

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS



**INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA
INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL
DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2025**

TESIS

Presentada por:

Bach. Caleb Yair Vargas Diaz

ORCID: 0000-0001-6044-8868

Asesor:

Mtra. Dina Marlene Cotrado Flores

ORCID: 0000-0002-4262-5733

Para obtener el grado académico de:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS

TACNA - PERÚ

2025

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
ESTRUCTURAS

Tesis:

**“INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA
INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL
DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2025”**

Presentada por:

Bach. Caleb Yair Vargas Diaz

**Tesis sustentada y aprobada el 10 de julio del 2025; ante el siguiente jurado
examinador:**

PRESIDENTE: Dr. Pedro Valerio Maquera Cruz

SECRETARIO: Mag. José Martín Velásquez Vargas

VOCAL: Dr. Genner Alvarito Villarreal Castro

ASESOR: Mtra. Dina Marlene Cotrado Flores

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

YO, **CALEB YAIR VARGAS DÍAZ** en calidad de **maestrando** de la maestría en **INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS DE LA ESCUELA DE POSTGRADO** de la Universidad Privada de Tacna, identificado (a) con DNI **70513647**

Soy autor (a) de la tesis titulada:

INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2025, con asesora: Mtra. Dina Marlene Cotrado Flores.

DECLARO BAJO JURAMENTO

Ser el único autor del texto entregado para obtener el grado académico de **MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS** y que tal texto no ha sido entregado ni total ni parcialmente para obtención de un grado académico en ninguna otra universidad o instituto, ni ha sido publicado anteriormente para cualquier otro fin.

Así mismo, declaro no haber trasgredido ninguna norma universitaria con respecto al plagio ni a las leyes establecidas que protegen la propiedad intelectual.

Declaro, que después de la revisión de la tesis con el software Turnitin se declara **20%** de similitud, además que el archivo entregado en formato PDF corresponde exactamente al texto digital que presento junto al mismo.

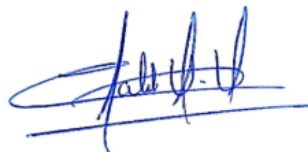
Por último, declaro que para la recopilación de datos se ha solicitado la autorización respectiva a la empresa u organización, evidenciándose que la información presentada es real y soy conocedor (a) de las sanciones penales en caso de infringir las leyes del plagio y de falsa declaración, y que firmo la presente con pleno uso de mis facultades y asumiendo todas las responsabilidades de ella derivada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del

contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 10 de julio de 2025



Caleb Yair Vargas Diaz
70513647

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres Víctor Vargas y Teresa Diaz por brindarme su apoyo incondicional en todo momento, su guía ha sido mi inspiración y su confianza en mí, el motor para alcanzar mis metas. A mis docentes, quienes, con su guía, paciencia y sabiduría, me ha enseñado el verdadero sentido del conocimiento gracias por enseñarme que los sueños se alcanzan con esfuerzo y dedicación.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por darme la fuerza para seguir avanzando y nunca rendirme, a mis colegas Edson y Keyvin por compartir sus conocimientos y apoyo hasta ahora, a mi tío Wilbert y abuela Inés por estar conmigo toda la vida y enseñarme que en la vida lo más importante es la familia; agradecimiento muy especial a mi asesora Ing. Dina Cotrado por sus enseñanzas y consejos han sido fundamentales en este camino, y sin su apoyo, este proyecto no sería lo que es hoy. Gracias por su compromiso y dedicación.

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD	iv
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
INDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE APÉNDICE	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	xviii
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	21
1.1. Planteamiento del Problema	21
1.2. Formulación del Problema.....	22
1.2.1. Problema General	22
1.2.2. Problemas Específicos	22
1.3. Justificación de la investigación	22
1.4. Objetivos.....	24
1.4.1. Objetivo General.....	24
1.4.2. Objetivos Específicos	24
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	25
2.1. Antecedentes del problema.....	25
2.2. Bases Teóricas Científicas	31
2.3. Definición de Conceptos.....	86
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	92
3.1. Hipótesis	92
3.1.1. Formulación de la Hipótesis General	92
3.1.2. Formulación de las Hipótesis Específicas	92
3.2. Operacionalización de las variables.....	93

3.2.1. Identificación de la Variable Independiente de la Hipótesis general	93
3.2.2. Escala para la identificación de las variables	93
3.2.3. Identificación de la Variable Dependiente de la Hipótesis general	93
3.3. Tipo de Investigación	94
3.4. Nivel de Investigación	94
3.5. Diseño de la Investigación.....	94
3.6. Ámbito y tiempo social de investigación	94
3.7. Población y muestra de estudio	95
3.8. Técnicas de recolección de datos.....	95
3.9. Análisis de recolección de datos.....	95
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	96
4.1. Descripción del trabajo de campo.....	96
4.1.1. Descripción del trabajo de campo.....	100
4.2. Diseño de la presentación de los resultados	100
4.2.1. Características de la edificación	100
4.2.2. Características del suelo	105
4.2.3. Asignación de cargas	105
4.2.4. Parámetros Sísmicos.....	106
4.3. Cálculo de modelos de interacción suelo estructura.....	110
4.4. Análisis dinámico	114
4.5. Modelo empotrado.....	115
4.6. Modelo con interacción suelo estructura	116
4.7. Presentación de los resultados	117
4.8. Verificación de hipótesis de la investigación	132
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	135
CONCLUSIONES	140
RECOMENDACIONES	142
REFERENCIAS.....	144
ANEXOS	149

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores propuestos para el valor de k_{30} (kg/cm ³).....	52
Tabla 2 Zonificación Sísmica.....	107
Tabla 3 Factor de suelo para zona sísmica indicada	108
Tabla 4 Periodos de acuerdo con perfil del suelo.....	108
Tabla 5 Categoría y factor de uso	109
Tabla 6 Irregularidad en altura	109
Tabla 7 Irregularidad de planta	109
Tabla 8 Valores obtenidos para las masas de la zapata Z1	110
Tabla 9 Coeficientes de rigidez para zapata Z1	110
Tabla 10 Valores obtenidos para las masas de la zapata Z2	111
Tabla 11 Coeficientes de rigidez para zapata Z2	111
Tabla 12 Valores obtenidos para las masas de la zapata Z2	111
Tabla 13 Coeficientes de rigidez para zapata Z3	111
Tabla 14 Valores obtenidos para las masas de la zapata Z4	112
Tabla 15 Coeficientes de rigidez para zapata Z4	112
Tabla 16 Valores obtenidos para las masas de la zapata Z5	112
Tabla 17 Coeficientes de rigidez para zapata Z5	112
Tabla 18 Valores obtenidos para las masas de la zapata Z5	113
Tabla 19 Coeficientes de rigidez para zapata Z5	113
Tabla 20 Valores obtenidos para las masas de la zapata Z5	113
Tabla 21 Coeficientes de rigidez para zapata Z5	113
Tabla 22 Parámetros para análisis dinámico según NTP	114
Tabla 23 Periodos de vibración obtenidos Análisis Dinámico	117
Tabla 24 Derivas por sismo dinámico en dirección X	119
Tabla 25 Derivas por sismo dinámico en dirección Y	121
Tabla 26 Fuerzas Cortantes en Dirección X.....	122
Tabla 27 Fuerzas Cortantes en Dirección Y.....	124
Tabla 28 Momentos Actuantes en Y para Modelos Analizados	125

Tabla 29 Momentos Actuantes en X para Modelos Analizados	127
Tabla 30 Variación Porcentual de Fuerzas Cortantes en X.....	128
Tabla 31 Variación Porcentual de Fuerzas Cortantes en Y.....	129
Tabla 32 Variación Porcentual de Momentos Actuantes en Y	130
Tabla 33 Variación Porcentual de Momentos Actuantes en X	131
Tabla 34 Modos y derivas max de Modelos Analizados	137
Tabla 35 Fuerzas cortantes y momentos max de Modelos Analizados	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Componentes de la interacción suelo - estructura	32
Figura 2 Desplazamientos laterales con y sin ISE	34
Figura 3 Tipos de Interacción Suelo Estructura.....	34
Figura 4 Tipos de modelos de suelo: Cálculo de los resortes en zapata	36
Figura 5 Modelo Winkler: Suelo de soporte como sistema de elementos resortes	36
Figura 6 Idealización de modelo de Pasternak.....	38
Figura 7 Valores para el coeficiente C_0 elegidos de acuerdo con el tipo de suelo	40
Figura 8 Esquema Modelo de V.A. Ilchev	42
Figura 9 Parámetros y coeficientes para vibraciones rotacionales y horizontales	43
Figura 10 Parámetros y coeficientes para vibraciones rotacionales y horizontales	44
Figura 11 Modelo de Mohr-Coulomb y Ensayo Triaxial de Suelo.....	53
Figura 12 Volúmenes de informe del FEMA P-58.	56
Figura 13 Función de desempeño hipotética.....	57
Figura 14 Proceso de diseño basado en el desempeño de una edificación.	58
Figura 15 Diagrama de flujo para analizar el comportamiento de una estructura.	61
Figura 16 Nomenclatura para identificar entrepisos y pisos de una edificación. .	63
Figura 17 Curva de Colapso Hipotética.....	64
Figura 18 Curva de consecuencia hipotética vinculada a costos de reparación....	67
Figura 19 Modelos idealizados para elementos viga-columna.	71
Figura 20 Curvas idealizadas y derivadas de envolvente monotónica y cíclica. ..	73
Figura 21 Curva esfuerzo-deformación con y sin efecto P-delta de una estructura.	73
Figura 22 Resultados para un Análisis Incremental Dinámico.....	79
Figura 23 Resultados que se tienen utilizando la herramienta SPO2IDA	79

Figura 24 Ejemplo de modos de colapso para una edificación hipotética.....	81
Figura 25 Diagrama de flujo para el cálculo del desempeño en cada realización.	81
Figura 26 Función de fragilidad de colapso para un edificio hipotético.....	84
Figura 27 Tres estados de daño en base a funciones de fragilidad hipotéticas.....	84
Figura 28 Distribución de pérdida acumulada hipotética de los costos de reparación	86
Figura 29 Edificación de sistema dual.....	87
Figura 30 Representación de la deriva.....	88
Figura 31 Representación fuerza cortante en los elementos estructurales.....	90
Figura 32 Plano de elevación.....	97
Figura 33 Plano arquitectura del 1er nivel.....	98
Figura 34 Plano arquitectura del 2do al 5to nivel.....	99
Figura 35 Propiedades del concreto.....	101
Figura 36 Dimensiones de columna C1.....	101
Figura 37 Dimensiones de columna C2.....	102
Figura 38 Dimensiones de columna V1.....	102
Figura 39 Dimensiones de columna VCH1.....	103
Figura 40 Propiedades de losa aligerada.....	103
Figura 41 Propiedades de placa e=15cm.....	104
Figura 42 Propiedades de placa e=25cm.....	104
Figura 43 Modelamiento de la edificación en programa ETABS V20.3.0.....	106
Figura 44 Mapa de Zonificación Sísmica del Perú.....	107
Figura 45 Espectro de pseudo-aceleraciones en dirección X.....	114
Figura 46 Espectro de pseudo-aceleraciones en dirección Y.....	115
Figura 47 Modelo con base empotrada.....	116
Figura 48 Modelo considerando la interacción suelo - estructura.....	117
Figura 49 Periodos de Vibración Análisis dinámico.....	118
Figura 50 Periodos Max de Vibración Análisis dinámico.....	119
Figura 51 Derivas de entrepiso en X para Modelos de ISE Analizados.....	120
Figura 52 Derivas máximas en dirección X para Modelos Analizados.....	120

Figura 53	Derivas de entrepiso en Y para Modelos de ISE Analizados	121
Figura 54	Derivas máximas en dirección Y para modelos analizados	122
Figura 55	Fuerzas cortantes en Dirección X para Modelos Analizados	123
Figura 56	Max Fuerzas cortantes en dirección X para Sismo Dinámico.....	123
Figura 57	Fuerzas cortantes en dirección Y para Modelos Analizados.....	124
Figura 58	Max Fuerzas cortantes en dirección Y para Sismo Dinámico.....	125
Figura 59	Momentos actuantes en Y para Sismo Dinámico en X	126
Figura 60	Max Momentos actuantes en Y para Sismo Dinámico en X.....	126
Figura 61	Momentos actuantes en X para Sismo Dinámico en Y	127
Figura 62	Max Momentos actuantes en X para Sismo Dinámico en Y	128
Figura 63	Variación Porcentual de Fuerzas Cortantes en X	129
Figura 64	Variación Porcentual de Fuerzas Cortantes en Y	130
Figura 65	Variación Porcentual de Momentos en Y.....	131
Figura 66	Variación Porcentual de Momentos en X.....	132

ÍNDICE DE APÉNDICE

Anexo 1. Matriz de consistencia	150
Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables	151
Anexo 3. Planos de arquitectura y cimentaciones.....	152
Anexo 4. Ensayos de mecánica de suelos	157
Anexo 5. Capacidad portante del suelo.....	157
Anexo 6. Clasificación de suelos	180

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como **objetivo** estimar cómo influye la interacción suelo-estructura en la resiliencia sísmica de una edificación dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025 a través del uso de modelos dinámicos los cuales consideran las propiedades del suelo en su análisis. Los modelos dinámicos mencionados toman en cuenta los efectos de flexibilidad y las características inerciales del terreno de cimentación para obtener sus coeficientes tanto para zapatas como para losas de cimentación. En el presente estudio se aplicó una **metodología** de tipo básica, de nivel descriptivo y un diseño cuasiexperimental. Se siguieron los siguientes pasos para el análisis: inicialmente, se realizó la recopilación de datos y obtención de propiedades mecánicas del suelo, modelado, asignación de cargas y análisis dinámico con el modelo empotrado en el programa ETABS, así mismo se introdujeron los coeficientes de los modelos dinámicos estudiados, con ello finalmente se pudo comparar los resultados teniendo en cuenta la norma E030. Los **resultados** obtenidos al incluir la ISE permitieron un análisis sísmico más realista, optimizando el diseño estructural al reflejando mejor los esfuerzos reales, evitando el sobredimensionamiento, al tomarse en cuenta en suelos blandos, **concluyendo** en un aumento del periodo y derivas de un 50% a 100% y una reducción en sus esfuerzos y momentos actuantes de hasta un 20%, por lo que se determinó que el suelo incide en el comportamiento de la edificación en una mejor distribución de esfuerzos y la reducción considerable de energía inducida por un sismo.

Palabras claves. Análisis dinámico, interacción suelo-estructura, reducción, sistema dual, ETABS.

ABSTRACT

The present research work had the **objective** of estimating how the soil-structure interaction influences the seismic resilience of a dual reinforced concrete building in the city of Moquegua, 2025 through the use of dynamic models which consider the soil properties in their analysis. The aforementioned dynamic models take into account the flexibility effects and the inertial characteristics of the foundation soil to obtain their coefficients for both footings and foundation slabs. In the present study, a basic descriptive **methodology** and a quasi-experimental design were applied. The following steps were followed for the analysis: initially, data collection and obtaining of soil mechanical properties, modeling, load assignment and dynamic analysis were performed with the embedded model in the ETABS program, and the coefficients of the dynamic models studied were also introduced, thus finally the results could be compared taking into account the E030 standard. The **results** obtained by including the ISE allowed a more realistic seismic analysis, optimizing the structural design by better reflecting the real stresses, avoiding overdimensioning, by taking into account soft soils, **concluding** in an increase of the period and drifts from 50% to 100% and a reduction in their acting stresses and moments of up to 20%, so it was determined that the soil affects the behavior of the building in a better distribution of stresses and the considerable reduction of energy induced by an earthquake.

Keywords. Dynamic analysis, soil-structure interaction, reduction, dual system, ETABS.

INTRODUCCIÓN

En años recientes, el análisis de la interacción entre el suelo y la estructura en los cimientos superficiales de construcciones ha despertado un gran interés, ya que nuestro país posee un elevado grado de riesgo sísmico. Es importante señalar que, en nuestras propias investigaciones sobre terremotos, todavía no logramos resolver el riesgo sísmico, que se intensifica y al que millones de individuos están expuestos diariamente.

Los procedimientos tradicionales de evaluación de estructuras sostienen que la condición de respaldo de la superestructura puede manifestarse en un acoplamiento perfecto con la base. No obstante, la flexibilidad del terreno de cimentación puede tener un impacto considerable en el periodo, la frecuencia y el tipo de vibración de la estructura, por ende, en la cantidad de fuerzas y movimientos del sistema.

Es por ello, que se han realizado distintas investigaciones, como los modelos dinámicos (D. D. Barkan - O. A. Savinov, Winkler, V. A. Ilichev, A. E. Sargsian y Norma Rusa Snip), los cuales nos proporcionan datos más notables, analizando y comparando los resultados alcanzados en la evaluación de una edificación considerando la flexibilidad en su base, logrando con ello difundir la aplicación de estos modelos como herramientas para la comparación de resultados.

En tal sentido, este proyecto de investigación llevará a cabo el estudio de una construcción dual en la ciudad de Moquegua, teniendo en cuenta sus particularidades estructurales y geotécnicas. De igual manera, se expondrán métodos de cálculo, teniendo en cuenta su localización geográfica, arquitectura, parámetros sísmicos, propiedades del suelo y coeficientes requeridos para el modelado y análisis estructural.

En el primer capítulo se expone la problemática que da origen a la investigación. En este apartado se detallan las razones que motivan la realización de la tesis. Además, a través de los objetivos, se define de forma clara el propósito

de la investigación, y se aborda tanto su justificación como la delimitación del tema tratado.

En el segundo capítulo se lleva a cabo la recopilación de información a partir de diversas fuentes de investigación, como artículos, revistas, estudios previos, entre otros. El objetivo de esta sección es obtener antecedentes sobre metodologías, métodos y criterios de diseño, con énfasis en la interacción entre el suelo y la estructura. Además, se examina el uso de software e instrumentos empleados en el desarrollo de la metodología. Se profundiza, asimismo, en los métodos de análisis dinámico de la interacción suelo-estructura, tales como los de D. D. Barkan, O. A. Savinov, Winkler, V. A. Ilichev, A. E. Sargsian y la norma rusa Snip, los cuales se aplican a lo largo de toda la investigación.

El tercer capítulo se analizó las hipótesis sobre la probabilidad de que la interacción entre el suelo y la estructura influya en el comportamiento sísmico de la edificación de sistema dual que se estudia. Asimismo, se define el tipo de investigación, población, muestra de estudio y principalmente las variables e indicadores que facilitan el enfoque y desarrollo adecuado de la problemática planteada.

El cuarto capítulo aborda el desarrollo y análisis mediante la evaluación de las propiedades físicas y de resistencia del suelo de fundación. Se determinan características del suelo, como el ángulo de fricción interna y la capacidad portante del terreno. Además, se estructura el edificio, teniendo en cuenta su distribución arquitectónica donde se analizan los parámetros como las cargas y las fuerzas sísmicas que se aplicaran al modelo, para finalmente analizar los resultados obtenidos a través de los diversos métodos de análisis de ISE planteados y corroborar nuestras hipótesis respecto a un comportamiento más auténtico de la edificación a través de la interacción entre el suelo estructura.

El quinto capítulo concluye con el análisis de los resultados del análisis mediante la condición de empotrada y la ISE, donde se evalúan y comparan cada factor obtenido como desplazamientos, periodos de vibración, esfuerzos máximos y momentos flectores actuantes. En consecuencia, se pudo brindar conclusiones y

recomendaciones en este tipo de construcciones y condiciones del suelo a tener en cuenta al momento de analizar una estructura.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

La ciudad de Moquegua se encuentra en la región del "Cinturón de Fuego del Pacífico", lo que la hace altamente susceptible a sismos y expuesta a los efectos perjudiciales de estos eventos. Por lo tanto, existe una alta probabilidad de que ocurran sismos a lo largo de la costa de nuestro país.

Además, se enfrenta el desafío de la baja calidad del suelo, ya que, en algunas áreas, el suelo tiene una resistencia limitada. Esto se ha agravado por la proximidad de las placas tectónicas, y la complejidad de la topografía superficial del suelo. Esto ha generado una preocupación significativa entre la población, ya que muchas personas viven con la constante aprehensión de que los terremotos pueden acontecer en cualquier instante.

De igual manera, es necesario identificar pautas para el diseño estructural, integrando el suelo-estructura, teniendo en consideración los supuestos propuestos, para obtener un análisis más realista y predecir cómo se verán afectados los elementos estructurales.

Así mismo, se optimiza el diseño al comprender cómo el suelo afecta el comportamiento de la estructura, se pueden tomar decisiones más informadas sobre los tipos de cimentación, materiales y sistemas estructurales que mejor se adapten a las condiciones específicas del sitio, lo que resulta en un diseño más eficiente.

Por otro lado, también mejora de la respuesta sísmica ya que considerar la interacción suelo-estructura es crucial para diseñar estructuras que sean más resistentes a los movimientos sísmicos. Gracias a esto se puede aumentar la capacidad de la estructura para absorber y disipar la energía sísmica, reduciendo así los daños y el riesgo de colapso.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la influencia de la interacción suelo estructura en la resiliencia sísmica de una edificación dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025?.

1.2.2. Problemas Específicos

Y como interrogantes secundarias:

- a. ¿Que resiliencias sísmicas obtendremos al realizar una serie de evaluaciones sísmicas sin interacción suelo estructura en una edificación de sistema Dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025, utilizando el software Etabs versión 20.3.0?
- b. ¿Que resiliencias sísmicas obtendremos al realizar una serie de evaluaciones sísmicas con interacción suelo estructura en una edificación de sistema Dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025, utilizando el software Etabs versión 20.3.0?
- c. ¿La consideración de la interacción suelo-estructura conduce a la reducción de las fuerzas internas y esfuerzos en los componentes estructurales de una edificación de sistema Dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025?

1.3. Justificación de la investigación

Esta investigación adquiere relevancia y halla su fundamento por las siguientes razones:

Desde el punto de vista económico

Moquegua se encuentra en una zona con una intensa actividad sísmica, ha ocasionado que a lo largo de su historia haya registrado importantes temblores. Estos produjeron un gran número de réplicas las cuales ocasionaron cuantiosas pérdidas materiales en las edificaciones en ese entonces y ahora al no ser tomada en cuenta el tipo de suelo y respuesta del mismo en el tipo de edificación construida (flexible o rígida).

Desde el punto de vista estructural

Debido a que hasta ahora se han empleado métodos tradicionales para calcular las estructuras, lo que significa que las estructuras se apoyan en puntos que permanecen estáticos o tienen asentamientos insignificantes. Por lo tanto, en este estudio actual, se pretende examinar la estructura en su conjunto, incluyendo tanto la subestructura como el suelo, considerando cómo interactúan entre sí, especialmente teniendo en cuenta la influencia del suelo en la cimentación, que se modela utilizando resortes.

Desde el punto de vista académico

En esta perspectiva se propone utilizar los coeficientes de rigidez del suelo en lugar de los tipos convencionales que plantean una base empotrada, con el objetivo de obtener un análisis que refleje con mayor precisión el comportamiento real de la estructura. con ello poder brindar académicamente un nuevo enfoque para el análisis y diseño estructural

Desde el punto de vista social

Debido a que la investigación sobre la Interacción Suelo Estructura (ISE) es crucial, dado que ningún edificio puede manifestar su desempeño sísmico natural

sin experimentar una interacción dinámica con el suelo. Por ende, este enfoque de análisis busca brindar una mayor seguridad en las edificaciones.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar cómo influye la interacción suelo estructura en la resiliencia sísmica de una edificación dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025?.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a. Efectuar una serie de evaluaciones sísmicas sin interacción suelo - estructura con el fin de obtener las resiliencias sísmicas de una edificación de sistema Dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025, utilizando el software Etabs versión 20.3.0.
- b. Efectuar una serie de evaluaciones sísmicas con interacción suelo - estructura con el fin de obtener las resiliencias sísmicas de una edificación de sistema Dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025, utilizando el software Etabs versión 20.3.0.
- c. Demostrar que al considerar la interacción suelo-estructura se logran reducir las fuerzas internas y tensiones en los componentes estructurales de una edificación de sistema Dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

Antecedentes a nivel Nacional

Arriola (2024), en su estudio: “Evaluación de la Resiliencia Sísmica de Edificios Autoconstruidos mediante Análisis No Lineal y Análisis Dinámico Incremental”, esta investigación evalúa la crítica situación de las viviendas autoconstruidas en zonas sísmicas, combinando pruebas empíricas y modelado avanzado para cuantificar riesgos. El déficit del 30% en resistencia del concreto expone fallas sistémicas en la autoconstrucción no regulada. La correlación entre antigüedad, falta de supervisión y vulnerabilidad subraya la urgencia de políticas técnicas inclusivas. El índice de resiliencia propuesto ofrece una herramienta práctica para priorizar refuerzos estructurales. El enfoque integrado (técnico-social) podría replicarse en otras zonas informales de alto riesgo sísmico.

El estudio de Arriola sobre la resiliencia sísmica de edificios autoconstruidos en Lima proporciona valiosos aportes al entender cómo la interacción suelo-estructura afecta la vulnerabilidad sísmica. La evaluación integral de edificios residenciales revela deficiencias en la resistencia del concreto y un mayor riesgo de fallas en construcciones antiguas o sin supervisión técnica. El índice de resiliencia sísmica introducido puede ser aplicado para mejorar la seguridad en edificaciones de concreto, considerando la interacción suelo-estructura para optimizar el diseño y la resiliencia sísmica.

Abregu (2022) en la investigación: “Evaluación de la Resiliencia sísmica en edificaciones empleando disipadores metálicos, Escuela N° 30209 Paulina Salazar

Alfaro, Huancayo, 2021” evalúa la resiliencia sísmica de tres modelos estructurales de edificios educativos: uno existente y dos reforzados con disipadores metálicos (SLB y TADAS). La metodología utiliza el enfoque del FEMA P-58, combinando análisis dinámicos y no lineales para evaluar el desempeño sísmico. La muestra se centró en una institución educativa en Huancayo, Perú, con un diseño aporticado de concreto armado. Los resultados muestran que el uso de disipadores reduce significativamente los desplazamientos, costos de reparación y tiempos de recuperación, mejorando notablemente la resiliencia sísmica. Los modelos reforzados alcanzaron la certificación GOLD, destacando su eficacia en la mitigación de daños sísmicos.

El estudio de Abregu, sobre la resiliencia sísmica en edificaciones educativas utilizando disipadores metálicos ofrece valiosos aportes al entender cómo estos dispositivos mejoran la resiliencia sísmica. La investigación muestra que el uso de disipadores SLB y TADAS reduce significativamente los desplazamientos, costos de reparación y tiempos de recuperación, lo que mejora notablemente la resiliencia sísmica de las estructuras. Los modelos reforzados alcanzaron la certificación GOLD, destacando su eficacia en la mitigación de daños sísmicos.

Roció (2022), en su investigación titulada: “Interacción suelo-estructura para la obtención de la respuesta sísmica de la subestructura con columnas de grava del puente en la avenida Sánchez Cerro, Piura.” El objetivo principal es analizar cómo la interacción suelo-estructura afecta la respuesta sísmica de una subestructura de puente con columnas de grava mediante modelación numérica. Esta interacción tiene un impacto significativo en la reacción ante terremotos, modificando las respuestas estructurales y su desempeño. La investigación sugiere que evaluar esta interacción puede mejorar la eficiencia de los componentes y garantizar la estabilidad estructural frente a sismos. Esto permite adaptar la estructura a las necesidades generadas por la influencia del suelo optimizado.

El estudio sobre la interacción suelo-estructura en puentes proporciona valiosos aportes al entender cómo esta interacción afecta la respuesta sísmica, modificando significativamente las respuestas estructurales y su desempeño. La evaluación de esta interacción permite mejorar la eficiencia de los componentes y garantizar la estabilidad estructural ante sismos. Esto facilita la adaptación de la estructura a las necesidades generadas por la influencia del suelo optimizado, contribuyendo a diseños más seguros y resilientes.

Marín y Evangelista (2021), plantean en su artículo titulado: “Influencia de la Resistencia del Suelo Mejorado en el Diseño de Losa de Cimentación Mediante un Modelo de Interacción Suelo-Estructura” el cual tiene como objetivo investigación es evaluar el impacto de la resistencia del suelo mejorado en el proceso de diseño de la losa de cimentación a través de un modelo de interacción entre suelo y estructura. Como resultado, se observa un aumento del 30.54% en la resistencia de diseño a una determinada profundidad de la capa compactada. Este estudio aporta información valiosa al destacar cómo el suelo mejorado ha mejorado la comprensión de las tensiones generadas por las cargas de servicio en las losas de cimentación y su interacción con el suelo mejorado que las sustenta.

El estudio sobre el impacto de la resistencia del suelo mejorado en el diseño de las losas de cimentación aporta valiosos conocimientos sobre cómo la interacción suelo-estructura puede mejorar la resiliencia sísmica. El aumento del 30.54% en la resistencia de diseño a una determinada profundidad de la capa compactada demuestra el potencial de este enfoque para fortalecer las cimentaciones. Esto contribuye significativamente a la comprensión de las tensiones generadas por las cargas de servicio y su interacción con el suelo mejorado, lo que puede guiar futuras mejoras en el diseño de estructuras resilientes.

Cerna, Espinoza y Villarreal (2021), en el artículo titulado: “Interacción Sísmica Suelo-Estructura en Edificaciones con Muros de Ductilidad Limitada Sobre Plateas de Cimentación” El estudio busca analizar construcciones con muros de ductilidad limitada, incorporando la flexibilidad de la cimentación (Interacción

Suelo-Estructura, ISE). Este enfoque permite evaluar con mayor exactitud el comportamiento del suelo y la estructura durante sismos reales, redistribuyendo cargas en los elementos estructurales y disipando parte de la energía sísmica. Los resultados evidencian que la elasticidad de la cimentación influye directamente en los parámetros de diseño, destacando la necesidad de considerar la ISE para optimizar la respuesta estructural ante eventos extremos.

El estudio sobre la interacción suelo-estructura en construcciones con muros de ductilidad restringida proporciona valiosos aportes al entender cómo la flexibilidad de la base afecta la resiliencia sísmica. La consideración de esta interacción permite un análisis más preciso del comportamiento del suelo y la estructura ante eventos sísmicos, redistribuyendo las cargas y disipando energía generada por terremotos. Esto contribuye significativamente a mejorar los parámetros de diseño, asegurando una mayor seguridad y eficiencia en las estructuras.

Antecedentes a nivel internacional

Cabañes (2012), hizo una investigación titulada: “Problemas de Interacción Suelo Estructura en Cimentaciones y muros de contención Influencia de los Fenómenos de Despegue y Deslizamiento”, el **propósito** de este estudio fue aportar al análisis y comprensión del comportamiento de estas estructuras cuando se ven sometidas a cargas vibratorias. Los **hallazgos** indicaron que, en edificios esbeltos, la rotación es el fenómeno predominante, mientras que, en estructuras con esbelteces pequeñas, la traslación se convierte en el efecto más relevante. Tal como se esperaba, este factor influye en las deformaciones de la losa de cimentación debido a la rotación a causa de sus respectivas relaciones de esbeltez antes mencionadas. A partir de este estudio, se puede **concluir** que los muros que garantizan la estabilidad contra el vuelco y deslizamiento pueden exhibir desplazamientos permanentes sísmicos que no cumplen con criterios aceptables. Por lo tanto, se sugiere incluir la determinación de este valor en el proceso de diseño sísmico de un muro.

El estudio sobre el comportamiento de estructuras sometidas a cargas vibratorias aporta valiosos conocimientos sobre cómo la rotación y traslación influyen en las deformaciones de la losa de cimentación, dependiendo de la esbeltez de la estructura. Los hallazgos destacan la importancia de considerar los desplazamientos permanentes sísmicos en el diseño de muros para garantizar la estabilidad contra el vuelco y deslizamiento. Esto sugiere la inclusión de estos parámetros en el proceso de diseño sísmico para mejorar la resiliencia estructural.

Pinto y Ledezma (2019), realizó un Artículo Titulado: “Interacción suelo-estructura en edificios de gran altura con subterráneos en Santiago, Chile”, indico como objetivo del estudio evaluar el comportamiento sísmico de una edificación de gran altura con sótanos profundos, considerando la interacción dinámica suelo-estructura (DSSI). La metodología involucró analizar cómo la estructura afecta la distribución de presiones en el suelo. Los resultados mostraron que la DSSI impacta significativamente en la respuesta dinámica del suelo. Factores como la respuesta dinámica de la estructura y la flexibilidad de los muros influyen en estos efectos. El estudio concluye que es crucial realizar investigaciones adicionales para describir precisamente los efectos de la DSSI en la subestructura de rascacielos.

El estudio sobre el comportamiento sísmico de edificaciones de gran altura con sótanos profundos, considerando la interacción dinámica suelo-estructura, aporta valiosos conocimientos sobre cómo esta interacción impacta la respuesta dinámica del suelo. Los resultados destacan que factores como la respuesta dinámica de la estructura y la flexibilidad de los muros influyen significativamente en estos efectos. El estudio subraya la necesidad de investigaciones adicionales para describir con precisión los efectos de la DSSI en la subestructura de rascacielos, mejorando así la resiliencia sísmica.

Duran (2020), en su investigación Titulada: “Interacción suelo-estructura en apoyos excéntricos de medianería mediante pilotes”, el objetivo del estudio fue analizar los efectos de las vigas de equilibrio en cabezales centrales sometidos a cargas excéntricas. La metodología utilizó un análisis paramétrico con elementos

finitos y enfoques empíricos. Los resultados mostraron que la inclusión de vigas altera la distribución de presiones, destacando la importancia de la interacción suelo-estructura. Factores como la respuesta dinámica y la flexibilidad de los muros influyen en estos efectos. El estudio concluye que el diseño debe priorizar la limitación de movimientos y rotaciones en la cimentación, más allá de la capacidad portante de los pilotes.

El estudio sobre los efectos de las vigas de equilibrio en cabezales centrales sometidos a cargas excéntricas aporta valiosos conocimientos sobre cómo la interacción suelo-estructura influye en la distribución de presiones y la respuesta dinámica. Los resultados destacan la importancia de considerar la flexibilidad de los muros y la respuesta dinámica en el diseño para mejorar la resiliencia sísmica. El estudio sugiere priorizar la limitación de movimientos y rotaciones en la cimentación para garantizar una mayor estabilidad estructural.

Cardoso et al. (2023), en su artículo Titulado: “Influencia del modelo de interacción suelo-estructura en el comportamiento del plano de varios pisos marcos de acero con cimientos de zapatas poco profundas”, tuvo como objetivo examinar cómo la Interacción Suelo-Estructura (ISE) afecta las respuestas de componentes estructurales de acero mediante un análisis de segundo orden estático. La metodología involucró evaluar la distribución de presiones y su impacto en la respuesta dinámica del sistema. Los resultados indican que la ISE altera significativamente la distribución de fuerzas y desplazamientos en las estructuras. Factores como la flexibilidad de los muros y el contacto suelo-muro influyen en esta interacción. El estudio concluye que considerar la ISE es crucial para una evaluación precisa del comportamiento estructural.

El estudio sobre la interacción suelo-estructura (ISE) y su impacto en componentes estructurales de acero aporta valiosos conocimientos sobre cómo esta interacción altera la distribución de fuerzas y desplazamientos en las estructuras. La flexibilidad de los muros y el contacto suelo-muro son factores clave que influyen en esta interacción, lo que subraya la importancia de considerar la ISE para una evaluación precisa del comportamiento estructural. Esto contribuye

significativamente a mejorar la resiliencia sísmica al proporcionar una comprensión más detallada de las respuestas dinámicas de las estructuras.

Lozano (2021), en su investigación Titulada: “Análisis de Interacción Sísmica Suelo-estructura para Evaluar Vulnerabilidad por Resonancia Sísmica en Edificios en un sector de la localidad de Chapinero Bogotá”, el objetivo del estudio fue evaluar la interacción sísmica entre el suelo y las estructuras en edificios de 3 a 7 pisos en Chapinero, con el fin de crear un mapa de vulnerabilidad por resonancia sísmica. La metodología involucró analizar el riesgo de golpeteo entre estructuras adyacentes de diferentes alturas. Los resultados mostraron que el riesgo es mayor cuando edificios de menor altura están junto a estructuras más altas, debido a la coincidencia en las curvas de desplazamiento. Esto se debe a que la altura entre pisos y la proximidad aumentan el riesgo de daños. El estudio concluye que la interacción suelo-estructura es crucial para entender y mitigar estos riesgos.

El estudio sobre la interacción sísmica suelo-estructura en edificios de 3 a 7 pisos en Chapinero aporta valiosos conocimientos sobre cómo esta interacción afecta la vulnerabilidad por resonancia sísmica. Los resultados destacan que el riesgo de daños es mayor cuando edificios de menor altura están junto a estructuras más altas, debido a la coincidencia en las curvas de desplazamiento. Esto subraya la importancia de considerar la interacción suelo-estructura para mitigar estos riesgos y mejorar la resiliencia sísmica en zonas urbanas.

2.2. Bases Teóricas Científicas

2.2.1 *Interacción Suelo – Estructura*

De acuerdo a Acuña et al. (2023)

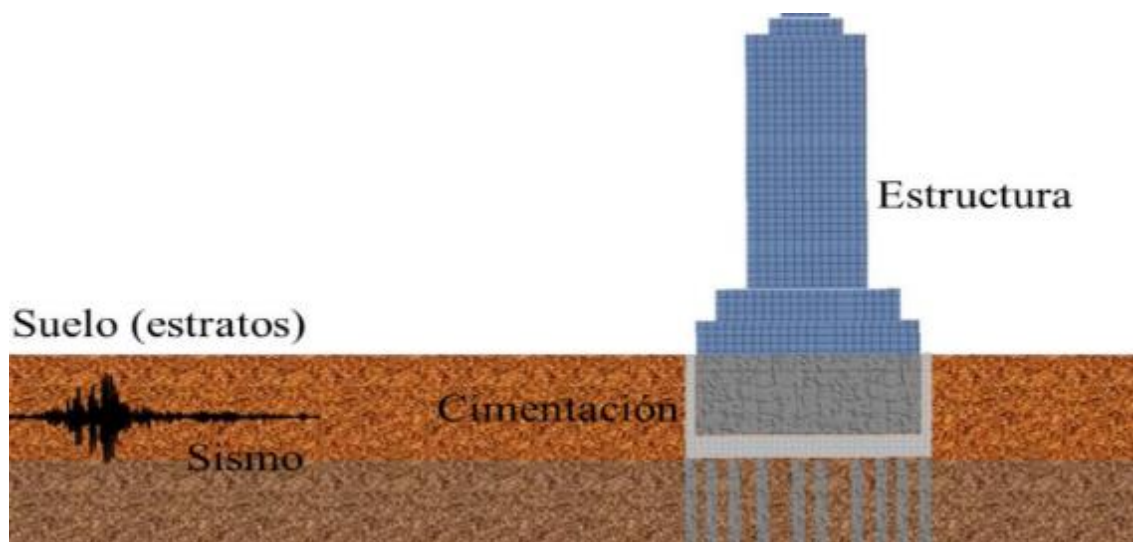
La interacción suelo-estructura fusiona la ingeniería geotécnica y estructural para explorar cómo la rigidez de las estructuras y las propiedades del suelo influyen en las deformaciones del terreno. Este campo de estudio

revela la interdependencia entre las reacciones del suelo y la estructura bajo cargas estáticas o dinámicas, ya que el suelo no es un material rígido e inmutable, sino que su comportamiento varía según su composición, tamaño de partículas, humedad y densidad. Esta interacción dinámica es crucial para comprender y predecir el comportamiento de sistemas complejos bajo diversas condiciones de carga.

De este modo, el suelo tiene la capacidad de deformarse, transferir cargas, disipar energía y alterar las condiciones de soporte de la estructura. Analizar la relación entre el suelo y la estructura es fundamental, dado que influye considerablemente en el diseño y comportamiento de las edificaciones, sobre todo ante eventos sísmicos, como se muestra en la figura 1. Asimismo, la interacción puede modificar el período fundamental de oscilación, el nivel de amortiguamiento, la capacidad de deformación, la rigidez, la fuerza y la estabilidad del edificio, así como la forma en que se distribuyen las tensiones y deformaciones tanto en el suelo como en la construcción.

Figura 1

Elementos que conforman la ISE



Nota: Extraído de la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica (SIMSG)

La Interacción Suelo-Estructura (ISE) se refiere a la alteración del movimiento del suelo en la base de una estructura debido a la presencia de dicha estructura. La intensidad de esta interacción aumenta a medida que el desplazamiento en la base de la edificación se ve más influenciado por la propia estructura.

Contribuciones de la interacción suelo-estructura al diseño y análisis estructural

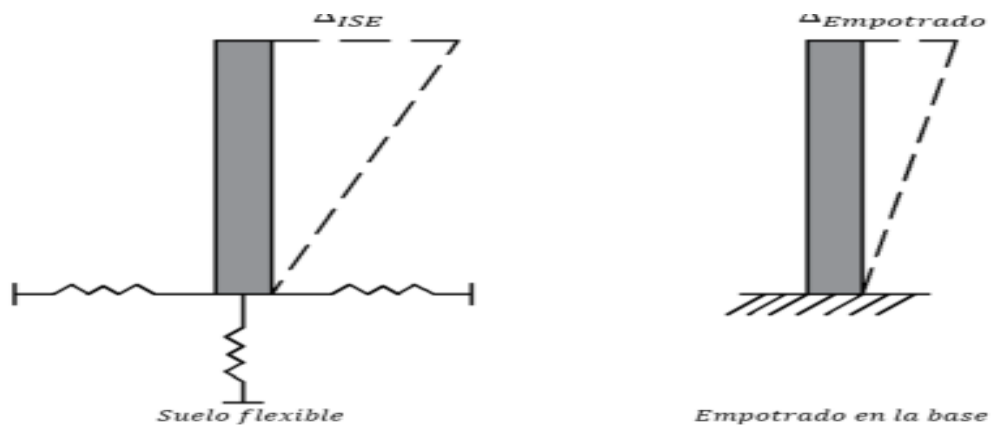
Según Ruiz & Picón (2019), La relación entre el terreno y la edificación es un enfoque detallado que permite un análisis exhaustivo de toda la estructura, desde los cimientos hasta la parte superior. Este análisis facilita el cálculo de deflexiones, momentos de flexión y fuerzas de corte en vigas y losas apoyadas en un medio elástico, con el objetivo de completar el diseño estructural según las normativas actuales. Aunque el método tradicional utiliza el coeficiente de balasto (Winkler), este estudio opta por el modelo de Pasternak, que incluye constantes elásticas en direcciones vertical y horizontal, ofreciendo una descripción más precisa del comportamiento del terreno. Este enfoque avanzado permite una mejor representación de las interacciones complejas entre el suelo y la estructura. Además, proporciona una base sólida para el diseño estructural, asegurando que se cumplan los estándares de ingeniería y se aplique el criterio profesional adecuado. Asimismo, se resaltan las contribuciones clave de la ISE en el estudio de construcciones: la relación entre el suelo y la estructura requiere un control más riguroso de los movimientos laterales.

En este sentido, (Villarreal, 2009 como se citó en Garro et al., 2021), señala que, con la ISE, los desplazamientos laterales aumentan en comparación con el modelo establecido por la NTE E.030. De igual manera, la relación entre el suelo y la estructura optimiza la repartición de las tensiones, facilitando la disminución de las fuerzas internas que actúan en dirección axial, las fuerzas de corte y los momentos de flexión. Finalmente,

la relación suelo-estructura ayuda a detectar deformaciones por torsión en las losas, caracterizadas por una distorsión que resulta en elevaciones en una diagonal y descensos en la diagonal contraria.

Figura 2

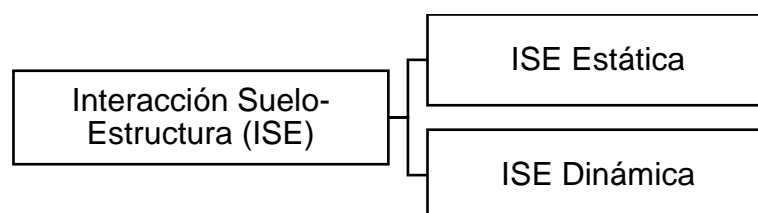
Desplazamientos laterales con y sin ISE



La interacción suelo-estructura (ISE) implica considerar las propiedades elásticas del suelo, reconociendo que no es un medio rígido, sino que tiene capacidad para amortiguar y absorber parte de la energía sísmica. Esto reduce la energía transferida a la estructura, lo que a su vez disminuye las fuerzas internas que soportan los elementos estructurales, en comparación con los cálculos tradicionales que ignoran la ISE. De esta manera, la ISE permite una evaluación más precisa del comportamiento estructural bajo cargas sísmicas.

Figura 3

Tipos de Interacción Suelo Estructura



La interacción suelo-estructura (ISE) considera las propiedades elásticas del suelo, reconociendo su capacidad para amortiguar y absorber energía sísmica. Esto reduce la energía transferida a la estructura, disminuyendo las fuerzas internas en los elementos estructurales. En comparación con cálculos tradicionales, la ISE ofrece una evaluación más precisa del comportamiento estructural bajo cargas sísmicas. La ISE permite un diseño más realista y seguro. Al considerar la elasticidad del suelo, se optimiza la respuesta sísmica de las estructuras.(Villarreal & Aguila, 2021)

Según lo mencionado, la interacción suelo-estructura (ISE) proporciona respuestas más precisas sobre los desplazamientos del suelo en contacto con sus cimentaciones. Este estudio recopila datos de varias investigaciones, las cuales están presentes en normas internacionales. Se estudian modelos estáticos como el rígido, Winkler y Pasternak, y dinámicos como Barkan-Savinov, Ilichev y Sargsian. Estos modelos consideran las propiedades de las cimentaciones y los estratos del suelo. La geometría de las cimentaciones es crucial para predecir el comportamiento sísmico del suelo.

2.2.1.1. Modelos de Interacción Suelo-Estructura

Tal como lo menciona (Villarreal, 2023), hay modelos dinámicos ampliamente reconocidos que, mediante el uso de coeficientes de rigidez, describen la relación real entre el suelo y la estructura. Seguidamente se presentan algunos de los modelos de ISE más destacados:

Modelización de interacción suelo estructura (ISE) estática

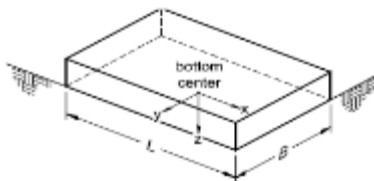
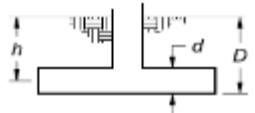
Modelización considerando una cimentación rígida

Para determinar las rigideces traslacionales y rotacionales, se emplea una zapata rectangular que considera el fondo de cimentación respecto al nivel de terreno natural y las características geotécnicas del suelo. Este enfoque simplifica los

cálculos matemáticos necesarios para estimar las respuestas estructurales. Modelización considerando una cimentación rígida.

Figura 4

Tipos de modelos de suelo: Cálculo de los resortes en zapata

Degree of Freedom	Stiffness of Foundation at Surface	Note
Translation along x-axis	$K_{x, SUR} = \frac{GB}{2-\nu} \left[3.4 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 1.2 \right]$	 <p>Orient axes such that $L \geq B$</p>
Translation along y-axis	$K_{y, SUR} = \frac{GB}{2-\nu} \left[3.4 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.4 \frac{L}{B} + 0.8 \right]$	
Translation along z-axis	$K_{z, SUR} = \frac{GB}{1-\nu} \left[1.55 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.8 \right]$	
Rocking about x-axis	$K_{xx, SUR} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[0.4 \left(\frac{L}{B} \right) + 0.1 \right]$	
Rocking about y-axis	$K_{yy, SUR} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[0.47 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.034 \right]$	
Torsion about z-axis	$K_{zz, SUR} = GB^3 \left[0.53 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.45} + 0.51 \right]$	
Degree of Freedom	Correction Factor for Embedment	Note
Translation along x-axis	$\beta_x = \left(1 + 0.21 \frac{\sqrt{D}}{\sqrt{B}} \right) \cdot \left[1 + 1.6 \left(\frac{hd(B+L)}{BL^2} \right)^{0.4} \right]$	 <p>d = height of effective sidewall contact (may be less than total foundation height) h = depth to centroid of effective sidewall contact</p> <p>For each degree of freedom, calculate $K_{emb} = \beta K_{SUR}$</p>
Translation along y axis	$\beta_y = \beta_x$	
Translation along z-axis	$\beta_z = \left[1 + \frac{1}{21} \frac{D}{B} \left(2 + 2.6 \frac{B}{L} \right) \right] \cdot \left[1 + 0.32 \left(\frac{d(B+L)}{BL} \right)^{2/3} \right]$	
Rocking about x-axis	$\beta_{xx} = 1 + 2.5 \frac{d}{B} \left[1 + \frac{2d}{B} \left(\frac{d}{D} \right)^{0.2} \frac{\sqrt{B}}{\sqrt{L}} \right]$	
Rocking about y-axis	$\beta_{yy} = 1 + 1.4 \left(\frac{d}{L} \right)^{0.6} \left[1.5 + 3.7 \left(\frac{d}{L} \right)^{1.9} \left(\frac{d}{D} \right)^{-0.6} \right]$	
Torsion about z-axis	$\beta_{zz} = 1 + 2.6 \left(1 + \frac{B}{L} \right) \left(\frac{d}{B} \right)^{0.9}$	

Nota: Obtenido de restandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings (p. 4-20) por FEMA, 2000

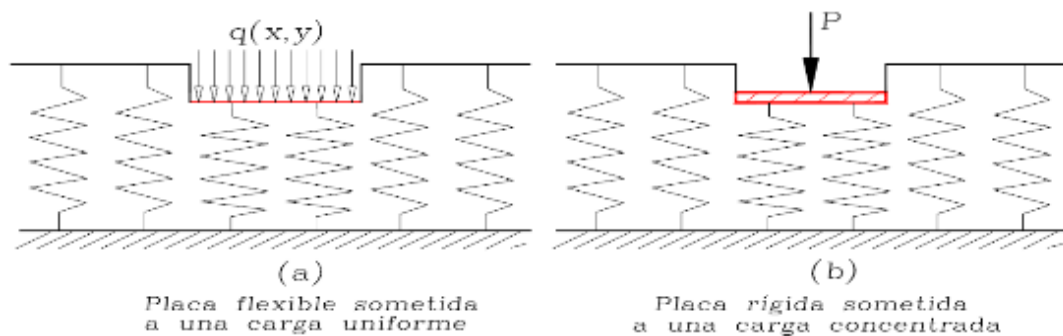
Modelo Winkler

El modelo de Winkler, ampliamente utilizado en interacción suelo-estructura, representa el suelo mediante resortes lineales (factor de balasto k), donde la presión de contacto (q) es proporcional a la deformación (w), según la ecuación $q(x,y) = k_1 w(x,y)$. Aunque simplifica cálculos en cimentaciones superficiales, vigas, losas y muros, su principal limitación radica en asumir desplazamientos constantes bajo carga uniforme, independientemente de la rigidez de la estructura, ignorando la

resistencia al corte del suelo fuera del área cargada. Esto restringe su aplicación a suelos cohesivos. Pese a su inexactitud en modelar el comportamiento real del terreno, su practicidad ha llevado a desarrollar expresiones analíticas para estimar k , basadas en modelos elásticos lineales. Se recomienda emplear múltiples valores de k (en tn/m^3 o kgf/cm^3) en vez de uno constante para mejorar precisión. Aunque insuficiente para casos complejos, el modelo sigue siendo útil en problemas donde el principio de Arquímedes ofrece una aproximación aceptable.

Figura 5

Modelo Winkler: Suelo de soporte como sistema de elementos resortes



Nota: Adaptado de Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil.

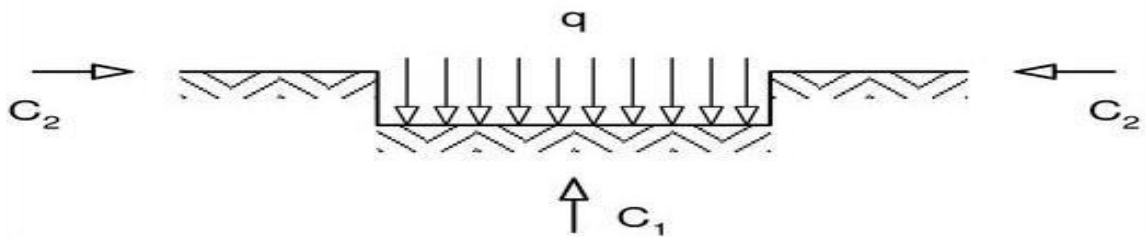
El modelo de Winkler se centra exclusivamente en el balasto vertical, asumiendo que el suelo se deforma únicamente bajo cargas gravitacionales, como la carga muerta y la carga viva. Sin embargo, este enfoque ignora el comportamiento del suelo ante sollicitaciones sísmicas, lo que limita su aplicación en el análisis estático de interacción suelo-estructura. Esta restricción subraya la necesidad de modelos más avanzados que consideren dinámicas sísmicas para una evaluación más precisa.

Modelo de Pavel Lvovich Pasternak

El modelo de Pasternak mejora al modelo de Winkler al incluir un resorte que ejerce fuerza horizontalmente, permitiendo una representación más precisa del comportamiento del suelo. Este modelo facilita la modelización del suelo en eventos sísmicos y calcula con mayor precisión los movimientos y exigencias en la base y el terreno. Se basa en la teoría de la elasticidad, asumiendo un comportamiento elástico y lineal del terreno. Utiliza dos coeficientes de balasto para determinar fuerzas y movimientos en la cimentación y el terreno. Esto permite diseños más exactos y seguros en ingeniería civil.

Figura 6

Idealización de modelo de Pasternak



Nota. Extraído de Villarreal (2009)

Modelo dinámico D.D. Barkan – O.A. Savinov

En Zapatas

Es un esquema que se enfoca en la conexión entre la fundación y su base a través de vibraciones sistemáticas derivadas. En esta estructura, se limita la rotación alrededor del eje Z, lo que indica que se analizan solamente cinco de los seis grados posibles de libertad, tal como se indica en las ecuaciones siguientes:

$$k_z = C_z A ; k_x = k_y = C_x A ;$$

$$k_{\varphi x} = k_{\varphi y} = C_{\varphi} I$$

Donde:

k : rigidez

C_z, C_{φ} : Coeficientes de compresión elástica uniforme y no uniforme

C_x : Coeficiente de desplazamiento elástico uniforme

A : Área de la base de la cimentación

I : Momento de inercia de la base de la cimentación respecto al eje principal z , perpendicular al plano de vibración.

La forma final para determinar los coeficientes de compresión y desplazamiento (T/m³) de la base en el modelo es:

$$C_z = C_0 \left[\frac{1 + 2(a + b)}{\Delta \cdot A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$C_x = C_y = D_0 \left[\frac{1 + 2(a + b)}{\Delta \cdot A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$C_{\varphi x} = C_{\varphi y} = C_0 \left[\frac{1 + 2(a + 3b)}{\Delta \cdot A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

Donde:

C_0, D_0 : Coeficientes (t/m³) determinados a través de experimentos

a, b : Dimensiones de la cimentación en el plano (m)

Δ : Coeficiente empírico, asumido para cálculos prácticos igual a $\Delta = 1 \text{ m}^{-1}$

Para el coeficiente D_0 , se puede utilizar la dependencia empírica:

$$D_0 = \frac{1 - \mu}{1 - 0.5\mu} \cdot C_0$$

También se pueden usar los valores del coeficiente C_0 cuando $\rho_0 = 0,2 \text{ kg/cm}^3$, elegidos en función a su suelo de la base de fundación:

Figura 7

Valores para el coeficiente C_0 elegidos de acuerdo con el tipo de suelo

Tipo de perfil	Característica de la base de fundación	Suelo	C_0 (kg / cm ³)
S1	Roca o suelos muy rígidos	Arcilla y arena arcillosa dura ($I_L < 0$)	3,0
		Arena compacta ($I_L < 0$)	2,2
		Cascajo, grava, canto rodado, arena densa	2,6
S2	Suelos intermedios	Arcilla y arena arcillosa plástica ($0,25 < I_L \leq 0,5$)	2,0
		Arena plástica ($0 < I_L \leq 0,5$)	1,6
		Arena polvorosa medio densa y densa ($e \leq 0,80$)	1,4
		Arenas de grano fino, mediano y grueso, independientes de su densidad y humedad	1,8
S3	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	Arcilla y arena arcillosa de baja plasticidad ($0,5 < I_L \leq 0,75$)	0,8
		Arena plástica ($0,5 < I_L \leq 1$)	1,0
		Arenas polvorosa, saturada, porosa ($e > 0,80$)	1,2
S4	Condiciones excepcionales	Arcilla y arena arcillosa muy blanda ($I_L > 0,75$)	0,6
		Arena movediza ($I_L > 1$)	0,6

Nota: Obtenido de Interacción Sísmica Suelo-Estructura en Edificaciones con Zapatas Aisladas, (p.31), por G. Villareal Castro, 2009, Lima: Perú.

Es posible sostener que el modelo dinámico analizado por D. D. Barkan y O. A. Savinov incorpora una perspectiva tanto teórica como experimental, basándose en la relación entre la base y el soporte de la edificación, teniendo en cuenta un proceso específico de vibraciones inducidas.

En Losa de cimentación

Después de llevar a cabo múltiples estudios experimentales para establecer los coeficientes de rigidez (k) de los cimientos, el investigador ruso D. D. Barkan creó las siguientes fórmulas:

$$k_z = C_z A ; k_x = k_y = C_x A ;$$

$$k_{\varphi x} = C_{\varphi x} I_x ; k_{\varphi y} = C_{\varphi y} I_y$$

Donde:

$C_z, C_{\varphi y}, C_{\varphi x}$: Coeficientes de compresión elástica uniforme y no uniforme

C_x : Coeficiente de desplazamiento elástico uniforme

A : Área de la base de la cimentación

I_x, I_y : Momento de inercia de la platea de cimentación respecto a los ejes x y y

Los coeficientes de desplazamiento y compresión de la base en el modelo D.D.

Barkan-O.A. Savinov se determinan por la fórmula:

$$C_z = C_0 \left[\frac{1 + 2(a + b)}{\Delta \cdot A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$C_x, C_y = D_0 \left[\frac{1 + 2(a + b)}{\Delta \cdot A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$C_{\varphi x}, C_{\varphi y} = C_0 \left[\frac{1 + 2(a + 3b)}{\Delta \cdot A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$C_{\varphi y} = C_0 \left[\frac{1 + 2(b + 3a)}{\Delta \cdot A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

Donde:

C_0 : Coeficientes determinados a través de experimentos $\rho_0 = 0,2kg/cm^2$

a, b : Dimensiones de la cimentación en el plano (m).

Δ : Coeficiente empírico, asumido para cálculos prácticos igual a $\Delta=1m^{-1}$

A : Área de la platea de cimentación

ρ : Presión estática

$$\rho = \frac{P_{edificio} + P_{losa}}{A_{platea}}$$

$P_{edificio}$: peso de la edificación

P_{platea} : peso de losa de cimentación

A_{platea} : Área losa de cimentación

Para el coeficiente D_0 , se puede utilizar la dependencia empírica:

$$D_0 = \frac{1 - \mu}{1 - 0.5\mu} \cdot C_0$$

Dónde:

μ : Coeficiente de Poisson del suelo.

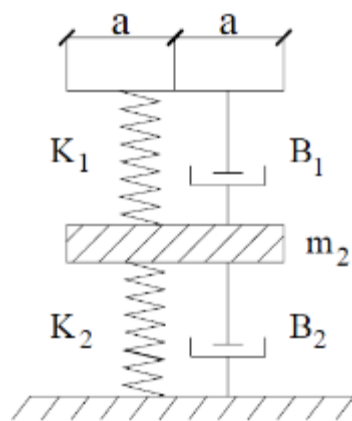
El enfoque dinámico propuesto por D. D. Barkan y O. A. Savinov combina teoría y experimentación. Se basa en la relación entre la estructura de soporte y el terreno de fundación, caracterizándose como un fenómeno oscilatorio que no se mantiene constante y que involucra vibraciones inducidas.

Modelo dinámico V.A. Ilchev

El modelo fue desarrollado con el propósito de abordar cuestiones relacionadas con la interacción suelo-estructura en contextos de ondas sísmicas, donde el suelo se considera un semiespacio elástico. En sus inicios, este método de cálculo fue utilizado para casos que implicaban oscilaciones de bases circulares, las cuales se encuentran sobre un medio elástico uniforme. La visualización de este modelo de cálculo se muestra en la ilustración posterior.

Figura 8

Esquema Modelo de V.A. Ilchev



Nota: Obtenido de Interacción Sísmica Suelo-Estructura en Edificaciones con Zapatas Aisladas, (p.32), por G. Villareal Castro, 2009, Lima: Perú.

En el modelo, una placa idealizada sin peso incluye un resorte (K1) y un amortiguador (B1) para simular los efectos de las ondas longitudinales. Estos parámetros dependen del tamaño de la placa y la densidad del material circundante. En la sección inferior, la placa responde dinámicamente a las ondas transversales y

la vibración de Rayleigh, con parámetros (m_2 , B_2 , K_2) que varían según las dimensiones y densidad del entorno. Estos parámetros están influenciados por el módulo de corte y la velocidad de las ondas transversales. El modelo distingue claramente el impacto de diferentes tipos de ondas en el comportamiento dinámico de la placa.

Donde: $a = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$ radio (m) asumido de la base de la cimentación, de área A .

Los cinco factores adimensionales del modelo mecánico de la base con 1,5 grados de libertad, representan una dependencia lineal de \sqrt{A} .

$$Y = Y_0 + Y_1 \cdot \operatorname{tg} \psi \cdot \sqrt{\frac{A}{\alpha}}$$

$B_{z1}, K_{z1}, m_z, b_{z2}, K_{z2}$: coeficientes para las vibraciones verticales

$B_{\varphi1}, K_{\varphi1}, m_{\varphi}, b_{\varphi2}, K_{\varphi2}$: coeficientes para las vibraciones rotacionales

$B_{x1}, K_{x1}, m_x, b_{x2}, K_{x2}$: coeficientes para las vibraciones horizontales

Los componentes Y_0 , Y_1 se calculan utilizando tablas que varían según el tipo de vibración y el coeficiente de Poisson (μ) de la base de la fundación.

Figura 9

Parámetros y coeficientes para vibraciones rotacionales y horizontales

μ	b_{0z1}	K_{0z1}	m_{0z}	b_{0z2}	K_{0z2}
0,25	5,34	21,80	2,80	6,21	7,50
0,35	6,44	26,30	3,12	6,90	8,40
0,45	10,53	43,00	3,29	7,50	9,20
μ	$b_{0\varphi1}$	$K_{0\varphi1}$	$m_{0\varphi}$	$b_{0\varphi2}$	$K_{0\varphi2}$
0,25	1,36	5,60	1,00	1,60	7,50
0,35	1,63	6,70	1,03	1,70	7,90
0,45	2,50	10,70	0,84	1,60	7,30
μ	b_{0x1}	K_{0x1}	m_{0x}	b_{0x2}	K_{0x2}
0,25	3,10	12,40	1,80	5,20	7,60
0,35	3,10	12,40	1,90	5,70	8,30
0,45	3,10	12,40	2,10	6,40	9,20

Nota: Adaptado de Interacción Sísmica Suelo-Estructura en Edificaciones con Zapatas Aisladas, (p.32), por G. Villareal Castro, 2009, Lima: Perú

Figura 10

Parámetros y coeficientes para vibraciones rotacionales y horizontales

μ	b_{1z1}	K_{1z1}	m_{1z}	b_{1z2}	K_{1z2}
0,25	0,87	3,56	0,56	0,62	2,88
0,35	1,06	4,34	0,62	0,78	3,50
0,45	1,81	7,41	0,69	0,78	3,72
μ	$b_{1\varphi1}$	$K_{1\varphi1}$	$m_{1\varphi}$	$b_{1\varphi2}$	$K_{1\varphi2}$
0,25	0,22	1,16	0,12	0,12	1,34
0,35	0,28	1,41	0,16	0,12	1,81
0,45	0,50	1,97	0,16	0,12	1,81
μ	b_{1x1}	K_{1x1}	m_{1x}	b_{1x2}	K_{1x2}
0,25	0,53	2,09	0,28	0,75	1,53
0,35	0,53	2,09	0,31	0,84	1,87
0,45	0,53	2,09	0,37	0,84	1,91

Nota: Adaptado de Interacción Sísmica Suelo-Estructura en Edificaciones con Zapatas Aisladas, (p.32), por G. Villareal Castro, 2009, Lima: Perú

Los factores adimensionales Y se determinan en forma dimensional por las siguientes fórmulas:

Vibraciones rotacionales:

$$K_{\varphi} = (C_2)^2 \cdot \rho \cdot k_{\varphi} \cdot a^3$$

$$B_{\varphi} = C_2 \cdot \rho \cdot b_{\varphi} \cdot a^4$$

$$M_{\varphi} = \rho \cdot m_{\varphi} \cdot a^5$$

Vibraciones horizontales (verticales):

$$K_{x(z)} = (C_2)^2 \cdot \rho \cdot k_{x(z)} \cdot a$$

$$B_{x(z)} = C_2 \cdot \rho \cdot b_{x(z)} \cdot a^2$$

$$M_{x(z)} = \rho \cdot m_{x(z)} \cdot a^3$$

Dónde:

C_2 : velocidad de propagación de la onda transversal (m/s);

ρ : densidad del suelo de la base de fundación (Ts2/m4).

Modelo dinámico A.E. Sargsian.

En Zapatas

Los estudios realizados por A.E. Sargsian y A.A. Najapetian, desarrollo un modelo dinámico de interacción suelo-estructura. Según este modelo dinámico, se introducen parámetros cuasi estáticos de rigidez de la base de la fundación, K_x , K_ϕ , K_z , que se determinan mediante las siguientes formulas:

$$K_x = \frac{28,8(1 - \mu^2) \cdot \rho \cdot C_2^2 \sqrt{A}}{\pi(7 - 8\mu)}$$

$$K_\phi = \frac{8,52 \cdot \rho \cdot C_2^2 \cdot I}{\sqrt{\pi} \cdot (1 - \mu) \cdot \sqrt{A}}$$

$$K_z = \frac{\rho \cdot C_1^2 \cdot \sqrt{A}}{\varphi(1 - \mu^2)}$$

Donde:

ρ : Densidad del suelo

A : Área de la base de la cimentación

I : Momento de inercia del área respecto al eje horizontal.

$\Phi = 0,833$

C_1 : Velocidad de propagación de las ondas longitudinales en el suelo de fundación

C_2 : Velocidad de propagación de las ondas transversales, las velocidades de propagación de las ondas longitudinales y transversales se pueden calcular por las siguientes fórmulas:

$$C_1^2 = \frac{(1 - \mu) \cdot E}{(1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu) \cdot \rho}$$

$$C_2^2 = \frac{E}{2(1 + \mu) \cdot \rho}$$

Donde:

E : Módulo de elasticidad del suelo de fundación.

En Losas de fundación

Consideró al medio como inercial elástico homogéneo isotrópico, obteniendo los siguientes coeficientes de rigidez:

$$k_x = k_y = \frac{28,8\rho C_2^2}{\sqrt{\pi}(7-8\mu)} \cdot \sqrt{A}$$

$$k_z = \frac{4\rho C_2^2}{\sqrt{\pi}(1-\mu)} \cdot \sqrt{A}$$

$$k_{\varphi x} = \frac{8,52\rho C_2^2}{\sqrt{\pi}(1-\mu)} \cdot \frac{I_x}{\sqrt{A}}$$

$$k_{\varphi y} = \frac{8,52\rho C_2^2}{\sqrt{\pi}(1-\mu)} \cdot \frac{I_y}{\sqrt{A}}$$

Las características de amortiguamiento del suelo de fundación se determinan por las fórmulas:

$$B_x = B_y = \frac{18,24(1-\mu)\rho C_2}{\pi(7-8\mu)} \cdot A$$

$$B_z = \frac{3,4\sqrt{1-2\mu} \cdot \rho C_1}{\pi(1-\mu)\sqrt{2(1-\mu)}} \cdot A$$

$$B_{\varphi x} = \frac{1,6\sqrt{1-2\mu} \cdot \rho C_1}{\pi(1-\mu)\sqrt{2(1-\mu)}} \cdot I_x$$

$$B_{\varphi y} = \frac{1,6\sqrt{1-2\mu} \cdot \rho C_1}{\pi(1-\mu)\sqrt{2(1-\mu)}} \cdot I_y$$

$$B_{\psi z} = \frac{3,4\sqrt{1-2\mu} \cdot \rho C_1}{\pi(1-\mu)\sqrt{2(1-\mu)}} \cdot I_z$$

Donde:

ρ : Densidad del suelo

μ : Coeficiente de Poisson del suelo

A : Área de la platea de cimentación

I_x, I_y : Momento de inercia de la platea respecto a los ejes X y Y.

I_z : Momento de inercia de la platea respecto al eje vertical Z

C_1 : Velocidad de propagación de las ondas longitudinales en el suelo de fundación

C_2 : Velocidad de propagación de las ondas transversales, las velocidades de propagación de las ondas longitudinales y transversales se pueden calcular por las siguientes fórmulas:

De acuerdo a la concepción de semiespacio elástico, las velocidades de propagación de las ondas longitudinal y transversal

$$c_1 = \sqrt{\frac{(1 + \mu)E}{(1 + \nu)(1 - 2\mu)\rho}}$$

$$c_2 = \sqrt{\frac{E}{2(1 + \nu)\rho}}$$

Modelo dinámico Norma Rusa Snip 2.02.05-87

En Zapatas

Los coeficientes de rigidez que corresponden a la compresión elástica uniforme K_z (T/m), el desplazamiento elástico uniforme K_x (T/m); la compresión elástica no uniforme K_ϕ , en (T.m); y el desplazamiento elástico no uniforme K_ψ , en (T.m); se obtienen mediante las siguientes fórmulas:

$$k_z = C_z A ; k_x = C_x A \quad |$$

$$k_\phi = C_\phi I_\phi ; k_\psi = C_\psi I_\psi$$

Donde:

A : Área de la base de la cimentación (m²)

I_ϕ : Momento de inercia (m⁴) del área de la base de la cimentación respecto al eje horizontal.

I_ψ : Momento de inercia (m⁴) del área de la base de la cimentación respecto al eje vertical.

La característica fundamental de elasticidad de la base, que se conoce como coeficiente de compresión elástica uniforme C_z en (T/m³), se establece mediante

pruebas experimentales. Si no se dispone de esta información, se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$C_x = b_0 E \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right)$$

Donde:

b_0 : Coeficiente (m-1) asumido para suelos arenosos igual a 1; para arenas arcillosas 1,2; para arcillas, cascajos, gravas, cantos rodados, arenas densas igual a 1,5.

E : Módulo de deformación del suelo en la base de la cimentación(T/m²).

$A_{10} = 10m^2$

Los coeficientes que representan el desplazamiento elástico uniforme C_x expresados en (T/m³), compresión elástica no uniforme C_ϕ (T/m³), y el desplazamiento elástico no uniforme C_ψ , expresados en kN/m³ (T/m³), se calculan a través de las siguientes fórmulas:

$$C_x = 0.7C_z$$

$$C_\phi = 2C_z$$

$$C_\psi = C_z$$

Al analizar las características de amortiguación en el fundamento de la cimentación, es fundamental considerar las amortiguaciones relativas ξ , las cuales se establecen mediante ensayos en laboratorio.

En losa de cimentación

Los coeficientes de rigidez que corresponden a la compresión elástica uniforme K_z (T/m), el desplazamiento elástico uniforme K_x , K_y (T/m); la compresión elástica no uniforme $K_{\phi x}$, $K_{\phi y}$ (T.m) y desplazamiento elástico no uniforme $K_{\psi z}$ (T.m); se calculan:

$$k_x = k_y = C_x A ; k_z = C_z A$$

$$k_{\varphi x} = C_{\varphi x} I_x ; k_{\varphi y} = C_{\varphi y} I_y ; k_{\psi z} = C_{\psi z} I_z$$

Donde:

A : Área de la base de la cimentación.

I_x, I_y : Momento de inercia de la losa de cimentación.

I_z : Momento de inercia de la losa de cimentación en el eje vertical Z.

La característica fundamental de elasticidad de la base, que se conoce como coeficiente de compresión elástica uniforme C_z en (T/m³), se establece mediante pruebas experimentales. Si no se dispone de esta información, se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$C_z = b_0 E \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right)$$

Donde:

b_0 : Coeficiente (m-1) asumido para suelos arenosos igual a 1; para arenas arcillosas 1,2; para arcillas, cascajos, gravas, cantos rodados, arenas densas igual a 1,5.

E : Módulo de deformación del suelo en la base de la cimentación (T/m²).

$A_{10} = 10 \text{ m}^2$

A : Área de la platea de cimentación.

Los coeficientes que representan el desplazamiento elástico uniforme C_x , C_y (T/m³), compresión elástica no uniforme $C_{\varphi x}$, $C_{\varphi y}$ (T/m³), y el desplazamiento elástico no uniforme $C_{\psi z}$, expresados en (T/m³), se calculan a través de las siguientes fórmulas:

$$C_x, C_y = 0,7 C_z$$

$$C_{\varphi x} = C_{\varphi y} = 2 C_z$$

$$C_{\psi z} = C_z$$

En las propiedades de amortiguación de la base de la cimentación, se deben de considerar las amortiguaciones relativas β , determinadas por ensayos de laboratorio.

En el caso que no existan datos experimentales, la amortiguación relativa para las vibraciones verticales β_z se puede determinar por la fórmula:

$$\beta_z = 2 \cdot \sqrt{\frac{E}{C_z \rho m}}$$

Donde:

E : Módulo de deformación del suelo en la base de la cimentación (T/m²).

C_z : Coeficiente de compresión elástica uniforme.

ρm : Área de la platea de cimentación.

Las reducciones relacionadas con las oscilaciones horizontales y rotativas en relación a sus ejes vertical y horizontal se determinan por:

$$\beta_x = 0,6\beta_z$$

$$\beta_{\varphi x} = \beta_{\varphi y} = 0,5\beta_z$$

$$\beta_{\psi z} = 0,3\beta_z$$

Las características de amortiguamiento del suelo de fundación se obtienen:

$$B_x = B_y = 2\beta_x \sqrt{k_x M_x}$$

$$B_z = 2\beta_z \sqrt{k_z M_z}$$

$$B_{\varphi x} = 2\beta_{\varphi x} \sqrt{k_{\varphi x} M_{\varphi x}}$$

$$B_{\varphi y} = 2\beta_{\varphi y} \sqrt{k_{\varphi y} M_{\varphi y}}$$

$$B_{\psi z} = 2\beta_{\psi z} \sqrt{k_{\psi z} M_{\psi z}}$$

Donde:

β : Amortiguación relativa.

k : Rigidez

M : Masa de la losa de cimentación

2.2.1.1 Características mecánicas de los suelos

Tal como lo indica Rivera et al. (2020)

El análisis de la mecánica del suelo es esencial en construcción para determinar propiedades como el módulo de elasticidad (E), módulo de corte (G), relación de Poisson (ν) y coeficiente de balasto (K). La ley de Hooke vincula esfuerzo y deformación mediante "E", mientras que " ν " relaciona las deformaciones axiales y laterales. El módulo de corte (G) describe la distorsión bajo fuerzas paralelas sin alterar el volumen. Estos parámetros permiten calcular cargas y garantizar la seguridad estructural durante la vida útil de la edificación. Comprender estas propiedades ayuda a predecir el comportamiento del suelo bajo estrés, evitando fallas. Su aplicación correcta es clave para diseños duraderos y seguros.

Para cualquier material que este dentro del rango elástico, existe una relación entre G, E y ν .

$$E = \frac{G}{2(1 + \nu)}$$

En resumen, “es necesario determinar el coeficiente de balasto, el cual representa la relación entre la presión aplicada y el asentamiento requerido para generar una deformación específica en el suelo. Para calcular este coeficiente, se realiza un ensayo de carga directa sobre el terreno, empleando una placa rígida que puede tener 30 cm de lado si es cuadrada, o 30 cm de diámetro si es circular”. (Terzaghi, 1955)

$$C = \frac{q}{y}$$

C = K = coeficiente de balasto

Q= presión ejercida

Y= asentamiento de la placa

Tabla 1

Valores propuestos para el valor de k_{30} (kg/cm³).

Valores de k_{30} propuestos por Terzaghi			
	Tipos de suelo		K30 max
Arena seca o húmeda	Suelta	0.64	1.92
	Media	1.92	9.60
	Compacta	9.60	32.00
Arena sumergida	Suelta		0.80
	Media		2.50
	Compacta		10.00
Arcilla	$q_u=1-2$ kg/cm ²	1.60	3.20
	$q_u=2-4$ kg/cm ²	3.20	6.40
	$q_u>4$ kg/cm ²	>6.4	

Nota: Fuente: Terzaghi, Peck y Mesri (1996).

2.2.1.2 Parámetros geotécnicos

De acuerdo a Islam et al. (2020), “los parámetros geotécnicos son valores que permiten caracterizar un suelo para analizar sus propiedades y comprender mejor su comportamiento en diversos proyectos. Estos se determinan mediante ensayos de laboratorio y de campo”.

Parámetros de resistencia a la cortante del suelo

Según (Das, 2021), “la resistencia interna generada por fallas de deslizamiento en cualquier punto de su plano. Este parámetro se utiliza para evaluar la capacidad de carga de una cimentación, la estabilidad de taludes, la presión lateral del suelo, etc”.

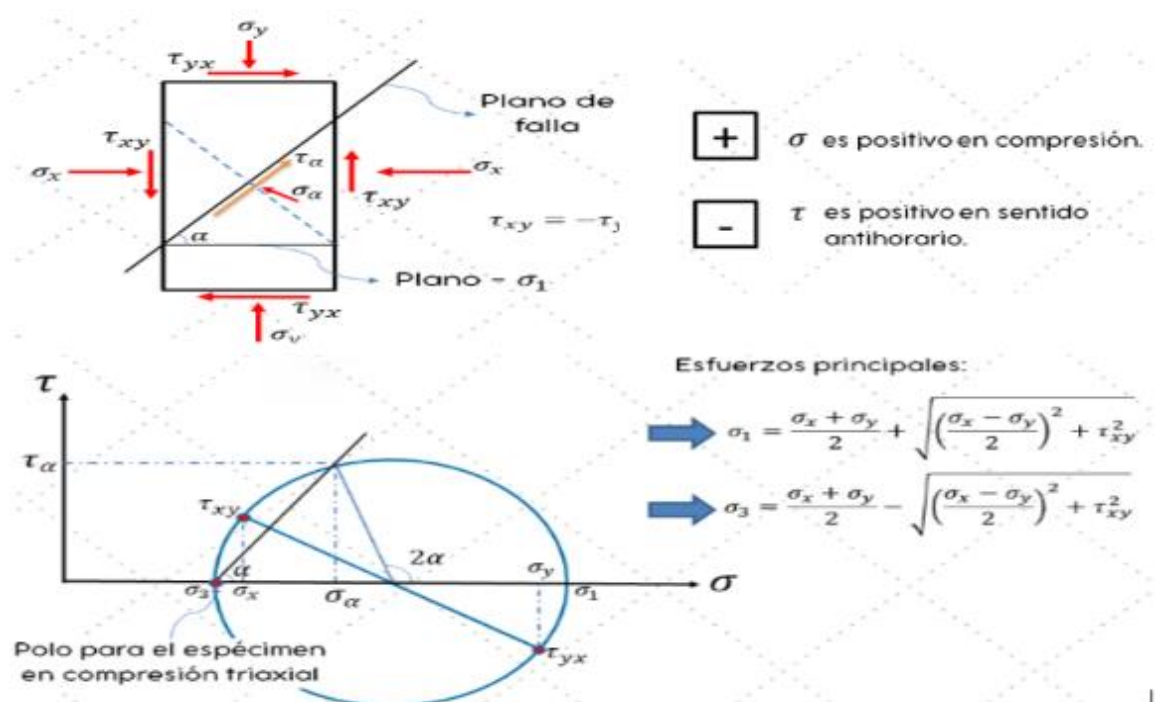
Los parámetros necesarios para determinar la resistencia a corte son la cohesión (C) y el ángulo de fricción interna (ϕ).

2.2.1.3 Modelo de Mohr-Coulomb

El método describe cómo el suelo falla debido a la combinación crítica de fuerzas normales y cortantes, estableciendo una relación directa entre ambos esfuerzos. Esta relación se expresa como $T_f = f(\sigma)$, donde T_f es el esfuerzo cortante y $f(\sigma)$ es el esfuerzo normal. La interacción entre estos esfuerzos se representa gráficamente mediante una curva. Esta curva ilustra cómo el esfuerzo cortante varía en función del esfuerzo normal, proporcionando una herramienta visual para comprender el comportamiento del suelo bajo diferentes condiciones de carga. Este enfoque permite predecir con mayor precisión los puntos de falla en el suelo.

Figura 11

Modelo de Mohr-Coulomb y Ensayo Triaxial de Suelo



Nota: Extraído del libro "Ensayo Triaxial de Suelos" (Poul V. Lade)

2.2.1.4 Modelo Elástico lineal

Según Cervera & Blanco (2015), la ley de Hooke establece cómo las tensiones y deformaciones se relacionan de forma proporcional en un área determinada, partiendo de la premisa de que las características del material son isotrópicas.

$$\sigma = E\varepsilon$$

Donde σ es la tensión; E es el módulo elástico del suelo y ε es la deformación unitaria del suelo.

2.2.2 Resiliencia sísmica

2.2.2.1 Definición

La resiliencia sísmica se refiere a la capacidad de un sistema o estructura para resistir, adaptarse y recuperarse rápidamente de un evento sísmico, manteniendo su funcionalidad y minimizando pérdidas económicas y sociales. Implica la habilidad de soportar daños sin colapsar y recuperar su funcionalidad en un tiempo razonable. Las estructuras resilientes combinan ductilidad, redundancia y capacidad de recuperación para mitigar los efectos de los terremotos. Esto permite a las comunidades y edificios recuperarse eficazmente después de un desastre sísmico.(Gutiérrez & Ayala, 2022)

La resiliencia sísmica es la capacidad de un sistema para resistir, adaptarse y recuperarse rápidamente de un terremoto, minimizando pérdidas humanas y económicas. Esto implica mantener la funcionalidad en poco tiempo y restaurar las estructuras esenciales. Las características clave son robustez, redundancia y rapidez en la recuperación, lo que es vital para proteger comunidades y garantizar su recuperación eficiente.(Prieto, 2024)

La resiliencia sísmica es la capacidad de un sistema estructural o comunidad para resistir, absorber y recuperarse eficientemente de un terremoto, minimizando

pérdidas humanas, económicas y funcionales. Se evalúa mediante metodologías probabilistas que integran factores como tiempo de reparación, costos, disponibilidad de mano de obra y pérdidas indirectas. Incluye aspectos socioeconómicos y técnicos, utilizando indicadores como el índice de resiliencia para comparar escenarios y optimizar estrategias de mitigación. Su objetivo es garantizar la continuidad operativa y reducir el impacto en la población y la infraestructura ante eventos sísmicos. (Aroquipa & Hurtado, 2022)

La resiliencia sísmica es la capacidad de las estructuras para resistir las sacudidas sísmicas y recuperarse rápidamente (Bruneau et al., 2003). El concepto se ha ido conformando gradualmente un concepto unificado para la ingeniería sísmica. Esta capacidad se describe desde niveles funcionales y económicos. La investigación se centra en un marco cuantitativo para la resiliencia sísmica de las estaciones de metro para describir la capacidad de recuperación y el impacto social tras ser impactadas por terremotos.(Dong et al., 2022)

Según (Cimellaro et al. 2006, como se citó en González et al., 2024): Cimellaro y su equipo desarrollaron el primer marco analítico unificado para cuantificar la resiliencia sísmica en infraestructura. Definieron esta resiliencia como la capacidad de un sistema de mantener funcionalidad durante un tiempo de recuperación post-sismo.

En conclusión, la resiliencia sísmica es un concepto clave en la ingeniería y gestión de riesgos, ya que no solo busca prevenir el colapso estructural, sino garantizar la continuidad operativa y la recuperación eficiente tras un terremoto. Este enfoque combina aspectos técnicos (ductilidad y redundancia) con factores socioeconómicos (costos, pérdidas indirectas), permitiendo una evaluación integral mediante metodologías probabilistas. Además, su aplicación práctica ayuda a optimizar recursos y priorizar intervenciones en comunidades vulnerables. La evolución del concepto desde Bruneau et al. (2003) hasta autores recientes refleja su importancia creciente en la planificación urbana y la reducción del riesgo de desastres.

2.2.3 Modelos y/o teorías

Metodología FEMA P-58

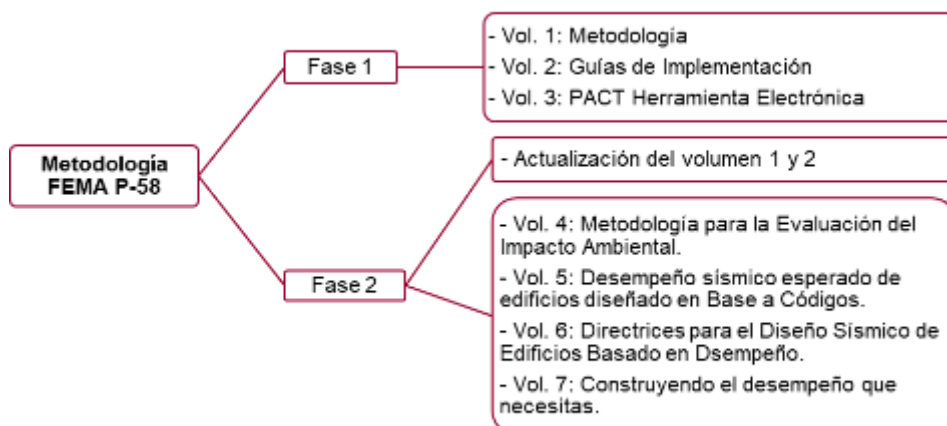
La metodología FEMA P-58 “ofrece una evaluación y diseño de edificaciones basados en su desempeño sísmico, proporcionando una estimación más precisa y confiable de su comportamiento futuro ante terremotos. A diferencia de los enfoques tradicionales, esta metodología establece criterios de desempeño claros y accesibles, permitiendo tomar decisiones mejor informadas sobre la estructura a lo largo de su vida útil. Esto supera las limitaciones de los códigos normativos vigentes, que no siempre garantizan un desempeño óptimo en situaciones reales”. (ATC, 2018).

Estructura

La metodología de Diseño y Evaluación Sísmica Basada en Desempeño se presenta en un conjunto de volúmenes. La estructura y organización de estos se representa en la figura 12.

Figura 12

Volúmenes de informe del FEMA P-58.



Nota: Volúmenes de la metodología FEMA. Obtenido de FEMA P-58-1 (2018).

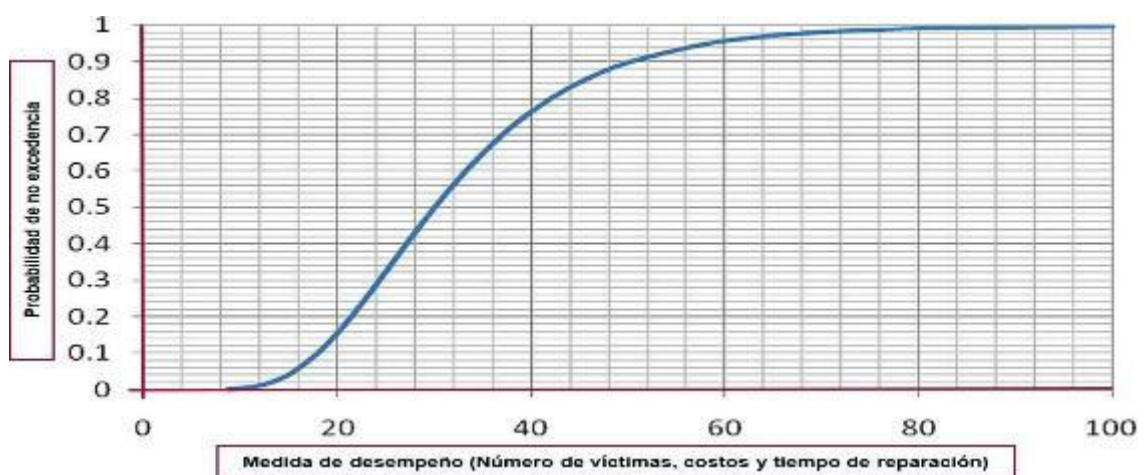
Diseño Sísmico Basado en Desempeño – resiliencia sísmica

Como lo señala *O'Reilly & Calvi (2019)*, el Diseño Sísmico Basado en el Desempeño ha evolucionado a través de tres eras. La primera, en los años 90, se centró en definir niveles de desempeño con informes como VISION 2000 y FEMA 273. La segunda generación, basada en FEMA 356, introdujo ajustes técnicos en los criterios de aceptación. La tercera generación busca mejorar la fiabilidad y precisión de los métodos de análisis, destacando la adopción de FEMA P-58. Este último permite definir metas de resiliencia, como costos de reparación y duración de inactividad post-sismo.

Las funciones de desempeño en FEMA P-58 permiten tomar decisiones informadas sobre las pérdidas probables. Estas funciones representan estadísticamente la probabilidad de pérdidas futuras por sismos. El enfoque actual prioriza la comunicación efectiva entre los involucrados en el proyecto.

Figura 13

Función de desempeño hipotética



Nota: Gráfico de Desempeño sísmico hipotético para Daños y Consecuencias. Obtenido de FEMA P-58-1 (2018).

La figura 13 presenta un análisis del desempeño en términos de probabilidades, permitiendo considerar variables epistémicas y aleatorias que

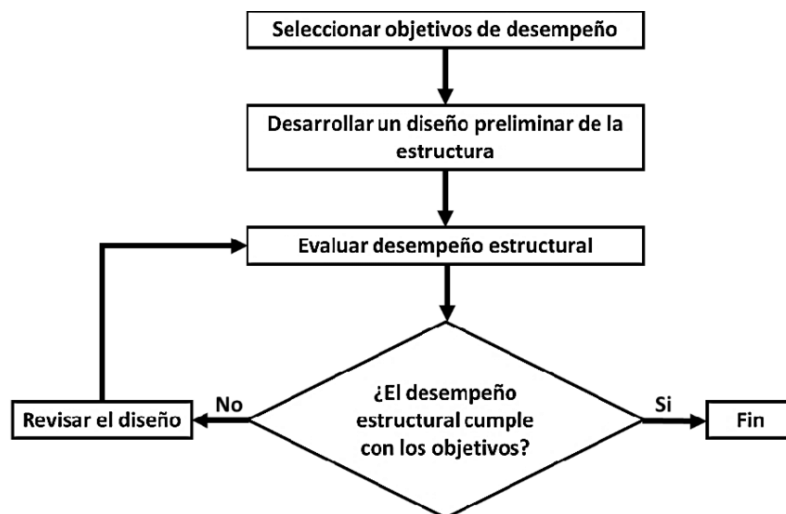
influyen en el impacto real. Miranda y Aslani propusieron un método probabilístico para calcular pérdidas económicas totales, sumando daños en componentes estructurales, no estructurales y contenido de edificaciones. Este enfoque evalúa el desempeño sísmico mediante curvas que relacionan espectros sísmicos con probabilidades de excedencia. La respuesta estructural se caracteriza por parámetros como aceleración y deformaciones, que se vinculan con estados de daño y consecuencias económicas y humanas a través de funciones de consecuencia. Este modelo integral permite predecir costos de reparación, tiempo de reconstrucción y víctimas potenciales.

I. El proceso de diseño basado en objetivo de resiliencia

De acuerdo con lo establecido en la metodología FEMA P-58, en este proceso participan diversos especialistas y actores clave del proyecto, quienes serán responsables de tomar decisiones y asumir las consecuencias que estas puedan tener en la edificación. Para llevar a cabo un diseño basado en objetivos de resiliencia, estos especialistas seguirán el flujo de trabajo propuesto por FEMA P-58. (Ver Figura 6).

Figura 14

Proceso de diseño basado en el desempeño de una edificación.



Nota: Esquema Extraído de Gaxiola (2022).

Una vez definidos los objetivos de resiliencia, se inicia el diseño preliminar de la edificación, considerando factores como ocupación, tamaño, ubicación y configuración estructural. Posteriormente, se realiza un análisis de desempeño para evaluar cómo la estructura responderá a un sismo, estimando posibles daños y comparándolos con los objetivos establecidos. Si el desempeño cumple o supera las expectativas, el diseño avanza; de lo contrario, se ajustan los objetivos o se modifica el diseño hasta alcanzar un rendimiento óptimo. Este proceso garantiza que la edificación supere los requisitos normativos actuales y responda eficazmente a eventos sísmicos.

II. Medidas de desempeño

Una manera de cuantificar los efectos relacionados con el comportamiento sísmico de una edificación es a través de las medidas de desempeño. Estas medidas buscan ser herramientas esenciales para la toma de decisiones en aspectos vinculados a la edificación. En la metodología FEMA P-58, el desempeño se representa mediante las siguientes medidas:

- **Pérdidas de vida o personas lesionadas:** Evalúa la cantidad de individuos que experimentan daños serios, necesitan asistencia sanitaria o mueren en el interior del edificio.
- **Gastos de restauración:** Se refiere al valor económico necesario para reparar la estructura o, en caso de pérdida total, el costo de reconstruirla hasta devolverla a su estado original.
- **Tiempo de reparación:** Indica el período requerido para realizar las reparaciones y dejar la estructura en las mismas condiciones que tenía antes del terremoto.
- **Impacto Ambiental:** Evalúa las consecuencias ambientales, considerando la energía utilizada y las emisiones de carbono asociadas a la reparación o, si es necesario, al reemplazo de la estructura con características equivalentes.

- **Clasificación de riesgo:** Se trata de un indicador que se utiliza después de un sismo para analizar los perjuicios en la construcción y decidir si su utilización pone en peligro la seguridad de las personas.

Considerando una incertidumbre inherente y bajo un enfoque probabilístico, la metodología expresa medidas de desempeño ante la posible ocurrencia de terremotos (ATC, 2018a).

III. Tipos de análisis de desempeño

Tal como lo indica Iza (2023)

FEMA P-58 sugiere tres métodos posibles para evaluar el desempeño, los cuales se describen a continuación.

- a. Análisis Basado en la Intensidad:** Analiza cómo resistiría una estructura ante un sismo cuya intensidad se define mediante un espectro de aceleración con amortiguamiento del 5%, método clave para evaluar su desempeño bajo movimientos telúricos acordes a normativas vigentes. Este enfoque no solo cuantifica su respuesta ante eventos de diseño estandarizados, sino que también permite modelar escenarios alternativos con espectros personalizados, ofreciendo una herramienta versátil para optimizar seguridad y funcionalidad bajo múltiples condiciones sísmicas.
- b. Análisis Basado en el Escenario:** El análisis basado en escenarios permite evaluar el desempeño sísmico de una estructura frente a un evento específico y localizado, como aquellos cerca de fallas activas. Este enfoque se centra en simular la respuesta ante un sismo histórico o proyectado, ofreciendo una visión detallada del comportamiento estructural. A diferencia del análisis por intensidad, se basa en escenarios concretos, lo que facilita una evaluación más precisa. Esto

permite anticipar mejor cómo una edificación resistirá ante eventos sísmicos conocidos y predecibles.

- c. Análisis Basado en el Tiempo:** Este análisis proyecta el desempeño probable de una edificación durante un período determinado, considerando los sismos potenciales y su probabilidad de ocurrencia. Se evalúan los riesgos asociados a la incertidumbre sobre la localización, magnitud e intensidad de futuros eventos sísmicos. Esto permite una planificación más informada y resiliente ante posibles desastres naturales.

d. Metodología para la Evaluación del Desempeño Sísmico

La Figura 15 presenta un diagrama de flujo que describe el proceso a seguir para el análisis del desempeño en edificaciones nuevas o existentes.

Figura 15

Diagrama de flujo para analizar el comportamiento de una estructura.



Nota: Obtenido de FEMA P-58-1 (2018).

A continuación, se describe el procedimiento de la metodología.

En primer lugar, se recopila la información básica de la edificación, la cual se utiliza para construir modelos de desempeño probable que servirán posteriormente para definir el riesgo sísmico. Estos datos abarcan la localización de elementos estructurales susceptibles de sufrir daños, el contenido y los componentes no estructurales que pueden verse influenciados en un sismo, así como información vinculada a la construcción.

Tras desarrollar el modelo de rendimiento, se procede a calcular la susceptibilidad sísmica. En esta etapa, se selecciona el tipo de análisis a utilizar, ya que, dependiendo de la elección, el riesgo sísmico se calculará en función de un escenario, un período de tiempo o una intensidad específica.

Una vez que se han establecido los datos del riesgo sísmico, se evalúa la respuesta de la estructura, que comúnmente se expresa en valores como la deformación residual, el desplazamiento de niveles en ambas direcciones perpendiculares, así como las aceleraciones y las velocidades en los pisos.

A continuación, se define la fragilidad de colapso, lo cual permite analizar las posibles víctimas que podrían resultar de un terremoto. Para ello, es necesario identificar, basándose en los modos de colapso y la intensidad del movimiento sísmico, la probabilidad de que ocurra un colapso estructural.

Finalmente, FEMA P-58 propone calcular el desempeño estructural utilizando el método de Monte Carlo para estimar las posibles pérdidas, dado las múltiples incertidumbres que afectan el desempeño sísmico. Este método obtiene resultados mediante aproximaciones sucesivas, realizando un número considerable de cálculos, donde cada uno representa un posible escenario de desempeño para la edificación.

e. Creación del modelo de desempeño de la estructura

Los datos estructurados de un edificio que sirven para reconocer los elementos que pueden dañarse en caso de sismos se denomina modelo de rendimiento del edificio. Estos datos se clasifican principalmente en cuatro

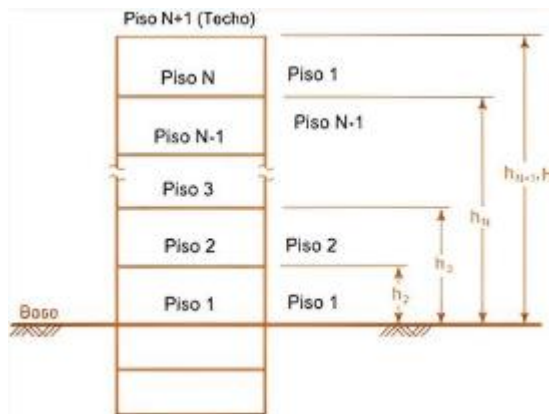
categorías: "Información básica, componentes estructurales, componentes no estructurales y ocupación".

Información básica de la estructura

La cantidad de plantas, la superficie y la altura del edificio son elementos esenciales de la información sobre la construcción. La ilustración 15 muestra la nomenclatura propuesta por la metodología, que designa como planta 1 a la que se encuentra a ras del suelo, puesto que se piensa que las plantas situadas por debajo de este punto son sólidas y firmes. No obstante, se piensa que podrían ocurrir deterioros en los niveles por debajo del nivel del suelo.

Figura 16

Nomenclatura para identificar entrepisos y pisos de una edificación.



Nota: Obtenido de FEMA P-58-1 (2018).

Para evaluar el costo integral de sustitución de una estructura, se consideran factores como el costo de reemplazo del núcleo y revestimiento, tiempo de reemplazo, consumo de energía y carbono, y un límite máximo de pérdida. La demolición y retirada de escombros representan entre el 20% y el 30% del costo total. El límite máximo de pérdida, fijado en el 50% del costo de sustitución según FEMA P-58, determina si es más conveniente reparar o sustituir el edificio. Este límite sirve como punto de referencia para decisiones de intervención.

Ocupación

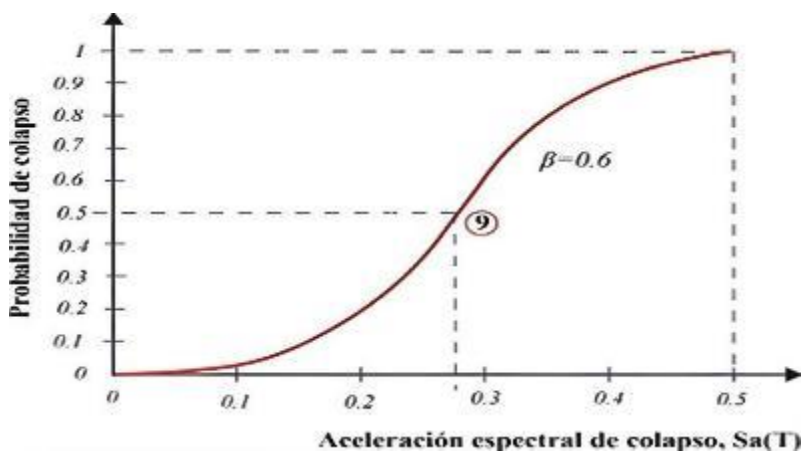
El uso principal de una edificación se determina a través de su ocupación, lo que permite modelar la población que la ocupa y estimar el número de víctimas potenciales en caso de un terremoto. Además, identificar el tipo de ocupación facilita la estimación de elementos no estructurales y contenidos sin necesidad de un inventario exhaustivo. FEMA P-58 ofrece inventarios y modelos poblacionales para diversas ocupaciones, como oficinas, colegios y hospitales.

Curvas de fragilidad

Las curvas de vulnerabilidad muestran los grados de deterioro que los elementos de una estructura pueden experimentar en un sismo, basándose en distribuciones log-normales. Estas curvas representan la probabilidad de alcanzar un nivel de daño ante un parámetro de exigencia sísmica específico. La mediana (θ) indica el umbral de demanda con un 50% de probabilidad de daño. La dispersión (β) refleja la incertidumbre asociada a factores como la calidad de los materiales y el comportamiento esperado. La dispersión muestra la variabilidad en la respuesta del componente bajo demandas específicas. Las curvas de vulnerabilidad son fundamentales para evaluar el riesgo sísmico y tomar decisiones informadas sobre la seguridad estructural.

Figura 17

Curva de Colapso Hipotética



Nota: Obtenida de Avilés & Grados (2023)

De acuerdo a Ramírez & Ferreira (2024), las curvas de vulnerabilidad se vinculan a parámetros de demanda específicos que reflejan los posibles daños en componentes de construcción. En sistemas estructurales, el desplazamiento de pisos es un parámetro común para evaluar daños. Las curvas de fragilidad se pueden generar mediante pruebas de laboratorio o datos de sismos pasados. FEMA P-58 ofrece una amplia colección de gráficos de vulnerabilidad para estructuras y elementos no estructurales.

a. Estados de daño

FEMA P-58 evalúa los daños sísmicos en edificaciones, categorizando la vulnerabilidad en niveles de daño (DS1, DS2, etc.) con repercusiones como costos de reparación y seguridad. Las condiciones de daño se relacionan de forma secuencial, excluyente o simultánea. Los elementos se clasifican en grupos de fragilidad (debilidad similar) y desempeño (exigencias sísmicas similares). Se identifican componentes susceptibles a daños severos, organizándolos según similitud en construcción. Las funciones de consecuencia vinculan los niveles de daño con gastos, tiempos de reparación y número de personas afectadas.

b. Grupos de fragilidad y de desempeño

En el análisis de vulnerabilidad sísmica, se clasifican elementos estructurales, no estructurales y contenidos en grupos de desempeño y fragilidad. Es crucial registrar el número de componentes susceptibles a daños o usar cantidades estandarizadas. Al inicio del diseño, los planos suelen carecer de información detallada, por lo que se utilizan diseños preliminares para estimar las cantidades recomendadas. Estas estimaciones se basan en estudios de más de 3000 construcciones.

c. Grupos de fragilidad

Un grupo de fragilidad reúne componentes con debilidades similares ante un parámetro de demanda específico, compartiendo características constructivas y modos de daño. Cada grupo tiene una función de fragilidad

definida y atributos como tipo de componente y estados de daño potenciales. FEMA P-58 sugiere organizar componentes por similitudes constructivas, ajustando o agregando grupos según sea necesario. Componentes como muros cortina y paredes internas se clasifican en grupos distintos debido a sus diferentes condiciones de daño y métodos de restauración.

d. Grupos de desempeño

Los grupos de desempeño se clasifican según el nivel de exigencias sísmicas, como desplazamiento del piso o aceleración. Los componentes sensibles a la aceleración, como sistemas mecánicos, se clasifican por el piso en el que se encuentran. Es crucial identificar el nivel donde surgen las exigencias y donde se registran los efectos del daño, especialmente en elementos suspendidos. FEMA P-58 coloca estos elementos en el nivel inferior, donde se observan las consecuencias de su fallo. La metodología utiliza unidades específicas para cada categoría de rendimiento, conectadas con la medición de las repercusiones. Estas unidades ayudan a evaluar los perjuicios de los elementos en cada grupo de desempeño.

e. Componentes resistentes

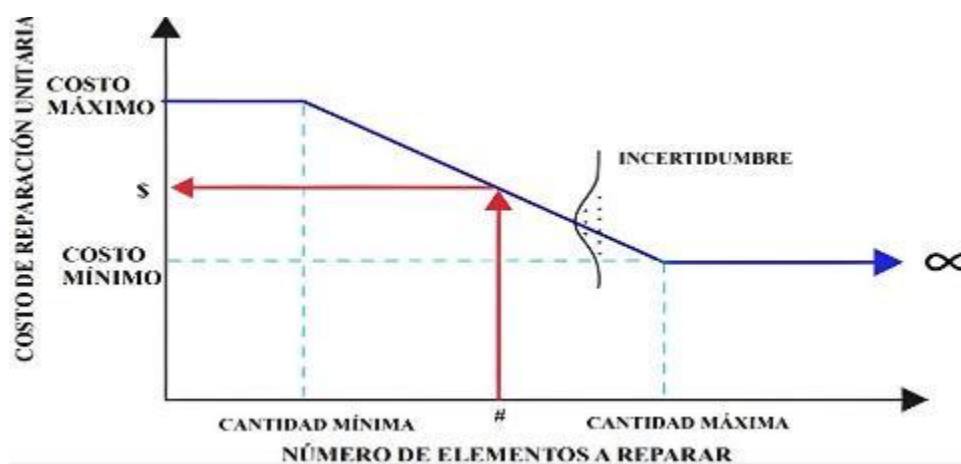
Los elementos que son fuertes son aquellos que no experimentan daños significativos cuando la estructura se enfrenta a movimientos sísmicos. Dado que, en teoría, estos elementos permanecen intactos, no se consideran en la creación del modelo de rendimiento de la estructura. No obstante, es crucial incluirlos al calcular el costo total de la pérdida de la edificación, puesto que, si ocurre un colapso completo de la estructura, el gasto de reconstrucción debe abarcar también el valor de estos elementos fuertes. En estos escenarios, FEMA P-58 ofrece un apéndice que contiene una relación de elementos que comúnmente se reconocen como fuertes y que no son considerados en el modelo de rendimiento de la edificación.

f. Funciones de consecuencia

Las funciones de consecuencias ofrecen un medio para conectar las pérdidas potenciales que podría afrontar una estructura con los niveles de daño que sufren los diferentes grupos de vulnerabilidad. Estas funciones transforman el deterioro que sufren los elementos en términos de gastos, duración de las reparaciones, efectos en el entorno, evaluación posterior al sismo o la cantidad de personas afectadas que podrían surgir. Posteriormente, en la figura 17, se muestra una curva hipotética de consecuencias relacionada con los gastos de reparación.

Figura 18

Curva de consecuencia hipotética vinculada a costos de reparación.



Nota: Obtenido de Perez & Torres (2022)

El FEMA P-58 integra en su evaluación de fragilidad información detallada sobre cantidades, materiales y acciones de reparación, lo que facilita el cálculo del tiempo y los costos de reparación, así como otras consideraciones importantes. Además, para estimar el número de víctimas, cada estado de daño incluye una descripción del área potencialmente afectada y el riesgo para la vida, permitiendo una evaluación integral del impacto sísmico en términos de seguridad humana y económicos. Esto permite una planificación más precisa y efectiva para mitigar los

efectos de un terremoto. La inclusión de estos datos es crucial para tomar decisiones informadas sobre la seguridad estructural y la resiliencia sísmica.

2.2.4 Componentes clave

De acuerdo a Chee et al. (2022), entre los componentes interrelacionados que son esenciales para diseñar sistemas resilientes que puedan soportar, adaptarse y recuperarse rápidamente tras un evento sísmico, minimizando los impactos negativos en las comunidades afectadas, se encuentran las siguientes:

- a. **Robustez:** La capacidad de las estructuras para resistir perturbaciones sísmicas sin degradarse ni perder funcionalidad, asegurando su estabilidad frente a terremotos.
- b. **Redundancia:** La existencia de elementos alternativos dentro del sistema que puedan asumir funciones críticas en caso de falla de otros componentes, aumentando la capacidad de respuesta ante desastres.
- c. **Rapidez:** La habilidad para recuperar la funcionalidad en un tiempo razonable después de un evento sísmico, limitando las pérdidas económicas y sociales.
- d. **Recursos:** La capacidad para identificar problemas, priorizar soluciones y movilizar recursos materiales y humanos necesarios para la recuperación efectiva.
- e. **Dimensiones Técnicas, Sociales y Económicas:** Incluyen el desempeño físico de las estructuras, el impacto en comunidades y la reducción de pérdidas económicas directas e indirectas.

2.2.5 Evaluación de la Resiliencia Sísmica

De acuerdo a Asadi (2020)

La resiliencia se analiza tanto en componentes individuales como en sistemas completos, incluyendo la resiliencia comunitaria. Esta última es la capacidad de una comunidad para enfrentar eventos extremos, reducir sus impactos y recuperarse eficientemente. Su objetivo es minimizar consecuencias sociales y económicas, como víctimas y pérdidas materiales. Garantizar la funcionalidad en emergencias y el acceso a servicios esenciales es fundamental para la resiliencia comunitaria.

2.2.5.1 Representación de las demandas sísmicas

El riesgo sísmico incluye efectos como fracturas de fallas y deslizamientos, desencadenados por el movimiento del terreno. La evaluación del rendimiento considera los desplazamientos en tres direcciones perpendiculares, aunque el análisis se centra en las direcciones horizontales. Los espectros de aceleración ayudan a definir estos movimientos sísmicos. El Análisis No Lineal de Historia de Tiempo examina el desempeño del edificio en las direcciones horizontales. También se puede utilizar un análisis simplificado basado en aceleraciones espectrales. La definición del peligro sísmico depende del enfoque de análisis estructural y la evaluación del rendimiento. Las curvas de peligro sísmico determinan la magnitud del sismo en evaluaciones temporales. Estas curvas proporcionan espectros de respuesta relacionados con tasas de excedencia específicas.

Ubicación y condiciones del sitio

La amenaza sísmica depende de la ubicación del edificio respecto a la fuente sísmica y las características geológicas del terreno. En análisis basados en intensidad, las propiedades del terreno son cruciales para definir el espectro de respuesta. En estudios por escenarios, la distancia a la fuente sísmica y las características del terreno son fundamentales para predecir el movimiento del suelo. La posición del edificio y las propiedades del suelo son clave para generar curvas de riesgo sísmico adecuadas en análisis temporales.

Definición del peligro sísmico para el análisis no lineal tiempo historia

A continuación, se proporciona la guía sugerida para escoger y ajustar los datos sísmicos que se utilizarán en un estudio no lineal de series temporales. Esto facilitará al usuario crear un espectro de respuesta objetivo apropiado, seleccionar conjuntos de datos sísmicos relevantes y ajustarlos de forma que se alineen con el espectro de respuesta objetivo.

a. Espectro de respuesta de aceleración objetivo

Como se indicó antes, los espectros de aceleración de respuesta deseada se generan de diferentes maneras dependiendo de la clase de evaluación de rendimiento (intensidad, escenario o temporal). La correcta selección del espectro deseado es fundamental, pues establece la relación entre la elección de registros sísmicos y la información sobre riesgo sísmico empleada en el análisis dinámico no lineal.

b. Selección de registros sísmicos y escalamiento

Para obtener un comportamiento estructural más auténtico en estudios no lineales, se seleccionan y ajustan datos sísmicos que se alineen con un espectro objetivo dentro de un rango específico de períodos. FEMA P-58 sugiere que los registros sísmicos compartan características como tipo de suelo y magnitud. Se recomienda utilizar al menos 7 pares de registros con espectros similares al objetivo. Si hay variaciones significativas, se necesitan 11 o más pares para asegurar una respuesta promedio razonable.

c. Selección para Evaluación Basada en Tiempo

Para seleccionar pares de registros sísmicos, se elabora una curva de peligro sísmico que relaciona la aceleración espectral con su frecuencia anual de excedencia. Luego, se calcula el rango de aceleraciones espectrales, estableciendo límites máximo y mínimo. Este rango se divide en intervalos, recomendándose ocho según FEMA P-58. En cada intervalo, se determina el punto medio de la aceleración

espectral y su frecuencia anual. Con estos datos, se construye el espectro objetivo para cada intervalo. Finalmente, se seleccionan y escalan pares de registros sísmicos que ajusten a las características deseadas.

2.2.5.2 Análisis de la respuesta estructural

De acuerdo a Gómez et al. (2022)

El análisis estructural busca predecir cómo resiste un edificio a un sismo, utilizando parámetros como aceleración, deriva de pisos o desplazamientos residuales como indicadores de daño. FEMA P-58 propone dos métodos: análisis no lineal dinámico (que simula la respuesta en tiempo real) y análisis lineal simplificado (más rápido, pero menos detallado). Cada enfoque requiere ajustes específicos para garantizar precisión, como validar modelos matemáticos o calibrar factores de reducción. La elección del método depende de la precisión requerida y los recursos disponibles, siendo clave para optimizar seguridad y eficiencia en el diseño.

I. Análisis no lineal

Este análisis es el estándar de oro en evaluación sísmica, pese a su alto costo computacional y complejidad técnica. Su versatilidad permite aplicarlo a cualquier estructura, intensidad sísmica o ubicación geográfica, generando datos clave como derivas y aceleraciones que revelan el desempeño real. Además, ofrece un marco estadístico robusto: calcula promedios, dispersiones e interdependencias entre parámetros críticos. Aunque exige recursos técnicos, su precisión en modelar escenarios extremos justifica su uso en proyectos estratégicos, donde cada variable influye en la mitigación de riesgos.

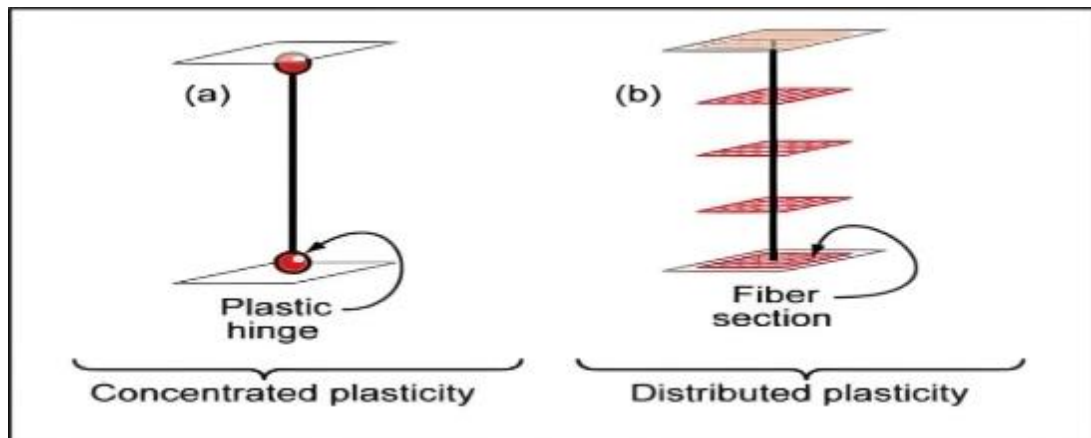
a. Modelado

El informe comienza con un modelo analítico de la estructura, cuya precisión depende del realismo y la aproximación utilizada. Este modelo incluye

elementos estructurales y no estructurales, ya que algunos componentes no estructurales pueden influir en la rigidez del edificio. El análisis requiere modelar todos los elementos, considerando el comportamiento no lineal en fuerza y deformación, excepto aquellos donde este comportamiento es irrelevante. Los modelos de comportamiento no lineal varían desde modelos de plasticidad elemental hasta modelos de plasticidad distribuida con elementos finitos. Estos modelos ayudan a evaluar cómo la estructura responde a intensidades sísmicas. La elección del modelo adecuado es crucial para obtener resultados precisos.

Figura 19

Modelos idealizados para elementos viga-columna.



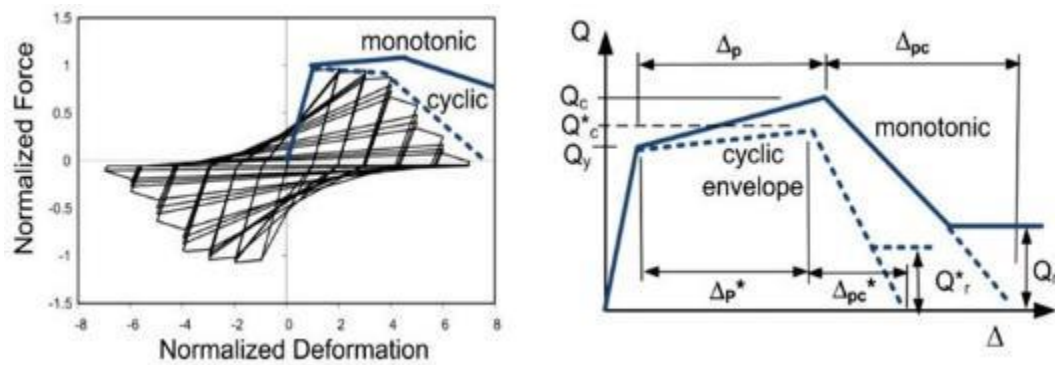
Nota: Obtenido de Deirelein (2010).

b. Relación Esfuerzo – Deformación del componente

La representación de cada elemento se determina a partir del vínculo entre esfuerzo y deformación, tal como se muestra en la imagen 20. Estas conexiones se logran al trazar gráficos de los parámetros de esfuerzo, incluyendo la carga axial, la fuerza cortante o el momento, en relación a los parámetros de rotación o deformación.

Figura 20

Curvas idealizadas y derivadas de envolvente monotónica y cíclica.



Nota: Obtenido de FEMA P-58-1 (2018).

Se distinguen dos tipos de curvas: monotónicas y envolventes cíclicas, que varían según el tipo de carga aplicada. Las curvas monotónicas reflejan la respuesta bajo carga constante, mientras que las cíclicas capturan el comportamiento bajo cargas variables. La elección de estas curvas en análisis dinámicos no lineales depende de cómo se modela la degradación cíclica, que puede ser directa o indirecta. El modelado directo es preferido por su precisión, aunque su implementación es limitada debido a las restricciones de los programas informáticos.

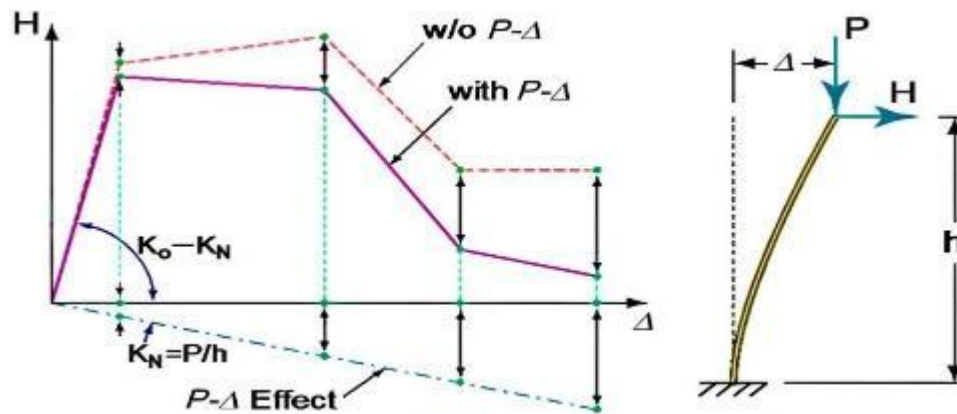
No linealidad geométrica

El efecto P-delta puede amplificar los desplazamientos y las fuerzas internas en una estructura después de alcanzar la fluencia, lo que lo hace crucial en análisis no lineales. Este efecto puede debilitar significativamente la resistencia lateral y provocar inestabilidad dinámica, como se destaca en estudios recientes. La inclusión del efecto P-delta es esencial para predecir con precisión el comportamiento estructural bajo cargas extremas. Su omisión puede llevar a

subestimar los riesgos de colapso, especialmente en estructuras sometidas a grandes deformaciones.

Figura 21

Curva esfuerzo-deformación con y sin efecto P-delta de una estructura.



Nota: Obtenido de Deirelein (2010).

c. Cargas gravitacionales

El estudio debe tener en cuenta las fuerzas gravitatorias y las cargas dinámicas, así como el peso sísmico completo de la edificación. Por lo general, se anticipa que la carga dinámica sea equivalente al 25% de la carga de diseño vigente.

d. Amortiguamiento

La respuesta histórica de los componentes estructurales es la principal fuente de pérdidas de energía en una edificación. El amortiguamiento viscoso equivalente completa esta visión al considerar la energía disipada por elementos no estructurales y la interacción suelo-fundación. Los valores de amortiguamiento varían entre el 1% y el 5% del crítico, aunque en rascacielos se utilizan valores inferiores al 3% para reflejar con precisión los efectos de cimientos y elementos no estructurales.

e. Diafragmas

Los diafragmas deben modelarse con rigidez adecuada, considerándolos rígidos si su deformación lateral es menor que la mitad de la deriva de piso.

La masa debe distribuirse uniformemente sobre el diafragma para capturar efectos de torsión. Si un diafragma no permanece en el rango elástico, debe representarse de manera no lineal.

f. Número de análisis

Para evaluar la respuesta promedio de una estructura, se requieren al menos 7 pares de datos sísmicos con formas espectrales alineadas con el espectro deseado. Si no se alinean, se necesitan 11 o más pares de registros. En análisis temporales, se sugieren 8 rangos de intensidad, cada uno requiriendo un mínimo de 7 pares de datos ajustados al espectro objetivo. Si no se ajustan, se necesitan al menos 11 pares de registros por rango de intensidad.

g. Velocidad y aceleración de pisos

Un estudio no lineal de tiempo proporciona resultados como fuerzas, desplazamientos máximos y exigencias de deformación no lineal. Sin embargo, muchos grupos de vulnerabilidad utilizan parámetros como la inclinación, aceleración y velocidad de los pisos como indicadores de demanda. Estos parámetros no siempre están disponibles directamente en los softwares de análisis, requiriendo un procesamiento adicional. La inclinación del piso se calcula mediante la diferencia de desplazamientos entre pisos contiguos. La velocidad y aceleración del piso se obtienen mediante diferenciación numérica de los desplazamientos en el tiempo.

h. Deriva efectiva

En paredes de concreto delgadas, la medida más comúnmente empleada para caracterizar la curva de vulnerabilidad es la inclinación efectiva. Este dato refleja la inclinación registrada a la altura útil de la pared. La posición de esta altura efectiva puede variar dependiendo de las condiciones de carga, aunque generalmente se sitúa entre el 50% y el 75% de la altura total del edificio.

II. Análisis simplificado - lineal

La evaluación simplificada utiliza modelos rectilíneos y análisis estáticos, asumiendo sistemas de respuesta autónomos en dos ejes perpendiculares. Este método ignora efectos como temblores verticales y torsiones, limitando su aplicación a estructuras regulares. La aplicación está restringida por condiciones estructurales, resultando en evaluaciones imprecisas debido a la alta incertidumbre. Las premisas incluyen una configuración regular, comportamiento bilineal elástico-plástico y deriva de piso limitada al 4%. La deriva no debe superar cuatro veces la deriva de fluencia. En edificios con menos de 15 pisos, los modos superiores no son relevantes. El método simplificado es inadecuado para estructuras complejas o con irregularidades.

a. Modelado

El modelo numérico de una edificación debe reflejar con precisión la distribución de masa y flexibilidad, incluyendo todos los componentes que influyen en su resistencia y rigidez lateral. Esto permite identificar el periodo fundamental del primer modo vibratorio, esencial para calcular las fuerzas laterales. Estas fuerzas son cruciales para el análisis estático de la estructura, asegurando una evaluación precisa de su comportamiento bajo cargas externas.

b. Procedimiento

Estimación de la pseudo fuerzas laterales

Para cada dirección de análisis de la estructura, las pseudo fuerzas laterales (V) se calculan utilizando la expresión que se presenta a continuación:

$$V = C_1 C_2 S_a T_1 W_1$$

Donde:

C_1 : Factor de ajuste por desplazamientos inelásticos

C_2 : Factor de ajuste por degradación cíclica.

$S_a(T_1)$: Aceleración espectral con 5% de amortiguamiento calculada en el período fundamental de la estructura

W_1 : Peso efectivo en el primer modo de vibrar.

Estimación media de la demanda

El método simplificado para calcular la demanda sísmica sigue una serie de pasos bien definidos. Comienza estableciendo la distribución de fuerzas verticales a lo largo del edificio, seguido de la aplicación de fuerzas laterales al modelo estático lineal para obtener desplazamientos iniciales. Luego, se ajustan estas deflexiones para considerar el comportamiento inelástico y los efectos de modos superiores. Finalmente, se utilizan la aceleración y velocidad máximas del suelo para estimar los valores correspondientes en cada piso, proporcionando una visión integral del comportamiento estructural ante un sismo.

III. Desarrollo de la fragilidad de colapso

La fragilidad por colapso describe la probabilidad de que una estructura colapse ante un sismo en función de su intensidad. Esta relación se representa eficazmente mediante una distribución log-normal, caracterizada por la media de la aceleración espectral $S_a(T)$ y la dispersión β . La Metodología P-58 de FEMA ofrece una guía detallada para calcular esta fragilidad, proporcionando un marco sólido para evaluar el riesgo de colapso estructural bajo diferentes escenarios sísmicos.

a. Análisis no lineal tiempo historia

Este método evalúa la fragilidad de colapso de una estructura; sin embargo, requiere un esfuerzo computacional significativo para analizar de manera exhaustiva la estructura bajo diferentes niveles de intensidad sísmica que pueden llevar al colapso.

Definición del colapso

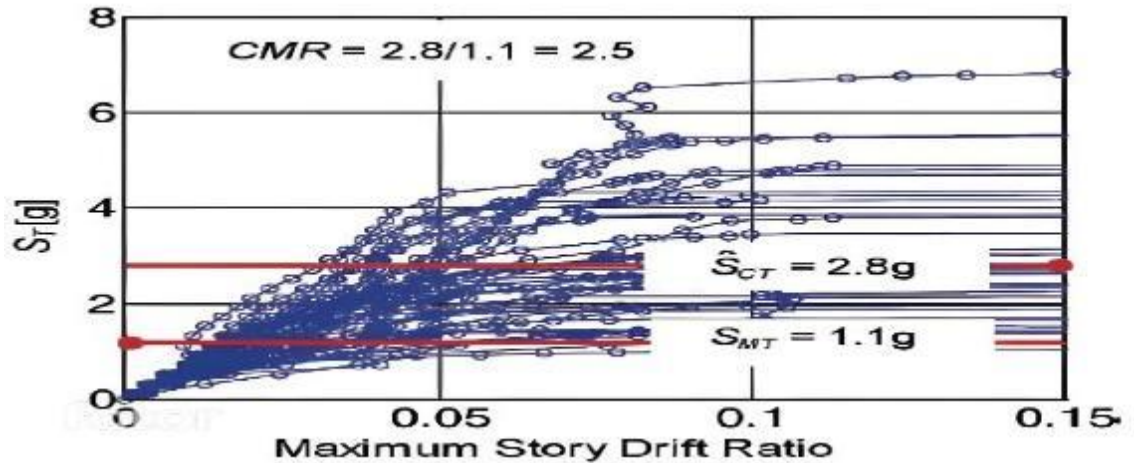
El colapso estructural ocurre cuando el sistema de soporte gravitacional falla en transferir cargas verticales a los cimientos. FEMA P-58 define criterios clave para evaluar este riesgo, incluyendo inestabilidad dinámica, pérdida de capacidad vertical, superación de límites críticos, inestabilidad geométrica y fallos secuenciales. Estos criterios permiten identificar cómo las deformaciones sísmicas pueden comprometer la integridad estructural. La inestabilidad geométrica, como los efectos P-Delta, también juega un papel crucial al amplificar desplazamientos y reducir la resistencia lateral. Además, los fallos secuenciales pueden propagarse rápidamente a través de elementos interconectados. Mediante modelos log-normales, se pueden cuantificar las probabilidades de colapso, considerando incertidumbres materiales y geométricas.

Análisis Dinámico Incremental (IDA)

El enfoque de análisis dinámico incremental implica llevar a cabo una serie de estudios no lineales basados en el tiempo, donde la estructura es expuesta a fuerzas sísmicas que se aumentan de manera sistemática hasta alcanzar el colapso. Este procedimiento precisa de numerosos conjuntos de datos sísmicos, cada uno ajustado paulatinamente a distintos grados de magnitud sísmica, para realizar un análisis de respuesta no lineal para cada conjunto. Este método es extremadamente exigente en términos de recursos computacionales y resulta poco práctico. La figura 22 propone un ejemplo de las respuestas que se podrían obtener a través del análisis dinámico incremental (IDA).

Figura 22

Respuestas para un Análisis Incremental Dinámico.



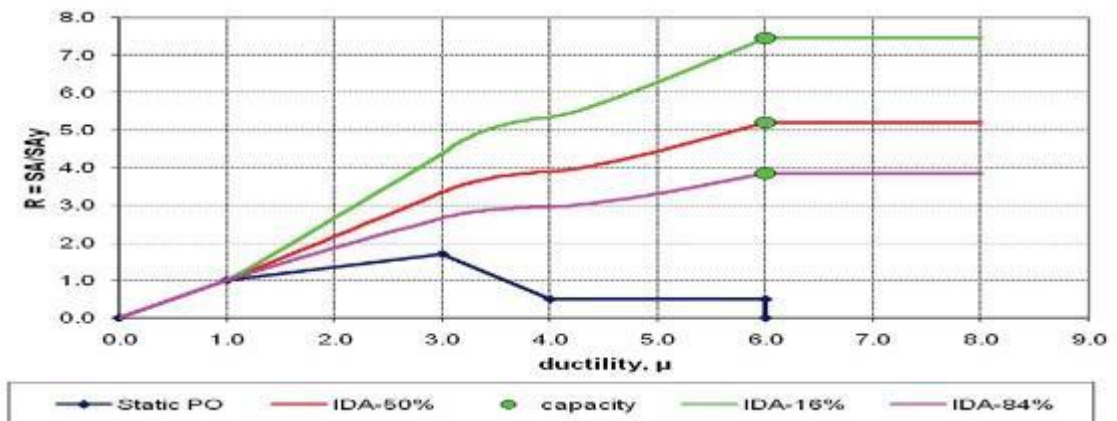
Nota: Obtenido de FEMA P-58-1 (2018).

b. Análisis no lineal simplificado

El método se fundamenta en la investigación de (Vamvatsikos y Cornell, 2006, como se citó en Alcedo & Cruz (2024), quienes demostraron que las curvas Pushover pueden utilizarse para estimar la respuesta dinámica no lineal de edificaciones. La investigación condujo al desarrollo de una gráfica denominada SPO2IDA, que permite convertir las curvas Pushover en respuestas estimadas de análisis dinámico incremental (IDA).

Figura 23

Resultados que se tienen utilizando la herramienta SPO2IDA



Fuente: Obtenido de FEMA P-58-1 (2018).

Basado en la información aproximada del análisis dinámico lineal, se puede desarrollar una curva de vulnerabilidad de colapso para la edificación. Es crucial mencionar que este método se restringe a edificios bajos que son uniformes en su planta y altura, en los cuales los efectos de torsión son menores y el comportamiento es determinado principalmente por el primer modo de vibración de la edificación.

c. Modos de colapso

Para evaluar la fragilidad de colapso, se consideran los modos de colapso, su magnitud y el impacto en víctimas. Los modos pueden incluir desde el derrumbe de un piso hasta la falla total de la estructura, con probabilidades asociadas. Cada modo se cuantifica mediante una relación de área afectada por escombros. Además, se estima el número de posibles víctimas basándose en la ubicación de personas en zonas de colapso potencial.

Un modelo de selección de modos de colapso para una estructura de 4 pisos se muestra en la figura 24, donde se establecen 5 modos posibles de colapso de la estructura:

- Modo 1: Colapso de todos los pisos.
- Modo 2: Colapso del primer piso.
- Modo 3: Colapso del segundo piso.
- Modo 4: Colapso del tercer piso.
- Modo 5: Colapso del cuarto piso (derrumbe de la cubierta sobre el piso 4).

Figura 24*Modos de falla para una estructura hipotética.*

Modos de colapso					
	Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4	Modo 5
Probabilidad del modo de colapso	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Probabilidad de muerte	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9
Probabilidad de lesiones graves	0	0.1	0.1	0.1	0.1
Coefficientes de área de colapso					
Cubierta	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Piso 4	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0
Piso 3	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0
Piso 2	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0
Piso 1	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0

Nota: Obtenido de FEMA P-58-1 (2018).

Identificar todos los modos de falla de una estructura es complicado, especialmente con análisis limitados, por lo que se requiere una revisión ingenieril complementaria. Esta revisión evalúa la probabilidad de diferentes modos de falla, el área afectada y el riesgo de lesiones o muertes. La información de registros sísmicos anteriores ayuda a determinar la probabilidad de víctimas asociadas a cada tipo de fallo. Debido a la escasez de datos sobre víctimas, se necesita una evaluación técnica para obtener estimaciones precisas.

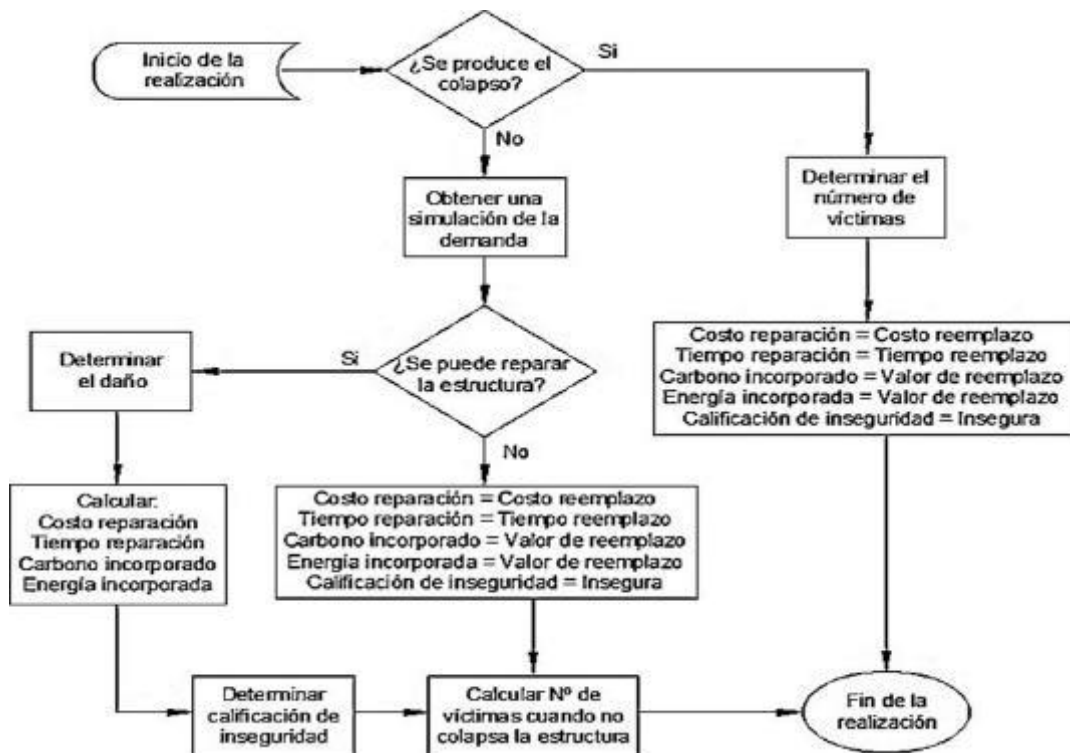
2.2.5.3 Cálculo del desempeño y resiliencia sísmica

El procedimiento para estimar el rendimiento estructural implica crear demandas simuladas, analizar el colapso, detectar daños y calcular impactos como gastos y tiempo de arreglo. El método FEMA P-58 utiliza un enfoque de Monte Carlo para generar requisitos de modelado a partir de análisis iniciales. Esto produce distribuciones estadísticas de la demanda basadas en la reacción estructural ante sismos. Estas distribuciones permiten formular requisitos estadísticamente coherentes que reflejan los modos de reacción de la estructura. Los resultados se

denominan "realizaciones" y se evalúan para cada demanda simulada. El proceso se resume en un diagrama de flujo que detalla cada etapa del análisis.

Figura 25

Diagrama de flujo para el estimar del rendimiento en cada iteración



Nota: Obtenido de FEMA P-58-1 (2018).

Simulación de la demanda

El orden en la representación del grupo de necesidades, varía según la clase de evaluación utilizada para conseguir los parámetros iniciales requeridos para el modelo de evaluación.

Análisis no lineal historia de respuesta

El método de evaluación por escenarios sísmicos produce varios requerimientos para cada escenario posible. Los resultados se organizan en una matriz donde las filas representan las evaluaciones y las columnas los parámetros de demanda, como aceleración y deflexiones. Se asume una distribución log-normal

para calcular el vector de demanda promedio, variabilidad y matriz de correlación. La matriz de varianza se ajusta usando el principio SRSS para incluir incertidumbres en el modelado y movimiento del terreno.

Análisis simplificado

Este examen genera un vector de demanda promedio para cada variable relevante, acompañado de estimaciones de la desviación estándar. Para simular condiciones realistas, se utiliza un número aleatorio entre 1 y 100, que representa un percentil en una distribución log-normal. Este número se combina con la desviación estándar estimada para calcular las condiciones modeladas de cada variable de demanda, permitiendo una evaluación detallada y precisa del comportamiento estructural bajo diferentes escenarios.

Inicio de la realización

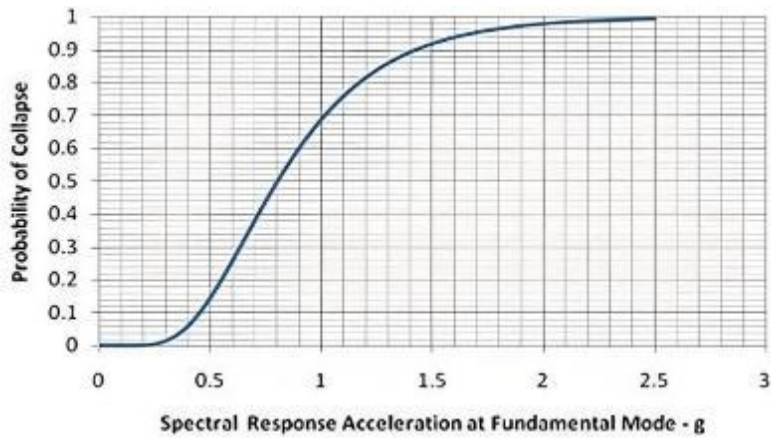
El procedimiento de ejecución comienza eligiendo de forma aleatoria un momento del día y una fecha del año en la que se presume que sucederá un sismo. Esta información se integra con los modelos demográficos para calcular cuántas personas estarían presentes en los inmuebles durante el fenómeno sísmico.

Determinación del colapso

La gráfica de vulnerabilidad que se obtuvo anteriormente establecerá si la edificación se derrumba. Un caso teórico de esta gráfica se presenta en la figura 25; en este caso, con una aceleración espectral de 0,5 g, la chance de colapso es del 15%. Para evaluar si la edificación se desploma, se produce un número aleatorio comprendido entre 1 y 100. Si este número es igual o inferior a la probabilidad mencionada (15%), se acepta que la edificación se ha derrumbado en ese caso.

Figura 26

Función de fragilidad de colapso para un edificio hipotético.



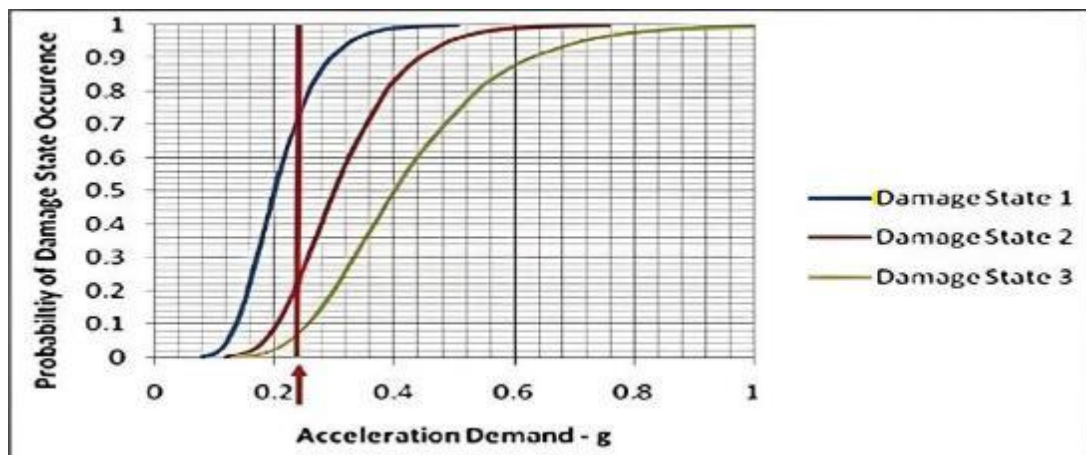
Nota: Obtenido de FEMA P-58-1 (2018).

Cálculo del daño

Si la construcción se mantiene intacta, el impacto del sismo debe evaluarse utilizando un conjunto de vectores creados con anterioridad para las exigencias simuladas. La condición de daño de los elementos se establece a través de las funciones de vulnerabilidad vinculadas a cada grupo de rendimiento (consultar figura 26). El daño total en la estructura se calcula como la suma total del estado de daño de cada grupo de rendimiento.

Figura 27

Tres estados de daño en base a funciones de fragilidad hipotéticas.



Fuente: Obtenido de FEMA P-58-1 (2018).

A continuación, determinamos la inversa de la probabilidad de que ocurra un daño en cada nivel. Para el daño de nivel 1, la inversa de la probabilidad de ocurrencia se calcula como $1 - 0.75 = 0.25$; para el daño de nivel 2 o superior, la probabilidad de falla es $1 - 0.23 = 0.77$; y para daños de nivel 3 o más, la probabilidad de que no suceda es $1 - 0.06 = 0.94$. Luego, se establece el rango de probabilidades de esta manera:

- 1-25: No hay daño en el componente en este intervalo.
- 26-77: El nivel de daño 1 está en este intervalo.
- 78-94: El nivel de daño 2 se encuentra en este intervalo.
- 95-100: El nivel de daño 3 está en este intervalo.

Por ejemplo, si el número aleatorio generado es 97, esto indica que el componente se encuentra en el estado de daño 3.

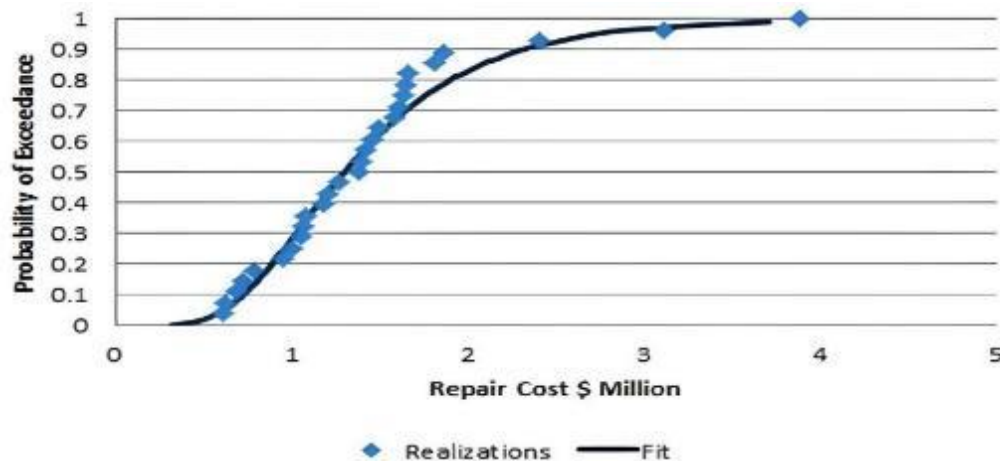
Cálculo de pérdidas

La evaluación del daño considera el impacto en elementos estructurales y sus funciones según su uso. Las pérdidas totales se acumulan por clase de desempeño, reflejando el resultado de la evaluación. Los resultados se clasifican en orden ascendente, facilitando el cálculo de la probabilidad de que las pérdidas totales sean inferiores a una cifra específica.

La figura 28 muestra como ejemplo la repartición acumulativa de las pérdidas calculadas de los gastos de reparación valorados según el tipo de escenario o nivel de intensidad expuesto en un sismo. Los puntos en el gráfico indican los gastos de reparación calculado en una evaluación estructural y la curva representa una distribución log-normal que se adapta a los datos colectados en cada evaluación.

Figura 28

Distribución de pérdida acumulada hipotética de los costos de reparación



Nota: Obtenido de FEMA P-58-1 (2018).

Calificación de inseguridad

Para cada categoría de rendimiento y efectividad donde un estado de deterioro puede llevar a una valoración de riesgo del inmueble, es fundamental identificar cuántos elementos deben estar comprometidos para que el inmueble se considere peligroso. Esto se define en cada categoría de características de rendimiento. Un inmueble se considera peligroso si la cantidad de elementos dañados en la categoría de rendimiento excede el límite de daño permitido. La posibilidad de que la edificación sea evaluada como peligrosa se establece al dividir el número de instancias en las que la edificación se cataloga como peligrosa, entre el total de instancias para una intensidad específica. (ATC 2018a).

2.3. Definición de Conceptos

2.3.1. Gestión Operativa

Se refiere a la influencia mutua entre un edificio o estructura y el suelo en el que está construido. Esta interacción es de suma importancia en el diseño y análisis de edificios y otras construcciones, ya que el comportamiento del suelo

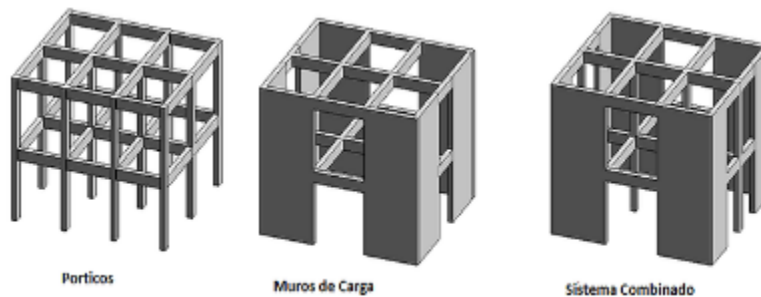
puede afectar significativamente la respuesta y la seguridad de la estructura, y viceversa.

2.3.2. Sistema dual

Consiste en un sistema compuesto por estructuras de tipo pórtico complementadas con muros de carga. En este diseño, los muros tienen la función principal de soportar las cargas en los niveles intermedios, mientras que los pórticos absorben la energía en los niveles superiores. Después de realizar el análisis adecuado, se observa que los muros absorben entre el 20% y el 70% del cortante basal de la estructura, dejando el 30% restante para los pórticos.

Figura 29

Edificación de sistema dual



Nota: Adaptado de <https://andresceballos2019.wixsite.com/inicio/post/sistemas-estructurales>.

2.3.3. Cimentación

La función principal de la cimentación es transferir las cargas de la estructura o de los elementos que descansan sobre ella al suelo de manera que no se exceda la presión admisible del suelo ni se generen cargas zonales. Esto se debe a que la resistencia del suelo suele ser inferior a la de los muros que sostendrá.

2.3.4. Resiliencia sísmica

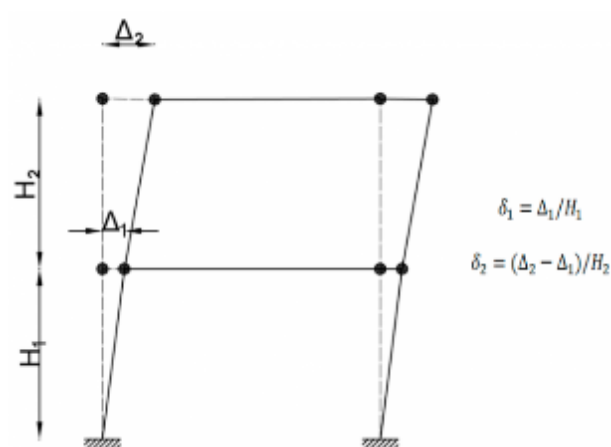
Se refiere a la capacidad de una estructura o sistema para resistir los efectos de un sismo, recuperarse rápidamente de los daños y volver a su funcionamiento normal en el menor tiempo posible después del evento sísmico. En otras palabras, se trata de la habilidad de resistir y adaptarse a los impactos de un sismo, minimizando los daños, las pérdidas y las interrupciones.

2.3.5. Derivas

Se refiere al desplazamiento lateral o inclinación que ocurre en la parte superior de un edificio o estructura en comparación con su base. Se mide en términos de la diferencia de posición entre dos niveles o puntos en la estructura. La deriva lateral puede ser causada por la aplicación de cargas horizontales, como las fuerzas del viento o los movimientos sísmicos. El control de las derivas es fundamental para garantizar la seguridad y el funcionamiento adecuado de un edificio, ya que desplazamientos excesivos pueden causar daños estructurales o incluso el colapso.

Figura 30

Representación de la deriva



Nota: Adaptado de <https://www.mdpi.com>

2.3.5.1. Importancia de control de Derivas

Un control adecuado de las derivas es esencial para prevenir:

- Daños en elementos estructurales y no estructurales.
- Pérdida de funcionalidad post-sismo.
- Colapso progresivo debido a la inestabilidad.

2.3.6. Desplazamientos de entrepiso

Son las distancias que recorren los pisos individuales de un edificio con respecto a su posición original debido a cargas horizontales. Estos desplazamientos no necesariamente reflejan la inclinación o deriva del edificio en su conjunto, sino que representan los movimientos relativos entre los diferentes niveles. Los desplazamientos de entrepiso son importantes para el diseño y análisis de sistemas estructurales y también se consideran para evaluar la comodidad de los ocupantes durante eventos sísmicos.

2.3.7. Periodo de vibración

Es el tiempo que tarda una estructura en completar un ciclo de oscilación libre cuando es sometida a una perturbación, como un terremoto o una ráfaga de viento. Este parámetro es crucial, ya que influye en cómo una estructura responderá a las fuerzas dinámicas.

2.3.7.1. Factores que influyen en el periodo estructural

El periodo de una estructura depende de:

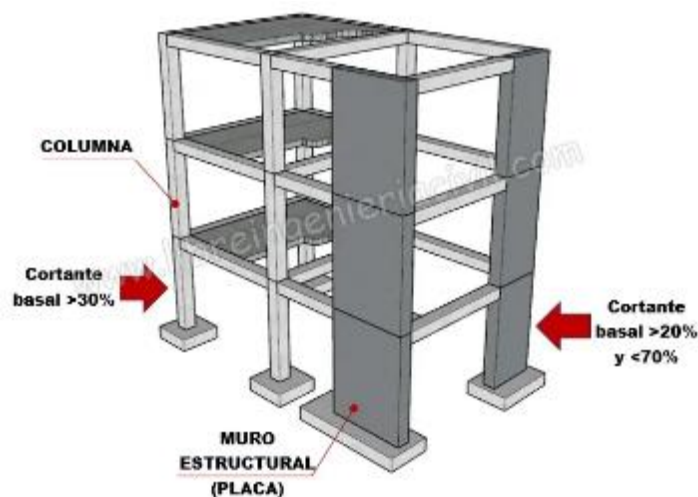
- Geometría y material de los elementos.
- Tipo de cimentación y condiciones del suelo.
- Distribución de la masa y rigidez.

2.3.8. Fuerzas cortantes

"Las fuerzas cortantes son aquellas que actúan tangencialmente a una sección de un elemento estructural, generando esfuerzos internos que pueden inducir deformaciones y, en casos extremos, fallas por corte. En estructuras sometidas a cargas dinámicas, como las originadas por eventos sísmicos, las fuerzas Los cortantes juegan un papel fundamental en la estabilidad y desempeño de los elementos estructurales. Diversos estudios han demostrado que la interacción suelo-estructura puede modificar la distribución y magnitud de las fuerzas cortantes, afectando la resiliencia sísmica de las edificaciones (Chopra, 2012)."

Figura 31

Representación fuerza cortante en los elementos estructurales



Nota: Adaptado <https://www.cype.pe/blog/cortante-dinamico-minimo-en-la-base>

2.3.8.1. Cálculo de la fuerza cortante sísmica

La fuerza cortante en la base de una estructura debido a un sismo se obtiene mediante: donde es el coeficiente sísmico y es el peso total de la estructura.

2.3.8.2. Distribución de fuerzas cortantes en la altura

Las fuerzas cortantes no son uniformes a lo largo de la altura de la estructura. Normalmente, la mayor parte de la demanda ocurre en los niveles inferiores debido a la acumulación de esfuerzos.

2.3.9. Momentos actuantes

Según investigaciones científicas, la magnitud de los momentos flectores está influenciada por la rigidez del material, la geometría estructural y las condiciones de soporte (Chopra, 2017; Mander et al., 2019). Además, estudios recientes indican que la interacción suelo-estructura puede alterar estos momentos, afectando la capacidad de resistencia y la respuesta dinámica de la edificación ante eventos sísmicos (Mylonakis & Gazetas, 2000; Karamnejad & Ghasemi, 2021).

Normativas como el ACI 318 y el AISC 360 proporcionan directrices para evaluar y controlar los momentos flectores, garantizando la seguridad y funcionalidad estructural a través de métodos como el análisis elástico y plástico.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Hipótesis

3.1.1. *Formulación de la Hipótesis General*

Al emplear y analizar considerando la interacción suelo-estructura, una edificación de sistema dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025, nos da una resiliencia sísmica más cercana a la realidad

3.1.2. **Formulación de las Hipótesis Específicas**

- a. A través de qué enfoques metodológicos de interacción suelo-estructura en una edificación de sistema dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025, se podrá conceptualizar el comportamiento más real del suelo.
- b. Al emplear la interacción suelo estructura, utilizando el software Etabs 20.3.0 se obtienen diferentes resiliencias sísmicas en una edificación de sistema Dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025.
- c. La interacción entre el suelo-estructura posibilitará la disminución de las fuerzas internas y tensiones en los componentes estructurales de una edificación de sistema Dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025

3.2. Operacionalización de las variables

3.2.1. *Identificación de la Variable Independiente de la Hipótesis general*

Interacción sísmica Suelo – Estructura

Dimensiones

Parámetros geotécnicos del suelo

Indicadores:

- Propiedades mecánicas del suelo
- Tipo de suelo

3.2.2. Escala para la identificación de las variables

Razón

3.2.3. Identificación de la Variable Dependiente de la Hipótesis general

Resiliencia sísmica

Dimensiones

Respuestas Estructurales

Indicadores:

- Desplazamientos
- Periodos fundamentales
- Fuerzas en la base
- Momentos en la base

3.2.3.1. Escala para la identificación de las variables

Razón

3.3. Tipo de Investigación

El tipo de investigación es básica, porque “Busca lograr un entendimiento más completo mediante la comprensión de los principios fundamentales que rigen los fenómenos y los eventos que pueden ser observados, o de las conexiones que los objetos establecen entre sí”. Se lleva a cabo sin fines prácticos inmediatos, sino con el propósito de incrementar el conocimiento de los principios fundamentales de la naturaleza o de la realidad.

3.4. Nivel de Investigación

El nivel de investigación es explicativo, debido a que va más allá de simplemente describir conceptos o fenómenos y establecer relaciones entre variables. Su principal atención se dirige hacia la comprensión de las causas subyacentes de los fenómenos tanto físicos como sociales, es decir, desvelar por qué sucede un fenómeno y bajo qué circunstancias se presenta. Esto también implica comprender por qué las variables están relacionadas entre sí. En este sentido, no solo abarcan los objetivos de otros tipos de investigaciones, sino que es razonable esperar que los estudios explicativos tengan un nivel de organización más elevado.

3.5. Diseño de la Investigación

Su diseño es no experimental, porque los cálculos se realizarán con fórmulas matemáticas ya definidas para el diseño de los edificios, asimismo no se alterará la variable que está en estudio.

3.6. Ámbito y tiempo social de investigación

La investigación se efectuó en la ciudad de Moquegua, en una edificación dual de concreto armado para en el transcurrir del año 2025.

3.7. Población y muestra de estudio

La presente investigación tendrá como población las Edificaciones de sistema dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua y como muestra el hotel Tierra del Sol-Moquegua.

3.8. Técnicas de recolección de datos

La técnica a utilizarse será la observación directa de resultados

Toma de información de campo:

- Fichas
- Observación

Instrumentos para la Recolección de Datos

El instrumento científico actúa como un recurso que ayuda al investigador a conseguir datos y llevar a cabo mediciones de forma sencilla. Tamayo (2003). A continuación, se describen los instrumentos que forman parte de esta investigación:

- Guía de observación
- Lista de cotejo
- Codificación de medidas obtenidas
- Fichas técnicas de recopilación de datos

3.9. Análisis de recolección de datos

Para el procesamiento de datos se usaron técnicas y medidas de la comparación entre análisis convencionales, como también de herramientas para el análisis de datos e instrumentos en la recolección de datos como Excel, Word y hojas de Matchcad Prime los cuales representan el comportamiento de las variables.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Descripción del trabajo de campo

La edificación objeto de análisis se encuentra en Moquegua, clasificada en la zona 4 según la normativa peruana, lo que implica un alto riesgo sísmico. Esta estructura de seis niveles, destinada a uso hotelero, tiene un área total de 150.22 m² y un perímetro de 55.00 m, con una planta típica que facilita su diseño y funcionalidad. Con una altura de 2.60 m en el primer nivel y 2.40 m en los superiores, su diseño debe considerar las rigurosas normas sismorresistentes peruanas para garantizar la seguridad estructural en una región sísmicamente activa.

La ubicación de la edificación en una zona de alto riesgo sísmico como la zona 4 requiere un diseño estructural robusto y una estricta adherencia a las normas sismorresistentes peruanas. La Norma Técnica E.030 es fundamental para asegurar que la edificación pueda resistir movimientos sísmicos severos sin colapsar, minimizando daños y pérdidas de vidas. Además, el uso de sistemas de aislamiento sísmico podría ser beneficioso para mejorar el desempeño sísmico y mantener la operatividad del hotel en caso de un terremoto.

Figura 32

Plano de elevación

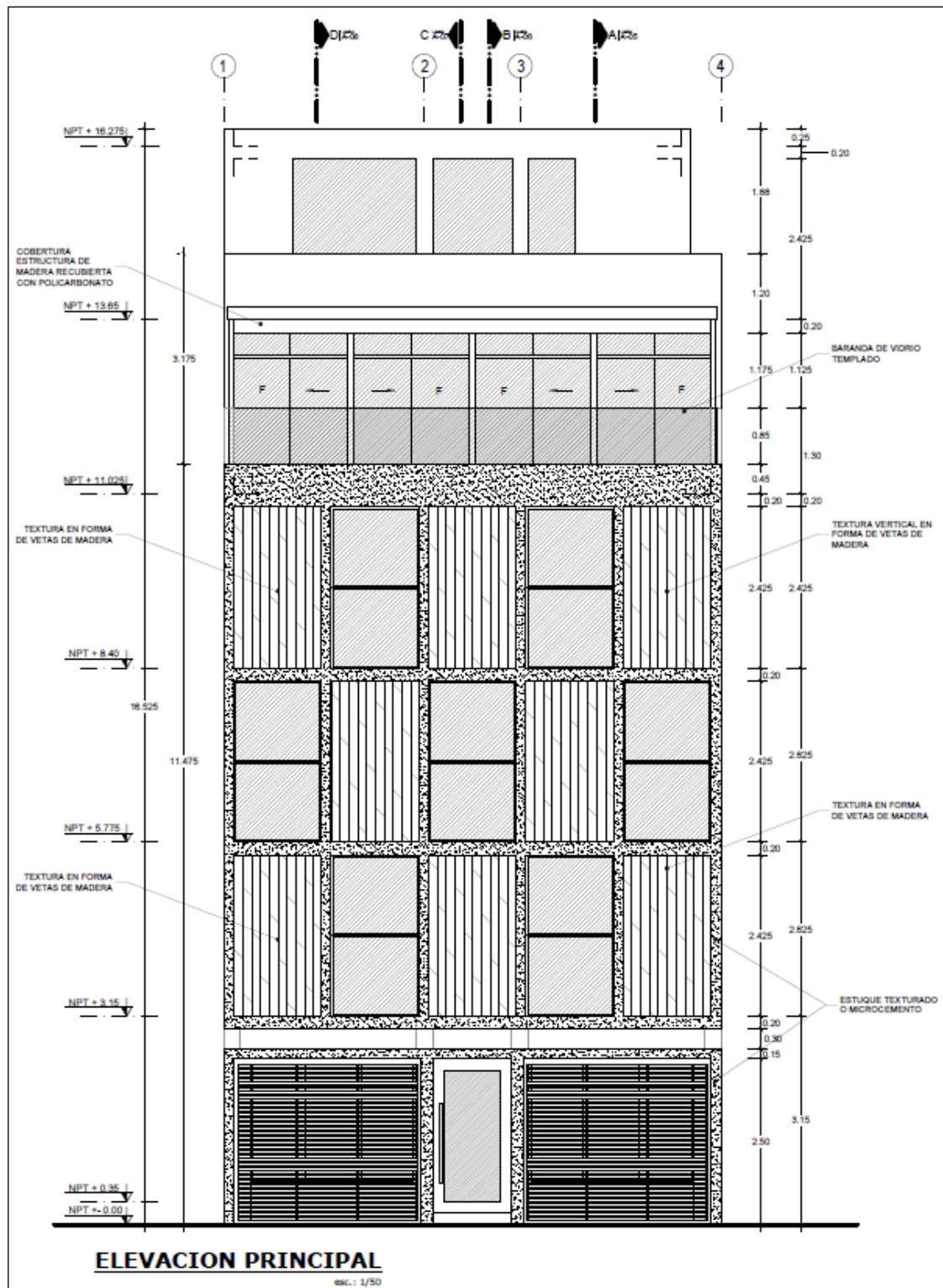


Figura 33

Plano arquitectura del 1er nivel

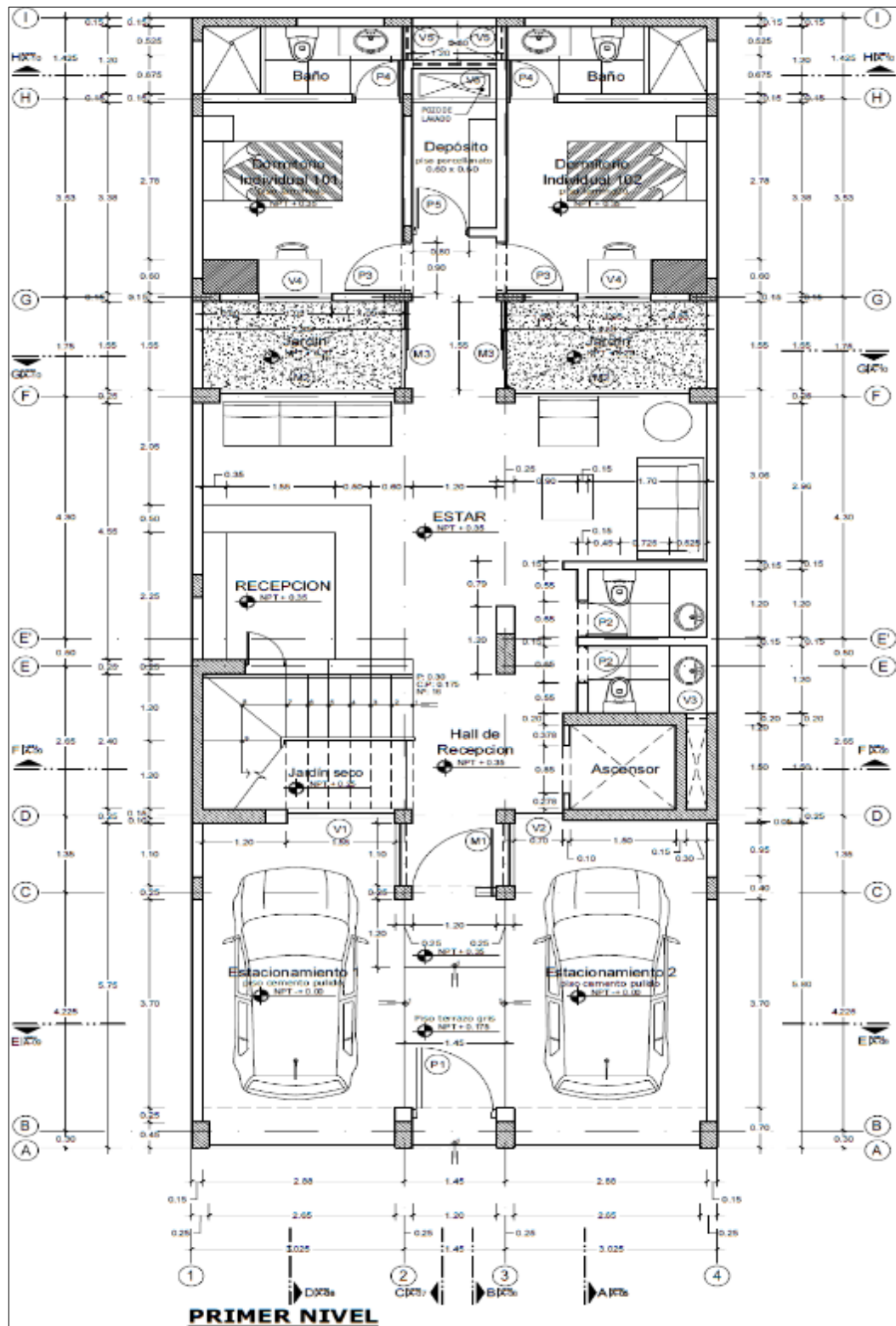
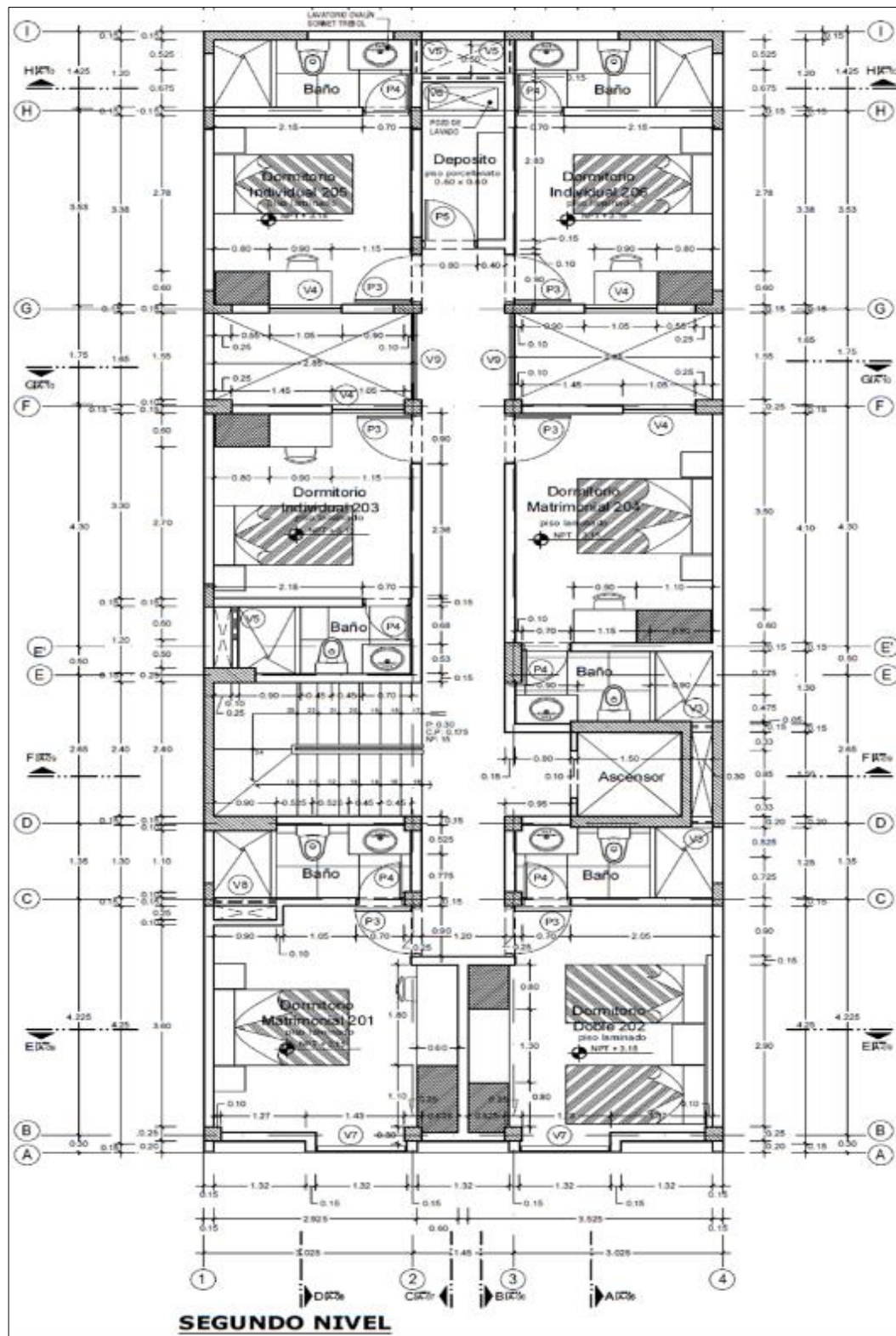


Figura 34

Plano arquitectura del 2do al 5to nivel



4.1.1. Descripción del trabajo de campo

La normativa aplicada en el presente análisis se encuentra en la normativa del Reglamento Nacional de Edificaciones, las cuales que se detallan a continuación:

- NTP E.020 – CARGAS
- NTP E.030 – DISEÑO SISMO RESISTENTE
- NTP E.050 – SUELOS Y CIMENTACIONES
- NTP E.060 – CONCRETO ARMADO

Esta área geográfica limita por el norte con la provincia de General Sánchez Cerro, por el este con la provincia de Candarave (departamento de Tacna), por el sur con la provincia de Ilo y por el oeste con las provincias de Islay y Arequipa.

4.2. Diseño de la presentación de los resultados

4.2.1. Características de la edificación

Concreto

- Resistencia a la compresión ($F'c$) = 210 kg/cm²
- Densidad del concreto (γ_c) = 2.40 Tonf/m³
- Módulo de elasticidad (E_c) = 217000 kg/cm²
- Coeficiente de poisson del concreto (μ) = 0.20

Albañilería

- Resistencia a la compresión ($f'm$) = 65 kgf/cm²
- Módulo de elasticidad (E_c) = 32500 kgf/cm²
- Módulo de poisson (μ_m) = 0.25
- Módulo de corte (G_m) = 13000 kgf/cm²

Acero

- Esfuerzo de fluencia (f_y) = 4200 kgf/cm²

Figura 35*Propiedades del concreto*

Material Property Data

General Data

Material Name:

Material Type:

Directional Symmetry Type:

Material Display Color:

Material Notes:

Material Weight and Mass

Specify Weight Density Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: kgf/m³

Mass per Unit Volume: kgf-s²/m⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: kgf/m²

Poisson's Ratio, U:

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1/C

Shear Modulus, G: kgf/m²

Design Property Data

Advanced Material Property Data

Modulus of Rupture for Cracked Deflections

Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)

User Specified

Figura 36*Dimensiones de columna C1*

Frame Section Property Data

General Data

Property Name:

Material:

National Spec Data:

Display Color:

Notes:

Shape

Section Shape:

Section Property Source

Source:

Section Dimensions

Depth: m

Width: m

Property Modifiers

Reinforcement

Include Automatic Right Zone Area Over Column

Figura 37*Dimensiones de columna C2*

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: C2

Material: fcm210kg/cm2

National Size Data: Modify/Show National Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 0.45 m

Width: 0.25 m

Show Section Properties...

Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Reinforcement

Property Modifiers: Modify/Show Modifiers... Currently Default

Reinforcement: Modify/Show Rebar...

OK Cancel

Figura 38*Dimensiones de columna V1*

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: V-1

Material: fcm210kg/cm2

National Size Data: Modify/Show National Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 0.4 m

Width: 0.25 m

Show Section Properties...

Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Reinforcement

Property Modifiers: Modify/Show Modifiers... Currently Default

Reinforcement: Modify/Show Rebar...

OK Cancel

Figura 39*Dimensiones de columna VCH1*

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: VCH1

Material: fc=210kg/cm2

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 0.2 m

Width: 0.4 m

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK Cancel

Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Figura 40*Propiedades de losa aligerada*

Slab Property Data

General Data

Property Name: LOSA ALIG.

Slab Material: fc=210kg/cm2

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Membrane

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show...

Use Special One-Way Load Distribution

Property Data

Type: Ribbed

Overall Depth: 0.2 m

Slab Thickness: 0.05 m

Stem Width at Top: 0.1 m

Stem Width at Bottom: 0.1 m

Rib Spacing (Perpendicular to Rib Direction): 0.4 m

Rib Direction is Parallel to: Local 1 Axis

OK Cancel

Figura 41*Propiedades de placa e=15cm*

E Wall Property Data

General Data

Property Name: Placas de CA e=15

Property Type: Specified

Wall Material: fc=210kg/cm2

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Shell-Thin

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

Thickness: 0.15 m

Include Automatic Rigid Zone Area Over Wall

OK Cancel

Figura 42*Propiedades de placa e=25cm*

E Wall Property Data

General Data

Property Name: Placas de CA e25

Property Type: Specified

Wall Material: fc=210kg/cm2

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Shell-Thin

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

Thickness: 0.25 m

Include Automatic Rigid Zone Area Over Wall

OK Cancel

4.2.2. *Características del suelo*

- Tipo de suelo: arena limosa
- Módulo de elasticidad del suelo (E_s) = 125 kg/cm²
- Densidad del suelo (ρ_s) = 1.153 tn/m³
- Coeficiente de poisson del suelo (μ) = 0.35
- Angulo de fricción interna del suelo (ϕ) = 29.5°
- Peso específico del suelo = 1.92 tn/m³
- Capacidad portante = 1.20 kg/cm²
- Profundidad de cimentación (D_f) = 1.20 m

4.2.3. **Asignación de cargas**

La asignación de cargas fue realizada considerando la normativa vigente E.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones tomando en cuenta los niveles (6 pisos), uso, configuración estructural, etc.

Carga Muerta (CM):

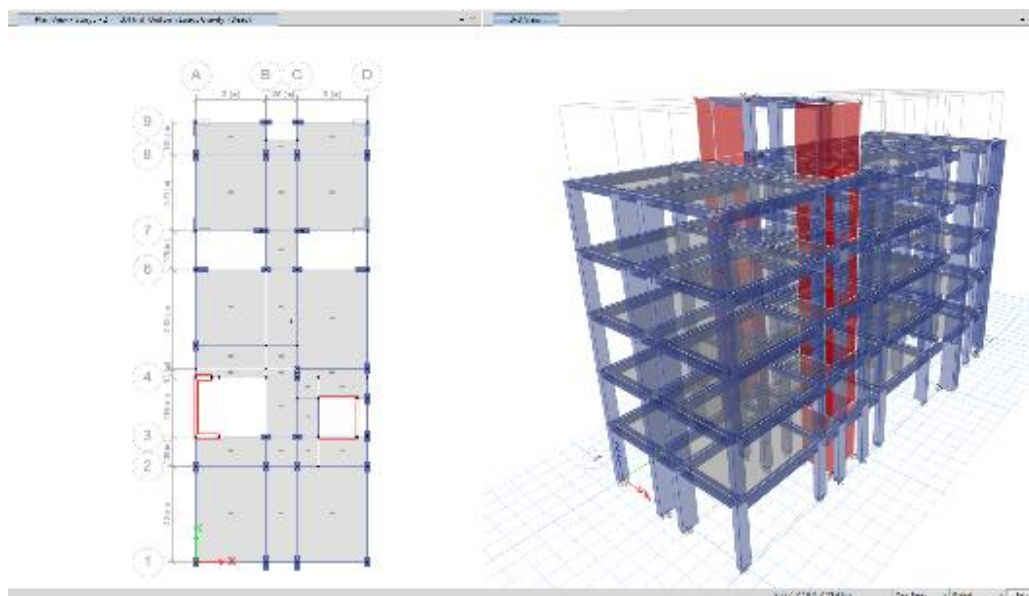
- Carga (losa aligerada) = 300 kg/cm²
- Carga (tabiquería) = 100 kg/m²
- Carga (piso terminado) = 100 kg/m²
- Muros laterales restándole la ventana de 40 cm = 466 kg/m

Carga viva (CV):

- Sobrecarga para hotel = 200 kg/m²
- Sobrecarga en azotea = 100 kg/m²

Figura 43

Modelamiento de la edificación en programa ETABS V20.3.0



4.2.4. Parámetros Sísmicos

Los parámetros se definieron tomando en cuenta la ubicación, el tipo de suelo y la configuración estructural, siguiendo lo establecido en la Norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Zonificación sísmica

El territorio peruano se clasifica en cuatro áreas sísmicas basadas en el historial de actividad sísmica. Esta clasificación se presenta en la figura 44. La ciudad de Moquegua está situada en la zona 4. De acuerdo con esta clasificación, el sitio donde se llevó a cabo la investigación actual está especificado en la tabla 2.

Figura 44*Mapa de Zonificación Sísmica del Perú*

Nota: Obtenido de “Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional De Edificaciones 2018”

Tabla 2*Zonificación Sísmica*

Región	Provincia	Distrito	Zona Sísmica	Z
Moquegua	Mcal. Nieto	Moquegua	4	0.45

Nota: Obtenido de la NTP - E.030, 2018.

También, se debe considerar los factores de tipo de suelo en función de la zona sísmica que se muestran en la tabla 3 y 4.

Tabla 3

Factor de suelo para zona sísmica indicada

Zona	Suelo			
	S0	S1	S2	S3
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10

Nota: Tomado del NTP - E.030, 2018.

Tabla 4

Periodos de acuerdo con perfil del suelo

Períodos	Perfil de suelo			
	S0	S1	S2	S3
T _p (S)	0.3	0.4	0.6	1.0
T _L (S)	3.0	2.5	2.0	1.6

Nota: Tomado del NTP - E.030, 2018.

Factor de amplificación sísmica (C)

Se definen los siguientes factores de amplificación.

$$T < T_p \leftrightarrow C = 2.5$$

$$T_p < T < T_L \leftrightarrow C = 2.5 * \frac{T_p}{T}$$

$$T > T_L \leftrightarrow C = 2.5 * \left(\frac{T_p - T_L}{T^2} \right)$$

Categoría de la edificación y factor de uso (U)

Se definen las siguientes características en función al reglamento nacional de edificaciones

Tabla 5

Categoría y factor de uso

Categoría	Descripción	Factor U
Edificaciones comunes	Vivienda, hoteles, etc.	1

Nota: Tomado del NTP - E.030, 2018.

Factor de regularidad (R)

Se definen las siguientes irregularidades tanto en altura como en planta.

Tabla 6

Irregularidad en altura

Irregularidad en altura	Factor de irregularidad Ia
Edificaciones comunes	0.75
Resistencia - Piso débil	0.75
Extrema de rigidez	0.5
Extrema de resistencia	0.5
Masa o peso	0.9
Geometría vertical	0.9
Sistemas resistentes	0.8
Discontinuidad extrema de sistemas resistentes	0.6

Nota: Tomado del NTP - E.030, 2018.

Tabla 7

Irregularidad de planta

Irregularidad en planta	Factor de irregularidad Ip
Torsional	0.75

Torsional extrema	0.6
Esquinas entrantes	0.9
Discontinuidad del diafragma	0.85
Sistemas no paralelos	0.9

Nota: Tomado del NTP - E.030, 2018.

4.3. Cálculo de modelos de interacción suelo estructura

Se calcularon las masas y los coeficientes de rigidez para cada tipo modelo dinámico (Barkan, Ilichev, Sargsian y la Norma Rusa), considerando las dimensiones de cada zapata y losa de cimentación. A partir de las características de la edificación y del suelo, se determinan las masas y los coeficientes de rigidez necesarios para el análisis. En esta interacción, las seis masas (tres correspondientes a traslaciones y tres a rotaciones) se concentran en el centroide de cada zapata y losa de cimentación respectivamente.

Zapata Z1 de 1.20mx1.20m

Tabla 8

Valores obtenidos para las masas de la zapata Z1

Mx	My	Mz	MΨx	MΨy	MΨz
0.211	0.211	0.211	0.044	0.044	0.051

Tabla 9

Coefficientes de rigidez para zapata Z1

MODELO	kx	ky	kz	kΨx	kΨy	kΨz
SARGSIAN	1302	1302	4031	603	603	0
ILICHEV	8973	8973	3021	732	732	0
BARKAN	33712	33712	42788	9084	9084	0
NORMA RUSA	5606	5606	8009	1922	1922	1922

Zapata Z2 de 2.55mx1.20m**Tabla 10***Valores obtenidos para las masas de la zapata Z2*

Mx	My	Mz	MΨx	MΨy	MΨz
0.449	0.449	0.449	0.284	0.094	0.297

Tabla 11*Coefficientes de rigidez para zapata Z2*

MODELO	kx	ky	kz	kΨx	kΨy	kΨz
SARGSIAN	1899	1899	5876	3972	3972	0
ILICHEV	13769	13769	4781	2403	2403	0
BARKAN	58444	58444	74179	58467	58467	0
NORMA RUSA	9202	9202	13145	14246	3155	8701

Zapata Z3 de 2.35mx1.00m**Tabla 12***Valores obtenidos para las masas de la zapata Z2*

Mx	My	Mz	MΨx	MΨy	MΨz
0.345	0.345	0.345	0.19	0.06	0.187

Tabla 13*Coefficientes de rigidez para zapata Z3*

MODELO	kx	ky	kz	kΨx	kΨy	kΨz
SARGSIAN	1664	1664	5150	2956	2956	0
ILICHEV	11828	11828	4060	1581	1581	0
BARKAN	46793	46793	59391	39413	39413	0
NORMA RUSA	7709	7709	11012	10136	1835	5986

Zapata Z4 de 2.50mx1.00m**Tabla 14***Valores obtenidos para las masas de la zapata Z4*

Mx	My	Mz	MΨx	MΨy	MΨz
0.364	0.364	0.364	0.219	0.063	0.217

Tabla 15*Coefficientes de rigidez para zapata Z4*

MODELO	kx	ky	kz	kΨx	kΨy	kΨz
SARGSIAN	1709	1709	5290	3382	3382	0
ILICHEV	12198	12198	4197	1722	1722	0
BARKAN	48891	48891	62054	45281	45281	0
NORMA RUSA	7990	7990	11414	11700	1902	6801

Zapata Z5 de 2.5mx1.50m**Tabla 16***Valores obtenidos para las masas de la zapata Z5*

Mx	My	Mz	MΨx	MΨy	MΨz
0.546	0.546	0.546	0.329	0.152	0.382

Tabla 17*Coefficientes de rigidez para zapata Z5*

MODELO	kx	ky	kz	kΨx	kΨy	kΨz
SARGSIAN	2093	2093	6479	4143	4143	0
ILICHEV	12198	12198	5406	1722	1722	0
BARKAN	48996	48996	62187	48246	48246	0
NORMA RUSA	10516	10516	15023	15400	5634	10517

Losa de cimentación PL1 de 5.5mx3.6m**Tabla 18***Valores obtenidos para las masas de la zapata Z5*

Mx	My	Mz	MΨx	MΨy	MΨz
2.906	2.906	2.906	7.588	3.401	10.466

Tabla 19*Coefficientes de rigidez para zapata Z5*

MODELO	kx	ky	kz	kΨx	kΨy	kΨz
SARGSIAN	9755	9755	8755	47006	20139	31524
ILICHEV	43631	43631	16744	50416	50416	0
BARKAN	152059	152059	192998	768183	287425	0
NORMA RUSA	36276	36276	51823	261274	111938	186606

Losa de cimentación PL2 de 6.55mx2.0m**Tabla 20***Valores obtenidos para las masas de la zapata Z5*

Mx	My	Mz	MΨx	MΨy	MΨz
1.514	1.514	1.514	5.518	0.451	5.697

Tabla 21*Coefficientes de rigidez para zapata Z5*

MODELO	kx	ky	kz	kΨx	kΨy	kΨz
SARGSIAN	7042	7042	6320	47831	2800	23771
ILICHEV	28648	28648	10587	17091	17091	0
BARKAN	116579	116579	147965	1043291	38112	0
NORMA RUSA	21929	21929	31327	222632	13034	117833

4.4. Análisis dinámico

Para realizar el análisis dinámico, se consideró la función del espectro del suelo. La aceleración espectral requerida se determinó para cada dirección estudiada, empleando un espectro inelástico de pseudo aceleraciones establecidos por la normativa peruana.

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} * g$$

Donde para nuestro modelo analizado tenemos los siguientes datos:

Tabla 22

Parámetros para análisis dinámico según NTP

Parámetros Sísmicos	Valores
Factor de Zona (Z)	0.45
Factor de Uso (U)	1.00
Factor de Suelo (S)	1.05
Factor de Amplificación Sísmica (C)	2.5
Coefficiente de reducción (R)	7
Aceleración de la gravedad (g)	9.81

De acuerdo con los valores obtenidos podemos obtener nuestro espectro de pseudo aceleración correspondiente para cada dirección de análisis en nuestro modelo.

Figura 45

Espectro de pseudo-aceleraciones en dirección X

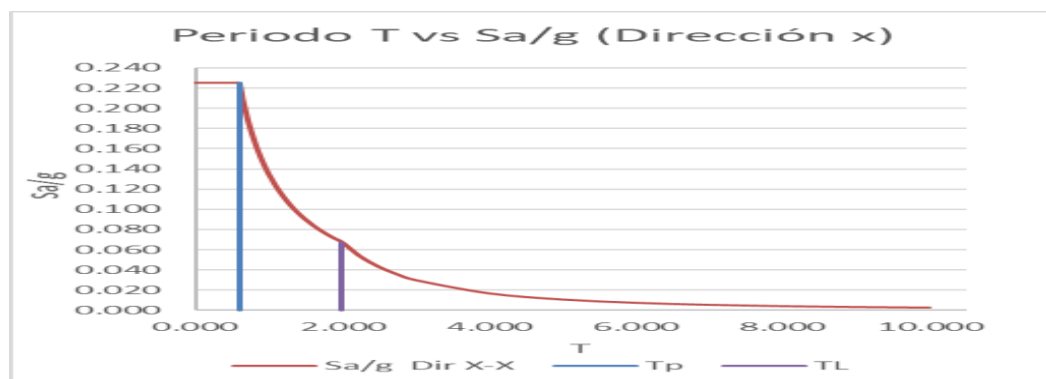
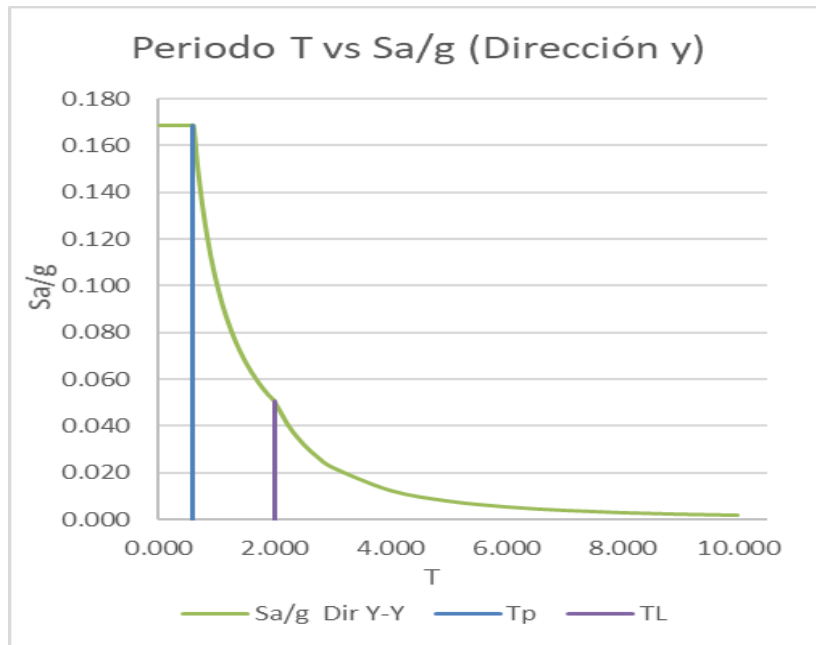


Figura 46

Espectro de pseudo-aceleraciones en dirección Y

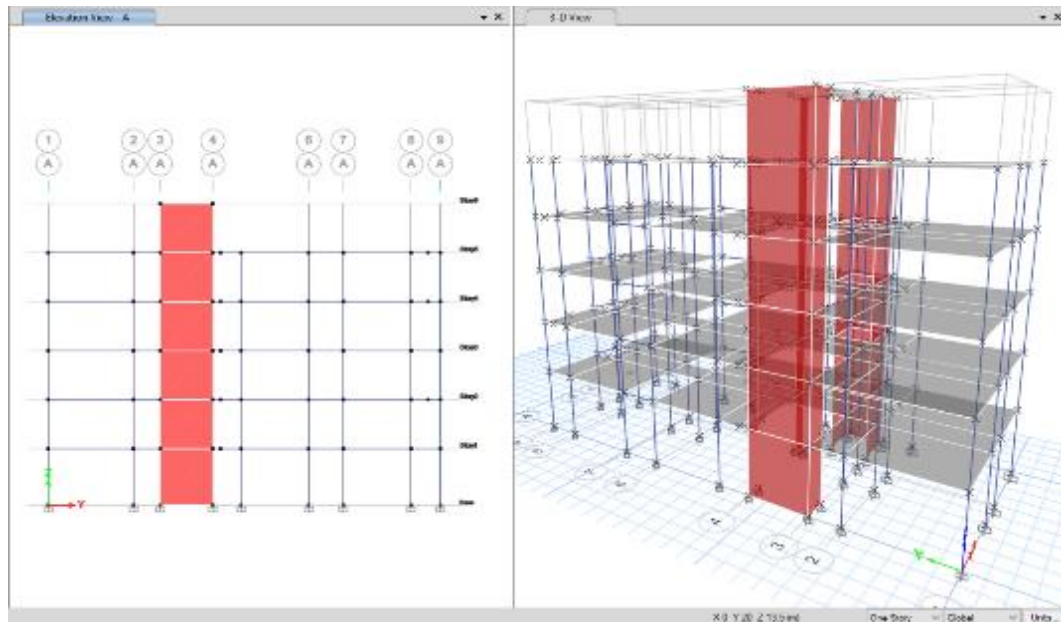


4.5. Modelo empotrado

Se llevó a cabo el análisis dinámico de la estructura considerando la base empotrada.

Figura 47

Modelo con base empotrada

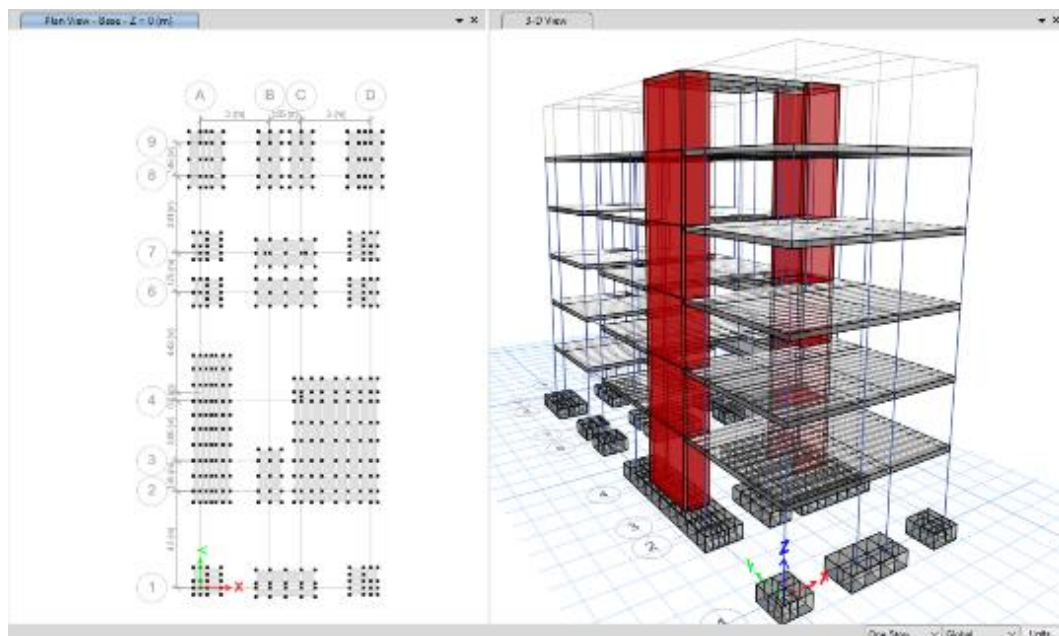


4.6. Modelo con interacción suelo estructura

Se llevó a cabo el análisis dinámico de la estructura considerando la base empotrada.

Figura 48

Modelo considerando la interacción suelo - estructura



4.7. Presentación de los resultados

Tabla 23

Periodos de vibración obtenidos Análisis Dinámico

Case	Modo	M.	M.	M. Ilichev	M. Ruso	M.
		Empotrado	Barkan			Sargsian
		Period	Period	Period	Period	Period
		(seg)	(seg)	(seg)	(seg)	(seg)
Modal	1	0.398	0.613	0.919	0.752	0.979
Modal	2	0.334	0.505	0.638	0.573	0.681
Modal	3	0.272	0.462	0.555	0.522	0.604
Modal	4	0.114	0.132	0.149	0.147	0.178
Modal	5	0.103	0.114	0.127	0.128	0.16
Modal	6	0.093	0.102	0.11	0.112	0.144
Modal	7	0.076	0.096	0.102	0.102	0.102
Modal	8	0.056	0.063	0.066	0.067	0.073
Modal	9	0.045	0.053	0.056	0.057	0.062

Modal	10	0.04	0.045	0.047	0.048	0.051
Modal	11	0.04	0.04	0.04	0.04	0.044
Modal	12	0.04	0.04	0.04	0.04	0.043
Modal	13	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Modal	14	0.039	0.04	0.04	0.04	0.04
Modal	15	0.037	0.038	0.039	0.04	0.04
Modal	16	0.036	0.037	0.038	0.038	0.04
Modal	17	0.032	0.032	0.033	0.033	0.038
Modal	18	0.028	0.031	0.032	0.032	0.038

Figura 49

Periodos de Vibración Análisis dinámico

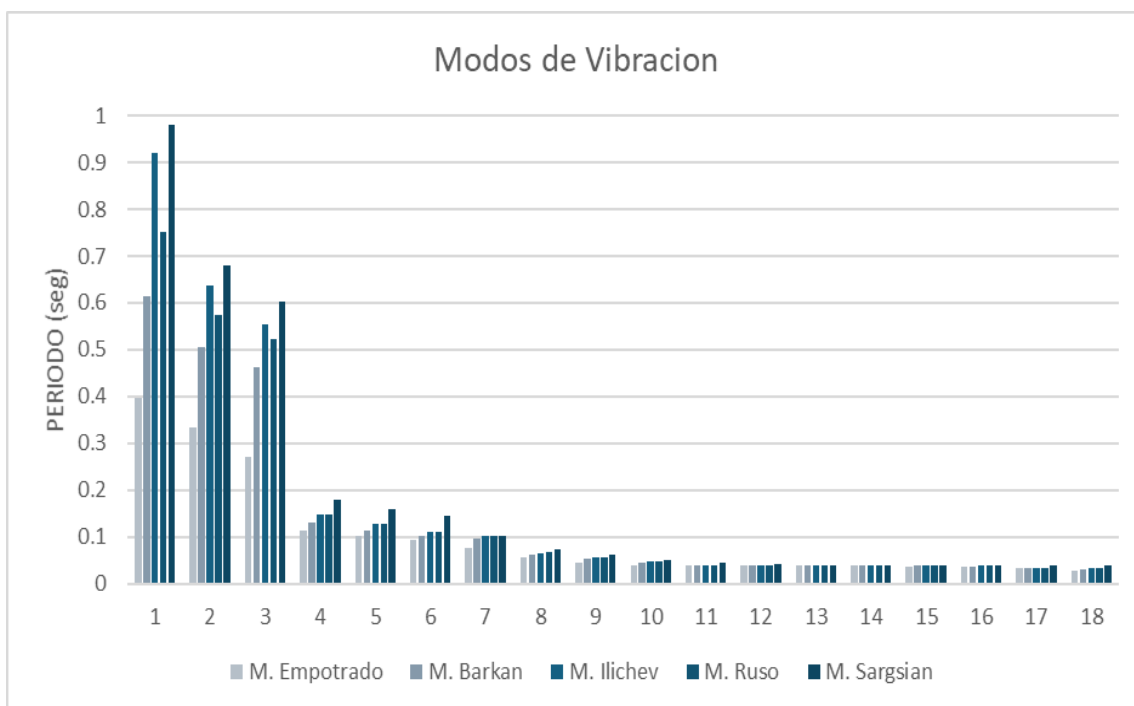
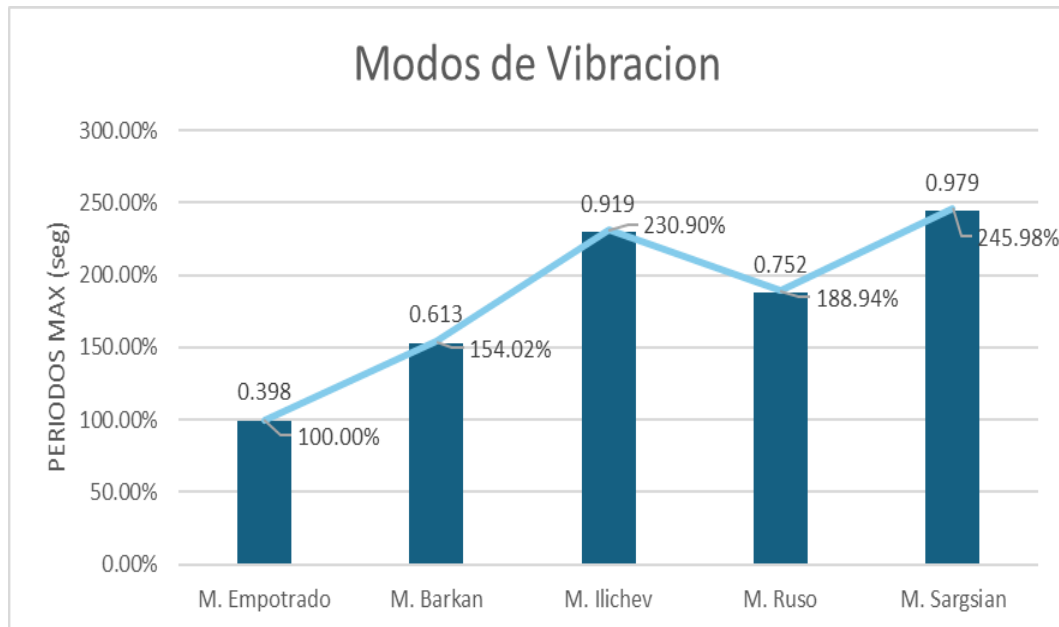


Figura 50*Periodos Max de Vibración Análisis dinámico***Tabla 24***Derivas por sismo dinámico en dirección X*

		M. Empotrado	M. Barkan	M. Ilichev	M. Ruso	M. Sargsian
Case	Piso	Drift	Drift	Drift	Drift	Drift
SisDinX	Story6	0.0067	0.0114	0.0159	0.0127	0.0161
SisDinX	Story5	0.0044	0.0116	0.0154	0.0126	0.0171
SisDinX	Story4	0.0058	0.0126	0.0160	0.0134	0.0177
SisDinX	Story3	0.0068	0.0135	0.0165	0.0141	0.0184
SisDinX	Story2	0.0068	0.0139	0.0168	0.0145	0.0189
SisDinX	Story1	0.0043	0.0139	0.0196	0.0165	0.0238

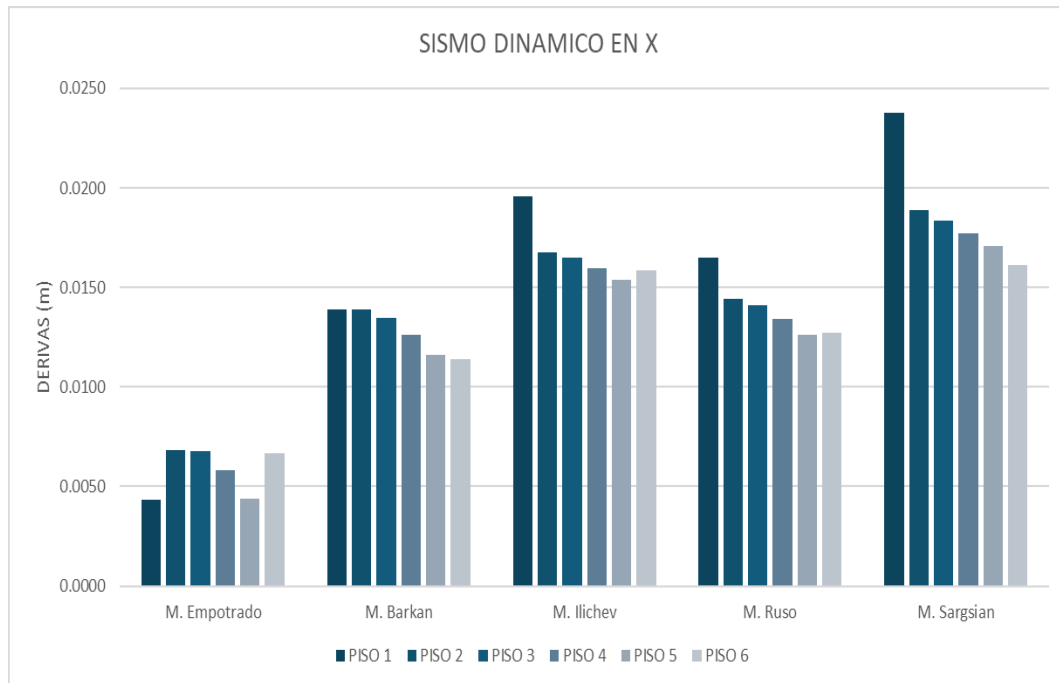
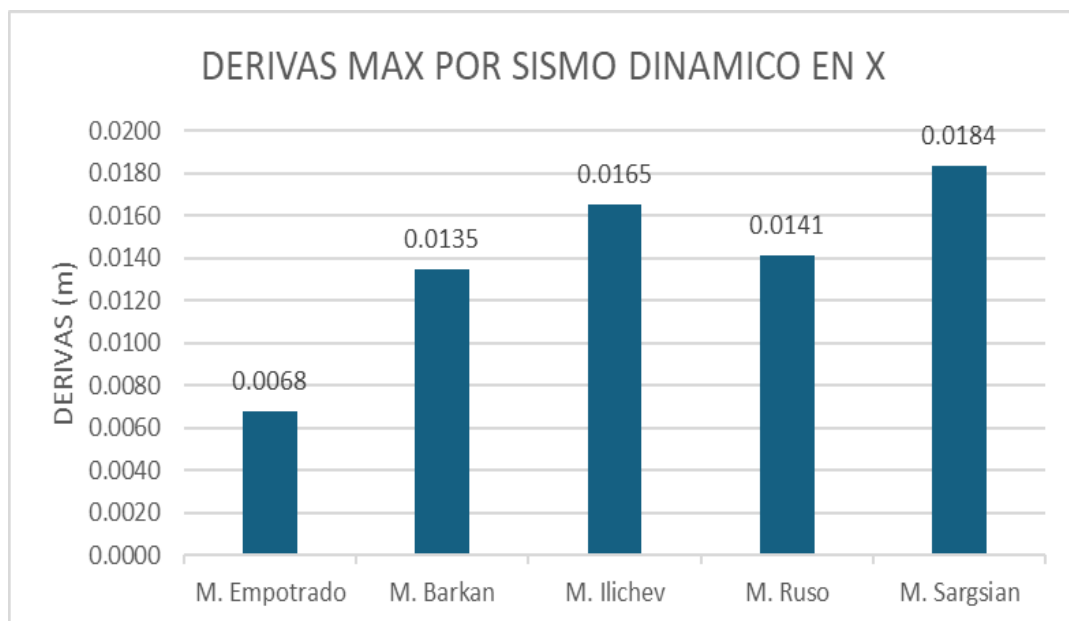
Figura 51*Derivas de entrepiso en X para Modelos de ISE Analizados***Figura 52***Derivas máximas en dirección X para Modelos Analizados*

Tabla 25*Derivas por sismo dinámico en dirección Y*

Case	Piso	M.	M.	M. Ilchev	M. Ruso	M.
		Empotrado	Barkan	Drift	Drift	Sargsian
		Drift	Drift	Drift	Drift	Drift
SisDinY	Story6	0.0023	0.0060	0.0094	0.0068	0.0082
SisDinY	Story5	0.0023	0.0058	0.0093	0.0067	0.0081
SisDinY	Story4	0.0026	0.0064	0.0100	0.0073	0.0087
SisDinY	Story3	0.0027	0.0070	0.0106	0.0078	0.0092
SisDinY	Story2	0.0025	0.0074	0.0112	0.0083	0.0099
SisDinY	Story1	0.0015	0.0088	0.0144	0.0107	0.0163

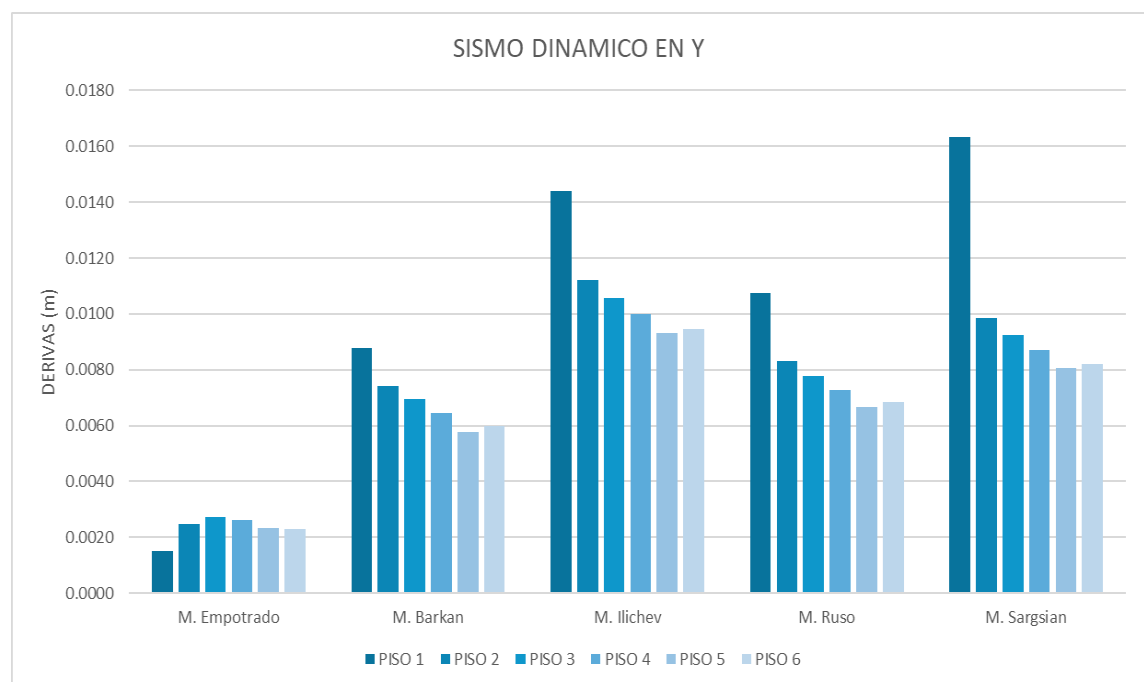
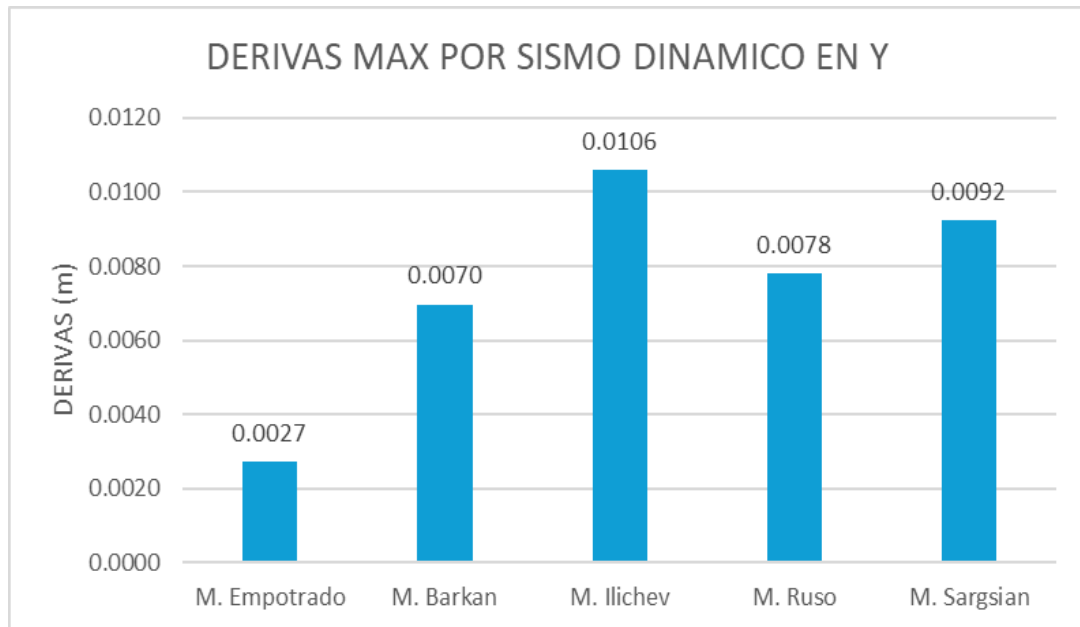
Figura 53*Derivas de entrepiso en Y para Modelos de ISE Analizados*

Figura 54*Derivas máximas en dirección Y para modelos analizados***Tabla 26***Fuerzas Cortantes en Dirección X*

Case	Piso	M.	M.	M.	M. Ruso	M.
		Empotrado	Barkan	Ilichev		Sargsian
		VX (tonf)	VX (tonf)	VX (tonf)	VX (tonf)	VX (tonf)
SisDinX	Story6	5.641	6.188	4.385	5.051	4.150
SisDinX	Story5	46.640	47.144	33.767	39.727	32.233
SisDinX	Story4	87.346	88.413	61.618	74.202	58.612
SisDinX	Story3	117.435	120.342	82.420	100.775	77.924
SisDinX	Story2	136.964	143.335	98.134	120.615	92.827
SisDinX	Story1	145.856	156.987	108.970	133.728	104.916

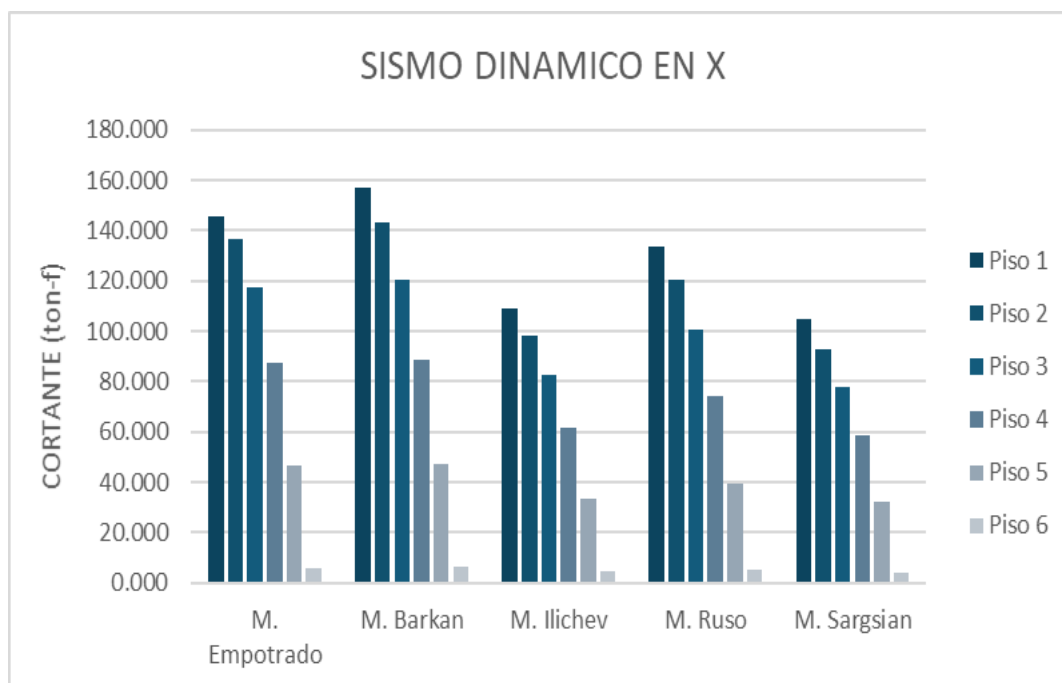
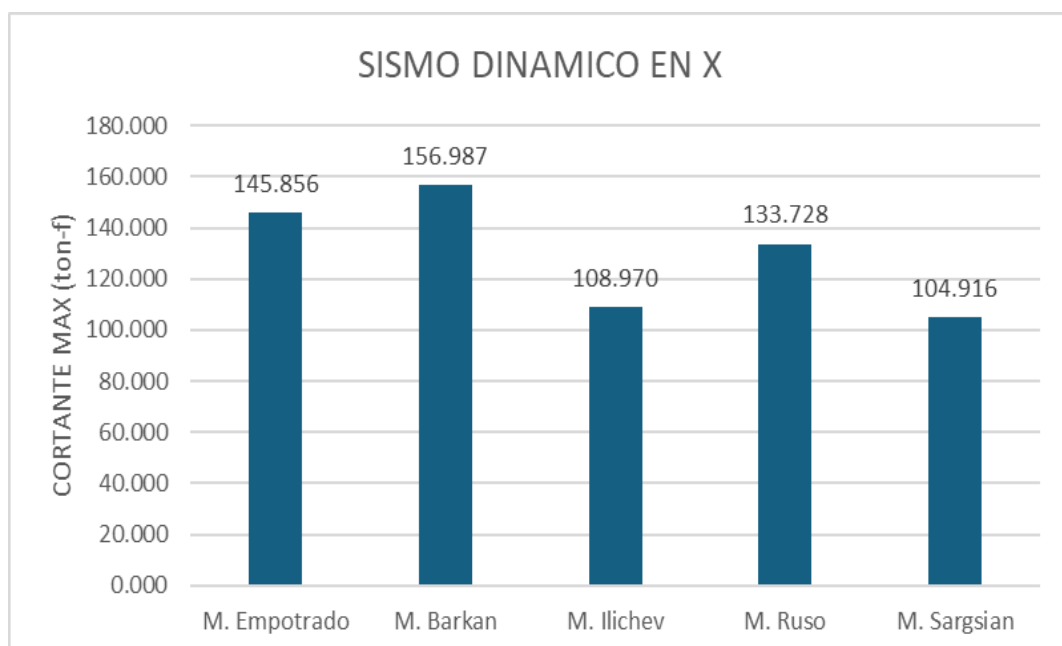
Figura 55*Fuerzas cortantes en Dirección X para Modelos Analizados***Figura 56***Max Fuerzas cortantes en dirección X para Sismo Dinámico*

Tabla 27*Fuerzas Cortantes en Dirección Y*

		M. Empotrado	M. Barkan	M. Ilichev	M. Ruso	M. Sargsian
Case	Piso	VY (tonf)	VY (tonf)	VY (tonf)	VY (tonf)	VY (tonf)
SisDinY	Story6	4.539	4.150	3.910	3.988	3.424
SisDinY	Story5	33.686	33.397	31.618	32.320	28.625
SisDinY	Story4	60.925	62.774	59.275	60.992	54.932
SisDinY	Story3	80.618	85.400	80.438	83.177	75.924
SisDinY	Story2	93.798	102.146	96.264	99.872	92.302
SisDinY	Story1	100.582	113.052	107.261	111.598	104.834

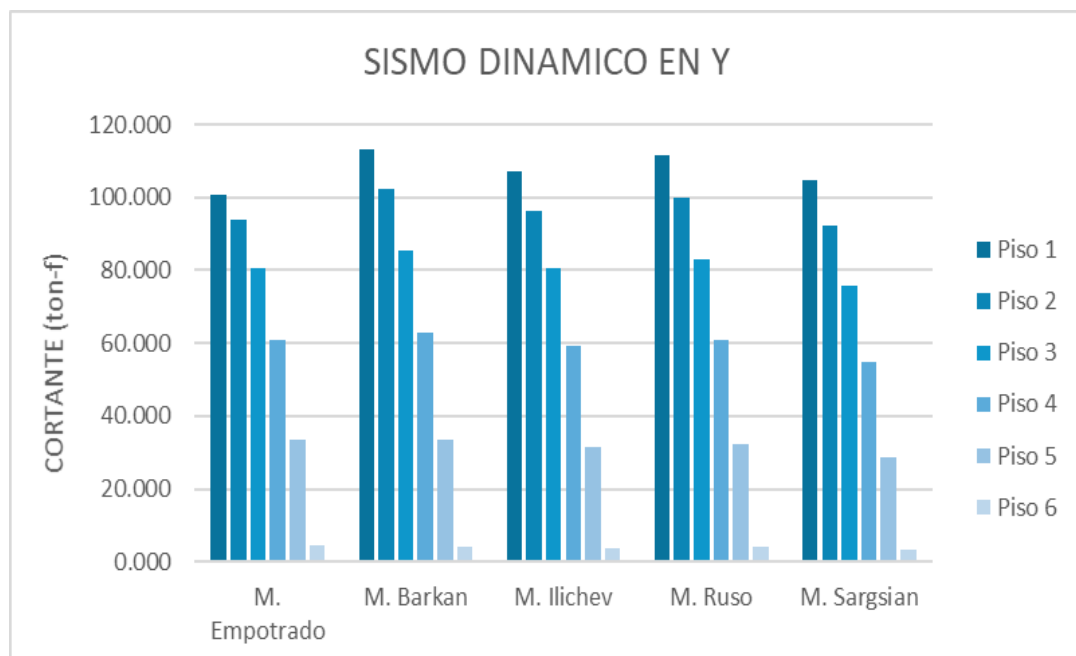
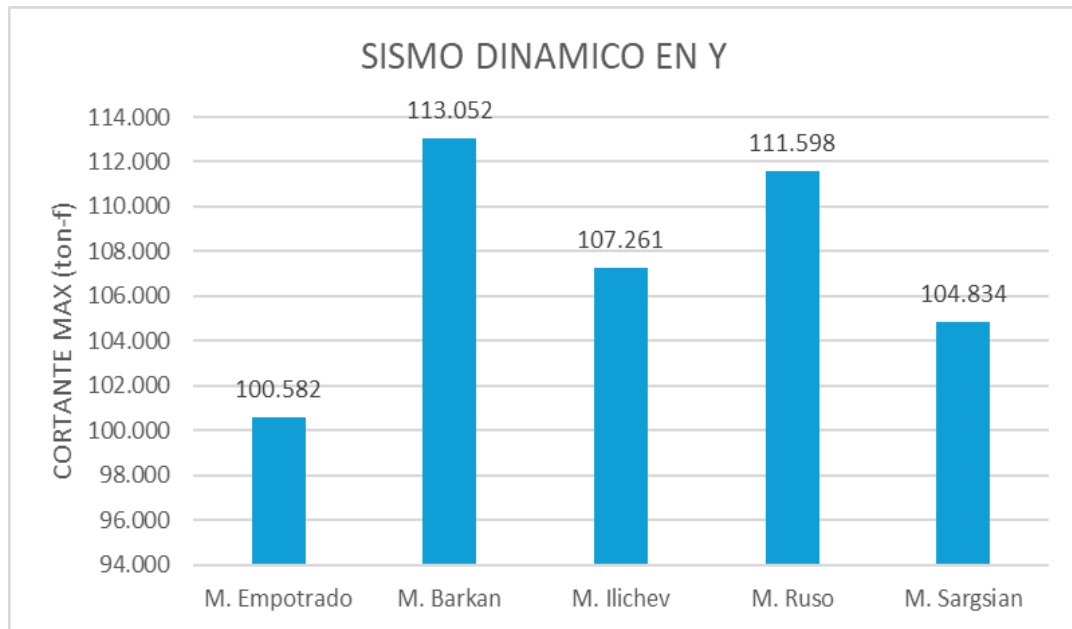
Figura 57*Fuerzas cortantes en dirección Y para Modelos Analizados*

Figura 58*Max Fuerzas cortantes en dirección Y para Sismo Dinámico***Tabla 28***Momentos Actuantes en Y para Modelos Analizados*

Case	Piso	M.	M.	M.	M. Ruso	M.
		Empotrado	Barkan	Ilichev		Sargsian
		MY(tonf- m)	MY(tonf- m)	MY(tonf- m)	MY(tonf- m)	MY(tonf- m)
SisDinX	Story6	14.666	16.089	11.402	13.132	10.789
SisDinX	Story5	135.231	138.297	98.814	116.121	94.483
SisDinX	Story4	360.287	366.989	257.646	307.920	245.977
SisDinX	Story3	661.399	677.107	468.212	566.959	445.266
SisDinX	Story2	1011.310	1045.110	716.261	875.004	678.655
SisDinX	Story1	1441.690	1509.654	1032.233	1267.587	977.757

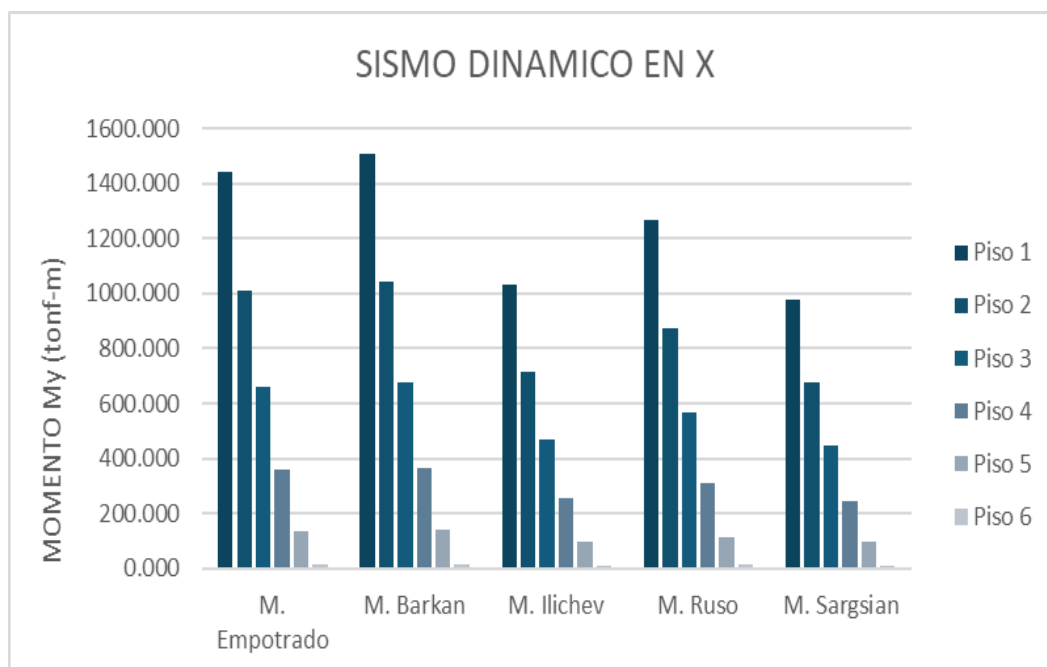
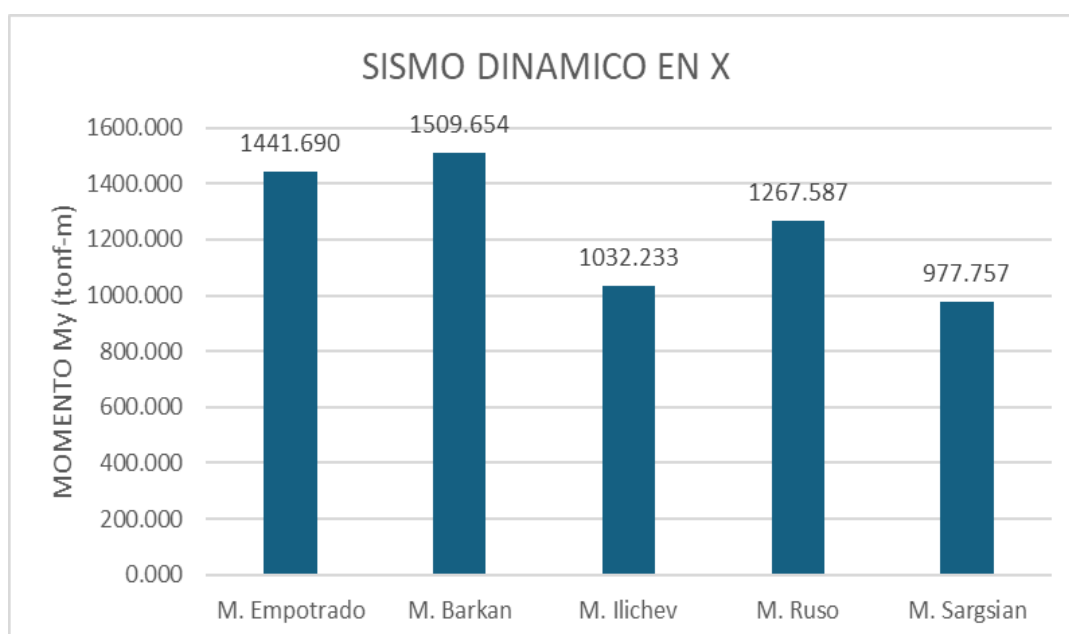
Figura 59*Momentos actuantes en Y para Sismo Dinámico en X***Figura 60***Max Momentos actuantes en Y para Sismo Dinámico en X*

Tabla 29*Momentos Actuantes en X para Modelos Analizados*

Case	Piso	M.	M.	M.	M. Ruso	M.
		Empotrado	Barkan	Ilichev		Sargsian
		MX(tonf-m)	MX(tonf-m)	MX(tonf-m)	MX(tonf-m)	MX(tonf-m)
SisDin Y	Story 6	11.800	10.790	10.166	10.369	8.903
SisDin Y	Story 5	99.117	97.491	92.263	94.302	83.268
SisDin Y	Story 4	255.932	259.975	245.758	252.319	225.775
SisDin Y	Story 3	461.651	479.893	452.931	466.789	422.098
SisDin Y	Story 2	699.448	741.385	698.979	722.561	659.428
SisDin Y	Story 1	993.719	1074.146	1013.137	1050.205	968.142

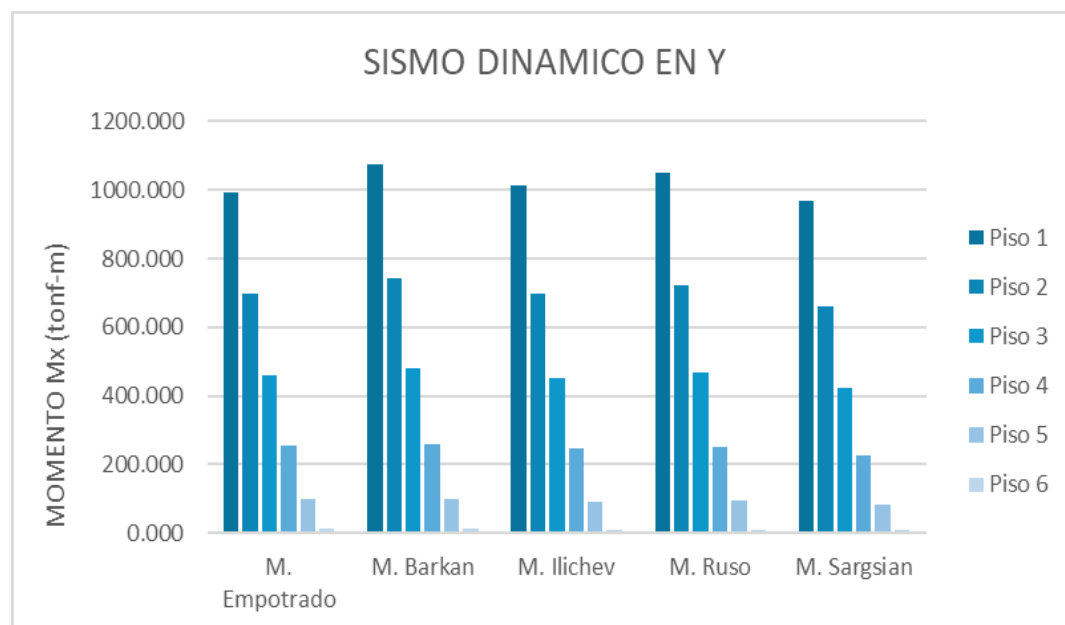
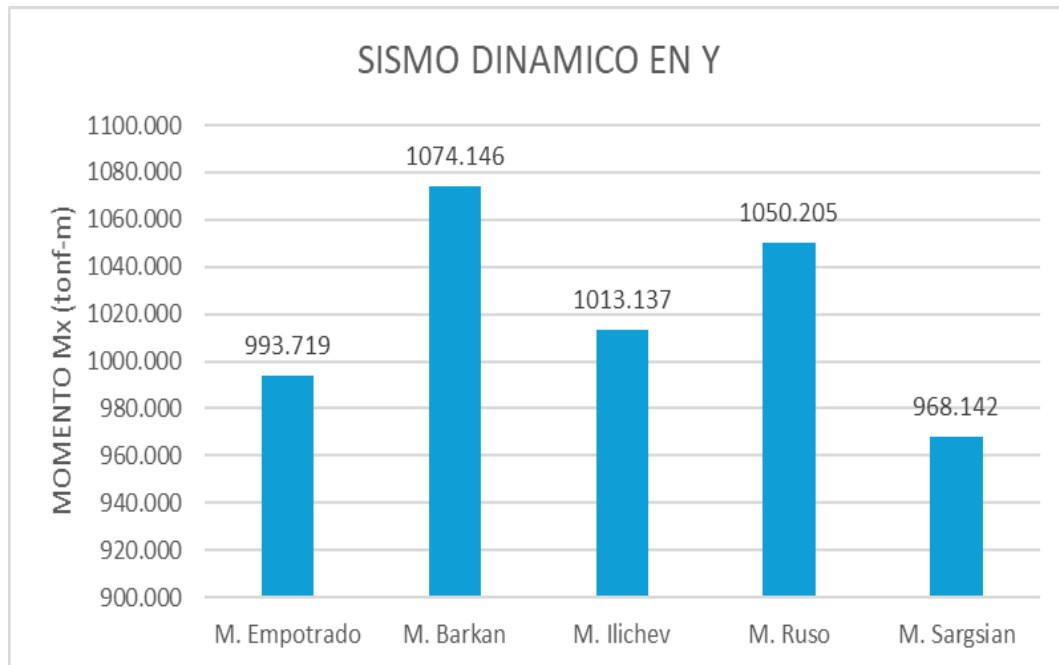
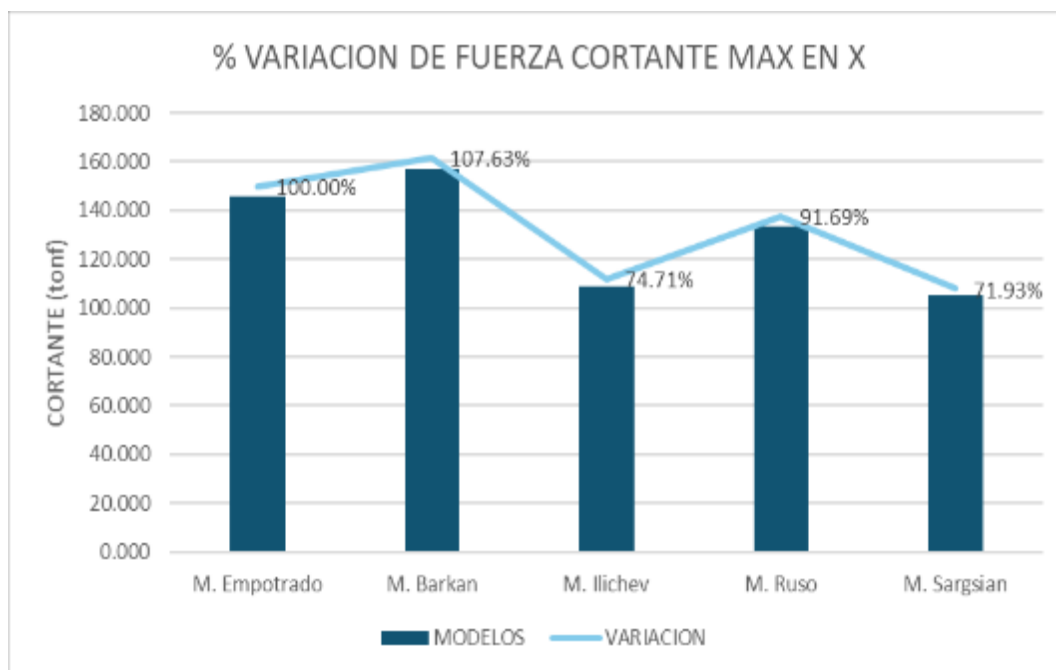
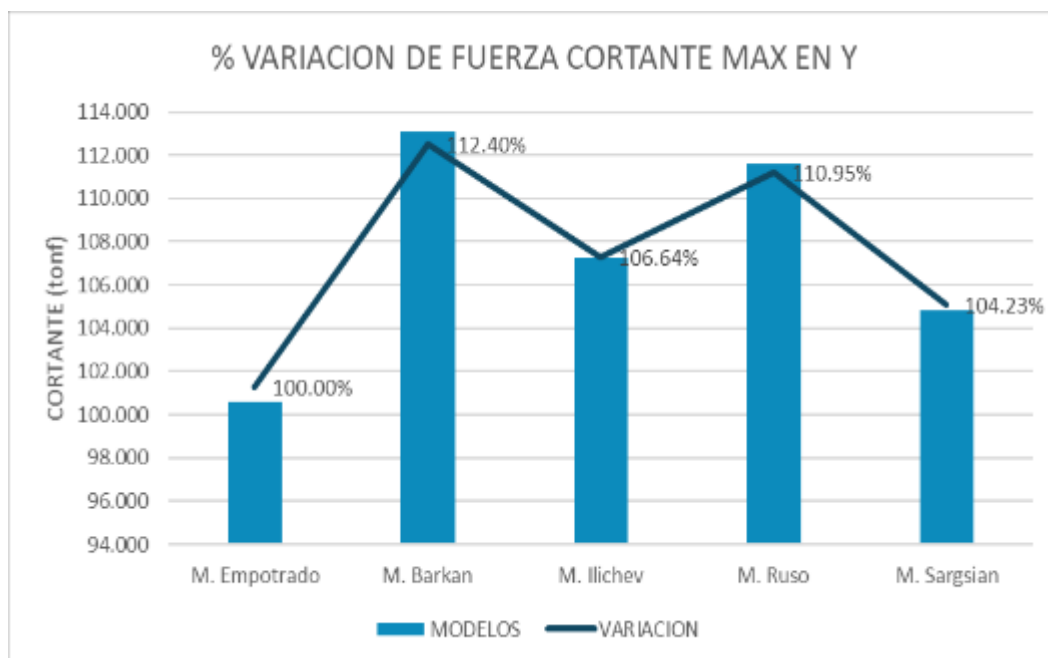
Figura 61*Momentos actuantes en X para Sismo Dinámico en Y*

Figura 62*Max Momentos actuantes en X para Sismo Dinámico en Y***Tabla 30***Variación Porcentual de Fuerzas Cortantes en X*

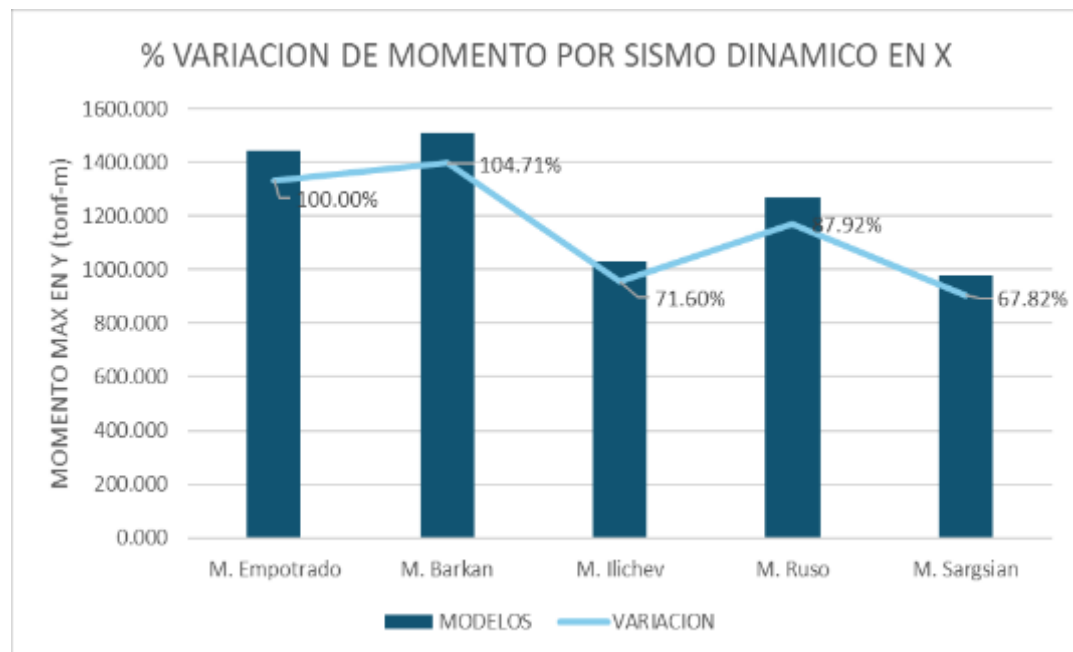
PISO	MODELO	CASO	Vx (ton)	VARIACION
1	M. Empotrado	MAX SDX	145.856	100.00%
1	M. Barkan	MAX SDX	156.987	107.63%
1	M. Ilichev	MAX SDX	108.970	74.71%
1	M. Ruso	MAX SDX	133.728	91.69%
1	M. Sargsian	MAX SDX	104.916	71.93%

Figura 63*Variación Porcentual de Fuerzas Cortantes en X***Tabla 31***Variación Porcentual de Fuerzas Cortantes en Y*

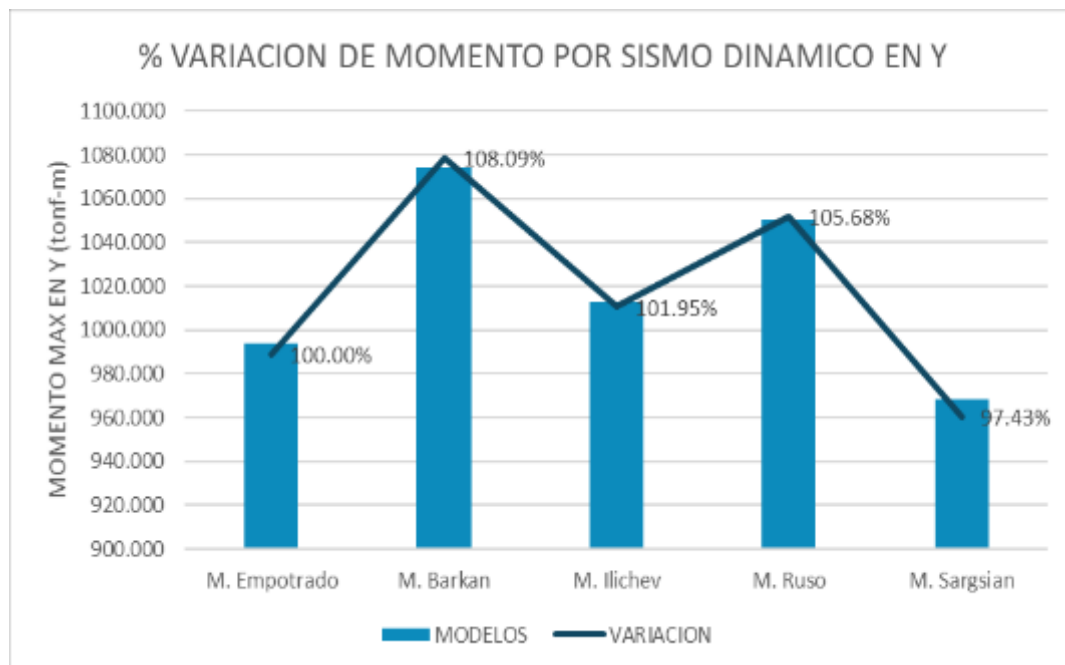
PISO	MODELO	CASO	V _y (ton)	VARIACION
1	M. Empotrado	MAX SDX	100.582	100.00%
1	M. Barkan	MAX SDX	113.052	112.40%
1	M. Ilichev	MAX SDX	107.261	106.64%
1	M. Ruso	MAX SDX	111.598	110.95%
1	M. Sargsian	MAX SDX	104.834	104.23%

Figura 64*Variación Porcentual de Fuerzas Cortantes en Y***Tabla 32***Variación Porcentual de Momentos Actuantes en Y*

PISO	MODELO	CASO	My (tonf-m)	VARIACION
1	M. Empotrado	MAX SDX	1441.690	100.00%
1	M. Barkan	MAX SDX	1509.654	104.71%
1	M. Ilichev	MAX SDX	1032.233	71.60%
1	M. Ruso	MAX SDX	1267.587	87.92%
1	M. Sargsian	MAX SDX	977.757	67.82%

Figura 65*Variación Porcentual de Momentos en Y***Tabla 33***Variación Porcentual de Momentos Actuantes en X*

PISO	MODELO	CASO	Mx (tonf-m)	VARIACION
1	M. Empotrado	MAX SDX	993.719	100.00%
1	M. Barkan	MAX SDX	1074.146	108.09%
1	M. Ilichev	MAX SDX	1013.137	101.95%
1	M. Ruso	MAX SDX	1050.205	105.68%
1	M. Sargsian	MAX SDX	968.142	97.43%

Figura 66*Variación Porcentual de Momentos en X*

4.8. Verificación de hipótesis de la investigación

Comprobación de hipótesis general:

Al emplear y analizar considerando la interacción suelo-estructura, en una edificación de sistema dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025, nos da una resiliencia sísmica más cercana a la realidad.

En efecto, gracias a los resultados obtenidos, ya que al considerar la interacción suelo-estructura en el análisis de edificaciones con sistema dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua en 2025, se logra una evaluación más precisa de la resiliencia sísmica, pues este enfoque toma en cuenta las características del suelo y su influencia directa sobre el comportamiento de la estructura durante un sismo. Esto permite obtener resultados más cercanos a la realidad en términos de respuesta sísmica, optimizando la seguridad estructural y la capacidad de recuperación de la misma.

De acuerdo a las tablas mostradas (tabla 30, 31, 32 y 33), se verifican las variaciones porcentuales obtenidas en las fuerzas cortantes y momentos flectores al realizar el análisis dinámico correspondiente, contrastando así los diferentes resultados de los modelos estudiados.

Comprobación de hipótesis específica 1:

A través de que enfoques metodológicos de interacción suelo-estructura en una edificación de sistema dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025, se podrá conceptualizar el comportamiento más real del suelo.

Mediante la aplicación de los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura analizados (Barkan, Ilichev, Sargsian y Norma Rusa Snip) en una edificación de sistema dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025, fue posible conceptualizar el comportamiento más real del suelo ya cada enfoque con sus distintas metodologías y parámetros aportaron diferentes perspectivas y resultados sobre la interacción dinámica suelo-estructura permitiéndonos tener una idea de las incidencias que conllevan realizar un análisis de una edificación considerando las propiedades del suelo.

Comprobación de hipótesis específica 2:

Al emplear la interacción suelo estructura, utilizando el software Etabs 20.3.0 se obtienen diferentes resiliencias sísmicas en una edificación de sistema Dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025.

Al incluir la interacción suelo-estructura mediante el uso del software ETABS 20.3.0, se evidencian variaciones significativas en la resiliencia sísmica de una edificación con sistema dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua para el año 2025, debido a los distintos valores observados de fuerzas cortantes, momentos, periodos y derivas de entrepiso.

Esta formulación respalda la hipótesis, afirmando que los modelos utilizados generaron variaciones en la resiliencia sísmica de acuerdo con los parámetros observados del suelo, así como su configuración estructural.

Comprobación de hipótesis específica 3:

La interacción entre el suelo-estructura posibilitará la disminución de las fuerzas internas y tensiones en los componentes estructurales de una edificación de sistema Dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025

Al Contrario, a lo esperado, al analizar nuestra edificación con los modelos dinámicos interacción suelo-estructura tanto dirección X como en Y se obtuvieron un comportamiento distinto ya que en la dirección Y la configuración estructural y sus propiedades respectivas del suelo no contribuyeron a la disminución de las fuerzas internas ni de las tensiones en los componentes estructurales de la edificación con sistema dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua para el año 2025. De hecho, los resultados mostraron mayores fuerzas cortantes y momentos respecto al modelo empotrado, indicando un incremento en las demandas sísmicas sobre la estructura, caso contrario se fue en la dirección X que se obtuvo una notoria disminución de fuerzas y momentos con los modelos dinámicos analizados.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Objetivo específico 1:

Al haber efectuado el análisis dinámico sin interacción suelo-estructura en una edificación de sistema Dual de concreto armado se obtuvieron como resultados que, en el modelo con base empotrada, su periodo max es 0.398 seg el modo 1 y 0.334 en el modo 2, sus derivas max en dirección X fueron 0.0068 y en dirección Y 0.0027, los resultados de los esfuerzos de corte y momentos actuantes máximos obtenidos, son producto del comportamiento de los modos de vibración para ello la fuerza cortante máxima obtenida en dirección X fue 145.85 tonf y en dirección Y 100.58 tonf los cuales comparados con los Modelos Dinámicos analizados varían en 20% en X y 7% en dirección Y, asimismo su momento max en X fue 993.71 tonf-m y en dirección Y 1441.69 tonf-m variando en 5% en X y 25% en Y analizándolos con los modelos de interacción suelo-estructura. Este fenómeno es debido a que, a mayor periodo de vibración, menor será el cortante y el momento respectivamente.

Yajahuanca (2024), afirma que al considerar el modelo empotrado el cual limita el movimiento en los ejes X e Y, la relación entre el suelo y la estructura sugirió que el inmueble podría sufrir movimientos significativos debido a la elasticidad de la fundación. Asimismo, este tipo de análisis demostró la disminución de las fuerzas en los muros estructurales y en los niveles del edificio en comparación con la base fija. Las fuerzas cortantes y los momentos flectores en los muros portantes analizados con interacción suelo-estructura, se observó una disminución del 15% en relación con el estudio de cimientos fijos o suelo duro. Por último, al examinar las deformaciones y movimientos a través del monitoreo de derivas, el

edificio estudiado presenta una deformación promedio del 120% en comparación con el modelo empotrado.

Objetivo específico 2:

Al haber efectuado el análisis dinámico con los modelos de interacción suelo-estructura en una edificación de sistema Dual de concreto armado se obtuvieron diferentes resiliencias sísmicas, ellas se demostraron considerando que la flexibilidad de la base de fundación influye directamente en la determinación de los parámetros de cálculo incrementando periodos, derivas y esfuerzos internos respectivamente los cuales también se ven influidos tanto por las propiedades del suelo como configuración estructural.

A continuación, se muestran un resumen de resultados obtenidos:

Tabla 34

Modos y derivas max de Modelos Analizados

Modelo	Mod 1 (seg)	Mod 2 (seg)	Derivas X	Derivas Y
M. Barkan	0.613	0.505	0.013	0.007
M. Ilichev	0.919	0.638	0.017	0.011
M. Ruso	0.752	0.573	0.014	0.008
M. Sargsian	0.979	0.681	0.018	0.009

Tabla 35

Fuerzas cortantes y momentos max de Modelos Analizados

Modelo	VX (tonf)	VY (tonf)	MX (tonf-m)	MY (tonf-m)
M. Barkan	156.987	113.052	1074.146	1509.654
M. Ilichev	108.970	107.261	1013.137	1032.233
M. Ruso	133.728	111.598	1050.205	1267.587
M. Sargsian	104.916	104.834	968.142	977.757

De los cuales podemos ver que los periodos y derivas se incrementan en promedio en un 50% a 100% respectivamente debido a las propiedades del suelo, ubicación y configuración estructural respectiva. Concluyendo que la hipótesis planteada es verdadera

Villareal (2007), evidenció que el análisis sísmico dinámico que considera la interacción suelo-estructura revela que la flexibilidad de la base de la cimentación influye significativamente en los parámetros de cálculo. La rigidez del suelo, el amortiguamiento y la capacidad portante pueden aumentar el tiempo del primer modo vibratorio hasta un 30.1%, reducir la frecuencia asociada hasta un 30.1%, y aumentar los desplazamientos máximos en los ejes OX y OY hasta un 28.3% y 24.1%, respectivamente. Además, se observan reducciones en las fuerzas axiales máximas hasta un 24.8%, en las fuerzas cortantes hasta un 17%, y en los momentos flectores hasta un 5.1%, lo que demuestra la importancia de considerar estas interacciones en el diseño estructural.

Objetivo específico 3:

En el presente proyecto, se consideró que la interacción suelos-estructura lograría reducir las fuerzas cortantes y momentos actuantes por lo que se evidencio que las fuerzas de cortantes y momentos actuantes máximos obtenidos de los modelos dinámicos estudiados, son producto del comportamiento de los modos de vibración. Este fenómeno es debido a que, a mayor periodo de vibración, menor será el cortante y el momento respectivamente lo que se evidencio en la fuerza cortante obtenida en dirección X sea 145.85 tonf y en dirección Y 100.58 tonf resultados comparados con los Modelos Dinámicos evaluados se redujeran en un 20% en X y 7% en dirección Y, asimismo su momento max en X fue 993.71 tonf-m y en dirección Y 1441.69 tonf-m fueran afectados reduciéndose en un 5% en X y 25% en dirección Y. Por lo que la premisa planteada que analiza los resultados es verdadera.

Jines (2019), en su publicación “Interacción Sísmica Suelo-Estructura en Edificaciones de Sistema Dual en la Ciudad De Moquegua”, se obtuvo que las fuerzas cortantes en la placa P6 se reducen en un 25.68% durante el análisis estático, un 28.93% en el análisis dinámico y un 8.79% en el análisis tiempo historia. En cambio, los momentos flectores en la placa P6 disminuyen un 78.86% en el análisis estático, un 79.01% en el análisis dinámico y un 77.48% en el análisis

de historia temporal. Así, la flexibilidad de la base de la fundación prolonga el periodo y las formas de vibración, lo que, a su vez, eleva los desplazamientos en los centros de masas y provoca un aumento en los esfuerzos axiales, fuerzas cortantes y momentos flectores.

CONCLUSIONES

1. Al evaluar cómo influye efecto de ISE se logra efectuar un análisis más real del suelo y la edificación ante eventos sísmicos, encontrando que las propiedades mecánicas del suelo consideradas en el análisis nos permiten obtener esfuerzos más reales en los elementos estructurales. Estos resultados nos ayudan a distribuir adecuadamente los esfuerzos en los elementos estructurales de la edificación, evitar el sobre dimensionamiento de elementos estructurales y finalmente tener en cuenta las consideraciones necesarias para edificar en suelos blandos.
2. Se pudo confirmar gracias a los resultados obtenidos que el modelo que asume un empotramiento en su base de cimentación no refleja de manera precisa el comportamiento real de una estructura. Las variaciones porcentuales en la respuesta estructural del modelo empotrado propuesto en este trabajo respecto a la respuesta de los modelos que consideran interacción suelo-estructura corresponden a un 50% y hasta un 150% en promedio para derivas y periodos respectivamente.
3. La evaluación de los resultados conseguidos nos permite señalar que la flexibilidad de la base de la cimentación tiene su mayor impacto en los modelos estudiados de ISE. Teniendo en cuenta la flexibilidad del terreno, esto llevó a un cambio en el movimiento estructural total, ya que este variará también por las rotaciones provocadas por la deformación del terreno. Por otro lado, la expansión del período fundamental como resultado de la influencia del suelo en el conjunto suelo-fundación-estructura muestra un aumento del 50% y en ciertos modelos puede incluso triplicarse, siendo este fenómeno más pronunciado en estructuras con mayor flexibilidad, afectando así tanto a los desplazamientos como a los períodos de la estructura en cuestión.

4. Finalmente considerando la ISE en nuestro modelo se da evidencia que las fuerzas actuantes de los elementos analizados se reducen significativamente con los métodos empleados, tal como ocurre en la dirección X en el análisis dinámico, este disminuye un promedio de 20 % y 7% en dirección Y y los momentos varían en un 5% en X y 25% en Y en comparación con el análisis de base empotrada. Con ello podemos concluir que la ISE puede aumentar el periodo de las estructuras, esto modificara la cortante y momentos en la base, aumentando o disminuyendo su valor, en función a la forma modal.

RECOMENDACIONES

1. Dado que la zona de estudio se encuentra dentro de una región altamente sísmica, influenciada por el Cinturón de Fuego del Pacífico, y que además presenta condiciones geotécnicas desfavorables como suelos blandos que amplifican significativamente la respuesta sísmica, se recomienda incorporar de manera sistemática el análisis del efecto suelo-estructura en los estudios de diseño estructural. Ignorar esta interacción puede derivar en diseños muy conservadores o sobredimensionados, con el consecuente uso innecesario de materiales y aumento en los costos constructivos. Por ello, se exhorta a los futuros investigadores a profundizar en el estudio de las condiciones del suelo local, utilizando herramientas avanzadas de modelado y análisis dinámico, que permitan caracterizar con mayor precisión la respuesta de la estructura frente a sismos. Este enfoque no solo contribuirá a un diseño estructural más seguro y eficiente, sino que también permitirá una distribución más racional de los esfuerzos, optimizando el uso de recursos. Asimismo, sus hallazgos pueden alimentar el desarrollo y la actualización de normativas de diseño sísmico, especialmente en zonas con suelos blandos, beneficiando tanto a la comunidad técnica como a la sociedad en general.
2. Se recomienda a los Ingenieros Estructuralistas, realizar análisis detallados de mecánica de suelos en el sitio específico donde se proyecta llevar a cabo una edificación. Los resultados obtenidos de estos estudios deben ser incorporados en el proceso de diseño estructural, considerando tanto un modelo con base empotrada, así como otro modelo que integre explícitamente las propiedades mecánicas del suelo mediante un enfoque de Interacción Suelo-Estructura (ISE). Esta comparación permitirá evaluar el grado de influencia que tiene el comportamiento del suelo en los resultados de los análisis sísmicos, lo cual puede ser determinante en el desempeño

estructural. Asimismo, se sugiere que el modelo con base empotrada sea utilizado en aquellos casos donde las cimentaciones sean considerablemente profundas o cuando se disponga de un suelo con excelentes propiedades geotécnicas, condiciones que podrían justificar dicha simplificación sin comprometer la precisión del análisis estructural.

3. Los métodos del análisis dinámico de la edificación incorporando los modelos ISE, a pesar de ser un poco más complicados por los parámetros y coeficientes necesarios, se proponen ser tomados en cuenta para futuras investigaciones por la Universidad Privada de Tacna, pues garantizan que en la edificación se contemplen los resultados más reales, contemplando las propiedades del suelo adecuadamente para garantizar los requisitos para el diseño que exige la norma, por lo que el análisis con interacción suelo estructura es un análisis más real que modelo empotrado ya que habrá una mayor exigencia en el control de desplazamientos laterales lo que significa el incremento de las distorsiones de entrepiso y periodos, debido a que la cimentación va a poder trasladarse y rotar según sea el modelo analizado.
4. Se sugiere a futuros investigadores incluir la ISE en sus análisis estructurales pues permiten una aproximación más realista de la resiliencia sísmica de una edificación. Al observar que el ISE puede reducir las fuerzas internas y los momentos, en ciertos casos, es posible optimizar el diseño estructural. Además, la variación en el periodo de vibración que introduce el ISE puede ser crítica para ajustar la respuesta sísmica en función de los modos de vibración y los espectros de diseño sísmico. Por lo que finalmente este estudio podría ser valioso para mejorar los métodos de análisis en la práctica estructural y profundizar en los estudios acerca de la interacción entre el suelo y la estructura, tomando en cuenta todos los coeficientes de rigidez y amortiguación para cada tipo de cimentación, así como para los diferentes sistemas estructurales y construcciones que se analicen.

REFERENCIAS

- Acuña, F., Smith, J., Luna, M., & Barrios, J. (2023). Interacción Suelo Estructura: Una Revisión del Estado del Arte. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), Article 4. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7427.
- Abregu, C. V. (2022). Evaluación de la Resiliencia sísmica en edificaciones empleando disipadores metálicos, Escuela n° 30209 Paulina Salazar Alfaro, Huancayo, 2021. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8720>
- Alcedo, J., & Cruz, A. (2024). Evaluación del desempeño sísmico mediante la aplicación de la metodología IDA en el Nuevo Hospital de Emergencias de Ate – Sector E. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/672317>
- Aroquipa, H., & Hurtado, A. (2022). Seismic resilience assessment of buildings: A simplified methodological approach through conventional seismic risk assessment. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 77, 103047.
- Arriola, C. (2024). Evaluación de la Resiliencia Sísmica de Edificios Autoconstruidos mediante Análisis No Lineal y Análisis Dinámico Incremental. *Llamkasun*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.47797/llamkasun.v5i2.133>
- Cardoso, D., Aguiar, C., Lanna, R., Coelho, T., Francisco, F., Sernizón, R., & Campos, A. (2023). Influencia del modelado de la interacción suelo-estructura en el comportamiento de pórticos de acero planos de varios pisos con cimentaciones poco profundas. *Research, Society and Development*, 12(1), e9512139320. doi:<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i1.39320>
- Chee, H., Kassem, M. M., & Mohamed, F. (2022). Comprehensive Review of Community Seismic Resilience: Concept, Frameworks, and Case Studies. *Advances in Civil Engineering*, 2022(1), 7668214. <https://doi.org/10.1155/2022/7668214>

- Das, W. (2021). Principles of Geotechnical Engineering. <https://www.semanticscholar.org/paper/Principles-of-Geotechnical-Engineering/d16097c5ea38b1384ef76fad71f41a93c7340101>
- Dong, Z., Li, C., Wen, S., Zhai, P., & Kang, S. (2022). Study on Seismic Resilience Quantitative Framework of Subway Stations and Resilience Improvement Strategy. *Frontiers in Earth Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.869965>
- Durán, D. (2021). Interacción Suelo-Estructura en Apoyos Excéntricos de Medianería Mediante Pilotes. (Tesis de maestría, Universidad Politècnica de Catalunya). Respositorio de la Universidad Politècnica de Catalunya, Barcelona. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2117/342407>
- Garro, H. J., Sotelo, H. H., Grozo, G. A., Argüelles, L. A., & Aguirre, C. B. (2021). Análisis estructural considerando interacción suelo—Estructura en centro educativo Puente Piedra. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/18213>
- Gómez, M. A., Vielma, J. C., & Díaz-Segura, E. G. (2022). Evaluación numérica de la respuesta sísmica de estructuras fundadas en laderas. *Obras y proyectos*, 31, 68-76. <https://doi.org/10.4067/S0718-28132022000100068>
- González, C., Niño Lázaro, M., Ayala Milián, G., González Calva, C., Niño Lázaro, M., & Ayala Milián, G. (2024). Definición de tiempos de recuperación y pérdida de funcionalidad esperada para la evaluación de la resiliencia sísmica en escuelas públicas de México. *Ingeniería sísmica*, 112, 28-54. <https://doi.org/10.18867/ris.112.636>
- Gutiérrez, J., & Ayala, G. (2022). Análisis de la resiliencia sísmica de edificios. *Ingeniería sísmica*, 107, 47-73. <https://doi.org/10.18867/ris.107.603>
- Islam, I., Ahmed, W., Rashid, M. U., Orakzai, A. U., & Ditta, A. (2020). Geophysical and geotechnical characterization of shallow subsurface soil: A case study of University of Peshawar and surrounding areas. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(18), 949. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05947-x>
- Jines, R. (2019). Interacción Sísmica Suelo - Estructura en Edificaciones de Sistema Dual en la Ciudad de Moquegua. (Tesis de Maestría, Universidad Privada

- de Tacna). Repositorio Institucional de la Universidad Privada de Tacna, Tacna. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12969/412>
- Jurado, C. (2012). Problemas de interacción suelo estructura en cimentaciones y muros de contención. Influencia de los fenómenos de despegue y deslizamiento. (Tesis Doctoral, Universidad Politecnica de Madrid). Repositorio Institucional de la Universidad Politecnica de Madrid, Madrid. doi:<https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.13731>.
- Jurado, C. (2012). Problemas de interacción suelo estructura en cimentaciones y muros de contención. Influencia de los fenómenos de despegue y deslizamiento. (Tesis Doctoral, Universidad Politecnica de Madrid). Archivo Digital de la Universidad Politecnica de Madrid, Madrid. doi:<https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.13731>.
- Iza, N. G. (2023). Determinación del desempeño sísmico económico de un edificio en acero, mediante la metodología del FEMA P-58 y su programa Pact. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/37342>
- O'Reilly, G. J., & Calvi, G. M. (2019). Conceptual seismic design in performance-based earthquake engineering. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 48(4), 389-411. <https://doi.org/10.1002/eqe.3141>
- Pinto, F., & Ledezma, C. (2019). Interacción suelo-estructura en edificios de gran altura con subterráneos en Santiago, Chile. *The Scientific Electronic Library Online*, 66-75. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132019000100066>
- Prieto, C. A. (2024). Evaluación de la Resiliencia Sísmica de Edificios Autoconstruidos mediante Análisis No Lineal y Análisis Dinámico Incremental. *Llamkasun*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.47797/llamkasun.v5i2.133>
- Ramírez, R., & Ferreira, T. M. (2024). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios históricos de mampostería usando modelos semánticos apoyados en evidencias empíricas: Aprendizajes en México. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.55467/reder.v8i1.142>

- Rivera, J. F., Aguirre, A. M., Mejía de Gutiérrez, R., & Orobio, A. (2020). Estabilización química de suelos—Materiales convencionales y activados alcalinamente (revisión). *Informador técnico*, 84(2 (Julio-Diciembre)), 202-226.
- RNE E-020 Diseño Sismorresistente. (2019). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Diario El Peruano.
- RNE E-030 Diseño Sismorresistente. (2019). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Diario El Peruano.
- RNE E-060 Diseño sismorresistente. (2019). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Diario El Peruano.
- Rocio, Y. (2022). Interacción Suelo-Estructura para la Obtención de la Respuesta Sísmica de la Subestructura con Columnas de Grava del Puente en la Avenida Sánchez Cerro, Piura. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Ricardo Palma). Repositorio Institucional de la Universidad Ricardo Palma, Lima. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14138/5355>
- Rodríguez, A., & Villavicencio, S. (2021). Análisis de los efectos de la interacción suelo – estructura en la dinámica estructural de un edificio de oficinas de 15 pisos. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú). Repositorio Institucional de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Peru. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/20817>
- Villarreal, G. (2023). Interaccion Suelo-Estructura En Edificaciones. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 28(2), Article 2. <https://doi.org/10.24133/g47qj963>
- Villarreal, G. A. V., & Aguila, C. T. A. (2021). Interacción Suelo-Estructura y su influencia en la respuesta sísmica de edificios de concreto armado. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 26(3), Article 3. <https://doi.org/10.24133/riie.v26i3.2336>
- Yajahuanca, D. (2024). Análisis de la interacción suelo-estructura en el comportamiento sísmico de un edificio de 5 pisos de albañilería confinada

en la Molina, Nueva Cajamarca. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Católica Sedes Sapientiae). Repositorio Institucional de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, Rioja. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14095/2212>

ANEXOS

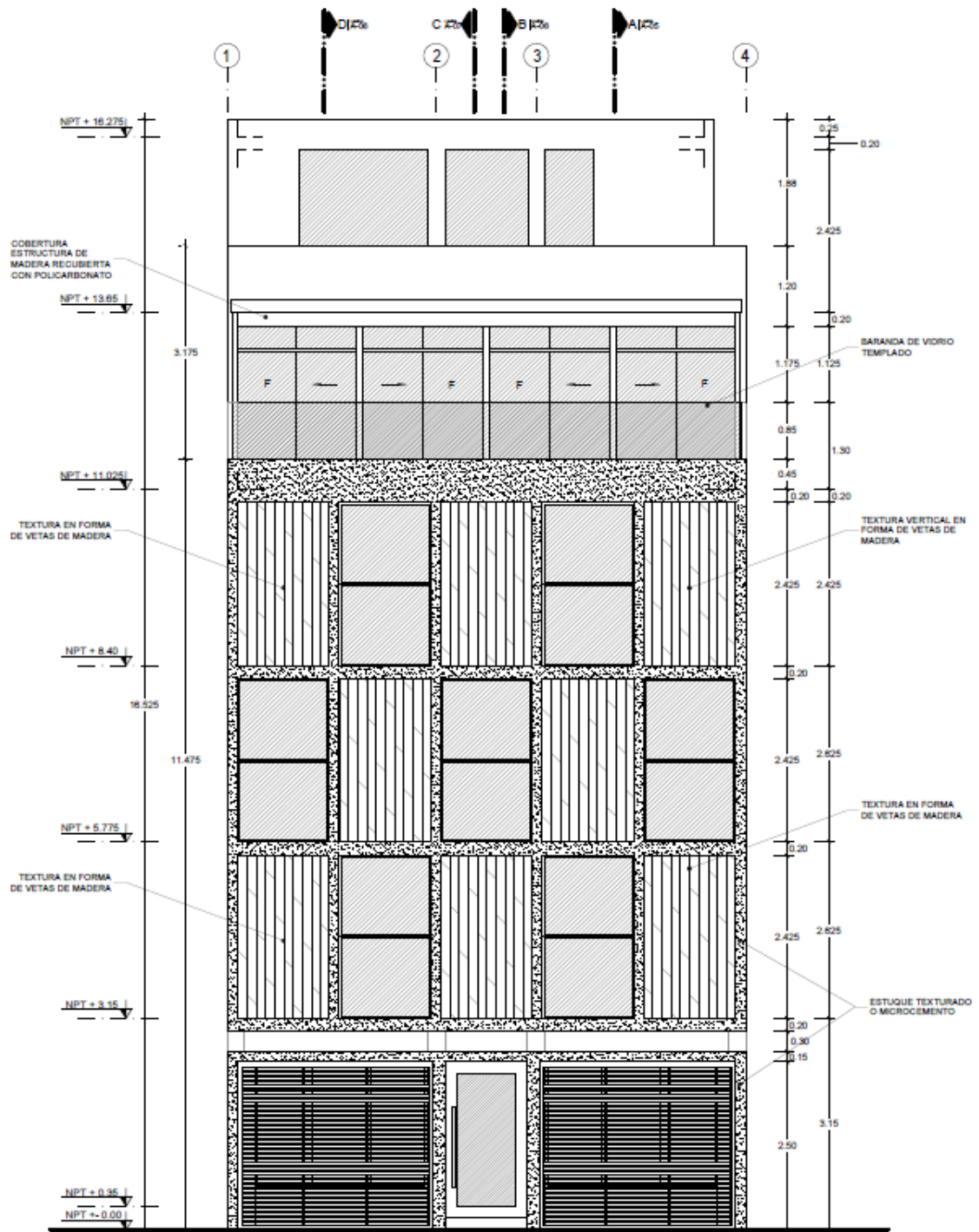
Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
Problema General:	Objetivo general:	Hipótesis general:	Variable Independiente Interacción sísmica Suelo – Estructura	Tipo de investigación Basica El diseño de la investigación Cuasi experimental Ambito de estudio: Ciudad de Moquegua Población: Edificaciones de sistema dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua Muestra: Hotel tierra de sol Técnicas de recolección de datos: Observación directa de resultados Instrumentos: -Guía de observacion - Lista de cotejo - Codificación de medidas obtenidas
¿Cuál es la influencia de la interacción suelo estructura en la resiliencia sísmica de una edificación dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025?	Evaluar cómo influye la interacción suelo-estructura en la resiliencia sísmica de una edificación dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025	Cuando empleamos el análisis con interacción suelo-estructura, obtenemos una resiliencia sísmica más precisa a la realidad en una edificación de sistema dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025.	Indicadores - Tipo de suelo - Propiedades mecánicas del suelo	
Problemas Específicos:	Objetivos específicos:	Hipótesis específicas:		
¿Qué resiliencias sísmicas obtendremos al realizar una serie de evaluaciones sísmicas sin interacción suelo - estructura en una edificación de sistema Dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025, utilizando el software Etabs versión 20.3.0?	Efectuar analisis sísmicos sin interacción suelo estructura con el fin de obtener las resiliencias sísmicas de una edificación de sistema Dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025, utilizando el software Etabs versión 20.3.0.	Al no emplear la interacción suelo estructura, utilizando el software Etabs versión 20.3.0 se obtienen diferentes resiliencias sísmicas en una edificación de sistema Dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025.		
¿Qué resiliencias sísmicas obtendremos al realizar una serie de evaluaciones sísmicas con interacción suelo - estructura en una edificación de sistema Dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025, utilizando el software Etabs versión 20.3.0?	Efectuar analisis sísmicas con los modelos de interacción suelo - estructura con el fin de obtener las resiliencias sísmicas de una edificación de sistema Dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025, utilizando el software Etabs versión 20.3.0.	Al emplear la interacción suelo estructura, utilizando el software Etabs versión 20.3.0 se obtienen diferentes resiliencias sísmicas en una edificación de sistema Dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025.	Variable Dependiente Resiliencia Sísmica Indicadores - Derivas y periodos fundamentales - Fuerzas cortantes y momentos en la base	
¿la consideración de la interacción suelo-estructura conduce a la reducción de las fuerzas internas y esfuerzos en los componentes estructurales de una edificación de sistema Dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025?	Evidenciar que al considerar la interacción suelo-estructura se logran reducir las fuerzas cortantes y momentos actuantes en los componentes estructurales de una edificación de sistema Dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025	Con la interacción suelo-estructura se llegará a reducir las fuerzas internas y esfuerzos de los elementos estructurales de una edificación de sistema Dual de concreto armado en la ciudad de Moquegua, 2025		

Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables

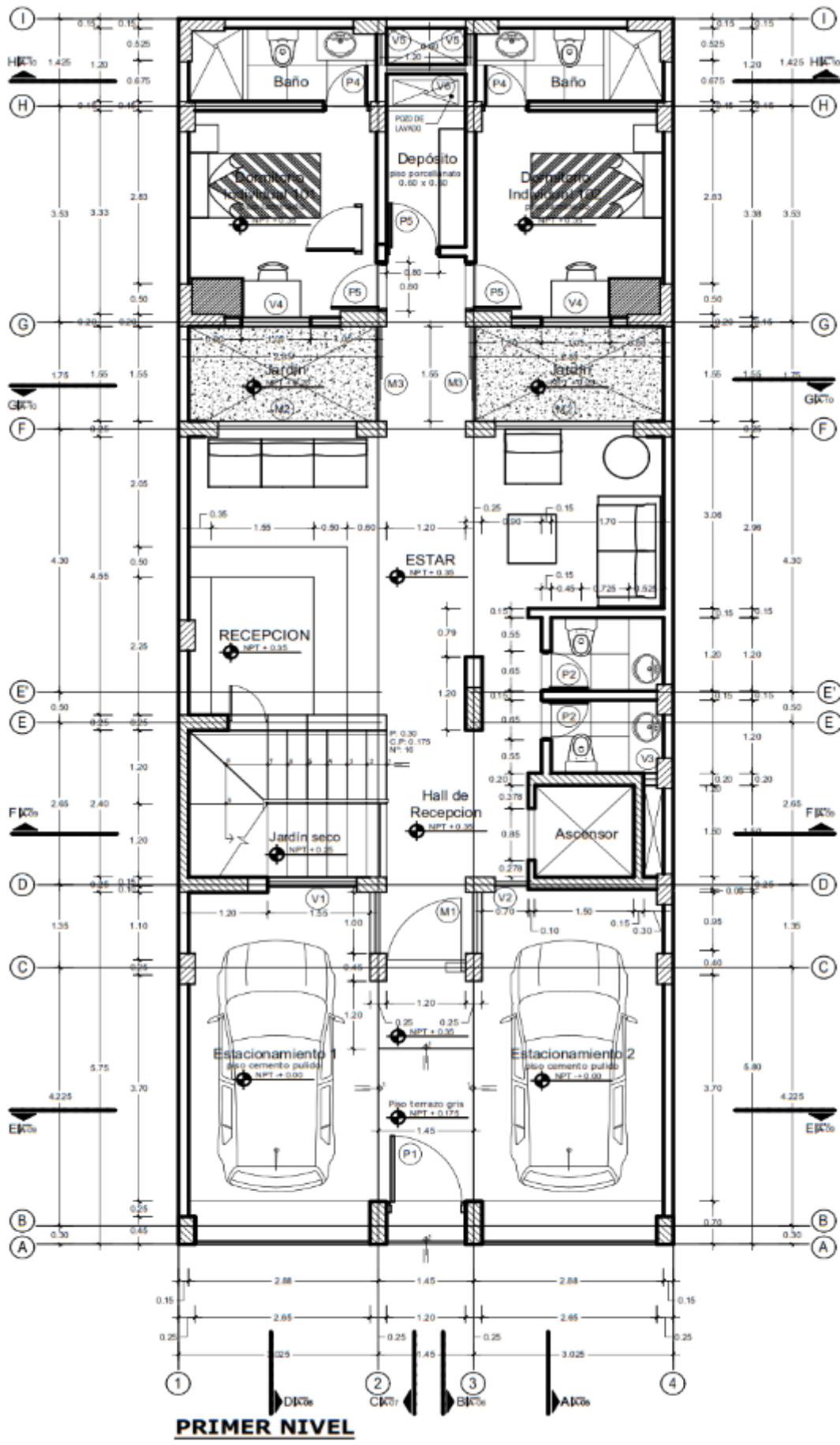
Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escalas de medición
Variable Independiente	Jinez (2017). se refiere a la alteración del movimiento del suelo en la base de una estructura debido a la presencia de dicha estructura. La intensidad de esta interacción aumenta a medida que el movimiento en la base de la estructura se ve más influenciado por la propia estructura.	Se recolectara informacion de las propiedades mecanicas del suelo mediante ensayos de laboratorio y fichas de informacion recolectada en campo, la cuales nos ayudaran a estudiar las popiedades del suelo y entender mejor su comportamiento.	Parámetros geotécnicos del suelo	Propiedades mecanicas del suelo	Razón
Interacción sísmica Suelo – Estructura				Tipo de suelo	Razón
Variable Dependiente	Céspedes (2019). Se define como el comportamiento que tiene una estructura durante un evento sísmico, depende de parámetros como: tipo de análisis, tipo de suelo, parámetros geométricos de la estructura y otros	Se realizara el modelamiento y analisis dinamico estructural considerando las propiedades del suelo, la cimentacion y caracterisicas estructurales propias de la edificacion. Con ello se podra obtener los parametros de calculo de la estructura como desplazmientos , periodos, fuerzas y momentos	Respuestas Estructurales	Desplazamientos	Razón
Resilencia sísmica				Periodos fundamentales	Razón
				Fuerzas en la base	Razón
				Momentos en la base	Razón

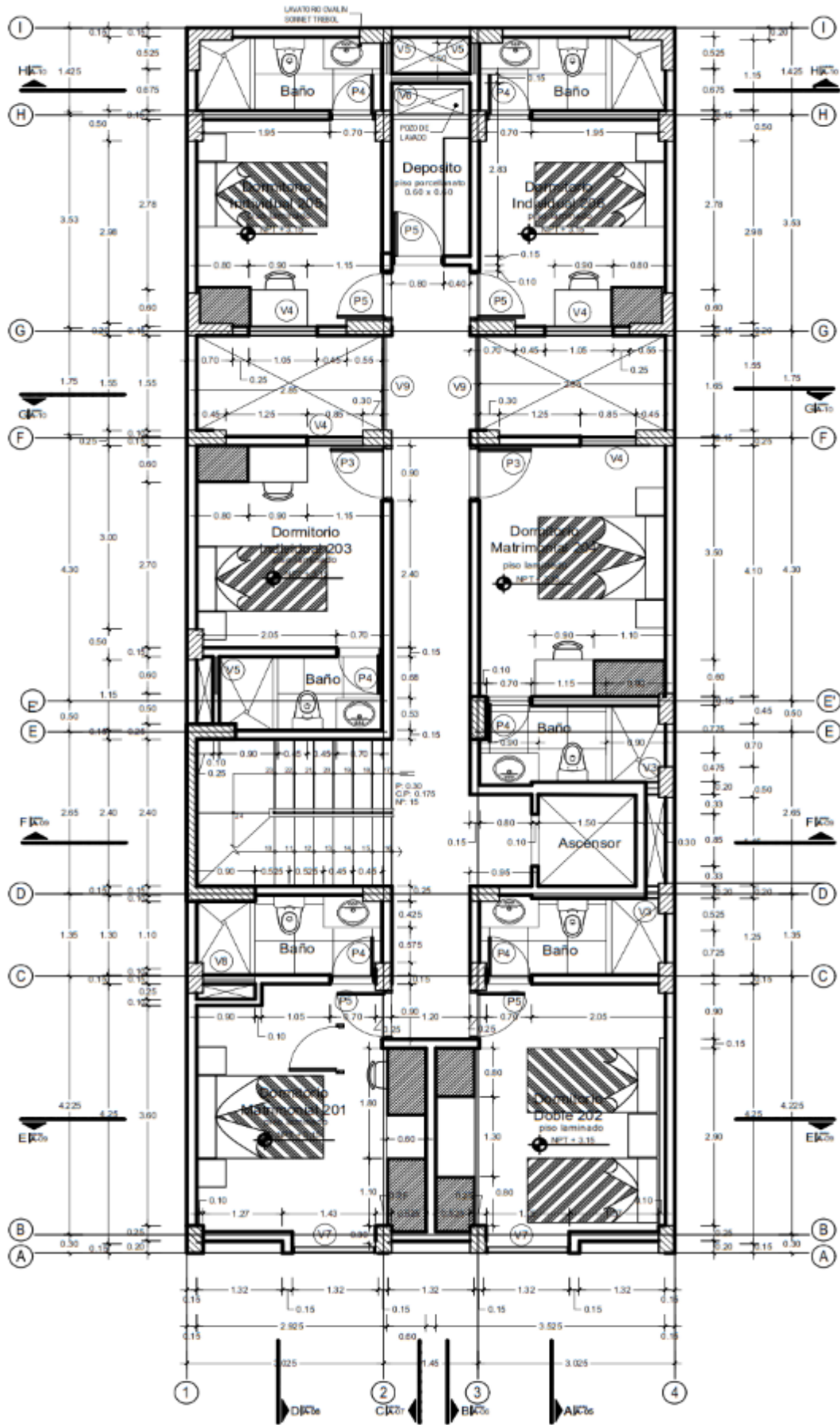
Anexo 3. Planos de arquitectura y cimentaciones

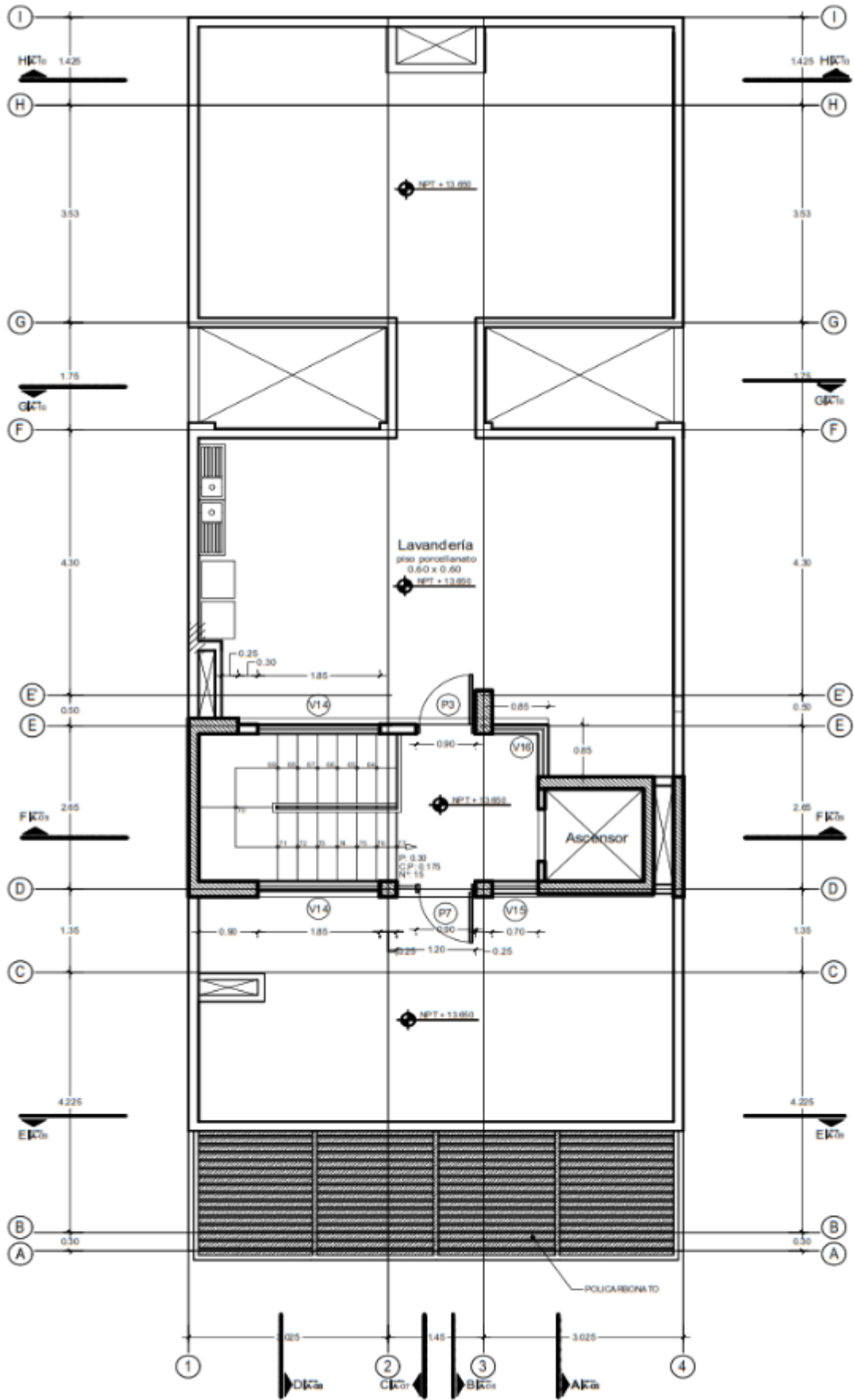


ELEVACION PRINCIPAL

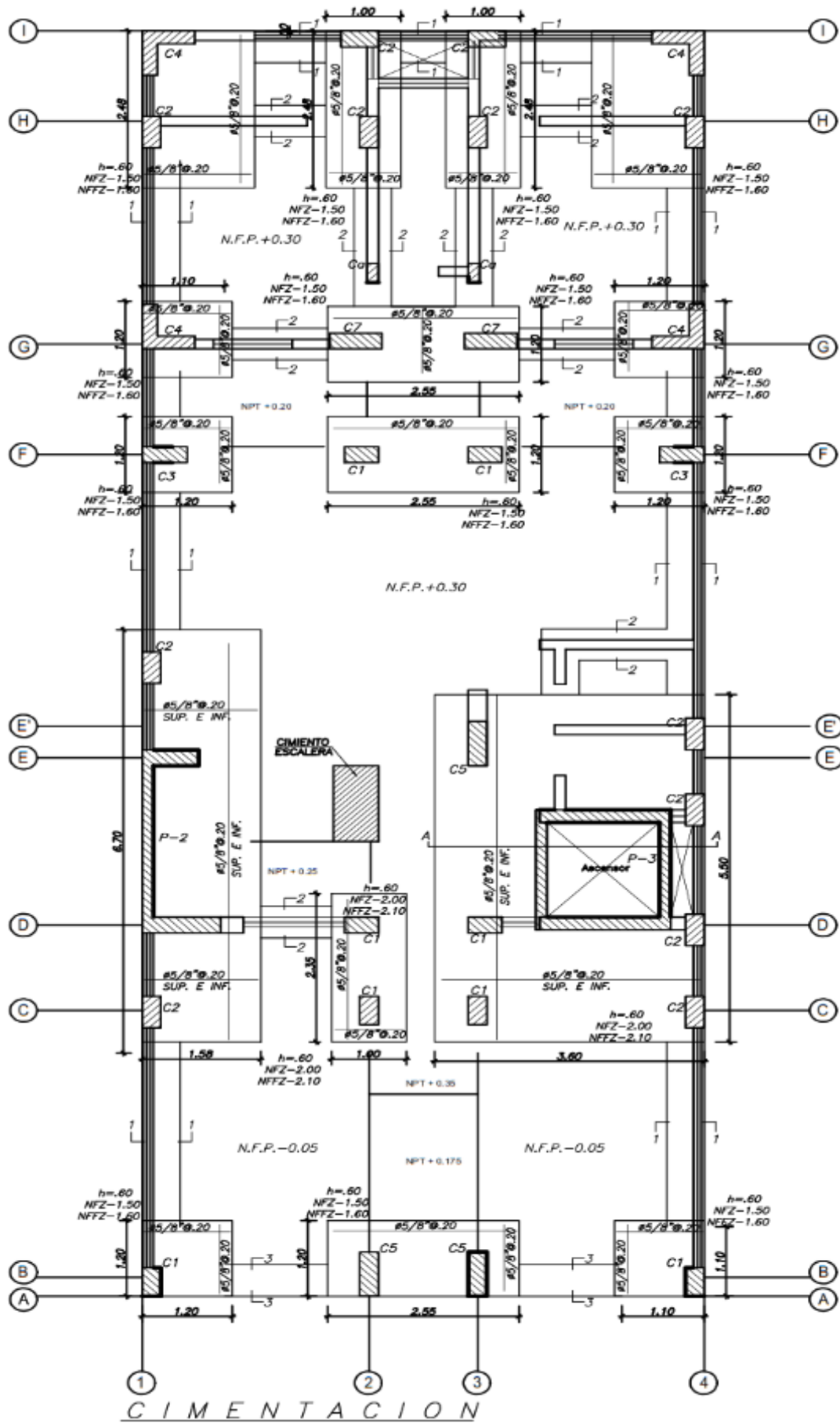
esc.: 1/50








AZOTEA



Anexo 4. Ensayos de mecánica de suelos

 FPT	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-002-082024	Rev. 0
	INFLUENCIA EN LA RESILENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024	FECHA: AGOSTO - 2024	
		ORIGINADO POR: FPT	

SERVICIO DE ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS

“INFLUENCIA EN LA RESILENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024 ”




ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS

Elaborado por:	Ing. Civil Federico Pascual Paucar Tito CIP 44210
Solicita:	Caleb Yair Vargas Diaz

MOQUEGUA - 2024

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
 FEDERICO PAUCAL PAUCAR TITO
 FEDERICO PAUCAL PAUCAR TITO
 ING CIVIL - REG. CIP 44210

 FPT	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-002-082024	Rev. 0
	INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024	FECHA: AGOSTO - 2024	
		ORIGINADO POR: FPT	

1 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION


El Sr. **Caleb Yair Vargas Diaz**, tiene programado hacer una consultoría para el estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación para la **INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024**


1.2 OBJETIVOS GENERAL

Desarrollar el estudio de mecánica de suelos para determinar las características geotécnicas del terreno de fundación por medio de calicata a cielo abierto, en la que se determinará las características del suelo donde se emplazará el servicio en mención; se establecerá la estratigrafía, la identificación de las propiedades físicas y mecánicas, químicas del subsuelo.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Dar a conocer todos los resultados calculados con los respectivos ensayos realizados en laboratorio.
- Interpretar los resultados y de acuerdo a ello brindar las recomendaciones.
- Reconocimiento del terreno
- Distribución y ejecución de muestreos
- Ejecución de ensayos de laboratorio
- Evaluación de los trabajos de campo y laboratorio
- Perfiles estratigráficos
- Análisis de la Capacidad Portante Admisible
- Conclusiones y Recomendaciones

LABORATORIO DE SUELOS Y CIMENTACIÓN
FEDERICO PASCAU PAUZAR TITO

 Federico Pascual Pauzar Tito
 ING CIVIL - REG. CIP 04710

 FPT	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-002-082024	Rev. 0
	INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024	FECHA: AGOSTO - 2024	
		ORIGINADO POR: FPT	

1.3 ANTECEDENTES

Se realizó una extracción de muestra de suelo mediante calicata a cielo abierto en el terreno de fundación y como estudio de las mismas es que se realiza el estudio de suelos.

1.3.1 CLIMA

En Moquegua, los veranos son largos, cómodos, áridos y nublados y los inviernos son cortos, frescos, secos y mayormente despejados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 10 °C a 24 °C y rara vez baja a menos de 9 °C o sube a más de 25 °C.

En base a la puntuación de turismo, las mejores épocas del año para visitar Moquegua para actividades de tiempo caluroso son desde *principios de marzo* hasta *principios de junio* y desde *mediados de agosto* hasta *principios de enero*.

1.3.2 PRECIPITACIONES


En Moquegua la frecuencia de días mojados (aquellos con más de 1 milímetro de precipitación líquida o de un equivalente de líquido) no varía considerablemente según la estación. La frecuencia varía de 0 % a 9 %, y el valor promedio es 2 %.

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. El mes con más días con solo lluvia en Moquegua es febrero, con un promedio de 2.2 días. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 9 % el 16 de febrero.

1.3.3 HUMEDAD

Basamos el nivel de comodidad de la humedad en el punto de rocío, ya que éste determina si el sudor se evaporará de la piel enfriando así el cuerpo. Cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo. A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PASQUEL PÁEZ DE TIRO
FEDERICO PASQUEL PÁEZ DE TIRO
ING. CIVIL - Reg. CP 44210

 FPT	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-002-082024	Rev. 0
	INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024	FECHA: AGOSTO - 2024	
		ORIGINADO POR: FPT	

y el día, el punto de rocío tiende a cambiar más lentamente, así es que, aunque la temperatura baje en la noche, en un día húmedo generalmente la noche es húmeda.

El nivel de humedad percibido en Moquegua, medido por el porcentaje de tiempo en el cual el nivel de comodidad de humedad es bochornoso, opresivo o insoportable, no varía considerablemente durante el año, y permanece prácticamente constante en 0 %.

1.3.5 VIENTOS

La velocidad promedio del viento por hora en Moquegua tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año.

La parte más ventosa del año dura 6.5 meses, del 13 de setiembre al 31 de marzo, con velocidades promedio del viento de más de 9.6 kilómetros por hora. El mes más ventoso del año en Moquegua es enero, con vientos a una velocidad promedio de 11.0 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 5.5 meses, del 31 de marzo al 13 de setiembre. El mes más calmado del año en Moquegua es junio, con vientos a una velocidad promedio de 8.3 kilómetros por hora.

1.3.6 ALTITUD DE LA ZONA


La zona en estudio se encuentra a una altitud de 1.410 m.s.n.m.

1.4 UBICACIÓN

Departamento : Moquegua
 Provincia : Mariscal Nieto
 Distrito : Moquegua

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
 FEDERICO PAUCAR TITO

 Federico Pascual Paucar Tito
 ING. CIVIL - REG. C.O. 44210

 FPT	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-002-082024	Rev. 0
	INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024	FECHA: AGOSTO - 2024	
		ORIGINADO POR: FPT	

2 SISMICIDAD

El marco tectónico regional está gobernado por la interacción de las placas de Nazca y América del Sur. Los principales rasgos tectónicos de la región occidental de Sudamérica, como son la Cordillera de los Andes y la fosa oceánica Perú-Chile, están relacionados con la alta actividad sísmica y otros fenómenos geológicos, como una consecuencia de la interacción de las dos placas convergentes, cuya resultante más notoria es, precisamente, el proceso orogénico contemporáneo constituido por los Andes.

2.1 SISMICIDAD HISTÓRICA


Aunque se tiene referencias históricas del Impacto de terremotos durante el Imperio de los Incas, la información se remonta a la época de la conquista. En la descripción de los sismos se han utilizado como documentos básicos los trabajos de Silgado (1858) y Tesis de los cuales hacemos algunas referencias de eventos sísmicos hasta antes del 23 de junio de 2001.

- **19 de febrero de 1600.** - A las 05:00 Fuerte sismo causado por la explosión del Volcán Huaynaputina (Omate), la lluvia de ceniza oscureció el cielo de la Ciudad de Arequipa, según el relato del Padre Bartolomé Descaurt. Se desplomaron todos los edificios con excepción de los más pequeños, alcanzando una intensidad de XI en la Escala Modificada de Mercalli, en la zona del volcán.
- **03 de Octubre de 1951.**- A las 06:08. Fuerte temblor en el Sur del país. En la ciudad de Tacna se cuartearon las paredes de un edificio moderno, alcanzó una intensidad del grado VI en la Escala Modificada de Mercalli. Se sintió fuertemente en las ciudades de Moquegua y Arica. La posición geográfica fue de -170 Lat. S. y -710 Long. W., y su profundidad de 100 Km.
- **15 de Enero de 1958.**- A las 14:14:29. Terremoto en Arequipa que causó 28 muertos y 133 heridos. Alcanzó una intensidad del grado VII en la Escala Modificada de Mercalli, y de grado VIII en la escala internacional de intensidad sísmica M. S. K. (Medvedev, Sponheuer y Karnik), El pueblo de Yura fue sacudido

LABORATORIO DE SUELOS Y FUNDACIONES
FEDERICO PASCUAL TITO EIRL


Federico Pascual Tito
ING CIVIL Reg. U.P. 44/20

7

 FPT	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-002-082024	Rev. 0
	INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024	FECHA: AGOSTO - 2024	
		ORIGINADO POR: FPT	

fuertemente, el movimiento sísmico también se sintió en las localidades de Chuquibamba, Apiao y Moquegua.

La posición geográfica del epicentro fue localizado en las siguientes coordenadas: -16.479° Lat. y -71.648° long. W, con una prof. focal de 60 Km y una magnitud 6.3.

El día 23 de Junio del 2001 a las 15 horas 30 minutos con uno de los sismos más fuertes de esta última década. El epicentro se localizó a 83 Km mar adentro de la ciudad de Atico, al norte de la ciudad de Arequipa, con un hipocentro de 33 Km. La magnitud momento fue de 8.4 Mw. La aceleración horizontal máxima del suelo medida en la estación Moquegua (Acelerómetro CISMID) es de 250 gals y se calculó una intensidad de VI – VII en la escala Mercalli Modificada. Los departamentos mas afectados por el sismos fueron Tacna, Moquegua, Arequipa y Ayacucho, cubriendo una superficie de 40,000 Km². Aproximadamente 220,000 habitantes sufrieron las consecuencias del sismo.

Según el Instituto de Defensa Civil INDECI se reportó la muerte de 65 personas, 2,700 heridos, 220,000 damnificados y 24,500 viviendas colapsadas, en su mayoría se trata de construcciones de adobe

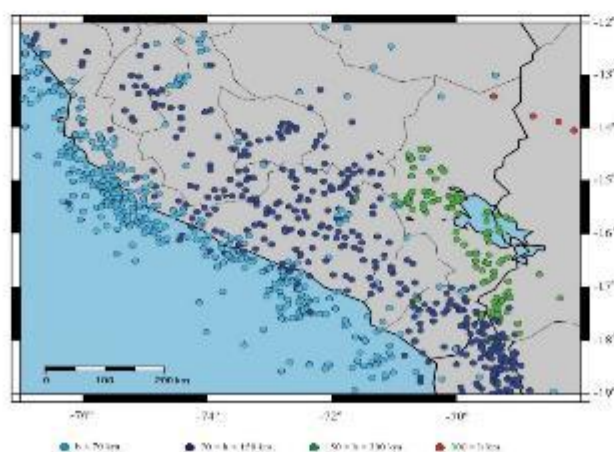


Figura N° 1.- Sismicidad del sur del Perú.

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
 FEDERICO PAUCAL TITO PERÚ
 Federico Pascual Paucar Tito
 ING CIVIL - Reg. D.P. 46210


 FPT	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-002-082024	Rev. 0
	INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024	FECHA: AGOSTO - 2024	
		ORIGINADO POR: FPT	

Tabla N° 1.- Ubicación y magnitud de sismos ocurridos en el sur del peru con una magnitud mayor de 7.0.

FECHA	MAGNITUD		COORDENADAS	
	SILGADO	NEIC(SISRA)	LAT	LONG
01/22/1582	7.9	7.8 MDIH	-16.30	-73.30
1580	7.7	7.7 MDIH	-17.20	-72.90
02/19/1600	7.4	-----	-16.70	-70.90
11/24/1604	8.4	8.4 Ms	-18.00	-71.50
09/16/1615	---	7.5 Ms	-18.50	-70.35
10/21/1687	8.2	-----	-13.00	-77.50
06/22/1715	7.0	-----	-17.30	-70.90
05/13/1784	8.0	7.8 MDIH	-16.50	-72.00
10/08/1831	7.2	-----	-18.47	-71.02
09/18/1833	7.1	-----	-18.25	-71.02
06/13/1868	8.6	8.5 Ms	-18.50	-71.00
05/09/1877	7.4	-----	-19.50	-71.00
05/11/1948	7.1	7.3 Ms	-17.50	-71.00
07/19/1959	7.0	7.0 Ms	-15.00	-70.50
05/23/2001	---	7.9 Ms	-18.25	-73.64


CRITERIOS PARA CÁLCULO DE VELOCIDAD DE ONDAS DE CORTE

Tabla N° 2.- Valores de resistividad y espesores geoelectricos.

SEV	COMPONENTE NORTE	COMPONENTE ESTE	H ₁		H ₂		H ₃		H ₄	
			P ₁	E ₁	P ₂	E ₂	P ₃	E ₃	P ₄	E ₄
01	8092755	291213	1747	0.6	130	3.6	5	66.3	185	---
02	8092657	291308	1330	0.9	726	7.3	8	78	589	---
03	8092514	291385	3931	1.7	237	17.4	19	---	---	---
04	8092437	291265	752	1.0	81	14.4	8	---	---	---
05	8092538	291188	2108	0.8	346	8.4	5	46.8	31	---
06	8092675	291094	140	2.4	53	6.7	5	69.6	172	---
07	8092547	291007	2228	0.9	99	5.1	14	---	---	---
08	8092424	291082	7690	1.5	42	11	13	---	2799	---
09	8092300	291164	1618	1.6	57	21.1	10	48.6	310	---
10	8092435	290905	588	1.3	46	9.3	11	---	---	---
11	8092340	290952	2299	1.4	36	22.8	8	43.1	374	---
12	8092238	291043	3236	1.7	342 3147	7.5 4.3	132	65.7	5575	---
13	8092064	290983	2660	1.5	474	14.3	77	104	1465	---
14	8092187	290906	537	1.0	16	6.1	4	15.9	190	---
15	8092091	290694	---	---	25	1.5	5	25.1	27	---
16	8092025	290705	---	---	50	1.0	5	24	26	---

SEV: Sondeo Eléctrico Vertical H₂: Horizonte Geoelectrico

LABORATORIO DE SONDEOS Y GEOLÓGICO
 FEDERICO PASCAU PAUCA
 Federico Pascual Pauca Tito
 ING. CIVIL Reg. C.P. 64230

 FPT	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-002-082024	Rev. 0
	INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024	FECHA: AGOSTO - 2024	
		ORIGINADO POR: FPT	

2.2 PARÁMETROS SÍSMICOS

Parámetros Sísmicos para este Proyecto, De acuerdo al nuevo mapa de zonificación Sísmica del Perú NTE E-30 2016, el predominio del suelo bajo la cimentación se pudo deducir los siguientes parámetros:

• **FACTOR DE ZONA**

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
MOQUEGUA	GENERAL SÁNCHEZ CERRO	CHOJATA	3	DIEZ DISTRITOS
		COALAQUE		
		ICHUNA		
		LLOQUE		
		NATALAQUE		
		OMATE		
		PUCUNIA		
		QUINISTAGUELLAS		
		LIBINAS		
		YUNGA		
	LA CAPILLA	4	UN DISTRITO	
	MARISCAL NIETO	CARUMAS	3	CINCO DISTRITOS
		CUCHUMBAYA		
		SAMEGUA		
SAN CRISTÓBAL DE CALACCA				
TORATA	4	UN DISTRITO		
I.L.D	EL AGARRORAL	4	TODOS LOS DISTRITOS	
	PACCOCHA			
	I.L.D			



Zona Z4


$Z = 0.45$ que corresponde a la máxima aceleración del terreno con una probabilidad del 10% de ser excedida en 50 años

• **PERFIL DEL SUELO**

Perfil Tipo S2: Suelos intermedios A este tipo corresponden los suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte 7_v , entre 180 m/s y 500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

c.1) Arena densa, gruesa a media, o grava arenosa medianamente densa, con valores del SPT N_{60} , entre 15 y 50.


 LABORATORIO DE SUELOS Y CIMENTACIONES
 FEDERICO PASCUAL PAUCAR TIRO
 Federico Pascual Paucar Tiro
 ING. CIVIL Reg. C.P. 44220

 FPT	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-002-082024	Rev. 0
	INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024	FECHA: AGOSTO - 2024	
		ORIGINADO POR: FPT	

c.2) Suelo cohesivo compacto, con una resistencia al corte en condiciones no drenada S_u , entre 50 kPa (0,5 kg/cm²) y 100 kPa (1 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

- **PARAMETROS DE SITIO (S,TL,TP)**

SUELO ZONA	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₄	0,80	1,00	1,05	1,10
Z ₃	0,80	1,00	1,15	1,20
Z ₂	0,80	1,00	1,20	1,40
Z ₁	0,80	1,00	1,60	2,00


Factor de suelo S=1.05

	Perfil de suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T _P (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T _L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

T_p(S)=0.60

T_L(S)=2.00

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
 FEDERICO PAUCAL PAUCAL
 Federico Pascual Paucal Tito
 ING CIVIL Reg. CP 44730

 FPT	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-002-082024	Rev. 0
	INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024	FECHA: AGOSTO - 2024	
		ORIGINADO POR: FPT	

3 ENSAYOS DE LABORATORIO

Para los fines propuestos, se realizaron los siguientes muestreos:

3.1 Muestreo y Registros de Exploración

Se efectúa los trabajos correspondientes de exploración, lo que nos permite visualizar la estratificación y así describir los horizontes que se encuentren en el suelo a cada nivel de profundidad, se toman las muestras disturbadas y representativas para el ensayo en el laboratorio con el fin de clasificar y determinar sus características físicas, mecánicas y su valor de carga admisible de dicha zona de interés.



3.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

A partir de la información obtenida durante los trabajos de campo se efectuó los ensayos de laboratorio, la clasificación de suelos, contenido de humedad, peso específico, límites de consistencia, de acuerdo a sus características de la muestra en análisis.

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
 FEDERICO PAUCA PAUCA TITIC

 Federico Pascual Paucar Titic
 INGENIERO CIVIL Reg. CP 44210


 FPT	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-002-082024	Rev. 0
	INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024	FECHA: AGOSTO - 2024	
		ORIGINADO POR: FPT	

Tabla N° 3.- Ensayos elaborados en laboratorio

ENSAYO		NORMA MTC ó NTP	NORMA ASTM
<u>ENSAYOS ESTÁNDAR</u>			
Análisis Granulométrico por Tamizado		MTC E 107	ASTM D422
Contenido de Humedad		MTC E 108	ASTM D2216
Límites de Atterberg	Límite Líquido (LL)	MTC E 110	ASTM D4318
	Límite Plástico (LP)	MTC E 111	ASTM D4318
	Índice de Plasticidad	MTC E 111	ASTM D4318
Densidad Natural			
Clasificación de Suelos Método SUCS			ASTM D-2487

Fuente: Elaboración propia, en referencia al Manual de ensayo de Materiales 2016.

4 SUELOS Y TIPO DE SUELOS

4.1 PROCESAMIENTO PARA OBTENCIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE SUELOS

4.1.1 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

De las características de los suelos, se estima con el comportamiento de los suelos, especialmente con el conocimiento de la granulometría, plasticidad e índice de grupo; y luego clasificar los suelos.


La clasificación de suelos se efectuará bajo el sistema de clasificación AASHTO, a continuación, se muestra una clasificación con un comportamiento aproximado de los suelos en correlación con el sistema más difundido de clasificación ASTM (SUCS):

Tabla N° 4.- Correlación de Tipos de Suelos AASHTO - SUCS

CLASIFICACION DE SUELOS AASHTO M-145	CLASIFICACION DE SUELOS SUCS ASTM-D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CI, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: US Army Corps of Engineers


 INSTITUTO DE SUELOS Y CONSTRUCCIÓN
 FEDERICO PASCUAL FAUZARI TITRO
 Federico Pascual Fauzari Titro
 ING. CIVIL - Reg. 01744210

 FPT	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-002-082024	Rev. 0
	INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024	FECHA: AGOSTO - 2024	
		ORIGINADO POR: FPT	

MALLA	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°30	N°40	N°100	N°200	FONDO
%PASA	100.00	99.71	96.30	91.74	87.48	81.70	38.72	17.90	0.00

4.1.1 HUMEDAD Y NAPAS FREÁTICAS

La determinación de la humedad natural (MTC E 108), Mediante la prospección de calicatas, luego de la obtención de muestras y verificación de los materiales constituyentes de la estructura la subrasante presenta una humedad media en el tramo evaluado, no se encontró nivel freático cercano.

HUMEDAD NATURAL	%	10.24

4.1.2 PLASTICIDAD

El análisis granulométrico no permite apreciar esta característica por lo que es necesario determinar los límites de Atterberg, que determinará la cohesión del suelo: El límite Líquido (LL, según el ensayo MTC E 110), el límite Plástico (LP, según el ensayo MTC E 111) y el límite de contracción (LC, según el ensayo MTC E 112), además de ello con la diferencia entre el LL y LP se definirá el Índice de Plasticidad IP (Según el ensayo MTC E 111):

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP = Índice de Plasticidad

LL = Límite Líquido

LP = Límite plástico

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo. Un IP grande corresponde a un suelo arcilloso; por el contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso. En tal sentido, el suelo en relación a su índice de plasticidad puede clasificarse en lo siguiente:

LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO
29.7	25.6	4.1


 LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
 FEDERICO PASCUAL TITO
 Federico Pascual Pascual Tito
 ING. CIVIL Reg. CP 44710


 FPT	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-002-082024	Rev. 0
	INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024	FECHA: AGOSTO - 2024	
		ORIGINADO POR: FPT	

Tabla N° 5.- Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad

IND. PLASTICIDAD	PLASTICIDAD	CARACTERÍSTICA
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos.
$IP \leq 20$ $IP > 7$	Media	Suelos arcillosos.
$IP < 7$	Baja	Suelos poco arcillosos plasticidad.
$IP = 0$	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla.

Fuente: Manual de carreteras- Sección Suelos y Pavimentos.

4.2 ANÁLISIS DE CIMENTACIONES

El diseño de una cimentación debe ser capaz de no solo soportar todas las cargas que imponen la misma estructura, sino el poder adaptarse a las condiciones que impone el suelo que lo rodea.

4.3 CAPACIDAD ADMISIBLE POR RESISTENCIA

La capacidad de carga se ha analizado usando la fórmula de Terzaghi y Peck (1967) con los parámetros de Vesic (1973),

$$q_u = S_c C N_c + S_\gamma \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + S_q \gamma D_f N_q \quad ; \quad q_{ad} = \frac{q_u}{F_s}$$


Donde:

- q_u = capacidad última de carga
- q_{ad} = capacidad admisible de carga
- FS = factor de seguridad = 3
- γ = peso unitario del suelo
- B = Ancho de la cimentación,
- D_f = profundidad de cimentación
- N_c, N_γ, N_q = parámetros de capacidad portante en función de ϕ
- S_c, S_γ, S_q = factores de forma (Vesic, 1979),

$$S_\gamma = 1 - 0,4 \left(\frac{B}{L} \right); \quad S_q = 1 + t g \phi \left(\frac{B}{L} \right);$$

$$S_c = 1 + \left(\frac{N_q}{N_c} \right) \times \left(\frac{B}{L} \right)$$

Los valores de capacidad admisible serán verificados por el asentamiento permisible.

 FPT	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-002-082024	Rev. 0
	INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024	FECHA: AGOSTO - 2024	
		ORIGINADO POR: FPT	

De una serie de investigaciones y pruebas basadas en ensayos de SPT en suelos granulares se ha obtenido relaciones empíricas entre ϕ , D_r y Densidad natural para profundidades menores de 6.00m., los cuales se presentan en el siguiente cuadro:

Tabla N° 1.- Relaciones empíricas entre la Densidad relativa (D_r) y el ángulo de fricción interna (ϕ)

DESCRIPCIÓN	MUY SUELTO	SUELTO	MEDIO	DENSO	MUY DENSO
Densidad Relativa D_r	0 - 0.15	0.15 - 0.35	0.35 - 0.65	0.65 - 0.85	0.85 - 1.00
SPT N_{60}					
Fino 0.075-0.425 mm	1 - 2	3 - 6	7 - 15	16 - 30	
Medio 0.425-2.000 mm	2 - 3	4 - 7	8 - 20	21 - 40	>40
Grueso 2.000-4.750 mm	3 - 6	5 - 9	10 - 25	26 - 45	>45
ϕ					
Fino 0.075-0.425 mm	26 - 28	28 - 30	30 - 34	33 - 38	
Medio 0.425-2.000 mm	27 - 28	30 - 32	32 - 36	36 - 42	
Grueso 2.000-4.750 mm	28 - 30	30 - 34	33 - 40	40 - 50	<50
$\gamma_{saturado}$ (gr/cm^3)	1.1 - 1.6	1.4 - 1.8	1.7 - 2.0	1.7 - 2.2	2.0 - 2.3

Fuente: Ref. Manuel Delgado Vargas / Ingeniería de Cimentaciones/ 2da edición 1999

DENSIDAD MINIMA	DENSIDAD MAXIMA	DENSIDAD NATURAL
1.039	1.298	1.153

4.4 CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS

Los asentamientos se determinarán utilizando los métodos aceptados por la mecánica de suelos.


4.4.1 Asentamientos Inmediatos

El asentamiento inmediato o instantáneo de la cimentación se calculará en base a la teoría de la elasticidad (Lambe y Whitman, 1964).

El asentamiento elástico inicial será:

$$S = \frac{\Delta q_s B(1-u^2)l_f}{E_s}$$

LABORATORIO DE SUELOS Y CIMENTACIONES
 FEDERICO PAUCAL PAUCAL
 Federico Paucal Paucal, TITO
 PAG. DIV. - Reg. CP. 44210

 FPT	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-002-082024	Rev. 0
	INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024	FECHA: AGOSTO - 2024	
		ORIGINADO POR: FPT	

Donde:

S = asentamiento inmediato (cm)

Δq_s = esfuerzo neto transmisible (kg/cm²)

B = ancho de cimentación (cm)

E_s = módulo de Elasticidad (kg/cm²)

ν = relación de Poisson

I_f = factor de influencia que depende de la forma y la rigidez de la cimentación.

Las propiedades elásticas del suelo de cimentación fueron asumidas a partir de tablas publicadas con valores para el tipo de suelo existente donde irá desplantada la cimentación.

CEDIMENTO		
ρ	10.0 mm	Vértice
ρ	20.0 mm	baricentro

4.5 CAPACIDAD DE SOPORTECAPACIDAD PORTANTE

Se plantea determinar la capacidad portante del terreno en base a las características del sub suelo y se verificaran las dimensiones de la cimentación existente.

La Capacidad de carga se determinara en base a la fórmula de Terzaghi y Peck (1967), modificado por Meyerhof y los parámetros de Vesic (1971) con un factor de seguridad FS=3 por encontrarse el proyecto ubicado en una zona sísmica.

Cálculo la Capacidad Portante con la siguiente ecuación:

$$q_u = S_u C N_u + S_v \frac{1}{2} \gamma_v H N_v + S_q \gamma_f D_f N_q$$


q_u = Capacidad ultima de carga

$$q_{ad} = \frac{q_u}{F_s}$$

q_{ad} = Capacidad admisible de carga

F_s = Factor de seguridad = 3(para este caso)

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
 FEDERICO PASCUAL FAUSER TITO
 Federico Pascual Fauser Tito
 ING CIVIL Reg. CIP-44210

 FPT	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-002-082024	Rev. 0
	INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024	FECHA: AGOSTO - 2024	
		ORIGINADO POR: FPT	

γ_t = Peso unitario del suelo de cimentación (kg/m³)

γ_f = Peso unitario del suelo superficial (Kg/m³)

D_f = Profundidad de cimentación (m.)


N_c, N_y, N_q = Parámetros de capacidad portante en función de ϕ

Sc, Sy, Sq = Factores de forma (Vesic, 1979).

C1	Df Profundidad (mts)	B ancho cimentación (mts)	Peso unitario kN/m ³	Ang fricción	Cohesión kN/m ²	Factores Nc	Nq	Ny	Q kg/cm ²	Capacidad Portante adm Qt kg/cm ²	factor de seguridad	Capacidad admisible recomendada control asentamiento kg/cm ²
zapata B (m)	0.80	1.20	11.31	29.50	0	34.24	19.98	23.26	2.87	0.96	3	1.13
	1.00	1.20	11.31	29.50	0	34.24	19.98	23.26	3.33	1.11	3	1.18
	1.30	1.20	11.31	29.50	0	34.24	19.98	23.26	4.02	1.34	3	1.18
	1.50	1.20	11.31	29.50	0	34.24	19.98	23.26	4.49	1.50	3	1.20
1.20	2.00	1.20	11.31	29.50	0	34.24	19.98	23.26	5.64	1.88	3	1.22

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR ZAPATA

.....
Federico Pascual Paucar Tito
ING. CIVIL Reg. CIP 99210

 FPT	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-002-082024	Rev. 0
	INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024	FECHA: AGOSTO - 2024	
		ORIGINADO POR: FPT	

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De los Resultados de registros de excavaciones se ha determinado un perfil estratigráfico que indica que el suelo presenta la siguiente clasificación SM (Arena limosa).
- Capacidad portante en kg/cm²

Calicata N°	Df profundidad (m)	B ancho (m)	Peso Unitario (KN/CM ³)	Ángulo Fricción (°)	F.S.	Cap. Admisible por control de asentamiento Kg/cm ²
C-01	1.50	1.20	11.31	29.50	3	1.20

3. RESUMEN DE PROPIEDADES:

Calicata	PROF. (m)	Ángulo de fricción (°)	Cohesión (kg/cm ²)	Capacidad portante (kg/cm ²)	Límites de Consistencia			Clasificación
					LL	U	LP	
C-01	3.00	29.50	0	1.20	29.7	25.60	4.1	SM

4. PARÁMETROS SÍSMICOS ADOPTADOS

Factor de zona 04 $Z = 0.45$ que corresponde a la máxima aceleración del terreno con una probabilidad del 10% de ser excedida en 50 años

Perfil de suelo Tipo S2.


Factor de amplificación de suelo $S=1.05$

Periodo que define la plataforma del espectro $T_s=0.6$, y $T_L=2.0$

- PARA LA CIMENTACIÓN USAR CEMENTO TIPO IP
- TIPO DE CIMENTACION
El tipo de cimentación será superficial, se puede usar zapatas y/o vigas de cimentación para reducir efectos de asentamientos.
- NIVEL DE CIMENTACIÓN
 - El nivel mínimo de fondo de cimiento es de 1.50 m
- De encontrarse terreno suelto reemplazar con material de cantera para su respectiva compactación
- Los suelos existentes son de arena limosa, de encontrarse moro moro que es común en la zona se recomienda elaborar un ensayo especial para evaluar la expansión.

LABORATORIO DE SUELOS Y CIMENTACION
FEDERICO PAUCAR TITO E.I.R.L.

Federico Paucar Tito
ING CIVIL Reg. 017-94210

 FPT	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-002-082024	Rev. 0
	INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024	FECHA: AGOSTO - 2024	
		ORIGINADO POR: FPT	

6 REFERENCIAS

Mecánica de suelos y cimentaciones LIMUSA Crespo Villalez (1980)

Análisis de la capacidad de carga en cimentaciones Vesic A (1971)

Soil Mechanics Terzagui and Peck (1967)

Reglamento Nacional de edificaciones (2006)

Cimentaciones de Concreto Armado en Edificaciones, ACI

"Distribuciones de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú, V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú" Alva Hurtado J.E. Meneses J Y Guzmán V. (1984).

Carta Geológica IGN

Materiales de construcción Federico Paucar Tito UNI-FIC (1990)

Licuación de suelos gravosos XI-CONIC Trujillo - Peru Martinez V.Alberto (1997)

Ingeniería de Cimentación Braja M Das

Reconocimiento geológico y geodinámico INDECI


Efectos geológicos en edificaciones INGENMMET- CISMID

Microzonificación sísmica de la ciudad de Arequipa CISMID UNI

Zonificación Geotécnica Sísmica UNSA - CEREN

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO

Federico Pascual Paucar Tito
Ing Civil - Reg. C.P. 66710

 FPT	ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	DOCUMENTO: FPT-002-082024	Rev. 0
	INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024	FECHA: AGOSTO - 2024	
		ORIGINADO POR: FPT	

7 ANEXOS

- 7.1 PLANO DE UBICACIÓN DE CALICATAS
- 7.2 PANEL FOTOGRÁFICO
- 7.3 PERFILES ESTRATIGRÁFICOS
- 7.4 ENSAYOS DE LABORATORIO
- 7.5 CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
 FEDERICO PAUCAR TITO S.R.L.

 Federico Pascual Paucar Tito
 ING. CIVIL - Reg. OP 44210

Anexo 5. Capacidad portante del suelo

INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024

CÁLCULO DE LÍMITE DE CARGA

C 1

B =	1.20	[m]	$\phi =$	29.50	[°]	$c\alpha =$	0.00	
L =	1.00	[m]	$\delta =$	0.00	[°]	$\gamma =$	11.31	[kN/m ³]
D =	1.00	[m]	$\beta =$	0.00	[°]	$q_v =$	0.00	[kN/m ²]
ecc.B =	0.00	[m]	$\eta =$	0.00	[°]	$q_b =$	0.00	[kN/m ²]
ecc.L =	0.00	[m]	$c =$	0.00	[kN/n]	FS =	3.00	

Meyerhof:

Nq =	17.39072314
Nc =	28.97050508
Ng =	14.39960213

Los factores de forma

Fcs =	1.70567
Fqs = Fgs =	1.35284

Factor de inclinación

Fci = Fqi =	1
Fgi =	1

Factores de profundidad

Fcd =	1.2858
Fqd = Fgd =	1.1429

$$K_p = 2.9403$$

Vesic:

Nq =	17.39072314
Nc =	28.97050508
Ng =	20.80994105

Los factores de forma

Fcs =	1.72035
Fqs =	1.67893
Fgs =	0.52
D/B =	0.83333

Factor de inclinación

Fci =	1
Fqi =	1
Fgi =	1

F. inclin. Cimentación

bc =	1
bq = bg =	1

Factores de profundidad

Fcd =	1.3333
Fqd =	1.7143
Fgd =	1
K =	0.8333

m =	1.4545
Af =	1.2

Hansen:

Nq =	17.39072314
Nc =	28.97050508
Ng =	13.91013746

Los factores de forma

sc =	1.72035
sq =	1.67893
sg =	0.52
D/B =	0.83333

Factor de inclinación

ic =	1
iq =	1
ig =	1

F. inclin. Cimentación

bc =	1
bq =	1
bg =	1

Factores de profundidad

dc =	1.3333
dq =	1.7143
dg =	1
K =	0.8333

Af =	1.2
------	-----

$q_0 < q_0 \tan \delta + Af c\alpha$	FALSO
--------------------------------------	-------

$\beta < \phi$	VERDADERO
----------------	-----------

$i_q, i_g > 0$	VERDADERO
----------------	-----------

$\beta + \eta < -90^\circ$	VERDADERO
----------------------------	-----------

Terzaghi:

Nq =	19.981
Nc =	34.242
Ng =	23.26

Tipo de la Cimentación

Quadrante

Fatt. d'inclin. Terreno

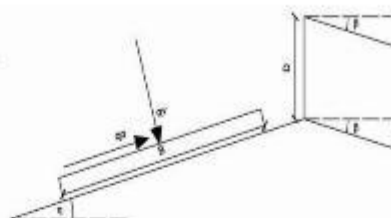
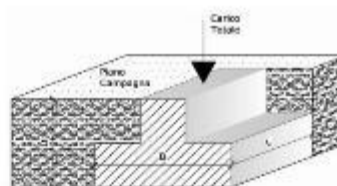
gc =	1
gq = gg =	1

Los factores de forma

sc =	1.3
sg =	0.8

LEGENDA:

- B = Ancho de la cimentación
 L = Longitud de la cimentación
 D = Profundidad de la cimentación
 ecc.B = Excentricidad en B
 ecc.L = Excentricidad en L
 ϕ = Angulo de fricción
 δ = A. inclinación del terreno de fundación.
 β = A. inclinación de la carga
 η = Inclinación de la cimentación
 c = Cohesión
 α = Adhesión a la base de la fundación
 γ = Peso específico del suelo
 q_v = Comp. Vertical de la carga
 q_h = Comp. Horizontal de la carga
 K_p = Coeficiente de empuje pasivo
 A_f = Área efectiva de la cimentación
 FS = Factor de seguridad
 q = Capacidad portante

**Capacità portante secondo Meyerhoff:**

	[kN/m ²]		[kN]		[kN/m ²]
q_{ult} =	455.08	q =	546.09	Q_{amm} =	151.69
	[t/m ²]		[t]		[t/m ²]
q_{ult} =	46.40	q =	55.68	Q_{amm} =	1.55
	[Kg/cm ²]		[Kg]		[Kg/cm ²]
q_{ult} =	4.64	q =	55684.81	Q_{amm} =	1.35

Capacidad portante según Vesic:

	[kN/m ²]		[kN]		[kN]
q_{ult} =	572.46	q =	686.95	Q_{amm} =	190.82
	[t/m ²]		[t]		[t/m ²]
q_{ult} =	58.37	q =	70.05	Q_{amm} =	1.95
	[Kg/cm ²]		[Kg]		[Kg/cm ²]
q_{ult} =	5.84	q =	70047.95	Q_{amm} =	1.95

Capacidad portante según Hansen:

	[kN/m ²]		[kN]		[kN/m ²]
q_{ult} =	579.98	q =	695.97	Q_{amm} =	193.33
	[t/m ²]		[t]		[t/m ²]
q_{ult} =	59.14	q =	70.97	Q_{amm} =	1.97
	[Kg/cm ²]		[Kg]		[Kg/cm ²]
q_{ult} =	5.91	q =	70968.09	Q_{amm} =	1.97

Capacidad portante según Terzaghi:

	[kN/m ²]		[kN]		[kN/m ²]
q_{ult} =	326.92	q =	392.30	Q_{amm} =	108.97
	[t/m ²]		[t]		[t/m ²]
q_{ult} =	33.34	q =	40.00	Q_{amm} =	1.11
	[Kg/cm ²]		[Kg]		[Kg/cm ²]
q_{ult} =	3.33	q =	40003.17	Q_{amm} =	1.11



INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024

C1	Of Profundidad (mts)	E ancho cimentación (mts)	Peso unitario kN/m ³	Ang fricción	Cohesion kN/m ²	Factores Nc	Nc	Ny	Q kg/cm ²	Capacidad Portante adm Qr kg/cm ²	factor de seguridad	Capacidad admisible recomendada control asentamiento kg/cm ²
zapata B (m)	0.80	1.20	11.31	29.50	0	34.24	19.98	23.26	2.87	0.96	3	1.13
	1.00	1.20	11.31	29.50	0	34.24	19.98	23.26	3.33	1.11	3	1.16
	1.30	1.20	11.31	29.50	0	34.24	19.98	23.26	4.02	1.34	3	1.18
	1.50	1.20	11.31	29.50	0	34.24	19.98	23.26	4.49	1.50	3	1.20
1.20	2.00	1.20	11.31	29.50	0	34.24	19.98	23.26	5.64	1.88	3	1.22

ASENTAMIENTO BAJO CARGAS

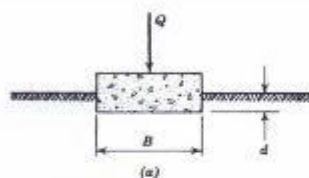
C 1

INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024

$\gamma =$	11.307	[kN/m ³]
$d =$	1.80	[m]
$B =$	1.50	[m]
$L =$	1	[m]
$N\gamma =$	23.26	
$Nq =$	19.98	

$\Delta q_{c,s} =$	354	[kN/m ²]
--------------------	-----	----------------------

1.20 kg/cm²
CAP ADMISIBLE



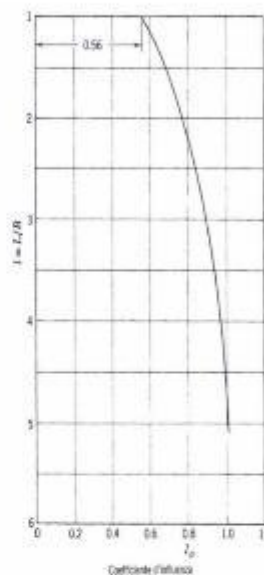
$E =$	27000	[kN/m ²]
$\mu =$	0.3	
$I_p =$	0.56	
$l =$	0.6666667	L / B

CEDIMENTO	
$\rho =$	10.0

[mm] Vertice

$\rho =$	20.0
----------	------

[mm] Baricentro



Valori del coefficiente d'influenza I_p per la determinazione del cedimento indotto da un carico uniformemente distribuito su un'area rettangolare, in funzione del rapporto L/B tra lunghezza e larghezza di quest'ultima. (Da Terzaghi, 1943).

LEYENDA:

$\gamma =$ Peso de volume del terreno
 $d =$ Sbanramento
 $B =$ Base fondale
 $L =$ laghezza fondale
 $N\gamma =$ Paramtri geotecnici
 $Nq =$

$E =$ Modulo di Young
 $\mu =$ Modulo di rigidità
 $I_p =$ Coefficiente d'influenza



LABORATORIO GEOTECNICO E INVESTIGACION DE MATERIALES FEDERICO PAUCAR TITO

LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTERBERG)

NORMA (ASTM D - 4318)

SERVICIO INFLUENCIA EN LA RESILIENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024

SOLICITA : CALEB YAIR VARGAS DIAZ

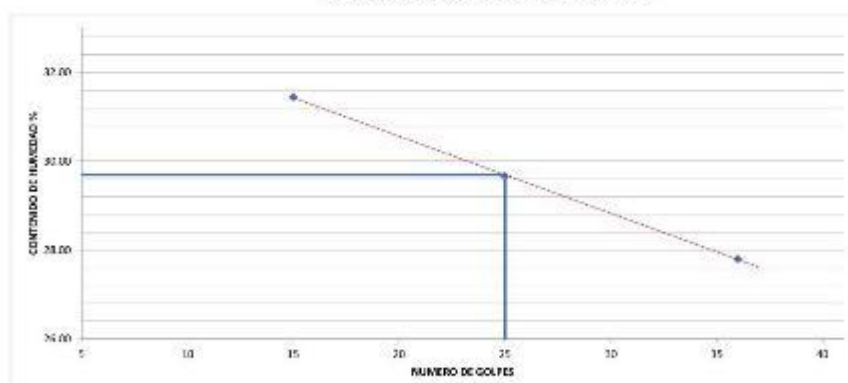
UBICACIÓN : URBANIZACIÓN SANTA FORTUNATA

MUESTRA : CALICATA - D1

FECHA : AGOSTO 2024

No. DE GOLPES	Nº	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
		15	25	36	1	2
Peso de Tara	g	20.85	16.77	21.75	11.45	11.43
Peso de Tara + suelo Humedo	g	39.55	31.72	30.07	12.10	12.19
Peso de Tara + suelo Seco	g	35.10	28.30	28.26	11.97	12.04
Peso de Agua	g	4.45	3.42	1.81	0.13	0.15
Peso de suelo Seco	g	14.15	11.53	6.51	0.52	0.61
Humedad	%	31.45	29.66	27.80	25.73	25.41
L.L.=	29.7 %	LP.= 25.6 %			LP.= 4.1	

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
FEDERICO PAUCAR TITO
Ingeniero Pascual Paucar Tito
ING CIVIL Reg. CP 44710

INGENIERO RESPONSABLE

AV INDUSTRIAL 714 AREQUIPA - JR GRAU 127-1 MOQUEGUA - CEL 963652383 fpaucart@gmail.com Reg. Consultor C 2506 RUC 20447454379



**LABORATORIO GEOTECNICO E INVESTIGACION
DE MATERIALES
FEDERICO PAUCAR TITO E.I.R.L.**

PROPIEDADES FISICAS

SERVICIO : INFLUENCIA EN LA RESILENCIA SÍSMICA MEDIANTE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN DUAL DE CONCRETO ARMADO EN LA CIUDAD DE MOQUEGUA, 2024

SOLICITA : CALEB YAIR VARGAS DIAZ

UBICACIÓN : CALLE PANAMA G-5

MUESTRA : CALICATA - 01

FECHA : Ago-24

HUMEDAD NATURAL

MUESTRA				
PESO DE RECIPIENTE + MUESTRA HUMEDO		506.90		
PESO DE RECIPIENTE + MUESTRA SECO		459.80		
PESO DEL AGUA		47.10		
PESO DEL RECIPIENTE		0.00		
PESO DE MUESTRA SECA		459.80		
% DE HUMEDAD		10.24		
OBSERVACIONES :				
DENSIDAD : MAXIMA, MINIMA, NATURAL				
MUESTRA				
		D MINIMA	D MAXIMA	DENSIDAD NATURAL
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECO		4861	5986	
PESO DEL RECIPIENTE gr		352	352	
PESO DE SUELO gr		4509	5634	
VOLUMEN DE MUESTRA cm ³		4340	4340	
PESO UNITARIO seco	gr/cm ³	1.039	1.298	1.153
	Kg/m ³	1039	1298	1153
	lb/pie ³	64.86	81.04	71.98
	K N /m ³	10.19	12.73	11.31
DENSIDA RELATIVA		$DR = \frac{\gamma_d \text{ max} * (\gamma_d - \gamma_d \text{ min})}{(\gamma_d * (\gamma_d \text{ max} - \gamma_d \text{ min})) * 100} = \%$		49.5
Densidad natural gr/cc=				1.153
Densidad natural KN/m ³ =				11.31
ING. RESPONSABLE				
AV INDUSTRIAL N° 714 APIMA AREQUIPA- CALLE MIGUEL GRAU N°127 MOQUEGUA 953692383				