

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“INFLUENCIA DE LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN LA
RESPUESTA DINÁMICA DE UN EDIFICIO APORTICADO EN CAJAMARCA”**

Para optar el título Profesional de
INGENIERO CIVIL

Presentado por:
BACH. LUIS ANTONIO CONDORLUICHO LUNA

Asesor:
DR. ING. HERMES ROBERTO MOSQUEIRA RAMIREZ

CAJAMARCA – PERÚ
2023

AGRADECIMIENTOS

Ante todo, un especial agradecimiento a mi Dios; por su cuidado y por guiarme durante toda mi trayectoria académica; y porque aún lo sigue haciendo.

Agradezco a mis padres por todo su apoyo, porque pese a todas sus limitaciones y a todas las dificultades, pusieron todo de sí para ayudarme a salir adelante.

Doy gracias a mi asesor porque me apoyó de forma constante y desinteresada en la realización de este proyecto de investigación, así también agradezco a la Universidad Nacional de Cajamarca por formarme académicamente.

DEDICATORIA

Siempre es difícil alcanzar nuestras metas, siempre se presentan obstáculos e incluso hasta pensamos en darnos por vencidos, pero Dios nos rodea de personas que están ahí para darnos todo su apoyo; es así que dedico el presente trabajo de investigación a mis padres y también a mis mejores amigos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3 HIPÓTESIS.....	2
1.4 JUSTIFICACIÓN	2
1.5 DELIMITACIÓN	3
1.6 OBJETIVOS	4
1.6.1 Objetivo General.....	4
1.6.2 Objetivos Específicos	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS	5
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	5
2.1.2 Antecedentes nacionales	6
2.1.3 Antecedentes locales.....	7
2.2 BASES TEÓRICAS.....	9
2.2.1 Interacción Suelo Estructura.....	9
2.2.2 Modelos dinámicos de Interacción Suelo Estructura.....	10
2.2.3 Modelo Dinámico D. D. Barkan – O. A. Savinov	10
2.2.4 Modelo Dinámico de la Norma Rusa SNIP 2.02.05-87	12
2.2.5 Métodos de análisis sísmico	15
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	20

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
3.1.1 Ubicación geográfica.....	22
3.1.2 Ubicación temporal.....	22
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	23
3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	23
3.4 POBLACIÓN, MUESTRA, UNIDAD DE ANÁLISIS Y UNIDAD DE OBSERVACIÓN	23
3.4.1 Población de estudio	23
3.4.2 Muestra	24
3.4.3 Unidad de análisis.....	24
3.4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	24
3.4.5 Técnicas de procesamiento de datos.....	25
3.5 PROCEDIMIENTO.....	25
3.5.1 Descripción de ambientes	25
3.5.2 Descripción de materiales.....	25
3.5.3 Predimensionamiento	26
3.5.4 Metrado de Cargas.....	29
3.5.5 Modelado en ETABS.....	29
3.6 TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	45
3.6.1 Periodos y participación modal	45

3.6.2	Cortantes	47
3.6.3	Desplazamientos	54
3.6.4	Derivas	62
3.6.5	Fuerzas internas en elementos estructurales	71
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		76
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		86
5.1	CONCLUSIONES	86
5.2	RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		88
ANEXOS		91
PLANOS.....		106
ESTUDIO DE SUELOS.....		111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Interacción Suelo Estructura (De la Cruz y otros, 2022)	9
Figura N° 2: Interacción Suelo Estructura en zapata (Villarreal Castro G. , 2009)	10
Figura N° 3: Ubicación proyecto.	22
Figura N° 4: Ejes estructurales.....	28
Figura N° 5: Definición de materiales.....	29
Figura N° 6: Definición de secciones.....	30
Figura N° 7: Asignación de brazos rígidos.	30
Figura N° 8: Patrones de carga.....	31
Figura N° 9: Diafragmas rígidos.	31
Figura N° 10: Discretización de losas.	32
Figura N° 11: Peso sísmico.	32
Figura N° 12: Patrón de carga para sismo estático en X.....	34
Figura N° 13: Patrón de carga para sismo estático en Y.....	34
Figura N° 14: Caso de carga para sismo estático en X.	34
Figura N° 15: Caso de carga para sismo estático en Y.	35
Figura N° 16: Espectro de diseño en ETABS.	36
Figura N° 17: Definición de caso espectral en X.....	37
Figura N° 18: Definición de caso espectral en Y.....	37
Figura N° 19: Corrección por línea base.....	38
Figura N° 20: Escalamiento de sismo.	38
Figura N° 21: Definición de funciones.	39
Figura N° 22: Definición de casos de carga para análisis tiempo historia.....	39
Figura N° 23: Definición de materiales para cimentación.	40
Figura N° 24: Espesor de zapatas.....	40

Figura N° 25: Asignación de masas en la cimentación.....	41
Figura N° 26: Definición de resortes.	42
Figura N° 27: Restricción en la rotación del eje Z.....	42
Figura N° 28: Definición de rigideces y amortiguamiento en ETABS.....	44
Figura N° 29: Asignación de coeficientes dinámicos en resortes.	44
Figura N° 30: Detalle de aligerado.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Valores del coeficiente C_0 por tipo de suelo.....	12
Tabla N° 2: Propiedades del concreto.....	25
Tabla N° 3: Propiedades del acero de refuerzo.....	26
Tabla N° 4: Propiedades del suelo de fundación.....	26
Tabla N° 5: Resumen de zapatas.....	28
Tabla N° 6: Cargas actuantes en la estructura.....	29
Tabla N° 7: Parámetros para análisis sísmico según la E 0.30.	33
Tabla N° 8: Cálculo de masas en zapatas.....	41
Tabla N° 9: Coeficientes de rigidez, según el modelo de Barkan-Savinov.	42
Tabla N° 10: Coeficientes de rigidez, según el modelo de la Norma Rusa.	43
Tabla N° 11: Coeficientes de amortiguamiento, según el modelo de la Norma Rusa.	43
Tabla N° 12: Periodos en los 15 primeros modos.....	45
Tabla N° 13: Periodo fundamental.....	46
Tabla N° 14: Porcentaje de masas participativas.	47
Tabla N° 15: Cortantes por sismo estático en X.	48
Tabla N° 16: Cortantes por sismo estático en Y.	48
Tabla N° 17: Cortantes por sismo espectral en X.	48
Tabla N° 18: Variación porcentual de cortantes por sismo espectral en X.....	49
Tabla N° 19: Cortantes por sismo espectral en Y.	50
Tabla N° 20: Variación porcentual de cortante por sismo espectral en Y.	51
Tabla N° 21: Cortantes por sismo tiempo historia en X.	51
Tabla N° 22: Variación porcentual de cortante por sismo TH en X.	52
Tabla N° 23: Cortantes por sismo tiempo historia en Y.	53
Tabla N° 24: Variación porcentual de cortante por sismo TH en Y.	53

Tabla N° 25: Desplazamientos por sismo estático en X.	54
Tabla N° 26: Variación porcentual de desplazamientos por sismo estático en X.....	55
Tabla N° 27: Desplazamientos por sismo estático en Y.	56
Tabla N° 28: Variación porcentual de desplazamientos por sismo estático en Y.....	56
Tabla N° 29: Desplazamientos por sismo espectral en X.	57
Tabla N° 30: Variación porcentual de desplazamientos por sismo espectral en X.....	58
Tabla N° 31: Desplazamientos por sismo espectral en Y.	58
Tabla N° 32: Variación porcentual de desplazamientos por sismo espectral en Y.....	59
Tabla N° 33: Desplazamientos por sismo TH en X.	60
Tabla N° 34: Variación porcentual de desplazamientos por sismo TH en X.....	60
Tabla N° 35: Desplazamientos por sismo TH en Y.	61
Tabla N° 36: Variación porcentual de desplazamientos por sismo TH en Y.....	62
Tabla N° 37: Derivas por sismo estático en X.	63
Tabla N° 38: Variación porcentual de derivas por sismo estático en X.....	63
Tabla N° 39: Derivas por sismo estático en Y.	64
Tabla N° 40: Variación porcentual de derivas por sismo estático en Y.....	65
Tabla N° 41: Derivas por sismo espectral en X.	65
Tabla N° 42: Variación porcentual de derivas por sismo espectral en X.....	66
Tabla N° 43: Derivas por sismo espectral en Y.	67
Tabla N° 44: Variación porcentual de derivas por sismo espectral en Y.....	67
Tabla N° 45: Derivas por sismo TH en X.	68
Tabla N° 46: Variación porcentual de derivas por sismo TH en X.....	69
Tabla N° 47: Derivas por sismo TH en Y.	69
Tabla N° 48: Variación porcentual de derivas por sismo TH en Y.....	70
Tabla N° 49: Fuerzas internas máximas en columnas por sismo estático.....	71

Tabla N° 50: Variación porcentual de fuerzas internas en columnas por sismo estático.....	71
Tabla N° 51: Fuerzas internas máximas en vigas principales por sismo estático.....	71
Tabla N° 52: Variación porcentual de fuerzas internas en VP por sismo estático.....	72
Tabla N° 53: Fuerzas internas máximas en vigas secundarias por sismo estático.....	72
Tabla N° 54: Variación porcentual de fuerzas internas en VS por sismo estático.....	72
Tabla N° 55: Fuerzas internas máximas en columnas por sismo espectral.....	72
Tabla N° 56: Variación porcentual de fuerzas internas en columnas por sismo espectral.....	73
Tabla N° 57: Fuerzas internas máximas en vigas principales por sismo espectral.....	73
Tabla N° 58: Variación porcentual de fuerzas internas en VP por sismo espectral.....	73
Tabla N° 59: Fuerzas internas máximas en vigas secundarias por sismo espectral.....	73
Tabla N° 60: Variación porcentual de fuerzas internas en VS por sismo espectral.....	74
Tabla N° 61: Fuerzas internas máximas en columnas por sismo TH.....	74
Tabla N° 62: Variación porcentual de fuerzas internas en columnas por sismo TH.	74
Tabla N° 63: Fuerzas internas máximas en vigas principales por sismo TH.....	74
Tabla N° 64: Variación porcentual de fuerzas internas en VP por sismo TH.....	75
Tabla N° 65: Fuerzas internas máximas en vigas secundarias por sismo TH.....	75
Tabla N° 66: Variación porcentual de fuerzas internas en VS por sismo TH.....	75
Tabla N° 67: Módulo de Elasticidad según el tipo de suelo.	91
Tabla N° 68: Módulo de Poisson según el tipo de suelo.....	91
Tabla N° 69: Predimensionamiento de losa aligerada.	92
Tabla N° 70: Predimensionamiento de vigas.	92
Tabla N° 71: Predimensionamiento de columnas.	92
Tabla N° 72: Predimensionamiento de zapatas.....	93
Tabla N° 73: Espectro de diseño.....	101
Tabla N° 74: Presión estática en zapatas.....	103

Tabla N° 75: Modelo dinámico de D.D Barkan O.A Savinov.....	104
Tabla N° 76: Modelo dinámico según la Norma Rusa.....	104

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Espectro de psuedo-aceleraciones en las direcciones X, Y.....	35
Gráfico N° 2: Variación del periodo en los 15 primeros modos.....	46
Gráfico N° 3: Variación porcentual del periodo fundamental en X.....	46
Gráfico N° 4: Variación porcentual del periodo fundamental en Y.....	47
Gráfico N° 5: Cortantes por sismo espectral en X.	49
Gráfico N° 6: Variación porcentual de cortante basal por sismo espectral en X.	50
Gráfico N° 7: Cortantes por sismo espectral en Y.	50
Gráfico N° 8: Variación porcentual de cortante basal por sismo espectral en Y.	51
Gráfico N° 9: Cortantes por sismo tiempo historia en X.	52
Gráfico N° 10: Variación porcentual de cortante basal por sismo TH en X.....	52
Gráfico N° 11: Cortantes por sismo tiempo historia en Y.	53
Gráfico N° 12: Variación porcentual de cortante basal por sismo TH en Y.....	54
Gráfico N° 13: Desplazamientos por sismo estático en X.	55
Gráfico N° 14: Variación porcentual de desplazamiento máximo por sismo estático en X. ...	55
Gráfico N° 15: Desplazamientos por sismo estático en Y.	56
Gráfico N° 16: Variación porcentual de desplazamiento máximo por sismo estático en Y. ...	57
Gráfico N° 17: Desplazamientos por sismo espectral en X.	57
Gráfico N° 18: Variación porcentual de desplazamiento máximo por sismo espectral en X. .	58
Gráfico N° 19: Desplazamientos por sismo espectral en Y.	59
Gráfico N° 20: Variación porcentual de desplazamiento máximo por sismo espectral en Y. .	59
Gráfico N° 21: Desplazamientos por sismo TH en X.	60
Gráfico N° 22: Variación porcentual de desplazamiento máximo por sismo TH en X.	61
Gráfico N° 23: Desplazamientos por sismo TH en Y.	61
Gráfico N° 24: Variación porcentual de desplazamiento máximo por sismo TH en Y.	62

Gráfico N° 25: Derivas por sismo estático en X.	63
Gráfico N° 26: Variación porcentual de deriva máxima por sismo estático en X.	64
Gráfico N° 27: Derivas por sismo estático en Y.	64
Gráfico N° 28: Variación porcentual de deriva máxima por sismo estático en Y.	65
Gráfico N° 29: Derivas por sismo espectral en X.	66
Gráfico N° 30: Variación porcentual de deriva máxima por sismo espectral en X.	66
Gráfico N° 31: Derivas por sismo espectral en Y.	67
Gráfico N° 32: Variación porcentual de deriva máxima por sismo espectral en Y.	68
Gráfico N° 33: Derivas por sismo TH en X.	68
Gráfico N° 34: Variación porcentual de deriva máxima por sismo TH en X.	69
Gráfico N° 35: Derivas por sismo TH en Y.	70
Gráfico N° 36: Variación porcentual de deriva máxima por sismo TH en Y.	70

RESUMEN

La alta sismicidad y la seguridad de las personas son las razones claves para realizar un análisis sísmico que esté lo más cercano a la realidad, razones por la que esta investigación buscó comparar el modelo dinámico que genera una mayor respuesta sísmica en una estructura aporticada con y sin interacción suelo estructura, para los modelos de Barkan y de la Norma Rusa. La investigación de tipo aplicada; de acuerdo al enfoque, cuantitativa; de acuerdo al ámbito, no experimental; y de acuerdo alcance, correlacional. Se modeló la estructura; un edificio aporticado de 5 pisos en un suelo intermedio (S2); en ETABSv20 teniendo como base dos modelos, el primero, la estructura con apoyos empotrados en la base; el segundo, considerando la interacción suelo estructura tomando como referencia a lo propuesto por D.D. Barkan – O. A. Savinov y la Norma Rusa. De los resultados obtenidos, el periodo fundamental se incrementó hasta 17%, la cortante basal se incrementó hasta 20%, así también, los desplazamientos y las derivas se incrementaron en hasta 60% y 46% respectivamente; mientras que las fuerzas internas de los elementos estructurales se redujeron; en columnas: la fuerza axial 7%, la cortante 14% y el momento 19%; para vigas: la reducción fue en cortantes 17% y momentos 21%. Finalmente se concluye que, de los dos modelos dinámicos aplicados, es el modelo de la Norma Rusa la que tiene mayor incidencia en la respuesta dinámica de la edificación.

Palabras clave: Interacción suelo estructura, respuesta dinámica de estructuras, análisis sísmico.

SUMMARY

High seismicity and people's safety are the key reasons to perform a seismic analysis that is as close to reality as possible, so this research sought to compare the dynamic model that generates a higher seismic response in a portal frame structure with and without soil-structure interaction, for the Barkan and the Russian Standard models. The research was according to purpose, applied; according to approach, quantitative; according to scope, non-experimental; and according to scope, correlational. The structure was modeled; a 5-story frame building on an intermediate floor (S2); in ETABSv20 having as basis two models, the first one, the structure with supports embedded in the base; the second one, considering the soil-structure interaction taking as reference the one proposed by D.D. Barkan - O. A. Savinov and the Russian Standard. From the results obtained, the fundamental period increased up to 17%, the basal shear increased up to 20%, also, the displacements and drifts increased up to 60% and 46% respectively; while the internal forces of the structural elements were reduced; in columns: the axial force 7%, the shear 14% and the moment 19%; for beams: the reduction was in shear 17% and moments 21%. Finally, it is concluded that, of the two dynamic models applied, it is the Russian Standard model that has the greatest impact on the dynamic response of the building.

Keywords: Soil-structure interaction, dynamic response of structures, seismic analysis.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Perú es un país altamente sísmico debido a su ubicación en el globo terrestre, parte de su territorio está incluida en la trayectoria del conocido cinturón de fuego, llamado así porque está formado por una gran cantidad de volcanes.

A esto, también se le adiciona los sismos intraplaca, donde la energía se almacena como producto de la deformación en el interior de la placa de Nazca al entrar en contacto con la placa Sudamericana en el proceso de subducción, lo que afecta directamente al continente (Vidal, s.f.)

Ya en nuestro territorio se dan directamente los sismos de foco superficial, que causan daños importantes en la superficie, Cajamarca se ve afectado por diferentes sistemas de fallas, entre los más cercanos tenemos, el sistema de fallas Rioja – Moyobamba en San Martín y la falla Recodo en Amazonas (Tavera, 2020).

Debido a esto, Cajamarca, es una ciudad ubicada en la zona tres del mapa de sismicidad del Perú según el Reglamento nacional de edificaciones.

Es así que Cajamarca se encuentra en un constante peligro de sismo, por lo que el diseño sismorresistente es de gran importancia estructuralmente; para ello la Norma E 0.30 establece los parámetros necesarios para realizar un análisis sísmico estático y un análisis sísmico dinámico; así también; existen modelos dinámicos de interacción suelo estructura que permiten el cálculo de los coeficientes de rigidez dinámico del suelo e incluirlos al análisis sísmico.

La interacción suelo estructura está dada por las variaciones causadas por la acción de una fuerza dinámica externa en la respuesta del suelo, debido a su flexibilidad y al estar en contacto con la cimentación de la estructura. (Tena Colunga, 2019)

Es por lo que, al realizar un análisis sísmico con interacción suelo estructura, la respuesta dinámica cambia en comparación a un análisis sísmico con un apoyo de base empotrada, por ello se busca analizar un edificio aporticado de cinco pisos, comparando valores como el periodo de vibración, deformaciones, derivas y esfuerzos en la estructura para suelos intermedios (S2) usando los modelos dinámicos de interacción suelo estructura de Barkan y la Norma Rusa.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Partiendo de la problemática, se formula la siguiente pregunta:

¿Qué modelo dinámico; aplicando el modelo de Barkan y el modelo de la Norma Rusa; genera mayor influencia de la interacción suelo-estructura en la respuesta dinámica de un edificio aporticado?

1.3 HIPÓTESIS

El modelo de la Norma Rusa tiene una mayor influencia de la interacción suelo-estructura en la respuesta dinámica de un edificio aporticado; al realizar la comparación de un modelo con interacción suelo estructura y un modelo sin interacción suelo estructura.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La interacción entre el suelo y la estructura siempre se va a dar, por esta razón es necesario ampliar el campo de conocimientos con respecto a este tema, con frecuencia se usa un modelo con base empotrada para un análisis sísmico, sin embargo, para este trabajo de investigación se va a adicionar la Interacción Suelo Estructura; en base a lo propuesto por D.D. Barkan – O. A. Savinov y la Norma Rusa; para un suelo intermedio según la E 0.30.

Cajamarca se encuentra en un latente peligro de eventos sísmicos debido principalmente a los sismos intraplaca y al sistema de fallas próximas a nuestra región; así

como se describe en la problemática; esto puede generar daños en las estructuras, por lo que el diseño sismorresistente es importante para garantizar la seguridad.

Entre este tipo de sismos están los Ocurridos en Loreto en el 2019 con intensidad M8.0, el de la frontera entre Perú y Bolivia en 1994 con intensidad M8.4, los sismos en San Martín en 1990 y 1991 con intensidades M6.0 y M6.5 respectivamente (Tavera, 2020).

Un buen diseño sísmico puede lograr salvar la mayor cantidad de vidas ante un terremoto, para ello es necesario tener una mejor comprensión de la Interacción Suelo Estructura por lo que es importante su estudio, análisis y evaluación en edificios de altura mediana, que son los que más comunes en Cajamarca.

En esta investigación se busca comparar los modelos de interacción suelo estructura de Barkan y de la Norma Rusa, determinando así el modelo que genera una mayor respuesta sísmica en una estructura aporticada con y sin interacción suelo estructura. De manera que sirva como una referencia para futuras investigaciones

Los modelos de Interacción Dinámica Suelo Estructura son variados, y este campo de estudio es muy amplio, por lo que esta investigación aclarará algunos aspectos de aplicación teórica para aquellos profesionales interesados en esta área de estudio.

1.5 DELIMITACIÓN

El presente trabajo de investigación se desarrolla en la ciudad de Cajamarca, de la provincia y departamento de Cajamarca, en la República del Perú.

El edificio será de cinco niveles con un sistema estructural aporticado, cuyo uso será el de una vivienda de dimensiones de 7.00m de ancho por 15.00m de largo en un suelo que; de acuerdo al resultado del estudio de suelos, al factor de suelo (S) de 1.15, y a los parámetros de sitio T_P de 0.6s y T_L de 2s, según la Norma 0.30 es de tipo intermedio (S2). Así también el edificio será evaluado teniendo en cuenta un modelo con base empotrada y un modelo que incluya la interacción suelo estructura.

Se diseñará la arquitectura de la edificación, luego se hará la estructuración y predimensionamiento de elementos estructurales y su distribución en planta como en elevación; tales como columnas, vigas, y losas; luego se hará el modelado estructural en ETABSv20.

Para el análisis sísmico se empleará los métodos de análisis sísmico estático y análisis sísmico dinámico, detallados en la norma E 0.30 de diseño sismorresistente.

Los modelos dinámicos de interacción suelo estructura aplicados serán los propuestos por D.D. Barkan – O. A. Savinov y la Norma Rusa.

El periodo de tiempo de la investigación se da durante el año 2022.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo General

Determinar el modelo dinámico que tiene una mayor influencia de interacción suelo-estructura en la respuesta dinámica de un edificio aporticado, para los modelos de Barkan y de la Norma Rusa.

1.6.2 Objetivos Específicos

- a) Comparar la respuesta sísmica de un edificio aporticado con interacción suelo estructura y sin interacción suelo estructura.
- b) Determinar la variación porcentual del resultado de un análisis sísmico estático con y sin interacción suelo estructura para un edificio aporticado.
- c) Calcular la variación porcentual del resultado de un análisis sísmico modal espectral con y sin interacción suelo estructura para un edificio aporticado.
- d) Determinar la variación porcentual del resultado de un análisis sísmico tiempo historia con y sin interacción suelo estructura para un edificio aporticado.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1 *Antecedentes internacionales*

Tejada (2019), en su trabajo de investigación “Efectos de Interacción Suelo- Estructura en la Respuesta Sísmica de Edificios Altos”, analizó la respuesta dinámica de un edificio de 15 pisos, teniendo como consideración un modelo estructural convencional; con bases empotradas; y otro que incluye la interacción suelo estructura, para suelos tipo C, D y E, en referencia a la Norma EC-08, cambiando también el tipo de cimentación, entre zapatas aisladas y losa de cimentación. Los resultados mostraron que el periodo fundamental varía de acuerdo a la rigidez en la base que aporta la ISE, y aumenta en función al nivel de la flexibilidad en la cimentación; además al incluir el amortiguamiento hay una reducción en el cortante basal.

Aguiar y Ortiz (2017), en su investigación titulada “Análisis sísmico de un edificio de doce pisos de la ciudad de Manta considerando interacción suelo estructura”, realizaron el modelo de un edificio con base empotrada, y usando el método modal espectral en las direcciones X, Y; obtuvieron los desplazamientos y esfuerzos de la estructura, posteriormente, en base al método ASCE 10 incluyeron en el modelo la interacción suelo estructura para una cimentación corrida; con vigas de cimentación; finalmente concluyen que el edificio, al estar en un lugar con un suelo muy denso y al empotramiento provocado por el tipo de cimentación, la interacción suelo estructura no causó un cambio notorio en los periodos y desplazamientos.

León (2016), en su tesis “Análisis comparativo del diseño de una edificación de hormigón armado considerando el sistema de base rígida versus la interacción suelo – estructura”, hace la comparación; para el diseño de un edificio de concreto armado; entre un modelo que tiene una base rígida y un modelo que incluye la interacción suelo estructura, para lo cual usó los modelos matemáticos de Barkan y Savinov; y con ayuda del software ETABS 2015 hizo una comparación de resultados, en desplazamientos, periodos de vibración, derivadas,

esfuerzos y cuantías de acero, llegando a la conclusión que los efectos de interacción suelo estructura son directamente proporcionales a la altura del edificio e inversamente proporcionales a la calidad del suelo, por lo que en edificios sobre un suelo macizo rocoso estos efectos son despreciables.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Villarreal y Aguila (2021) en su investigación titulada: “Interacción Suelo-Estructura y su influencia en la respuesta sísmica de edificios de concreto armado”, usan además de los coeficientes de rigidez y amortiguamiento dinámico del suelo, el Método FEMA 440, para modelar una edificación de 4, 8 y 12 pisos, con base empotrada y otra con Interacción Suelo-Estructura en una losa de fundación en estratos de arena densa y arcilla blanda, para luego, comparar la respuesta sísmica de cada modelo. Finalmente concluyen que el considerar el efecto de interacción suelo estructura si influye en la respuesta dinámica de la estructura, sin embargo esta influencia es mayor en suelos más degradados.

Anyaipoma (2019) en su tesis que lleva por título: “Análisis y diseño estructural de una edificación multifamiliar de concreto armado considerando la Interacción Suelo Estructura”, tuvo por objetivo determinar el grado de influencia de la interacción suelo estructura en el análisis y diseño estructural. Su investigación fue no experimental, con un nivel descriptivo. Para ello modeló un edificio de cuatro pisos usando el programa ETABS, para comparar los resultados del modelo con base empotrada y del modelo con base flexible; aplicando la interacción suelo estructura; llegando a la conclusión que el grado de influencia es significativo en el análisis y diseño estructural; donde las derivas, desplazamientos, cortantes y periodos muestran un incremento.

Escobar (2019) en su tesis, titulada: “Análisis y diseño estructural con interacción suelo-estructura de una vivienda multifamiliar de 7 niveles”, tuvo como objetivo no solo hacer el análisis, sino también el diseño estructural, en un modelo cuyas consideraciones incluye la

rigidez del suelo donde será construida la edificación; para ello usó las investigaciones del Dr. Genner Villarreal Castro. Para su investigación hizo el modelamiento; con ayuda del programa ETABS 2015; de un edificio de 7 pisos con la base empotrada y con interacción suelo estructura, donde en base a los resultados; donde, la fuerza sísmica disminuye, aumenta el periodo fundamental de la estructura, hay mayores desplazamientos, la cuantía de acero de vigas, columnas y placas disminuye; concluye que al incluir la variable de interacción suelo estructura se obtiene un diseño más adaptado a la realidad.

2.1.3 Antecedentes locales

Vásquez (2017) en su tesis: “Estudio comparativo del comportamiento estructural de una edificación con y sin disipadores de energía considerando el efecto de la interacción suelo-estructura”, comparó el comportamiento a nivel estructural de un edificio con interacción suelo estructura y disipadores de energía, para ello aplicó la Norma E 0.30 diseño sismorresistente y la ASCE 10; así también aplicó los modelos dinámicos de Barkan y Savinov, y la Norma Rusa; con ayuda del programa ETABS 2016 hizo los modelos respectivos. Al final concluye que el modelo con disipadores de energía tiene un mejor comportamiento estructural en comparación al modelo sin disipadores que incluye el efecto de interacción suelo estructura; con reducción en los esfuerzos, momentos, derivas, desplazamientos y cortantes.

Bustamante (2021) en su tesis que lleva por título: “Comparación de los métodos de cálculo de interacción suelo estructura con la NTP E-0.30. 2018, al determinar la respuesta estructural de la torre II de la clínica Limatambo S.A.C Cajamarca”, hizo una comparación de la respuesta estructural aplicando, la interacción suelo estructura y una base empotrada, siguiendo la norma de diseño sismorresistente E 0.30 en una de las torres de la clínica Limatambo. Usó los métodos de análisis estático, dinámico modal espectral y tiempo historia, para la inclusión de la interacción suelos estructura aplicó los modelos dinámicos D.D. Barkan-O.A. Savinov, A.E. Sargsian, Shariya, Norma Rusa y la ASCE/SEI 41-17. Los resultados

mostraron que al incluir la interacción suelo estructura, en las columnas disminuyó la carga axial, la cortante basal se redujo, los desplazamientos aumentaron, también hubo un aumento en el periodo de vibración, y las derivas se incrementaron, superando el límite establecido por la norma E 0.30.

Estela (2019) en su tesis titulada: “Comparación de la respuesta estructural de una edificación regular con zapatas aisladas en la ciudad de Cajamarca, considerando y obviando los efectos de interacción sísmica suelo-estructura”, tuvo por objetivo el de comparar el análisis sísmico, considerando y sin considerar, la interacción suelo estructura de un edificio de seis pisos, para ello usó los modelos dinámicos D.D. Barkan, Ilichev, Sargsian y la Norma Rusa. Usó los métodos de análisis estático y dinámico, modal espectral y tiempo historia, dados por la Norma E 0.30; para el modelado utilizó el programa ETABSv16. Los resultados mostraron un aumento en los desplazamientos y derivas, cumpliendo aún con los límites dados por la norma de diseño sismorresistente E 0.30, también aumentaron los periodos de vibración y las fuerzas internas de los elementos estructurales, sin embargo, la fuerza cortante basal y las frecuencias disminuyeron en contraste con el análisis con base empotrada.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Interacción Suelo Estructura

La interacción suelo estructura se da ante una fuerza dinámica externa entre la subestructura y la superestructura, que modifica las condiciones iniciales en el suelo, debido a que la cimentación tiene una mayor rigidez, de lo que se deduce la existencia de un desplazamiento relativo de la cimentación en función al suelo, modificando así la respuesta dinámica de la estructura (De la Cruz y otros, 2022).

Para un análisis por interacción suelo estructura, se debe tener en cuenta lo siguiente:

La cimentación se tomará como un cuerpo absolutamente rígido, se describirá como una masa puntual ubicada en su centro de gravedad, y el efecto de sismo se representará como un vector espacial en función del tiempo, en forma de oscilograma de aceleraciones (Villarreal Castro G. A., 2020).

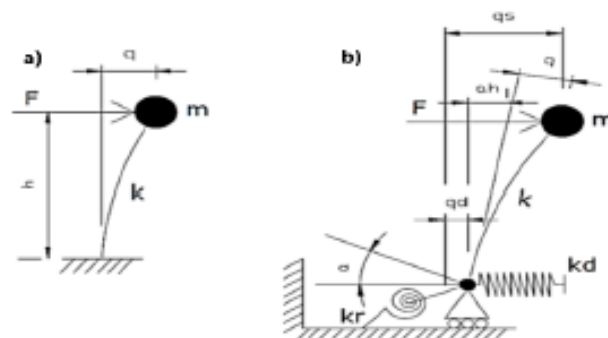


Figura N° 1: Interacción Suelo Estructura (De la Cruz y otros, 2022)

En la figura (a) se tiene una fuerza horizontal que se aplica sobre una masa apoyada en un elemento de rigidez k cuya base está empotrada, en la figura (b) se representa el modelo matemático para la interacción suelo estructura, a diferencia de la figura anterior, su base está apoyada en un apoyo móvil, con resortes de rigidez rotacional y traslacional.

2.2.2 Modelos dinámicos de Interacción Suelo Estructura

Teniendo en cuenta el concepto de Interacción Suelo Estructura, los modelos dinámicos incluyen los coeficientes de rigidez en sus ecuaciones, lo que les da una mayor proximidad con la realidad (Villarreal Castro G. A., 2020)

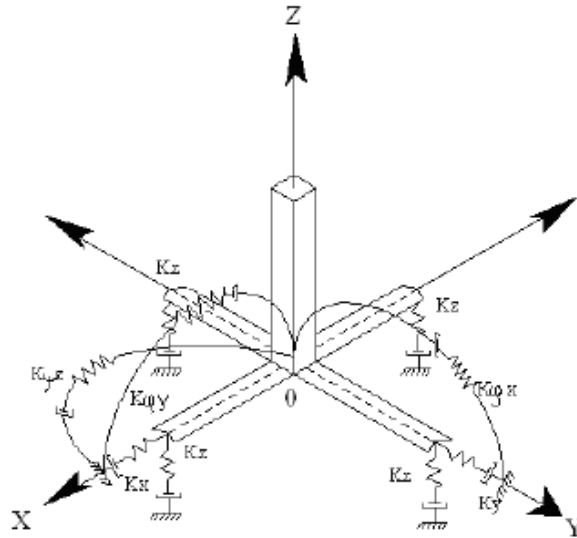


Figura N° 2: Interacción Suelo Estructura en zapata (Villarreal Castro G. , 2009)

Donde:

K_z : Coeficiente de rigidez de compresión elástica uniforme; (kN/m).

K_x, K_y : Coeficientes de rigidez de desplazamiento elástico uniforme; (kN/m).

K_{ϕ_x}, K_{ϕ_y} : Coeficientes de rigidez de compresión elástica no uniforme; (kN.m).

K_{ψ_z} : Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico no uniforme; (kN.m).

Los modelos dinámicos tomados para esta investigación, son:

2.2.3 Modelo Dinámico D. D. Barkan – O. A. Savinov

El científico D. D. Barkan, para calcular los coeficientes de rigidez de la cimentación, planteó las siguientes ecuaciones (Villarreal Castro G. A., 2020):

$$K_z = C_z * A \quad (1)$$

$$K_{(x,y)} = C_{(x,y)} * A \quad (2)$$

$$K_{\varphi(x,y)} = C_{\varphi(x,y)} * I \quad (3)$$

Donde:

$C_{x,y}$: Coeficiente de desplazamiento elástico uniforme (T/m^3).

C_z, C_{φ} : Coeficiente de compresión elástica uniforme y no uniforme (T/m^3).

A: Área de la base de la cimentación (m^2).

I: Momentos de inercia de la base de la cimentación respecto al eje principal, perpendicular al plano de vibración (m^4).

Para calcular los coeficientes de compresión y desplazamiento (C), tenemos

(Villarreal Castro G. A., 2020):

$$C_z = C_0 \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \quad (4)$$

$$C_x = D_0 \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \quad (5)$$

$$C_{\varphi} = C_0 \left[1 + \frac{2(a+3b)}{\Delta A} \right] * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \quad (6)$$

Donde:

C_0, D_0 : Coeficiente (T/m^3) determinado a través de ensayos experimentales para $\rho = \rho_0$ (T/m^2).

a, b: Dimensiones de la cimentación en los ejes X, Y (m).

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

A: Área de la base de la cimentación.

ρ : Presión estática.

Los coeficientes C_0 y D_0 se pueden obtener a partir de (Villarreal Castro G. A.,

2020):

Tabla N° 1: Valores del coeficiente C_0 por 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

Fuente: ISE en edificaciones con zapatas aisladas (Villarreal Castro G. A., 2020)

$$D_0 = \frac{1 - \mu}{1 - 0.5\mu} * C_0 \quad (7)$$

Donde:

μ : Coeficiente de Poisson.

2.2.4 Modelo Dinámico de la Norma Rusa SNIP 2.02.05-87

Los coeficientes de rigidez se calculan mediante las siguientes expresiones

(Villarreal & Aguila, 2021):

$$K_z = C_z * A \quad (8)$$

$$K_{x,y} = C_{x,y} * A \quad (9)$$

$$K_\varphi = C_\varphi * I_\varphi \quad (10)$$

$$K_\Psi = C_\Psi * I_\Psi \quad (11)$$

Donde:

K_z : Coeficiente de rigidez de compresión elástica uniforme (T/m).

$K_{x,y}$: Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico uniforme (T/m).

K_ϕ : Coeficiente de rigidez de compresión elástica no uniforme (T/m).

K_ψ : Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico no uniforme (T/m).

A: Área de la base de la cimentación (m^2).

I_ϕ : Momento de inercia de la base de cimentación respecto al eje horizontal (m^4).

I_ψ : Momento de inercia de la base de cimentación respecto al eje vertical (m^4).

Para el cálculo del coeficiente de compresión elástica uniforme C_z (T/m^3), se puede usar la siguiente fórmula (Villarreal & Aguila, 2021):

$$C_z = b_0 * E * \left[1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right] \quad (12)$$

Donde:

b_0 : Coeficiente (m^{-1}), para suelos arenosos = 1, para arenas arcillosas = 1.2, para arcillas, gravas, cantos rodados, arenas densas = 1.5

E: Módulo de elasticidad del suelo en contacto con la base de cimentación (T/m^2)

A_{10} : $10 m^2$

Los coeficientes de desplazamiento elástico uniforme (C_x), compresión elástica no uniforme (C_ϕ) y desplazamiento elástico no uniforme (C_ψ), se calculan con las siguientes ecuaciones (Villarreal & Aguila, 2021):

$$C_x = 0.7 * C_z \quad (13)$$

$$C_\phi = 2 * C_z \quad (14)$$

$$C_{\Psi} = C_z \quad (15)$$

La amortiguación relativa para vibraciones verticales, se calculará mediante las siguientes fórmulas (Villarreal & Aguila, 2021):

$$\beta_z = 2 * \sqrt{\frac{E}{C_z p_m}} \quad (16)$$

Donde:

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

C_z: Coeficiente de compresión elástica uniforme (T/m³).

P_m: Presión estática media en la base de la cimentación (T/m²).

$$p_m \leq \gamma_{ts} R \quad (17)$$

Donde:

γ_{ts} : Coeficiente de la condición de trabajo del suelo de fundación, para arenas saturadas de grano fino y arcillas de consistencia movediza = 0.7, para el resto de suelos = 1.

R: Resistencia de cálculo del suelo de fundación (T/m²).

Para el cálculo de las amortiguaciones relativas horizontales y rotacionales se puede aplicar las siguientes fórmulas (Villarreal & Aguila, 2021):

$$\beta_x = 0.6 * B_z \quad (18)$$

$$\beta_{\varphi} = 0.5 * B_z \quad (19)$$

$$\beta_{\Psi} = 0.3 * B_z \quad (20)$$

El amortiguamiento del sistema suelo cimentación se calcula mediante las siguientes fórmulas (Villarreal & Aguila, 2021):

$$B_z = 2\beta_z * \sqrt{K_z M_z} \quad (21)$$

$$B_x = 2\beta_x * \sqrt{K_x M_x} \quad (22)$$

$$B_{\varphi} = 2\beta_{\varphi} * \sqrt{K_{\varphi}M_{\varphi}} \quad (23)$$

$$B_{\Psi} = 2\beta_{\Psi} * \sqrt{K_{\Psi}M_{\Psi}} \quad (24)$$

Donde:

β : Amortiguamiento relativo

K: Coeficiente de rigidez

M: Masa de cimentación

2.2.5 Métodos de análisis sísmico

2.2.5.1 Análisis sísmico estático

Este método considera un grupo de fuerzas aplicadas en el centro de masa de cada piso de la edificación (Norma Técnica E 0.30, 2018).

✓ Cortante basal

$$V = \frac{ZUCS}{R} * P \quad (25)$$

Donde:

Z: Factor de zona.

U: Factor de uso.

C: Factor de amplificación sísmica.

S: Factor de suelo.

R: Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas.

P: Peso de la edificación.

Se debe considerar C/R mayor o igual que 0.11 (Norma Técnica E 0.30, 2018).

✓ Distribución de la fuerza sísmica en altura

$$F_i = \alpha_i * V \quad (26)$$

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j(h_j)^k} \quad (27)$$

Donde:

n: Número de pisos del edificio.

k: Exponente relacionado con el periodo fundamental de vibración de la estructura:

Para:

$$T \leq 0.5 \text{ segundos: } k = 1.0$$

$$T > 0.5 \text{ segundos: } k = (0.75 + 0.5 T) \leq 2.0$$

✓ Periodo fundamental de vibración

El periodo fundamental de vibración en cada sentido, se calculará mediante la siguiente expresión (Norma Técnica E 0.30, 2018):

$$T = \frac{h_n}{C_T} \quad (28)$$

$C_T = 35$ Para:

- Pórticos de concreto armado sin muros de corte.
- Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramiento.

$C_T = 45$ Para:

- Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras.
- Pórticos de acero arriostrados.

$C_T = 60$ Para:

- Edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.

✓ Excentricidad accidental

En el análisis para cada dirección se debe considerar una excentricidad accidental en cada piso de 0.05 veces la dimensión del edificio (Norma Técnica E 0.30, 2018).

✓ Fuerzas sísmicas verticales

La fuerza sísmica vertical se tomará como un valor de $\frac{2}{3} * Z * U * S$ (Norma Técnica E 0.30, 2018).

2.2.5.2 Análisis dinámico modal espectral

Puede ser aplicada a cualquier estructura (Norma Técnica E 0.30, 2018).

a) Modos de vibración

Para cada sentido de análisis se tomarán los modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea mayor o igual al 90% de la masa total, sin embargo, se debe tomar en cuenta también, los tres primeros modos que más predominen (Norma Técnica E 0.30, 2018).

b) Aceleración espectral

Se usará un espectro inelástico de pseudo – aceleraciones (Norma Técnica E 0.30, 2018):

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} * g \quad (29)$$

Para la dirección vertical se puede usar un espectro con un valor igual a los 2/3 del espectro usado en la dirección horizontal (Norma Técnica E 0.30, 2018).

c) Criterios de combinación

La máxima respuesta elástica puede calcularse mediante la combinación cuadrática completa de los valores obtenidos para todos los modos (Norma Técnica E 0.30, 2018).

$$r = \sqrt{\sum \sum r_i \rho_{ij} r_j} \quad (30)$$

Siendo:

r: las respuestas modales desplazamientos o fuerzas.

Los coeficientes de correlación se calculan de la siguiente manera:

$$\rho_{ij} = \frac{8\beta^2(1+\lambda)\lambda^{3/2}}{(1-\lambda^2)^2 + 4\beta^2\lambda(1+\lambda)^2} \quad (31)$$

$$\lambda = \frac{\omega_j}{\omega_i} \quad (32)$$

β : Fracción del amortiguamiento crítico, con un valor asumido para cada modo de 0.05.

ω_i, ω_j Frecuencias angulares de los modos i, j.

d) Fuerza cortante mínima

La fuerza cortante del primer entrepiso debe ser mayor al 80% en estructuras regulares y al 90% en estructuras irregulares, caso contrario se escalarán debidamente proporcionados todos los resultados, exceptuando los desplazamientos (Norma Técnica E 0.30, 2018).

e) Excentricidad accidental (Efectos de torsión)

La incertidumbre ubicada en los centros de masa de cada piso se toma como una excentricidad accidental perpendicular en el sentido del sismo de 0.05 veces la dimensión del edificio (Norma Técnica E 0.30, 2018).

2.2.5.3 Análisis dinámico Tiempo – Historia

El método de Tiempo – Historia se usa solo como complemento de los métodos anteriormente descritos; este análisis busca la respuesta estructural en base a un grupo de registros de aceleraciones del terreno (Norma Técnica E 0.30, 2018).

a) Registros de aceleración

Deberán usarse mínimamente tres registros de aceleraciones de terreno en las direcciones Sur – Norte y Este – Oeste, estos deben ser escalados en función al espectro de diseño (Norma Técnica E 0.30, 2018).

b) Modelo para el análisis

Para ello se debe distribuir correctamente las masas de la estructura, cada elemento debe ser considerado con sus respectivas propiedades mecánicas, debe considerarse un amortiguamiento viscoso equivalente de 5% del amortiguamiento crítico. Este modelo permite usar una base empotrada o una base flexible (Norma Técnica E 0.30, 2018).

c) Tratamiento de resultados

Para este caso, la respuesta estructural se evaluará teniendo en cuenta los valores máximos que resultó de aplicar este tipo de análisis. Las derivas podrán ser menores al 125% de las derivas máximas permitidas (Norma Técnica E 0.30, 2018).

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Centro de masa: Es el punto perteneciente a un objeto ubicado en el espacio, cuya ubicación es el promedio de la ubicación de todas las partículas que forman dicho objeto en función a su masa (Hibbeler, 2010).

Cimentación: Se define como una parte de la estructura cuya función es llevar el total de las cargas que en ella actúan al terreno sobre la cual tiene contacto (Norma Técnica E 0.50, 2018).

Cortante basal: Es la fuerza que actúa en la base de la edificación producto de una acción sísmica, y que resulta como la acumulación de la aplicación de fuerzas en cada nivel (Chopra, 2014).

Cuerpo rígido: Es aquel elemento idealizado que no se deforma ante la presencia de fuerzas externas, o internamente, las distancias entre partículas del elemento se mantienen constantes (Hibbeler, 2010).

Deriva: Se define como la relación que existe entre la variación del desplazamiento de dos niveles próximos y su altura (Norma Técnica E 0.30, 2018).

Elementos estructurales: Son cada uno de los componentes que forman parte de la estructura, como las columnas, vigas, zapatas, losas, placas, etc. (Norma Técnica E 0.60, 2009)

Modos de vibración: Es la manera en cómo un sistema vibra, representado la forma en que un nodo se desplaza en relación a los demás nodos del sistema estructural (Chopra, 2014).

Oscilograma de aceleraciones: Es la representación gráfica de las oscilaciones de la aceleración de un sismo en función del tiempo (Villarreal Castro G. A., 2020)

Periodo fundamental: Se define como aquel periodo de mayor tiempo de oscilación, por lo que se usa en el diseño sísmico (Chopra, 2014).

Pórticos: Es un sistema estructural donde las cargas son transmitidas a las vigas, y a la vez, estas las transmiten a las columnas (Norma Técnica E 0.60, 2009).

Sismo: Se define como la vibración percibida en la corteza del globo terrestre debido a diferentes factores, ya sea por un cambio en las capas internas de la tierra, por fallas, una erupción volcánica u otros, cuya intensidad destructiva varía de leve a grave (Vidal, s.f.)

Sistema estructural: Se le conoce así a aquel grupo de elementos destinados a resistir y transmitir las cargas globales de la estructura, existen sistemas aporricados, muros portantes, placas, sistemas duales, etc. (Norma Técnica E 0.60, 2009)

Subducción: Es la superposición de placas tectónicas, producto del choque entre estas, para este caso la corteza oceánica va por debajo de la corteza continental (Vidal, s.f.).

Subestructura: Es la parte de la estructura que se encuentra enterrada en el terreno, o lo que vendría a ser, la cimentación (Oviedo & Duque, 2006).

Suelos intermedios: Se les conoce así a suelos de arena densa, grava arenosa, suelos cohesivos compactos, para valores de Velocidad de Ondas de Corte entre 180 m/s a 500 m/s, y para un Ensayo Estándar de Penetración entre 15 a 50 (Norma Técnica E 0.30, 2018).

Suelos sedimentarios: Se les llama así a los suelos que no se formaron en el mismo lugar donde se encuentran, sino que sus partículas fueron transportadas y depositadas por alguna corriente de agua (Cruzado Vásquez, 2009)

Superestructura: Es la parte de la estructura que está por encima del nivel del terreno donde se ubica (Oviedo & Duque, 2006).

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1 Ubicación geográfica

El lugar de donde se tomará los datos del estudio de suelos para el presente trabajo de investigación es en la ciudad de Cajamarca, en el Jr. Calispuquio, a dos cuadras del Colegio San Ramón de Calispuquio, las coordenadas UTM se muestran a continuación:

Este: 774566.53 m.

Norte: 9206192.06 m.

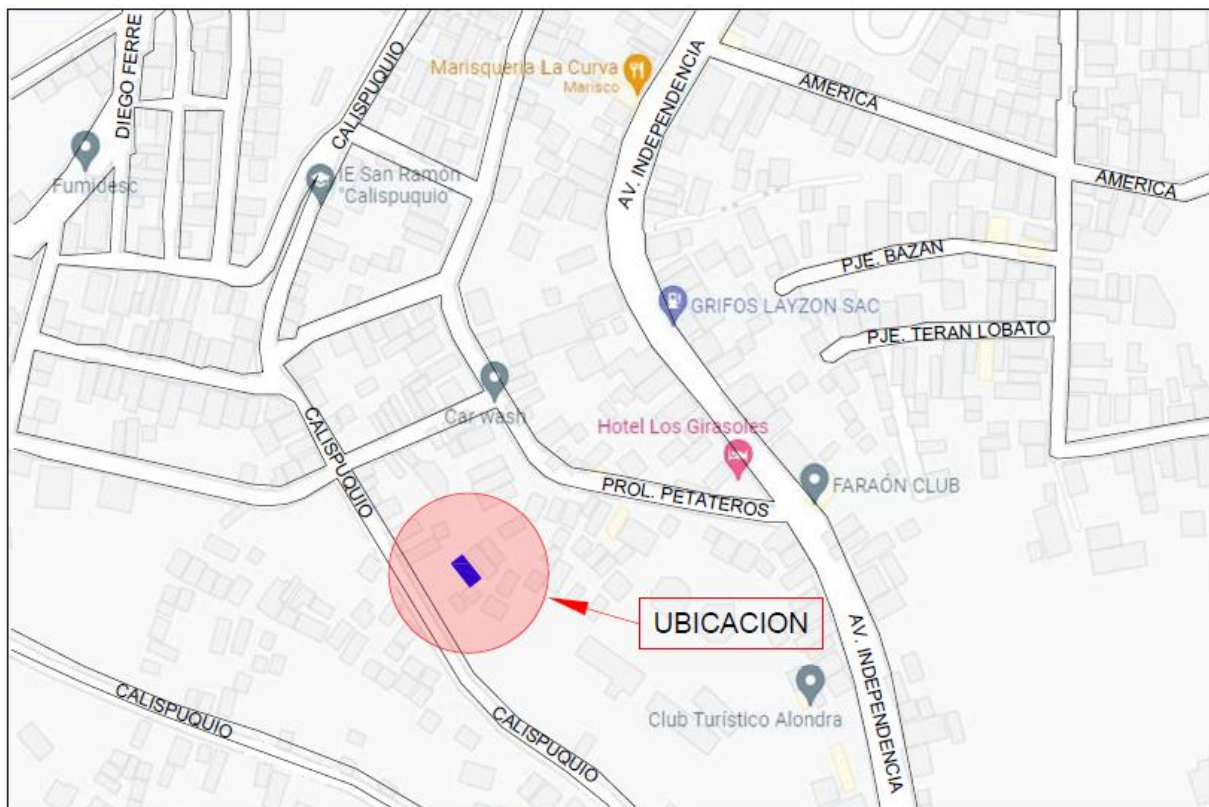


Figura N° 3: Ubicación proyecto.

3.1.2 Ubicación temporal

El desarrollo de la investigación está planteado para el año 2022.

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación de acuerdo al propósito es de tipo aplicada, de acuerdo al enfoque es cuantitativa, de acuerdo al ámbito es no experimental de acuerdo al periodo que se realiza de corte transversal y de acuerdo alcance correlacional.

3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación es no experimental, será descriptiva correlacional y según el enfoque será cuantitativo.

Se modelará la estructura en ETABSv20, un programa muy útil en el diseño y análisis estructural, que además permite incluir los coeficientes de rigidez y coeficientes de amortiguamiento dinámico del suelo, obtenidos de los métodos de interacción suelo estructura.

La investigación se basará en dos modelos, en el primero, la estructura tendrá apoyos empotrados en la base; en el segundo, se considerará la Interacción Suelo Estructura tomando como referencia lo propuesto por D.D. Barkan – O. A. Savinov y la Norma Rusa, para un suelo intermedio (S2).

Finalmente se podrá analizar los resultados en función del periodo de vibración, deformación y esfuerzos internos de la estructura, para cada modelo, y así, determinar el grado de influencia de la interacción suelo estructura en la respuesta dinámica de un edificio, y de esta manera, poder llegar a una conclusión en base a los objetivos ya planteados.

3.4 POBLACIÓN, MUESTRA, UNIDAD DE ANÁLISIS Y UNIDAD DE OBSERVACIÓN

3.4.1 Población de estudio

Edificios de concreto armado, ubicados en la ciudad de Cajamarca.

3.4.2 Muestra

Edificio con un sistema estructural aporticado de cinco pisos en el jr. Calispuquio en la ciudad de Cajamarca, sobre las coordenadas este y norte de 774566.53m y 9206192.06m respectivamente.

3.4.3 Unidad de análisis

Edificio aporticado de 5 pisos de 7.00m x 15.00m de área, en un suelo intermedio (S2) en la ciudad de Cajamarca.

3.4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

A continuación, se muestran las técnicas e instrumentos de recolección de datos a usar en este trabajo de investigación:

- a) **Análisis documental:** Se revisará y recolectará la información dada por el expediente técnico, en este caso se tomará la ubicación del proyecto y las propiedades del suelo. La arquitectura y estructuras del expediente serán usadas como una guía para la arquitectura y estructura que se va a plantear para este trabajo.
 - a.1.- **Planos arquitectónicos:** Son necesarios para el modelo del sistema estructural, distribución, geometría y dimensiones de los elementos estructurales.
 - a.2.- **Reglamentos y Normas:** Principalmente la norma E 0.30 de diseño sismorresistente y la norma E 0.50 de suelos y cimentaciones del Reglamento nacional de edificaciones.
 - a.3.- Se usará investigaciones documentales, para ello se tiene, artículos científicos, libros y reglamentos, de donde se recolectará información, fórmulas, fichas, cuadros y métodos a aplicar.

3.4.5 Técnicas de procesamiento de datos

Para el procesamiento de datos se usará programas de computadora, como:

- a) ETABS: Se usará para hacer el modelado estructural del edificio
- b) Excel: Las hojas de cálculo permitirán procesar datos usando fórmulas, además permite la obtención de gráficos y tablas que serán de importancia al interpretar los resultados.
- c) Word: Se presentarán todos los cálculos, los resultados, análisis y conclusiones.

3.5 PROCEDIMIENTO

3.5.1 Descripción de ambientes

Las dimensiones de la vivienda son de 7 metros en el frente y 15 metros de profundidad, el tipo de terreno es de suelo intermedio. En el primer piso se proyecta un espacio para tienda con medio baño, una cochera, sala, comedor, cocina, lavandería, baño completo, espacios libres y una escalera. Del segundo al quinto piso se proyecta un dormitorio principal con baño completo, 4 dormitorios, una sala de star, un baño completo, pasadizos, espacios libres y una escalera. Para más detalles arquitectónicos, ver anexos.

3.5.2 Descripción de materiales

Las propiedades para el concreto, acero de refuerzo y del suelo se detallan a continuación:

Tabla N° 2: Propiedades del concreto.

DESCRIPCIÓN	DATOS
Resistencia a la compresión ($f'c$) de elementos estructurales	210 kg/cm ²
Peso unitario (γ_c)	2400 kg/m ³
Módulo de elasticidad (E)	217 370.65 kg/cm ²
Módulo de Poisson (μ)	0.15

Tabla N° 3: Propiedades del acero de refuerzo.

DESCRIPCIÓN	DATOS
Esfuerzo de fluencia (f_y)	4200 kg/cm ²
Esfuerzo último (f_s)	6300 kg/cm ²
Peso unitario (γ_c)	7850 kg/m ³
Módulo de elasticidad (E)	2 000 000 kg/cm ²

Tabla N° 4: Propiedades del suelo de fundación.

DESCRIPCIÓN	DATOS
Tipo de suelo según E 0.30	Intermedio (S2)
Tipo de suelo según clasificación SUCS	Limo inorgánico de baja plasticidad (ML)
Capacidad portante (q)	1.01 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (E)	200 kg/cm ²
Módulo de Poisson (μ)	0.30
Peso específico (γ)	0.002 kg/cm ³
Ángulo de fricción interna (ϕ)	15.24°
Cohesión (c)	0.14 kg/cm ²

3.5.3 Predimensionamiento

A continuación, se muestran los valores obtenidos de los cálculos (ver anexos) para el predimensionamiento:

- Losa aligerada

El espesor de losa asignado es de 17 cm, para ello se usó la siguiente expresión:

$$e(\text{losa}) = \frac{ln}{25} \quad (33)$$

Donde “ln” es la distancia entre apoyos.

- Vigas

Las vigas principales son de 30cm x 40cm, ancho y peralte, respectivamente, mientras que las vigas secundarias son de 25cm x 30cm, para este caso pese a que en el predimensionamiento los valores son inferiores a 20cm, se toma el mínimo valor considerado para zonas sísmicas, que es 25cm.

El ancho y el peralte se calculó mediante las siguientes expresiones (Blanco Blasco, 1990):

$$h = \frac{ln}{12} \quad (34)$$

$$b = \frac{2h}{3} \quad (35)$$

- Columnas

Para las dimensiones de la columna se tuvo como base el área mínima a tener en cuenta en lugares sísmicos, 1000 cm², por lo que se optó por columnas de 35cm x 60cm, se tomó el valor más crítico con el objetivo de uniformizar la estructura con un solo tipo de columna, donde el lado de 60cm se aplica al eje “X” con el propósito de obtener una mayor rigidez en este sentido.

La fórmula usada en columnas excéntricas y esquineras es:

$$A_{col} = \frac{P * A * N}{0.35 * f'c} \quad (36)$$

La fórmula usada en columnas céntricas es:

$$A_{col} = \frac{P * A * N}{0.45 * f'c} \quad (37)$$

Donde para un edificio de categoría C, se usa un P = 1000kg/m², A = Área tributaria de cada columna y N = 5 pisos.

- Zapatas

Para el predimensionamiento de zapatas se usó la siguiente fórmula:

$$Az \geq \frac{P * A * N}{k * q_{adm}} \quad (38)$$

Donde, al igual que en las columnas, para un edificio de categoría C, se usa un $P = 1000\text{kg/m}^2$, $A = \text{Área tributaria de cada columna}$, $N = 5$ pisos y un $k = 0.8$ para suelos intermedios. Se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N° 5: Resumen de zapatas.

Tipo	a (m)	b (m)	e (m)
Z-1 (Central)	2.80	1.95	0.50
Z-2 (Perimetral)	1.90	1.90	0.50
Z-3 (Esquinera)	1.65	1.65	0.50

Con base en el predimensionamiento, se definió los ejes estructurales a usar en el modelo:

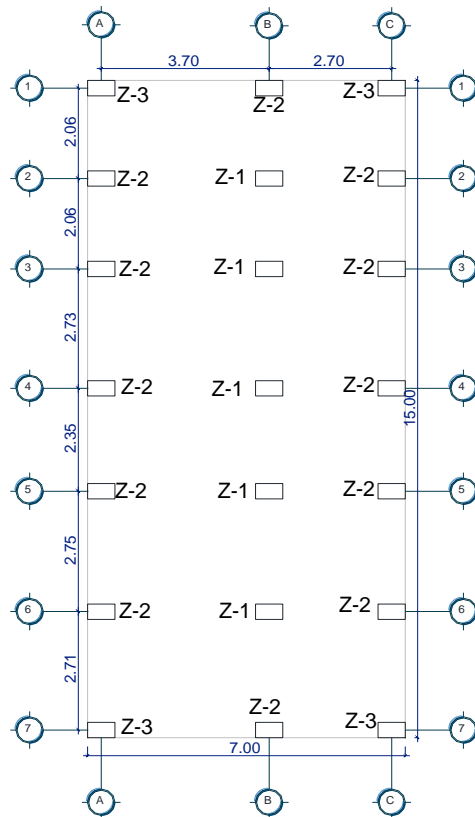


Figura N° 4: Ejes estructurales.

3.5.4 *Metrado de Cargas*

Teniendo como referencia la Norma E 0.20, para una vivienda la carga viva de entrepiso es de 200 kg/m², sin embargo, la carga viva de azotea se considera de 100 kg/m². Para la carga muerta, el Etabs ya calcula el peso propio de la estructura, además, se incluye el peso de acabados de 100 kg/m², el peso de la tabiquería móvil de 100 kg/m², y el peso del ladrillo de techo de 65 kg/m².

Tabla N° 6: Cargas actuantes en la estructura.

Cargas	Valor	Unidad
Carga muerta entrepiso (CM)	265	kg/m2
Carga viva entrepiso (CV)	200	kg/m2
Carga muerta azotea (CM Az)	165	kg/m2
Carga viva azotea (CV Az)	100	kg/m2

3.5.5 *Modelado en ETABS*

Una vez en abierto el programa Etabs, y tras haber establecido los ejes, se define los materiales de concreto (f^c 210 kg/cm²) y acero de refuerzo (f_y 4200 kg/cm²).

The figure shows two side-by-side screenshots of the ETABS material definition dialog boxes. The left dialog is for a concrete material with the following settings: Material Name: f_c 210 kg/cm²; Material Type: Concrete; Directional Symmetry Type: Isotropic; Material Display Color: Blue; Material Notes: Modify/Show Notes...; Material Weight and Mass: Specify Weight Density (selected), Weight per Unit Volume: 2400 kg/m³, Mass per Unit Volume: 2400 kg/m³; Mechanical Property Data: Modulus of Elasticity, E: 2173.71 kgf/mm²; Poisson's Ratio, U: 0.15; Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C; Shear Modulus, G: 945.09 kgf/mm². The right dialog is for a rebar material with the following settings: Material Name: f_y 4200 kg/cm²; Material Type: Rebar; Directional Symmetry Type: Uniaxial; Material Display Color: Green; Material Notes: Modify/Show Notes...; Material Weight and Mass: Specify Weight Density (selected), Weight per Unit Volume: 7850 kg/m³, Mass per Unit Volume: 7850 kg/m³; Mechanical Property Data: Modulus of Elasticity, E: 20000 kgf/mm²; Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C.

Figura N° 5: Definición de materiales.

Siguiendo el paso anterior, se define las secciones de vigas principales y secundarias (V1-30*40; V2-25*30), las columnas (C1-60*35) y el espesor del aligerado (aligerado 17cm), datos establecidos previamente en el predimensionamiento.

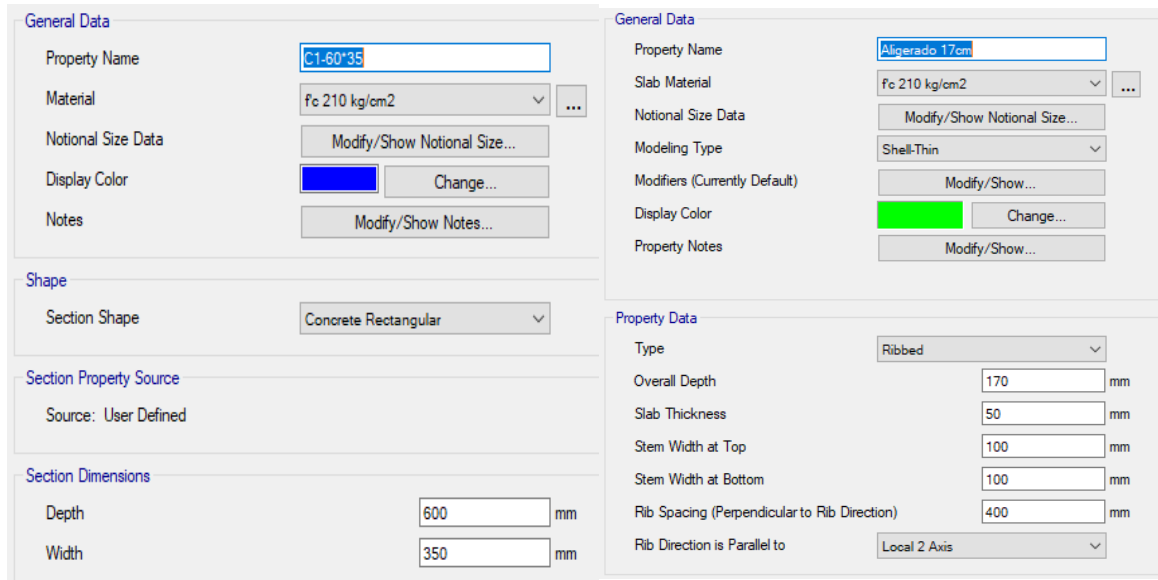


Figura N° 6: Definición de secciones.

Con los materiales y secciones de elementos estructurales ya definidos, se procede con el trazado y modelado de la estructura, se colocan los apoyos en la base y se asignan los brazos rígidos para indicar al programa desde qué punto debe tomar los esfuerzos internos en vigas y columnas.

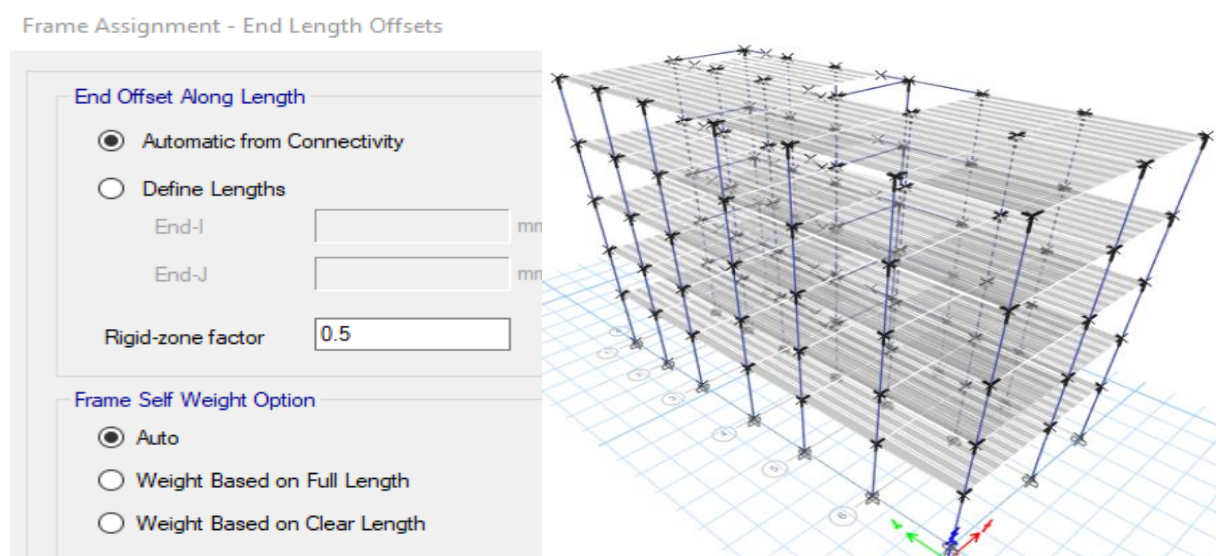


Figura N° 7: Asignación de brazos rígidos.

Seguidamente se define los patrones de carga; carga viva (CV), carga viva de azotea (CVaz), carga muerta (CM) y carga muerta de azotea (CMaz); luego se asignan las cargas actuantes, definidas en el metrado de cargas, indicando que sea el programa en función a los materiales que incluya el peso de la estructura (Peso propio, con el único coeficiente 1).

Load	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
CM az	Super Dead	0	
Peso propio	Dead	1	
CV	Live	0	
CM	Super Dead	0	
CV az	Live	0	
CM az	Super Dead	0	

Figura N° 8: Patrones de carga.

Para uniformizar desplazamientos en la losa, se rigidiza los diafragmas, para ello se define y asigna los diafragmas rígidos, en este caso uno por piso (D1, D2, D3, D4, D5).

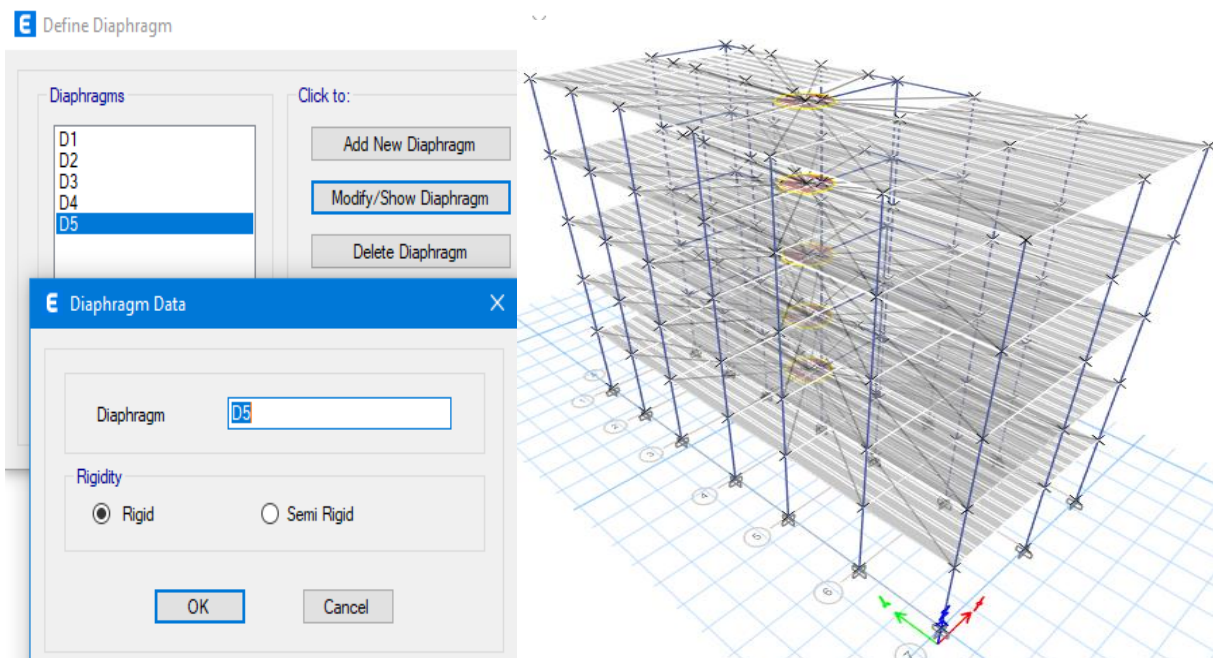


Figura N° 9: Diafragmas rígidos.

Continuando, para que el programa trabaje con elementos finitos sobre elementos área (losas), es necesario discretizarlas, en este caso se tomó una distancia de 50cm.

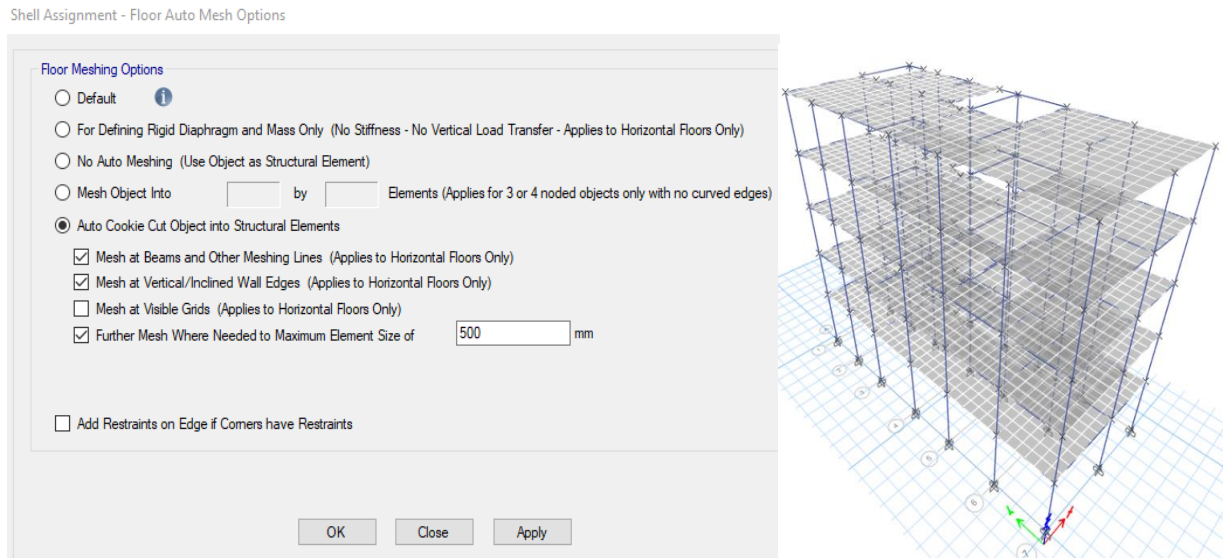


Figura N° 10: Discretización de losas.

Según la Norma de diseño sismorresistente, a la carga muerta se le debe adicionar un porcentaje de la carga viva, para ello se procede a definir el peso sísmico, con coeficientes de 1 y 0.25 para cargas muerta y viva respectivamente.

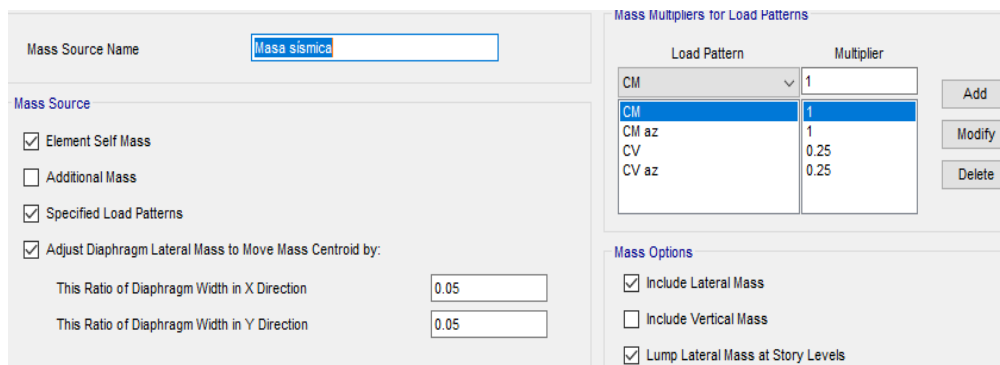


Figura N° 11: Peso sísmico.

Finalmente, ya realizado el modelado completo del edificio se procede a definir los sismos, estático y dinámico, para proceder con su respectivo análisis.

3.5.5.1 Análisis sísmico con base empotrada

- **Análisis Estático**

Para la aplicación del análisis sísmico estático se usó los parámetros de la Norma E-0.30 del 2018 de “Diseño sismorresistente”, teniendo en cuenta que Cajamarca está ubicada en la Zona 3 de sismicidad, que la estructura se apoya sobre un suelo intermedio y será usada como vivienda, y que el sistema estructural es de pórticos considerando una distribución regular tanto en planta como en elevación, tenemos:

Tabla N° 7: Parámetros para análisis sísmico según la E 0.30.

DESCRIPCIÓN	DATOS
Categoría	C
Factor de uso	1
Zona	3
Factor de zona (Z)	0.35
Factor de suelo (S)	1.15
Periodo (T _P)	0.6 seg
Periodo (T _L)	2 seg
Coefficiente de reducción sísmica en “X”	8 (Pórticos)
Coefficiente de reducción sísmica en “Y”	8 (Pórticos)

Del análisis modal hecho en ETABSv20, se obtuvo los periodos fundamentales para cada dirección de análisis, “X, Y”:

$$T_x = 0.369 \text{ seg.}$$

$$T_y = 0.474 \text{ seg.}$$

Como T_p es mayor al periodo fundamental en ambos sentidos, se asigna un factor de amplificación sísmica C = 2.5 y un k = 1.0.

Por lo tanto, tenemos un cortante basal (V) = 0.12578 de P (peso de la estructura), y además se considera una excentricidad accidental de 5%, datos que asignamos en los patrones de carga para los sismos estáticos en X (SE_x) y en Y (SE_y).

Direction and Eccentricity

X Dir Y Dir
 X Dir + Eccentricity Y Dir + Eccentricity
 X Dir - Eccentricity Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.)
 Overwrite Eccentricities

Factors

Base Shear Coefficient, C
 Building Height Exp., K

Story Range

Top Story
 Bottom Story

Figura N° 12: Patrón de carga para sismo estático en X.

Direction and Eccentricity

X Dir Y Dir
 X Dir + Eccentricity Y Dir + Eccentricity
 X Dir - Eccentricity Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.)
 Overwrite Eccentricities

Factors

Base Shear Coefficient, C
 Building Height Exp., K

Story Range

Top Story
 Bottom Story

Figura N° 13: Patrón de carga para sismo estático en Y.

Así también, se asignan los casos de carga para los sismos estáticos en X (SE_x) y en Y (SE_y), donde por defecto asigna la masa sísmica definida previamente.

Load Case Data

General

Load Case Name
 Load Case Type
 Mass Source
 Analysis Model

P-Delta/Nonlinear Stiffness

Use Preset P-Delta Settings
 Use Nonlinear Case (Loads at End of Case NOT Included)
 Nonlinear Case

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	SE _x	1

Figura N° 14: Caso de carga para sismo estático en X.

Load Case Data

General

Load Case Name: SEy [Design...]

Load Case Type: Linear Static [Notes...]

Mass Source: Masa sísmica

Analysis Model: Default

P-Delta/Nonlinear Stiffness

Use Preset P-Delta Settings: None [Modify/Show...]

Use Nonlinear Case (Loads at End of Case NOT Included)

Nonlinear Case: []

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	SEy	1

[Add] [Delete]

Figura N° 15: Caso de carga para sismo estático en Y.

Con esto, una vez procesado el programa (F5), se tiene el análisis estático, los resultados se muestran en el ítem 3.6.

- Análisis Dinámico Modal Espectral**

Para este tipo de análisis sísmico, se construyó primeramente el espectro de pseudo aceleraciones, teniendo como base los parámetros presentados en el ítem del análisis sísmico estático, puesto que estamos analizando la misma estructura, estos parámetros no cambian.

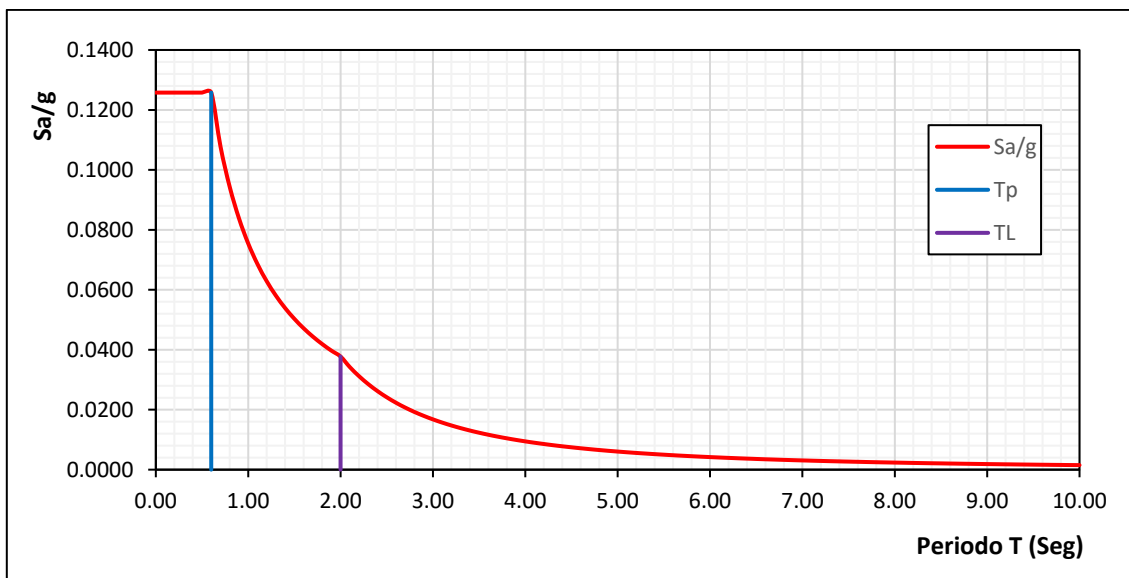


Gráfico N° 1: Espectro de pseudo-aceleraciones en las direcciones X, Y.

Con base a los datos del espectro de diseño (ver anexos), se procede a definir dicha función en el programa ETABS.

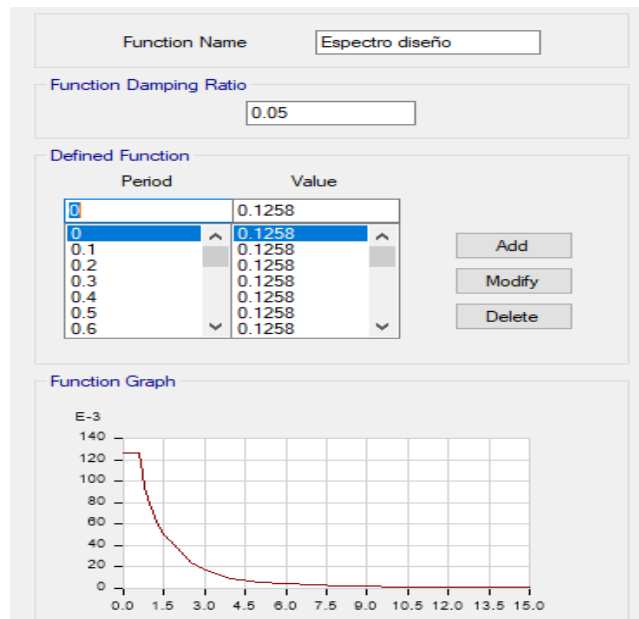


Figura N° 16: Espectro de diseño en ETABS.

Una vez definido el espectro de diseño se procede a definir los casos de carga para el sismo dinámico modal espectral (SDME) para los sentidos X, Y, teniendo en cuenta una excentricidad accidental de 5%. Como el espectro de diseño no fue multiplicado por la aceleración de la gravedad, se incluye el factor de escala de 9.81 para la dirección principal y de $2/3 \cdot 9.81$ (6.54) para la dirección vertical, esto en m/s^2 .

General

Load Case Name: Design...

Load Case Type: Response Spectrum Notes...

Mass Source: Previous (Masa sísmica)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	Espectro diseño	9806.65
Acceleration	U3	Espectro diseño	6537.77

Add Delete

Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0.05 Modify/Show...

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms Modify/Show...

Figura N° 17: Definición de caso espectral en X.

General

Load Case Name: Design...

Load Case Type: Response Spectrum Notes...

Mass Source: Previous (Masa sísmica)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	Espectro diseño	9806.65
Acceleration	U3	Espectro diseño	6537.77

Add Delete

Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0.05 Modify/Show...

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms Modify/Show...

Figura N° 18: Definición de caso espectral en Y.

De esta manera ya tenemos el análisis dinámico modal espectral, los resultados se muestran en el ítem 3.6.

- **Análisis Dinámico Tiempo – Historia**

Para este análisis se usó tres registros sísmicos: El sismo de Ica del 15 agosto del 2007, con una magnitud de 7 MI; el sismo de Loreto del 26 de mayo de 2019, con una magnitud de 8 MI; y el sismo del Sur del Perú del 14 de enero del 2018, con una magnitud de 7.1 MI.

Primeramente, los datos fueron tratados para ser corregidos por línea base con ayuda del programa SeismoSignal, y luego fueron escalados al espectro objetivo (Espectro elástico de pseudo aceleraciones) para lo cual se usó el programa SeismoMatch.

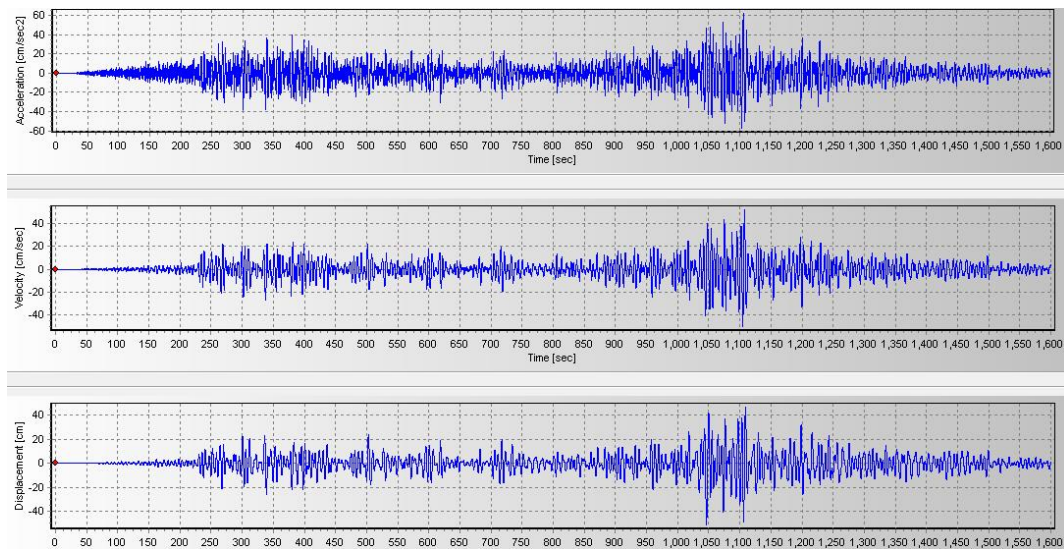


Figura N° 19: Corrección por línea base.

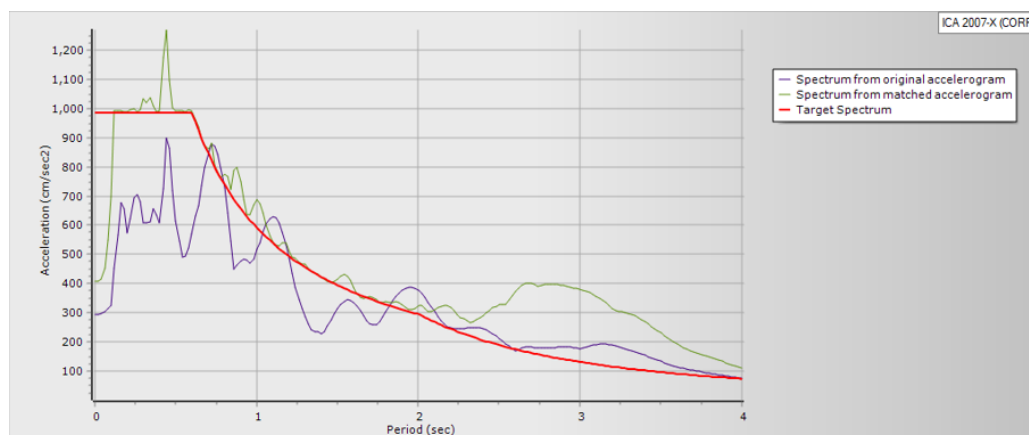


Figura N° 20: Escalamiento de sismo.

Seguidamente se define las seis funciones para el análisis Tiempo Historia en ETABS, usando los tres registros sísmicos en las direcciones principal X, Y.

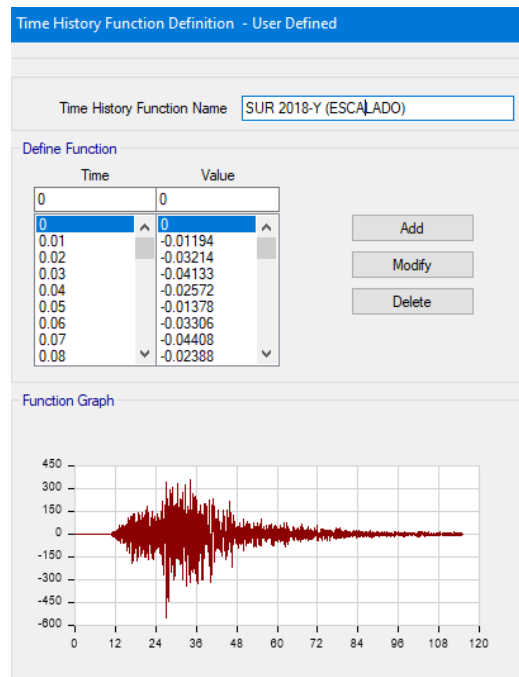


Figura N° 21: Definición de funciones.

Finalmente se define los casos de carga para el análisis dinámico tiempo historia con los sismos de Ica (SDTH – Ica 2007), Sur del Perú (SDTH – Sur 2018), Loreto (SDTH – 2019), asignando su función correspondiente para las direcciones X, Y.

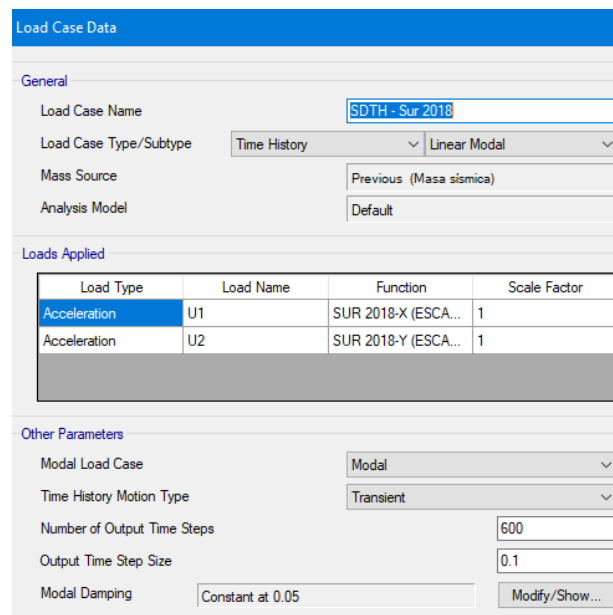


Figura N° 22: Definición de casos de carga para análisis tiempo historia.

Hecho este procedimiento ya tenemos el análisis dinámico tiempo historia en ETABS, los resultados se muestran en el ítem 3.6.

3.5.5.2 Análisis sísmico con interacción suelo estructura

Antes de incluir los coeficientes de rigidez dinámicos en el modelo, y su posterior análisis, lo primero fue proceder a liberar los empotramientos en la base. Seguidamente se definió el material para las zapatas, para ello, se considera una cimentación infinitamente rígida, por lo que se aplica un módulo de Young de $9 \cdot 10^8$ Tn/m² y de Poisson 0.05.

Material Property Data	
General Data	
Material Name	Concreto zapatas
Material Type	Other
Directional Symmetry Type	Isotropic
Material Display Color	Change...
Material Notes	Modify/Show Notes...
Material Weight and Mass	
<input checked="" type="radio"/> Specify Weight Density	<input type="radio"/> Specify Mass Density
Weight per Unit Volume	0 kgf/m³
Mass per Unit Volume	0 kg/m³
Mechanical Property Data	
Modulus of Elasticity, E	900000 kgf/mm²
Poisson's Ratio, U	0.05
Coefficient of Thermal Expansion, A	0.0000099 1/C
Shear Modulus, G	428571.43 kgf/mm²

Figura N° 23: Definición de materiales para cimentación.

Ya teniendo el material para la zapata, se define la sección, con un espesor de 50cm.

Slab Property Data	
General Data	
Property Name	Zapata e=50cm
Slab Material	Concreto zapatas
Notional Size Data	Modify/Show Notional Size...
Modeling Type	Shell-Thick
Modifiers (Currently Default)	Modify/Show...
Display Color	Change...
Property Notes	Modify/Show...
Property Data	
Type	Footing
Thickness	500 mm

Figura N° 24: Espesor de zapatas.

Posteriormente, en el modelo en ETABS; con apoyos liberados, se dibuja las zapatas, centrales, esquineras y perimetrales. Debido a que el material asignado para la cimentación, no ha incluido el peso, se asignan masas calculadas previamente de forma manual.

Tabla N° 8: Cálculo de masas en zapatas.

Zapata	$M_{x,y}$ Tn.s ² /m	M_z Tn.s ² /m	$M_{\phi x}$ Tn.s ² .m	$M_{\phi y}$ Tn.s ² .m	$M_{\psi z}$ Tn.s ² .m
Z-1	0.6679	0.6679	0.2673	0.4920	0.6480
Z-2	0.4416	0.4416	0.1696	0.1696	0.2657
Z-3	0.3330	0.3330	0.1033	0.1033	0.1511

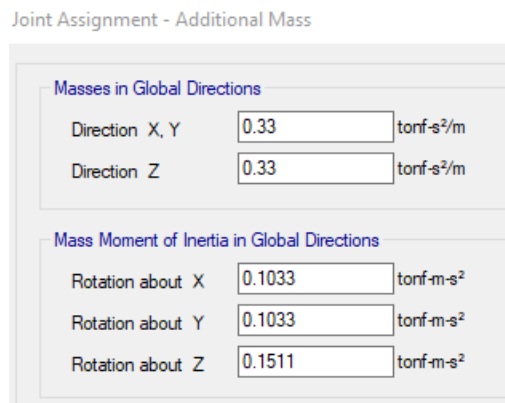


Figura N° 25: Asignación de masas en la cimentación.

Al igual que en las losas, las zapatas también son elementos área, por lo tanto, es necesario discretizar las zapatas.

Finalmente, seguido todo el procedimiento descrito, se procede a incluir las rigideces, para cada modelo dinámico.

- **Modelo Dinámico D. D. Barkan – O. A. Savinov**

Los cálculos realizados para la determinación de los coeficientes de rigidez en cada tipo de zapata, se muestran en los anexos del presente trabajo de investigación, a continuación, se muestran los resultados:

Tabla N° 9: Coeficientes de rigidez, según el modelo de Barkan-Savinov.

Zapata	Kx Tn/m	Ky Tn/m	Kz Tn/m	Kφx Tn.m	Kφy Tn.m	Kφz Tn.m
Z-1	46987	46987	57057	27507	65186	-
Z-2	40043	40043	48625	24546	24546	-
Z-3	33979	33979	41262	15989	15989	-

En ETABS, yendo al comando Point spring properties, se definen mediante resortes los coeficientes de rigidez para luego asignarlos a cada zapata.

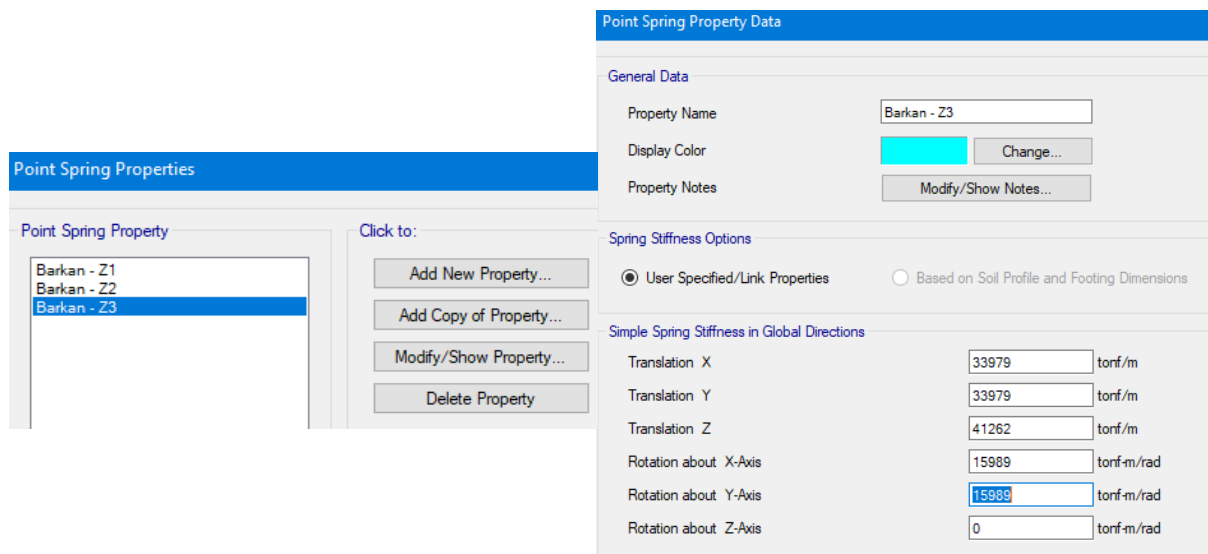


Figura N° 26: Definición de resortes.

Como este modelo dinámico, con incluye la rotación alrededor del eje Z, se agrega esta restricción en la base.

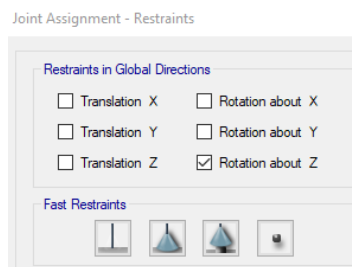


Figura N° 27: Restricción en la rotación del eje Z.

De esta manera se ha incluido la Interacción suelo estructura en el modelo inicial, para el modelo de Barkan, finalmente se procede con el análisis sísmico, resultados que se muestran en el ítem 3.6.

- **Modelo Dinámico de la Norma Rusa**

Este modelo dinámico si considera la rotación alrededor del eje Z, por lo que se tiene seis rigideces para cada zapata, y además incluye otro parámetro, el amortiguamiento, así como se muestra a continuación:

Tabla N° 10: Coeficientes de rigidez, según el modelo de la Norma Rusa.

Zapata	Kx Tn/m	Ky Tn/m	Kz Tn/m	Kφx Tn.m	Kφy Tn.m	Kψz Tn.m
Z-1	26983	26983	38548	24430	50369	37399
Z-2	20198	20198	28855	17361	17361	17361
Z-3	16675	16675	23821	10809	10809	10809

Tabla N° 11: Coeficientes de amortiguamiento, según el modelo de la Norma Rusa.

Zapata	Bx Tn.s/m	By Tn.s/m	Bz Tn.s/m	Bφx Tn.s.m	Bφy Tn.s.m	Bψz Tn.s.m
Z-1	53.96	53.96	107.49	27.07	52.73	31.29
Z-2	35.68	35.68	71.07	17.08	17.08	12.83
Z-3	26.91	26.91	53.60	10.05	10.05	7.30

Para incluir el amortiguamiento, además de la rigidez en ETABS, se hace uso del comando Define link properties, donde se define una propiedad para cada zapata (Z1, Z2, Z3), colocando sus respectivos coeficientes para los seis grados de libertad, seguidamente se asignan estas propiedades a los resortes (Point spring properties), resortes que se asignarán posteriormente en las zapatas.

Figura N° 28: Definición de rigideces y amortiguamiento en ETABS.

Figura N° 29: Asignación de coeficientes dinámicos en resortes.

Con esto, se ha incluido los coeficientes dinámicos según el modelo de la Norma Rusa, finalmente se procede con el análisis sísmico, los resultados se muestran en el siguiente ítem.

3.6 TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Con ayuda del ETABSv20, una vez hecho el modelado completo, se obtuvo los resultados de los diferentes análisis sísmicos, tanto para una base empotrada y considerando los modelos dinámicos de D.D. Barkan – O.A. Savinov y la Norma Rusa.

Los resultados; para el periodo fundamental y participación modal, la cortante basal, desplazamientos máximos, derivas, y fuerzas internas en los elementos estructurales; fueron organizados en tablas y gráficos para su correcta interpretación, los cuales se presentan a continuación:

3.6.1 Periodos y participación modal

A continuación, en la Tabla N° 12 y en la Gráfica N° 2, se muestran los resultados referentes al periodo de la estructura, en las direcciones X-X, Y-Y, para los primeros 15 modos de vibración con las respectivas consideraciones en la base.

Tabla N° 12: Periodos en los 15 primeros modos.

Modo	Empotrado (seg)	Barkan (seg)	Norma Rusa (seg)
1	0.474	0.498	0.509
2	0.369	0.409	0.430
3	0.338	0.372	0.388
4	0.148	0.153	0.156
5	0.111	0.119	0.122
6	0.102	0.109	0.112
7	0.080	0.082	0.083
8	0.057	0.060	0.061
9	0.053	0.055	0.056
10	0.052	0.053	0.053
11	0.039	0.039	0.039
12	0.036	0.037	0.037
13	0.033	0.034	0.034
14	0.026	0.026	0.026
15	0.024	0.024	0.024

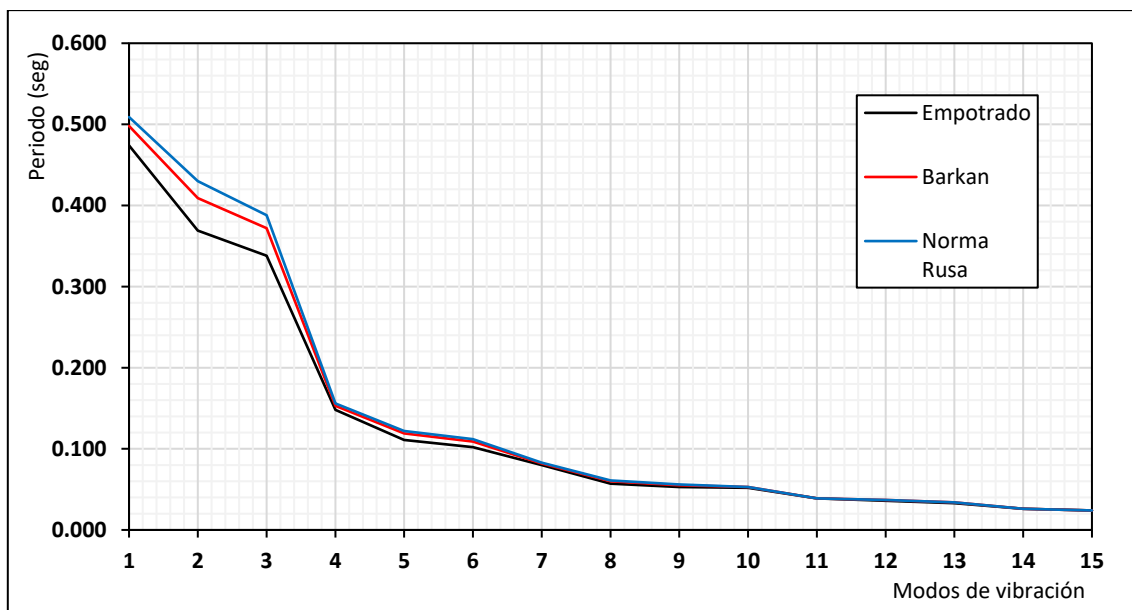


Gráfico N° 2: Variación del periodo en los 15 primeros modos.

De lo anterior, podemos seleccionar el periodo fundamental de la estructura, así como se muestra en la Tabla N° 13, tanto para el eje X, como para el eje Y, y así en los Gráfico N° 3 y 4 se muestran las variaciones en porcentajes para cada tipo de apoyo en la base.

Tabla N° 13: Periodo fundamental.

Periodo	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
Tx (seg)	0.369	0.409	0.430
Ty (seg)	0.474	0.498	0.509

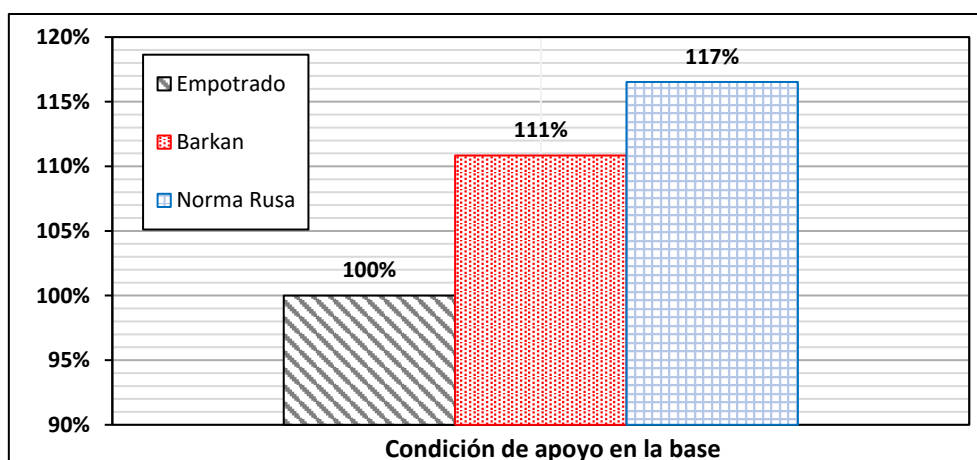


Gráfico N° 3: Variación porcentual del periodo fundamental en X.

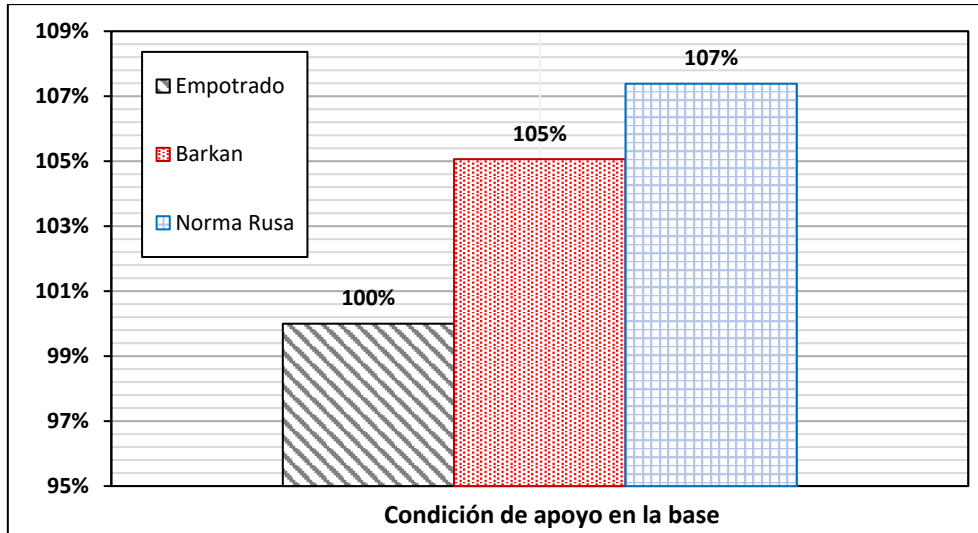


Gráfico N° 4: Variación porcentual del periodo fundamental en Y

Según la Norma E 0.30, se debe considerar los modos cuyas masas efectivas sean mínimamente el 90% del total; según la Tabla N° 14, en el sentido X se cumple en el modo 5, y en el sentido Y se cumple en el modo 4.

Tabla N° 14: Porcentaje de masas participativas.

Modo	Periodo (seg)	U _x acumulado			U _y acumulado		
		Empotrado	Barkan	Norma Rusa	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
1	0.474	0.003%	0.010%	0.010%	87%	85%	86%
2	0.369	65%	70%	73%	87%	85%	86%
3	0.338	84%	83%	84%	87%	85%	86%
4	0.148	84%	83%	84%	96%	94%	95%
5	0.111	92%	91%	92%	96%	94%	95%

3.6.2 Cortantes

Se ha obtenido las fuerzas cortantes producidas por el sismo, estas se distribuyen por la altura del edificio, en este caso, se aplican en cada piso de la estructura, tal como se muestran en las siguientes tablas.

3.6.2.1 Análisis Estático

Las cortantes producidas por la aplicación de un sismo estático, es la misma incluyendo interacción suelo estructura o solo base empotrada, según lo obtenido del análisis, así como se muestran en la Tablas N° 15 y 16, tanto para el sentido X, Y respectivamente.

Tabla N° 15: Cortantes por sismo estático en X.

Nivel	Empotrado (Tn)	Barkan (Tn)	Norma Rusa (Tn)
5	16.07	16.07	16.07
4	34.84	34.84	34.84
3	49.18	49.18	49.18
2	59.09	59.09	59.09
1	64.74	64.74	64.74

Tabla N° 16: Cortantes por sismo estático en Y.

Nivel	Empotrado (Tn)	Barkan (Tn)	Norma Rusa (Tn)
5	16.07	16.07	16.07
4	34.84	34.84	34.84
3	49.18	49.18	49.18
2	59.09	59.09	59.09
1	64.74	64.74	64.74

3.6.2.2 Análisis Dinámico Modal Espectral

En la Tabla N° 17 y en el Gráfico N° 5, se muestran las cortantes en cada nivel por un sismo espectral para el eje X, para cada condición de apoyo en la base.

Tabla N° 17: Cortantes por sismo espectral en X.

Nivel	Empotrado (Tn)	Barkan (Tn)	Norma Rusa (Tn)
5	12.49	12.58	12.69
4	27.04	27.39	27.63
3	38.41	39.04	39.37
2	46.35	47.42	47.88
1	50.57	52.32	52.99

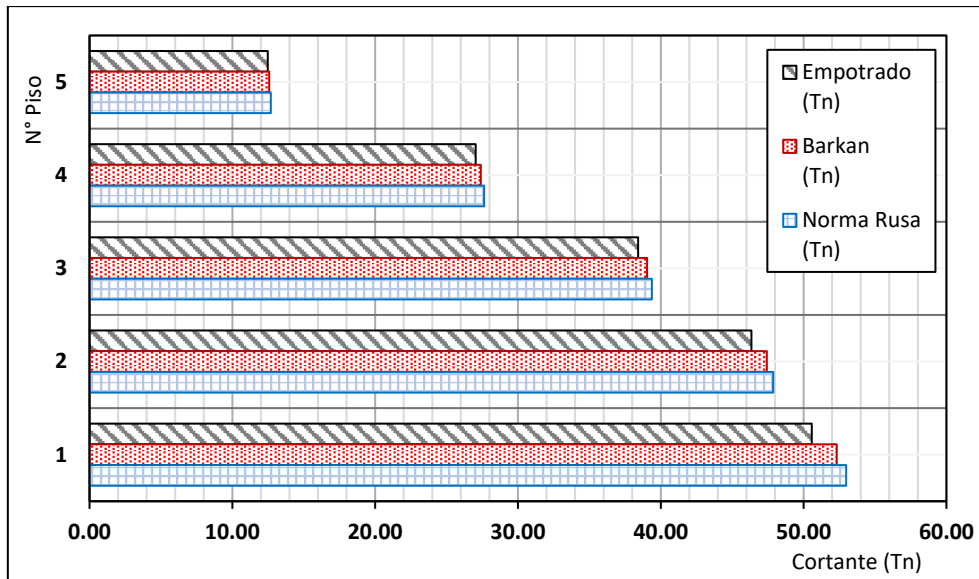


Gráfico N° 5: Cortantes por sismo espectral en X.

De los resultados anteriores se procedió a calcular las variaciones en porcentaje de las fuerzas cortantes, teniendo como base el modelo con base empotrada, así como se muestra en la Tabla N° 18:

Tabla N° 18: Variación porcentual de cortantes por sismo espectral en X.

Nivel	Empotrado (%)	Barkan (%)	Norma Rusa (%)
5	100	101	102
4	100	101	102
3	100	102	103
2	100	102	103
1	100	103	105

De esta tabla tomamos el cortante máximo, que se da en el primer piso (Cortante basal), para hacer la comparación de porcentajes según los modelos hechos en el programa ETABS, así como se muestra en el Gráfico N° 6:

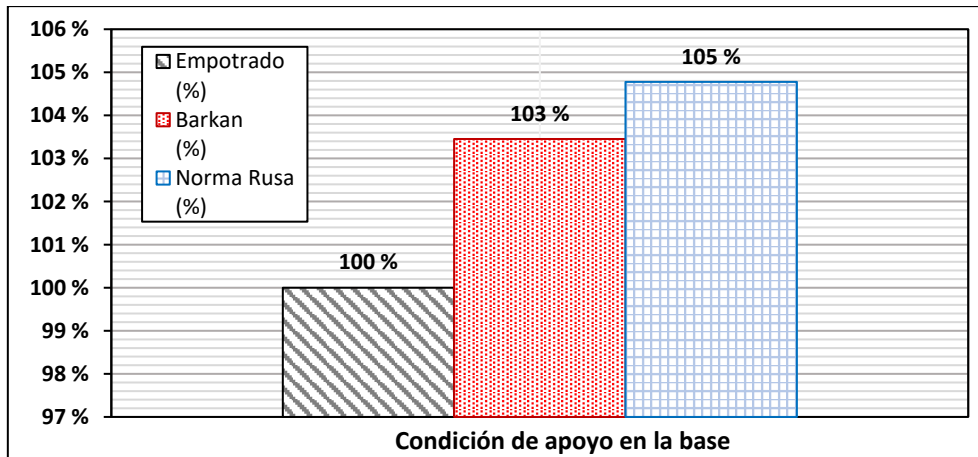


Gráfico N° 6: Variación porcentual de cortante basal por sismo espectral en X.

Al igual que en la dirección X, se calculó las cortantes actuantes en cada nivel del edificio para la dirección Y, cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla N° 19: Cortantes por sismo espectral en Y.

Nivel	Empotrado (Tn)	Barkan (Tn)	Norma Rusa (Tn)
5	13.05	12.98	12.97
4	29.05	29.00	29.00
3	41.97	42.01	42.02
2	51.33	51.60	51.68
1	56.64	57.34	57.56

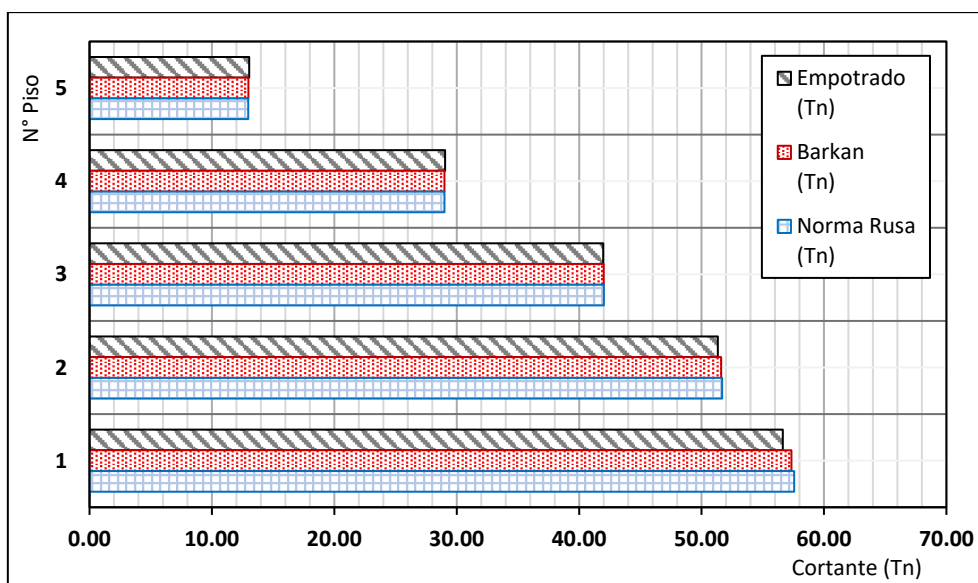


Gráfico N° 7: Cortantes por sismo espectral en Y.

Para un sismo espectral, en el eje Y, la Tabla N° 20 muestra el valor de las cortantes en porcentajes, siendo el de base empotrada el 100%, de los cuales se tomó el cortante basal para hacer la comparación, así como se muestra en el Gráfico N° 8.

Tabla N° 20: Variación porcentual de cortante por sismo espectral en Y.

Nivel	Empotrado (%)	Barkan (%)	Norma Rusa (%)
5	100	99	99
4	100	100	100
3	100	100	100
2	100	101	101
1	100	101	102

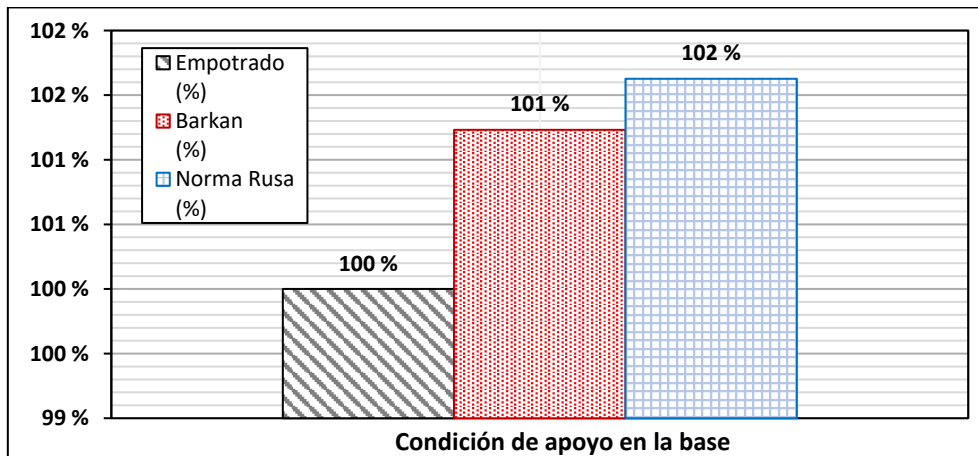


Gráfico N° 8: Variación porcentual de cortante basal por sismo espectral en Y.

3.6.2.3 Análisis Dinámico Tiempo Historia

A continuación, se muestran los resultados del análisis tiempo historia en X:

Tabla N° 21: Cortantes por sismo tiempo historia en X.

Nivel	Empotrado (Tn)	Barkan (Tn)	Norma Rusa (Tn)
5	10.69	12.65	13.82
4	24.08	27.80	31.47
3	35.37	39.93	45.87
2	44.56	48.96	56.16
1	51.82	54.06	62.05

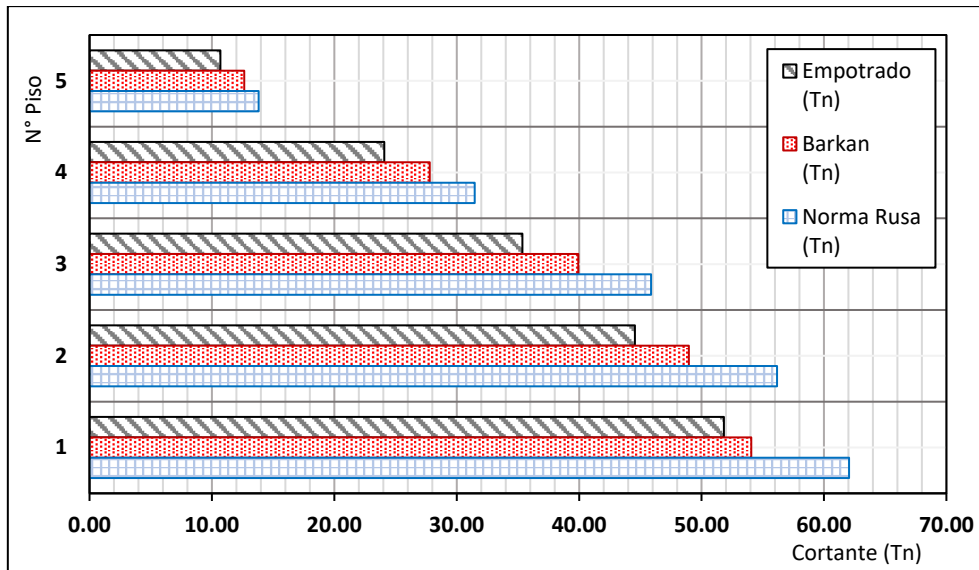


Gráfico N° 9: Cortantes por sismo tiempo historia en X.

En la tabla N° 22 y en el Gráfico N° 10, se muestran las cortantes, mostrando la variación porcentual según los diferentes modelos aplicados en el sentido X:

Tabla N° 22: Variación porcentual de cortante por sismo TH en X.

Nivel	Empotrado (%)	Barkan (%)	Norma Rusa (%)
5	100	118	129
4	100	115	131
3	100	113	130
2	100	110	126
1	100	104	120

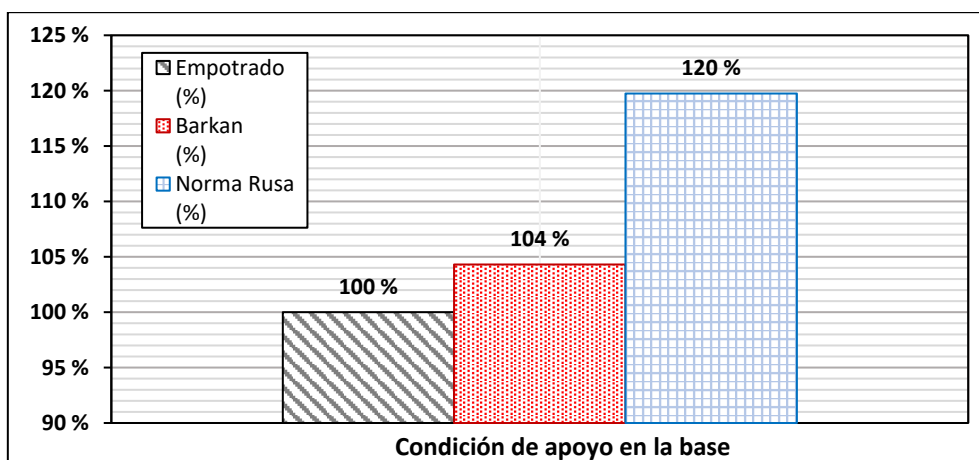


Gráfico N° 10: Variación porcentual de cortante basal por sismo TH en X.

En la Tabla N° 23 y en el Gráfico N° 11, se presentan los resultados de las cortantes en cada piso aplicando el sismo en la dirección Y.

Tabla N° 23: Cortantes por sismo tiempo historia en Y.

Nivel	Empotrado (Tn)	Barkan (Tn)	Norma Rusa (Tn)
5	12.65	13.35	12.71
4	28.55	29.82	28.37
3	44.16	43.39	40.91
2	58.36	53.43	50.06
1	67.37	58.97	56.85

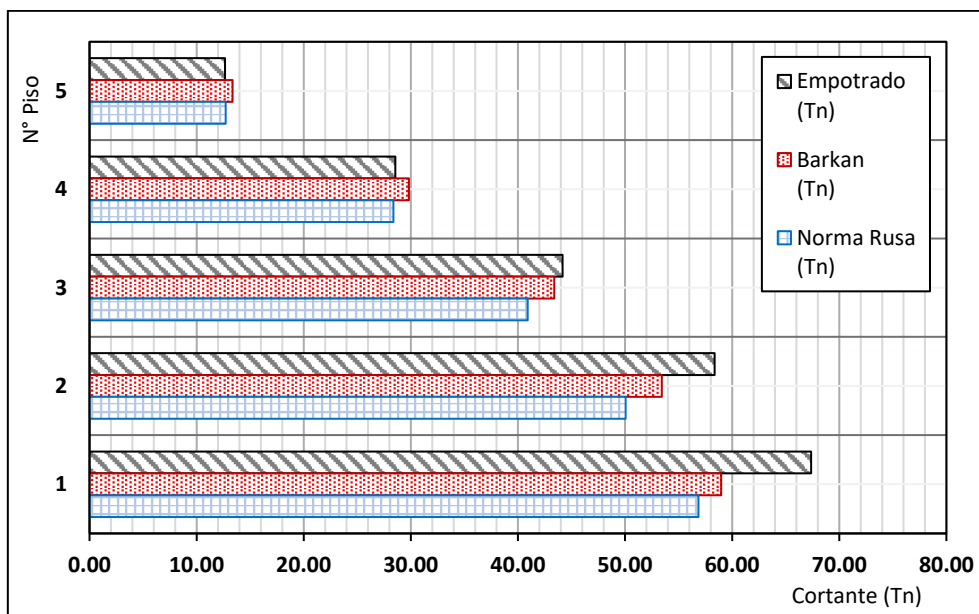


Gráfico N° 11: Cortantes por sismo tiempo historia en Y.

La Tabla N° 24 muestra la variación porcentual de las cortantes por el análisis tiempo historia en el sentido Y, la gráfica N° 12 presenta los porcentajes de la cortante basal.

Tabla N° 24: Variación porcentual de cortante por sismo TH en Y.

Nivel	Empotrado (%)	Barkan (%)	Norma Rusa (%)
5	100	106	100
4	100	104	99
3	100	98	93
2	100	92	86
1	100	88	84

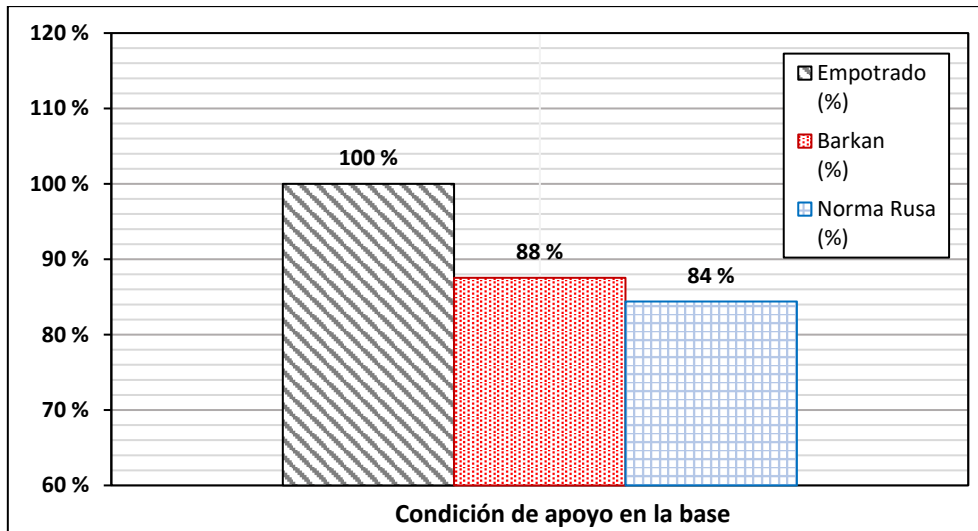


Gráfico N° 12: Variación porcentual de cortante basal por sismo TH en Y.

3.6.3 Desplazamientos

3.6.3.1 Análisis Estático

En la Tabla N° 25 y en el gráfico N° 13, se presenta los resultados de los desplazamientos en la dirección X para un análisis estático, considerando los modelos con base empotrada y con interacción suelo estructura.

Tabla N° 25: Desplazamientos por sismo estático en X.

Piso	Empotrado (cm)	Barkan (cm)	Norma Rusa (cm)
5	0.81	0.99	1.09
4	0.72	0.87	0.96
3	0.57	0.70	0.77
2	0.38	0.49	0.54
1	0.18	0.25	0.29

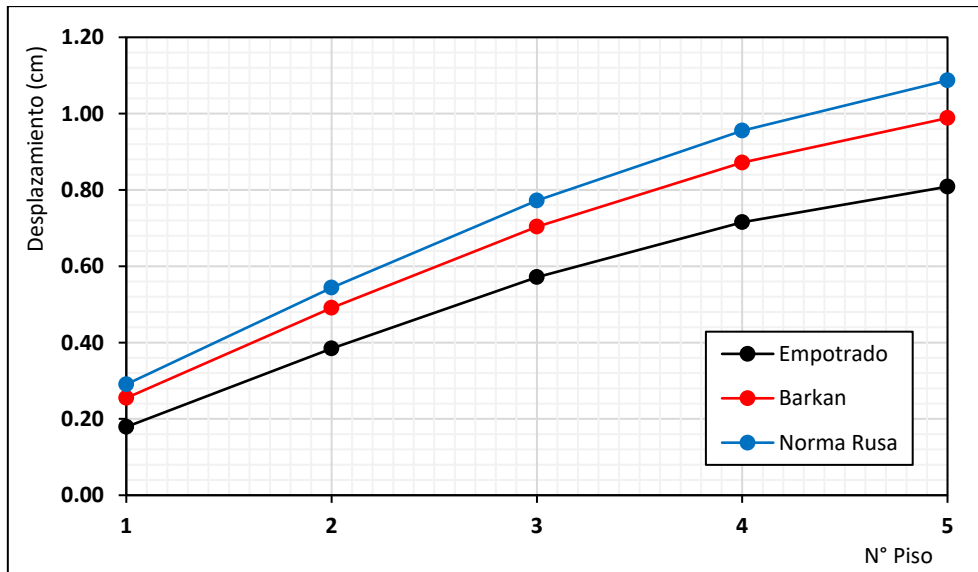


Gráfico N° 13: Desplazamientos por sismo estático en X.

De los resultados de los desplazamientos se procedió a calcular los porcentajes en los que los valores cambian para un mismo piso para la dirección X, así como se muestra en la Tabla N° 26; en el Gráfico N° 14 se muestra solo el de los valores máximos.

Tabla N° 26: Variación porcentual de desplazamientos por sismo estático en X.

Piso	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
5	100%	122%	134%
4	100%	122%	134%
3	100%	123%	135%
2	100%	128%	141%
1	100%	142%	162%

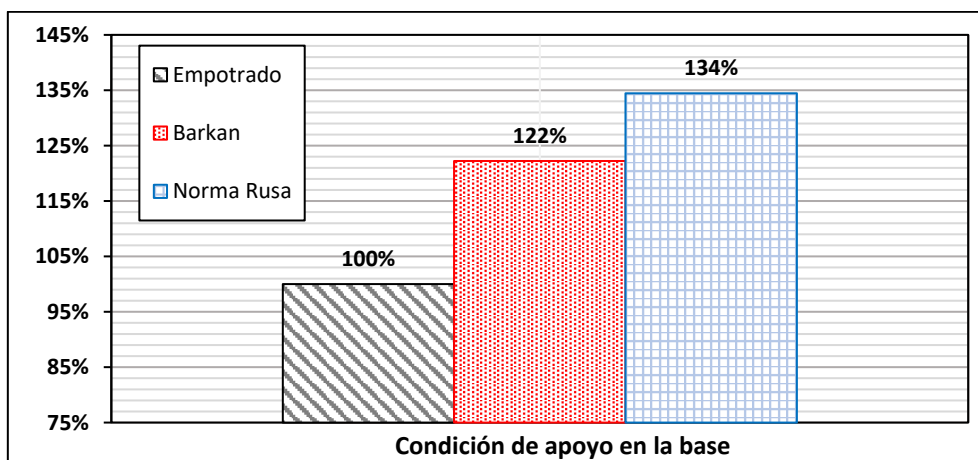


Gráfico N° 14: Variación porcentual de desplazamiento máximo por sismo estático en X.

La Tabla N° 27 y la Gráfica N° 15 muestran los resultados para los desplazamientos por sismo estático en la dirección Y; considerando y sin considerar interacción suelo estructura.

Tabla N° 27: Desplazamientos por sismo estático en Y.

Piso	Empotrado (cm)	Barkan (cm)	Norma Rusa (cm)
5	1.09	1.20	1.26
4	1.00	1.09	1.14
3	0.82	0.90	0.94
2	0.58	0.65	0.68
1	0.29	0.35	0.37

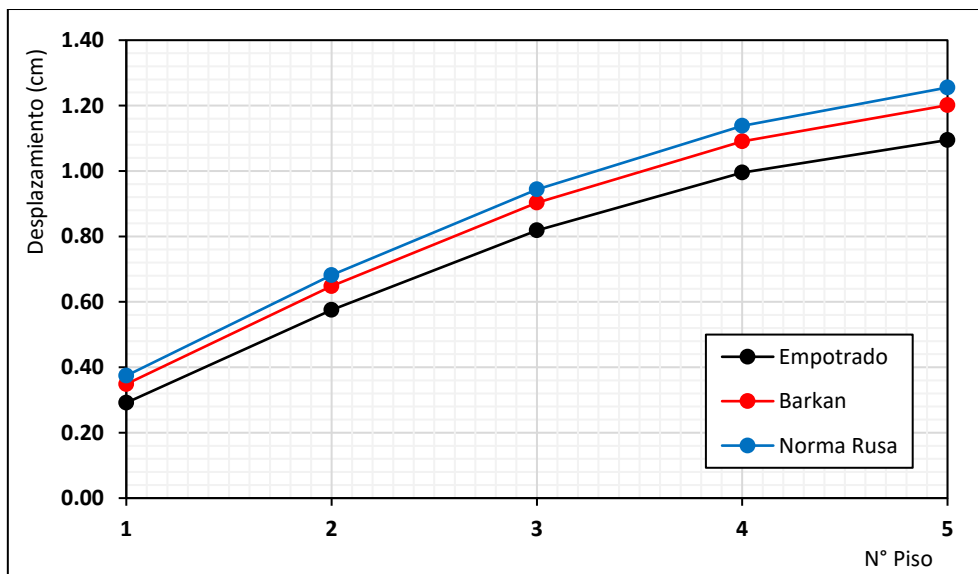


Gráfico N° 15: Desplazamientos por sismo estático en Y.

Tomando al apoyo empotrado como el 100%, se calculó la variación de los desplazamientos cuyos resultados se muestran en Tabla N° 28 y en el Gráfico N° 16.

Tabla N° 28: Variación porcentual de desplazamientos por sismo estático en Y.

Piso	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
5	100%	110%	115%
4	100%	110%	114%
3	100%	110%	115%
2	100%	113%	118%
1	100%	120%	128%

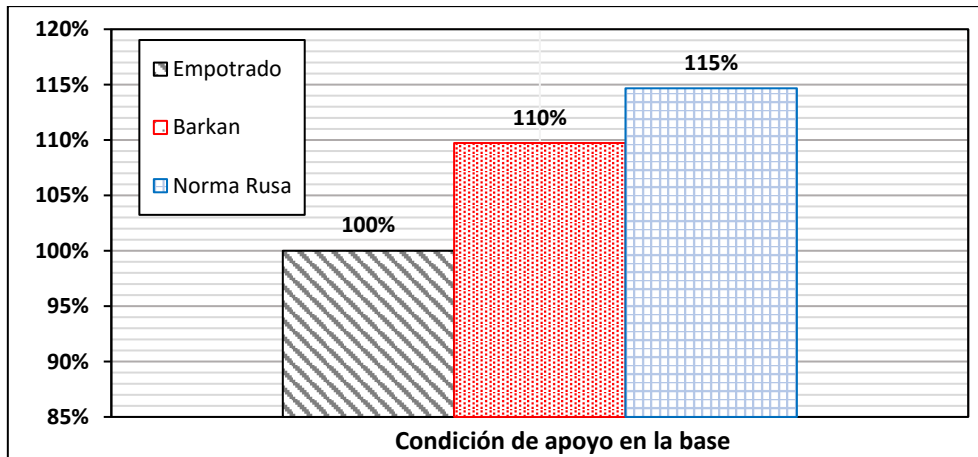


Gráfico N° 16: Variación porcentual de desplazamiento máximo por sismo estático en Y.

3.6.3.2 Análisis Dinámico Modal Espectral

Para el análisis dinámico modal espectral, se presenta en la Tabla N° 29 y en la Gráfica N° 17 los resultados de los desplazamientos.

Tabla N° 29: Desplazamientos por sismo espectral en X.

Piso	Empotrado (cm)	Barkan (cm)	Norma Rusa (cm)
5	0.74	0.92	1.02
4	0.66	0.82	0.90
3	0.53	0.67	0.73
2	0.36	0.47	0.52
1	0.17	0.25	0.28

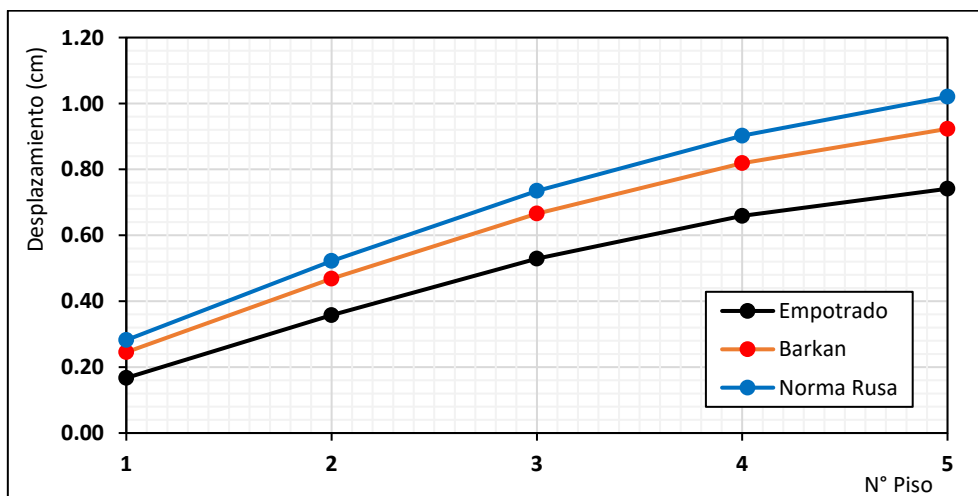


Gráfico N° 17: Desplazamientos por sismo espectral en X.

En la Tabla N° 30 se muestran los resultados de los desplazamientos en porcentajes para cada piso, mientras que en el Gráfico N° 18 se muestra los valores máximos, siendo este el del piso 5 para la dirección X.

Tabla N° 30: Variación porcentual de desplazamientos por sismo espectral en X.

Piso	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
5	100%	125%	138%
4	100%	124%	137%
3	100%	126%	139%
2	100%	131%	146%
1	100%	147%	169%

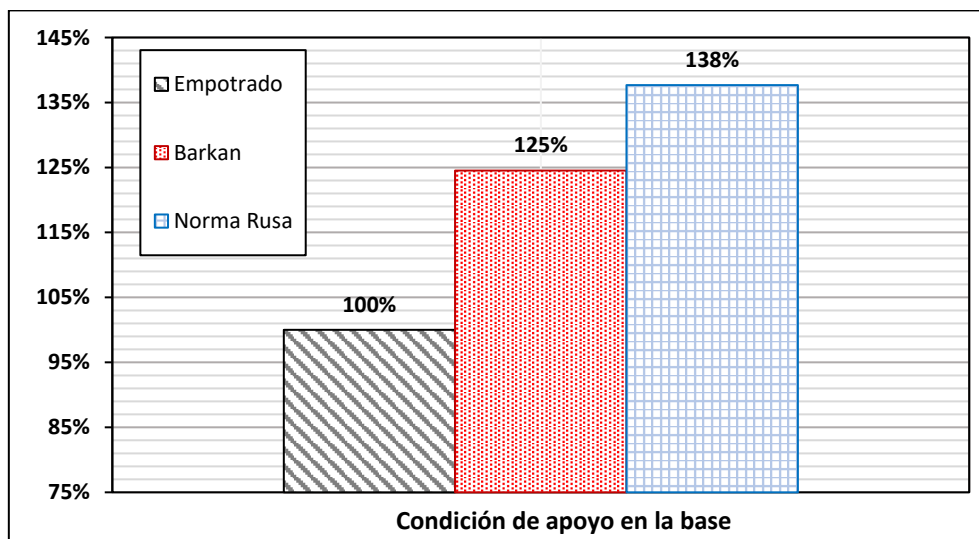


Gráfico N° 18: Variación porcentual de desplazamiento máximo por sismo espectral en X.

Al igual que para el sentido X, también para el sentido Y se muestran los valores de los desplazamientos en la Tabla N° 31 y en el Gráfico N° 19, para el modelo con base empotrada y considerando interacción suelo estructura.

Tabla N° 31: Desplazamientos por sismo espectral en Y.

Piso	Empotrado (cm)	Barkan (cm)	Norma Rusa (cm)
5	0.94	1.04	1.09
4	0.86	0.95	0.99
3	0.71	0.79	0.83
2	0.50	0.57	0.61
1	0.26	0.31	0.33

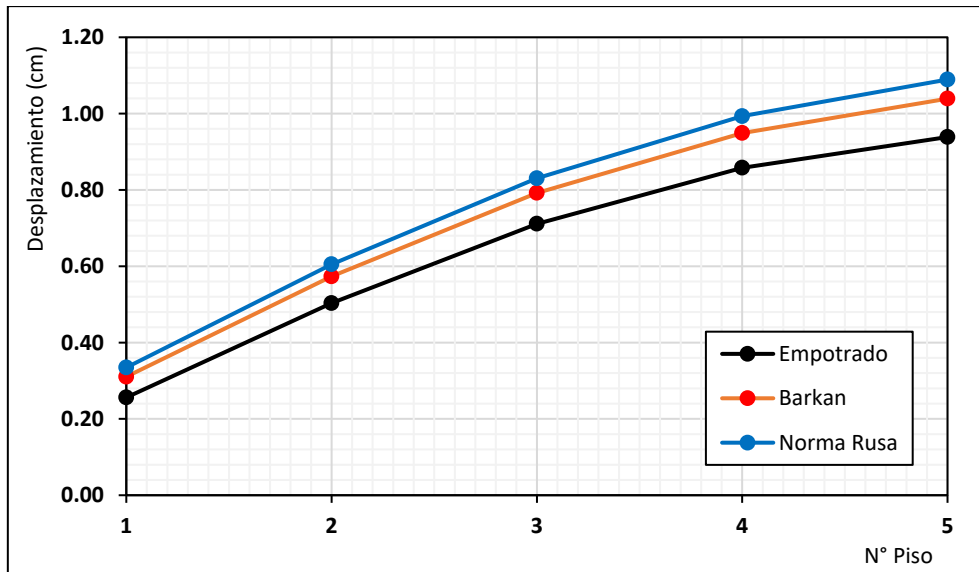


Gráfico N° 19: Desplazamientos por sismo espectral en Y.

La Tabla N° 32 presenta el porcentaje en que varían los valores del desplazamiento, para cada piso; en el Gráfico N° 20 se muestran estos porcentajes para el último piso.

Tabla N° 32: Variación porcentual de desplazamientos por sismo espectral en Y.

Piso	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
5	100%	111%	116%
4	100%	111%	116%
3	100%	111%	117%
2	100%	114%	120%
1	100%	121%	131%

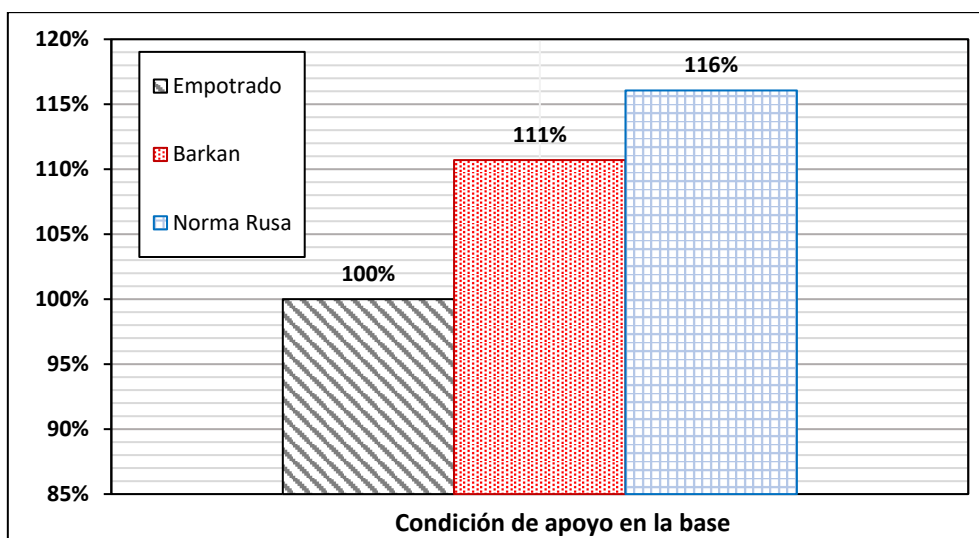


Gráfico N° 20: Variación porcentual de desplazamiento máximo por sismo espectral en Y.

3.6.3.3 Análisis Dinámico Tiempo Historia

En la Tabla N° 33 y el Gráfico N° 21, se muestra los desplazamientos por un análisis tiempo historia en la dirección X para cada piso, siendo los máximos el del piso 5.

Tabla N° 33: Desplazamientos por sismo TH en X.

Piso	Empotrado (cm)	Barkan (cm)	Norma Rusa (cm)
5	0.66	0.86	1.06
4	0.59	0.76	0.94
3	0.47	0.62	0.76
2	0.32	0.43	0.54
1	0.15	0.23	0.29

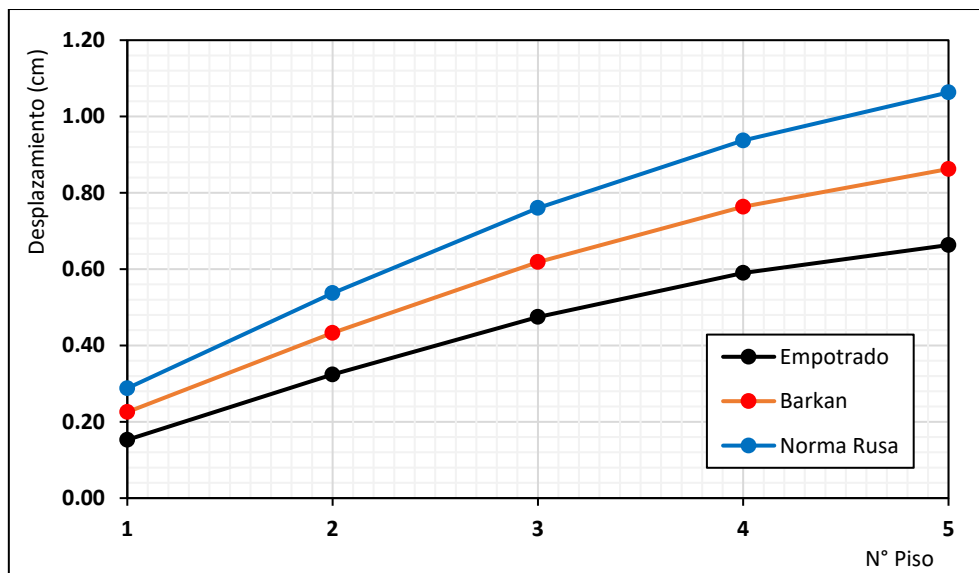


Gráfico N° 21: Desplazamientos por sismo TH en X.

En la Tabla N° 34 se calculó el porcentaje en que varían los desplazamientos, para un análisis tiempo historia en X, el gráfico N° 22 muestra el porcentaje de los valores máximos.

Tabla N° 34: Variación porcentual de desplazamientos por sismo TH en X.

Piso	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
5	100%	130%	160%
4	100%	129%	159%
3	100%	130%	160%
2	100%	134%	166%
1	100%	148%	188%

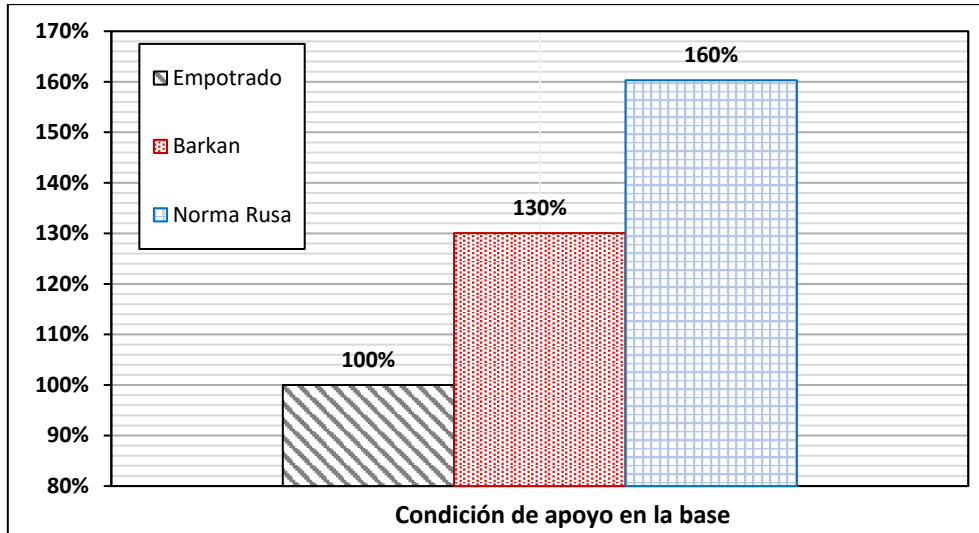


Gráfico N° 22: Variación porcentual de desplazamiento máximo por sismo TH en X.

En la Tabla N° 35 y en el Gráfico N° 23 se presenta los resultados de los desplazamientos por un análisis tiempo historia en la dirección Y para los 5 pisos.

Tabla N° 35: Desplazamientos por sismo TH en Y.

Piso	Empotrado (cm)	Barkan (cm)	Norma Rusa (cm)
5	0.97	1.05	1.07
4	0.90	0.95	0.99
3	0.77	0.79	0.84
2	0.56	0.57	0.63
1	0.29	0.32	0.36

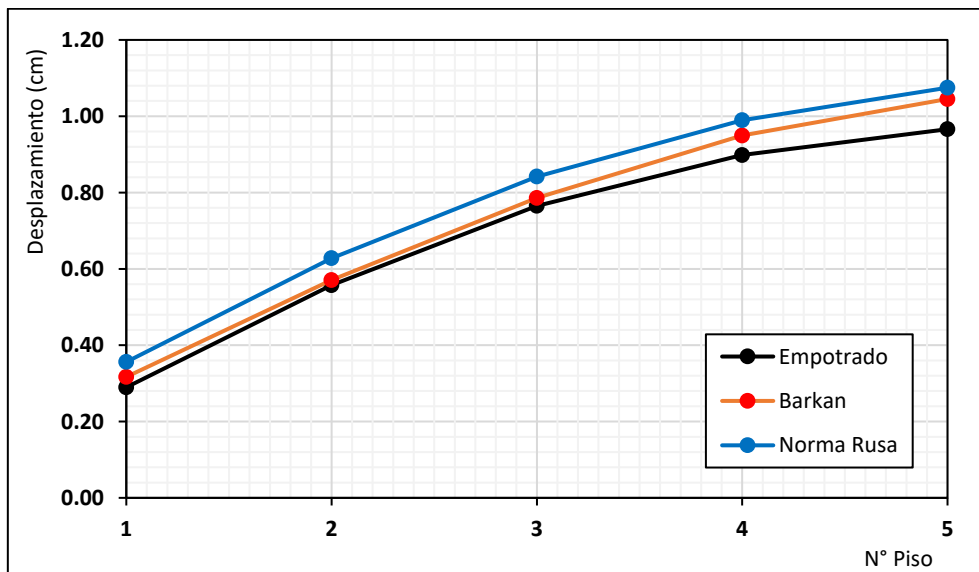


Gráfico N° 23: Desplazamientos por sismo TH en Y.

En la Tabla N° 36 se presenta la variación de los desplazamientos en porcentaje, para las condiciones de apoyo estudiadas mediante un análisis tiempo historia en Y, en el Gráfico N° 24 se presenta estos valores para el piso 5.

Tabla N° 36: Variación porcentual de desplazamientos por sismo TH en Y.

Piso	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
5	100%	108%	111%
4	100%	106%	110%
3	100%	103%	110%
2	100%	102%	113%
1	100%	109%	123%

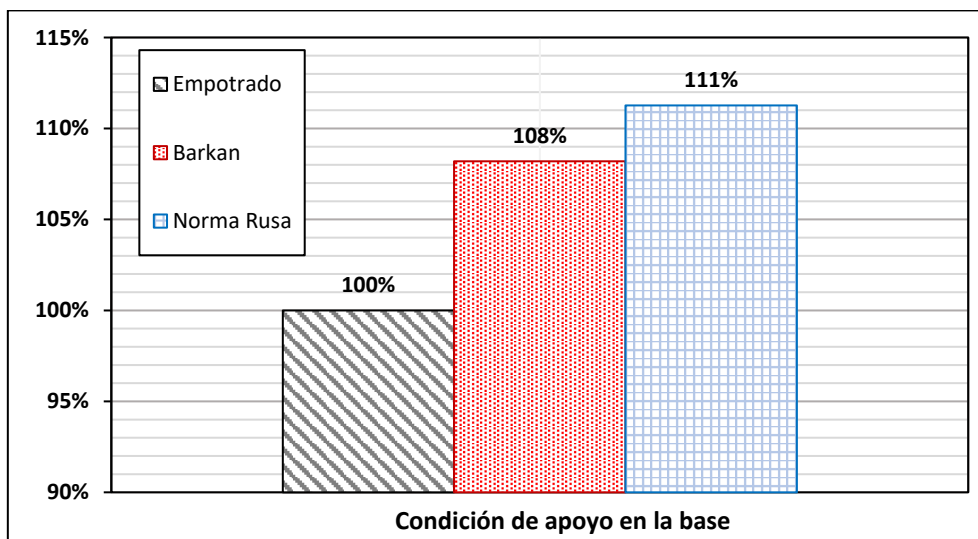


Gráfico N° 24: Variación porcentual de desplazamiento máximo por sismo TH en Y.

3.6.4 Derivas

A continuación, se presentan los resultados de Derivas en los sentidos X, Y; con los análisis estático y dinámico, para modelos de base empotrada y con interacción suelo estructura, teniendo como referencia el máximo permitido por la Norma E 0.30, en este caso es el valor de 0.007 para concreto armado.

3.6.4.1 Análisis Estático

En la Tabla N° 37 y en el Gráfico N° 25 se muestran como resultado las derivas por sismo estático en el sentido X.

Tabla N° 37: Derivas por sismo estático en X.

Piso	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
5	0.0022	0.0028	0.0032
4	0.0035	0.0040	0.0044
3	0.0045	0.0051	0.0055
2	0.0049	0.0057	0.0061
1	0.0035	0.0049	0.0056

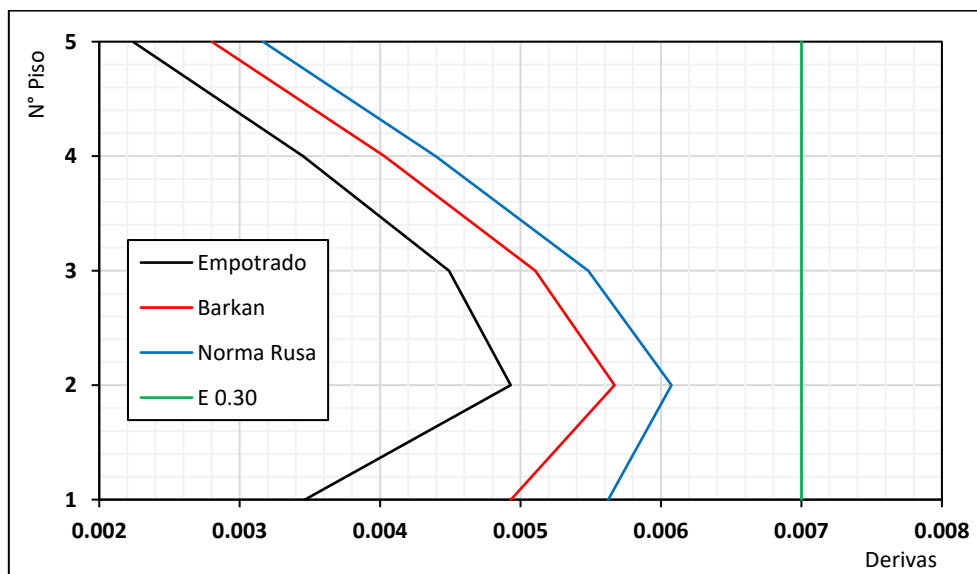


Gráfico N° 25: Derivas por sismo estático en X.

En la Tabla N° 38 se presenta los resultados en porcentajes de la diferencia de derivas, causada por las diferentes condiciones en la base, de esta tabla se ha tomado el piso 2, donde se da los valores máximos, para elaborar el Gráfico N° 26, aplicando el análisis estático en la dirección X.

Tabla N° 38: Variación porcentual de derivas por sismo estático en X.

Piso	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
5	100%	125%	141%
4	100%	117%	127%
3	100%	114%	122%
2	100%	115%	123%
1	100%	142%	162%

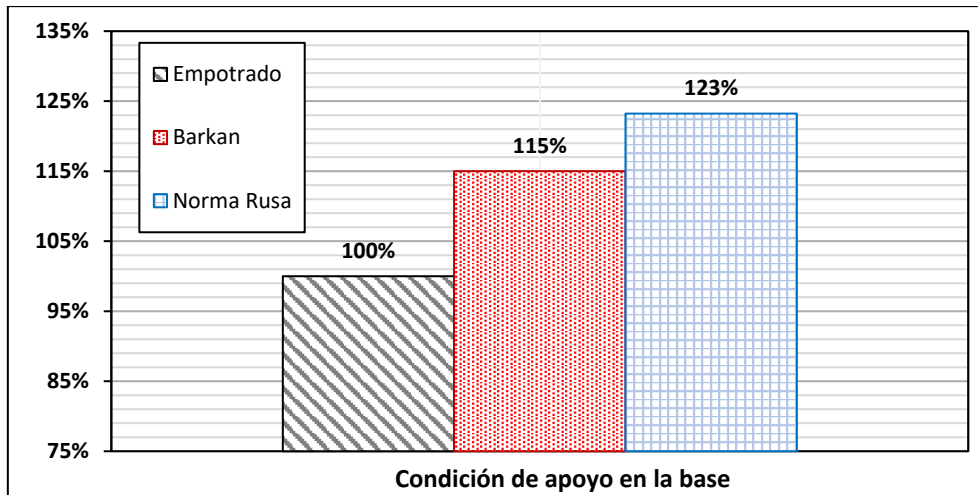


Gráfico N° 26: Variación porcentual de deriva máxima por sismo estático en X.

Se calcularon las derivas por el análisis estático en Y, para modelos con base empotrada y con interacción suelo estructura, siendo con este último modelo que no cumple lo establecido por norma, así como se muestra en la Tabla N° 39 y en el gráfico N°27.

Tabla N° 39: Derivas por sismo estático en Y.

Piso	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
5	0.0024	0.0027	0.0028
4	0.0042	0.0045	0.0047
3	0.0058	0.0061	0.0063
2	0.0068	0.0072	0.0074
1	0.0056	0.0067	0.0072

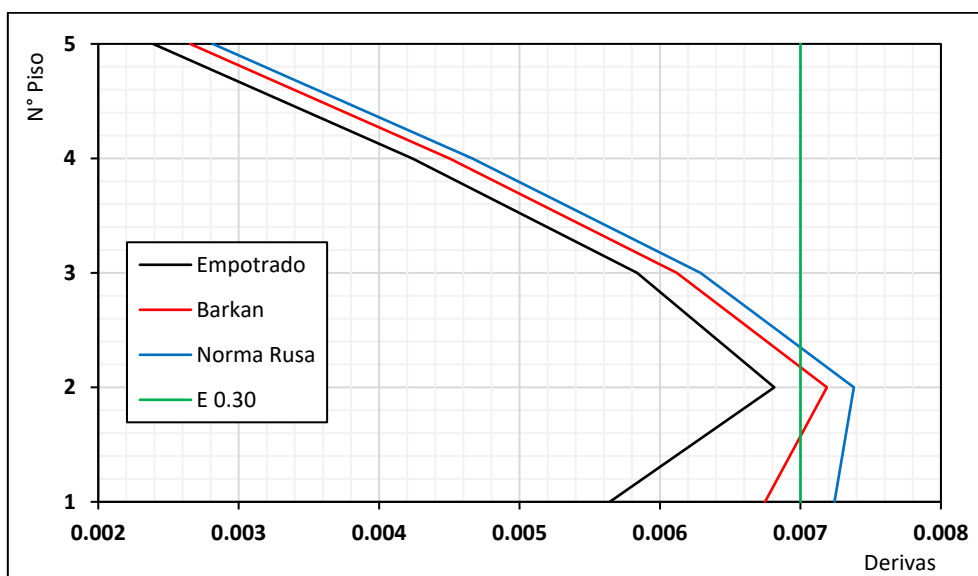


Gráfico N° 27: Derivas por sismo estático en Y.

En la Tabla N° 40 se muestran los resultados en porcentaje de las variaciones en las derivas para un análisis estático en el eje Y, en el gráfico N° 28 se representan los porcentajes para los valores máximos, que son los del piso 2.

Tabla N° 40: Variación porcentual de derivas por sismo estático en Y.

Piso	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
5	100%	111%	118%
4	100%	106%	110%
3	100%	105%	108%
2	100%	105%	108%
1	100%	120%	128%

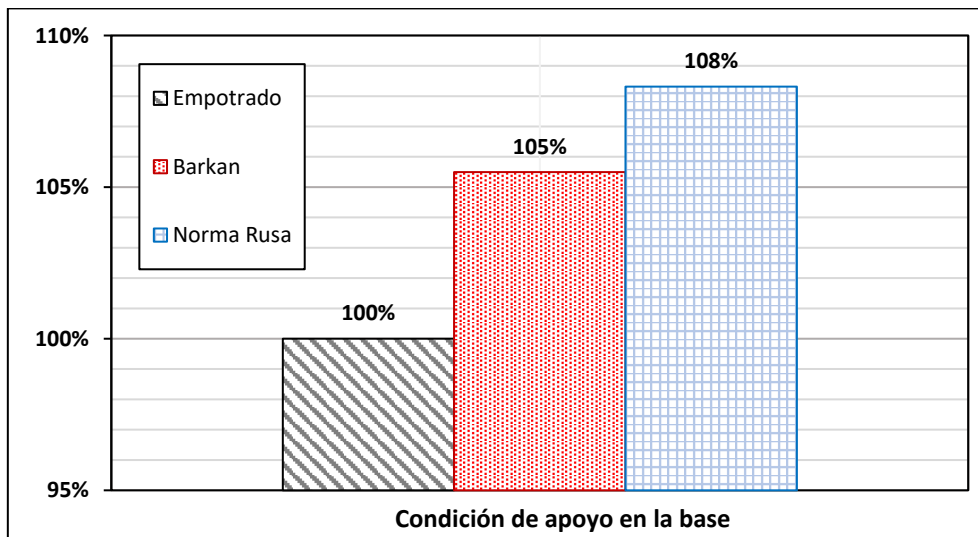


Gráfico N° 28: Variación porcentual de deriva máxima por sismo estático en Y.

3.6.4.2 Análisis Dinámico Modal Espectral

A continuación, en la Tabla N° 41, y en el Gráfico N° 29 se presentan los resultados de las derivas en cada piso obtenidas por un análisis dinámico espectral en la dirección X.

Tabla N° 41: Derivas por sismo espectral en X.

Piso	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
5	0.0020	0.0025	0.0028
4	0.0031	0.0037	0.0040
3	0.0041	0.0047	0.0051
2	0.0046	0.0054	0.0058
1	0.0032	0.0047	0.0055

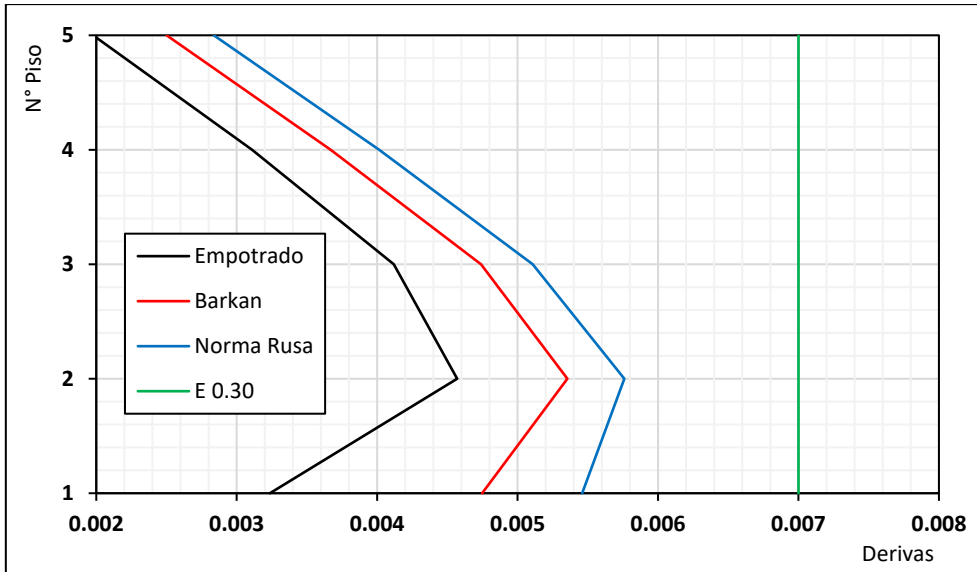


Gráfico N° 29: Derivas por sismo espectral en X.

En la Tabla N° 42, se tiene las variaciones de las derivas para cada modelo hecho en porcentaje, para el sentido X de un análisis espectral, mientras que en el Gráfico N° 30 se representa estos resultados para el piso 2, donde se da el valor máximo.

Tabla N° 42: Variación porcentual de derivas por sismo espectral en X.

Piso	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
5	100%	126%	143%
4	100%	118%	129%
3	100%	115%	124%
2	100%	117%	126%
1	100%	147%	169%

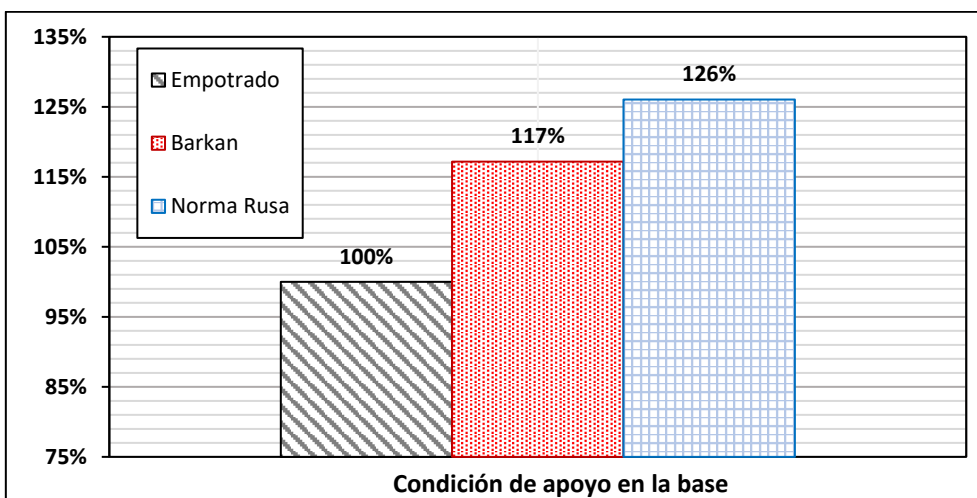


Gráfico N° 30: Variación porcentual de deriva máxima por sismo espectral en X.

La Tabla N° 43 y el Gráfico N° 31 muestran los resultados de las derivas para un análisis sísmico espectral considerando las diferentes condiciones de apoyo en la base para un sismo en la dirección Y.

Tabla N° 43: Derivas por sismo espectral en Y.

Piso	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
5	0.0019	0.0022	0.0023
4	0.0035	0.0038	0.0039
3	0.0050	0.0053	0.0054
2	0.0059	0.0063	0.0065
1	0.0050	0.0060	0.0065

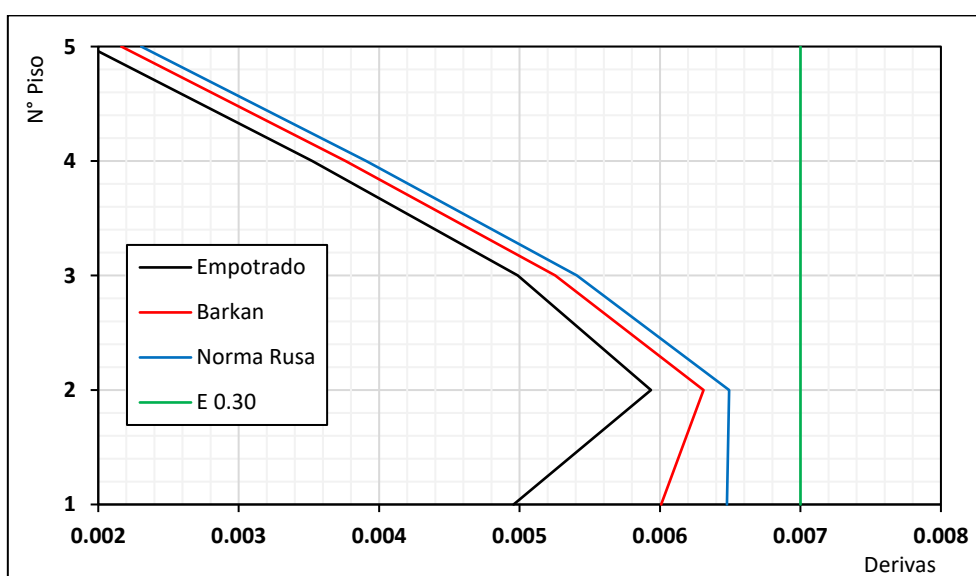


Gráfico N° 31: Derivas por sismo espectral en Y.

En la Tabla N° 44 se presenta el resultado de las variaciones porcentuales de las derivas para cada modelo con un análisis modal espectral en Y, La gráfica N° 32 muestra la variación en las derivas para el piso 2, donde se da los resultados máximos.

Tabla N° 44: Variación porcentual de derivas por sismo espectral en Y.

Piso	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
5	100%	112%	119%
4	100%	107%	111%
3	100%	105%	108%
2	100%	106%	109%
1	100%	121%	131%

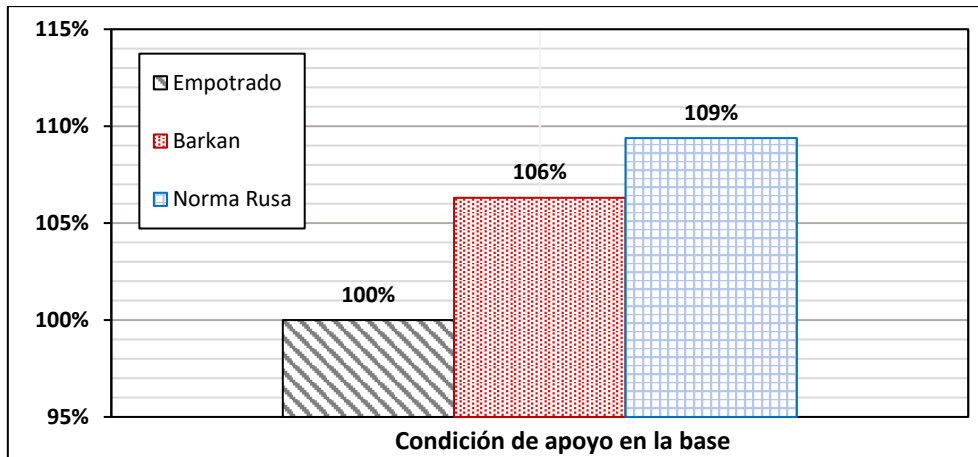


Gráfico N° 32: Variación porcentual de deriva máxima por sismo espectral en Y.

3.6.4.3 Análisis Dinámico Tiempo Historia

Para un análisis dinámico tiempo historia en la dirección X, se presenta los resultados de las derivas en la Tabla N° 45 y en el Gráfico N° 33 para cada piso. Siendo el del piso 2 el de mayor valor.

Tabla N° 45: Derivas por sismo TH en X.

Piso	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
5	0.0018	0.0024	0.0030
4	0.0028	0.0035	0.0042
3	0.0036	0.0045	0.0054
2	0.0041	0.0050	0.0060
1	0.0030	0.0044	0.0056

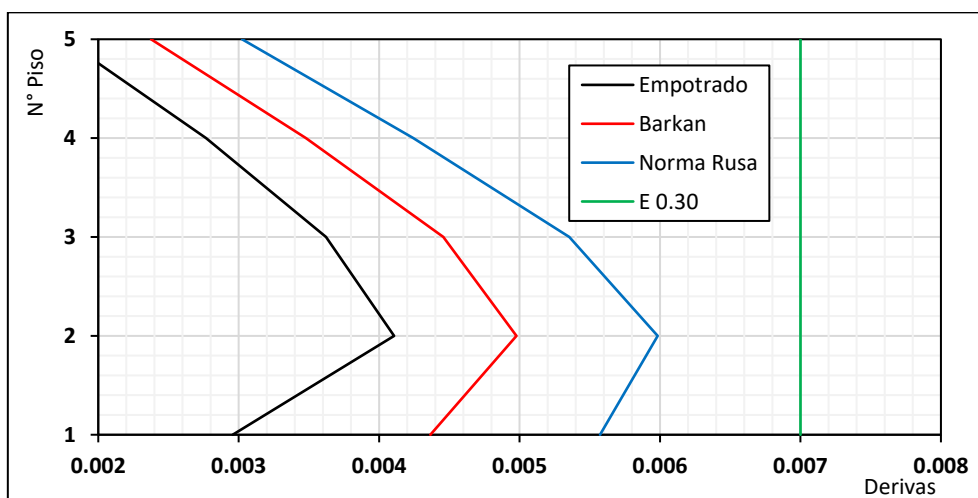


Gráfico N° 33: Derivas por sismo TH en X.

Con los resultados anteriores se calculó el porcentaje en que las derivas cambian en función al tipo de apoyo en la base, así como se muestra a continuación, en la Tabla N° 46, y para el valor máximo (Piso 2) en el Gráfico N° 34:

Tabla N° 46: Variación porcentual de derivas por sismo TH en X.

Piso	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
5	100%	135%	172%
4	100%	126%	153%
3	100%	123%	148%
2	100%	121%	146%
1	100%	148%	188%

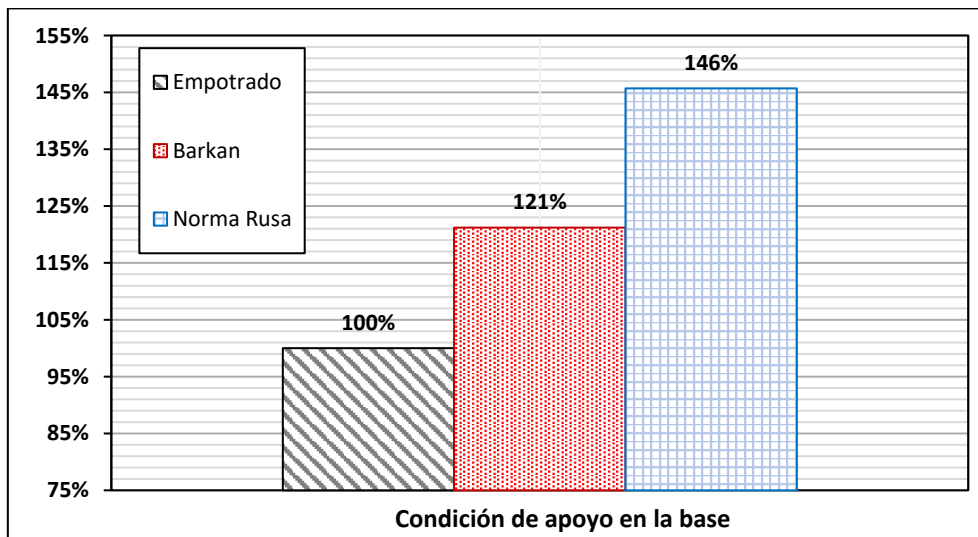


Gráfico N° 34: Variación porcentual de deriva máxima por sismo TH en X.

Del mismo modo que para la dirección X, en la dirección Y, se muestran en la Tabla N° 47 y el Gráfico N° 35, los resultados de las derivas para todos los pisos en base a un análisis dinámico tiempo historia.

Tabla N° 47: Derivas por sismo TH en Y.

Piso	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
5	0.0016	0.0023	0.0020
4	0.0032	0.0039	0.0035
3	0.0050	0.0052	0.0051
2	0.0064	0.0061	0.0065
1	0.0056	0.0061	0.0069

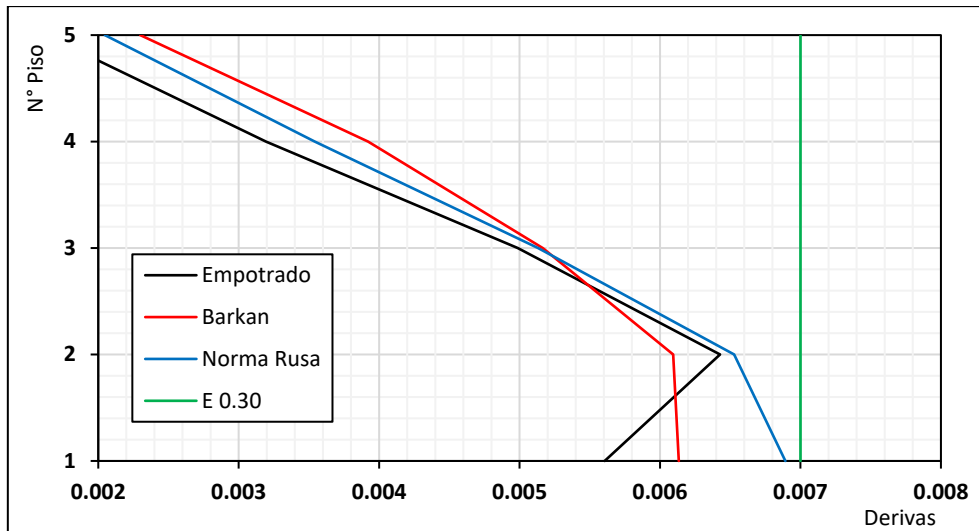


Gráfico N° 35: Derivas por sismo TH en Y.

En la Tabla N° 48 se presenta los resultados, en porcentaje, de las variaciones que presentan los valores de las derivas para cada condición de apoyo en la base, según los tres modelos hecho para un análisis tiempo historia en la dirección Y. En la gráfica N° 36 se muestran estos valores para el piso 2.

Tabla N° 48: Variación porcentual de derivas por sismo TH en Y.

Piso	Empotrado	Barkan	Norma Rusa
5	100%	142%	126%
4	100%	123%	111%
3	100%	104%	103%
2	100%	95%	102%
1	100%	109%	123%

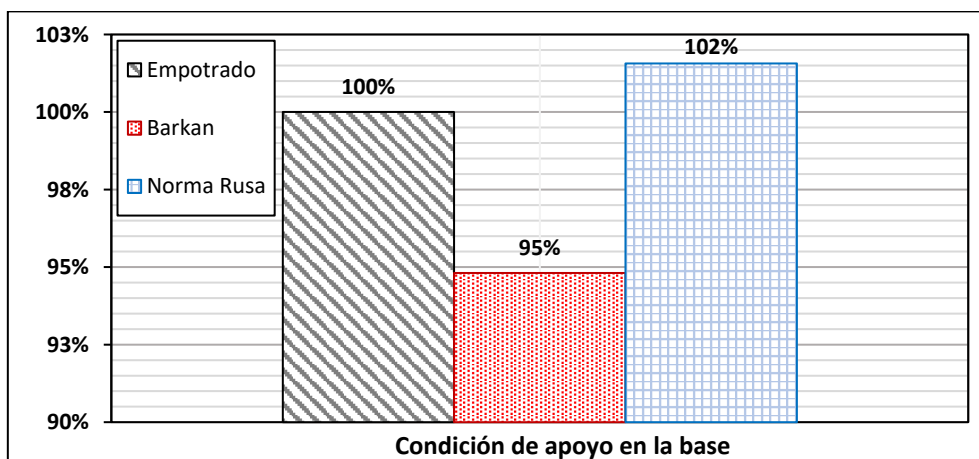


Gráfico N° 36: Variación porcentual de deriva máxima por sismo TH en Y.

3.6.5 Fuerzas internas en elementos estructurales

A continuación, se muestran los resultados para las fuerzas internas en los elementos estructurales (Fuerza axial, cortante y momento), para ello, se ha tomado elementos representativos (valores máximos) para columnas y vigas (C1, VP y VS):

3.6.5.1 Análisis Estático

En la Tabla N° 49 se presenta la fuerza axial, cortante y momentos actuantes en la columna C1, para un análisis estático y la Tabla N° 50 representa estos valores en porcentajes.

Tabla N° 49: Fuerzas internas máximas en columnas por sismo estático.

Modelo	P (Tn)	V ₂₂ (Tn)	V ₃₃ (Tn)	M ₂₂ (Tn.m)	M ₃₃ (Tn.m)
Empotrado	15.48	3.52	3.48	6.34	8.23
Barkan	14.79	3.35	3.44	6.04	7.25
Norma Rusa	14.43	3.28	3.38	5.87	6.98

Tabla N° 50: Variación porcentual de fuerzas internas en columnas por sismo estático.

Modelo	P	V ₂₂	V ₃₃	M ₂₂	M ₃₃
Empotrado	100%	100%	100%	100%	100%
Barkan	96%	95%	99%	95%	88%
Norma Rusa	93%	93%	97%	92%	85%

Para las fuerzas internas en vigas principales, cortante y momento, se muestran los resultados en la Tabla N° 51. en la Tabla N° 52 se presentan estos resultados como un porcentaje del modelo de base empotrada para un análisis sísmico estático.

Tabla N° 51: Fuerzas internas máximas en vigas principales por sismo estático.

Modelo	V ₂₂ (Tn)	M ₃₃ (Tn.m)
Empotrado	4.61	4.96
Barkan	4.48	4.84
Norma Rusa	4.37	4.72

Tabla N° 52: Variación porcentual de fuerzas internas en VP por sismo estático.

Modelo	V ₂₂	M ₃₃
Empotrado	100%	100%
Barkan	97%	97%
Norma Rusa	95%	95%

En la Tabla N° 53 se presenta los resultados de cortantes y momentos en vigas secundarias para un análisis estático, y la Tabla N° 54 muestra la variación en porcentaje de estos resultados.

Tabla N° 53: Fuerzas internas máximas en vigas secundarias por sismo estático.

Modelo	V ₂₂ (Tn)	M ₃₃ (Tn.m)
Empotrado	4.07	3.48
Barkan	3.96	3.39
Norma Rusa	3.85	3.30

Tabla N° 54: Variación porcentual de fuerzas internas en VS por sismo estático.

Modelo	V ₂₂	M ₃₃
Empotrado	100%	100%
Barkan	97%	97%
Norma Rusa	95%	95%

3.6.5.2 Análisis Dinámico Modal Espectral

La Tabla N° 55 presenta los resultados para una columna por un análisis dinámico modal espectral, y la Tabla N° 56 muestra las variaciones porcentuales de estos resultados.

Tabla N° 55: Fuerzas internas máximas en columnas por sismo espectral.

Modelo	P (Tn)	V ₂₂ (Tn)	V ₃₃ (Tn)	M ₂₂ (Tn.m)	M ₃₃ (Tn.m)
Empotrado	13.42	3.13	3.07	5.58	7.30
Barkan	13.06	3.11	3.08	5.39	6.65
Norma Rusa	12.82	3.09	3.05	5.27	6.47

Tabla N° 56: Variación porcentual de fuerzas internas en columnas por sismo espectral.

Modelo	P	V₂₂	V₃₃	M₂₂	M₃₃
Empotrado	100%	100%	100%	100%	100%
Barkan	97%	99%	101%	97%	91%
Norma Rusa	96%	99%	99%	94%	89%

Los resultados de la fuerza cortante y el momento en vigas principales, se muestran a continuación, en la Tabla N° 57; el cambio de estos valores se muestra en la Tabla N° 58 en valores porcentuales para un análisis espectral.

Tabla N° 57: Fuerzas internas máximas en vigas principales por sismo espectral.

Modelo	V₂₂ (Tn)	M₃₃ (Tn.m)
Empotrado	4.31	4.64
Barkan	4.35	4.69
Norma Rusa	4.30	4.65

Tabla N° 58: Variación porcentual de fuerzas internas en VP por sismo espectral.

Modelo	V₂₂	M₃₃
Empotrado	100%	100%
Barkan	101%	101%
Norma Rusa	100%	100%

En la Tabla N° 59 se presentan los resultados de las fuerzas internas de vigas secundarias para un análisis espectral con diferentes condiciones de apoyo, y en la Tabla N° 60 se muestran las variaciones porcentuales de dichos valores.

Tabla N° 59: Fuerzas internas máximas en vigas secundarias por sismo espectral.

Modelo	V₂₂ (Tn)	M₃₃ (Tn.m)
Empotrado	3.57	3.05
Barkan	3.53	3.02
Norma Rusa	3.45	2.96

Tabla N° 60: Variación porcentual de fuerzas internas en VS por sismo espectral.

Modelo	V ₂₂	M ₃₃
Empotrado	100%	100%
Barkan	99%	99%
Norma Rusa	97%	97%

3.6.5.3 Análisis Dinámico Tiempo Historia

Del análisis tiempo historia, se obtuvo los resultados de los esfuerzos internos en una columna, tal como se muestra en la Tabla N° 61; y en la Tabla N° 62 se presenta el resultado del porcentaje de variación de esfuerzos para cada condición de apoyo en la base.

Tabla N° 61: Fuerzas internas máximas en columnas por sismo TH.

Modelo	P (Tn)	V ₂₂ (Tn)	V ₃₃ (Tn)	M ₂₂ (Tn.m)	M ₃₃ (Tn.m)
Empotrado	12.08	2.87	3.52	6.37	6.68
Barkan	13.01	2.87	3.03	5.26	6.16
Norma Rusa	13.63	3.28	3.01	5.18	6.94

Tabla N° 62: Variación porcentual de fuerzas internas en columnas por sismo TH.

Modelo	P	V ₂₂	V ₃₃	M ₂₂	M ₃₃
Empotrado	100%	100%	100%	100%	100%
Barkan	108%	100%	86%	83%	92%
Norma Rusa	113%	114%	86%	81%	104%

En las Tablas N° 63 y 64 se muestran los resultados en los esfuerzos internos y sus variaciones en porcentaje de una viga principal para un análisis tiempo historia.

Tabla N° 63: Fuerzas internas máximas en vigas principales por sismo TH.

Modelo	V ₂₂ (Tn)	M ₃₃ (Tn.m)
Empotrado	3.92	4.38
Barkan	4.00	4.34
Norma Rusa	4.34	4.42

Tabla N° 64: Variación porcentual de fuerzas internas en VP por sismo TH.

Modelo	V₂₂	M₃₃
Empotrado	100%	100%
Barkan	102%	99%
Norma Rusa	111%	101%

De la misma forma, en la Tabla N° 65 y 66, se presentan los resultados para una viga secundaria, de los esfuerzos internos causados por un análisis tiempo historia.

Tabla N° 65: Fuerzas internas máximas en vigas secundarias por sismo TH.

Modelo	V₂₂ (Tn)	M₃₃ (Tn.m)
Empotrado	3.99	3.41
Barkan	3.46	2.96
Norma Rusa	3.29	2.69

Tabla N° 66: Variación porcentual de fuerzas internas en VS por sismo TH.

Modelo	V₂₂	M₃₃
Empotrado	100%	100%
Barkan	87%	87%
Norma Rusa	83%	79%

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- **Para el periodo y participación modal:**

- ✓ Del gráfico N° 2, podemos decir que al incluir en el modelo inicial la ISE, los periodos se incrementan, siendo para el modelo de Barkan los valores ligeramente inferiores al modelo de la Norma Rusa y estos resultados están acorde a los estudios realizados y presentados en la sección de antecedentes de este trabajo, esto se da debido a los coeficientes de rigidez dinámicos en la base permitiendo una mayor oscilación en la estructura.
- ✓ En el gráfico 3 se tiene que para el sentido X, el periodo fundamental de la estructura se ha incrementado en un 11% para el modelo de Barkan, esto en comparación con el modelo de base empotrada, del mismo modo, para el modelo de la Norma Rusa el periodo se ha incrementado en un 17%. Así también, para el sentido Y, se tiene en el gráfico 4 que para el modelo de Barkan el incremento del periodo fundamental es de solo 5%, y para el modelo de la Norma Rusa es de 7%. Por lo que se deduce que es para el modelo dinámico de la Norma Rusa en donde los valores son máximos, así también se tiene que la rigidez en el sentido Y es mayor que el del sentido X.
- ✓ De la tabla 14 afirmamos que el porcentaje de masas participativas no sufre una variación significativa pues tenemos que; para el eje X, el porcentaje acumulado mínimo es superado en el modo 5, esto se da para todas las condiciones de apoyo, para el modelo de base empotrada llega a un porcentaje de 92%, para el modelo de Barkan es de 91% y para el modelo de la Norma Rusa es de 92%; en el eje Y, se tiene que en el modo 4 se supera al mínimo, siendo para el modelo de base empotrada un valor de 96%, para el modelo de Barkan 94% y para el modelo de la Norma Rusa 95%. Según la Norma E 0.30 el porcentaje de masas debe ser mayor al 90%, y esto se cumple primeramente en la dirección Y, en el modo 4.

- **Para las cortantes sísmicas:**

- ✓ De las tablas 15 y 16 se deduce que para un sismo estático las cortantes se mantienen constantes, esto debido a que según ya vimos previamente, la variación en el valor del periodo no es alta, por ende, los parámetros de “C” y “k” también se mantienen constantes; parámetros que vendrían a ser las variables principales a la hora de calcular las cortantes para este tipo de análisis.
- ✓ Del gráfico 5 se afirma que al incluir la ISE en el eje X, las cortantes se han incrementado en todos los pisos para un análisis modal espectral, siendo para el modelo de la Norma Rusa los valores mayores, Así tenemos, a partir del gráfico 6, que la cortante basal se ha incrementado en un 3% para el modelo de Barkan, y para el modelo de la Norma Rusa se ha incrementado en un 5%. Para el eje Y, según el gráfico 7, se tiene que también hay un incremento en las cortantes, esto se puede apreciar en los primeros pisos, mientras que en los últimos es casi imperceptible, del gráfico 8 afirmamos que la cortante basal por el modelo de Barkan se ha incrementado en 1% en comparación al modelo de base empotrada, para el modelo de la Norma Rusa este incremento es de solo 2%. Se deduce que, para un análisis modal espectral, la variación en la cortante es mínima para ambos sentidos, es en la dirección X donde el valor llega a un 5%
- ✓ Para un análisis dinámico tiempo historia en el eje X, del gráfico 9, tenemos que el incremento en las cortantes de todos los pisos es mucho más notorio, siendo el del modelo de la Norma Rusa que supera a los valores del modelo de Barkan, para la cortante basal, según el gráfico 10, el incremento para el modelo de Barkan en comparación al modelo de base empotrada es de 4%, mientras que para el modelo de la Norma Rusa el incremento es de 20%. Para el eje Y, de acuerdo al gráfico 11, se afirma que las cortantes se han reducido en comparación al valor del modelo de base

empotrada, contrario al eje X, así tenemos, de acuerdo al gráfico 12, que la cortante basal ha disminuido en un 12% para el modelo de Barkan, y para el modelo de la Norma Rusa esta reducción es de 16%. En comparación al análisis sísmico realizado anteriormente, es por el análisis tiempo historia que se tienen valores mucho mayores, difiriendo para cada dirección de análisis, esto se debe a la configuración y disposición de los elementos estructurales.

- **Para los desplazamientos:**

- ✓ Según el gráfico 13, se afirma que para un análisis estático en el eje X, los desplazamientos se incrementan, de los cuales son los valores obtenidos por el modelo de la Norma Rusa superiores a los otros modelos; del gráfico 14, para los desplazamientos máximos, que son los que se dan en el último piso, se afirma que para el modelo de Barkan el incremento es de 22%, y para el modelo de la Norma Rusa es de 34% en comparación al modelo de base empotrada. Igualmente, para el eje Y, según el gráfico 15 al incluir la ISE, los desplazamientos se incrementan, principalmente para el modelo de la Norma Rusa; así del gráfico 16 se tiene que, para los valores máximos, el incremento para el modelo de Barkan es de 10%; mientras que para el modelo de la Norma Rusa es de 15%. Acorde a los resultados para el periodo fundamental, se tiene que el porcentaje máximo de variación en los desplazamientos se da en la dirección X, debido a que en este sentido hay una menor cantidad de columnas que puedan aportar rigidez.
- ✓ Para un análisis dinámico modal espectral, del gráfico 17 y 19 se puede afirmar que al insertar la interacción suelo estructura en el modelo, los desplazamientos se incrementan, donde, para el modelo de la Norma Rusa el incremento es mayor que el del modelo de Barkan. Para el sismo en el eje X, tenemos, según el gráfico 18, los

desplazamientos máximos para el modelo de Barkan se han incrementado en 25%, y para el modelo de la Norma Rusa el incremento es de 38%. Para el sismo en Y, del gráfico 20 se afirma que para el modelo de Barkan el incremento en los máximos desplazamientos del último piso es de 11%, mientras que para la Norma Rusa el incremento es de 16%. Como se puede observar en comparación a los resultados obtenidos en el análisis sísmico estático, tanto para la dirección X, como para la dirección Y, son muy parecidos, con una diferencia de solo hasta 3%.

- ✓ Del gráfico 21, para un análisis tiempo historia en el eje X, se afirma que al igual que en los casos anteriores el desplazamiento se ha incrementado, donde para el modelo de la Norma Rusa el incremento es mayor que para el de Barkan, del gráfico 22 tenemos que el incremento para el modelo de Barkan es de 30% y para el modelo de la Norma Rusa es de 60%; por otra parte, para el eje Y, del gráfico 23 se afirma que pese a que los desplazamientos también se incrementan, estos son menos perceptibles, sobre todo en los primeros tres pisos, así del gráfico 24 tenemos que el incremento de los desplazamientos del último piso para el modelo de Barkan es de solo 8%, y para el modelo de la Norma Rusa, dicho incremento es de un valor de 11%. De los resultados tenemos que es para el análisis sísmico tiempo historia que se tienen los valores máximos en la variación porcentual de los desplazamientos, estos resultados dependen de la estructuración del edificio y además, de los registros de aceleraciones de los sismos tomados

- **Para las derivas:**

- ✓ Del gráfico 25 afirmamos que para un análisis estático en el eje X, el valor en las derivas de entrepiso se incrementan, sin embargo, en ninguno de los pisos el incremento supera el valor máximo establecido por la Norma E 0.30 para estructuras

de concreto armado, 0.007; de todos los pisos el máximo valor, se alcanza en el piso 2 de la estructura; al igual que en los otros casos, es para el modelo de la Norma Rusa que alcanza un mayor incremento, de esta manera tenemos que, de acuerdo al gráfico 26, el incremento es de 23%, mientras que para el modelo de Barkan el incremento es de 15%. Del mismo análisis, para el eje Y, del gráfico 27 se afirma que las derivas también se incrementan en este sentido, sin embargo, para este caso tenemos que en el piso 2, al incluir al modelo la interacción suelo estructura, estos valores superan el valor de 0.007 pese a que la variación porcentual es menor en comparación al análisis en el eje X, así tenemos, del gráfico 28 que para el modelo de Barkan el incremento de las derivas en el piso 2, valores máximos, es de 5% y para el modelo de la Norma Rusa el incremento es de 8%. Como el valor de las derivas depende de los desplazamientos, así también, se tiene que en el eje X la variación porcentual es mayor que análisis del sentido Y para el segundo piso.

- ✓ Para el análisis dinámico modal espectral en el eje X, se afirma del gráfico 29, que la deriva máxima se mantiene en el piso 2 y que al incluir la interacción suelo estructura los valores se incrementan en todos los pisos, en el gráfico 30 tenemos que para el modelo de la Norma Rusa el incremento es de 26% y para el modelo de Barkan es de 17%. Del gráfico 31, para el análisis en el eje Y se tiene que las derivas también se incrementan, pero a diferencia del análisis estático, en esta ocasión todas las derivas incluyendo las máximas para todos los modelos, si cumplen con los requerimientos de la E 0.30, donde ningún valor supera el máximo permitido; del gráfico 32 se tiene que el incremento para el modelo de Barkan es de 6% y para el modelo de la Norma Rusa es de 9%. Se tiene que estos valores son parecidos a los obtenidos por el análisis sísmico estático, aunque la diferencia de porcentajes en derivas es ligeramente mayor

al de los desplazamientos, aun así, los valores de las derivas si difieren para cada método de análisis sísmico.

- ✓ En el gráfico 33, se tiene para el eje X, del análisis dinámico tiempo historia, todas las derivas se incrementan al considerar en el modelo la interacción suelo estructura, siendo el máximo valor el del piso 2, sin embargo, este no supera el valor máximo de la Norma E 0.30 en ningún caso; del gráfico 34 tenemos los incrementos de las derivas para el piso 2, para el modelo de Barkan se incrementa 21%, y para el modelo de la Norma Rusa el incremento es de 46%. Para el eje Y, en el gráfico 35 se tiene que a diferencia del eje X y de los otros análisis, las derivas no tienden solo incrementarse, sino que en el piso 2, para el modelo de Barkan este valor se reduce, así del gráfico 36 afirmamos que para el modelo de la Norma Rusa la deriva del segundo piso se incrementa en 2%, sin embargo, para el modelo de Barkan este valor se reduce 5%. Por lo tanto, de los análisis sísmicos realizados, es para el análisis tiempo historia que se presenta una mayor variación porcentual, esto se debe a los registros de aceleraciones que se han tomado para el análisis.

- **Para las fuerzas internas:**

Los resultados de las fuerzas internas, se basan solo en elementos representativos, aquellos donde se presentan los valores más altos en su tipo, de los cuales se detallan a continuación:

- ✓ Para la columna tipo C1, se afirma que:
 - De la tabla 50, para un análisis estático, tenemos que todas las fuerzas internas se reducen al incluir en el modelo la interacción suelo estructura. La fuerza axial para el modelo de Barkan se reduce 4%, y para la Norma Rusa se reduce 7%. Las fuerzas cortantes se reducen para el modelo de Barkan 5% y 1%, para el

modelo de la Norma Rusa se reducen 7% y 3%. Los momentos también disminuyen, para el modelo de Barkan se reduce 5% y 12%, para el modelo de la Norma Rusa se reduce 8% y 15%. Por lo que se deduce que la tendencia de los esfuerzos en las columnas, al considerar en el análisis sísmico la interacción suelo estructura, se ven reducidos hasta un 15%.

- Al igual que en el análisis anterior para el análisis espectral, de la tabla 56 se afirma que los modelos con interacción suelo estructura permiten que las fuerzas internas en la columna tiendan a reducirse. Para el modelo de Barkan, la fuerza axial se reduce 3%, la cortante 2-2 se reduce 1% mientras que la cortante 3-3 se incrementa solo en 1%, los momentos disminuyen en 3% y 9%. Para el modelo de la Norma Rusa, la fuerza axial disminuye 4%, las cortantes decrecen 1%, y los momentos se ven reducidos 6% y 11%. Se tiene que los porcentajes de variación de esfuerzos en columnas por un análisis sísmico modal espectral no difieren mucho del análisis sísmico estático.
- Sin embargo, para un análisis dinámico tiempo historia, de los resultados obtenidos en la tabla 60 se afirma que, existen valores que no solo disminuyen, también existen valores que tiende a aumentar, así tenemos que, para la fuerza axial en la columna tipo C1 al considerar la ISE, para un modelo de Barkan esta se incrementa 8% y para un modelo de la Norma Rusa el incremento es de 13%; la cortante 2-2 para un modelo de Barkan se mantiene igual que para un modelo de base empotrada, para un modelo de la Norma Rusa el valor se incrementa 13%; no obstante, la cortante 3-3 tanto para el modelo de Barkan como para el modelo de la Norma Rusa su valor se reduce en 14%; el momento 2-2 para el modelo de Barkan se reduce 17% y para el modelo de la Norma Rusa se reduce

19%; el momento 3-3 para un modelo de Barkan se reduce 8% mientras que para el modelo de la Norma Rusa se incrementa 4%.

✓ Para la viga tipo VP, se afirma que:

- Del análisis estático, según la tabla 52 se tiene que tanto cortantes como momentos se reducen al incluir la flexibilidad del suelo. La cortante para el modelo de Barkan se reduce 3% y para el modelo de la Norma Rusa 5%. El momento también se reduce, para el modelo Barkan 3% y para la Norma Rusa 5%.
- De la Tabla 58, para un análisis dinámico espectral, se afirma que la variación en las fuerzas internas para este caso es casi imperceptible para cada condición de apoyo en la base, pues tenemos que para el modelo de Barkan, la cortante y el momento se incrementan 1%; y para el modelo de la Norma Rusa se mantiene el porcentaje.
- De un análisis tiempo historia, de la tabla 64 se tiene que, al incluir la flexibilidad del suelo en la base de la estructura, para un modelo de Barkan la cortante se incrementa 2%, y el momento se reduce 1%, para un modelo de la Norma Rusa la cortante se incrementa 11%, y el momento 1%.

✓ Para la viga tipo VS, se afirma que:

- De la tabla 54, se afirma que las fuerzas internas de la viga secundaria disminuyen, siendo el máximo valor para el modelo de base empotrada, Para el modelo de Barkan se reduce 3%, tanto cortante como momento, para el modelo de la Norma Rusa se reducen ambos 5%.
- Para en análisis dinámico espectral, se tiene de la tabla 60 que, para un modelo de base flexible, los esfuerzos se reducen, así tenemos que, para el modelo de Barkan, tanto cortante como momentos se han reducido 1% del valor inicial,

calculado con base empotrada; para el modelo de la Norma Rusa, los valores se han reducido, para cortantes y momentos, 3%.

- De los resultados presentados previamente, se tiene de la tabla 66 para un análisis tiempo historia que, al considerar la interacción suelo estructura los valores de los esfuerzos en la viga secundaria disminuyen, para el modelo Barkan tanto cortantes como momentos se reducen 13%; para el modelo de la Norma Rusa la cortante y el momento disminuyen 17% y 21% respectivamente.

Por lo que, en base a los resultados, se tiene que la hipótesis inicialmente planteada: “El modelo de la Norma Rusa genera una mayor respuesta sísmica al realizar la comparación de un modelo con interacción suelo estructura y un modelo sin interacción suelo estructura para un edificio aporricado”; se toma como verdadera, pues se tiene que:

- ✓ El valor del periodo fundamental llega a un incremento máximo de 17% por el modelo dinámico de la Norma Rusa
- ✓ Para el análisis sísmico dinámico espectral el incremento en la cortante basal llega como máximo a 5%, mientras que solo por el análisis tiempo historia el valor máximo alcanza hasta el 20%, esto dado para el modelo dinámico de la Norma Rusa.
- ✓ Los valores máximos de los desplazamientos y derivas obtenidos de un análisis sísmico tiempo historia son de 60% y 46% por el modelo dinámico de la Norma Rusa, sin embargo, para los análisis sísmicos estático y modal espectral estos valores son muy inferiores, llegando incluso hasta un 5%.
- ✓ El porcentaje de variación en las fuerzas de los elementos estructurales por los análisis estático y espectral no superan el 15%, mientras que por el análisis tiempo historia los valores solo alcanzan un máximo de 20% para el modelo de

la Norma Rusa; sin embargo, estos valores son solo representativos por ser los más altos y no por ser los que más se repiten, existen valores que alcanzan de 1% hasta 5%, valores que se presentan con más frecuencia en los resultados.

De lo expuesto, también se tiene que los valores; periodo fundamental, cortante basal, desplazamientos, derivas y fuerzas internas; dependen del sistema estructural y de la distribución de los elementos estructurales, del método de análisis sísmico, del tipo de suelo de fundación y del modelo dinámico de interacción suelo estructura a usarse.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Tras haber concluido el trabajo de investigación planteado, cumpliendo con todos los objetivos propuestos inicialmente, en esta tesis se concluye que:

1. Al reemplazar el apoyo empotrado por los coeficientes de rigidez de los modelos dinámicos de interacción suelo estructura en una edificación, la respuesta dinámica también cambia. Es así que valores como el periodo fundamental, la cortante basal, los desplazamientos y las derivas tienden a incrementarse; mientras que las fuerzas internas de los elementos estructurales tienden a reducirse.
2. Al realizar el análisis sísmico estático para un modelo con base empotrada y considerando interacción suelo estructura: el desplazamiento máximo se incrementa hasta 34% de su valor inicial, las derivas se incrementan hasta 23%; para las columnas la fuerza axial y la cortante máxima se reducen hasta 7%, y el momento flector máximo se reduce hasta 15%; para las vigas la cortante máxima y el momento flector máximo, se reducen hasta 5%.
3. Para un análisis dinámico espectral en modelos con base empotrada y considerando interacción suelo estructura: la cortante basal máxima se incrementa hasta 5%, el desplazamiento máximo se incrementa hasta 38% de su valor inicial, las derivas se incrementan hasta 26%; para las columnas la fuerza axial, la cortante máxima y el momento flector máximo se reducen hasta 4%, 1%, 11% respectivamente; para las vigas la cortante máxima y el momento flector máximo se reducen hasta 3%.
4. Al realizar un análisis tiempo historia considerando y sin considerar interacción suelo estructura: la cortante basal máxima se incrementa hasta el 20%, el desplazamiento máximo se incrementa hasta 60% de su valor inicial, las derivas máximas se incrementan hasta 46%; para las columnas la fuerza axial se incrementa en hasta

13%, la cortante máxima se reduce hasta 14% y el momento flector máximo se reduce hasta 19%; para las vigas la cortante máxima y el momento flector máximo se reducen hasta 17% y 21% respectivamente.

5. De los dos modelos dinámicos aplicados, D.D. Barkan – O. A. Savinov y la Norma Rusa, es el modelo de la Norma Rusa la que tiene mayor incidencia en la respuesta dinámica de la edificación pese a que este modelo incluye el coeficiente de amortiguamiento dinámico del suelo al momento del evento sísmico.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar un diseño sísmico considerando los modelos dinámicos de interacción suelo estructura, pues como vimos en este trabajo, la respuesta dinámica del edificio varía, y por ende los valores de diseño también se incrementan o reducen.
2. De los modelos dinámicos usados en este trabajo de investigación, Barkan y la Norma Rusa, los resultados obtenidos muestran valores distintos para cada uno, es por ello que se recomienda ampliar el campo de conocimientos en lo referente a la interacción dinámica suelo estructura para una acertada aplicación en el análisis y diseño sísmico.
3. Se recomienda el modelo dinámico de la Norma Rusa, por ser el modelo del que se obtienen valores con una mayor variación en la respuesta sísmica de edificaciones, de esta manera se tendrá un diseño con un factor de seguridad mayor al de los otros modelos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, R., & Ortiz, D. (2017). Análisis sísmico de un edificio de doce pisos de la ciudad de Manta considerando interacción suelo estructura. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 22(3), 251-279.
- Alva Hurtado, J. (s.f.). *Diseño de cimentaciones*. Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia - ICG.
- Anyaipoma, H. (2019). *Análisis y diseño estructural de una edificación multifamiliar de concreto armado considerando la Interacción Suelo Estructura*. Universidad Peruana los Andes, Huancayo, Perú.
- Blanco Blasco, A. (1990). *Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado*. Lima: Colegio de ingenieros del Perú.
- Bustmante Moreno, J. F. (2021). *Comparación de los métodos de cálculo de interacción suelo estructura con la NTP E-0.30. 2018, al determinar la respuesta estructural de la torre II de la clínica Limatambo S.A.C Cajamarca*. Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Chopra, A. K. (2014). *Dinámica de estructuras* (Cuarta ed.). México: Pearson Educación.
- Cruzado Vásquez, G. (2009). *Estudio de Geología*. Gobierno Regional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- De la Cruz, S. A., Aztocaza, S., & Aztocaza, E. A. (2022). Interacción suelo-estructura en la respuesta sísmica de una edificación para uso de oficinas con zapatas aisladas en suelo blando e intermedio de la región Ica. *Revista Cubana de Ingeniería*, XIII (1).
- Escobar, J. (2019). *Análisis y diseño estructural con interacción suelo-estructura de una vivienda multifamiliar de 7 niveles*. Universidad Nacional de San Antonio ABAD del Cusco, Cusco, Perú.

- Estela Luna, J. J. (2019). *Comparación de la respuesta estructural de una edificación regular con zapatas aisladas en la ciudad de Cajamarca, considerando y obviando el efectos de interacción sísmica suelo-estructura*. Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Hibbeler, R. (2010). *Ingeniería Mecánica - Estática* (Decimosegunda ed.). México: Pearson Educación.
- Hurtado Gómez, J. E. (2000). *Introducción a la dinámica de estructuras*. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- León, J. (2016). *Análisis comparativo del diseño de una edificación de hormigón armado considerando el sistema de base rígida versus la interacción suelo - estructura*. Universidad central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Norma Técnica E 0.30. (2018). *Diseño sismorresistente*. Reglamento Nacional de Edificaciones, Lima, Perú.
- Norma Técnica E 0.50. (2018). *Suelos y Cimentaciones*. Reglamento Nacional de Edificaciones, Perú.
- Norma Técnica E 0.60. (2009). *Concreto Armado*. Reglamento Nacional de Edificaciones, Lima, Perú.
- Oviedo, J. A., & Duque, M. d. (2006). *Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones*. Revista Escuela de Ingeniería de Antioquía, Medellín, Colombia.
- Tavera, H. (2020). *Análisis y evaluación de los patrones de sismicidad y escenarios sísmicos en el borde occidental del Perú*. Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.
- Tejada, F. (2019). *Efectos de Interacción Suelo- Estructura en la Respuesta Sísmica de Edificios Altos*. [Trabajo final de Máster. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona], Barcelona.

- Tena Colunga, A. (2019). Interacción suelo-estructura. Reflexiones sobre su importancia en la respuesta dinámica de estructuras durante sismos. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 24(2), 141-165.
- Vásquez, W. (2017). *Estudio comparativo del comportamiento estructural de una edificación con y sin disipadores de energía considerando el efecto de la interacción suelo-estructura*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Vidal, F. (s.f.). *Los terremotos y sus causas*. Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos, Granada, España.
- Villarreal Castro, G. (2009). *Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas*. Lima, Perú.
- Villarreal Castro, G. A. (2020). Interacción suelo estructura en edificaciones con zapatas aisladas. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 25,3, 311-332.
- Villarreal, G., & Aguila, C. (2021). Interacción Suelo-Estructura y su influencia en la respuesta sísmica de edificios de concreto armado. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 26(3), 426-471.

ANEXOS

Módulo de Elasticidad y de Poisson para cada tipo de suelo:

Tabla N° 67: Módulo de Elasticidad según el tipo de suelo.

TIPO DE SUELO	Es (ton/m ²)
ARCILLA MUY BLANDA	30 - 300
BLANDA	200 - 400
MEDIA	450 - 900
DURA	700 - 2000
ARCILLA ARENOSA	3000 - 4250
SUELOS GRACIARES	1000 - 16000
LOESS	1500 - 6000
ARENA LIMOSA	500 - 2000
ARENA : SUELTA	1000 - 2500
DENSA	5000 - 10000
GRAVA ARENOSA : DENSA	8000 - 20000
SUELTA	5000 - 14 000
ARCILLA ESQUISTOSA	14000 - 140000
LIMOS	200 - 2000

Fuente: Diseño de cimentaciones (Alva Hurtado, s.f.).

Tabla N° 68: Módulo de Poisson según el tipo de suelo.

TIPO DE SUELO	μ (-)
ARCILLA: SATURADA	0.4 - 0.5
NO SATURADA	0.1 - 0.3
ARENOSA	0.2 - 0.3
LIMO	0.3 - 0.35
ARENA : DENSA	0.2 - 0.4
DE GRANO GRUESO	0.15
DE GRANO FINO	0.25
ROCA	0.1 - 0.4
LOESS	0.1 - 0.3
HIELO	0.36
CONCRETO	0.15

Fuente: Diseño de cimentaciones (Alva Hurtado, s.f.).

Cálculos para el predimensionamiento:

Tabla N° 69: Predimensionamiento de losa aligerada.

Paño	Luz libre (m)	Espesor calculado (m)	Espesor (cm)
1	2.06	8.24	17
2	2.06	8.24	17
3	2.73	10.92	17
4	2.35	9.40	17
5	2.75	11.00	17
6	2.70	10.80	17

Figura N° 30: Detalle de aligerado.

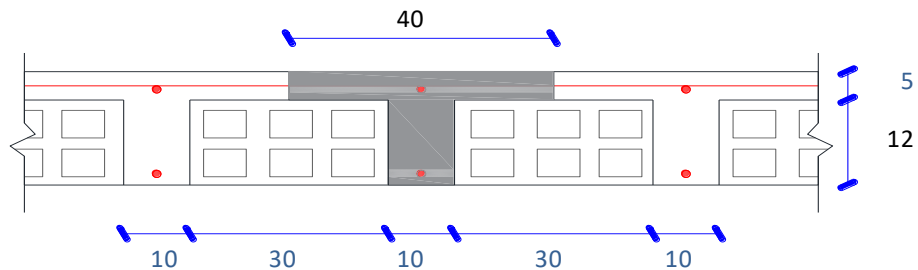


Tabla N° 70: Predimensionamiento de vigas.

Viga	Luz libre (m)	Coef. peralte	Coef. ancho	Peralte calculado (cm)	Ancho calculado (cm)	Peralte (cm)	Ancho (cm)
VP	3.7	1/10	2/3	37.00	26.67	40	30
VS	2.75	1/10	2/3	27.50	20.00	30	25

Tabla N° 71: Predimensionamiento de columnas.

Columna	Tipo	Area tributaria (m ²)	P (kg/m ²)	N	H (m)	f'c (kg/cm ²)	Area Columna (cm ²)	a (cm)	b (cm)
C-1	Céntrica	6.60	1000	5	4.1	210	349.21	60	35
C-2	Céntrica	7.70	1000	5	4.1	210	407.41	60	35
C-3	Céntrica	8.12	1000	5	4.1	210	429.63	60	35
C-4	Céntrica	8.20	1000	5	4.1	210	433.86	60	35
C-5	Céntrica	8.72	1000	5	4.1	210	461.38	60	35
C-6	Excéntrica	4.44	1000	5	4.1	210	302.04	60	35
C-7	Excéntrica	5.15	1000	5	4.1	210	350.34	60	35

C-8	Excéntrica	5.45	1000	5	4.1	210	370.75	60	35
C-9	Excéntrica	5.48	1000	5	4.1	210	372.79	60	35
C-10	Excéntrica	5.86	1000	5	4.1	210	398.64	60	35
C-11	Excéntrica	3.40	1000	5	4.1	210	231.29	60	35
C-12	Excéntrica	3.95	1000	5	4.1	210	268.71	60	35
C-13	Excéntrica	4.19	1000	5	4.1	210	285.03	60	35
C-14	Excéntrica	4.21	1000	5	4.1	210	286.39	60	35
C-15	Excéntrica	4.50	1000	5	4.1	210	306.12	60	35
C-16	Excéntrica	3.86	1000	5	4.1	210	262.59	60	35
C-17	Excéntrica	4.88	1000	5	4.1	210	331.97	60	35
C-18	Esquinera	2.59	1000	5	4.1	210	176.19	60	35
C-19	Esquinera	3.28	1000	5	4.1	210	223.13	60	35
C-20	Esquinera	1.99	1000	5	4.1	210	135.37	60	35
C-21	Esquinera	2.52	1000	5	4.1	210	171.43	60	35

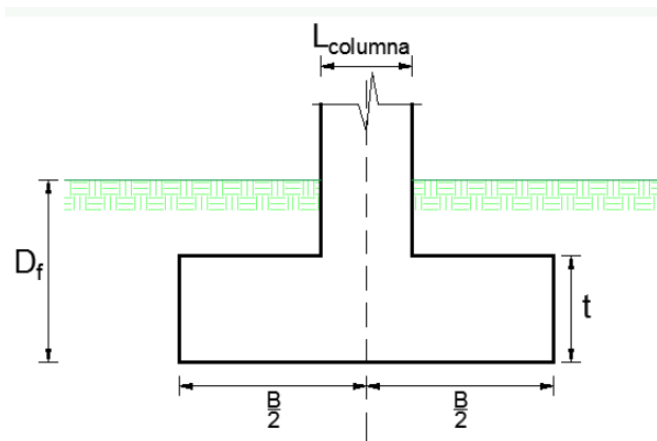
Tabla N° 72: Predimensionamiento de zapatas.

Zapata	Tipo	Area tributaria (m ²)	P (kg/m ²)	N	k	q adm. (kg/cm ²)	Area zapata (cm ²)	a (m)	b (m)	e (m)
Z-1	Central	6.60	1000	5	0.80	1.01	40841.58	2.80	1.95	0.50
Z-1	Central	7.70	1000	5	0.80	1.01	47648.51	2.80	1.95	0.50
Z-1	Central	8.12	1000	5	0.80	1.01	50247.52	2.80	1.95	0.50
Z-1	Central	8.20	1000	5	0.80	1.01	50742.57	2.80	1.95	0.50
Z-1	Central	8.72	1000	5	0.80	1.01	53960.40	2.80	1.95	0.50
Z-2	Externa	4.44	1000	5	0.80	1.01	27475.25	1.90	1.90	0.50
Z-2	Externa	5.15	1000	5	0.80	1.01	31868.81	1.90	1.90	0.50
Z-2	Externa	5.45	1000	5	0.80	1.01	33725.25	1.90	1.90	0.50
Z-2	Externa	5.48	1000	5	0.80	1.01	33910.89	1.90	1.90	0.50
Z-2	Externa	5.86	1000	5	0.80	1.01	36262.38	1.90	1.90	0.50
Z-2	Externa	3.40	1000	5	0.80	1.01	21039.60	1.90	1.90	0.50
Z-2	Externa	3.95	1000	5	0.80	1.01	24443.07	1.90	1.90	0.50
Z-2	Externa	4.19	1000	5	0.80	1.01	25928.22	1.90	1.90	0.50
Z-2	Externa	4.21	1000	5	0.80	1.01	26051.98	1.90	1.90	0.50
Z-2	Externa	4.50	1000	5	0.80	1.01	27846.53	1.90	1.90	0.50
Z-2	Externa	3.86	1000	5	0.80	1.01	23886.14	1.90	1.90	0.50
Z-2	Externa	4.88	1000	5	0.80	1.01	30198.02	1.90	1.90	0.50
Z-3	Esquinera	2.59	1000	5	0.80	1.01	16027.23	1.65	1.65	0.50
Z-3	Esquinera	3.28	1000	5	0.80	1.01	20297.03	1.65	1.65	0.50
Z-3	Esquinera	1.99	1000	5	0.80	1.01	12314.36	1.65	1.65	0.50
Z-3	Esquinera	2.52	1000	5	0.80	1.01	15594.06	1.65	1.65	0.50

Cálculos para la verificación de zapatas:

Zapata Z-1

Datos		
f_y	4200	kg/cm ²
f'_c	210	kg/cm ²
r_{cent}	9	cm
γ_{suelo}	2	tn/m ³
γ_{conc}	2.4	tn/m ³
σ_{adm}	1.01	kg/cm ²
Φ_c	0.85	-
Φ_f	0.90	-
L_{col}	0.60	m
D_f	1.50	m



a. Dimensionamiento

Chequeo de excentricidad última máxima:

B	1.950	m
L	2.800	m
t	50	cm
P	38.65	tn
P_u	56.3	tn
M_u	6.11	tn.m
e_{max}	0.109	m

Calculamos el área mínima de la zapata:

$$A = \frac{P}{\sigma_{adm}} \quad \begin{array}{l} A = 3.83 \quad m^2 \\ A_z = 5.46 \quad m^2 \end{array}$$

Cumple

Chequeo de capacidad admisible del suelo:

$$\sigma_{1,2} = \frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\min} &= 5.41 \text{ tn/m}^2 < 10.10 = \sigma_{\text{adm}} && \text{(Cumple)} \\ \sigma_{\max} &= 11.98 \text{ tn/m}^2 > 10.10 = \sigma_{\text{adm}} && \text{(Cumple)} \end{aligned}$$

Las dimensiones de la zapata serán:

L	2.80	m
B	1.950	m

b. Peralte

$$\sigma_{\min} = \frac{P}{A} - \frac{6Pe}{SL^2} \quad \sigma_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{6Pe}{SL^2}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\min} &= 7.91 \text{ tn/m}^2 \\ \sigma_{\max} &= 12.71 \text{ tn/m}^2 \end{aligned}$$

Distancias útiles:

$$\begin{aligned} d &= 41.0 \text{ cm} \\ L' &= 1.10 \text{ m} \\ L &= 0.69 \text{ m} \end{aligned}$$

Semejanza de triángulos:

$$y_1 = 3.61 \text{ tn/m}^2$$

Áreas de esfuerzos:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{trap}} &= 8.36 \text{ tn/m} \\ \sigma_{\text{trap}} &= 83.62 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

Chequeo de corte por flexión:

$$d_{\text{nec}} = \frac{q_u L}{\phi * 0.53 * \sqrt{f'c}}$$

$$d_{\min} = 12.81 \text{ cm} < d = 41.0 \text{ cm}$$

Cumple

c. Punzonamiento

$$\sigma_{\min} = \frac{P}{A} - \frac{6Pe}{SL^2} \quad \sigma_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{6Pe}{SL^2}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\min} &= 7.91 \text{ tn/m}^2 \\ \sigma_{\max} &= 12.71 \text{ tn/m}^2 \end{aligned}$$

Distancias útiles:

$$\begin{aligned} d/2 &= 20.5 \text{ cm} \\ L' &= 1.10 \text{ m} \\ b_o &= 4.04 \text{ m} \end{aligned}$$

Semejanza de triángulos:

$$\begin{aligned} y_1 &= 1.53 \text{ tn/m}^2 \\ y_2 &= 3.26 \text{ tn/m}^2 \end{aligned}$$

Volúmenes de esfuerzos:

$$\begin{aligned} V(\text{total}) &= 80.84 \text{ tn} \\ V_{np} &= 10.41 \text{ tn} \\ V_p &= 70.43 \text{ tn} \\ V_p &= 70427 \text{ kg} \end{aligned}$$

Chequeo de corte por punzonamiento:

$$d_{nec} = \frac{q_u A'}{\phi * 1.1 * \sqrt{f'_c} * b_o}$$

$$d_{nec} = 12.87 \text{ cm} < d = 41.0 \text{ cm}$$

Cumple

Zapata Z-2

Datos		
fy	4200	kg/cm ²
f'c	210	kg/cm ²
rcent	9	cm
γsuelo	2.0	tn/m ³
γconc	2.4	tn/m ³
σadm	1.01	kg/cm ²
Φc	0.85	-
Φf	0.90	-
Lcol	0.60	m
Df	1.50	m

a. Dimensionamiento

Chequeo de excentricidad última máxima:

B	1.900	m
L	1.900	m
t	50	cm
P	33.17	tn
Pu	47.86	tn
Mu	5.38	tn.m
emax	0.112	m

Calculamos el área mínima de la zapata:

$$A = \frac{P}{\sigma_{adm}} \quad \begin{array}{l} A = 3.28 \text{ m}^2 \\ A_z = 3.61 \text{ m}^2 \\ \text{Cumple} \end{array}$$

Chequeo de capacidad admisible del suelo:

$$\sigma_{1,2} = \frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I}$$

$$\begin{array}{l} \sigma_{min} = 8.55 \text{ tn/m}^2 < 10.10 = \sigma_{adm} \text{ (Cumple)} \\ \sigma_{max} = 17.96 \text{ tn/m}^2 > 10.10 = \sigma_{adm} \text{ (Cumple)} \end{array}$$

Las dimensiones de la zapata serán:

L	1.90	m
B	1.950	m

b. Peralte

$$\sigma_{min} = \frac{P}{A} - \frac{6Pe}{SL^2} \quad \sigma_{max} = \frac{P}{A} + \frac{6Pe}{SL^2}$$

$$\begin{array}{l} \sigma_{min} = 8.33 \text{ tn/m}^2 \\ \sigma_{max} = 17.50 \text{ tn/m}^2 \end{array}$$

Distancias útiles:

$$\begin{array}{l} d = 41.0 \text{ cm} \\ L' = 0.65 \text{ m} \\ L = 0.24 \text{ m} \end{array}$$

Semejanza de triángulos:

$$y_1 = 8.01 \text{ tn/m}^2$$

Áreas de esfuerzos:

$$\begin{array}{l} \sigma_{trap} = 4.06 \text{ tn/m} \\ \sigma_{trap} = 40.62 \text{ kg/cm} \end{array}$$

Chequeo de corte por flexión:

$$d_{nec} = \frac{q_u L}{\phi * 0.53 * \sqrt{f'c}}$$

$$\begin{array}{l} d_{min} = 6.22 \text{ cm} < d = 41.0 \text{ cm} \\ \text{Cumple} \end{array}$$

c. Punzonamiento

$$\sigma_{min} = \frac{P}{A} - \frac{6Pe}{SL^2} \quad \sigma_{max} = \frac{P}{A} + \frac{6Pe}{SL^2}$$

$$\sigma_{min} = 8.33 \text{ tn/m}^2$$

$$\sigma_{max} = 17.50 \text{ tn/m}^2$$

Distancias útiles:

$$d/2 = 20.5 \text{ cm}$$

$$L' = 0.65 \text{ m}$$

$$b_o = 4.04 \text{ m}$$

Semejanza de triángulos:

$$y_1 = 2.15 \text{ tn/m}^2$$

$$y_2 = 7.02 \text{ tn/m}^2$$

Volúmenes de esfuerzos:

V(total)

$$= 46.63 \text{ tn}$$

$$V_{np} = 13.05 \text{ tn}$$

$$V_p = 33.59 \text{ tn}$$

$$V_p = 33586 \text{ kg}$$

Chequeo de corte por punzonamiento:

$$d_{nec} = \frac{q_u A'}{\phi * 1.1 * \sqrt{f'c} * b_o}$$

$$d_{nec} = 6.14 \text{ cm} < d = 41.0 \text{ cm}$$

Cumple

Zapata Z-3

Datos		
fy	4200	kg/cm ²
f'c	210	kg/cm ²
rcent	9	cm
γsuelo	2	tn/m ³
γconc	2.4	tn/m ³
σadm	1.01	kg/cm ²
Φc	0.85	-
Φf	0.90	-
Lcol	0.60	m
Df	1.50	m

a. Dimensionamiento

Chequeo de excentricidad última máxima:

B	1.650	m
L	1.650	m
t	50	cm
P	25.19	tn
Pu	35.99	tn
Mu	4.67	tn.m
emax	0.130	m

Calculamos el área mínima de la zapata:

$$A = \frac{P}{\sigma_{adm}} \quad A = 2.49 \quad m^2$$

$$A_z = 2.72 \quad m^2$$

Cumple

Chequeo de capacidad admisible del suelo:

$$\sigma_{1,2} = \frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_{min} = 6.98 \quad tn/m^2 < 10.10 = \sigma_{adm} \quad (\text{Cumple})$$

$$\sigma_{max} = 19.46 \quad tn/m^2 > 10.10 = \sigma_{adm} \quad (\text{Cumple})$$

Las dimensiones de la zapata serán:

L	1.65	m
B	1.950	m

b. Peralte

$$\sigma_{min} = \frac{P}{A} - \frac{6Pe}{SL^2} \quad \sigma_{max} = \frac{P}{A} + \frac{6Pe}{SL^2}$$

$$\sigma_{min} = 5.91 \quad tn/m^2$$

$$\sigma_{max} = 16.46 \quad tn/m^2$$

Distancias útiles:

$$d = 41.0 \quad cm$$

$$L' = 0.53 \quad m$$

$$L = 0.12 \quad m$$

Semejanza de triángulos:

$$y_1 = 9.82 \quad tn/m^2$$

Áreas de esfuerzos:

$$\begin{aligned}\sigma_{trap} &= 1.85 \text{ tn/m} \\ \sigma_{trap} &= 18.51 \text{ kg/cm}\end{aligned}$$

Chequeo de corte por flexión:

$$d_{nec} = \frac{q_u L}{\phi * 0.53 * \sqrt{f'c}}$$

$$d_{min} = 2.84 \text{ cm} < d = 41.0 \text{ cm}$$

Cumple

c. Punzonamiento

$$\sigma_{min} = \frac{P}{A} - \frac{6Pe}{SL^2} \quad \sigma_{max} = \frac{P}{A} + \frac{6Pe}{SL^2}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{min} &= 5.91 \text{ tn/m}^2 \\ \sigma_{max} &= 16.46 \text{ tn/m}^2\end{aligned}$$

Distancias útiles:

$$\begin{aligned}d/2 &= 20.5 \text{ cm} \\ L' &= 0.53 \text{ m} \\ b_o &= 4.04 \text{ m}\end{aligned}$$

Semejanza de triángulos:

$$\begin{aligned}y_1 &= 2.05 \text{ tn/m}^2 \\ y_2 &= 8.51 \text{ tn/m}^2\end{aligned}$$

Volúmenes de esfuerzos:

$$\begin{aligned}V(\text{total}) &= 30.45 \text{ tn} \\ V_{np} &= 11.30 \text{ tn} \\ V_p &= 19.16 \text{ tn} \\ V_p &= 19156 \text{ kg}\end{aligned}$$

Chequeo de corte por punzonamiento:

$$d_{nec} = \frac{q_u A'}{\phi * 1.1 * \sqrt{f'c} * b_o}$$

$$d_{nec} = 3.50 \text{ cm} < d = 41.0 \text{ cm}$$

Cumple

Datos para el espectro de diseño del análisis dinámico modal espectral:

Tabla N° 73: Espectro de diseño.

T	C	Sa/g (X)	Sa/g (Y)	Sv (X)	Sv (Y)	Sd (X)	Sd (Y)
0.00	2.5000	0.1258	0.1258	0.000	0.000	0.0000	0.0000
0.01	2.5000	0.1258	0.1258	0.019	0.019	0.0000	0.0000
0.02	2.5000	0.1258	0.1258	0.039	0.039	0.0001	0.0001
0.03	2.5000	0.1258	0.1258	0.058	0.058	0.0003	0.0003
0.04	2.5000	0.1258	0.1258	0.077	0.077	0.0005	0.0005
0.05	2.5000	0.1258	0.1258	0.096	0.096	0.0008	0.0008
0.06	2.5000	0.1258	0.1258	0.116	0.116	0.0011	0.0011
0.07	2.5000	0.1258	0.1258	0.135	0.135	0.0015	0.0015
0.08	2.5000	0.1258	0.1258	0.154	0.154	0.0020	0.0020
0.09	2.5000	0.1258	0.1258	0.173	0.173	0.0025	0.0025
0.10	2.5000	0.1258	0.1258	0.193	0.193	0.0031	0.0031
0.20	2.5000	0.1258	0.1258	0.385	0.385	0.0123	0.0123
0.30	2.5000	0.1258	0.1258	0.578	0.578	0.0276	0.0276
0.40	2.5000	0.1258	0.1258	0.771	0.771	0.0491	0.0491
0.50	2.5000	0.1258	0.1258	0.963	0.963	0.0767	0.0767
0.60	2.5000	0.1258	0.1258	1.156	1.156	0.1104	0.1104
0.70	2.1429	0.1078	0.1078	1.156	1.156	0.1288	0.1288
0.80	1.8750	0.0943	0.0943	1.156	1.156	0.1472	0.1472
0.90	1.6667	0.0839	0.0839	1.156	1.156	0.1656	0.1656
1.00	1.5000	0.0755	0.0755	1.156	1.156	0.1840	0.1840
1.10	1.3636	0.0686	0.0686	1.156	1.156	0.2024	0.2024
1.20	1.2500	0.0629	0.0629	1.156	1.156	0.2208	0.2208
1.30	1.1538	0.0581	0.0581	1.156	1.156	0.2392	0.2392
1.40	1.0714	0.0539	0.0539	1.156	1.156	0.2576	0.2576
1.50	1.0000	0.0503	0.0503	1.156	1.156	0.2760	0.2760
1.60	0.9375	0.0472	0.0472	1.156	1.156	0.2944	0.2944
1.70	0.8824	0.0444	0.0444	1.156	1.156	0.3127	0.3127
1.80	0.8333	0.0419	0.0419	1.156	1.156	0.3311	0.3311
1.90	0.7895	0.0397	0.0397	1.156	1.156	0.3495	0.3495
2.00	0.7500	0.0377	0.0377	1.156	1.156	0.3679	0.3679
2.10	0.6803	0.0342	0.0342	1.101	1.101	0.3679	0.3679
2.20	0.6198	0.0312	0.0312	1.051	1.051	0.3679	0.3679
2.30	0.5671	0.0285	0.0285	1.005	1.005	0.3679	0.3679
2.40	0.5208	0.0262	0.0262	0.963	0.963	0.3679	0.3679
2.50	0.4800	0.0242	0.0242	0.925	0.925	0.3679	0.3679
2.60	0.4438	0.0223	0.0223	0.889	0.889	0.3679	0.3679
2.70	0.4115	0.0207	0.0207	0.856	0.856	0.3679	0.3679
2.80	0.3827	0.0193	0.0193	0.826	0.826	0.3679	0.3679
2.90	0.3567	0.0179	0.0179	0.797	0.797	0.3679	0.3679

3.00	0.3333	0.0168	0.0168	0.771	0.771	0.3679	0.3679
3.10	0.3122	0.0157	0.0157	0.746	0.746	0.3679	0.3679
3.20	0.2930	0.0147	0.0147	0.722	0.722	0.3679	0.3679
3.30	0.2755	0.0139	0.0139	0.701	0.701	0.3679	0.3679
3.40	0.2595	0.0131	0.0131	0.680	0.680	0.3679	0.3679
3.50	0.2449	0.0123	0.0123	0.661	0.661	0.3679	0.3679
3.60	0.2315	0.0116	0.0116	0.642	0.642	0.3679	0.3679
3.70	0.2191	0.0110	0.0110	0.625	0.625	0.3679	0.3679
3.80	0.2078	0.0105	0.0105	0.608	0.608	0.3679	0.3679
3.90	0.1972	0.0099	0.0099	0.593	0.593	0.3679	0.3679
4.00	0.1875	0.0094	0.0094	0.578	0.578	0.3679	0.3679
4.10	0.1785	0.0090	0.0090	0.564	0.564	0.3679	0.3679
4.20	0.1701	0.0086	0.0086	0.550	0.550	0.3679	0.3679
4.30	0.1622	0.0082	0.0082	0.538	0.538	0.3679	0.3679
4.40	0.1550	0.0078	0.0078	0.525	0.525	0.3679	0.3679
4.50	0.1481	0.0075	0.0075	0.514	0.514	0.3679	0.3679
4.60	0.1418	0.0071	0.0071	0.503	0.503	0.3679	0.3679
4.70	0.1358	0.0068	0.0068	0.492	0.492	0.3679	0.3679
4.80	0.1302	0.0066	0.0066	0.482	0.482	0.3679	0.3679
4.90	0.1249	0.0063	0.0063	0.472	0.472	0.3679	0.3679
5.00	0.1200	0.0060	0.0060	0.462	0.462	0.3679	0.3679
5.10	0.1153	0.0058	0.0058	0.453	0.453	0.3679	0.3679
5.20	0.1109	0.0056	0.0056	0.445	0.445	0.3679	0.3679
5.30	0.1068	0.0054	0.0054	0.436	0.436	0.3679	0.3679
5.40	0.1029	0.0052	0.0052	0.428	0.428	0.3679	0.3679
5.50	0.0992	0.0050	0.0050	0.420	0.420	0.3679	0.3679
5.60	0.0957	0.0048	0.0048	0.413	0.413	0.3679	0.3679
5.70	0.0923	0.0046	0.0046	0.406	0.406	0.3679	0.3679
5.80	0.0892	0.0045	0.0045	0.399	0.399	0.3679	0.3679
5.90	0.0862	0.0043	0.0043	0.392	0.392	0.3679	0.3679
6.00	0.0833	0.0042	0.0042	0.385	0.385	0.3679	0.3679
6.10	0.0806	0.0041	0.0041	0.379	0.379	0.3679	0.3679
6.20	0.0780	0.0039	0.0039	0.373	0.373	0.3679	0.3679
6.30	0.0756	0.0038	0.0038	0.367	0.367	0.3679	0.3679
6.40	0.0732	0.0037	0.0037	0.361	0.361	0.3679	0.3679
6.50	0.0710	0.0036	0.0036	0.356	0.356	0.3679	0.3679
6.60	0.0689	0.0035	0.0035	0.350	0.350	0.3679	0.3679
6.70	0.0668	0.0034	0.0034	0.345	0.345	0.3679	0.3679
6.80	0.0649	0.0033	0.0033	0.340	0.340	0.3679	0.3679
6.90	0.0630	0.0032	0.0032	0.335	0.335	0.3679	0.3679
7.00	0.0612	0.0031	0.0031	0.330	0.330	0.3679	0.3679
7.10	0.0595	0.0030	0.0030	0.326	0.326	0.3679	0.3679
7.20	0.0579	0.0029	0.0029	0.321	0.321	0.3679	0.3679
7.30	0.0563	0.0028	0.0028	0.317	0.317	0.3679	0.3679
7.40	0.0548	0.0028	0.0028	0.312	0.312	0.3679	0.3679

7.50	0.0533	0.0027	0.0027	0.308	0.308	0.3679	0.3679
7.60	0.0519	0.0026	0.0026	0.304	0.304	0.3679	0.3679
7.70	0.0506	0.0025	0.0025	0.300	0.300	0.3679	0.3679
7.80	0.0493	0.0025	0.0025	0.296	0.296	0.3679	0.3679
7.90	0.0481	0.0024	0.0024	0.293	0.293	0.3679	0.3679
8.00	0.0469	0.0024	0.0024	0.289	0.289	0.3679	0.3679
8.10	0.0457	0.0023	0.0023	0.285	0.285	0.3679	0.3679
8.20	0.0446	0.0022	0.0022	0.282	0.282	0.3679	0.3679
8.30	0.0435	0.0022	0.0022	0.279	0.279	0.3679	0.3679
8.40	0.0425	0.0021	0.0021	0.275	0.275	0.3679	0.3679
8.50	0.0415	0.0021	0.0021	0.272	0.272	0.3679	0.3679
8.60	0.0406	0.0020	0.0020	0.269	0.269	0.3679	0.3679
8.70	0.0396	0.0020	0.0020	0.266	0.266	0.3679	0.3679
8.80	0.0387	0.0019	0.0019	0.263	0.263	0.3679	0.3679
8.90	0.0379	0.0019	0.0019	0.260	0.260	0.3679	0.3679
9.00	0.0370	0.0019	0.0019	0.257	0.257	0.3679	0.3679
9.10	0.0362	0.0018	0.0018	0.254	0.254	0.3679	0.3679
9.20	0.0354	0.0018	0.0018	0.251	0.251	0.3679	0.3679
9.30	0.0347	0.0017	0.0017	0.249	0.249	0.3679	0.3679
9.40	0.0340	0.0017	0.0017	0.246	0.246	0.3679	0.3679
9.50	0.0332	0.0017	0.0017	0.243	0.243	0.3679	0.3679
9.60	0.0326	0.0016	0.0016	0.241	0.241	0.3679	0.3679
9.70	0.0319	0.0016	0.0016	0.238	0.238	0.3679	0.3679
9.80	0.0312	0.0016	0.0016	0.236	0.236	0.3679	0.3679
9.90	0.0306	0.0015	0.0015	0.234	0.234	0.3679	0.3679
10.00	0.0300	0.0015	0.0015	0.231	0.231	0.3679	0.3679

Cálculos para el modelo dinámico D.D. Barkan – O.A. Savinov:

Tabla N° 74: Presión estática en zapatas.

Zapata	a (m)	b (m)	e (m)	Area zapata (m ²)	Peso zapata (Tn)	Peso sísmico estructura (Tn)	Presión estática (Tn/m ²)
Z-1	2.80	1.95	0.50	5.46	6.55	28.9	6.49
Z-1	2.80	1.95	0.50	5.46	6.55	31.43	6.96
Z-1	2.80	1.95	0.50	5.46	6.55	31.17	6.91
Z-1	2.80	1.95	0.50	5.46	6.55	28.07	6.34
Z-1	2.80	1.95	0.50	5.46	6.55	33.16	7.27
Z-2	1.90	1.90	0.50	3.61	4.33	24.55	8.00
Z-2	1.90	1.90	0.50	3.61	4.33	27.05	8.69
Z-2	1.90	1.90	0.50	3.61	4.33	28.1	8.98
Z-2	1.90	1.90	0.50	3.61	4.33	28.08	8.98
Z-2	1.90	1.90	0.50	3.61	4.33	29.63	9.41

Z-2	1.90	1.90	0.50	3.61	4.33	21.68	7.21
Z-2	1.90	1.90	0.50	3.61	4.33	24.11	7.88
Z-2	1.90	1.90	0.50	3.61	4.33	21.18	7.07
Z-2	1.90	1.90	0.50	3.61	4.33	20.7	6.93
Z-2	1.90	1.90	0.50	3.61	4.33	25.48	8.26
Z-2	1.90	1.90	0.50	3.61	4.33	22.83	7.52
Z-2	1.90	1.90	0.50	3.61	4.33	27.97	8.95
Z-3	1.65	1.65	0.50	2.72	3.27	20.92	8.88
Z-3	1.65	1.65	0.50	2.72	3.27	23.4	9.80
Z-3	1.65	1.65	0.50	2.72	3.27	12.65	5.85
Z-3	1.65	1.65	0.50	2.72	3.27	20.1	8.58

Tabla N° 75: Modelo dinámico de D.D Barkan O.A Savinov.

PARÁMETROS	Z-1	Z-2	Z-3
Dimensión de la cimentación en el eje X (a)	2.8	1.9	1.65
Dimensión de la cimentación en el eje Y (b)	1.95	1.9	1.65
Área de la base de la cimentación (A)	5.46	3.61	2.72
Momentos de inercia de la cimentación respecto al eje X ($I_{\phi x}$)	1.730	1.086	0.618
Momentos de inercia de la cimentación respecto al eje Y ($I_{\phi y}$)	3.567	1.086	0.618
Presión estática del suelo en la base de la cimentación (ρ)	7.27	9.41	9.80
Coficiente de desplazamiento elástico uniforme ($C_{x,y}$)	8606	11092	12481
Coficiente de compresión elástica uniforme (C_z)	10450	13470	15156
Coficiente de compresión elástica no uniforme ($C_{\phi x}$)	15899	22602	25886
Coficiente de compresión elástica no uniforme ($C_{\phi y}$)	18274	22602	25886
Rigidez de desplazamiento elástico uniforme (K_x)	46987	40043	33979
Rigidez de desplazamiento elástico uniforme (K_y)	46987	40043	33979
Rigidez de compresión elástica uniforme (K_z)	57057	48625	41262
Rigidez de compresión elástica no uniforme ($K_{\phi x}$)	27507	24546	15989
Rigidez de compresión elástica no uniforme ($k_{\phi y}$)	65186	24546	15989

Cálculos para el modelo dinámico de la Norma Rusa:

Tabla N° 76: Modelo dinámico según la Norma Rusa.

PARÁMETROS	Z-1	Z-2	Z-3
Dimensión de la cimentación en el eje X (a)	2.8	1.9	1.65
Dimensión de la cimentación en el eje Y (b)	1.95	1.9	1.65
Dimensión de la cimentación en el eje Z (e)	0.5	0.5	0.5
Área de la base de la cimentación (A)	5.46	3.61	2.72
Momentos de inercia de la cimentación respecto al eje X ($I_{\phi x}$)	1.730	1.086	0.618
Momentos de inercia de la cimentación respecto al eje Y ($I_{\phi y}$)	3.567	1.086	0.618
Momentos de inercia de la cimentación respecto al eje Z (I_{ψ})	5.297	2.172	1.235
Masa de cimentación ($M_{x,y}$)	0.668	0.442	0.333

Masa de cimentación (M_z)	0.668	0.442	0.333
Masa de cimentación ($M_{\phi x}$)	0.267	0.170	0.103
Masa de cimentación ($M_{\phi y}$)	0.492	0.170	0.103
Masa de cimentación ($M_{\psi z}$)	0.648	0.266	0.151
Coefficiente de desplazamiento elástico uniforme ($C_{x,y}$)	4942	5595	6125
Coefficiente de compresión elástica uniforme (C_z)	7060	7993	8750
Coefficiente de compresión elástica no uniforme ($C_{\phi x,y}$)	14120	15986	17499
Coefficiente de desplazamiento elástico no uniforme ($C_{\psi z}$)	7060	7993	8750
Amortiguación relativa para vibraciones horizontales ($\beta_{x,y}$)	0.201	0.189	0.181
Amortiguación relativa para vibraciones verticales (β_z)	0.335	0.315	0.301
Amortiguación relativa para rotaciones horizontales ($\beta_{\phi x,y}$)	0.167	0.157	0.150
Amortiguación relativa para rotaciones verticales ($\beta_{\psi z}$)	0.100	0.094	0.090
Rigidez de desplazamiento elástico uniforme (K_x)	26983	20198	16675
Rigidez de desplazamiento elástico uniforme (K_y)	26983	20198	16675
Rigidez de compresión elástica uniforme (K_z)	38548	28855	23821
Rigidez de compresión elástica no uniforme ($K_{\phi x}$)	24430	17361	10809
Rigidez de compresión elástica no uniforme ($k_{\phi y}$)	50369	17361	10809
Rigidez de desplazamiento elástico no uniforme ($k_{\psi z}$)	37399	17361	10809
Amortiguamiento para vibraciones horizontales (B_x)	53.96	35.68	26.91
Amortiguamiento para vibraciones horizontales (B_y)	53.96	35.68	26.91
Amortiguamiento para vibraciones verticales (B_z)	107.49	71.07	53.60
Amortiguamiento para rotaciones horizontales ($B_{\phi x}$)	27.07	17.08	10.05
Amortiguamiento para rotaciones horizontales ($B_{\phi y}$)	52.73	17.08	10.05
Amortiguamiento para rotaciones verticales ($B_{\psi z}$)	31.29	12.83	7.30

PLANOS

ESTUDIO DE SUELOS