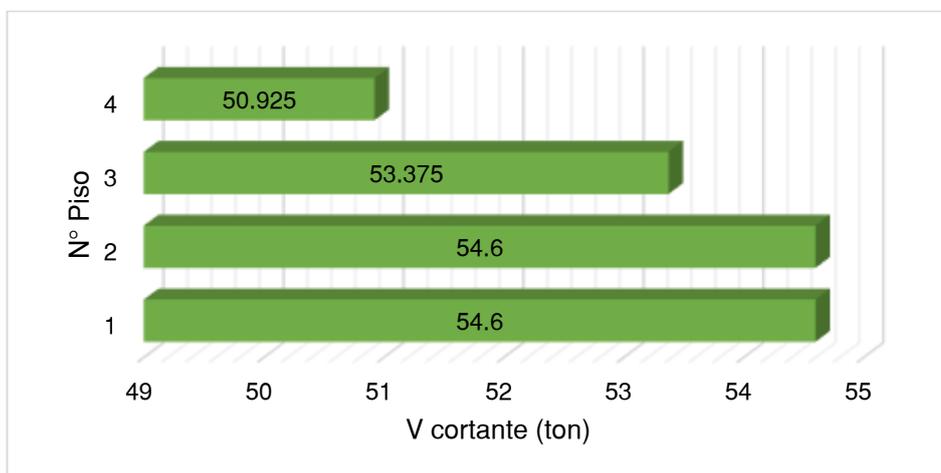
Nivel	V cortante (ton)
1	54.60
2	54.60
3	53.375
4	50.925
Total	213.5

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 49 se muestra que en el 1° y 2° piso se tiene los mayores valores de Fuerzas Cortantes en la Base con un valor de 54.6 ton respectivamente analizado de acuerdo con la NTE 0.30.

Figura 49

Fuerza Cortante en la Base



Fuente: Elaboración Propia

### 6.2.3 Fuerzas Sísmicas en Altura

En la Tabla 44 se muestra los resultados de las Fuerzas Sísmicas analizadas en la distribución en función del peso, altura y el factor k en función del periodo fundamental de la estructura.

Tabla 44

Fuerzas Sísmicas en Altura

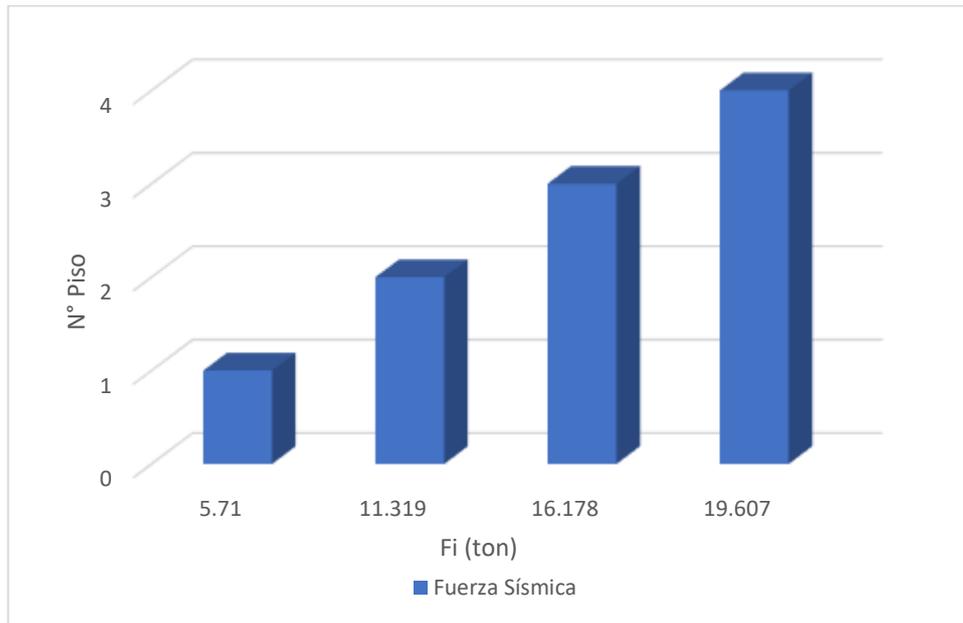
Piso	Fi
1	5.710 ton
2	11.319 ton
3	16.178 ton
4	19.607 ton
<b>Total</b>	<b>52.814 ton</b>

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 50, se representa estas Fuerzas Sísmicas en cada Nivel variando de 5.71 a 19.61 ton, incrementándose a medida que se distribuye en altura.

Figura 50

Fuerza de Sismo en Altura



Fuente: Elaboración Propia

6.2.4 Derivas

Se muestra en la Tabla 45, los valores obtenidos en la determinación de desplazamientos laterales admisibles que contempla la NTE 0.30 en el Art.32, en relación con el máximo desplazamiento de entrepiso, mostrando valores muy cercanos al límite de 0.007 como distorsión desde el 2° al 4° piso, debiéndose a que en esa dirección se cuenta con menor rigidez.

Tabla 45

Derivas Sismo X

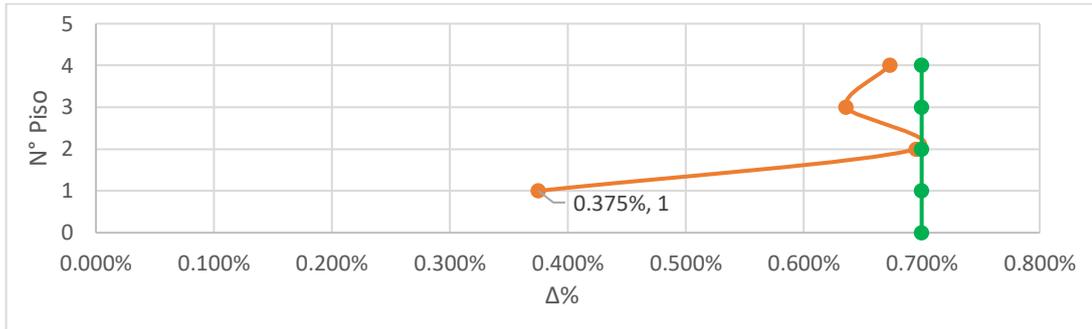
Nivel	Dirección	Deriva Inelástica	$\Delta_{inelástica}\%$
4°	sismo x	0.00673	0.673%
3°	sismo x	0.00636	0.636%
2°	sismo x	0.00695	0.695%
1°	sismo x	0.00375	0.375%

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 51, se representa la distorsión admisible y las derivas de la estructura en un rango de 0.0038 a 0.0067 valores muy cercanos al límite.

Figura 51

Derivas Admisibles en Sx



Fuente: Elaboración Propia

En Tabla 46, se muestra valores mucho menores a los valores de Sismo y, debido a que en esta dirección hay mayor rigidez por la mayor demanda de muros.

Tabla 46

Derivas Sismo Y

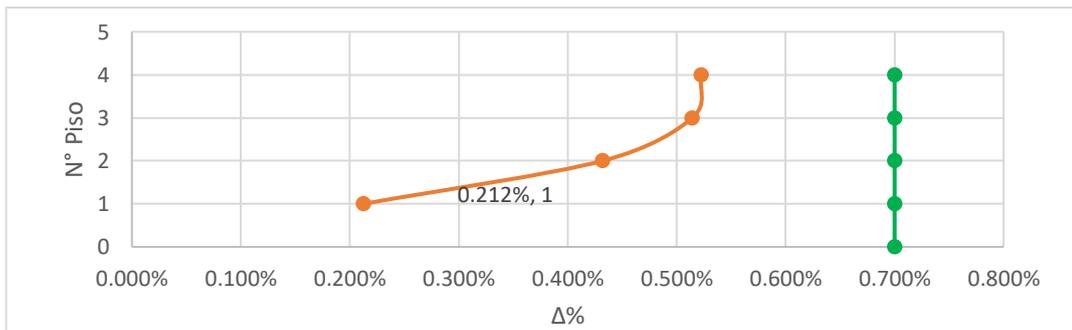
Nivel	Dirección	Deriva Inelástica	$\Delta_{inelástica} \%$
4°	sismo y	0.00523	0.523%
3°	sismo y	0.00514	0.514%
2°	sismo y	0.00432	0.432%
1°	sismo y	0.00212	0.212%

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 52, se representa la distorsión admisible y las derivas de la estructura en un rango de 0.0021 a 0.0052.

Figura 52

Derivas Admisibles en Sy



Fuente: Elaboración Propia

Se presenta en la Tabla 47 los valores finales de ambos casos tanto en dirección x como en y, con valores en rangos de 0.002 a 0.0069, cerca al admisible.

Tabla 47

Derivas en Sismo XX-YY

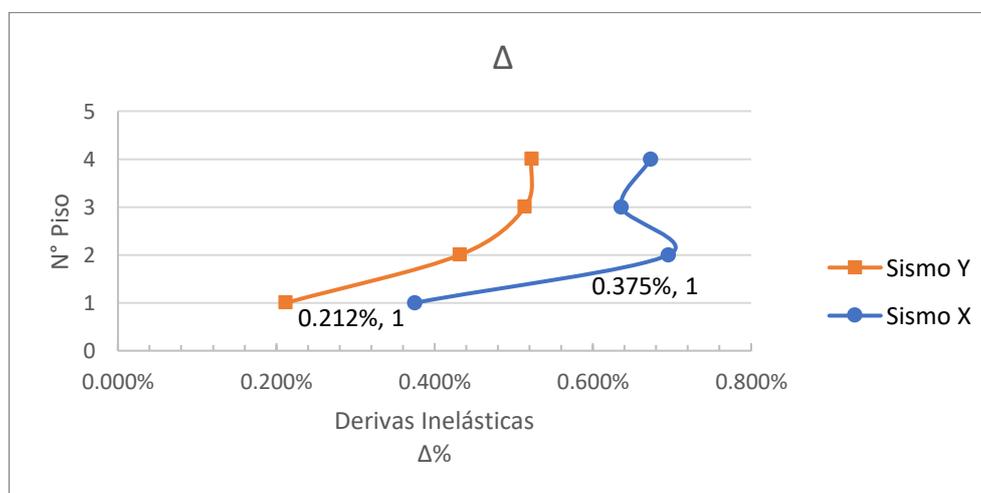
Nivel	Load Case/Combo	Dirección	Deriva
Story4	sismo x	X	0.00673
Story4	sismo y	Y	0.00523
Story3	sismo x	X	0.00636
Story3	sismo y	Y	0.00514
Story2	sismo x	X	0.00695
Story2	sismo y	Y	0.00432
Story1	sismo x	X	0.00375
Story1	sismo y	Y	0.00212

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 53, se realiza una comparación de las curvas de derivas admisibles con caso de Sismo en x e y, citados en las tablas y gráficos anteriores, demostrando un mejor comportamiento el Caso Sismo Y con valores más bajos.

Figura 53

Derivas Admisibles en Sx-Sy



Fuente: Elaboración Propia

### 6.3 Resultados Factor Suelo-Estructura

En la Tabla 48 se muestra los valores que toma CISMID en el Estudio de Microzonificación Sísmica de acuerdo con su ensayo de micro trepidaciones realizado:

Tabla 48

Descripción de Microzonificación Sísmica

Zonas	Periodos (s)	Peligro Sísmico	Descripción
I	0 a 10	Bajo	Buena capacidad portante
II	0.10 a 0.30	Moderado	Moderada capacidad portante
III	0.30 a 0.40	Fuerte	Desfavorable comportamiento dinámico
IV	>0.40	Alto	Desfavorable comportamiento dinámico

Nota. Adaptado de “Microzonificación Sísmica en el Distrito de la Molina” (p. 38), por CISMID, 2010

La Tabla 49 muestra los resultados de los periodos calculados con los registros y la agrupación de Zonas descrito por CISMID en su Informe de Microzonificación, a partir de ello poder identificar en que zonas se encuentra los cálculos realizados por cada Familia Espectral que se generó.

Tabla 49

Comparación de Periodos

Familia	Periodo Promedio (s)	CISMID 2010
I	>0.978	Zona IV
II	0.427 a 0.978	Zona III-IV
III	0.225 a 0.427	Zona II y III
IV	0.096 a 0.225	Zona I y II

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 50, muestra los resultados de las 4 Familias Espectrales en función del rango de periodos que va desde 0.096 hasta 0.978 del factor suelo, mientras que para el Factor Estructura se tomó los periodos fundamentales de 0.25 s tanto del Eje X y 0.29 s para el Eje Y.

Tabla 50

Clasificación Factor Suelo-Estructura

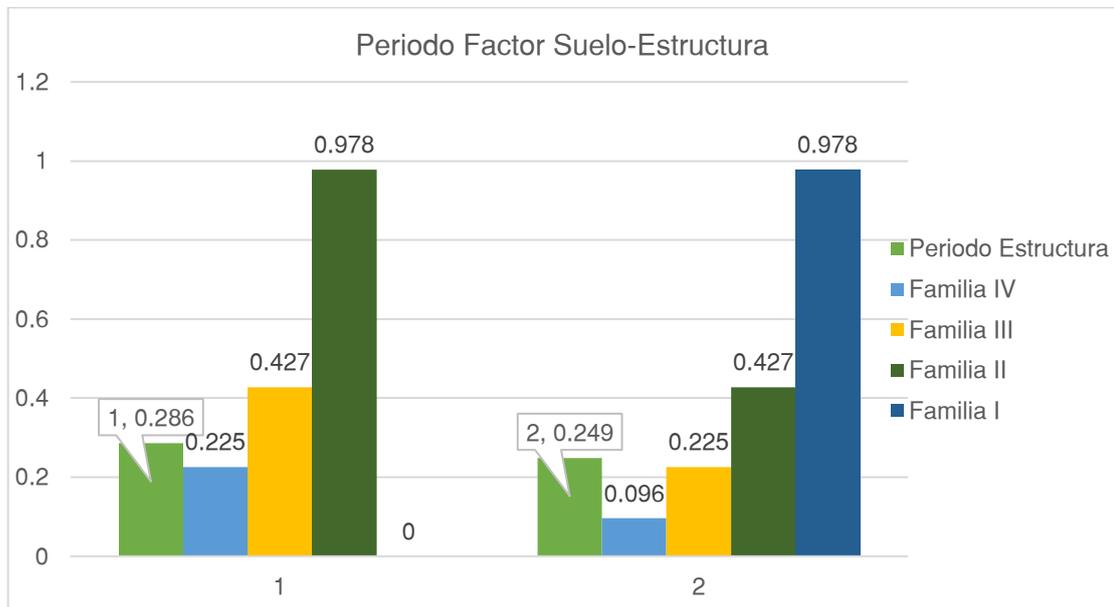
Factor	Rango Periodos (s)	
Estructura	0.249	0.286
Familia IV	0.096	0.225
Familia III	0.225	0.427
Familia II	0.427	0.978
Familia I	0.978	>

Fuente: Elaboración Propia

Se procedió a graficar los valores en cada rango para identificar en que Familia Espectral se encuentra el periodo de vibrar de la estructura como se muestra en la Figura 54, identificándose que se encuentra dentro de la Familia Espectral III correspondiente a la Zona II con mayor incidencia.

Figura 54

Periodos Factor Suelo-Estructura



Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 51 muestra en resumen los valores de la Familia Espectral III en rangos de periodos fundamentales del suelo, los principales periodos de vibrar de la Estructura analizada y la Clasificación de Zona II descrita por CISMID.

Tabla 51

Clasificación de los Periodos Fundamentales

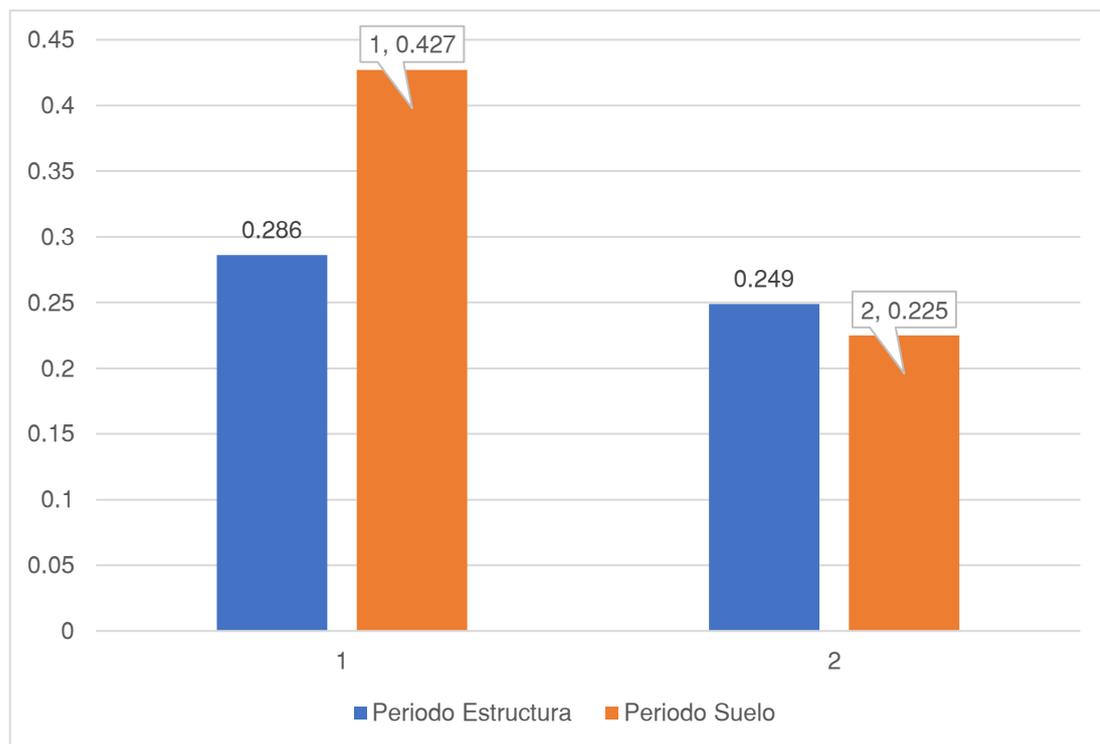
Factor	Valor	Periodo X (s)	Periodo Y (s)	CISMID
Familia III	0.225 a 0.427	0.286	0.249	Zona II

Fuente: Elaboración Propia

A partir de la Tabla citada anteriormente se procedió a graficar el rango de periodos de la estructura y el factor suelo para la Familia Espectral III como se muestra en la Figura 55, encontrándose los valores de la estructura dentro del rango del factor suelo, mediante el cual se puede inferir una mayor probabilidad de existencia de resonancia estructural.

Figura 55

Periodo Fundamental



Fuente: Elaboración Propia

## 6.4 Contratación de Hipótesis

- a) Hipótesis General: Si los periodos de vibración en una edificación de concreto armado coinciden con el periodo del suelo, la influencia del efecto de sitio se incrementa.

Del análisis realizado para el Factor Suelo, los rangos de frecuencias y amplitudes determinaron los periodos fundamentales en el análisis, es decir cada Familia Espectral estima un rango desde 0.096 segundos a valores mayores que 0.978 s, mientras que para el análisis sísmico de la estructura los modos de vibrar determinados están dentro del rango de 0.286 segundos, comprobándose que a medida que aumente el rango de valores, el efecto de sitio en términos de periodos se incrementa y por lo tanto hay una mayor probabilidad que coincidan estos periodos, de esta forma se verificó la hipótesis planteada.

- b) Hipótesis Específica 01: Si se analiza un registro de ensayo de vibración ambiental, se determina valores más certeros en los modos de vibrar del suelo.

Los registros utilizados en la presente investigación parten de un ensayo de vibración ambiental, por lo que la obtención dependiente de los factores de sitio muestra valores aceptables, en rangos de frecuencias desde 0.8 a 20 Hz y amplitudes desde 1.033 a 3.003 veces, de modo que a medida que se actualiza mejor la información con un análisis computacional que simplifica los métodos de convolución de espectros del registro propuesto, se determina valores más certeros en los cálculos realizados, validándose así el cumplimiento de la hipótesis descrita.

- c) Hipótesis Específica 02: Si determinamos un método empírico adecuado, se puede evaluar los rangos de las amplitudes y frecuencias de vibración en el factor suelo.

A partir de los resultados obtenidos, se corroboró que la determinación del método empírico adecuado evaluó y calculó los parámetros requeridos para la

formación de funciones de transferencia empírica (FTE) bajo la Técnica del cociente espectral H/V, generando los rangos de amplitudes y frecuencias mostrados en las Tablas 37, 38, 39, 40 y 41 de ondas de vibración en el sitio de estudio dentro de los valores esperados, además de compararlos con estudios de microzonificación propuestos en años anteriores, lo cual satisface los requerimientos de evaluar el comportamiento dinámico del suelo, en consecuencia se verificó el cumplimiento de la hipótesis.

- d) Hipótesis Específica 03: Al generar familias espectrales, se determina eficazmente el periodo promedio del suelo.

De los resultados obtenidos tanto para frecuencias y amplitudes, detallados en función del agrupamiento de curvas con similar espectro en rangos de amplitudes y de acuerdo a las curvas que generan cada una de las funciones de transferencia empírica analizadas mostradas en los espectros de las Figuras 33, 34, 35 y 36, se corrobora el cálculo realizado para hallar eficazmente el periodo promedio del suelo, que decrece en un 50% desde la Familia Espectral I hasta la Familia Espectral IV, validando así el cumplimiento de la hipótesis

- e) Hipótesis Específica 04: Al realizar un modelamiento de elementos finitos y el análisis sísmico se estima valores reducidos en los periodos y modos de vibrar de una edificación de concreto armado.

A partir del análisis sísmico realizado en la edificación de baja altura se determinó que los valores de los periodos fundamentales de vibración son menores a los valores de la Familia Espectral I y la Familia Espectral II, comprobándose en el análisis modal de las Tablas 16, 17 y 42 y mostrados en la Figura 48, con un porcentaje de participación de 74.79% y 71.41% en los ejes x e y respectivamente, verificándose el cumplimiento de la hipótesis planteada

## CONCLUSIONES

1. Se determinó la influencia del efecto de sitio en función de valores calculados en frecuencias, amplitudes y periodos fundamentales del suelo en las Tablas 49 y 50, obteniéndose un rango mínimo de 1.033 veces y un rango máximo de 3.003 veces en términos de la amplitud, en términos de frecuencias los valores oscilan desde los 0.947 a 17.033 Hertz.
2. Los modos de vibración del factor suelo se determinó en función de los periodos analizados desde 0.059 a 1.056 segundos. Para la Zona I, los rangos se encuentran dentro con un valor de 0.096 s, para la Zona II, de igual forma se encuentra dentro del rango con 0.225 s, mientras que para la Zona III y IV caracterizados como desfavorables con periodos dentro de 0.30 y mayores a 0.40 s.
3. Se generaron las curvas en función de los rangos de amplitudes y frecuencias analizados a través del método empírico del cociente espectral H/V, técnica que evaluó mejor las componentes en el dominio de los periodos calculados, es por ello que se pudo obtener la información requerida en la Tabla 37 para los valores predominantes en las amplitudes promedios de 1.985 veces y frecuencias promedias de 5.15 Hz.
4. Se obtuvieron los resultados finales al generar Familias Espectrales, con rangos de periodos promedios desde 0.096 a 0.978 s, la Familia Espectral I y la Familia Espectral II con un periodo promedio de 0.703 s guarda relación con la Zona IV, la Familia Espectral III con un periodo promedio de 0.326 s para las Zonas II y III, mientras que la Familia Espectral IV con un periodo de 0.165 s dentro del rango de la Zona I y II.
5. A partir del análisis sísmico de la estructura se identificó el periodo y modo de vibrar, demostrando que el periodo fundamental de la estructura en el eje X fue de 0.286 s y en el eje Y fue de 0.249 s. Las derivas de entrepiso de la estructura evaluada estuvieron en un rango de 0.375 a 0.695 % en el eje X muy próximos a la deriva límite, mientras que en el Eje Y las derivas están entre 0.212 a 0.523 %.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de registros con acelerograma, para desarrollar una mejor evaluación de los periodos, a través de convoluciones que se puede realizar con las Funciones de Transferencia Empírica (FTE).
2. Generar mapas de escenarios sísmicos es también muy recomendable para poder estimar niveles de aceleraciones y amplificaciones, esto involucra los denominados mapas de isoperiodos en del factor suelo.
3. En cuanto a la estructura en sí, se recomienda analizar la interacción suelo-estructura para edificaciones de mayor altura y de acuerdo con la zona de análisis, con ello se puede analizar los efectos de la influencia de otros factores, tales como irregularidades en planta, altura, excentricidad del 5%.
4. Se recomienda, realizar mayor investigación a partir de los estudios de peligro sísmico y por ende enfocar mayor análisis en otros tipos de sistemas estructurales de concreto armado tales como pórticos, duales, muros de ductilidad limitada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATC-3. (1984). *Applied Technology Council, Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings, National Science Foundation and National Bureau of Standards*,.
- Auersch, L., Romero, A., & Galvín, P. (2014). Respuesta dinámica de edificaciones producida por campos de ondas incidentes considerando la interacción suelo-estructura. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30(4), 256–263. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.rimni.2013.09.001>
- Ballén, C. (2015). *Seismic Soil Structure Interaction for Concrete Wall Buildings in Soft Soils*. 1–47. <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>
- Bazán, E., & Meli, R. (2004). Diseño Sísmico de Edificios. En *Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores, México, DF*.
- Boroschek, R. (2009). *Dinámica de Estructuras*. <https://boroschek.com/curso-dinamica-dynamic-courses/>
- Bozzo, L., & Barbat, A. (2000). *Diseño sismorresistente de edificios* (Reverté (ed.)).
- Cacho-Pérez, M., Frechilla, N., & Lorenzana, A. (2017). Estimación de parámetros modales de estructuras civiles a partir de la función de respuesta en frecuencia. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 33(3–4), 197–203. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.rimni.2016.02.001>
- Calvo Díaz, R. (2012). *Resonancia Suelo-Estructura y norma de construcción (Aplicado a pórticos de hormigón armado sometidos a terremotos de Almería)* [Universidad de Granada]. <http://hdl.handle.net/10481/27355>
- Carrillo, W. (2009). Estimación de los periodos naturales de vibración de viviendas de baja altura con muros de concreto. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 19, 39–54.
- CISMID-UNI. (2003). *Evaluación de la vulnerabilidad de edificaciones en el distrito de La Molina*. <http://www.cismid.uni.edu.pe>
- CISMID. (2010). *Estudio de microzonificación sísmica del distrito de La Molina*. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/565>
- Corratgé Yzaguirre, Z., Phala Quispe, J., & Cobelo Cristiá, W. (2020). Influencia de la altura en la respuesta estructural de una edificación considerando la interacción suelo-estructura. *Ciencia y futuro*, 1(1), 130–148.
- Coyolt Isidoro, C. (2016). *Interacción Dinámica suelo-estructura*. Universidad Nacional

Autónoma de México.

- Diario Oficial El Peruano. (2013). *Decreto de alcaldía N° 020-2012 - Norma Legal*.  
<https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/modifican-reglamento-de-parametros-urbanisticos-y-edificator-decreto-de-alcaldia-n-020-2012-875127-1/>
- Domínguez, M. (2014). Redalyc.Períodos de vibración de las edificaciones. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 8(2).
- Espinoza, F. (2016). *Determinación de características dinámicas de estructuras* [Universidad Politécnica de Cataluña]. <http://hdl.handle.net/10803/6221>
- Febres Bedía, E. (2019). *Obención de parámetros de aceleración del suelo del centro histórico de Arequipa mediante la generación de registros sintéticos* [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8618>
- Fiala, P., Degrande, G., & Augusztnovicz, F. (2007). Numerical modelling of ground-borne noise and vibration in buildings due to surface rail traffic. *Journal of Sound and Vibration*, 301(3), 718–738.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsv.2006.10.019>
- Gallo, L., Arango, S., & Cruz, A. (2017). *Evaluación de los Efectos de Sitio con la Técnica de Cocientes Espectrales a partir de Vibraciones Ambientales*. June.
- Geoinstruments. (2016). *Servicio de Consultoría para la determinación del comportamiento del suelo en función de la velocidad de propagación de ondas*.
- González Herrera, R., Mora Chaparro, J. C., Aguirre González, J., Aguilar Carbonay, J. A., Paz Tenorio, J. A., & Moreno Ceballo, R. (2020). *Site effect in Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, a determinant in the historical damages in buildings*. 42–64.  
<https://doi.org/10.18867/ris.102.511>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). Definición del alcance de la investigación a realizar: exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa. En *Metodología de la investigación* (McGraw-Hil, pp. 70–90).
- Herrera Puma, D. B. (2013). *Caracterización de sitio para el área urbana de chosica utilizando métodos sísmicos*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2002). Diseño de investigación: propósito y principio. En *Métodos de investigación en Ciencias Sociales* (Mc-Graw Hi, pp. 403–417).
- Lehujeur, M., Vergne, J., Schmittbuhl, J., & Maggi, A. (2015). Characterization of ambient seismic noise near a deep geothermal reservoir and implications for

- interferometric methods: a case study in northern Alsace, France. *Geothermal Energy*, 3(1), 1–17.
- Lermo, J., & Chávez-García, F. J. (1993). Site Effect Evaluation using spectral ratios with only one station. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83(5), 1574–1594.
- Martínez González, J. (2015). *Validación del factor de amplificación de los cocientes espectrales a partir de microtemores, para fines de mapas sísmicos de intensidad*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mejía Bahamón, N. A. (2018). *Análisis de interacción suelo estructura en conjunto con un análisis push over en una edificación de 10 pisos en pórticos de concreto, en zonas lacustres de la microzonificación sísmica de Bogotá*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2009). *Norma Técnica E 0.60 Concreto Armado* (pp. 2–201). Portal Institucional del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. <http://page.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=230>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2018). *Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente* (pp. 5–80). Portal Institucional del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. <http://page.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=230>
- Nadjai, A., Johnson, D., & Lyness, J. (1999). Soil- Structure interaction in tall buildings by a discrete force method. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*, 134(1), 9–18. <https://doi.org/10.1680/istbu.1999.31249>
- Ramos Ávila, V. (2017). *Tomografía de ondas superficiales obtenidas con el método de correlación cruzada de ruido sísmico aplicada al yacimiento geotérmico “Las Tres Vírgenes”, Baja California Sur, México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ríos León, J. (2018). *Evaluación del comportamiento dinámico del suelo en Lima y Callao utilizando el Método del cociente espectral H/V*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ritta, R. J., Suárez, L. E., & Pando, M. (2012). *Determinación del período fundamental del suelo usando vibración ambiental y el cociente espectral horizontal/vertical*. XXXI, 13–16.
- Schmidt Díaz, V. (2016). Aplicación de la técnica H/V en distintos emplazamientos a partir de la medición de vibraciones ambientales y de sismos. *Revista Geológica de*

- América Central*, 54, 155–177. <https://doi.org/10.15517/rgac.v54i0.23282>
- Severino Huapaya, E. A. (2015). *Evaluación de desplazamientos laterales por solicitaciones sísmicas del edificio de la Biblioteca Agrícola Nacional según la normativa vigente*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Tavera, H. (2014). Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en el Perú. En Biblioteca Nacional del Perú (Ed.), *Instituto Geofísico del Perú-IGP* (p. 48).
- Tena-Colunga, A., Mena, U., Pérez-Rocha, L. E., Ordaz, M., Avilés, J., & Vilar, J. I. (2008). Updated guidelines for the seismic design of buildings in the MOC-2008 code of Mexico. *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Trigo Salas, T. A. (2007). *Influencia de la Amplificación Local de las ondas sísmicas y la interacción suelo-fundación en el Puente Marga-Marga*. Universidad de Chile.
- Vacca Gámez, H., Rodríguez, J. A., & Ruiz Valencia, D. (2011). Measurement and interpretation of vibrations produced by the traffic in Bogota D.C. *Revista ingeniería de construcción*, 26(1), 61–80. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732011000100004>
- Weaver, R. L. (2005). Seismic Noise. *Science*, 307(5715), 1568–1569. <https://doi.org/10.1126/science.1109834>
- Zeballos, A., & Lermo Samaniego, J. (2017). *Estudio de microzonificación sísmica en 4 distritos: Barranco, Surquillo, Bellavista(Callao) y el Porvenir(Trujillo)*.

## ANEXOS

### ANEXO 01: Matriz de Consistencia Interna de la Investigación

TÍTULO	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	UNIVERSO INVESTIGADO	TÉCNICA E INSTRUMENTO	TAMAÑO, MUESTRA Y ENSAYOS
	PREGUNTA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL				
<b>INFLUENCIA DEL EFECTO DE SITIO EN EL PERIODO DE VIBRACIÓN DE UNA EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO EN LA MOLINA</b>	¿Cómo determinar la influencia del efecto de sitio en los periodos de vibración de una edificación de concreto armado en el distrito de la Molina?	Determinar la influencia del efecto de sitio en los periodos de vibración en una edificación de concreto armado en el distrito de la Molina.	Si los periodos de vibración en una edificación de concreto armado coinciden con el periodo del suelo, la influencia del efecto de sitio se incrementa.			Técnica: -Base de datos de un registro directo en la toma de señales de ruido ambiental a través de un ensayo de vibración y simulación	La muestra está constituida por 17 registros de ruido ambiental en el distrito de la Molina y una estructura de concreto armado con uso
	<b>PREGUNTAS ESPECIFICAS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b>				
	a) ¿Como se determina el modo de vibración del suelo en puntos estratégicos bajo un registro de ensayo de vibración ambiental?	a) Determinar el modo de vibración del suelo en puntos estratégicos bajo un registro de ensayo de vibración ambiental.	a) Si se analiza un registro de ensayo de vibración ambiental, se determina valores más certeros en los modos de vibración del suelo.	Explicativo con un enfoque cuantitativo	Señales de registro de ruido ambiental existente y edificaciones de concreto armado	Instrumentos: -Herramientas computacionales: Geopsy 2.9.0, Etabs v 16.2.1	destinado a viviendas de baja altura.
	b) ¿Cuál es el método empírico utilizado para evaluación de las amplitudes y frecuencias de vibración en el factor suelo?	b) Determinar el método empírico para la evaluación de los rangos de las amplitudes y frecuencias de vibración en el factor suelo.	b) Si determinamos un método empírico adecuado, se puede evaluar los rangos de las amplitudes y frecuencias de vibración en el factor suelo.				
	c) ¿Cómo se determina el periodo promedio del suelo bajo el concepto de familias espectrales?	c) Determinar el periodo promedio del suelo bajo el concepto de familias espectrales.	c) Al generar familias espectrales, se determina eficazmente el periodo promedio del suelo.			NTE E 0.30, NTE E 0.60, NTE E 0.20.	
	d) ¿Cómo se puede estimar el periodo y modos de vibración de una edificación de concreto armado mediante un modelamiento de elementos finitos y bajo el análisis sísmico?	d) Estimar el periodo y modos de vibración de una edificación de concreto armado mediante un modelamiento de elementos finitos y bajo el análisis sísmico.	d) Al realizar un modelamiento de elementos finitos y el análisis sísmico se estima valores reducidos en los periodos y modos de vibración de una edificación de concreto armado.			-Informes Técnicos de Microzonificación Sísmica y mapas de escenarios vulnerables.	

Fuente:Elaboración Propia

## ANEXO 02: Matriz de Operacionalización de Variables

Variables	Definición Conceptual	Indicadores	Índices	Escala Valorativa	Instrumentos
Efecto de sitio (Variable Independiente)	Estima el periodo fundamental del suelo y los niveles de amplificación del mismo	Señales del ensayo de vibración ambiental (EVA)	Amplitudes	veces	Registro del Sismómetro de bancha ancha  Geopsy 2.9.0
			Frecuencias	Hertz	
			PGA	m/s <sup>2</sup>	
Simulación de una edificación de concreto armado (Variable Dependiente)	Proceso que facilita validar una estructura de concreto armado para el análisis estructural y sísmico respectivo	Método de elementos finitos (MEF)	Periodos de vibración estructural	segundos	Norma Sismorresistente NTE E 0.30
			Análisis modal espectral	Aceleración	cm/s <sup>2</sup>
					Etabs v 16.2.1

Fuente: Elaboración Propia

### ANEXO 03: Presupuesto de Actividades

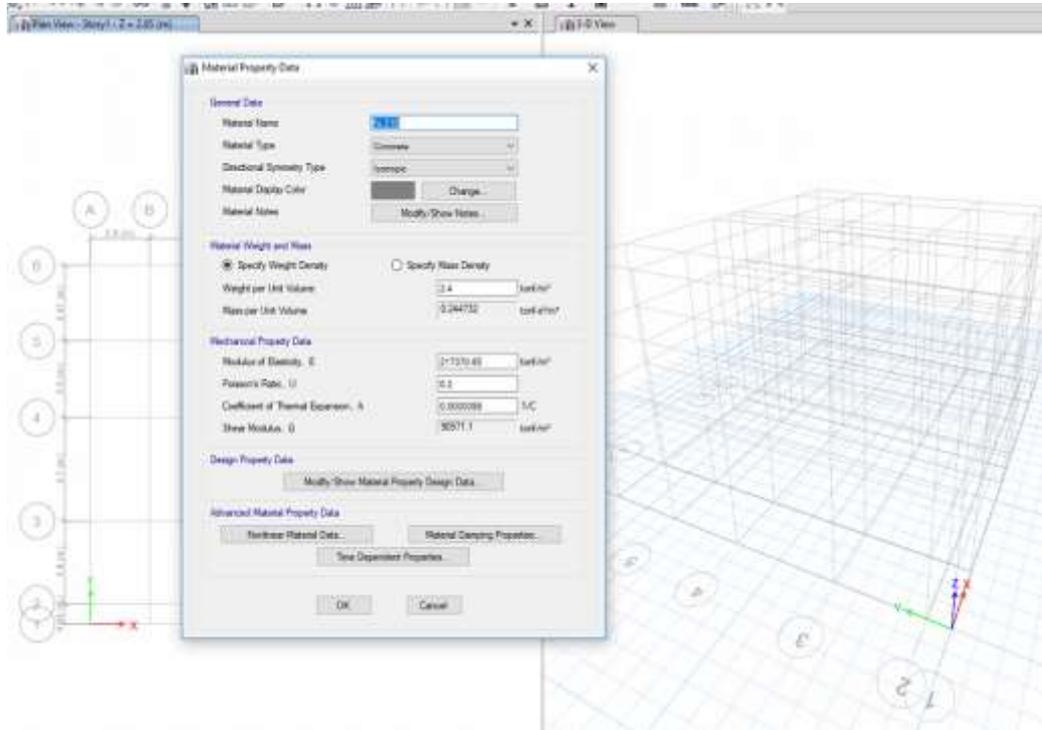
Ítem	Descripción	Und.	Cantidad	Precio Parcial	Precio Total	Financiamiento
<b>1</b>	<b>Recolección de información</b>					
1.01	Base de datos de registros por de vibración e información técnica	Glb	1	S/. 200.00	S/.200.00	Propio
<b>2</b>	<b>Recursos Humanos</b>					
2.01	Asesoría URP	Und.	2	S/. 3,000.00	S/. 6,000.00	Propio
2.02	Asesoría Externa	Und.	2	S/. 300.00	S/. 600.00	Propio
<b>3</b>	<b>Servicios</b>					
3.01	Adquisición de Softwares	Und.	2	S/. 100.00	S/. 200.00	Propio
3.02	Acceso a Internet	Glb	1	S/. 300.00	S/. 300.00	Propio
<b>4</b>	<b>Otros</b>					
4.01	Impresiones, fotocopias, empastados, útiles de escritorio	Glb	1	S/. 500.00	S/. 500.00	Propio
<b>5</b>	<b>Viáticos</b>					Propio
5.01	Movilidad	Glb	1	S/. 200.00	S/. 200.00	Propio
Total					S/. 8,000.00	

Fuente: Elaboración Propia

## ANEXO 04: Modelamiento en Software

Figura 04.1

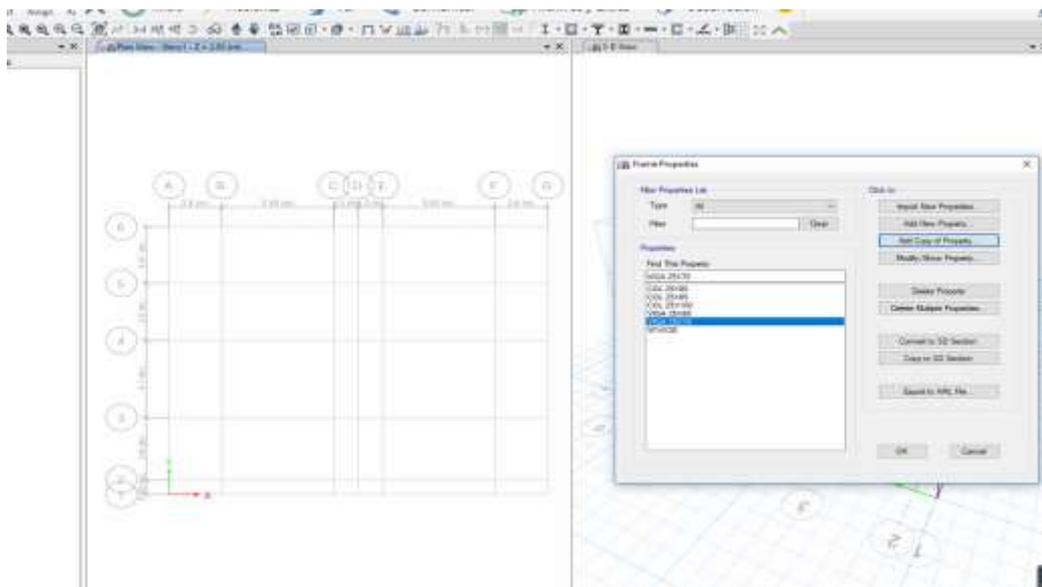
Definición Propiedad del Material



Fuente: Tomado del “Programa Etabs v 16.2.1”. Elaboración Propia

Figura 04.2

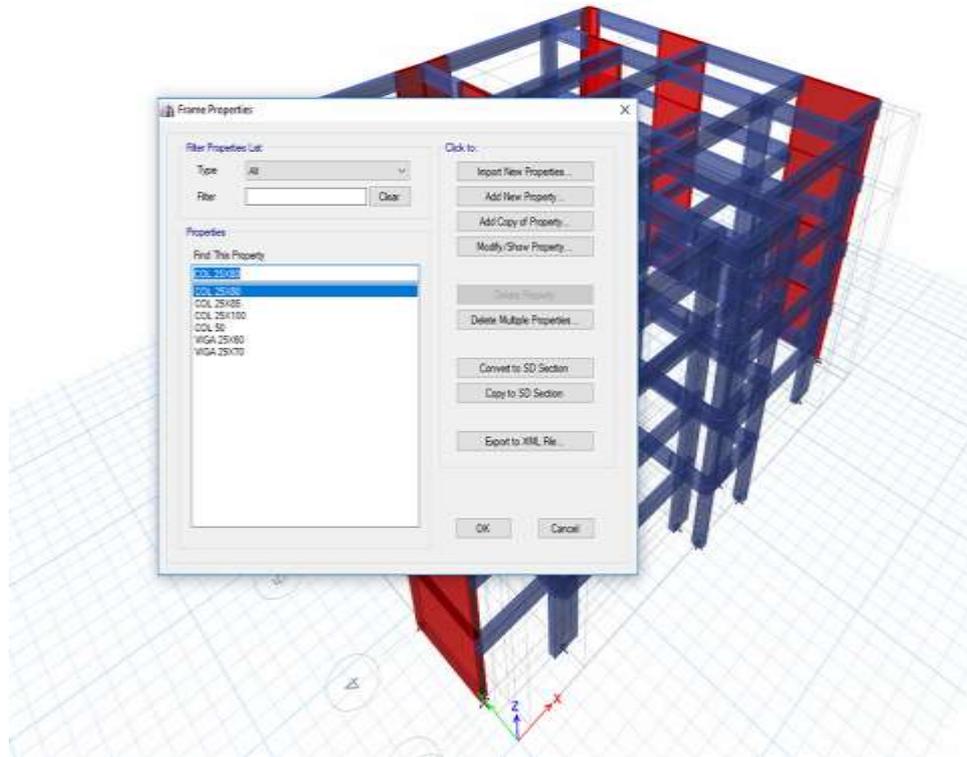
Definición de las Propiedades del Elemento Columna



Fuente: Tomado del “Programa Etabs v 16.2.1”. Elaboración Propia

Figura 04.3

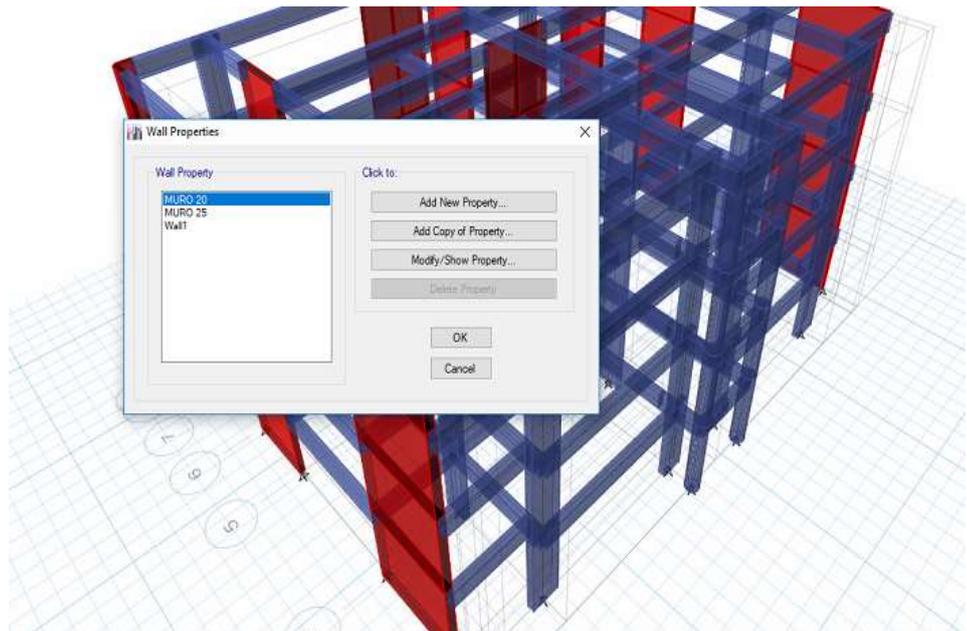
Definición de las Propiedades del Elemento Viga



Fuente: Tomado del "Programa Etabs v 16.2.1". Elaboración Propia

Figura 04.4

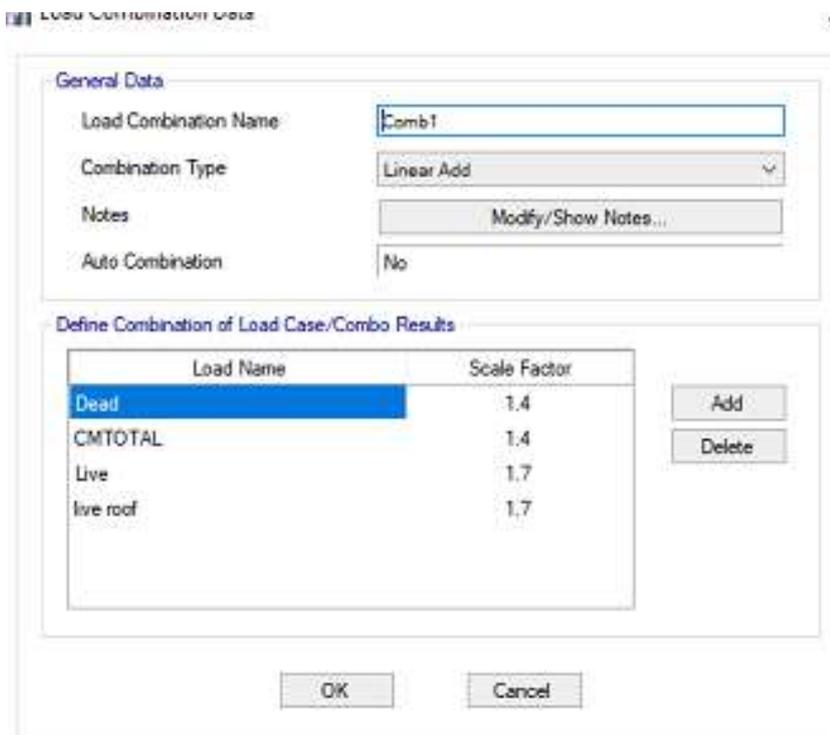
Definición de las Propiedades de los Muros



Fuente: Tomado del "Programa Etabs v 16.2.1". Elaboración Propia

Figura 04.5

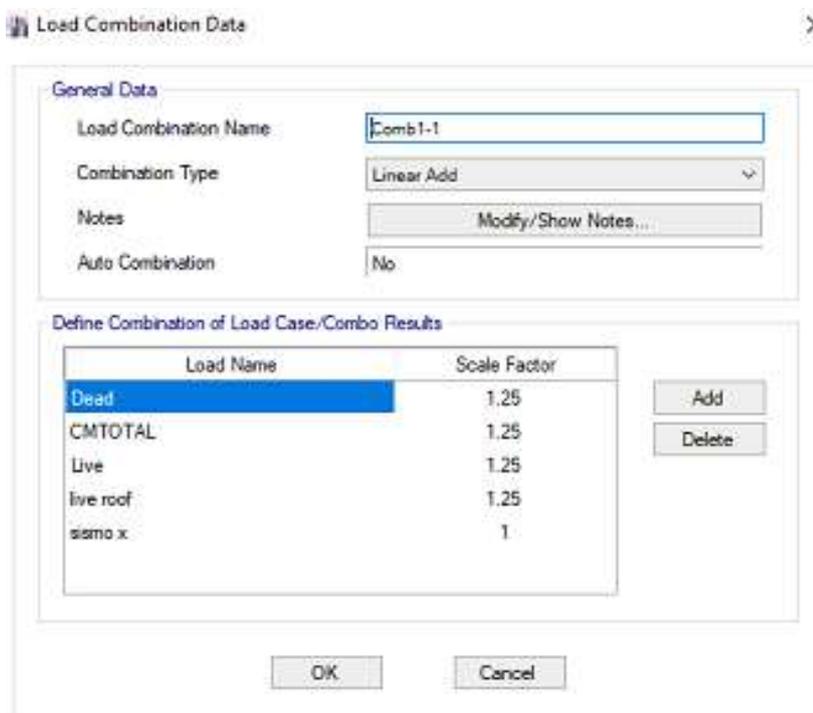
Definición de Combinaciones de Carga



Fuente: Tomado del "Programa Etabs v 16.2.1". Elaboración Propia

Figura 04.6

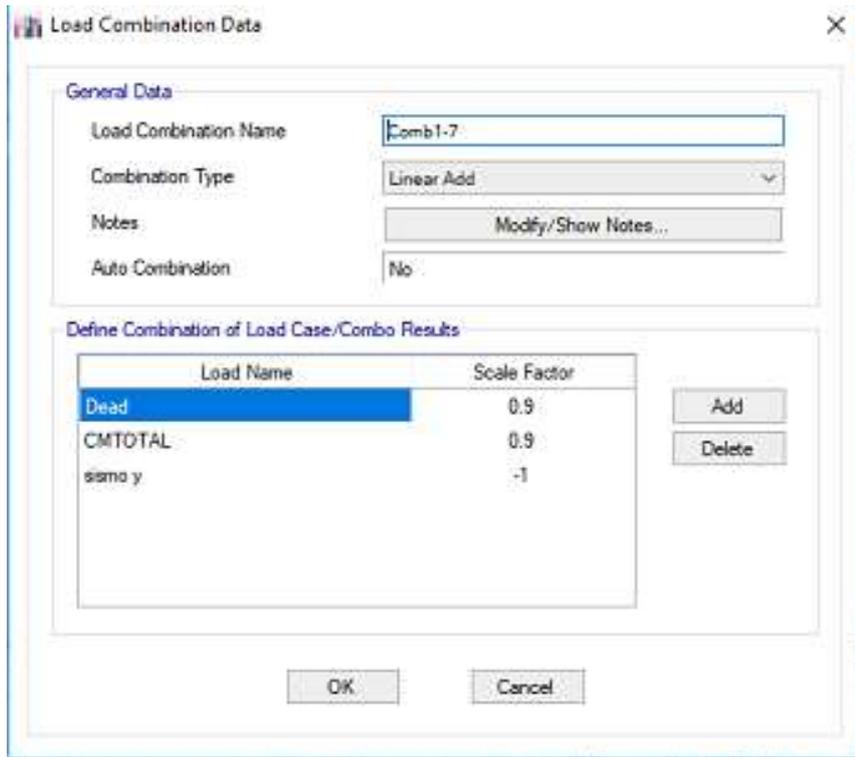
Definición de Combinaciones de Carga con Sismo X



Fuente: Tomado del "Programa Etabs v 16.2.1". Elaboración Propia

Figura 04.7

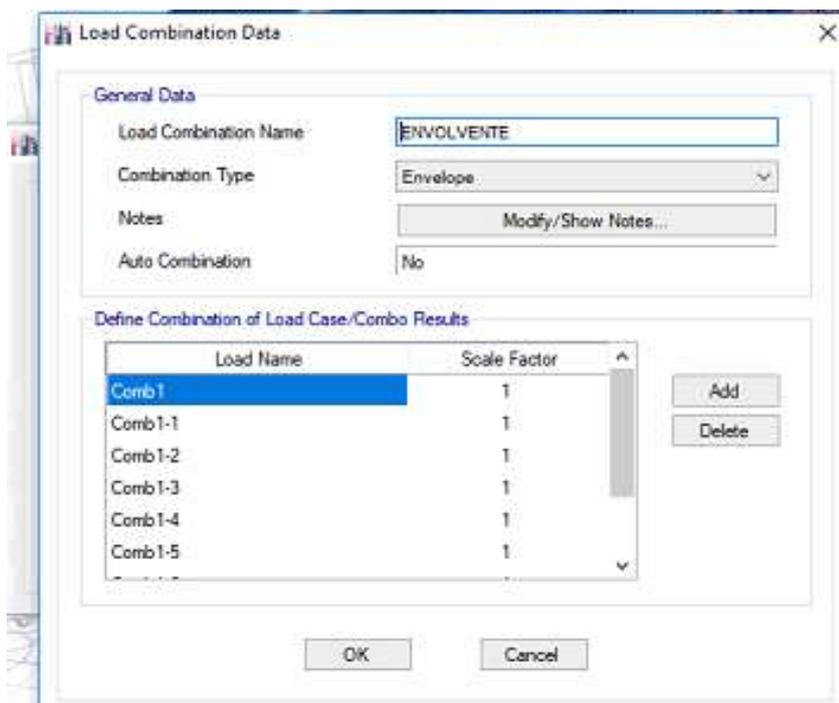
Definición de Combinaciones de Carga con Sismo Y



Fuente: Tomado del "Programa Etabs v 16.2.1". Elaboración Propia

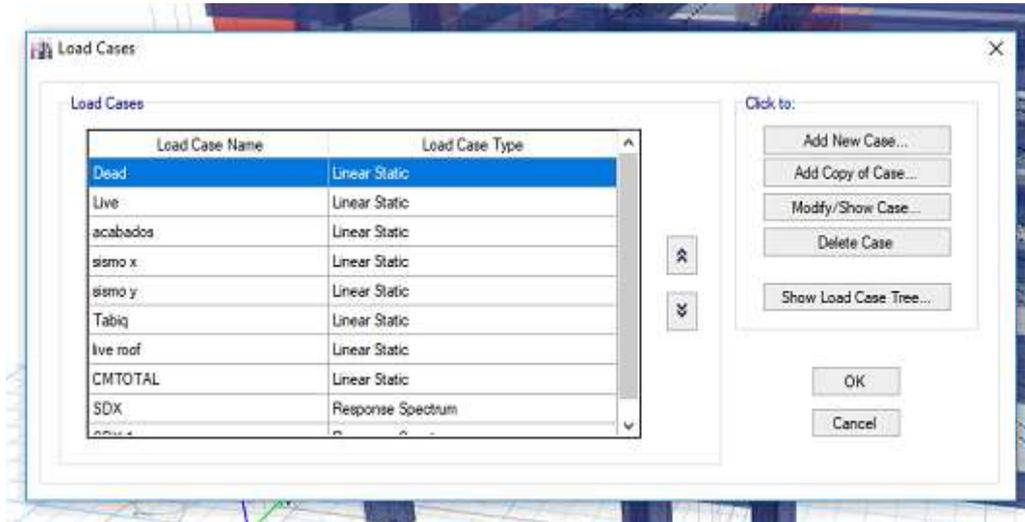
Figura 04.8

Definición de la Envoltente



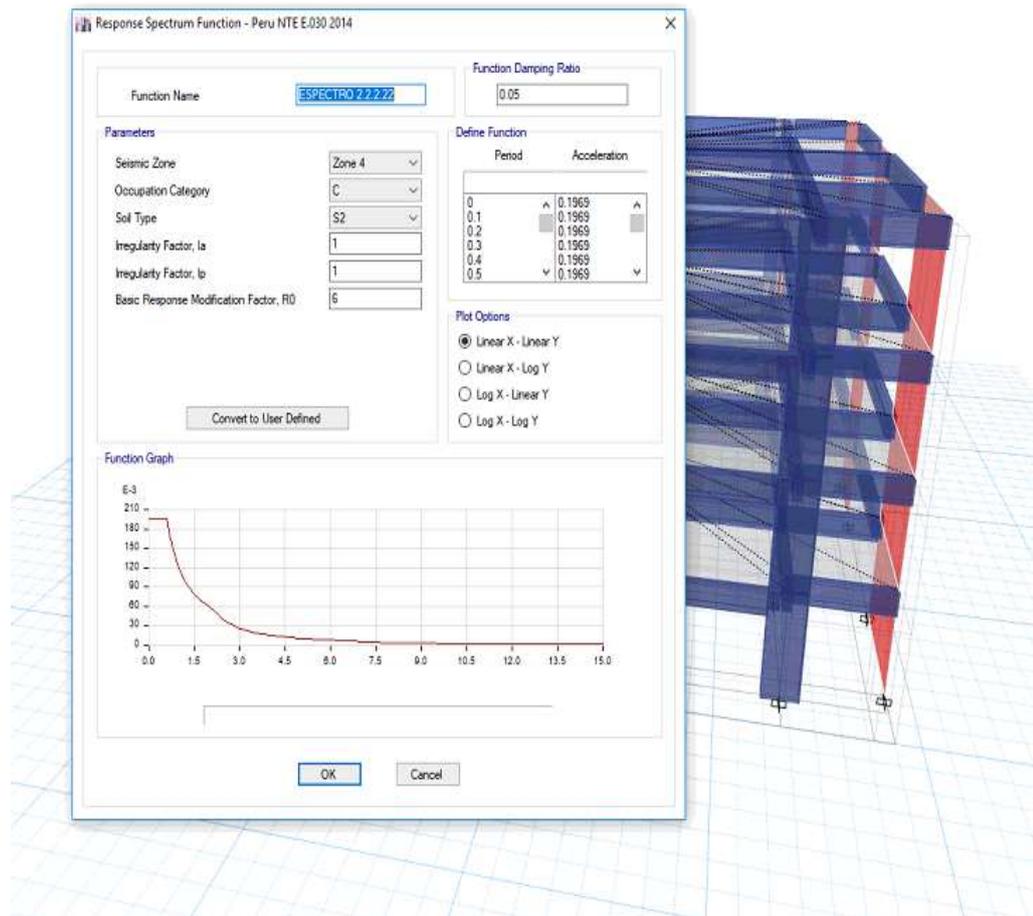
Fuente: Tomado del "Programa Etabs v 16.2.1". Elaboración Propia

Figura 04.9  
Definición de Casos de Carga



Fuente: Tomado del "Programa Etabs v 16.2.1". Elaboración Propia

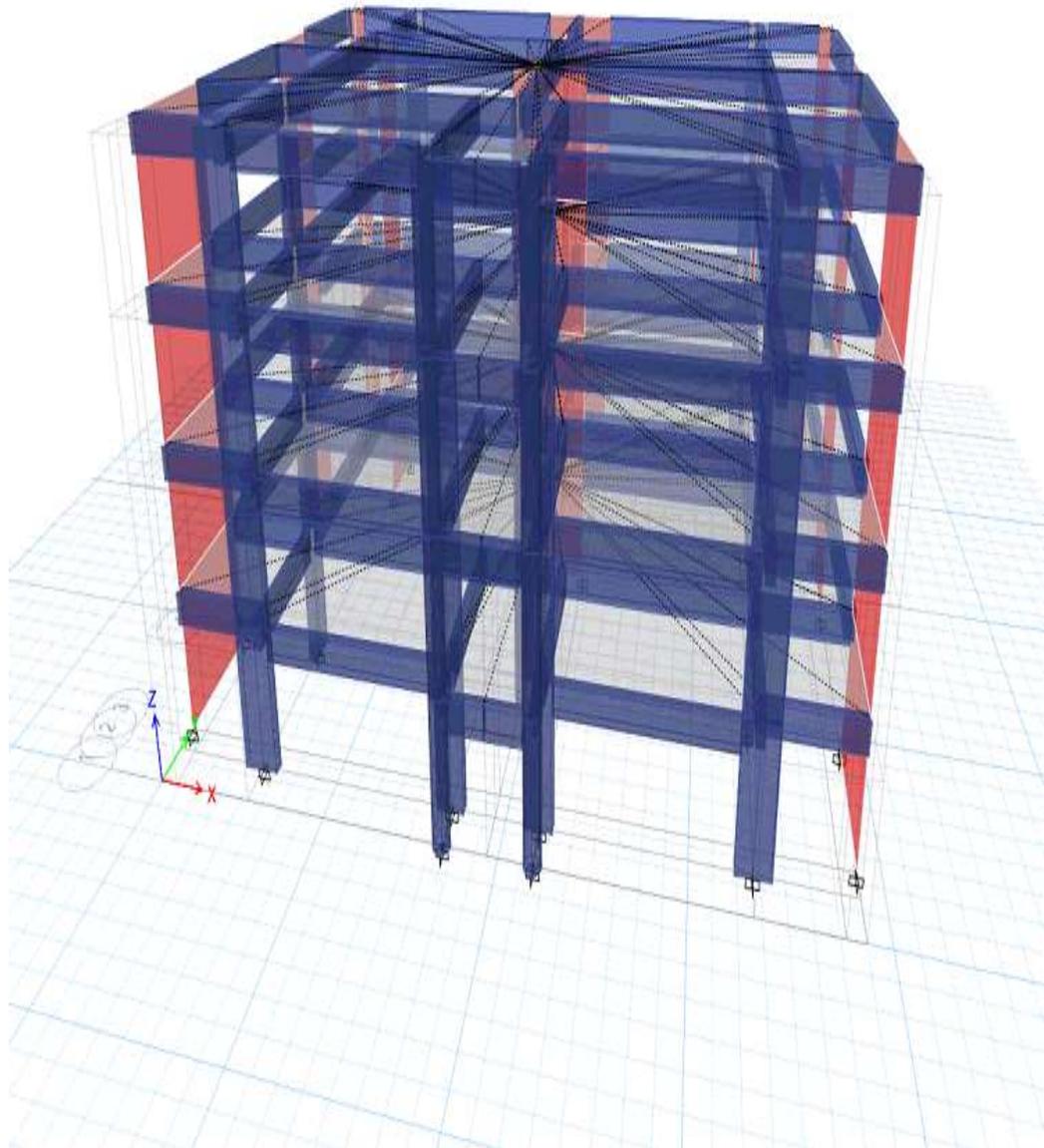
Figura 04.10  
Definición del Espectro de Respuesta



Fuente: Tomado del "Programa Etabs v 16.2.1". Elaboración Propia

Figura 04.11

Vista Preliminar de la Estructura



Fuente: Tomado del "Programa Etabs v 16.2.1". Elaboración Propia