UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Influencia de la interacción suelo-estructura en edificaciones aporticadas
(oficinas) de 4,8 y 12 pisos en perfiles de suelo S1, S2 y S3 de Lima – Perú
bajo la normativa Americana NIST GCR 12-917-21

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Curioso Ccanto, Ray Carlos (0000-0001-6003-0111)

Torres Castillo, Andy Javier (0000-0003-4818-4235)

ASESOR

Moreno Sánchez, Javier Daniel (0000-0003-2132-8171)

Lima, 15 de septiembre del 2020

DEDICATORIA

De Andy:

A Dios, por permitirme llegar a este momento de mi vida y por darme la oportunidad de poder celebrar este triunfo con mi familia, que son las personas que más amo en mi vida.

A mi padre, Herminio Torres, ya que no ha sido sencillo llegar hasta este punto de mi vida; sin embargo siempre fuiste una persona muy motivadora y esperanzadora dándome las palabras y consejos que necesitaba. Gracias por confiar en mí, espero te sientas muy orgulloso

A mi madre, Angélica Castillo, porque ha sabido formarme con buenos valores y sentimientos, además de siempre preocuparse porque yo llegue a ser una mejor persona cada día. Gracias.

A mis hermanos, Carlos y Alberto Serrano, Que siempre me aconsejan y velan por mí, ellos han sido parte fundamental de este logro, gracias hermanos por lo que hacen por mí.

A mi tío, Nestor Serrano, que se encuentra en EE.UU gracias por tus consejos y todo tu apoyo incondicional que siempre me has brindado desde pequeño, este logro también es gracias a ti.

A todos ustedes, les dedico este trabajo que realicé con mucho esfuerzo, amor y dedicación.

De Ray:

En primer lugar, agradezco a Dios y a la vida, por brindarme una hermosa familia, la cual siempre me brindo su fortaleza, consejos y motivación para poder culminar las metas que me he trazado en la vida. Gracias Dios por permitir brindarles esta alegría a ellos, que son las personas más importantes en mi vida.

A mis hermanos, que siempre me apoyan con sus consejos y me motivan a ser una mejor persona cada día.

A todos ustedes, les dedico esta tesis, cual realicé con mucho esmero y dedicación.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por bendecir nuestro camino y nuestras decisiones.

A nuestro asesor Javier Daniel Moreno Sánchez por brindarnos su apoyo y acompañarnos en el desarrollo de este proyecto complejo y saber orientarnos con su excelente experiencia, así como también a todos los ingenieros que nos enseñaron durante toda la carrera.

A todos nuestros familiares, compañeros y amigos que nos apoyaron a impulsar este logro.

A la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas por abrirnos las puertas y así ser parte de ella.

RESUMEN

La presente investigación, desarrollará la interacción dinámica suelo estructura IDSE con y sin amortiguamiento aplicado a 3 modelos denominados modelo A, modelo B y modelo C con 4, 8 y 12 pisos respectivamente. Estos modelos serán evaluados en tres tipos de perfiles de suelo S1, S2 y S3 con características (peso específico, coeficiente de poisson y carga admisible) obtenidas de los libros del Sr. Braja M. Das y Willian Rodriguez Serquen. La evaluación de la IDSE se realizará mediante las ecuaciones simplificadas propuestas por la Norma Americana (EEUU) NIST GCR 12-917-21 Soil-Structure Interaction for Building Structures donde se desarrolla la interacción inercial que se hace referencia a los desplazamientos y rotaciones en la base de la estructura (fundación) debido a la respuesta de la estructura cuando da lugar un sismo. Asimismo, la flexibilidad de la fundación y suelo son representados mediante 6 rigideces (3 de traslacionales y 3 de rotación) con y sin amortiguamiento. Para cada modelo se realizará una comparación de cortante basal, momento, desplazamientos, derivas, periodos, frecuencias, modos de vibración, fuerzas internas máximas, y fuerzas internas en un pórtico con la finalidad de observar el comportamiento de las estructuras en los distintos tipos de suelo y tamaños de las modelos propuestas.

Palabras clave:

Interacción dinámica suelo estructura; Interacción inercial; flexibilidad de la fundación; amortiguamiento.

Influence of the soil-structure interaction in 4,8 and 12-story porch buildings
(offices) in S1, S2 and S3 soil profiles of Lima - Peru under the American
standard NIST GCR 12-917-21

ABSTRACT

This research will develop dynamic floor structure IDSE interaction with and without damping applied to 3 models called model A, model B and model C with 4, 8 and 12 floors respectively. These models will be evaluated in three types of soil profiles S1, S2 and S3 with characteristics (specific weight, poisson coefficient and permissible load) obtained from the books of Mr. Braja M. Das and Willian Rodriguez Serquen. The evaluation of the IDSE will be carried out using the simplified equations proposed by the American Standard (USA) NIST GCR 12-917-21 Soil-Structure Interaction for Building Structures where inertial interaction is developed that refers to displacements and rotations at the base of the structure (foundation) due to the response of the structure when an earthquake occurs. In addition, the flexibility of the foundation and soil are represented by 6 rigidities (3 translational and 3 rotation) with and without damping. For each model, a comparison of basal shear, timing, displacements, drifts, periods, frequencies, vibration modes, maximum internal forces, and internal forces will be made on a gantry in order to observe the behavior of structures in the different soil types and sizes of the proposed models.

Keywords:

Dynamic soil structure interaction; Inertial interaction; foundation flexibility; damping.

TABLA DE CONTENIDO

1	CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	21
1.1	FUNDAMENTACIÓN	21
1.1.1	Realidad problemática	21
1.1.2	Delimitación de la investigación	21
1.1.3	Formulación del problema.....	22
1.1.4	Formulación de la hipótesis.....	22
1.2	OBJETIVOS.....	22
1.2.1	Objetivos generales.....	22
1.2.2	Objetivos específicos.....	22
2	CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEORICO	23
2.1	INTRODUCCION.....	23
2.2	INTERACCION INERCIAL SEGÚN LA NORMA NIST GCR 12-917-21	27
2.2.1	Comportamiento del sistema suelo estructura	28
2.2.2	Ecuaciones de rigidez y amortiguamiento para cimentaciones poco profundas 37	
2.2.2.1	Rigidez estática K_j	43
2.2.2.2	Modificadores de desplante η_j	44
2.2.2.3	Modificadores dinámicos α_j	45
2.2.2.4	Modificadores de amortiguamiento β_j	45
3	CAPITULO III: CASOS A ANALIZAR	48
3.1	DEFINICION DE MODELOS	48
3.1.1	Vista del plano en planta	49
3.1.2	Modelo A.....	49
3.1.3	Modelo B	50
3.1.4	Modelo C	50
3.2	METRADO DE CARGAS	51
3.2.1	Carga viva.....	51
3.2.2	Carga muerta.....	51
3.3	PREDIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES	52
3.3.1	Losas macizas	52
3.3.2	Vigas.....	52

3.3.3	Columnas.....	52
3.3.4	Zapatas.....	53
3.4	CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DE FUNDACIÓN ... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
3.4.1	Peso específico del suelo	55
3.4.2	Velocidad promedio de propagación de las ondas de corte.....	55
3.4.3	Módulo de corte.....	56
3.4.4	Módulo de poisson del suelo	56
3.5	DEFINICION DEL ESPECTRO DE DISEÑO	56
3.5.1	Zonificación.....	57
3.5.2	Parámetros de sitio	57
3.5.3	Categoría de edificación	57
3.5.4	Espectros de diseño	58
3.6	FACTORES DE REDUCCION	59
3.7	CALCULAR RIGIDEZ.....	59
3.7.1	Proceso de cálculo de la rigidez	59
3.7.1.1	Datos básicos	59
3.7.1.2	Datos adicionales para calcular la rigidez	60
3.7.1.3	Rigidez traslacional en el eje z - K_z	62
3.7.1.4	Rigidez traslacional con amortiguamiento en el eje z - K_z amort	63
3.7.1.5	Rigidez traslacional en el eje y - K_y	64
3.7.1.6	Rigidez traslacional con amortiguamiento en el eje y - K_y amort.....	65
3.7.1.7	Rigidez traslacional en el eje x - K_x	65
3.7.1.8	Rigidez traslacional con amortiguamiento en el eje x - K_x amort.....	66
3.7.1.9	Rigidez torsional en el eje z - K_{zz}	67
3.7.1.10	Rigidez torsional con amortiguamiento en el eje z - K_{zz} amort.....	68
3.7.1.11	Rigidez de balanceo sobre el eje y - K_{yy}	68
3.7.1.12	Rigidez de balanceo con amortiguamiento sobre el eje y - K_{yy} amort ..	69
3.7.1.13	Rigidez de balanceo sobre el eje x - K_{xx}	70
3.7.1.14	Rigidez de balanceo con amortiguamiento sobre el eje x - K_{xx} amort ..	71
3.7.2	Datos considerados en el cálculo de la rigidez	72
3.7.3	Rigidez de los modelos.....	73
4	CAPÍTULO IV: ANALISIS ESTRUCTURAL CON ETABS 2018	74

4.1	MODELAR ESTRUCTURAS EN ETABS 2018	74
4.2	ASIGNAR PROPIEDADES A LOS MATERIALES DE LA ESTRUCTURA	75
4.3	DEFINIR LA SECCIÓN DE LAS COLUMNAS, VIGAS Y LOSA.....	75
4.4	ASIGNACIÓN DE CARGA VIVA Y MUERTA	76
4.5	DEFINIR LA RESPUESTA DE ESPECTROS	77
4.6	ASIGNAR MÉTODO DE CÁLCULO DEL SISMO	77
4.7	DEFINIR LAS COMBINACIONES DE CARGA	79
4.8	ASIGNACIÓN DE RIGIDEZ DINÁMICO SIN AMORTIGUAMIENTO	81
4.9	ASIGNACIÓN DE RIGIDEZ DINÁMICO CON AMORTIGUAMIENTO	82
4.10	ASIGNACIÓN DE RESTRICCIONES EN LA BASE.....	83
5	CAPITULO V: RESULTADOS Y COMPARATIVOS	84
5.1	RESULTADOS MODELO A.....	84
5.1.1	Desplazamientos en X-X.....	84
5.1.2	Desplazamientos en Y-Y	85
5.1.3	Derivas en X-X.....	86
5.1.4	Derivas en Y-Y	87
5.1.5	Periodos	88
5.1.6	Frecuencias	88
5.1.7	Modos de vibración del modelo A	89
5.1.7.1	Modos de vibración para el suelo S1	89
5.1.7.2	Modos de vibración para el suelo S2.....	92
5.1.7.3	Modos de vibración para el suelo S3.....	95
5.1.8	Cortantes por piso en X-X.....	98
5.1.9	Cortantes por piso en Y-Y	99
5.1.10	Reacciones en la base	100
5.1.10.1	Cortantes en la base	100
5.1.10.2	Momentos en la base	100
5.1.11	Reacciones en el pórtico	101
5.1.11.1	Reacciones en las columnas	101
5.1.11.2	Reacciones en la viga	101
5.2	RESULTADOS DEL MODELO B	102
5.2.1	Desplazamientos en X-X.....	102
5.2.2	Desplazamientos en Y-Y	103

5.2.3	Derivas en X-X.....	104
5.2.4	Derivas en Y-Y	105
5.2.5	Periodos	106
5.2.6	Frecuencias	106
5.2.7	Modos de vibración del modelo B.....	107
5.2.7.1	Modos de vibración para el suelo S1	107
5.2.7.2	Modos de vibración para el suelo S2.....	110
5.2.7.3	Modos de vibración para el suelo S3.....	113
5.2.8	Cortantes por piso en X-X.....	116
5.2.9	Cortantes por piso en Y-Y	117
5.2.10	Reacciones en la base	118
5.2.10.1	Cortantes en la base	118
5.2.10.2	Momentos en la base	118
5.2.11	Reacciones en el pórtico	119
5.2.11.1	Reacciones en las columnas	119
5.2.11.2	Reacciones en la viga	119
5.3	RESULTADOS DEL MODELO C	120
5.3.1	Desplazamientos en X-X.....	120
5.3.2	Desplazamientos en Y-Y	121
5.3.3	Derivas en X-X.....	122
5.3.4	Derivas en Y-Y	123
5.3.5	Periodos	124
5.3.6	Frecuencias	124
5.3.7	Modos de vibración del modelo C.....	125
5.3.7.1	Modos de vibración para el suelo S1	125
5.3.7.2	Modos de vibración para el suelo S2.....	128
5.3.7.3	Modos de vibración para el suelo S3.....	131
5.3.8	Cortantes por piso en X-X.....	134
5.3.9	Cortantes por piso en Y-Y	135
5.3.10	Reacciones en la base	136
5.3.10.1	Cortantes en la base	136
5.3.10.2	Momentos en la base	136
5.3.11	Reacciones en el pórtico	137
5.3.11.1	Reacciones en las columnas	137

5.3.11.2	Reacciones en la viga	137
5.4	ANÁLISIS COMPARATIVO DE VARIACIÓN DE LOS RESULTADOS	138
5.4.1	Análisis Comparativo de desplazamientos en X-X	138
5.4.2	Análisis comparativo de desplazamientos en Y-Y	138
5.4.3	Análisis comparativo de derivas en X-X	139
5.4.4	Análisis comparativo de derivas en Y-Y	139
5.4.5	Análisis comparativo de los periodos	140
5.4.6	Análisis comparativo de las frecuencias	140
5.4.7	Análisis comparativo de las fuerzas en la base	141
5.4.7.1	Análisis comparativo de las cortantes en la base en X-X	141
5.4.7.2	Análisis comparativo de las cortantes en la base en Y-Y	141
5.4.7.3	Análisis comparativo de los momentos en la base en X-Y	142
5.4.7.4	Análisis comparativo de los momentos en la base en Y-X	142
5.4.8	Análisis comparativo de las fuerzas internas en el pórtico	143
5.4.8.1	Análisis comparativo de las fuerzas normales internas en las columnas en X-X	143
5.4.8.2	Análisis comparativo de las fuerzas normales internas en las columnas en Y-Y	143
5.4.8.3	Análisis comparativo de las fuerzas cortantes internas en las columnas en X-X	144
5.4.8.4	Análisis comparativo de las fuerzas cortantes internas en las columnas en Y-Y	144
5.4.8.5	Análisis comparativo de los momentos internos en las columnas en X-X	145
5.4.8.6	Análisis comparativo de los momentos internos en las columnas en Y-Y	145
5.4.8.7	Análisis comparativo de las fuerzas cortantes internas en las vigas en X-X	146
5.4.8.8	Análisis comparativo de los momentos internos en la viga X-X	146
6	CONCLUSIONES	147
6.1	CONCLUSIONES DEL MODELO A	147
6.1.1	Desplazamiento	147
6.1.2	Derivas	147

6.1.3	Periodos	147
6.1.4	Modos de vibración	148
6.1.5	Reacciones en la base	148
6.1.5.1	Cortante en la base.....	148
6.1.5.2	Momento en la base	148
6.1.6	Fuerzas internas	148
6.1.6.1	Fuerza normal en la columna.....	148
6.1.6.2	Fuerza cortante en la columna	149
6.1.6.3	Momento en la columna	149
6.1.6.4	Fuerza cortante en la viga.....	149
6.1.6.5	Momento en la viga	150
6.2	CONCLUSIONES DEL MODELO B	150
6.2.1	Desplazamiento	150
6.2.2	Derivas.....	150
6.2.3	Periodos	150
6.2.4	Modos de vibración	151
6.2.5	Reacciones en la base	151
6.2.5.1	Cortante en la base.....	151
6.2.5.2	Momento en la base	151
6.2.6	Fuerzas internas	151
6.2.6.1	Fuerza normal en la columna.....	151
6.2.6.2	Fuerza cortante en la columna	152
6.2.6.3	Momento en la columna	152
6.2.6.4	Fuerza cortante en la viga.....	152
6.2.6.5	Momento en la viga	152
6.3	CONCLUSIONES DEL MODELO C	153
6.3.1	Desplazamiento	153
6.3.2	Derivas.....	153
6.3.3	Periodos	153
6.3.4	Modos de vibración	153
6.3.5	Reacciones en la base	153
6.3.5.1	Cortante en la base.....	153
6.3.5.2	Momento en la base	154
6.3.6	Fuerzas internas	154

6.3.6.1	Fuerza normal en la columna.....	154
6.3.6.2	Fuerza cortante en la columna.....	154
6.3.6.3	Momento en la columna	155
6.3.6.4	Fuerza cortante en la viga.....	155
6.3.6.5	Momento en la viga	155
6.4	COMPARATIVO DE LOS MODELOS A, B Y C	155
6.4.1	Desplazamiento	155
6.4.2	Derivas.....	156
6.4.3	Periodos	156
6.4.4	Modos de vibración	156
6.4.5	Reacciones en la base	157
6.4.5.1	Cortante en la base.....	157
6.4.5.2	Momento en la base.....	157
6.4.6	Fuerzas internas	158
6.4.6.1	Fuerza normal en la columna.....	158
6.4.6.2	Fuerza cortante en la columna	158
6.4.6.3	Momento en la columna	159
6.4.6.4	Fuerza cortante en la viga.....	159
6.4.6.5	Momento en la viga	160
7	RECOMENDACIONES	161
8	BIBLIOGRAFÍA	162
9	ANEXOS	163
9.1	DATOS DEL ESPECTRO DE DISEÑO	163

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Diferencias entre las edificaciones con base deformable e indeformable (Fuente: adaptado de Fernández S., 2013).....	25
Tabla 2 Soluciones elásticas para la rigidez estatica de zapatas rígidas en la superficie del suelo (adaptado de la normativa NIST GCR 12-917-21).....	43
Tabla 3 Factores de corrección por desplante para la rigidez estatica de zapatas rígidas (adaptado de la normativa NIST GCR 12-917-21).	44
Tabla 4 Modificadores de rigidez dinámica para zapatas rígidas (adaptado de la normativa NIST GCR 12-917-21).	45
Tabla 5 Modificadores de amortiguamiento de radiación para zapatas rígidas (adaptado de la normativa NIST GCR 12-917-21).	46
Tabla 6 Espesores de losa (Fuente: Elaboración propia).....	52
Tabla 7 Dimensiones de las vigas (Fuente: Elaboración propia).	52
Tabla 8 Pesos de servicio para cada tipo de columna (Fuente: Elaboración propia).	53
Tabla 9 Coeficientes de para cada tipo de columna (Fuente: Elaboración propia).	53
Tabla 10 dimensiones de las columnas (Fuente: Elaboración propia)	53
Tabla 11 Peso por categoría (Fuente: Elaboración propia)	54
Tabla 12 Coeficientes para cada tipo de suelo de fundación (Fuente: Elaboración propia). ...	54
Tabla 13 Dimensiones de las zapatas (Fuente: Elaboración propia).	54
Tabla 14 Descripción de los suelos según la norma E.030 (Fuente: Elaboración propia). .	54
Tabla 15 Pesos específicos para cada tipo de suelo (Fuente: Elaboración propia).	55
Tabla 16 Velocidad de corte para cada tipo de suelo (Fuente: Elaboración propia).	55
Tabla 17 Modulo de corte para cada tipo de suelo (Fuente: Elaboración propia).....	56
Tabla 18 Modulo de corte para cada tipo de suelo (Fuente: Elaboración propia).....	56
Tabla 19 Datos considerados para los espectros de diseño en suelos S1, S2 y S3 (Fuente: Elaboración propia).	57
Tabla 20 Resultados para los espectros de diseño en suelos S1, S2 y S3 (Fuente: Elaboración propia).....	58
Tabla 21 Factores de reducción para cada tipo de suelo (Fuente: Elaboración propia).	59
Tabla 22 Tabla de datos básicos para el Modelo B – Suelo S1 (Fuente: Elaboración propia).	60
Tabla 23 Datos para calcular la rigidez del modelo A (Fuente: Elaboración propia).	72
Tabla 24 Datos para calcular la rigidez del modelo B (Fuente: Elaboración propia).	72

Tabla 25 Datos para calcular la rigidez del modelo C (Fuente: Elaboración propia).	72
Tabla 26 Rigidez y amortiguamiento del modelo A (Fuente: Elaboración propia).	73
Tabla 27 Rigidez y amortiguamiento del modelo B (Fuente: Elaboración propia).....	73
Tabla 28 Rigidez y amortiguamiento del modelo C (Fuente: Elaboración propia).....	73
Tabla 29 Tabla de combinaciones de carga (Elaboración Propia)	79
Tabla 30 Desplazamientos en X-X del modelo A Fuente: Elaboración propia)	84
Tabla 31 Desplazamientos en Y-Y del modelo A (Fuente: Elaboración propia).....	85
Tabla 32 Derivas en X-X del modelo A (Fuente: Elaboración propia).....	86
Tabla 33 Derivas en Y-Y del modelo A (Fuente: Propia).....	87
Tabla 34 Datos de los periodos del modelo A (Fuente: Elaboración propia).....	88
Tabla 35 Datos de frecuencias del modelo A (Fuente: Propia).....	88
Tabla 36 Datos de cortantes por piso en X-X del modelo A (Fuente: Elaboración propia)	98
Tabla 37 Datos de cortantes por piso en Y-Y del modelo A (Fuente: Elaboración propia)	99
Tabla 38 Reacción cortante en la base en X-X del modelo A Fuente: Elaboración propia)	100
Tabla 39 Reacción cortante en la base en Y-Y del modelo A (Fuente: Elaboración propia)	100
Tabla 40 Momentos en la base X-Y del modelo A (Fuente: Elaboración propia)	100
Tabla 41 Momentos en la base Y-X del modelo A (Fuente: Elaboración propia)	100
Tabla 42 Reacciones en las columnas en X-X del modelo A (Fuente: Elaboración propia)	101
Tabla 43 Reacciones en las columnas en Y-Y del modelo A (Fuente: Propia).....	101
Tabla 44 Reacciones en la viga en X-X del modelo A Fuente: Elaboración propia).....	101
Tabla 45 Desplazamientos en X-X del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	102
Tabla 46 Desplazamientos en Y-Y del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	103
Tabla 47 Derivas en X-X del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	104
Tabla 48 Derivas en Y-Y del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	105
Tabla 49 Datos de los periodos del modelo B (Fuente: Elaboración propia).....	106
Tabla 50 Datos de frecuencias del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	106
Tabla 51 Datos de cortantes por piso en X-X del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	116
Tabla 52 Datos de cortantes por piso en Y-Y del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	117

Tabla 53 Reacción cortante en la base en X-X del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	118
Tabla 54 Reacción cortante en la base en Y-Y del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	118
Tabla 55 Momentos en la base X-Y del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	118
Tabla 56 Momentos en la base Y-X del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	118
Tabla 57 Reacciones en las columnas en X-X del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	119
Tabla 58 Reacciones en las columnas en Y-Y del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	119
Tabla 59 Reacciones en la viga en X-X del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	119
Tabla 60 Desplazamientos en X-X del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	120
Tabla 61 Desplazamientos en Y-Y del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	121
Tabla 62 Derivas en X-X del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	122
Tabla 63 Derivas en Y-Y del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	123
Tabla 64 Datos de los periodos del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	124
Tabla 65 Datos de frecuencias del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	124
Tabla 66 Datos de cortantes por piso en X-X del modelo C (Fuente: Propia)	134
Tabla 67 Datos de cortantes por piso en Y-Y del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	135
Tabla 68 Reacción cortante en la base en X-X del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	136
Tabla 69 Reacción cortante en la base en Y-Y del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	136
Tabla 70 Momentos en la base X-Y del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	136
Tabla 71 Momentos en la base Y-X del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	136
Tabla 72 Reacciones en las columnas en X-X del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	137
Tabla 73 Reacciones en las columnas en Y-Y del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	137
Tabla 74 Reacciones en la viga en X-X del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Respuesta dinámica de una edificación sobre una roca y suelo flexible (Fuente: Fernández S., 2013).....	23
Figura 2-2 Diferencia del movimiento en distintos puntos de un sistema Suelo-Cimentación-Estructura (Fuente: Adaptado de Wolf, 1985).....	24
Figura 2-3 Representación del efecto de sitio (Fuente: Fernández S., 2013).....	26
Figura 2-4 Desviaciones causadas por la fuerza “F” en una estructura de base fija (Fuente: NIST GCR 12-917-21).....	28
Figura 2-5 Desviaciones causadas por la fuerza “F” en una estructura con flexibilidad vertical, horizontal y rotacional en su base (Fuente: NIST GCR 12-917-21).....	29
Figura 2-6 Grafica de relacion de alargamiento del periodo (T/T) y la amortiguación de los cimientos B_f vs la relacion de rigidez estructura-suelo para cimientos cuando ($L=B$) y la relacion de variables de h/B . En esta gráfica, $v=0.33$, $B/L=1.0$, amortiguamiento histórico del suelo $B_s=0$, relacion de masa= 0.15 y exponente $n=2$ (Fuente: NIST GCR 12-917-21).....	33
Figura 2-7 efectos de la SSI inercial sobre la aceleración espectral (cortante de la base) asociada con el alargamiento del periodo y el cambio en la amortiguación (Fuente: NIST GCR 12-917-21).....	37
Figura 2-8 Fundaciones superficiales y enterradas de geometrías arbitrarias (Fuente: Gazetas, 1991).....	38
Figura 2-9 SDS es el parámetro de aceleración de respuesta espectral de período corto definido en ASCE / SEI 7-10; utilice la interpolación en línea recta para valores intermedios de $SDS / 2.5$. El valor debe evaluarse a partir del análisis específico del sitio (Fuente: NIST GCR 12-917-21).....	42
Figura 2-10 Dimensiones de la zapata para el cálculo de la rigidez simplificada (Fuente: NIST GCR 12-917-21).....	43
Figura 2-10 corte transversal y dimensiones de desplante para el cálculo de las rigideces simplificadas (Fuente: NIST GCR 12-917-21).....	44
Figura 3-1 Vista en planta (Fuente: Elaboración propia).....	49
Figura 3-2 Modelo A (Fuente: Elaboración propia).....	49
Figura 3-3 Modelo B (Fuente: Elaboración propia).....	50
Figura 3-4 Modelo C (Fuente: Elaboración propia).....	50

Figura 3-5 Grafico de los espectros de diseño en suelos S1, S2 y S3 (Fuente: Elaboración propia).....	58
Figura 4-1 Modelos ingresados al Software Etabs (Fuente: Elaboración propia).....	74
Figura 4-2 Datos de las propiedades de los materiales (Fuente: Adaptación del Etabs2018).	75
Figura 4-3 Definición de Secciones para las columnas de 30x30, columnas de 35x35, vigas de 30x50 y losa de 0.15 m de espesor (Fuente: Adaptación del Etabs2018).	76
Figura 4-4 Definición de carga muerta y viva en las losas de todos los pisos del modelo A (Fuente: Adaptación del Etabs2018).	77
Figura 4-5 Subiendo los parámetros de T y Sa/g para cada tipo de espectro de diseño (Fuente: Adaptación del Etabs2018).....	77
Figura 4-6 Asignamos los casos de cargas modales para SRSS y ABS en dirección x (Fuente: Adaptación del Etabs2018).....	78
Figura 4-7 Asignamos los casos de cargas modales para SRSS y ABS en dirección y (Fuente: Adaptación del Etabs2018).....	78
Figura 4-8 Combinación modal en dirección x y en dirección y (Fuente: Adaptación del Etabs2018).....	79
Figura 4-9 figuras de las combinaciones de cargas: combinación 1, combinación 2, Combinación 3, Combinación 4, Combinación 5 y envolvente(Fuente: Adaptación del Etabs2018).	80
Figura 4-10 Asignación de Rigidez dinámica sin amortiguamiento para Suelos tipo S1, S2 y S3 (Fuente: Adaptación del Etabs2018).	81
Figura 4-11 Asignación de Rigidez dinámica con amortiguamiento para Suelos tipo S1, S2 y S3 (Fuente: Adaptación del Etabs2018).	82
Figura 4-12 Asignación de restricciones empotrada, Asignación de rigidez dinámica sin amortiguamiento y Asignación de rigidez dinámica con amortiguamiento (Fuente: Adaptación del Etabs2018).....	83
Figura 5-1 curvas de desplazamientos en X-X del modelo A (Fuente: Elaboración propia)	84
Figura 5-2 curvas de desplazamientos en Y-Y del modelo A (Fuente: Elaboración propia)	85
Figura 5-3 curvas de derivas en X-X del modelo A (Fuente: Elaboración propia).....	86
Figura 5-4 curvas de derivas en Y-Y del modelo A (Fuente: Elaboración propia).....	87
Figura 5-5 Curvas de periodo obtenidas del modelo A (Fuente: Elaboración propia).....	88

Figura 5-6 Curvas de frecuencia obtenidas del modelo A (Fuente: Elaboración propia) ...	88
Figura 5-7 Modos de vibración del modelo A sin considerar la IDSE en suelo S1 (Fuente: Elaboración propia)	89
Figura 5-8 Modos de vibración del modelo A considerando la IDSE en suelo S1 (Fuente: Elaboración propia)	90
Figura 5-9 Modos de vibración del modelo A considerando la IDSE y amortiguación en suelo S1 (Fuente: Elaboración propia)	91
Figura 5-10 Modos de vibración del modelo A sin considerar la IDSE en suelo S2 (Fuente: Elaboración propia)	92
Figura 5-11 Modos de vibración del modelo A considerando la IDSE en suelo S2 (Fuente: Elaboración propia)	93
Figura 5-12 Modos de vibración del modelo A considerando la IDSE y amortiguación en suelo S2 (Fuente: Elaboración propia)	94
Figura 5-13 Modos de vibración del modelo A sin considerar la IDSE en suelo S3 (Fuente: Elaboración propia)	95
Figura 5-14 Modos de vibración del modelo A considerando la IDSE en suelo S3 (Fuente: Elaboración propia)	96
Figura 5-15 Modos de vibración del modelo A considerando la IDSE y amortiguación en suelo S3 (Fuente: Elaboración propia)	97
Figura 5-16 Curvas de cortantes en X-X por piso del modelo A Fuente: Elaboración propia)	98
Figura 5-17 Curvas de cortantes en Y-Y por piso del modelo A (Fuente: Elaboración propia)	99
Figura 5-18 curvas de desplazamientos en X-X del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	102
Figura 5-19 curvas de desplazamientos en Y-Y del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	103
Figura 5-20 curvas de derivas en X-X del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	104
Figura 5-21 Curvas de derivas en Y-Y del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	105
Figura 5-22 Curvas de periodo obtenidas del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	106
Figura 5-23 Curvas de frecuencia obtenidas del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	106
Figura 5-24 Modos de vibración del modelo B sin considerar la IDSE en suelo S1 (Fuente: Elaboración propia)	107

Figura 5-25 Modos de vibración del modelo B considerando la IDSE en suelo S1 (Fuente: Elaboración propia)	108
Figura 5-26 Modos de vibración del modelo B considerando la IDSE y amortiguación en suelo S1 (Fuente: Elaboración propia)	109
Figura 5-27 Modos de vibración del modelo B sin considerar la IDSE en suelo S2 (Fuente: Elaboración propia)	110
Figura 5-28 Modos de vibración del modelo B considerando la IDSE en suelo S2 (Fuente: Elaboración propia)	111
Figura 5-29 Modos de vibración del modelo B considerando la IDSE y amortiguación en suelo S2 (Fuente: Elaboración propia)	112
Figura 5-30 Modos de vibración del modelo B sin considerar la IDSE en suelo S3 (Fuente: Elaboración propia)	113
Figura 5-31 Modos de vibración del modelo B considerando la IDSE en suelo S3 (Fuente: Elaboración propia)	114
Figura 5-32 Modos de vibración del modelo B considerando la IDSE y amortiguación en suelo S3 (Fuente: Elaboración propia)	115
Figura 5-33 Curvas de cortantes en X-X por piso del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	116
Figura 5-34 Curvas de cortantes en Y-Y por piso del modelo B (Fuente: Elaboración propia)	117
Figura 5-35 curvas de desplazamientos en X-X del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	120
Figura 5-36 curvas de desplazamientos en Y-Y del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	121
Figura 5-37 Curvas de derivas en X-X del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	122
Figura 5-38 Curvas de derivas en Y-Y del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	123
Figura 5-39 Curvas de periodo obtenidas del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	124
Figura 5-40 Curvas de frecuencia obtenidas del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	124
Figura 5-41 Modos de vibración del modelo C sin considerar la IDSE en suelo S1 (Fuente: Elaboración propia)	125
Figura 5-42 Modos de vibración del modelo C considerando la IDSE en suelo S1 (Fuente: Elaboración propia)	126
Figura 5-43 Modos de vibración del modelo C considerando la IDSE y amortiguación en suelo S1 (Fuente: Elaboración propia)	127

Figura 5-44 Modos de vibración del modelo C sin considerar la IDSE en suelo S2 (Fuente: Elaboración propia)	128
Figura 5-45 Modos de vibración del modelo C considerando la IDSE en suelo S2 (Fuente: Elaboración propia)	129
Figura 5-46 Modos de vibración del modelo C considerando la IDSE y amortiguación en suelo S2 (Fuente: Elaboración propia)	130
Figura 5-47 Modos de vibración del modelo C sin considerar la IDSE en suelo S3 (Fuente: Elaboración propia)	131
Figura 5-48 Modos de vibración del modelo C considerando la IDSE en suelo S3 (Fuente: Elaboración propia)	132
Figura 5-49 Modos de vibración del modelo C considerando la IDSE y amortiguación en suelo S3 (Fuente: Elaboración propia)	133
Figura 5-50 Curvas de cortantes en X-X por piso del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	134
Figura 5-51 Curvas de cortantes en Y-Y por piso del modelo C (Fuente: Elaboración propia)	135
Figura 5-52 Análisis comparativo de los desplazamientos en X-X Fuente: Elaboración propia).....	138
Figura 5-53 Análisis comparativo de los desplazamientos en Y-Y (Fuente: Elaboración propia).....	138
Figura 5-54 Análisis comparativo de las derivas en X-X (Fuente: Elaboración propia) ..	139
Figura 5-55 Análisis comparativo de las derivas en Y-Y (Fuente: Elaboración propia) ..	139
Figura 5-56 Análisis comparativo de los periodos (Fuente: Elaboración propia)	140
Figura 5-57 Análisis comparativo de las frecuencias (Fuente: Elaboración propia).....	140
Figura 5-58 Análisis comparativo de las cortantes en la base en X-X (Fuente: Elaboración propia).....	141
Figura 5-59 Análisis comparativo de las cortantes en la base en Y-Y (Fuente: Elaboración propia).....	141
Figura 5-60 Análisis comparativo de los momentos en la base en X-Y (Fuente: Elaboración propia).....	142
Figura 5-61 Análisis comparativo de los momentos en la base en Y-X (Fuente: Elaboración propia).....	142
Figura 5-62 Análisis comparativo de las fuerzas normales internas en las columnas en X-X (Fuente: Elaboración propia).....	143

Figura 5-63 Análisis comparativo de las fuerzas normales internas en las columnas en Y-Y (Fuente: Elaboración propia).....	143
Figura 5-64 Análisis comparativo de las fuerzas cortantes internas en las columnas en X-X (Fuente: Elaboración propia).....	144
Figura 5-65 Análisis comparativo de las fuerzas cortantes internas en las columnas en Y-Y (Fuente: Elaboración propia).....	144
Figura 5-66 Análisis comparativo de los momentos internos en las columnas en X-X (Fuente: Elaboración propia).....	145
Figura 5-67 Análisis comparativo de los momentos internos en las columnas en Y-Y (Fuente: Elaboración propia).....	145
Figura 5-68 Análisis comparativo de las fuerzas cortantes internas en las vigas en X-X (Fuente: Elaboración propia).....	146
Figura 5-69 Análisis comparativo de los momentos internos en la viga en X-X (Fuente: Elaboración propia)	146

1 GENERALIDADES

1.1 Fundamentación

1.1.1 Realidad problemática

En la actualidad, los efectos de la interacción suelo estructura han sido estudiados continuamente debido a que las variaciones en los esfuerzos y desplazamiento son significativas en el análisis de las estructuras. Sin embargo, este problema aún está lejos de su verdadera formulación, ya que los modelos matemáticos y físicos aún tienen un sin número de espectros no determinados, ni modelados y en consecuencia, es un campo abierto para los investigadores.

La interacción “suelo estructura” es el contacto directo entre la base y la cimentación de la estructura. Esta interacción “suelo estructura” influye en el comportamiento dinámico de la estructura ya que genera un aumento en el periodo fundamental del sistema. Por tal motivo, la interacción entre el suelo y la estructura ha sido investigada ampliamente por el campo de la ingeniería civil con la finalidad de elaborar metodologías de análisis sísmico que se aproximen a la realidad.

La norma peruana sismorresistente E-030 en el Artículo 4.7.2. (Modelo para el análisis) indica que se puede suponer que la estructura esta empotrada en la base o alternativamente considerar la flexibilidad del sistema de cimentación si fuera pertinente, es decir, deja bajo la responsabilidad del ingeniero considerar el efecto de la interacción suelo estructura.

Asimismo, se ha venido desarrollando estudios de la interacción suelo estructura en diversos tipos de proyectos como son la “Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con muros de ductilidad limitada sobre plateas de cimentación”, “Interacción sísmica suelo estructura en edificaciones de albañilería confinada con plateas de cimentación”, “interacción sísmica suelo estructura en edificaciones con zapata aislada”, “interacción suelo estructura en edificaciones altos”, etc. cómo se puede apreciar generalmente estos estudios se han realizado para proyectos específicos y únicos. Desde este punto se pretende mostrar las ventajas y desventajas que tienen los distintos tipos de modelos de edificaciones.

1.1.2 Delimitación de la investigación

Comparar cortante basal, momento, desplazamientos, derivas, periodos, frecuencias, modos de vibración y fuerzas internas de los efectos de la interacción dinámica suelo estructura en

tres modelos de edificación de distintos tamaños con la norma NIST GCR 12-917-21 con ayuda del ETABS 2018.

1.1.3 Formulación del problema

¿Bajo qué condiciones la influencia de la interacción suelo-estructura en edificaciones aporticadas (oficinas) de 4, 8 y 12 pisos en perfiles de suelo S1, S2 y S3 tienen mayor efecto negativo?

1.1.4 Formulación de la hipótesis

Las respuestas de la interacción suelo-estructura en edificaciones aporticadas (oficinas) de 4, 8 y 12 pisos en perfiles de suelo S1, S2 y S3 tienen un mayor efecto negativo en edificaciones de mayor altura y en un suelo más blando

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos generales

Comparar respuestas obtenidas de la influencia de interacción suelo-estructura en edificaciones aporticadas (oficinas) de 4, 8 y 12 pisos en perfiles de suelo S1, S2 y S3 bajo la Normativa Americana NIST GCR 12-917-21.

1.2.2 Objetivos específicos

- Comparar desplazamientos de la estructura sin ISE, con ISE y con ISE considerando el amortiguamiento.
- Comparar derivas de la estructura sin ISE, con ISE y con ISE considerando el amortiguamiento.
- Comparar periodos de la estructura sin ISE, con ISE y con ISE considerando el amortiguamiento.
- Comparar modos de vibración de la estructura sin ISE, con ISE y con ISE considerando el amortiguamiento.
- Comparar la cortante basal de la estructura sin ISE, con ISE y con ISE considerando el amortiguamiento.
- Comparar las fuerzas internas de un pórtico de la estructura sin ISE, con ISE y con ISE considerando el amortiguamiento.

2 FUNDAMENTO TEORICO

2.1 Introducción

El efecto del sismo modifica las propiedades dinámicas del suelo que su vez es transmitida a las estructuras, generando la interacción dinámica suelo estructura IDSE en el sistema, es decir, la interacción entre la estructura, la cimentación y el suelo. La interacción dinámica suelo estructura IDSE consiste en considerar la fundación y suelo deformable cuyo efecto no es considerado en las normas técnicas del Perú. Con la finalidad de explicar mejor este comportamiento de la IDSE se va a analizar cualitativamente las diferencias fundamentales de un modelo estructural con base indeformable (infinitamente rígido-lecho rocoso) y un modelo con base deformable (base de rigidez baja) (ver Figura 2-1).

Figura 2-1 Respuesta dinámica de una edificación sobre una roca y suelo flexible (Fuente: Fernández S., 2013)

En la Figura 2-1, se puede apreciar dos casos. El primero, muestra un modelo estructural (edificación) con base indeformable que presenta movimientos iguales en toda la cimentación (punto A y B) por lo que se puede afirmar que la excitación en la base de la edificación (punto B) es dependiente e igual al movimiento en la superficie terrestre (punto A). Asimismo, el efecto de interacción Suelo-Estructura es mínima en suelos rocosos debido a que el efecto del movimiento en el suelo y la estructura son casi iguales gracias a su alta rigidez. Además, cabe recordar dos factores importantes. Por un lado, la magnitud del movimiento depende de la fuente sísmica (mecanismos de ruptura y magnitud del sismo) y por el decaimiento del movimiento con la distancia, definido por alguna ley de atenuación. Por otro lado, la respuesta de la de la edificación estará dada principalmente por las

propiedades de la misma (masa, rigidez y amortiguamiento), así como por los desplazamientos que sean permitidos por su deformabilidad e inercia. El segundo, describe la respuesta dinámica de la cimentación de un modelo estructural con base deformable y suelo flexible donde la energía del sistema es disipada mediante radiación y amortiguamiento histórica del suelo.

Figura 2-2 Diferencia del movimiento en distintos puntos de un sistema Suelo-Cimentación-Estructura (Fuente: Adaptado de Wolf, 1985)

El movimiento en el punto C describe el movimiento de un suelo rocoso. La primera diferencia que se muestra en la Figura 2-2 es la variación de movimiento entre los puntos C, D y E debido a que el suelo en el punto C presenta distintas propiedades a los puntos E y D (este efecto es independiente de la existencia de una estructura sobre los puntos C, D y E). La variación de movimiento representa un efecto de sitio, es decir, el movimiento en la mayoría de los casos es amplificado al igual que la frecuencia. Así mismo, cabe indicar que en el primer caso (sistema de rigidez infinita en el sistema) descrito anteriormente (base indeformable) el movimiento para los tres puntos (punto C, D y E) sería el mismo.

Cuando se construye la cimentación, que es un elemento de rigidez mayor que el suelo, es entendible que el área de desplazamientos impuesto en el terreno libre, en ausencia de ésta, se verá modificado por la presencia de la misma. En general, esto genera una disminución de las amplitudes y de los movimientos de alta frecuencia, e introduce una excitación rotacional en la base de la cimentación (punto O), ya que los puntos E y D no pueden moverse independientemente entre ellos. A las modificaciones del movimiento, debidas a la presencia de un elemento de mayor rigidez, suele denominarse “Interacción cinemática”, ya que en esta parte del fenómeno solamente interviene la difracción de ondas producida por el contraste de rigideces entre el terreno y la cimentación. Si la estructura se somete a las traslaciones modificadas, tanto por los efectos de sitio, como por la rigidez de la cimentación

y las rotaciones producidas por el movimiento diferencial entre los puntos E y D, los movimientos que experimenta el sistema estarán compuesto por tres partes fundamentales, descritas a continuación:

- Movimientos trasLacionales causados por las fuerzas de inercia de la estructura en el sistema deformable suelo-cimentación.
- Desplazamientos causados por los giros en el sistema deformable suelo-cimentación, por los momentos de volteo causados por las fuerzas de inercia de la superestructura. Estos dos movimientos corresponden a un movimiento de cuerpo rígido de la superestructura respecto al terreno.
- Finalmente, los desplazamientos permitidos por las propiedades y deformabilidad de la propia estructura (deformaciones producidas por las fuerzas de inercia desarrolladas por la superestructura sobre el sistema suelo-cimentación) o mejor conocido como interacción inercial.

En resumen, la Tabla 1 presenta las principales diferencias entre el análisis de edificaciones sobre una base indeformable y deformable. Del cual se concluye que la interacción dinámica entre el suelo y la estructura está conformada por tres tipos de modificaciones, las cuales son resultado de la flexibilidad del suelo; no obstante, sólo dos de ellas definen la IDSE (Interacción Dinámica Suelo Estructura) y estas son: la interacción inercial y la interacción cinemática.

Tabla 1 Diferencias entre las edificaciones con base deformable e indeformable (Fuente: adaptado de Fernández S., 2013)

BASE INDEFORMABLE	BASE DEFORMABLE
• Los movimientos en los distintos puntos del terreno son los mismos. • No existe desplazamiento relativo de la cimentación respecto al terreno. • No hay componentes de movimiento de cuerpo rígido de la superestructura (cabeceo y traslación).	• Existe una modificación del movimiento en los distintos puntos del terreno (“Efectos de sitio”). • Existe una variación del movimiento de campo libre, debido a la presencia de la cimentación (Interacción cinemática). • Existe un desplazamiento relativo de la cimentación respecto al terreno, generado por las fuerzas de inercia de la superestructura (“Interacción inercial”).

A continuación, se describirá algunos términos usados como efecto de sitio, interacción inercial e interacción cinemática.

Efecto de sitio: Los efectos de sitio son modificaciones en amplitud, duración y contenido frecuencia que experimentan las ondas sísmicas cuando llegan a la superficie. Entre más blando sea el tipo de suelo que exista bajo la estación, mayor será la amplificación (ver Figura 2-3Figura 2-2).

Figura 2-3 Representación del efecto de sitio (Fuente: Fernández S., 2013)

Interacción inercial: este fenómeno está asociado la modificación del amortiguamiento y alargamiento del período fundamental de la estructura. El amortiguamiento se modifica debido a dos fenómenos; el amortiguamiento histerético que aporta, el suelo, al sistema y la energía que se irradia en forma de ondas elásticas a través del suelo, debido al movimiento de la cimentación que produce perturbaciones en éste.

Interacción cinemática: para el caso de estructuras altas con cimentaciones profundas, el efecto del cabeceo puede generar componentes de movimiento importantes, que si no son tomados en cuenta los diseños serán cuestionados por motivos de seguridad. En general, la Interacción cinemática en términos de la variación del movimiento, tiene una mayor influencia en las estructuras cimentadas con cajones de cimentación que en aquellas cimentadas con pilas.

2.2 Interacción inercial según la norma NIST GCR 12-917-21

La interacción dinámica suelo estructura (IDSE) es la respuesta de una estructura al terremoto. Los sistemas que interactúan en la interacción son: la estructura, las cimentaciones y el suelo que se encuentra bajo y alrededor de la fundación.

El análisis de la IDSE evalúa la respuesta general de la estructura, los cimientos y los medios geológicos por el contorno de la fundación debido al movimiento de la tierra. En cambio, los efectos de la IDSE no se aplican en la condición teórica de una base rígida apoyada en un suelo rígido debido a que las vibraciones estructurales o la dispersión de ondas en el alrededor de los cimientos están ausentes.

Los efectos de la interacción dinámica suelo estructura (IDSE) se clasifican en efectos de interacción inercial, cinemática y flexibilidad de la base del suelo. Estos efectos están relacionados con la fundación rígida y amortiguada, variaciones entre los movimientos de entrada de los cimientos y los movimientos del terreno en campo libre.

Fundación rígida y amortiguada: La inercia desarrollada en una estructura vibratoria genera cizallamiento, momento, torsión en la base de la estructura. Estas fuerzas generan desplazamientos y rotaciones en los cimientos que son posibles gracias la flexibilidad del sistema. La flexibilidad estructural debido a la IDSE aumenta el periodo y disipan la energía mediante la amortiguación de la radiación y la amortiguación histérica del suelo que afecta significativamente en la amortiguación general del sistema.

Variaciones entre los movimientos de entrada de los cimientos y los movimientos del terreno en campo libre: Los movimientos de entrada de la fundación y los movimientos de campo libre pueden diferir debido a la interacción cinemática en la cual los cimientos se desvíen de los movimientos de campo libre.

Según la NIST GCR 12-917-21 Soil-Structure Interaction for Building Structures, la interacción inercial tiene origen cuando la estructura es sometida al sismo y se da lugar a una fuente muy importante de flexibilidad en la base y disipación de energía en la interacción de la estructura, fundación y suelo. La consideración de flexibilidad en el suelo, cimiento y edificio son muy importantes por tener un efecto significativo en suelos flexibles los cuales generen desplazamientos y rotaciones en la base modificando así toda la respuesta de fuerzas y periodos.

Asimismo, la norma NIST GCR 12-917-21 demuestra las modificaciones para un sistema de un grado de libertad que puede ser extrapolado a sistemas de múltiples grados de libertad con solo considerar el primero modo dominante.

2.2.1 Comportamiento del sistema suelo estructura

Consideraciones generales:

- Base rígida: se refiere a soportes de suelo con rigidez infinita (es decir, sin resortes de suelo).
- Cimentación rígida: se refiere a que los elementos de cimentación cuentan con rigidez infinita (es decir, no deformable).
- Base fija: se refiere a una combinación de elementos de cimentación rígidos sobre una base rígida.
- Base flexible: considera la deformación en los elementos de la cimentación como la del suelo.

Figura 2-4 Desviaciones causadas por la fuerza “F” en una estructura de base fija (Fuente: NIST GCR 12-917-21).

Figura 2-5 Desviaciones causadas por la fuerza “F” en una estructura con flexibilidad vertical, horizontal y rotacional en su base (Fuente: NIST GCR 12-917-21).

Pasos para obtener el cambio de periodo.

Paso1: consideraciones para el análisis tradicional.

- Considere una estructura de un solo grado de libertad con rigidez k .
- Considere una estructura de un solo grado de libertad de masa m .
- La estructura descansa sobre una base empotrada (ver Figura 2-4).
- Aplicamos una fuerza estática F .
- Como respuesta se genera una desviación Δ :

$$\Delta = \frac{F}{k} \quad 2-1$$

Paso 2: En base a los estudios de la dinámica estructural presentamos por Clough y Penzien (1993) definimos la Ecuación 2-2:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad 2-2$$

Donde:

- ω es la frecuencia de vibración natural no amortiguada denominado.
- T es el período.

Paso 3: Sustituimos la Ecuación 2-1 en la Ecuación 2-2, para obtener la expresión del período al cuadrado obteniendo la siguiente Ecuación:

$$T^2 = (2\pi)^2 \frac{m}{(F/\Delta)} = (2\pi)^2 \frac{m\Delta}{F} \quad 2-3$$

Paso 4: Consideraciones para el análisis flexible.

- consideramos la misma estructura del caso anterior, pero con resortes verticales, horizontales y rotacionales en su base los cuales representan los efectos de la flexibilidad del suelo y la cimentación rígida (ver Figura 2-5).
- k_z es la rigidez vertical del resorte en la dirección z ,
- k_x es la rigidez del resorte horizontal en la dirección x ,
- k_{yy} representa la rotación en el plano x - z (alrededor del eje y - y).

Paso 5: Aplicamos una fuerza F a la masa en la dirección x obteniendo las siguientes respuestas en la estructura:

- La estructura se desvía, como lo hace en el sistema de base fija.
- La cortante F en la base causa una desviación horizontal u_f
- El momento $(F \times h)$ en la base desvía al resorte rotacionalmente en θ .
- La desviación total con respecto al campo libre en la parte superior de la estructura se denotaría por $\tilde{\Delta}$.

$$\tilde{\Delta} = \frac{F}{k} + u_f + \theta \cdot h = \frac{F}{k} + \frac{F}{k_x} + \left(\frac{F \cdot h}{k_{yy}} \right) h \quad 2-4$$

Paso 6: Sustituimos la Ecuación 2-4 en la Ecuación 2-3, para obtener una expresión para el período de base flexible denotado por $\tilde{T}^2$:

$$\tilde{T}^2 = (2\pi)^2 \frac{m\tilde{\Delta}}{F} = (2\pi)^2 m \left(\frac{1}{k} + \frac{1}{k_x} + \frac{h^2}{k_{yy}} \right) \quad 2-5$$

Paso 7: Combinando las expresiones de la Ecuación 2-5 y la Ecuación 2-2 da como resultado la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{\tilde{T}}{T} \right)^2 = \frac{k}{m} m \left(\frac{1}{k} + \frac{1}{k_x} + \frac{h^2}{k_{yy}} \right) \quad 2-6$$

Paso 8: Simplificando la Ecuación 2-6 en un período clásico que alarga la expresión obtendremos lo siguiente:

$$\frac{\tilde{T}}{T} = \sqrt{1 + \frac{k}{k_x} + \frac{kh^2}{k_{yy}}} \quad 2-7$$

Aplicación en múltiples grados de libertad

La Ecuación 2-7 puede aplicarse a estructuras de múltiples grados de libertad tomando la altura h como la altura del centro de masa para la forma del primer modo. Esto se conoce

comúnmente como la altura modal efectiva, que es aproximadamente dos tercios de la altura general de la estructura, y se toma como 0.7 veces la altura en ASCE / SEI 7-10 (ASCE, 2010). En tales casos, el alargamiento del período se aplica solo al período del primer modo. En trabajos anteriores de Veletsos y Nair (1975) y Bielak (1975), se ha demostrado que los parámetros adimensionales que controlan el alargamiento del período son:

$$\frac{h}{V_s T}, \frac{h}{B}, \frac{B}{L}, \frac{m}{\rho_s 4BLh} \text{ y } \nu \quad 2-8$$

Donde:

- h es la altura de la estructura (o altura al centro de masa de la primera forma de modo).
- B es la mitad del ancho de la cimentación.
- L es la mitad del largo de la cimentación.
- m es la masa (o masa modal efectiva).
- ρ_s es la densidad de masa del suelo.
- ν es la relación de Poisson del suelo.

Consideraciones y respuestas de la IDSE:

- B/L relación de las dimensiones de la zapata para formas rectangulares.
- h/T relación que cuantifique la rigidez de la superestructura.
- $h/(V_s T)$ relación de rigidez suelo-estructura.
- h/T relación con unidades de velocidad.
- G es el módulo de corte del suelo.
- V_s es la velocidad de la onda de corte.

$$V_s = \sqrt{G/\rho_s} \quad 2-9$$

- La relación h/T será más grande para los sistemas rígidos de resistencia a la fuerza lateral, como las paredes cortantes, y más pequeño para los sistemas flexibles, como los marcos de momento.
- Las estructuras de construcción típicas en el suelo y los sitios de roca erosionada se consideran lo siguiente:

$$\frac{h}{V_s T} \text{ es inferior } 0.1$$

- La estructura de marco de momento se considera lo siguiente:

$$0.1 \leq \frac{h}{V_s T} \leq 0.5$$

- El alargamiento del período aumenta notablemente con la relación de rigidez estructura-suelo, que es el parámetro más importante que controla los efectos de la IDSE inercial.
- La relación entre la altura de la estructura y el ancho de la cimentación, h / B , y la relación entre el ancho y longitud de la cimentación, B / L , en la Ecuación 2-8 son relaciones de aspecto que describen la geometría del sistema suelo-estructura.
- La relación de masa, $m / \rho_s 4BLh$, es la relación entre la masa de la estructura y la masa del suelo en un volumen que se extiende a una profundidad igual a la altura de la estructura, h , debajo de los cimientos.
- En la Ecuación 2-7, se puede ver que el alargamiento del período no tiene una dependencia fundamental de la masa. El término de relación de masa se introdujo de modo que el alargamiento del período podría estar relacionado con características fácilmente reconocibles, como el período estructural del primer modo, T , y la velocidad de onda de corte del suelo, V_s , en lugar de la rigidez estructural, k , y el módulo de corte del suelo, G . El efecto de relación de masa es modesto, y comúnmente se toma como 0.15.
- La relación de Poisson del suelo, ν , afecta las características de rigidez y amortiguación de los cimientos.

Usando modelos para la rigidez de los cimientos rectangulares (de medio ancho, B ; media longitud, L ; y $L \geq B$) que descansan sobre un medio-espacio isotrópico homogéneo con velocidad de onda de corte, V_s , las relaciones de alargamiento del período se pueden calcular con los resultados mostrados en la Figura 2-2a, que se traza para el caso especial de un pie cuadrado ($L = B$).

Figura 2-6 Gráfica de relación de alargamiento del periodo (T/T) y la amortiguación de los cimientos B_f vs la relación de rigidez estructura-suelo para cimientos cuando ($L=B$) y la relación de variables de h/B . En esta gráfica, $\nu=0.33$, $B/L=1.0$, amortiguamiento histérico del suelo $B_s=0$, relación de masa $=0.15$ y exponente $n=2$ (Fuente: NIST GCR 12-917-21).

Todos los demás factores son iguales, el alargamiento del período aumenta con la relación altura de estructura-ancho de cimiento, h/B , debido a un mayor momento de vuelco y rotación de los cimientos, θ . Esto implica que los efectos de IDSE inerciales serían más significativos en edificios altos, pero este no es el caso. Los edificios altos suelen tener relaciones $h/(V_s T)$ bajas, lo que es más importante para controlar los efectos de IDSE inerciales. Por lo tanto, el alargamiento del período en edificios altos está cerca de la unidad (es decir, un alargamiento del período pequeño o nulo). Para una relación fija de h/B , se observa que el alargamiento del período disminuye modestamente con la relación entre el ancho-longitud de la cimentación, B/L , debido al mayor tamaño de la cimentación (y, por lo tanto, la rigidez) normal a la dirección de carga.

Además del alargamiento del período, el comportamiento del sistema también se ve afectado por la amortiguación asociada con la interacción suelo-cimiento, denominada amortiguación de cimientos, β_f . Esta amortiguación se compone de dos partes: (1) contribuciones de la histéresis del suelo (amortiguación histórica); y (2) radiación de energía alejada, en forma de ondas de estrés, desde la cimentación (amortiguación de radiación). La amortiguación del cimiento contribuye directamente a la amortiguación del sistema de base-flexible, β_0 :

$$\beta_0 = \beta_f + \frac{1}{(\tilde{T}/T)^n} \beta_i \quad 2-10$$

Donde, β_i es la amortiguación estructural en la superestructura asumiendo una base fija, que generalmente se toma como 5% para los sistemas estructurales típicos. Son posibles estimaciones más refinadas de β_i en función del tipo y la configuración del sistema estructural, como se describe en, (ATC, Modeling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings, 2010). Observaciones de caso de estudios han demostrado que β_f varía de aproximadamente 0% a 25%. El exponente, n , en el período de alargamiento en la Ecuación 2-10 se toma como 3 para amortiguamiento estructural linealmente viscoso, y 2 de lo contrario (por ejemplo, para amortiguamiento histórico) (Givens, 2013), Veletsos y Nair (1975), Bielak (1975 y 1976), Roesset (1980), Wolf (1985), Avilés y Pérez-Rocha (1996), Maravas et al. (2007) y Givens (2013), entre otros, Presentaron modelos analíticos para la amortiguación de cimientos. La solución clásica de Veletsos y Nair explica la dependencia de la frecuencia de los términos de amortiguamiento de cimientos. Asume que la amortiguación estructural es puramente viscosa, y lo aplica a una cimentación circular que descansa sobre un medio espacio. La ecuación para β_f proporcionada por Veletsos y otros es de valor complejo (es decir, compuesta de valores reales más imaginarios), lo que complica la interpretación de su significado físico. El trabajo de Bielak utiliza las mismas condiciones, excepto que supone que la cimentación es un cilindro que penetra un medio espacio hasta una profundidad de empotramiento, D , y las expresiones resultantes tienen un valor real. El valor del exponente n en la Ecuación 2-10 se toma como 3 para las soluciones Veletsos y Bielak porque se supone que la amortiguación estructural es viscosa.

El procedimiento dado por Wolf (1985) descuida la dependencia de la frecuencia de los términos de rigidez de los cimientos y supone que la amortiguación de la radiación de los cimientos es linealmente viscosa (es decir, coeficientes de salpicadero constante para traslación y rotación, C_x y C_{yy}), y lo aplica a un cimiento circular que descansa sobre un

medio espacio. Considerando la dependencia de la frecuencia, la forma de la expresión de amortiguamiento de Wolf (similar a Roeset, 1980) puede reescribirse como:

$$\beta_f = \left[\frac{(\tilde{T}/T)^{n_s} - 1}{(\tilde{T}/T)^{n_s}} \right] \beta_s + \frac{1}{(\tilde{T}/T_x)^{n_x}} \beta_x + \frac{1}{(\tilde{T}/T_{yy})^{n_{yy}}} \beta_{yy} \quad 2-11$$

Donde β_s es la amortiguación histórica del suelo, β_x y β_{yy} son relaciones de amortiguación relacionadas con la amortiguación de la radiación de los modos de traslación y rotación (descritos más adelante en la Sección 2.2), y T_x y T_{yy} son períodos de vibración ficticios, calculados como si la única fuente de la vibración fue la traslación o rotación del cimiento, como se muestra:

$$T_x = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_x}} ; T_{yy} = 2\pi \sqrt{\frac{mh^2}{k_{yy}}} \quad 2-12$$

Los exponentes n_s , n_x y n_{yy} dependen de la forma específica de amortiguación asociada con los componentes respectivos de la amortiguación de la cimentación, y todos los demás términos son como se definieron previamente. Sin embargo, debido a que no se esperaba que ninguno de estos términos fuera linealmente viscoso, se recomienda tomar estos exponentes como 2 (Givens, 2013). Tenga en cuenta que para $n = n_s$, los términos de alargamiento del período delante del término β_i en la ecuación 2-10 y el término β_s en la ecuación 2-11 son factores de peso que juntos suman la unidad. En consecuencia, la Ecuación 2-11 puede verse como una "regla de mezcla" para la amortiguación en diferentes modos y fuentes de vibración. Debido a que los resultados de Wolf se produjeron descuidando la dependencia de la frecuencia de los términos de rigidez de los cimientos, la Ecuación 2-11 puede proporcionar resultados más precisos si esos efectos se incluyen en el cálculo del alargamiento del período

La amortiguación histórica del suelo, β_s , depende de la tensión y, por lo general, puede evaluarse a partir de la información de la literatura. Los modelos clásicos se resumen en Kramer (1996). Los modelos empíricos más contemporáneos de Darendeli (2001) y Menq (2003) explican la presión de sobrecarga y la tensión de corte de manera consistente en múltiples tipos de suelo.

La solución Wolf para el amortiguamiento de cimientos en la Ecuación 2-11, junto con las soluciones clásicas Veletsos, Bielak y Roeset, descuidan las contribuciones de los términos que involucran el producto de dos relaciones de amortiguamiento. Maravas et al. (2007) presenta soluciones exactas en las que se incluyen esos términos. Al igual que Wolf,

Maravas et al. (2007) utiliza la amortiguación histérica con los exponentes $n = 2$, y si se excluyen los términos que involucran el producto de dos relaciones de amortiguación, se recupera la ecuación 2-11.

Como fue el caso para el alargamiento del período que se muestra en la Figura 2-6 a, la Figura 2-6 b que muestran que la amortiguación de la cimentación β_f aumenta fuertemente con la relación de rigidez estructura-suelo, $h/(VsT)$. En la Figura 2-2b, todos los exponentes se tomaron como 2. La amortiguación β_f disminuye con los valores crecientes de h/B , lo que indica que los movimientos laterales de la cimentación (que dominan a bajas relaciones h/B) disipan la energía en el suelo de manera más eficiente que la cimentación balanceada (que domina a altas relaciones h/B). Los términos de amortiguación de radiación (β_x y β_{yy}) se reducen significativamente cuando se encuentra una capa de roca madre rígida a profundidades moderadas o poco profundas, como se describe más adelante en la Sección 2.2.2.

Los procedimientos de análisis para $\tilde{T}/T$ y β_f similares a los descritos anteriormente se han validado en relación con las observaciones de edificios instrumentados sacudidos por terremotos (Stewart, 1999b). Estos estudios muestran que el parámetro más importante que controla la importancia de la interacción inercial es $h/(VsT)$, y que los efectos de SSI inerciales son generalmente insignificantes para $h/(VsT) < 0.1$, que ocurre en estructuras flexibles (por ejemplo, edificios de marco de momento) ubicado en suelo competente o roca. Por el contrario, los efectos de SSI inerciales tienden a ser significativos para estructuras rígidas, como muros de corte o edificios con armaduras, ubicados en suelos más blandos.

El efecto del SSI inercial en la cortante de la base de un edificio se ilustra en la Figura 2-7. Debido a que la cortante de la base para la respuesta elástica se calcula comúnmente en función de la aceleración pseudo-espectral en el primer modo, la figura muestra la variación en la aceleración pseudoespectral versus el período tanto en escalas lineales como logarítmicas. La aceleración pseudo-espectral para una estructura de base flexible, $\tilde{S}_a$, se obtiene ingresando el espectro dibujado para una relación de amortiguamiento efectiva, β_0 , al que le corresponde un período alargado, $\tilde{T}$.

Figura 2-7 efectos de la SSI inercial sobre la aceleración espectral (cortante de la base) asociada con el alargamiento del periodo y el cambio en la amortiguación (Fuente: NIST GCR 12-917-21).

El efecto de IDSE en la cortante de la base está relacionado con la pendiente del espectro. La cortante de la base tiende a aumentar cuando la pendiente es positiva y disminuye cuando la pendiente es negativa.

Para el caso común de edificios con períodos relativamente largos en la porción descendente del espectro, el uso de un $\tilde{S}_a$ (base flexible) en lugar de S_a (base fija) generalmente resulta en una demanda de corte de la base reducida. Por el contrario, el SSI inercial puede aumentar la cortante de la base en estructuras de período relativamente corto.

El período en el que se produce el pico espectral, denominado período predominante de movimiento del suelo, T_p , generalmente está controlado por el régimen tectónico, la magnitud del terremoto y la distancia de la fuente al sitio (Rathje et al., 2004), y solo coincidirá con el periodo del sitio en ciertos casos que involucren grandes contrastes de impedancia debido a la estratificación del suelo. En ausencia de efectos inusuales en el sitio, los valores típicos de T_p varían de aproximadamente 0.2 a 0.5 segundos para terremotos corticales superficiales en regiones tectónicamente activas, como California.

2.2.2 Ecuaciones de rigidez y amortiguamiento para cimentaciones poco profundas

El método de funciones de impedancia consiste en utilizar resortes para representar la interacción suelo – fundación. Estos resortes son presentados como valores complejos que son representados por la rigidez y amortiguamiento.

Figura 2-8 Fundaciones superficiales y enterradas de geometrías arbitrarias (Fuente: Gazetas, 1991)

Las funciones de impedancia tienen en cuenta que la cimentación este ubicada de forma superficial o empotramiento, cuando la cimentación es superficial los efectos del empotramiento no son tan fuertes como cuando hay sótanos ya que en esos casos si hay un impacto importante en el cálculo de rigidez y amortiguamiento.

Las funciones de impedancia vienen del concepto de fuerza elástica, que indica que la impedancia dinámica es definida como la razón de fuerza (o momento) “R” y el desplazamiento en equilibrio resultante “U”.

$$S_z = R_{z(t)} / U_{z(t)} \quad 2-13$$

La respuesta debido a fuerzas externas puede ser determinada mediante la construcción de la matriz de funciones de impedancia dinámicas “ $S_{(w)}$ ”. De esta manera se pueden definir las siguientes impedancias.

S_x = Impedancia lateral al balanceo para movimientos horizontales en la dirección larga.

S_y = Impedancia lateral al balanceo para movimientos horizontales en la dirección corta.

S_z = Impedancia lateral al balanceo para movimientos verticales.

S_{rx} = Impedancia al balanceo para movimientos rotacional alrededor del eje centroidal “x” de la fundación.

S_{ry} = Impedancia al balanceo para movimientos rotacional alrededor del eje centroidal “y” de la fundación.

S_t = Impedancia al balanceo para movimientos rotacional alrededor del eje centroidal “z” de la fundación.

Las funciones de impedancia representan las características de rigidez y amortiguación dependientes de la frecuencia de la interacción suelo-cimiento. Las soluciones clásicas para la función de impedancia de valores complejos se pueden escribir como (Luco y Westman, 1971; Veletsos y Wei, 1971):

$$\bar{k}_j = k_j + i\omega c_j \quad 2-14$$

Donde:

- $\bar{k}_j$ denota el valor complejo de la función de impedancia.
- j es un índice que denota modos de desplazamiento rotacional o traslacional.
- k_j es la rigidez traslacional de los cimientos dependientes de la frecuencia y los coeficientes del tablero, respectivamente, para el modo j .
- c_j es la rigidez rotacional de los cimientos dependientes de la frecuencia y los coeficientes del tablero, respectivamente, para el modo j .
- ω es la frecuencia circular (rad / s).

Un tablero con coeficiente c_j representa los efectos de la amortiguación asociados con la interacción suelo-cimiento. Una forma alternativa para la Ecuación 2-14 es:

$$\bar{k}_j = k_j(1 + 2i\beta_j) \quad 2-15$$

Donde:

$$\beta_j = \frac{\omega c_j}{2k_j} \quad (\text{definido para } k_j > 0) \quad 2-16$$

Una ventaja de la expresión para β_j en términos de c_j en la Ecuación 2-16 es que, en la resonancia del sistema IDSE, β_j puede interpretarse como una fracción de amortiguamiento crítico en el sentido clásico. Un inconveniente de la ecuación 2-16 es que, cuando k_j se acerca a cero, β_j va al infinito.

La parte imaginaria de la impedancia compleja representa una diferencia de fase entre la excitación armónica y la respuesta a una frecuencia dada. La diferencia de fase, ϕ_j , entre la fuerza y el desplazamiento (retrasado) es (Clough y Penzien 1993; Wolf 1985):

$$\phi_j = \tan^{-1}(2\beta_j) \quad 2-17$$

El ángulo ϕ_j también se conoce como ángulo de pérdida. Por ejemplo, si β_j es 10%, el desplazamiento armónico pico retrasará la fuerza pico en 0.197 radianes (11.3 grados). Cuando β_j va al infinito, ϕ_j está limitado por $\pi/2$.

Muchas soluciones de función de impedancia están disponibles para cimientos rígidos circulares o rectangulares ubicados en la superficie o incrustados dentro de un medio espacio uniforme, elástico o viscoelástico. En el caso de un cimiento rectangular rígido que descansa sobre la superficie de un medio espacio con velocidad de onda de corte V_s , Pais y Kausel (1988), Gazetas (1991) y Mylonakis et al. (2006) revisan las soluciones de impedancia en la literatura y presentan ecuaciones para calcular los términos de rigidez y amortiguación en Ecuación 2-14.

Las soluciones describen la rigidez traslacional y la amortiguación a lo largo de los ejes X, Y y Z, la rigidez rotacional y la amortiguación alrededor de esos ejes (denotado XX, YY y ZZ). La rigidez se denota k_j , y es una función de las dimensiones de los cimientos, el módulo de corte del suelo, G , la relación de Poisson del suelo, ν , los modificadores de rigidez dinámica, α_j , y los modificadores de empotramiento, η_j :

$$k_j = K_j \times \alpha_j \times \eta_j \quad 2-18$$

$$K_j = GB^m f\left(\frac{B}{L}, \nu\right), \quad \alpha_j = f\left(\frac{B}{L}, a_0\right) \quad 2-19$$

$$\eta_j = f\left(\frac{B}{L}, \frac{D}{B}, \frac{d_w}{B}, \frac{A_w}{BL}\right) \quad 2-20$$

Donde:

- K_j es la rigidez del cimiento estático a frecuencia cero para el modo j , y $m = 1$ para la traslación, y $m = 3$ para la rotación.

- G es el módulo de corte debe reflejar los efectos de la reducción del módulo al aumentar la amplitud de deformación por corte. ASCE / SEI 7-10, *Cargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras* (ASCE, 2010), y FEMA P-750, *Recomendaciones sísmicas brindadas por NEHRP para nuevos edificios y otras estructuras* (FEMA, 2009), proporcionan la información presentada en la Figura 2-9 para ajustar el módulo de corte y la velocidad de la onda de corte para grandes niveles de deformación.

El módulo de corte máximo (o deformación pequeña), G_0 , se puede calcular a partir de la Ecuación 2-9 como $G_0 = V_s^2 \rho_s$, donde V_s se basa en mediciones geofísicas en el campo, y ρ_s es la densidad de masa del suelo. Un valor efectivo promedio de V_s generalmente se calcula a través de una profundidad de perfil efectiva, z_p , como se describe en la Sección 2.2.2. Los modificadores de rigidez dinámica, α_j , están relacionados con la frecuencia adimensional a_0 :

$$a_0 = \frac{\omega B}{V_s} \quad 2-21$$

El cual tiene la interpretación física de ser la relación de B a aproximadamente una sexta parte de la longitud de onda sísmica para la frecuencia ω . Este parámetro de frecuencia es esencialmente único para condiciones de espacio medio, pero puede no serlo en presencia de un estrato rígido a poca profundidad (Anoyatis y Mylonakis, 2012). Para el análisis en el dominio del tiempo, generalmente se selecciona una sola frecuencia ω con el fin de evaluar los coeficientes del resorte del cimiento y del tablero que dependen de a_0 . Esto puede tomarse como la frecuencia correspondiente al período asociado con la respuesta dominante de la estructura. En la mayoría de los casos, este será el primer modo, período de base flexible.

Table 2-1 Values of Shear Wave Velocity and Shear Modulus Reduction for Various Site Classes and Shaking Amplitudes (ASCE, 2010; FEMA, 2009)

Site Class	Reduction Factor (V_s)			Reduction Factor (G/G_0)		
	$S_{DS}/2.5^{(1)}$			$S_{DS}/2.5^{(1)}$		
	≤ 0.1	0.4	≥ 0.8	≤ 0.1	0.4	≥ 0.8
A	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
B	1.00	0.97	0.95	1.00	0.95	0.90
C	0.97	0.87	0.77	0.95	0.75	0.60
D	0.95	0.71	0.32	0.90	0.50	0.10
E	0.77	0.22	(2)	0.60	0.05	(2)
F	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)

Figura 2-9 S_{DS} es el parámetro de aceleración de respuesta espectral de período corto definido en ASCE / SEI 7-10; utilice la interpolación en línea recta para valores intermedios de $S_{DS} / 2.5$. El valor debe evaluarse a partir del análisis específico del sitio (Fuente: NIST GCR 12-917-21).

La Tabla 2 enumera las expresiones para la rigidez de cimentación estática, K_j , para tres grados de libertad traslacionales y tres rotacionales para una zapata rectangular rígida ubicada en la superficie del suelo. Estas ecuaciones son similares para Pais y Kausel (1988), Gazetas (1991) y Mylonakis et al. (2006).

El empotramiento de cimientos debajo de la superficie del suelo aumenta la rigidez estática de los cimientos. Los factores, η_j , para aumentar K_j para los efectos del empotramiento se proporcionan en la Tabla 3. Las ecuaciones de Pais y Kausel (1988) se utilizan con mayor frecuencia en la práctica. Las ecuaciones de Gazetas (1991) y Mylonakis et al. (2006) son más generales y representan los efectos de empotramiento que resultan de la separación entre el suelo y las paredes laterales de los cimientos.

En la Tabla 4 se proporcionan ecuaciones para modificadores de rigidez dinámica, α_j , y relaciones de amortiguación de radiación, β_j , para zapatas rígidas ubicadas en la superficie del suelo. Los modificadores de rigidez dinámica y las relaciones de amortiguación de radiación para zapatas empotradas se proporcionan en la Tabla 5.

2.2.2.1 Rigidez estática K_j

En esta parte del proyecto vamos a adaptar las tablas necesarias para la evaluación de la interacción dinámica suelo estructura IDSE con fundaciones de poca profundidad propuestas por la NIST GCR 12-917-21.

Figura 2-10 Dimensiones de la zapata para el cálculo de la rigidez simplificada (Fuente: NIST GCR 12-917-21)

Donde:

- $2L$ es el largo de la zapata.
- $2B$ es el ancho de la zapata.

Tabla 2 Soluciones elásticas para la rigidez estatica de zapatas rígidas en la superficie del suelo (adaptado de la normativa NIST GCR 12-917-21).

Grados de Libertad	Pais and Kausel (1988)
Traslación a lo largo del eje z	$K_{z,sur} = \frac{GB}{1-\nu} \left[3.1 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.75} + 1.6 \right]$
Traslación a lo largo del eje y	$K_{y,sur} = \frac{GB}{2-\nu} \left[6.8 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.8 \left(\frac{L}{B} \right) + 1.6 \right]$
Traslación a lo largo del eje x	$K_{x,sur} = \frac{GB}{2-\nu} \left[6.8 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 2.4 \right]$
Torsión sobre el eje z	$K_{zz,sur} = GB^3 \left[4.25 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.45} + 4.06 \right]$
Balanceo sobre el eje y	$K_{yy,sur} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[3.73 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.27 \right]$
Balanceo sobre el eje x	$K_{xx,sur} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[3.2 \left(\frac{L}{B} \right) + 0.8 \right]$

2.2.2.2 Modificadores de desplante η_j

Tabla 3 Factores de corrección por desplante para la rigidez estatica de zapatas rígidas (adaptado de la normativa NIST GCR 12-917-21).

Grados de Libertad	Modificadores de desplante
Traslación a lo largo del eje z	$n_z = \left[1.0 + \left(0.25 + \frac{0.25}{L/B} \right) \left(\frac{D}{B} \right)^{0.8} \right]$
Traslación a lo largo del eje y	$n_y = \left[1.0 + \left(0.33 + \frac{1.34}{1 + L/B} \right) \left(\frac{D}{B} \right)^{0.8} \right]$
Traslación a lo largo del eje x	$n_x = n_y$
Torsión sobre el eje z	$n_{zz} = \left[1 + \left(1.3 + \frac{1.32}{L/B} \right) \left(\frac{D}{B} \right)^{0.9} \right]$
Balanceo sobre el eje y	$n_{yy} = \left[1.0 + \frac{D}{B} + \left(\frac{1.6}{0.35 + (L/B)^4} \right) \left(\frac{D}{B} \right)^2 \right]$
Balanceo sobre el eje x	$n_{xx} = \left[1.0 + \frac{D}{B} + \left(\frac{1.6}{0.35 + L/B} \right) \left(\frac{D}{B} \right)^2 \right]$

Consideraciones para los modificadores de desplante

- $L \geq B$

Figura 2-11 corte transversal y dimensiones de desplante para el cálculo de las rigideces simplificadas (Fuente: NIST GCR 12-917-21)

Donde:

- d_w es la altura de la fundación en contacto con el suelo.
- z_w es la profundidad del suelo había el centroide de la altura de zapata.

2.2.2.3 Modificadores dinámicos α_j

Tabla 4 Modificadores de rigidez dinámica para zapatas rígidas (adaptado de la normativa NIST GCR 12-917-21).

Grados de Libertad	Modificadores dinámicos
Traslación a lo largo del eje z	$\alpha_z = 1.0 - \left[\frac{\left(0.4 + \frac{0.2}{L/B}\right) a_0^2}{\left(\frac{10}{1 + 3(L/B - 1)}\right) + a_0^2} \right]$
Traslación a lo largo del eje y	$\alpha_y = 1.0$
Traslación a lo largo del eje x	$\alpha_x = 1.0$
Torsión sobre el eje z	$\alpha_{zz} = 1.0 - \left[\frac{(0.33 - 0.03\sqrt{L/B - 1}) a_0^2}{\left(\frac{0.8}{1 + 0.33(L/B - 1)}\right) + a_0^2} \right]$
Balanceo sobre el eje y	$\alpha_{yy} = 1.0 - \left[\frac{0.55 a_0^2}{\left(0.6 + \frac{1.4}{(L/B)^3}\right) + a_0^2} \right]$
Balanceo sobre el eje x	$\alpha_{xx} = 1.0 - \left[\frac{(0.55 + 0.01\sqrt{L/B - 1}) a_0^2}{\left(2.4 - \frac{0.4}{(L/B)^3}\right) + a_0^2} \right]$

Consideraciones para para los modificadores dinámicos

- $a_0 = \frac{\omega B}{v}$
- $\psi = \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}}$
- $\psi \leq 2.5$

2.2.2.4 Modificadores de amortiguamiento β_j

Tabla 5 Modificadores de amortiguamiento de radiación para zapatas rígidas (adaptado de la normativa NIST GCR 12-917-21).

Grados de Libertad	Modificadores dinámicos
Traslación a lo largo del eje z	$\beta_z = \left[\frac{4\psi(L/B)}{(K_{z,sur}/GB)} \right] \left[\frac{a_0}{2\alpha_z} \right]$
Traslación a lo largo del eje y	$\beta_y = \left[\frac{4(L/B)}{(K_{y,sur}/GB)} \right] \left[\frac{a_0}{2\alpha_y} \right]$
Traslación a lo largo del eje x	$\beta_x = \left[\frac{4(L/B)}{(K_{x,sur}/GB)} \right] \left[\frac{a_0}{2\alpha_x} \right]$
Torsión sobre el eje z	$\beta_{zz} = \left[\frac{(4/3)[(L/B)^3 + (L/B)]a_0^2}{(K_{zz,sur}/GB^3) \left[\left(\frac{1.4}{1 + 3(L/B - 1)^{0.7}} \right) + a_0^2 \right]} \right] \left[\frac{a_0}{2\alpha_{zz}} \right]$
Balanceo sobre el eje y	$\beta_{yy} = \left[\frac{(4\psi/3)(L/B)^3 a_0^2}{(K_{yy,sur}/GB^3) \left[\left(\frac{1.8}{1 + 1.75(L/B - 1)} \right) + a_0^2 \right]} \right] \left[\frac{a_0}{2\alpha_{yy}} \right]$
Balanceo sobre el eje x	$\beta_{xx} = \left[\frac{(4\psi/3)(L/B)a_0^2}{(K_{xx,sur}/GB^3) \left[\left(2.2 - \frac{0.4}{(L/B)^3} \right) + a_0^2 \right]} \right] \left[\frac{a_0}{2\alpha_{xx}} \right]$

Consideraciones para los modificadores de amortiguamiento

- $L \geq B$
- $a_0 = \frac{\omega B}{v}$
- $\psi = \sqrt{\frac{2(1-v)}{1-2v}}$
- $\psi \leq 2.5$
- La amortiguación histórica del suelo β_s , es aditiva a la amortiguación de la radiación de la base β_j

Para el cálculo de la rigidez con amortiguamiento considerar la siguiente ecuación 2-22 obtenida de la Tabla 7 – 4 de la Norma NIST GCR 12-917-21.

$$\frac{2K_{sur}(\beta_{sur} + \beta_j)}{\omega} \quad 2-22$$

Donde:

- K_{sur} es la rigidez sin aplicar el modificador por desplante y el modificador dinámico.

- β_{sur} es la amortiguación histerética del suelo
- β_j es el parámetro de amortiguamiento definido en la Tabla 5.
- ω es la frecuencia radial del primer modo de la estructura.

La Norma NIST GCR 12-917-21 en el capítulo 8 nos sugiere usar el amortiguamiento histerético del suelo con un valor de 5%.

Recordar que la Norma NIST GCR 12-917-21 indica que esta ecuación es solo aplicable a las cimentaciones superficiales como zapatas aisladas y plateas de cimentaciones.

3 CASOS A ANALIZAR

En este capítulo, definiremos los parámetros necesarios para el proyecto y consideraremos su magnitud o valores usados mediante fuentes confiables como libros, artículos, etc. Primero, definiremos 3 modelos de 4, 8, y 12 pisos considerando irregularidad en altura, aporticado y de concreto armado. Segundo, desarrollamos los predimensionamientos correspondientes para cada modelo. Tercero, definimos los parámetros de suelo en función de los tres tipos de suelo que son suelo rígido S1, suelo intermedio S2 y suelo blando S3. Cuarto, definimos los parámetros necesarios para el cálculo de los espectros. Finalmente, con los datos u parámetros mencionados anteriormente mostramos los resultados del espectro de diseño para cada tipo de suelo y la rigidez con y sin amortiguamiento para el análisis que se detallara en el Capítulo IV.

3.1 Definición de modelos

Los siguientes modelos propuestos tienen las siguientes características para los tres modelos son:

- Irregulares en altura.
- Sistema estructural de concreto armado aporticados.
- el uso es para oficina y está clasificado como edificación común.
- Misma planta.

Tamaños de las estructuras según su modelo:

- Modelo A: 4 pisos
- Modelo B: 8 pisos
- Modelo C: 12 pisos

3.1.1 Vista del plano en planta

Figura 3-1 Vista en planta (Fuente: Elaboración propia).

3.1.2 Modelo A

Figura 3-2 Modelo A (Fuente: Elaboración propia).

3.1.3 Modelo B

Figura 3-3 Modelo B (Fuente: Elaboración propia).

3.1.4 Modelo C

Figura 3-4 Modelo C (Fuente: Elaboración propia).

3.2 Medrado de cargas

En primer lugar, cabe mencionar que el peso propio de los elementos estructurales considerado para el análisis de los modelos estructurales propuestos (Modelo A, Modelo B y Modelo C) será considerado en Software Etabs 2018. También, cabe mencionar que el último piso para todos los modelos, será considerado como azotea, por ende, la carga viva y muerta serán consideradas iguales a los pisos de abajo.

3.2.1 Carga viva

Según la Norma Técnica E020 “Cargas”, para el caso de oficinas con clasificación común la carga viva es de 2.5 KPa.

$$CV = 2.5 \text{ KPa} = 250 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}$$

Convertimos para usarlo en el Etabs 2018.

$$CV = 0.25 \frac{\text{Tonf}}{\text{m}^2}$$

3.2.2 Carga muerta

Debido a que ya se consideró el peso propio de la losa maciza solo se adicionara el peso de los acabados que es equivalente a 1.0 KPa.

$$CM = 100 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}$$

Convertimos para usarlo en el Etabs 2018.

$$CM = 0.10 \frac{\text{Tonf}}{\text{m}^2}$$

Cabe resaltar que, al ser un análisis estructural tridimensional, las cargas se asignaran a la losa por metro cuadrado hasta cubrir la totalidad del área de las losas de cada piso de la estructura. Ver la Figura 4-4 donde nos muestra cómo se asignan las cargas en el Software Etabs 2018.

3.3 Predimensionamiento de elementos estructurales

Para la Estructuración de los modelos aporticados solo se considerará columnas, vigas y losas, las cuales serán predimensionadas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones E-060. A continuación, presentaremos para cada caso las formulas y consideraciones necesarias para el predimensionamiento de los elementos estructurales. Asimismo, mostraremos en las tablas respectivas los resultados de las dimensiones para cada modelo.

3.3.1 Losas macizas

$$Peralte (e) = \frac{L}{25} - 0.05 \quad 3-1$$

Tabla 6 Espesores de losa (Fuente: Elaboración propia).

LOSA MACIZA	
MODELO	e(cm)
A	15
B	15
C	15

3.3.2 Vigas

$$h = \frac{L}{10} ; b = \frac{h}{2} \quad 3-2$$

Tabla 7 Dimensiones de las vigas (Fuente: Elaboración propia).

VIGAS		
MODELO	B(cm)	H(cm)
A	30	50
B	30	50
C	30	50

3.3.3 Columnas

$$A_{Col} = \frac{p_{Servicio}}{0.45f'_c} \quad 3-3$$

- Condiciones para el peso de servicios

Tabla 8 Pesos de servicio para cada tipo de columna (Fuente: Elaboración propia).

CATEGORIA	DESCRIPCION	UNIDAD	MAGNITUD
A	Columna esquinada	Kg/m2	1500
B	Columna excentrica	Kg/m2	1250
C	Columna centrada	Kg/m2	1000

- Condiciones para los coeficientes

Tabla 9 Coeficientes de para cada tipo de columna (Fuente: Elaboración propia).

COEFICIENTE				
ITEM	CATEG.	DESCRIPCION	Unidad	Magnitud
1	Coef.	Coeficiente esquinada		0.35
2	Coef.	Coeficiente excentrica		0.35
3	Coef.	Coeficiente centrada		0.45

- Predimensionamiento de columnas

Se considera solo dos tipos de columna c1 y c2 para cada modelo estructural

Tabla 10 dimensiones de las columnas (Fuente: Elaboración propia)

COLUMNAS				
MODELO	C1		C2	
	B(cm)	H(cm)	B(cm)	H(cm)
A	30	30	35	35
B	40	40	45	45
C	45	45	55	55

3.3.4 Zapatas

$$A_{Zap} \geq \frac{p_{Servicio}}{k(q_{Adm})} \quad 3-4$$

- Consideraciones para el peso de servicio

Tabla 11 Peso por categoría (Fuente: Elaboración propia)

PESO POR CATEGORIA				
ITEM	CATEG.	DESCRIPCION	Unidad	Magnitud
1	P(Cat. A)	Edificacion Esencial	Kg/m2	1500
2	P(Cat. B)	Edificacion Importante	Kg/m2	1250
3	P(Cat. C)	Edificacion Comun	Kg/m2	1000

- Consideraciones para el coeficiente

Tabla 12 Coeficientes paraca tipo de suelo de fundación (Fuente: Elaboración propia).

COEFICIENTE "k"				
ITEM	CATEG.	DESCRIPCION	Magnitud	
1	Coef.	Roca Dura	1	
2	Coef.	Muy Rigido	0.9	
3	Coef.	Intermedio	0.8	
4	Coef.	Blando o flexible	0.7	

Tabla 13 Dimensiones de las zapatas (Fuente: Elaboración propia).

ZAPATAS		
MODELO	B(m)	L(m)
A	1.9	1.9
B	2.7	2.7
C	3.4	3.4

3.4 Características del suelo de fundación

Según la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismoresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones las condiciones geotécnicas se clasifican en 5 tipos de perfiles de suelo los cuales serán descritos en la siguiente Tabla 14:

Tabla 14 Descripción de los suelos según la norma E.030 (Fuente: Elaboración propia).

TIPO DE SUELO	DESCRIPCIÓN
Perfil S_0	Roca dura
Perfil S_1	Roca o suelo muy rígidos
Perfil S_2	Suelos intermedios
Perfil S_3	Suelos blandos
Perfil S_4	Condiciones excepcionales

La Tabla 14 muestra todos los perfiles de suelo presentes en la norma E.030 y de ellos solo se evaluarán en 3 tipos de suelos S1, S2 y S3 con la finalidad de abarcar los casos más comunes donde podemos evaluar el efecto de interacción dinámica suelo estructura IDSE. De estos 3 perfiles seleccionados se procederá a detallar las características necesarias para el cálculo de las rigideces traslacionales y rotacionales con y sin amortiguamiento.

3.4.1 Peso específico del suelo

El peso específico es la relación existente entre el peso y el volumen del suelo, también es el valor que depende de la humedad, de los huecos de aire y del peso específico de las partículas sólidas. Según el Rodríguez William Pg. 7, los pesos específicos que podemos usar son los siguientes:

Tabla 15 Pesos específicos para cada tipo de suelo (Fuente: Elaboración propia).

DESCRIPCION	γ_s
SUELO S1	$21.0 \frac{KN}{cm^2}$
SUELO S2	$18.0 \frac{KN}{cm^2}$
SUELO S3	$15.0 \frac{KN}{cm^2}$

3.4.2 Velocidad promedio de propagación de las ondas de corte

Es un parámetro geofísico empleado para estimar la respuesta sísmica en un sitio determinado, lo constituye el promedio de las velocidades de ondas de corte en los primeros 30 m de espesor. Para este proyecto, vamos a obtener los datos de la Norma técnica E.030 “Diseño sismoresistente”.

Tabla 16 Velocidad de corte para cada tipo de suelo (Fuente: Elaboración propia).

DESCRIPCION	V_s (Norma E.030)	V_s (Elegido)
SUELO S1	$1500 \frac{m}{s} \geq V_s > 500 \frac{m}{s}$	$500 \frac{m}{s}$
SUELO S2	$500 \frac{m}{s} \geq V_s > 180 \frac{m}{s}$	$180 \frac{m}{s}$
SUELO S3	$180 \frac{m}{s} \geq V_s$	$90 \frac{m}{s}$

3.4.3 Módulo de corte

El módulo de corte es el parámetro más importante que caracteriza el comportamiento mecánico del suelo a pequeñas deformaciones. Asimismo, el módulo de corte es importante para una variedad de diseños geotécnicos. Por ejemplo, el análisis dinámico del suelo sometido a vibraciones que nos permiten predecir el comportamiento del suelo como la interacción del sistema suelo estructura, situaciones de carga cíclica causadas por el viento o el movimiento del oleaje continuo y por ultimo las situaciones de carga estática que se dan debido a la degradación que provoca el suelo de fundación afectando la rigidez del suelo en el tiempo. La siguiente ecuación nos permite calcular el valor del módulo de corte G .

$$G = V_s^2 \cdot \rho_s \quad 3-5$$

Tabla 17 Modulo de corte para cada tipo de suelo (Fuente: Elaboración propia).

DESCRIPCION	G
SUELO S1	535.168 Pa
SUELO S2	59.450 Pa
SUELO S3	12.385 Pa

3.4.4 Módulo de poisson del suelo

El coeficiente de poisson es una constante elástica que proporciona una medida del estrechamiento de sección de un prisma de material elástico lineal e isotrópico cuando se estira longitudinalmente y se adelgaza en las direcciones perpendiculares a la del estiramiento. La Norma NIST GCR 12-917-21, en el Capítulo 8 pagina 3 nos indica los coeficientes de poisson que debemos aplicar para cada tipo de suelo.

Tabla 18 Modulo de corte para cada tipo de suelo (Fuente: Elaboración propia).

DESCRIPCION	ν (NIST GCR 12-917-21)
SUELO S1	0.27
SUELO S2	0.30
SUELO S3	0.45

3.5 Definición del espectro de diseño

$$s_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} g \quad 3-6$$

3.5.1 Zonificación

Para la zonificación se propuso desarrollar el proyecto en el departamento de Lima – Perú obteniendo un factor de zona $Z = 0.45$.

3.5.2 Parámetros de sitio

Como se mencionó anteriormente en esta parte se elegirá 3 suelos los cuales serán roca, suelo intermedio y suelo blando pertenecientes a perfiles de tipo S1, S2 y S3 respectivamente. Los factores para los perfiles de suelo son $S1 = 1.00$, $S2 = 1.05$ y $S3 = 1.10$.

3.5.3 Categoría de edificación

La edificación que se presentan en este proyecto tiene la categoría de edificación común “C” el cual tiene como factor $U = 1.0$

Tabla 19 Datos considerados para los espectros de diseño en suelos S1, S2 y S3 (Fuente: Elaboración propia).

DATOS PARA DISEÑO DE LOS ESPECTROS			
DESCRIPCION	S1	S2	S3
Zona	4	4	4
Perfil Tipo	S1	S2	S3
Categoria del Edificio	C	C	C
Coef. Reduccion de fuerzas sismicas	07	07	07
Irregularidad en altura	07	07	07
Irregularidad en planta	01	01	01

Tabla 20 Resultados para los espectros de diseño en suelos S1, S2 y S3 (Fuente: Elaboración propia).

RESULTADOS			
FACT.	S1	S2	S3
Z	0.45	0.45	0.45
U	1	1	1
S	1	1.05	1.1
Tp	0.4	0.6	1
Tl	2.5	2	1.6
R0	8	8	8
Ia	0.9	0.9	0.9
Ip	1	1	1
R	7.2	7.2	7.2

3.5.4 Espectros de diseño

Figura 3-5 Grafico de los espectros de diseño en suelos S1, S2 y S3 (Fuente: Elaboración propia).

3.6 Factores de reducción

En el Capítulo 2, referenciamos el cálculo de los factores de reducción del módulo de corte mediante la Figura 2-9, donde nos muestra una tabla en función de la aceleración espectral dividido en sus 2.5 partes y el tipo de suelo. Asimismo, consideramos por recomendación de la normativa NIST GCR 12-917-21 usar la interpolación lineal para valores intermedios.

Tabla 21 Factores de reducción para cada tipo de suelo (Fuente: Elaboración propia).

DESCRIPCION	Sa	Sa/2.5	FR
SUELO S1	1.533	0.613	0.92
SUELO S2	1.609	0.644	0.66
SUELO S3	1.686	0.674	0.23

3.7 Calcular rigidez

En esta parte del proyecto, con fines prácticos vamos a desarrollar detalladamente el cálculo de rigidez del Modelo B – Suelo S1, con el cual podremos desarrollar una plantilla Excel que nos permita calcular la rigidez de todos los casos a analizar en este proyecto. Después de desarrollar la plantilla de Excel, colocaremos los datos como se muestra en la Tabla 23, Tabla 24 y Tabla 25 para así obtener los resultados de en las Tablas 26, Tabla 27 y Tabla 28.

3.7.1 Proceso de cálculo de la rigidez

MODELO B – SUELO S1

Primeramente, para el cálculo de las rigideces necesitamos reunir una serie de datos básicos encontrados en la literatura de mecánica de suelos y Norma técnica E.030 “Diseño sismoresistente”, las cuales han sido detalladas y justificadas en los subcapítulos anteriores del Capítulo 3.

3.7.1.1 Datos básicos

Tabla 22 Tabla de datos básicos para el Modelo B – Suelo S1 (Fuente: Elaboración propia).

DESCRIPCION	MAGNITUD
PESO ESPEFICIO DE SUELO S1	$\gamma = 21.0 \frac{KN}{cm^2}$
VELOCIDAD PROMEDIO DE ONDAS DE PROPAGACION DE CORTE	$V_s = 500 \frac{m}{s}$
ANCHO DE LA ZAPATA	$b = 2.7 m$
LARGO DE LA ZAPATA	$l = 2.7 m$
COEF. POISSON DEL SUELO	$\nu = 0.27$
ALTURA DE DESPLANTE	$D = 0.7 m$

3.7.1.2 Datos adicionales para calcular la rigidez

- Módulo de corte

Ecuación 2-9 del capítulo 2: esta ecuación nos permitirá calcular el módulo de corte.

$$V_s = \sqrt{G/\rho_s}$$

$$500 \frac{m}{s} = \sqrt{\frac{G}{21.0 \frac{KN}{cm^2}}}$$

$$G = 535.168 Mpa$$

Calculamos el factor de reducción del módulo de corte

Según la figura 2-9 del capítulo 2: la figura muestra una tabla recortada de la normativa ASCE / SEI 7-10 donde nos indica los factores de reducción del módulo de corte a partir de los 2.5 partes de la aceleración espectral en el periodo más corto.

$$S_a = 1.533$$

$$\frac{S_a}{2.5} = 0.613$$

Interpolamos los resultados de la tabla: Para $\frac{s_a}{2.5} = 0.4$ el factor es 0.95 y para $\frac{s_a}{2.5} = 0.8$ el factor es 0.9.

$$Fr = 0.92$$

Aplicamos la reducción al módulo de corte

$$G_0 = (535.168 \text{ Mpa}) * 0.92$$

$$G_0 = 492354740.06 \text{ Pa}$$

- Calculamos B

Según el capítulo 2, la base de la zapata es 2B

$$2B = b$$

$$2B = 2.7 \text{ m}$$

$$B = 1.35 \text{ m}$$

- Calculamos L

Según el capítulo 2, el largo de la zapata es 2L

$$2L = l$$

$$2L = 2.7 \text{ m}$$

$$L = 1.35 \text{ m}$$

- Frecuencia radial

" ω " Viene a ser la frecuencia radial del modo predominante de la edificación.

$$\omega = 1.424 \text{ Hz}$$

$$\omega = (1.424 \text{ Hz})2\pi$$

$$\omega = 8.95 \text{ Hz.rad}$$

- Calculamos el valor de a_0

$$a_0 = \frac{\omega B}{V}$$

$$a_0 = \frac{(8.95 \text{ Hz.rad})1.35 \text{ m}}{500 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$a_0 = 0.02415759$$

- Calculamos el valor de ψ

$$\psi = \sqrt{\frac{2(1 - 0.27)}{1 - 2(0.27)}} \leq 2.5$$

$$\psi = 1.78 \leq 2.5$$

$$\psi = 1.78$$

3.7.1.3 Rigidez traslacional en el eje z - K_z

- Calculamos la rigidez $K_{z,sur}$

$$K_{z,sur} = \frac{GB}{1 - \nu} \left[3.1 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.75} + 1.6 \right]$$

$$K_{z,sur} = \frac{(492354740.06 \text{ Pa})1.35 \text{ m}}{1 - 0.27} \left[3.1 \left(\frac{1.35 \text{ m}}{1.35 \text{ m}} \right)^{0.75} + 1.6 \right]$$

$$K_{z,sur} = 4279439487.24 \frac{N}{m}$$

- Modificador de desplante n_z

$$n_z = \left[1.0 + \left(0.25 + \frac{0.25}{L/B} \right) \left(\frac{D}{B} \right)^{0.8} \right]$$

$$n_z = \left[1.0 + \left(0.25 + \frac{0.25}{L1.35 \text{ m}/1.35 \text{ m}} \right) \left(\frac{0.7 \text{ m}}{1.35 \text{ m}} \right)^{0.8} \right]$$

$$n_z = 1.296$$

- Modificadores dinámicos α_z

$$\alpha_z = 1.0 - \left[\frac{\left(0.4 + \frac{0.2}{L/B} \right) a_0^2}{\left(\frac{10}{1 + 3(L/B - 1)} \right) + a_0^2} \right]$$

$$\alpha_z = 1.0 - \left[\frac{\left(0.4 + \frac{0.2}{1.35 \text{ m}/1.35 \text{ m}} \right) 0.024^2}{\left(\frac{10}{1 + 3(1.35 \text{ m}/1.35 \text{ m} - 1)} \right) + 0.024^2} \right]$$

$$\alpha_z = 0.99996499$$

- Formula general de rigidez dinámica

Las siguientes formulas fueron obtenidas de la normativa NIST GCR 12-917-21, donde se puede apreciar la rigidez K_j multiplicado por sus factores de corrección de desplante y dinámica como se detalla en el capítulo 2.

$$k_j = K_j \times \alpha_j \times \eta_j$$

$$k_z = K_{z,sur} \times \alpha_z \times \eta_z$$

$$k_z = 4279439487.24 \frac{N}{m} \times 0.99996499 \times 1.296$$

$$k_z = 5544471942.36 \frac{N}{m}$$

$$k_z = 565185.723 \frac{Tonf}{m}$$

3.7.1.4 Rigidez traslacional con amortiguamiento en el eje z - $K_{z\ amort}$

- Calculamos el valor de β_z

$$\beta_z = \left[\frac{4\psi(L/B)}{(K_{z,sur}/GB)} \right] \left[\frac{a_0}{2\alpha_z} \right]$$

$$\beta_z = \left[\frac{4(1.78)(1.35\ m/1.35\ m)}{4279439487.24 \frac{N}{m}} \right] \left[\frac{0.02415759}{2(0.99996499)} \right]$$

$$\beta_z = 0.01336969$$

- Calculamos la rigidez con amortiguamiento

$$\frac{2K_{z,sur}(0.05 + \beta_z)}{\omega}$$

$$K_{z\ amort} = \frac{2(4279439487.24 \frac{N}{m})(0.05 + 0.01336969)}{8.95\ Hz.\ rad}$$

$$K_{z\ amort} = 60618978.04 \frac{N.s}{m}$$

$$K_{z\ amort} = 6179.305 \frac{tonf.s}{m}$$

3.7.1.5 Rigidez traslacional en el eje y - K_y

- Calculamos la rigidez $K_{y,sur}$

$$K_{y,sur} = \frac{GB}{2-\nu} \left[6.8 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.8 \left(\frac{L}{B} \right) + 1.6 \right]$$

$$K_{y,sur} = \frac{(492354740.06 \text{ Pa}) 1.35 \text{ m}}{2 - 0.27} \left[6.8 \left(\frac{1.35 \text{ m}}{1.35 \text{ m}} \right)^{0.65} + 0.8 \left(\frac{1.35 \text{ m}}{1.35 \text{ m}} \right) + 1.6 \right]$$

$$K_{y,sur} = 3534708596.28 \frac{N}{m}$$

- Modificador de desplante n_y

$$n_y = \left[1.0 + \left(0.33 + \frac{1.34}{1 + \frac{L}{B}} \right) \left(\frac{D}{B} \right)^{0.8} \right]$$

$$n_y = \left[1.0 + \left(0.33 + \frac{1.34}{1 + \frac{1.35 \text{ m}}{1.35 \text{ m}}} \right) \left(\frac{0.7 \text{ m}}{1.35 \text{ m}} \right)^{0.8} \right]$$

$$n_y = 1.591$$

- Modificadores dinámicos α_y

$$\alpha_y = 1.0$$

- Formula general de rigidez dinámica

$$k_y = K_{y,sur} \times \alpha_j \times \eta_j$$

$$k_y = 3534708596.28 \frac{N}{m} \times 1 \times 1.591$$

$$k_y = 5624798817.24 \frac{N}{m}$$

$$k_y = 573373.987 \frac{tonf}{m}$$

3.7.1.6 Rigidez traslacional con amortiguamiento en el eje y - $K_{y\ amort}$

- Calculamos el valor de β_y

$$\beta_y = \left[\frac{4(L/B)}{(K_{y,sur}/GB)} \right] \left[\frac{a_0}{2\alpha_y} \right]$$

$$\beta_y = \left[\frac{4(1.35\ m/1.35\ m)}{3534708596.28 \frac{N}{m}} \right] \left[\frac{0.02415759}{2(1.0)} \right]$$

$$\beta_y = 0.00908535$$

- Calculamos la rigidez con amortiguamiento

$$\frac{2K_{y,sur}(0.05 + \beta_y)}{\omega}$$

$$K_{y\ amort} = \frac{2(3534708596.28 \frac{N}{m})(0.05 + 0.00908535)}{8.95\ Hz.\ rad}$$

$$K_{y\ amort} = 46684595.70 \frac{N.s}{m}$$

$$K_{y\ amort} = 4758.878 \frac{tonf.s}{m}$$

3.7.1.7 Rigidez traslacional en el eje x - K_x

- Calculamos la rigidez $K_{x,sur}$

$$K_{x,sur} = \frac{GB}{2-v} \left[6.8 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 2.4 \right]$$

$$K_{x,sur} = \frac{(492354740.06\ Pa)1.35\ m}{2 - 0.27} \left[6.8 \left(\frac{1.35\ m}{1.35\ m} \right)^{0.65} + 2.4 \right]$$

$$K_{x,sur} = 3534708596.28 \frac{N}{m}$$

- Modificador de desplante n_x

$$n_x = \left[1.0 + \left(0.33 + \frac{1.34}{1 + \frac{L}{B}} \right) \left(\frac{D}{B} \right)^{0.8} \right]$$

$$n_x = \left[1.0 + \left(0.33 + \frac{1.34}{1 + \frac{1.35 \text{ m}}{1.35 \text{ m}}} \right) \left(\frac{0.7 \text{ m}}{1.35 \text{ m}} \right)^{0.8} \right]$$

$$n_y = 1.591$$

- Modificadores dinámicos α_x

$$\alpha_x = 1.0$$

- Formula general de rigidez dinámica

$$k_x = K_{x,sur} \times \alpha_x \times \eta_x$$

$$k_x = 3534708596.28 \frac{N}{m} \times 1.0 \times 1.591$$

$$k_x = 5624798817.24 \frac{N}{m}$$

$$k_x = 573373.987 \frac{tonf}{m}$$

3.7.1.8 Rigidez traslacional con amortiguamiento en el eje x - $K_{x \text{ amort}}$

- Calculamos el valor de β_x

$$\beta_x = \left[\frac{4(L/B)}{(K_{x,sur}/GB)} \right] \left[\frac{a_0}{2\alpha_x} \right]$$

$$\beta_x = \left[\frac{\frac{4(1.35 \text{ m}/1.35 \text{ m})}{3534708596.28 \frac{N}{m}}}{\frac{(492354740.1 \text{ Pa})(1.35 \text{ m})}{(492354740.1 \text{ Pa})(1.35 \text{ m})}} \right] \left[\frac{0.02415759}{2(1.0)} \right]$$

$$\beta_x = 0.00908535$$

- Calculamos la rigidez con amortiguamiento

$$\frac{2K_{x,sur}(0.05 + \beta_y)}{\omega}$$

$$K_{x \text{ amort}} = \frac{2(3534708596.28 \frac{N}{m})(0.05 + 0.00908535)}{8.95 \text{ Hz. rad}}$$

$$K_{x \text{ amort}} = 46684595.70 \frac{N \cdot s}{m}$$

$$K_{x \text{ amort}} = 4758.878 \frac{\text{tonf} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

3.7.1.9 Rigidez torsional en el eje z - K_{zz}

- Calculamos la rigidez torsional $K_{zz, \text{sur}}$

$$K_{zz, \text{sur}} = GB^3 \left[4.25 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.45} + 4.06 \right]$$

$$K_{zz, \text{sur}} = (492354740.1 \text{ Pa})(1.35 \text{ m})^3 \left[4.25 \left(\frac{1.35 \text{ m}}{1.35 \text{ m}} \right)^{2.45} + 4.06 \right]$$

$$K_{zz, \text{sur}} = 10066545309.63 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$$

- Modificador de desplante n_{zz}

$$n_{zz} = \left[1 + \left(1.3 + \frac{1.32}{L/B} \right) \left(\frac{D}{B} \right)^{0.9} \right]$$

$$n_{zz} = \left[1 + \left(1.3 + \frac{1.32}{(1.35 \text{ m}/1.35 \text{ m})} \right) \left(\frac{0.7 \text{ m}}{1.35 \text{ m}} \right)^{0.9} \right]$$

$$n_{zz} = 2.451$$

- Modificadores dinámicos α_{zz}

$$\alpha_{zz} = 1.0 - \left[\frac{(0.33 - 0.03\sqrt{L/B - 1})a_0^2}{\left(\frac{0.8}{1 + 0.33(L/B - 1)} \right) + a_0^2} \right]$$

$$\alpha_{zz} = 1.0 - \left[\frac{(0.33 - 0.03\sqrt{(1.35 \text{ m}/1.35 \text{ m}) - 1})0.02415759^2}{\left(\frac{0.8}{1 + 0.33((1.35 \text{ m}/1.35 \text{ m}) - 1)} \right) + 0.02415759^2} \right]$$

$$\alpha_{zz} = 0.99975944$$

- Formula general de rigidez dinámica

$$k_{zz} = K_{zz, \text{sur}} \times \alpha_{zz} \times \eta_{zz}$$

$$k_{zz} = 10066545309.63 \frac{N.m}{rad} \times 0.99975944 \times 2.451$$

$$k_{zz} = 24664535515.18 \frac{N.m}{rad}$$

$$k_{zz} = 2514223.804 \frac{Tonf.m}{rad}$$

3.7.1.10 Rigidez torsional con amortiguamiento en el eje z - $K_{zz \text{ amort}}$

- Calculamos el valor de β_{zz}

$$\beta_{zz} = \left[\frac{(4/3)[(L/B)^3 + (L/B)]a_0^2}{(K_{zz,sur}/GB^3) \left[\left(\frac{1.4}{1 + 3(L/B - 1)^{0.7}} \right) + a_0^2 \right]} \right] \left[\frac{a_0}{2\alpha_{zz}} \right]$$

$$\beta_{zz} = \left[\frac{(4/3)[(1.35/1.35)^3 + (1.35/1.35)]0.02415759^2}{(24664535515.18/(492354740.1 \times 1.35^3)) \left[\left(\frac{1.4}{1 + 3(1.35/1.35 - 1)^{0.7}} \right) + 0.02415759^2 \right]} \right] \left[\frac{0.02415759}{2(0.99975944)} \right]$$

$$\beta_{zz} = 0.00000162$$

- Calculamos la rigidez torsional con amortiguamiento

$$K_{zz \text{ amort}} = \frac{2K_{zz}(0.05 + \beta_{zz})}{\omega} = \frac{2(24664535515.18 \frac{N.m}{rad})(0.05 + 0.00000162)}{8.95 \text{ Hz.rad}}$$

$$K_{zz \text{ amort}} = 112513497.86 \frac{N.m^2.s}{rad}$$

$$K_{zz \text{ amort}} = 11469.266 \frac{Tonf.m^2.s}{rad}$$

3.7.1.11 Rigidez de balanceo sobre el eje y - K_{yy}

- Calculamos la rigidez torsional $K_{yy,sur}$

$$K_{yy,sur} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[3.73 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.27 \right]$$

$$K_{yy,sur} = \frac{(492354740.1 \text{ Pa})(1.35 \text{ m})^3}{1-0.27} \left[3.73 \left(\frac{1.35 \text{ m}}{1.35 \text{ m}} \right)^{2.4} + 0.27 \right]$$

$$K_{yy,sur} = 6637683800.43 \frac{N.m}{rad}$$

- Modificador de desplante n_{yy}

$$n_{yy} = \left[1.0 + \frac{D}{B} + \left(\frac{1.6}{0.35 + (L/B)^4} \right) \left(\frac{D}{B} \right)^2 \right]$$

$$n_{yy} = \left[1.0 + \frac{0.7 \text{ m}}{1.35 \text{ m}} + \left(\frac{1.6}{0.35 + (1.35 \text{ m}/1.35 \text{ m})^4} \right) \left(\frac{0.7 \text{ m}}{1.35 \text{ m}} \right)^2 \right]$$

$$n_{yy} = 1.837$$

- Modificadores dinámicos α_{yy}

$$\alpha_{yy} = 1.0 - \left[\frac{0.55a_0^2}{\left(0.6 + \frac{1.4}{(L/B)^3} \right) + a_0^2} \right]$$

$$\alpha_{yy} = 1.0 - \left[\frac{0.55(0.02415759^2)}{\left(0.6 + \frac{1.4}{(1.35 \text{ m}/1.35 \text{ m})^3} \right) + (0.02415759^2)} \right]$$

$$\alpha_{yy} = 0.99983956$$

- Formula general de rigidez dinámica

$$k_{YY} = K_{yy,sur} \times \alpha_{yy} \times \eta_{yy}$$

$$k_{YY} = 6637683800.43 \frac{N.m}{rad} \times 0.99983956 \times 1.837$$

$$k_{YY} = 12192591281.79 \frac{N.m}{rad}$$

$$k_{YY} = 1242873.729 \frac{Tonf.m}{rad}$$

3.7.1.12 Rigidez de balanceo con amortiguamiento sobre el eje y - $K_{yy \text{ amort}}$

- Calculamos el valor de β_{yy}

$$\beta_{yy} = \left[\frac{(4\psi/3)(L/B)^3 a_0^2}{(K_{yy,sur}/GB^3) \left[\left(\frac{1.8}{1 + 1.75(L/B - 1)} \right) + a_0^2 \right]} \right] \left[\frac{a_0}{2\alpha_{yy}} \right]$$

$$\beta_{yy} = \left[\frac{(4 \times 1.78/3)(1.35/1.35)^3 (0.02415759^2)}{(6637683800.43/(492354740.1)1.35^3) \left[\left(\frac{1.8}{1 + 1.75(1.35/1.35 - 1)} \right) + (0.02415759^2) \right]} \right] \left[\frac{0.02415759}{2(0.99983956)} \right]$$

$$\beta_{yy} = 0.00000170$$

- Calculamos la rigidez torsional con amortiguamiento

$$\frac{2K_{yy}(0.05 + \beta_{yy})}{\omega}$$

$$K_{yy \text{ amort}} = \frac{2(12192591281.79 \frac{N.m}{rad})(0.05 + 0.00000170)}{8.95 \text{ Hz.rad}}$$

$$K_{yy \text{ amort}} = 74189329.43 \frac{N.m^2.s}{rad}$$

$$K_{yy \text{ amort}} = 7562.623 \frac{Tonf.m^2.s}{rad}$$

3.7.1.13 Rigidez de balanceo sobre el eje x - K_{xx}

- Calculamos la rigidez torsional $K_{xx,sur}$

$$K_{xx,sur} = \frac{GB^3}{1 - \nu} \left[3.2 \left(\frac{L}{B} \right) + 0.8 \right]$$

$$K_{xx,sur} = \frac{(492354740.1 \text{ Pa})(1.35 \text{ m})^3}{1 - 0.27} \left[3.2 \left(\frac{1.35m}{1.35m} \right) + 0.8 \right]$$

$$K_{xx,sur} = 6637683800.43 \frac{N.m}{rad}$$

- Modificador de desplante n_{xx}

$$n_{xx} = \left[1.0 + \frac{D}{B} + \left(\frac{1.6}{0.35 + L/B} \right) \left(\frac{D}{B} \right)^2 \right]$$

$$n_{xx} = \left[1.0 + \frac{0.7m}{1.35m} + \left(\frac{1.6}{0.35 + (\frac{1.35m}{1.35m})} \right) \left(\frac{0.7m}{1.35m} \right)^2 \right]$$

$$n_{xx} = 1.837$$

- Modificadores dinámicos α_{xx}

$$\alpha_{xx} = 1.0 - \left[\frac{(0.55 + 0.01\sqrt{L/B - 1})a_0^2}{\left(2.4 - \frac{0.4}{(L/B)^3}\right) + a_0^2} \right]$$

$$\alpha_{xx} = 1.0 - \left[\frac{(0.55 + 0.01\sqrt{(1.35m/1.35m) - 1})(0.02415759^2)}{\left(2.4 - \frac{0.4}{(1.35m/1.35m)^3}\right) + (0.02415759^2)} \right]$$

$$\alpha_{xx} = 0.99983956$$

- Formula general de rigidez dinámica

$$k_{XX} = K_{xx,sur} \times \alpha_{xx} \times \eta_{xx}$$

$$k_{XX} = 6637683800.43 \frac{N.m}{rad} \times 0.99983956 \times 1.837$$

$$k_{XX} = 12192591281.79 \frac{N.m}{rad}$$

$$k_{XX} = 1242873.729 \frac{Tonf.m}{rad}$$

3.7.1.14 Rigidez de balanceo con amortiguamiento sobre el eje x - $K_{xx \text{ amort}}$

- Calculamos el valor de β_{xx}

$$\beta_{xx} = \left[\frac{(4\psi/3)(L/B)a_0^2}{(K_{xx,sur}/GB^3) \left[\left(2.2 - \frac{0.4}{(L/B)^3}\right) + a_0^2 \right]} \right] \left[\frac{a_0}{2\alpha_{xx}} \right]$$

$$\beta_{xx} = \left[\frac{((4 \times 1.78)/3)(1.35/1.35)(0.02415759^2)}{(6637683800.43/(492354740.1)1.35^3) \left[\left(2.2 - \frac{0.4}{(1.35/1.35)^3}\right) + (0.02415759^2) \right]} \right] \left[\frac{0.02415759}{2(0.99983956)} \right]$$

$$\beta_{xx} = 0.00000170$$

- Calculamos la rigidez torsional con amortiguamiento

$$\frac{2K_{xx}(0.05 + \beta_{xx})}{\omega}$$

$$K_{xx \text{ amort}} = \frac{2(12192591281.79 \frac{N.m}{rad})(0.05 + 0.00000170)}{8.95 \text{ Hz. rad}}$$

$$K_{xx \text{ amort}} = 74189329.43 \frac{N.m^2.s}{rad}$$

$$K_{xx \text{ amort}} = 7562.623 \frac{Tonf.m^2.s}{rad}$$

3.7.2 Datos considerados en el cálculo de la rigidez

En esta parte del proyecto, se muestra un resumen de los datos obtenidos de distintos libros y artículos detallados en este capítulo.

Tabla 23 Datos para calcular la rigidez del modelo A (Fuente: Elaboración propia).

MODELO A						
DATOS DEL SUELO				TIPOS DE SUELO		
ITEM	SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	S1	S2	S3
1	Y	Peso específico del suelo	KN/m3	21	18	15
2	Vs	Velocidad promedio de propagación	m/s	500	180	90
3	Fr	Fact. Reduc. - TABLA		0.92	0.66	0.23
4	2B	Ancho	m	1.9	1.9	1.9
5	2L	Largo	m	1.9	1.9	1.9
6	v	Coef. de Poisson del suelo		0.27	0.3	0.45
7	D	Altura de deplante	m	0.5	0.5	0.5
8	w	Frecuencia	Hz	2.143	2.143	2.143

Tabla 24 Datos para calcular la rigidez del modelo B (Fuente: Elaboración propia).

MODELO B						
DATOS DEL SUELO				TIPOS DE SUELO		
ITEM	SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	S1	S2	S3
1	Y	Peso específico del suelo	KN/m3	21	18	15
2	Vs	Velocidad promedio de propagación	m/s	500	180	90
3	Fr	Fact. Reduc. - TABLA		0.92	0.66	0.23
4	2B	Ancho	m	2.7	2.7	2.7
5	2L	Largo	m	2.7	2.7	2.7
6	v	Coef. de Poisson del suelo		0.27	0.3	0.45
7	D	Altura de deplante	m	0.7	0.7	0.7
8	w	Frecuencia	Hz	1.424	1.424	1.424

Tabla 25 Datos para calcular la rigidez del modelo C (Fuente: Elaboración propia).

MODELO C						
DATOS DEL SUELO				TIPOS DE SUELO		
ITEM	SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDAD	S1	S2	S3
1	Y	Peso específico del suelo	KN/m3	21	18	15
2	Vs	Velocidad promedio de propagación	m/s	500	180	90
3	Fr	Fact. Reduc. - TABLA		0.92	0.66	0.23
4	2B	Ancho	m	3.4	3.4	3.4
5	2L	Largo	m	3.4	3.4	3.4
6	v	Coef. de Poisson del suelo		0.27	0.3	0.45
7	D	Altura de deplante	m	0.9	0.9	0.9
8	w	Frecuencia	Hz	0.97	0.97	0.97

3.7.3 Rigidez de los modelos

Con los datos presentados anteriormente calculamos los parámetros de rigidez y amortiguamiento para cada modelo aplicado en cada tipo de suelo.

Tabla 26 Rigidez y amortiguamiento del modelo A (Fuente: Elaboración propia).

MODELO A							
SIMBOLO	RIGIDEZ			SIMBOLO	AMORTIGUAMIENTO		
	Perfil S1	Perfil S2	Perfil S3		Perfil S1	Perfil S2	Perfil S3
K_Z	398811.756	33135.429	3058.979	B_Z	2925.443	339.587	46.661
K_Y	405286.361	32868.016	2617.179	B_Y	2245.461	232.931	23.808
K_X	405286.361	32868.016	2617.179	B_X	2245.461	232.931	23.808
K_{ZZ}	883128.003	70251.430	5069.366	B_{ZZ}	2655.801	211.812	15.466
K_{YY}	437214.247	36291.887	3339.601	B_{YY}	1751.187	145.657	13.545
K_{XX}	437214.247	36291.887	3339.601	B_{XX}	1751.187	145.599	13.500

Tabla 27 Rigidez y amortiguamiento del modelo B (Fuente: Elaboración propia).

MODELO B							
SIMBOLO	RIGIDEZ			SIMBOLO	AMORTIGUAMIENTO		
	Perfil S1	Perfil S2	Perfil S3		Perfil S1	Perfil S2	Perfil S3
K_Z	565185.723	46960.015	4335.656	B_Z	6179.305	708.328	96.306
K_Y	573373.987	46499.629	3702.622	B_Y	4758.878	488.579	49.526
K_X	573373.987	46499.629	3702.622	B_X	4758.878	488.579	49.526
K_{ZZ}	2514223.804	200041.367	14444.355	B_{ZZ}	11469.266	914.611	66.721
K_{YY}	1242873.729	103180.805	9498.972	B_{YY}	7562.623	628.948	58.429
K_{XX}	1242873.729	103180.805	9498.972	B_{XX}	7562.623	628.738	58.267

Tabla 28 Rigidez y amortiguamiento del modelo C (Fuente: Elaboración propia).

MODELO C							
SIMBOLO	RIGIDEZ			SIMBOLO	AMORTIGUAMIENTO		
	Perfil S1	Perfil S2	Perfil S3		Perfil S1	Perfil S2	Perfil S3
K_Z	714445.772	59365.384	5482.171	B_Z	11080.561	1229.717	162.533
K_Y	726526.254	58920.010	4691.619	B_Y	8605.088	860.621	85.373
K_X	726526.254	58920.010	4691.619	B_X	8605.088	860.621	85.373
K_{ZZ}	5076984.314	404115.509	29221.187	B_{ZZ}	33621.273	2680.459	195.197
K_{YY}	2514931.547	208843.687	19245.063	B_{YY}	22169.235	1843.237	170.898
K_{XX}	2514931.547	208843.687	19245.063	B_{XX}	22169.235	1842.843	170.593

4 ANALISIS ESTRUCTURAL CON ETABS 2018

En este capítulo, con los datos obtenidos en el Capítulo III procedemos con el modelamiento y análisis en el Software Etabs 2018. Del cual obtendremos los resultados de cortante en la base, derivas, desplazamientos, periodos, frecuencias, modos de vibración y fuerzas internas de los elementos estructurales debido al sismo. Para fines prácticos, se expondrá los pasos a seguir solo para el Modelo A.

4.1 Modelar estructuras en Etabs 2018

Figura 4-1 Modelos ingresados al Software Etabs (Fuente: Elaboración propia).

4.2 Asignar propiedades a los materiales de la estructura

Asignamos las propiedades del material con el cual están hechos los elementos estructurales tales como las vigas, columnas y losa. Para este caso se ha definido que el material usado para dichos elementos sea concreto armado con las características siguientes:

- Concreto con $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ para columnas, vigas y losa.
- Peso específico del concreto $\gamma_c = 2.4 \text{ Ton/m}^3$
- Elasticidad $E = 2534563.54 \text{ Tonf/m}^2$
- Coeficiente de Poisson $\nu = 0.2$

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box with the following values:

Section	Property	Value	Unit
General Data	Material Name	Concreto 210	
	Material Type	Concrete	
	Directional Symmetry Type	Isotropic	
	Material Display Color	[Grey Box]	
	Material Notes		
Material Weight and Mass	Specify Weight Density	2.4	tonf/m³
	Weight per Unit Volume	2.4	tonf/m³
	Mass per Unit Volume	0.244732	tonf-s²/m⁴
Mechanical Property Data	Modulus of Elasticity, E	2534563.54	tonf/m²
	Poisson's Ratio, U	0.2	
	Coefficient of Thermal Expansion, A	0	1/F
	Shear Modulus, G	1056068.14	tonf/m²
Design Property Data	Modify/Show Material Property Design Data...		
Advanced Material Property Data	Nonlinear Material Data...		
	Material Damping Properties...		
	Time Dependent Properties...		

Figura 4-2 Datos de las propiedades de los materiales (Fuente: Adaptación del Etabs2018).

4.3 Definir la sección de las columnas, vigas y losa

Como siguiente paso, se procede a asignar al software las secciones de los elementos estructurales (vigas, columnas y losa), los cuales ya han sido definidos en la etapa de pre-

dimensionamiento en el Capítulo III. Las columnas serán de 30x30 cm y 35x35 cm, las vigas de 30x50 y la losa de espesor igual a 0.15 m. A continuación, se mostrará las figuras donde se ingresan los datos para cada caso.

Figura 4-3 Definición de Secciones para las columnas de 30x30, columnas de 35x35, vigas de 30x50 y losa de 0.15 m de espesor (Fuente: Adaptación del Etabs2018).

4.4 Asignación de carga viva y muerta

Según la Norma Técnica E030 “Diseño Sismoresistente”, para el caso de oficinas con clasificación común la carga viva es de 0.25 Tonf/m² y la carga muerta es de 0.10 Tonf/m². A continuación se muestra las figuras donde se ingresa cada dato.

Figura 4-4 Definición de carga muerta y viva en las losas de todos los pisos del modelo A (Fuente: Adaptación del Etabs2018).

4.5 Definir la respuesta de espectros

Como se indicó en el Capítulo III, tendremos un espectro de diseño para cada tipo de suelo y consideraremos el amortiguamiento crítico β igual a 5% como lo indica la Norma Técnica E030 “Diseño Sismoresistente”.

Figura 4-5 Subiendo los parámetros de T y Sa/g para cada tipo de espectro de diseño (Fuente: Adaptación del Etabs2018).

4.6 Asignar método de cálculo del sismo

Una vez ingresada las cargas, se tiene que definir el método con el cual se obtendrá las respuestas máximas debido al sismo. Para este caso se usarán la suma de valores absolutos (ABS) y la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS); este último será el único a emplearse para obtener la respuesta máxima de la combinación direccional. Cabe resaltar,

que para dichos análisis se empleará un valor de razón de amortiguamiento crítico β para todos los modos del 5%.

Además, se usará un factor de reducción del espectro original, el cual es igual al valor de la gravedad (9.81 m/s), esto solo es necesario si al momento de realizar el espectro de diseño no se consideró a la gravedad, caso contrario asumir el valor de la unidad. La norma E.030 artículo 29.2.2. Indica que para el análisis en la dirección vertical se puede usar un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado para las direcciones horizontales, es por ello que se obtiene un factor de reducción del espectro en dicha dirección de 0.667 como se muestra en la figura siguiente.

Figura 4-6 Asignamos los casos de cargas modales para SRSS y ABS en dirección x (Fuente: Adaptación del Etabs2018).

Figura 4-7 Asignamos los casos de cargas modales para SRSS y ABS en dirección y (Fuente: Adaptación del Etabs2018).

Una vez asignado los casos de cargas modales, la norma E0.30 artículo 29.3.4. Indica que se debe de realizar la combinación dinámica de SSRR y ABS para el análisis dinámico mediante la siguiente expresión.

$$r = 0.25 \sum_{i=1}^m |r_i| + 0.75 \sqrt{\sum_{i=1}^m r_i^2} \tag{4-1}$$

A continuación, se muestran las figuras donde se ingresarán la combinación dinámica en dirección “X” y “Y”.

Figura 4-8 Combinación modal en dirección x y en dirección y (Fuente: Adaptación del Etabs2018)

4.7 Definir las combinaciones de carga

Se empleará las combinaciones de cargas que están establecidas por la norma peruana E.060, la cual nos indica los factores de aumento de carga y las relaciones correspondientes. Además, se incluirá la envolvente como una combinación dentro del diseño como se muestran en las siguientes ilustraciones.

Tabla 29 Tabla de combinaciones de carga (Elaboración Propia)

COMBINACIONES	ECUACIONES
COMBINACION 1	$U = 1.4CM + 1.7CV$
COMBINACION 2	$U = 1.25CM + 1.25CV + DINXX$
COMBINACION 3	$U = 1.25CM + 1.25CV + DINYY$
COMBINACION 4	$U = 0.9CM + DINXX$

COMBINACION 5

$$U = 0.9CM + DINYY$$

A continuación, se muestra las figuras donde se ingresarán las combinaciones de carga para cada caso definido en la Tabla 26 de combinaciones de carga.

Figura 4-9 figuras de las combinaciones de cargas: combinación 1, combinación 2, Combinación 3, Combinación 4, Combinación 5 y envolvente (Fuente: Adaptación del Etabs2018).

4.8 Asignación de rigidez dinámica sin amortiguamiento

Con los cálculos obtenidos en el Capítulo III, ingresamos la rigidez dinámica sin amortiguamiento en Point Spring Property Data del Software Etabs 2018.

Figura 4-10 Asignación de Rigidez dinámica sin amortiguamiento para Suelos tipo S1, S2 y S3 (Fuente: Adaptación del Etabs2018).

4.9 Asignación de rigidez dinámica con amortiguamiento

Con los cálculos obtenidos en el Capítulo III, ingresamos la rigidez dinámica con amortiguamiento en Point Spring Property Data del Software Etabs 2018.

Figura 4-11 Asignación de Rigidez dinámica con amortiguamiento para Suelos tipo S1, S2 y S3 (Fuente: Adaptación del Etabs2018).

4.10 Asignación de restricciones en la base

Para el modelo tradicional ingresamos en la opción Joint Assignment – Restraints y seleccionamos la base empotrada en las restricciones, Para el caso del modelo con rigidez dinámica sin amortiguamiento ingresamos en la opción Joint Assignment – Springs y seleccionamos la rigidez correspondiente en la base de las columnas. Para el caso del modelo con rigidez dinámica con amortiguamiento ingresamos en la opción Link Assignment – Link Property y seleccionamos la rigidez correspondiente en la base de las columnas y liberamos cualquier tipo de restricción puesta en la opción Joint Assignment – Restraints. Ver Figura 4-12 ,

Figura 4-12 Asignación de restricciones empotrada, Asignación de rigidez dinámica sin amortiguamiento y Asignación de rigidez dinámica con amortiguamiento (Fuente: Adaptación del Etabs2018).

5 RESULTADOS Y COMPARATIVOS

5.1 Resultados del modelo A

5.1.1 Desplazamientos en X-X

Tabla 30 Desplazamientos en X-X del modelo A Fuente: Elaboración propia)

DESPLAZAMIENTO X-X									
Piso	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
4	0.01052	0.01058	0.01057	0.01279	0.01413	0.01391	0.01340	0.02515	0.02339
3	0.00914	0.00919	0.00918	0.01111	0.01227	0.01207	0.01164	0.02198	0.02030
2	0.00671	0.00676	0.00675	0.00815	0.00911	0.00896	0.00854	0.01746	0.01596
1	0.00343	0.00346	0.00346	0.00415	0.00487	0.00478	0.00435	0.01156	0.01035
0	0.00000	0.00001	0.00001	0.00000	0.00021	0.00020	0.00000	0.00291	0.00229

Figura 5-1 curvas de desplazamientos en X-X del modelo A (Fuente: Elaboración propia)

5.1.2 Desplazamientos en Y-Y

Tabla 31 Desplazamientos en Y-Y del modelo A (Fuente: Elaboración propia)

DESPLAZAMIENTO Y-Y									
Piso	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
4	0.009389	0.009418	0.009405	0.011264	0.01203	0.01176	0.0118	0.019062	0.017385
3	0.008101	0.008127	0.008114	0.009732	0.010426	0.010168	0.010196	0.016929	0.015301
2	0.006114	0.00614	0.006128	0.007335	0.007953	0.007719	0.007684	0.013836	0.012323
1	0.003241	0.003268	0.003257	0.003877	0.004399	0.00421	0.004062	0.009465	0.008189
0	0	0.000013	0.000013	0	0.000191	0.000189	0	0.002435	0.00229

Figura 5-2 curvas de desplazamientos en Y-Y del modelo A (Fuente: Elaboración propia)

5.1.3 Derivas en X-X

Tabla 32 Derivas en X-X del modelo A (Fuente: Elaboración propia)

DERIVAS X-X									
Piso	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
4	0.00061	0.000612	0.000611	0.000727	0.000802	0.000789	0.000761	0.001334	0.001301
3	0.001083	0.001086	0.001084	0.00131	0.001394	0.001372	0.001372	0.001977	0.001893
2	0.001388	0.001391	0.001389	0.001687	0.001786	0.001759	0.001767	0.002505	0.002373
1	0.001317	0.001328	0.001326	0.001595	0.001804	0.001775	0.001671	0.003485	0.003232
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 5-3 curvas de derivas en X-X del modelo A (Fuente: Elaboración propia)

5.1.4 Derivas en Y-Y

Tabla 33 Derivas en Y-Y del modelo A (Fuente: Propia)

DERIVAS Y-Y									
Piso	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
4	0.000573	0.000573	0.000573	0.000673	0.000701	0.000696	0.000705	0.000909	0.000888
3	0.000903	0.000903	0.000903	0.001076	0.001106	0.001096	0.001128	0.001353	0.001303
2	0.00122	0.001219	0.001219	0.001464	0.001507	0.001487	0.001533	0.001864	0.001762
1	0.001246	0.001254	0.00125	0.001491	0.001652	0.00158	0.001562	0.002998	0.002557
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 5-4 curvas de derivas en Y-Y del modelo A (Fuente: Elaboración propia)

5.1.5 Periodos

Tabla 34 Datos de los periodos del modelo A (Fuente: Elaboración propia)

PERIODOS									
Modo	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
1	0.467	0.468	0.468	0.467	0.487	0.487	0.467	0.629	0.631
2	0.459	0.46	0.46	0.459	0.475	0.471	0.459	0.595	0.581
3	0.404	0.405	0.405	0.404	0.417	0.416	0.404	0.509	0.502
4	0.158	0.158	0.158	0.158	0.162	0.161	0.158	0.189	0.189
5	0.158	0.158	0.158	0.158	0.161	0.161	0.158	0.185	0.183

Figura 5-5 Curvas de periodo obtenidas del modelo A (Fuente: Elaboración propia)

5.1.6 Frecuencias

Tabla 35 Datos de frecuencias del modelo A (Fuente: Propia)

FRECUENCIA									
Modo	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
1	2.141	2.137	2.137	2.141	2.053	2.053	2.141	1.590	1.585
2	2.179	2.174	2.174	2.179	2.105	2.123	2.179	1.681	1.721
3	2.475	2.469	2.469	2.475	2.398	2.404	2.475	1.965	1.992
4	6.329	6.329	6.329	6.329	6.173	6.211	6.329	5.291	5.291
5	6.329	6.329	6.329	6.329	6.211	6.211	6.329	5.405	5.464

Figura 5-6 Curvas de frecuencia obtenidas del modelo A (Fuente: Elaboración propia)

5.1.7 Modos de vibración del modelo A

5.1.7.1 Modos de vibración para el suelo S1

Figura 5-7 Modos de vibración del modelo A sin considerar la IDSE en suelo S1 (Fuente: Elaboración propia)

Figura 5-8 Modos de vibración del modelo A considerando la IDSE en suelo S1 (Fuente: Elaboración propia)

Figura 5-9 Modos de vibración del modelo A considerando la IDSE y amortiguación en suelo S1 (Fuente: Elaboración propia)

5.1.7.2 Modos de vibración para el suelo S2

*Figura 5-10 Modos de vibración del modelo A sin considerar la IDSE en suelo S2
(Fuente: Elaboración propia)*

Figura 5-11 Modos de vibración del modelo A considerando la IDSE en suelo S2 (Fuente: Elaboración propia)

Figura 5-12 Modos de vibración del modelo A considerando la IDSE y amortiguación en suelo S2 (Fuente: Elaboración propia)

5.1.7.3 Modos de vibración para el suelo S3

Figura 5-13 Modos de vibración del modelo A sin considerar la IDSE en suelo S3
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 5-14 Modos de vibración del modelo A considerando la IDSE en suelo S3 (Fuente: Elaboración propia)

Figura 5-15 Modos de vibración del modelo A considerando la IDSE y amortiguación en suelo S3 (Fuente: Elaboración propia)

5.1.8 Cortantes por piso en X-X

Tabla 36 Datos de cortantes por piso en X-X del modelo A (Fuente: Elaboración propia)

CORTANTES POR PISO X-X									
Piso	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
4	-29.0678	-28.9819	-28.9401	-34.533	-34.4865	-33.9028	-36.1775	-34.8659	-32.2682
	29.0678	28.9819	28.9401	34.533	34.4865	33.9028	36.1775	34.8659	32.2682
3	-62.3164	-62.0878	-62.0032	-75.3006	-75.05	-73.8305	-78.8864	-76.9503	-71.0754
	62.3164	62.0878	62.0032	75.3006	75.05	73.8305	78.8864	76.9503	71.0754
2	-85.0891	-84.7847	-84.6748	-103.6726	-103.672	-102.0452	-108.6094	-108.7699	-100.268
	85.0891	84.7847	84.6748	103.6726	103.672	102.0452	108.6094	108.7699	100.268
1	-100.9277	-100.6061	-100.4732	-122.4992	-122.9563	-120.991	-128.3325	-131.8757	-121.1089
	100.9277	100.6061	100.4732	122.4992	122.9563	120.991	128.3325	131.8757	121.1089
0	-100.9277	-100.6085	-100.4757	-122.4992	-122.9885	-121.0224	-128.3325	-132.1112	-121.2947
	100.9277	100.6085	100.4757	122.4992	122.9885	121.0224	128.3325	132.1112	121.2947

Figura 5-16 Curvas de cortantes en X-X por piso del modelo A Fuente: Elaboración propia)

5.1.9 Cortantes por piso en Y-Y

Tabla 37 Datos de cortantes por piso en Y-Y del modelo A (Fuente: Elaboración propia)

CORTANTES POR PISO Y-Y									
Piso	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
4	-29.3653	-29.2718	-29.2762	-34.3138	-33.9595	-33.75	-35.9478	-33.0327	-31.5287
	29.3653	29.2718	29.2762	34.3138	33.9595	33.75	35.9478	33.0327	31.5287
3	-63.567	-63.3828	-63.382	-75.6286	-75.3937	-74.7485	-79.23	-76.694	-72.6996
	63.567	63.3828	63.382	75.6286	75.3937	74.7485	79.23	76.694	72.6996
2	-86.9146	-86.6989	-86.6812	-104.2378	-104.6053	-103.4722	-109.2015	-110.5928	-104.1781
	86.9146	86.6989	86.6812	104.2378	104.6053	103.4722	109.2015	110.5928	104.1781
1	-103.3423	-103.125	-103.0904	-123.5193	-124.4662	-122.9396	-129.4011	-135.284	-126.7433
	103.3423	103.125	103.0904	123.5193	124.4662	122.9396	129.4011	135.284	126.7433
0	103.3423	103.1275	103.093	123.5193	124.4997	122.9736	129.4011	135.5382	126.9962
	-103.3423	-103.1275	-103.093	-123.5193	-124.4997	-122.9736	-129.4011	-135.5382	-126.9962

Figura 5-17 Curvas de cortantes en Y-Y por piso del modelo A (Fuente: Elaboración propia)

5.1.10 Reacciones en la base

5.1.10.1 Cortantes en la base

Tabla 38 Reacción cortante en la base en X-X del modelo A Fuente: Elaboración propia)

REACCION CORTANTE EN LA BASE EN X-X									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
V (Tonf)	100.9277	100.6085	100.4757	122.4992	122.9885	121.0224	128.3325	132.1112	121.2947
%Variación	0.00%	-0.32%	-0.45%	0.00%	0.40%	-1.21%	0.00%	2.94%	-5.48%

Tabla 39 Reacción cortante en la base en Y-Y del modelo A (Fuente: Elaboración propia)

REACCION CORTANTE EN LA BASE EN Y-Y									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
V (Tonf)	103.3423	103.1275	103.093	123.5193	124.4997	122.9736	129.4011	135.5382	126.9962
%Variación	0.00%	-0.21%	-0.24%	0.00%	0.79%	-0.44%	0.00%	4.74%	-1.86%

5.1.10.2 Momentos en la base

Tabla 40 Momentos en la base X-Y del modelo A (Fuente: Elaboración propia)

MOMENTO EN LA BASE X-Y									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
M (Tonf-m)	655.5566	653.3322	652.4835	799.7965	801.6573	789.0386	837.8821	850.4676	783.3889
%Variación	0.00%	-0.34%	-0.47%	0.00%	0.23%	-1.35%	0.00%	1.50%	-6.50%

Tabla 41 Momentos en la base Y-X del modelo A (Fuente: Elaboración propia)

MOMENTO EN LA BASE Y-X									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
M (Tonf-m)	669.7335	668.1491	667.9932	803.9308	808.0193	798.9767	842.2132	862.4903	811.5306
%Variación	0.00%	-0.24%	-0.26%	0.00%	0.51%	-0.62%	0.00%	2.41%	-3.64%

5.1.11 Reacciones en el pórtico

5.1.11.1 Reacciones en las columnas

Tabla 42 Reacciones en las columnas en X-X del modelo A (Fuente: Elaboración propia)

REACCIONES EN LAS COLUMNAS DIRECCION X-X									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
Normal N (Tonf)	9.5216	9.4383	9.4268	11.5837	11.0027	10.8225	12.1353	10.1314	9.1956
%Variación	0.00%	-0.87%	-1.00%	0.00%	-5.02%	-6.57%	0.00%	-16.51%	-24.22%
Cortante V (Tonf)	4.6217	4.6151	4.609	5.5876	5.7085	5.6127	5.8537	6.522	5.9504
%Variación	0.00%	-0.14%	-0.27%	0.00%	2.16%	0.45%	0.00%	11.42%	1.65%
Momento M (Tonf-m)	7.1126	7.0929	7.0835	8.6053	8.6368	8.4936	9.015	8.0925	7.4568
%Variación	0.00%	-0.28%	-0.41%	0.00%	0.37%	-1.30%	0.00%	-10.23%	-17.28%

Tabla 43 Reacciones en las columnas en Y-Y del modelo A (Fuente: Propia)

REACCIONES EN LAS COLUMNAS DIRECCION Y-Y									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
Normal N (Tonf)	9.0188	8.9226	8.9197	10.796	10.0249	9.8821	11.3101	7.973	7.1692
%Variación	0.00%	-1.07%	-1.10%	0.00%	-7.14%	-8.47%	0.00%	-29.51%	-36.61%
Cortante V (Tonf)	4.444	4.4259	4.4262	5.3087	5.2455	5.201	5.5615	5.4426	5.1444
%Variación	0.00%	-0.41%	-0.40%	0.00%	-1.19%	-2.03%	0.00%	-2.14%	-7.50%
Momento M (Tonf-m)	6.7893	6.752	6.7613	8.1162	7.8738	7.9239	8.5027	6.6561	6.9407
%Variación	0.00%	-0.55%	-0.41%	0.00%	-2.99%	-2.37%	0.00%	-21.72%	-18.37%

5.1.11.2 Reacciones en la viga

Tabla 44 Reacciones en la viga en X-X del modelo A Fuente: Elaboración propia)

REACCIONES EN LA VIGA DIRECCION X-X									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
Cortante V (Tonf)	4.0246	4.008	4.0031	4.8842	4.8682	4.7879	5.1168	5.5208	5.0148
%Variación	0.00%	-0.41%	-0.53%	0.00%	-0.33%	-1.97%	0.00%	7.90%	-1.99%
Momento M (Tonf-m)	8.0285	8.0073	7.9972	9.7432	9.8569	9.6953	10.2072	11.6698	10.6152
%Variación	0.00%	-0.26%	-0.39%	0.00%	1.17%	-0.49%	0.00%	14.33%	4.00%

5.2 Resultados del modelo B

5.2.1 Desplazamientos en X-X

Tabla 45 Desplazamientos en X-X del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

DESPLAZAMIENTO X-X									
Piso	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
8	0.019831	0.019915	0.019885	0.030912	0.032315	0.031775	0.03744	0.066012	0.062744
7	0.018826	0.018896	0.018868	0.029419	0.030593	0.03008	0.035657	0.061292	0.058031
6	0.017226	0.017284	0.017258	0.026993	0.027985	0.027514	0.032742	0.055517	0.052358
5	0.015254	0.015303	0.01528	0.023855	0.024703	0.024284	0.028918	0.048827	0.045845
4	0.012799	0.012843	0.012824	0.019912	0.020662	0.020307	0.024102	0.0413	0.038544
3	0.009814	0.009852	0.009838	0.015172	0.015846	0.015569	0.018333	0.032805	0.030371
2	0.00641	0.006444	0.006435	0.009837	0.010446	0.010257	0.011862	0.023568	0.021537
1	0.002801	0.002831	0.002826	0.004271	0.004792	0.004697	0.00514	0.013815	0.01228
0	0	0.000015	0.000015	0	0.000276	0.000268	0	0.004169	0.003242

Figura 5-18 curvas de desplazamientos en X-X del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

5.2.2 Desplazamientos en Y-Y

Tabla 46 Desplazamientos en Y-Y del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

DESPLAZAMIENTO Y-Y									
Piso	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
8	0.014466	0.014517	0.014499	0.022537	0.023384	0.023073	0.026212	0.041791	0.039398
7	0.013641	0.013683	0.013666	0.021346	0.022058	0.021757	0.024848	0.039007	0.036633
6	0.012534	0.012571	0.012555	0.019674	0.020299	0.020011	0.022916	0.035827	0.033506
5	0.011197	0.011229	0.011214	0.017586	0.01813	0.017861	0.020487	0.032069	0.02985
4	0.009524	0.009552	0.009538	0.014891	0.015386	0.015137	0.017332	0.027673	0.025579
3	0.007391	0.007417	0.007405	0.011494	0.011955	0.011733	0.013364	0.02242	0.020514
2	0.004907	0.004932	0.004921	0.007575	0.008008	0.007821	0.008794	0.0165	0.014847
1	0.002202	0.002224	0.002216	0.003375	0.003766	0.003629	0.003913	0.010035	0.008764
0	0	0.000012	0.000012	0	0.000219	0.000218	0	0.003216	0.002996

Figura 5-19 curvas de desplazamientos en Y-Y del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

5.2.3 Derivas en X-X

Tabla 47 Derivas en X-X del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

DERIVAS X-X									
Piso	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
8	0.000451	0.000457	0.000456	0.000649	0.000742	0.00073	0.000769	0.00198	0.001975
7	0.00073	0.000735	0.000734	0.001066	0.001142	0.001123	0.001268	0.002451	0.002402
6	0.000975	0.000979	0.000978	0.001457	0.00152	0.001495	0.001746	0.002941	0.002849
5	0.001181	0.001184	0.001182	0.0018	0.001848	0.001818	0.002168	0.003352	0.003224
4	0.001323	0.001325	0.001323	0.002053	0.00209	0.002056	0.002484	0.003673	0.003516
3	0.001449	0.001451	0.001449	0.002254	0.002283	0.002245	0.002728	0.003894	0.003714
2	0.001507	0.001509	0.001507	0.002322	0.002361	0.002321	0.002804	0.00408	0.00387
1	0.001077	0.001084	0.001082	0.001643	0.001758	0.001724	0.001977	0.003934	0.00366
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 5-20 curvas de derivas en X-X del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

5.2.4 Derivas en Y-Y

Tabla 48 Derivas en Y-Y del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

DERIVAS Y-Y									
Piso	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
8	0.000385	0.000388	0.000388	0.000529	0.000582	0.000577	0.0006	0.001175	0.001165
7	0.000536	0.000538	0.000537	0.000762	0.000797	0.000791	0.00087	0.001371	0.001345
6	0.000634	0.000636	0.000636	0.000941	0.000975	0.000966	0.001085	0.001618	0.001574
5	0.000816	0.000817	0.000817	0.00124	0.001264	0.001254	0.001436	0.001976	0.001908
4	0.000958	0.000959	0.000958	0.001484	0.001501	0.001488	0.001724	0.002283	0.002193
3	0.001068	0.001069	0.001068	0.001666	0.001678	0.001663	0.001938	0.002517	0.002403
2	0.001131	0.001132	0.001131	0.001753	0.001773	0.001751	0.002037	0.002709	0.002548
1	0.000847	0.000853	0.00085	0.001298	0.001397	0.001346	0.001505	0.002928	0.002519
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 5-21 Curvas de derivas en Y-Y del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

5.2.5 Periodos

Tabla 49 Datos de los periodos del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

PERIODOS									
Modo	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
1	0.702	0.705	0.705	0.702	0.734	0.734	0.702	0.952	0.970
2	0.668	0.670	0.670	0.668	0.690	0.688	0.668	0.837	0.835
3	0.576	0.578	0.578	0.576	0.592	0.591	0.576	0.686	0.683
4	0.229	0.229	0.229	0.229	0.233	0.233	0.229	0.270	0.268
5	0.227	0.228	0.227	0.227	0.231	0.230	0.227	0.261	0.259
6	0.194	0.194	0.194	0.194	0.196	0.196	0.194	0.218	0.216

Figura 5-22 Curvas de periodo obtenidas del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

5.2.6 Frecuencias

Tabla 50 Datos de frecuencias del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

FRECUENCIA									
Modo	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
1	1.425	1.418	1.418	1.425	1.362	1.362	1.425	1.050	1.031
2	1.497	1.493	1.493	1.497	1.449	1.453	1.497	1.195	1.198
3	1.736	1.730	1.730	1.736	1.689	1.692	1.736	1.458	1.464
4	4.367	4.367	4.367	4.367	4.292	4.292	4.367	3.704	3.731
5	4.405	4.386	4.405	4.405	4.329	4.348	4.405	3.831	3.861
6	5.155	5.155	5.155	5.155	5.102	5.102	5.155	4.587	4.630

Figura 5-23 Curvas de frecuencia obtenidas del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

5.2.7 Modos de vibración del modelo B

5.2.7.1 Modos de vibración para el suelo S1

Figura 5-24 Modos de vibración del modelo B sin considerar la IDSE en suelo S1
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 5-25 Modos de vibración del modelo B considerando la IDSE en suelo S1 (Fuente: Elaboración propia)

Figura 5-26 Modos de vibración del modelo B considerando la IDSE y amortiguación en suelo S1 (Fuente: Elaboración propia)

5.2.7.2 Modos de vibración para el suelo S2

Figura 5-27 Modos de vibración del modelo B sin considerar la IDSE en suelo S2
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 5-28 Modos de vibración del modelo B considerando la IDSE en suelo S2 (Fuente: Elaboración propia)

Figura 5-29 Modos de vibración del modelo B considerando la IDSE y amortiguación en suelo S2 (Fuente: Elaboración propia)

5.2.7.3 Modos de vibración para el suelo S3

Figura 5-30 Modos de vibración del modelo B sin considerar la IDSE en suelo S3
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 5-31 Modos de vibración del modelo B considerando la IDSE en suelo S3 (Fuente: Elaboración propia)

Figura 5-32 Modos de vibración del modelo B considerando la IDSE y amortiguación en suelo S3 (Fuente: Elaboración propia)

5.2.8 Cortantes por piso en X-X

Tabla 51 Datos de cortantes por piso en X-X del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

CORTANTES POR PISO X-X									
Piso	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
8	-19.0075	-18.9794	-18.9487	-25.8065	-25.2357	-24.7575	-30.1641	-30.1975	-27.5287
	19.0075	18.9794	18.9487	25.8065	25.2357	24.7575	30.1641	30.1975	27.5287
7	-39.7061	-39.6449	-39.5849	-55.9842	-54.7075	-53.7226	-66.3705	-68.2471	-62.3112
	39.7061	39.6449	39.5849	55.9842	54.7075	53.7226	66.3705	68.2471	62.3112
6	-61.7687	-61.6424	-61.5513	-90.3435	-87.9385	-86.388	-108.3145	-113.0305	-103.4391
	61.7687	61.6424	61.5513	90.3435	87.9385	86.388	108.3145	113.0305	103.4391
5	-80.3996	-80.1997	-80.0851	-120.941	-117.3992	-115.3849	-145.7675	-152.2376	-139.5245
	80.3996	80.1997	80.0851	120.941	117.3992	115.3849	145.7675	152.2376	139.5245
4	-93.8936	-93.6202	-93.4904	-144.4246	-139.8463	-137.5019	-174.8579	-183.15	-167.9169
	93.8936	93.6202	93.4904	144.4246	139.8463	137.5019	174.8579	183.15	167.9169
3	-105.4986	-105.1915	-105.0455	-163.4689	-158.3276	-155.6789	-198.1296	-207.2677	-190.3596
	105.4986	105.1915	105.0455	163.4689	158.3276	155.6789	198.1296	207.2677	190.3596
2	-116.1553	-115.8387	-115.6795	-178.7729	-173.4732	-170.5797	-216.1991	-229.3785	-209.9794
	116.1553	115.8387	115.6795	178.7729	173.4732	170.5797	216.1991	229.3785	209.9794
1	-125.1695	-124.8807	-124.7059	-189.7996	-184.8543	-181.7214	-228.5623	-245.7516	-224.2286
	125.1695	124.8807	124.7059	189.7996	184.8543	181.7214	228.5623	245.7516	224.2286
0	-125.1695	-124.8837	-124.7089	-189.7996	-184.8948	-181.7606	-228.5623	-246.1026	-224.4961
	125.1695	124.8837	124.7089	189.7996	184.8948	181.7606	228.5623	246.1026	224.4961

Figura 5-33 Curvas de cortantes en X-X por piso del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

5.2.9 Cortantes por piso en Y-Y

Tabla 52 Datos de cortantes por piso en Y-Y del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

CORTANTES POR PISO Y-Y									
Piso	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
8	-19.5465	-19.5187	-19.5051	-25.6972	-25.1815	-24.9623	-28.8569	-27.8287	-26.1498
	19.5465	19.5187	19.5051	25.6972	25.1815	24.9623	28.8569	27.8287	26.1498
7	-41.2282	-41.1678	-41.1383	-57.2323	-56.0239	-55.5378	-65.0702	-64.4372	-60.4542
	41.2282	41.1678	41.1383	57.2323	56.0239	55.5378	65.0702	64.4372	60.4542
6	-66.9586	-66.8336	-66.786	-98.1812	-95.7865	-94.9581	-112.8856	-113.303	-106.133
	66.9586	66.8336	66.786	98.1812	95.7865	94.9581	112.8856	113.303	106.133
5	-89.0114	-88.8127	-88.7503	-134.3382	-130.7075	-129.58	-155.2981	-155.7814	-145.7964
	89.0114	88.8127	88.7503	134.3382	130.7075	129.58	155.2981	155.7814	145.7964
4	-105.0592	-104.796	-104.7219	-162.169	-157.5349	-156.1469	-188.2702	-190.0563	-177.584
	105.0592	104.796	104.7219	162.169	157.5349	156.1469	188.2702	190.0563	177.584
3	-118.8097	-118.5054	-118.4238	-184.7554	-179.4423	-177.8613	-214.7963	-216.7788	-202.4927
	118.8097	118.5054	118.4238	184.7554	179.4423	177.8613	214.7963	216.7788	202.4927
2	-130.9569	-130.6461	-130.5516	-202.4748	-197.0571	-195.2218	-235.1511	-241.2349	-224.7187
	130.9569	130.6461	130.5516	202.4748	197.0571	195.2218	235.1511	241.2349	224.7187
1	-140.7516	-140.4692	-140.3546	-214.6942	-209.6849	-207.5402	-248.6882	-259.5277	-241.0584
	140.7516	140.4692	140.3546	214.6942	209.6849	207.5402	248.6882	259.5277	241.0584
0	140.7516	140.4725	140.3579	214.6942	209.73	207.5853	248.6882	259.9219	241.4326
	-140.7516	-140.4725	-140.3579	-214.6942	-209.73	-207.5853	-248.6882	-259.9219	-241.4326

Figura 5-34 Curvas de cortantes en Y-Y por piso del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

5.2.10 Reacciones en la base

5.2.10.1 Cortantes en la base

Tabla 53 Reacción cortante en la base en X-X del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

REACCION CORTANTE EN LA BASE EN X-X									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
V (Tonf)	125.1695	124.8837	124.7089	189.7996	184.8948	181.7606	228.5623	246.1026	224.4961
%Variación	0.00%	-0.23%	-0.37%	0.00%	-2.58%	-4.24%	0.00%	7.67%	-1.78%

Tabla 54 Reacción cortante en la base en Y-Y del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

REACCION CORTANTE EN LA BASE EN Y-Y									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
V (Tonf)	140.7516	140.4725	140.3579	214.6942	209.73	207.5853	248.6882	259.9219	241.4326
%Variación	0.00%	-0.20%	-0.28%	0.00%	-2.31%	-3.31%	0.00%	4.52%	-2.92%

5.2.10.2 Momentos en la base

Tabla 55 Momentos en la base X-Y del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

MOMENTO EN LA BASE X-Y									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
M (Tonf-m)	1422.8548	1418.594	1416.6601	2224.3637	2153.6904	2117.9819	2706.8325	2863.5687	2624.8626
%Variación	0.00%	-0.30%	-0.44%	0.00%	-3.18%	-4.78%	0.00%	5.79%	-3.03%

Tabla 56 Momentos en la base Y-X del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

MOMENTO EN LA BASE Y-X									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
M (Tonf-m)	1594.1712	1590.2039	1589.0537	2496.6996	2427.7014	2405.6328	2906.7606	2983.3675	2783.375
%Variación	0.00%	-0.25%	-0.32%	0.00%	-2.76%	-3.65%	0.00%	2.64%	-4.24%

5.2.11 Reacciones en el pórtico

5.2.11.1 Reacciones en las columnas

Tabla 57 Reacciones en las columnas en X-X del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

REACCIONES EN LAS COLUMNAS DIRECCION X-X									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
Normal N (Tonf)	22.0999	21.8724	21.8438	34.4412	31.0804	30.5335	42.0406	34.1973	30.779
%Variación	0.00%	-1.03%	-1.16%	0.00%	-9.76%	-11.35%	0.00%	-18.66%	-26.79%
Cortante V (Tonf)	7.0448	7.0209	7.0083	10.6786	10.305	10.0874	12.8237	13.2667	11.9819
%Variación	0.00%	-0.34%	-0.52%	0.00%	-3.50%	-5.54%	0.00%	3.45%	-6.56%
Momento M (Tonf-m)	13.0189	12.9734	12.9508	19.8003	19.027	18.6459	23.8053	21.8674	20.1674
%Variación	0.00%	-0.35%	-0.52%	0.00%	-3.91%	-5.83%	0.00%	-8.14%	-15.28%

Tabla 58 Reacciones en las columnas en Y-Y del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

REACCIONES EN LAS COLUMNAS DIRECCION Y-Y									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
Normal N (Tonf)	20.5961	20.3323	20.3175	32.0404	28.0928	27.7654	37.2542	25.1762	22.6923
%Variación	0.00%	-1.28%	-1.35%	0.00%	-12.32%	-13.34%	0.00%	-32.42%	-39.09%
Cortante V (Tonf)	5.661	5.6376	5.6357	8.6206	8.2581	8.2106	9.9823	10.0491	9.4694
%Variación	0.00%	-0.41%	-0.45%	0.00%	-4.21%	-4.76%	0.00%	0.67%	-5.14%
Momento M (Tonf-m)	10.337	10.2931	10.3009	15.7974	15.0699	15.1766	18.3055	15.9171	16.4682
%Variación	0.00%	-0.42%	-0.35%	0.00%	-4.61%	-3.93%	0.00%	-13.05%	-10.04%

5.2.11.2 Reacciones en la viga

Tabla 59 Reacciones en la viga en X-X del modelo B (Fuente: Elaboración propia)

REACCIONES EN LA VIGA DIRECCION X-X									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
Cortante V (Tonf)	5.7648	5.7194	5.7118	8.9197	8.2302	8.0872	10.781	9.2753	8.3723
%Variación	0.00%	-0.79%	-0.92%	0.00%	-7.73%	-9.33%	0.00%	-13.97%	-22.34%
Momento M (Tonf-m)	10.6535	10.5755	10.5613	16.485	15.2903	15.0255	19.9255	17.3964	15.7176
%Variación	0.00%	-0.73%	-0.87%	0.00%	-7.25%	-8.85%	0.00%	-12.69%	-21.12%

5.3 Resultados del modelo C

5.3.1 Desplazamientos en X-X

Tabla 60 Desplazamientos en X-X del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

DESPLAZAMIENTO X-X									
Piso	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
12	0.02944	0.02956	0.02952	0.04584	0.04777	0.04702	0.07844	0.10330	0.09764
11	0.02845	0.02855	0.02851	0.04441	0.04608	0.04536	0.07613	0.09799	0.09240
10	0.02708	0.02718	0.02714	0.04240	0.04383	0.04315	0.07283	0.09197	0.08652
9	0.02530	0.02538	0.02534	0.03972	0.04096	0.04031	0.06839	0.08513	0.07991
8	0.02336	0.02343	0.02340	0.03666	0.03773	0.03713	0.06308	0.07773	0.07280
7	0.02129	0.02135	0.02132	0.03323	0.03417	0.03363	0.05697	0.06997	0.06535
6	0.01881	0.01886	0.01884	0.02920	0.03003	0.02956	0.04983	0.06149	0.05726
5	0.01595	0.01600	0.01598	0.02459	0.02535	0.02494	0.04178	0.05227	0.04850
4	0.01277	0.01281	0.01280	0.01954	0.02022	0.01990	0.03301	0.04253	0.03929
3	0.00930	0.00934	0.00933	0.01411	0.01472	0.01448	0.02369	0.03230	0.02964
2	0.00564	0.00567	0.00566	0.00849	0.00903	0.00888	0.01417	0.02184	0.01980
1	0.00217	0.00219	0.00219	0.00324	0.00367	0.00361	0.00539	0.01172	0.01033
0	0.00000	0.00001	0.00001	0.00000	0.00023	0.00022	0.00000	0.00355	0.00274

Figura 5-35 curvas de desplazamientos en X-X del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

5.3.2 Desplazamientos en Y-Y

Tabla 61 Desplazamientos en Y-Y del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

DESPLAZAMIENTO Y-Y									
Piso	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
12	0.021616	0.021689	0.021666	0.033473	0.034702	0.034288	0.056218	0.073423	0.069973
11	0.020776	0.02084	0.020817	0.032306	0.033379	0.032976	0.054418	0.06992	0.066488
10	0.019668	0.019724	0.019702	0.030729	0.031679	0.031291	0.05194	0.065987	0.062603
9	0.018442	0.018491	0.018471	0.028897	0.029739	0.029367	0.048939	0.061645	0.05834
8	0.017051	0.017094	0.017075	0.026787	0.027525	0.027176	0.045454	0.056887	0.053689
7	0.015668	0.015707	0.015688	0.024516	0.025177	0.024847	0.041477	0.051821	0.048772
6	0.013958	0.013993	0.013976	0.021733	0.022332	0.022027	0.036642	0.046092	0.043212
5	0.011922	0.011954	0.011938	0.018462	0.019004	0.018729	0.031012	0.039636	0.036981
4	0.009639	0.009668	0.009654	0.014816	0.015314	0.015071	0.024761	0.032649	0.030266
3	0.00712	0.007146	0.007134	0.010847	0.011299	0.011094	0.018015	0.025168	0.023103
2	0.0044	0.004423	0.004414	0.006649	0.007053	0.006891	0.010978	0.017368	0.015679
1	0.00174	0.001759	0.001753	0.002614	0.002946	0.002841	0.004297	0.009623	0.008441
0	0	0.000011	0.000011	0	0.000187	0.000186	0	0.003152	0.002937

Figura 5-36 curvas de desplazamientos en Y-Y del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

5.3.3 Derivas en X-X

Tabla 62 Derivas en X-X del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

DERIVAS X-X									
Piso	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
12	0.00045	0.000457	0.000456	0.000625	0.000731	0.00072	0.000982	0.002227	0.002196
11	0.000659	0.000664	0.000663	0.000917	0.001011	0.000996	0.001442	0.002565	0.002498
10	0.000856	0.000861	0.00086	0.00121	0.001294	0.001275	0.001931	0.002933	0.002828
9	0.001024	0.001029	0.001027	0.001478	0.001553	0.00153	0.002399	0.003288	0.003147
8	0.001155	0.001159	0.001157	0.001708	0.001771	0.001744	0.002821	0.003579	0.003408
7	0.001263	0.001267	0.001265	0.001908	0.001961	0.00193	0.003195	0.003841	0.003642
6	0.001331	0.001334	0.001332	0.002052	0.002095	0.002062	0.003486	0.004036	0.003816
5	0.001388	0.00139	0.001388	0.002167	0.002199	0.002165	0.003714	0.004179	0.003942
4	0.00149	0.001492	0.00149	0.002305	0.002337	0.0023	0.003925	0.004319	0.004068
3	0.001535	0.001538	0.001536	0.002351	0.002384	0.002347	0.003973	0.00439	0.004123
2	0.001447	0.00145	0.001448	0.002187	0.002232	0.002197	0.00366	0.004221	0.00395
1	0.000833	0.000838	0.000837	0.001248	0.001341	0.001317	0.002073	0.00329	0.003042
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 5-37 Curvas de derivas en X-X del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

5.3.4 Derivas en Y-Y

Tabla 63 Derivas en Y-Y del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

DERIVAS Y-Y									
Piso	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
12	0.000404	0.000407	0.000407	0.000529	0.00059	0.000585	0.00078	0.001477	0.001468
11	0.000553	0.000556	0.000556	0.000733	0.000782	0.000775	0.001091	0.001685	0.001659
10	0.000653	0.000655	0.000655	0.000889	0.000934	0.000925	0.001359	0.001908	0.001866
9	0.000678	0.000681	0.00068	0.000963	0.001006	0.000997	0.001523	0.002047	0.001996
8	0.000782	0.000784	0.000783	0.001145	0.001181	0.00117	0.00185	0.00232	0.002248
7	0.000888	0.00089	0.00089	0.00133	0.001362	0.001349	0.002182	0.002601	0.002509
6	0.000962	0.000964	0.000963	0.001472	0.001499	0.001484	0.002452	0.002831	0.002722
5	0.001024	0.001026	0.001025	0.00159	0.001613	0.001597	0.002674	0.00302	0.002894
4	0.001099	0.0011	0.0011	0.001703	0.001723	0.001707	0.00286	0.00317	0.003033
3	0.001144	0.001146	0.001145	0.00176	0.001782	0.001763	0.002943	0.00328	0.003119
2	0.001108	0.00111	0.001109	0.001681	0.001711	0.001688	0.002784	0.003229	0.003017
1	0.000669	0.000675	0.000672	0.001005	0.001096	0.001056	0.001653	0.002791	0.002424
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 5-38 Curvas de derivas en Y-Y del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

5.3.5 Periodos

Tabla 64 Datos de los periodos del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

PERIODOS									
Modo	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
1	1.03	1.035	1.035	1.03	1.077	1.077	1.03	1.397	1.433
2	0.974	0.977	0.977	0.974	1.003	1.001	0.974	1.192	1.2
3	0.83	0.832	0.832	0.83	0.849	0.848	0.83	0.947	0.946
4	0.333	0.334	0.334	0.333	0.337	0.337	0.333	0.373	0.371
5	0.33	0.33	0.33	0.33	0.333	0.333	0.33	0.363	0.361
6	0.279	0.28	0.28	0.279	0.282	0.282	0.279	0.301	0.299
7	0.198	0.198	0.198	0.198	0.199	0.199	0.198	0.213	0.212
8	0.192	0.192	0.192	0.192	0.194	0.194	0.192	0.206	0.205

Figura 5-39 Curvas de periodo obtenidas del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

5.3.6 Frecuencias

Tabla 65 Datos de frecuencias del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

FRECUENCIA									
Modo	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
1	0.971	0.966	0.966	0.971	0.929	0.929	0.971	0.716	0.698
2	1.027	1.024	1.024	1.027	0.997	0.999	1.027	0.839	0.833
3	1.205	1.202	1.202	1.205	1.178	1.179	1.205	1.056	1.057
4	3.003	2.994	2.994	3.003	2.967	2.967	3.003	2.681	2.695
5	3.030	3.030	3.030	3.030	3.003	3.003	3.030	2.755	2.770
6	3.584	3.571	3.571	3.584	3.546	3.546	3.584	3.322	3.344
7	5.051	5.051	5.051	5.051	5.025	5.025	5.051	4.695	4.717
8	5.208	5.208	5.208	5.208	5.155	5.155	5.208	4.854	4.878

Figura 5-40 Curvas de frecuencia obtenidas del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

5.3.7 Modos de vibración del modelo C

5.3.7.1 Modos de vibración para el suelo S1

Figura 5-41 Modos de vibración del modelo C sin considerar la IDSE en suelo S1
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 5-42 Modos de vibración del modelo C considerando la IDSE en suelo S1 (Fuente: Elaboración propia)

Figura 5-43 Modos de vibración del modelo C considerando la IDSE y amortiguación en suelo S1 (Fuente: Elaboración propia)

5.3.7.2 Modos de vibración para el suelo S2

Figura 5-44 Modos de vibración del modelo C sin considerar la IDSE en suelo S2
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 5-45 Modos de vibración del modelo C considerando la IDSE en suelo S2 (Fuente: Elaboración propia)

Figura 5-46 Modos de vibración del modelo C considerando la IDSE y amortiguación en suelo S2 (Fuente: Elaboración propia)

5.3.7.3 Modos de vibración para el suelo S3

Figura 5-47 Modos de vibración del modelo C sin considerar la IDSE en suelo S3
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 5-48 Modos de vibración del modelo C considerando la IDSE en suelo S3 (Fuente: Elaboración propia)

Figura 5-49 Modos de vibración del modelo C considerando la IDSE y amortiguación en suelo S3 (Fuente: Elaboración propia)

5.3.8 Cortantes por piso en X-X

Tabla 66 Datos de cortantes por piso en X-X del modelo C (Fuente: Propia)

CORTANTES POR PISO X-X									
Piso	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
12	-16.0586	-16.0524	-16.0309	-20.4724	-20.2155	-19.8815	-29.7172	-25.0803	-22.5624
	16.0586	16.0524	16.0309	20.4724	20.2155	19.8815	29.7172	25.0803	22.5624
11	-36.4174	-36.3993	-36.3513	-47.1505	-46.5193	-45.7608	-69.8483	-58.8916	-52.9954
	36.4174	36.3993	36.3513	47.1505	46.5193	45.7608	69.8483	58.8916	52.9954
10	-50.8001	-50.7594	-50.694	-67.9947	-66.8615	-65.7939	-104.2709	-86.752	-78.0911
	50.8001	50.7594	50.694	67.9947	66.8615	65.7939	104.2709	86.752	78.0911
9	-65.7194	-65.6292	-65.5443	-91.2655	-89.2494	-87.8202	-144.8187	-118.7623	-107.0449
	65.7194	65.6292	65.5443	91.2655	89.2494	87.8202	144.8187	118.7623	107.0449
8	-78.4917	-78.3506	-78.2478	-112.8131	-109.9443	-108.1733	-183.5625	-147.871	-133.076
	78.4917	78.3506	78.2478	112.8131	109.9443	108.1733	183.5625	147.871	133.076
7	-89.5404	-89.3384	-89.2207	-132.1364	-128.327	-126.2648	-218.6821	-173.5053	-156.2428
	89.5404	89.3384	89.2207	132.1364	128.327	126.2648	218.6821	173.5053	156.2428
6	-96.1057	-95.8327	-95.7066	-145.8527	-141.1057	-138.8545	-246.065	-193.4277	-174.1569
	96.1057	95.8327	95.7066	145.8527	141.1057	138.8545	246.065	193.4277	174.1569
5	-102.7312	-102.4202	-102.2829	-158.3045	-152.8682	-150.4007	-269.7961	-209.5097	-188.6131
	102.7312	102.4202	102.2829	158.3045	152.8682	150.4007	269.7961	209.5097	188.6131
4	-111.7734	-111.4705	-111.3209	-171.8191	-166.2836	-163.6094	-292.1079	-228.5071	-206.0013
	111.7734	111.4705	111.3209	171.8191	166.2836	163.6094	292.1079	228.5071	206.0013
3	-120.0207	-119.7044	-119.547	-182.9861	-177.1699	-174.3576	-309.3248	-244.2745	-220.029
	120.0207	119.7044	119.547	182.9861	177.1699	174.3576	309.3248	244.2745	220.029
2	-129.9828	-129.674	-129.504	-194.6006	-188.7862	-185.7911	-324.4883	-257.648	-232.1151
	129.9828	129.674	129.504	194.6006	188.7862	185.7911	324.4883	257.648	232.1151
1	-135.4326	-135.1736	-134.9961	-200.6364	-195.396	-192.2771	-331.8465	-269.3538	-242.1306
	135.4326	135.1736	134.9961	200.6364	195.396	192.2771	331.8465	269.3538	242.1306
0	-135.4326	-135.1763	-134.9988	-200.6364	-195.4307	-192.3108	-331.8465	-269.7089	-242.4008
	135.4326	135.1763	134.9988	200.6364	195.4307	192.3108	331.8465	269.7089	242.4008

Figura 5-50 Curvas de cortantes en X-X por piso del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

5.3.9 Cortantes por piso en Y-Y

Tabla 67 Datos de cortantes por piso en Y-Y del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

CORTANTES POR PISO Y-Y									
Piso	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
12	-17.2877	-17.2829	-17.2694	-21.2448	-21.0784	-20.8737	-29.2316	-26.4601	-24.7359
	17.2877	17.2829	17.2694	21.2448	21.0784	20.8737	29.2316	26.4601	24.7359
11	-38.8003	-38.7827	-38.7529	-49.2568	-48.7528	-48.2893	-70.344	-63.2723	-59.138
	38.8003	38.7827	38.7529	49.2568	48.7528	48.2893	70.344	63.2723	59.138
10	-53.6884	-53.6527	-53.6121	-70.8996	-69.9951	-69.3413	-105.3947	-94.2142	-88.0425
	53.6884	53.6527	53.6121	70.8996	69.9951	69.3413	105.3947	94.2142	88.0425
9	-70.9018	-70.8225	-70.7693	-98.5482	-96.8583	-95.9588	-153.1776	-134.8117	-125.8891
	70.9018	70.8225	70.7693	98.5482	96.8583	95.9588	153.1776	134.8117	125.8891
8	-85.8025	-85.6689	-85.6048	-123.6806	-121.0998	-119.9761	-197.6437	-171.2162	-159.6221
	85.8025	85.6689	85.6048	123.6806	121.0998	119.9761	197.6437	171.2162	159.6221
7	-98.7009	-98.5192	-98.4422	-146.1594	-142.8245	-141.4562	-237.8814	-204.7186	-190.7988
	98.7009	98.5192	98.4422	146.1594	142.8245	141.4562	237.8814	204.7186	190.7988
6	-106.9796	-106.7376	-106.6561	-162.7471	-158.5532	-157.0475	-269.9179	-231.1168	-215.1836
	106.9796	106.7376	106.6561	162.7471	158.5532	157.0475	269.9179	231.1168	215.1836
5	-115.0463	-114.7738	-114.6812	-177.6218	-172.9416	-171.2257	-297.6274	-253.4363	-235.7047
	115.0463	114.7738	114.6812	177.6218	172.9416	171.2257	297.6274	253.4363	235.7047
4	-125.4363	-125.1526	-125.0572	-193.2922	-188.3378	-186.5213	-323.3986	-275.5301	-256.5742
	125.4363	125.1526	125.0572	193.2922	188.3378	186.5213	323.3986	275.5301	256.5742
3	-134.5279	-134.2272	-134.1287	-205.8863	-200.6671	-198.754	-343.0228	-294.3366	-273.6382
	134.5279	134.2272	134.1287	205.8863	200.6671	198.754	343.0228	294.3366	273.6382
2	-145.1006	-144.8009	-144.6927	-218.4574	-213.2101	-211.1381	-359.7646	-310.0883	-288.2142
	145.1006	144.8009	144.6927	218.4574	213.2101	211.1381	359.7646	310.0883	288.2142
1	-150.8259	-150.5774	-150.4517	-224.8996	-220.2676	-217.9711	-367.7859	-323.0959	-299.6948
	150.8259	150.5774	150.4517	224.8996	220.2676	217.9711	367.7859	323.0959	299.6948
0	150.8259	150.5802	150.4546	224.8996	220.3052	218.0085	367.7859	323.4884	300.0633
	-150.8259	-150.5802	-150.4546	-224.8996	-220.3052	-218.0085	-367.7859	-323.4884	-300.0633

Figura 5-51 Curvas de cortantes en Y-Y por piso del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

5.3.10 Reacciones en la base

5.3.10.1 Cortantes en la base

Tabla 68 Reacción cortante en la base en X-X del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

REACCION CORTANTE EN LA BASE EN X-X									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
V (Tonf)	135.4326	135.1763	134.9988	200.6364	195.4307	192.3108	331.8465	269.7089	242.4008
%Variación	0.00%	-0.19%	-0.32%	0.00%	-2.59%	-4.15%	0.00%	-18.72%	-26.95%

Tabla 69 Reacción cortante en la base en Y-Y del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

REACCION CORTANTE EN LA BASE EN Y-Y									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
V (Tonf)	150.8259	150.5802	150.4546	224.8996	220.3052	218.0085	367.7859	323.4884	300.0633
%Variación	0.00%	-0.16%	-0.25%	0.00%	-2.04%	-3.06%	0.00%	-12.04%	-18.41%

5.3.10.2 Momentos en la base

Tabla 70 Momentos en la base X-Y del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

MOMENTO EN LA BASE X-Y									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
M (Tonf-m)	2153.6831	2146.7527	2143.9033	3364.5091	3245.6939	3193.7237	5801.3011	4492.527	4044.3142
%Variación	0.00%	-0.32%	-0.45%	0.00%	-3.53%	-5.08%	0.00%	-22.56%	-30.29%

Tabla 71 Momentos en la base Y-X del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

MOMENTO EN LA BASE Y-X									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
M (Tonf-m)	2411.1413	2405.1721	2403.3227	3766.9847	3666.598	3631.1224	6366.196	5442.9656	5062.8688
%Variación	0.00%	-0.25%	-0.32%	0.00%	-2.66%	-3.61%	0.00%	-14.50%	-20.47%

5.3.11 Reacciones en el pórtico

5.3.11.1 Reacciones en las columnas

Tabla 72 Reacciones en las columnas en X-X del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

REACCIONES EN LAS COLUMNAS DIRECCION X-X									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
Normal N (Tonf)	33.1392	32.8033	32.7628	51.5198	44.5743	45.7001	88.9384	52.8017	46.6501
%Variación	0.00%	-1.01%	-1.14%	0.00%	-13.48%	-11.30%	0.00%	-40.63%	-47.55%
Cortante V (Tonf)	7.6359	7.6159	7.6029	11.3441	10.9754	10.7582	18.7036	14.8781	13.3222
%Variación	0.00%	-0.26%	-0.43%	0.00%	-3.25%	-5.16%	0.00%	-20.45%	-28.77%
Momento M (Tonf-m)	18.5694	18.5277	18.4979	27.7456	26.9111	26.422	45.9834	34.3792	31.592
%Variación	0.00%	-0.22%	-0.39%	0.00%	-3.01%	-4.77%	0.00%	-25.24%	-31.30%

Tabla 73 Reacciones en las columnas en Y-Y del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

REACCIONES EN LAS COLUMNAS DIRECCION Y-Y									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
Normal N (Tonf)	30.7168	30.3189	30.2972	47.6014	40.7403	41.2338	79.9848	45.2434	40.7877
%Variación	0.00%	-1.30%	-1.37%	0.00%	-14.41%	-13.38%	0.00%	-43.44%	-49.01%
Cortante V (Tonf)	6.4507	6.4247	6.4249	9.6001	9.1877	9.171	15.6774	12.8844	12.2434
%Variación	0.00%	-0.40%	-0.40%	0.00%	-4.30%	-4.47%	0.00%	-17.82%	-21.90%
Momento M (Tonf-m)	15.1795	15.127	15.1402	22.7293	21.8475	22.0322	37.2821	28.0691	29.1686
%Variación	0.00%	-0.35%	-0.26%	0.00%	-3.88%	-3.07%	0.00%	-24.71%	-21.76%

5.3.11.2 Reacciones en la viga

Tabla 74 Reacciones en la viga en X-X del modelo C (Fuente: Elaboración propia)

REACCIONES EN LA VIGA DIRECCION X-X									
Descripción	SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT	SIN IDSE	CON IDSE	AMORT
Cortante V (Tonf)	5.83339	5.7906	5.7834	8.9595	8.2669	8.1331	15.1739	9.8259	8.3865
%Variación	0.00%	-0.73%	-0.86%	0.00%	-7.73%	-9.22%	0.00%	-35.24%	-44.73%
Momento M (Tonf-m)	10.2554	10.1817	10.169	15.7511	14.5679	14.3323	26.6776	17.4096	14.8684
%Variación	0.00%	-0.72%	-0.84%	0.00%	-7.51%	-9.01%	0.00%	-34.74%	-44.27%

5.4 Análisis comparativo de variación de los resultados

5.4.1 Análisis Comparativo de desplazamientos en X-X

Figura 5-52 Análisis comparativo de los desplazamientos en X-X Fuente: Elaboración propia)

5.4.2 Análisis comparativo de desplazamientos en Y-Y

Figura 5-53 Análisis comparativo de los desplazamientos en Y-Y (Fuente: Elaboración propia)

5.4.3 Análisis comparativo de derivas en X-X

Figura 5-54 Análisis comparativo de las derivas en X-X (Fuente: Elaboración propia)

5.4.4 Análisis comparativo de derivas en Y-Y

Figura 5-55 Análisis comparativo de las derivas en Y-Y (Fuente: Elaboración propia)

5.4.5 Análisis comparativo de los periodos

Figura 5-56 Análisis comparativo de los periodos (Fuente: Elaboración propia)

5.4.6 Análisis comparativo de las frecuencias

Figura 5-57 Análisis comparativo de las frecuencias (Fuente: Elaboración propia)

5.4.7 Análisis comparativo de las fuerzas en la base

5.4.7.1 Análisis comparativo de las cortantes en la base en X-X

Figura 5-58 Análisis comparativo de las cortantes en la base en X-X (Fuente: Elaboración propia)

5.4.7.2 Análisis comparativo de las cortantes en la base en Y-Y

Figura 5-59 Análisis comparativo de las cortantes en la base en Y-Y (Fuente: Elaboración propia)

5.4.7.3 Análisis comparativo de los momentos en la base en X-Y

Figura 5-60 Análisis comparativo de los momentos en la base en X-Y (Fuente: Elaboración propia)

5.4.7.4 Análisis comparativo de los momentos en la base en Y-X

Figura 5-61 Análisis comparativo de los momentos en la base en Y-X (Fuente: Elaboración propia)

5.4.8 Análisis comparativo de las fuerzas internas en el pórtico

5.4.8.1 Análisis comparativo de las fuerzas normales internas en las columnas en X-X

Figura 5-62 Análisis comparativo de las fuerzas normales internas en las columnas en X-X (Fuente: Elaboración propia)

5.4.8.2 Análisis comparativo de las fuerzas normales internas en las columnas en Y-Y

Figura 5-63 Análisis comparativo de las fuerzas normales internas en las columnas en Y-Y (Fuente: Elaboración propia)

5.4.8.3 Análisis comparativo de las fuerzas cortantes internas en las columnas en X-X

Figura 5-64 Análisis comparativo de las fuerzas cortantes internas en las columnas en X-X (Fuente: Elaboración propia)

5.4.8.4 Análisis comparativo de las fuerzas cortantes internas en las columnas en Y-Y

Figura 5-65 Análisis comparativo de las fuerzas cortantes internas en las columnas en Y-Y (Fuente: Elaboración propia)

5.4.8.5 Análisis comparativo de los momentos internos en las columnas en X-X

Figura 5-66 Análisis comparativo de los momentos internos en las columnas en X-X
(Fuente: Elaboración propia)

5.4.8.6 Análisis comparativo de los momentos internos en las columnas en Y-Y

Figura 5-67 Análisis comparativo de los momentos internos en las columnas en Y-Y
(Fuente: Elaboración propia)

5.4.8.7 Análisis comparativo de las fuerzas cortantes internas en las vigas en X-X

Figura 5-68 Análisis comparativo de las fuerzas cortantes internas en las vigas en X-X
(Fuente: Elaboración propia)

5.4.8.8 Análisis comparativo de los momentos internos en la viga X-X

Figura 5-69 Análisis comparativo de los momentos internos en la viga en X-X (Fuente: Elaboración propia)

6 CONCLUSIONES

Este proyecto en primera instancia nos muestra la importancia de considerar la interacción dinámica suelo estructura - IDSE en las estructuras pequeñas y grandes cuando el suelo es flexible ya que las variaciones llegan a superar el 80%. Asimismo, el proceso de cálculo de la rigidez nos ayuda a entender y aplicar la rigidez en las estructuras con zapatas aisladas.

La aplicación de la interacción dinámica suelo estructura – IDSE, consiste en colocar resortes en la base (cimentación) de la estructura, los cuales, trabajan como amortiguadores que reducen la respuesta sísmica de la estructura. Es decir, reducen la cortante basal y por ende el periodo de vibración de la estructura. Este cambio también se ve reflejado, con variaciones distintas, en los desplazamientos, derivas, modos de vibración, fuerzas internas, etc. A continuación, mostraremos cuando los porcentajes de variación para cada modelo.

6.1 Conclusiones del modelo A

6.1.1 Desplazamiento

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para los desplazamientos tanto en dirección x-x como en y-y, la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento. Para el caso más desfavorable son: 0.45% en suelo S1, 8.74% en suelo S2 y 74.60% en suelo S3. Esto quiere decir, mientras más flexible sea el suelo las variaciones tienden a aumentar cuando se considera la IDSE con y sin amortiguamiento.

6.1.2 Derivas

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para las derivas tanto en dirección x-x como en y-y la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento. Para el caso más desfavorables son: 0.68% en suelo S1, 11.29% en suelo S2 y 93.42% en suelo S3. Esto significa, mientras más flexible sea el suelo las variaciones tienden a aumentar cuando se considera la IDSE con y sin amortiguamiento.

6.1.3 Periodos

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para los periodos en los suelos tipo S1 y S2 los resultados presentan la misma variación 0.21% y 4.28% respectivamente cuando se considera la IDSE con y sin amortiguamiento, pero para el suelo

tipo S3 la variación es ligeramente mayor cuando se considera la IDSE con amortiguamiento 35.12%. Además, se concluye, mientras más flexible es el suelo las variaciones tienden a aumentar cuando se considera la IDSE con y sin amortiguamiento.

6.1.4 Modos de vibración

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye que los modos de vibración en los tres tipos de suelo S1, S2 y S3 son los mismos con la única diferencia de que cambian de posición, es decir, los resultados del modo 1 pueden estar en otras posiciones como el modo 2 o 3.

6.1.5 Reacciones en la base

6.1.5.1 Cortante en la base

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para la cortante en la base tanto en dirección x-x como en y-y la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento. Para el caso más desfavorable son: -0.45% para suelo S1, -1.21% para suelo S2 y -5.48% para suelo S3. Esto significa, mientras más flexible sea el suelo, las variaciones tienden a aumentar cuando se considera la IDSE sin amortiguamiento, pero las variaciones tienden a disminuir cuando se considera la IDSE con amortiguamiento.

6.1.5.2 Momento en la base

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para el momento en la base tanto en dirección x-y como en y-x la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento. Para el caso más desfavorable son: -0.47% para suelo S1, 1.35% para suelo S2 y -6.50% para suelo S3. Por otro lado, mientras más flexible sea el suelo, las variaciones tienden a aumentar cuando se considera la IDSE sin amortiguamiento, pero las variaciones tienden a disminuir cuando se considera la IDSE con amortiguamiento.

6.1.6 Fuerzas internas

6.1.6.1 Fuerza normal en la columna

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para la fuerza normal en la columna tanto en dirección x-x como en y-y la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento. Para el caso más

desfavorable son: -1.00% para suelo S1, -6.57% para suelo S2 y -24.22% para suelo S3. Estos resultados indican, mientras más flexible sea el suelo las variaciones tienden a disminuir cuando se considera la IDSE con y sin amortiguamiento.

6.1.6.2 Fuerza cortante en la columna

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, en primer lugar, para la fuerza cortante en la columna en dirección x-x la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento, los cuales son: -0.27% para suelo S1, 0.45% para suelo S2 y 1.65% para suelo S3. Segundo lugar, para la fuerza cortante en la columna en dirección y-y para el suelo tipo S1 la variación aumenta en un porcentaje no significativo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento (-0.40%), a diferencia de los Suelos Tipo S2 (-2.03%) y S3 (-7.50%) donde las variaciones disminuyen. Estos resultados indican, para la fuerza cortante en la columna tanto en dirección x-x como y-y las variaciones tienden a disminuir cuando el suelo es más flexible y se considera la IDSE con o sin amortiguamiento.

6.1.6.3 Momento en la columna

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, en primer lugar, para el momento en la columna en dirección x-x la variación es menor en los 3 tipos de suelos cuando se considera la IDSE con amortiguamiento, los cuales son -0.41% para suelo S1, -1.30% para suelo S2 y -17.28% para suelo S3. En segundo lugar, para el momento en la columna en dirección y-y la variación es mayor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento, los cuales son -0.41% para suelo S1, -2.37% para suelo S2 y -18.37% para suelo S3. En tercer lugar, para el momento en la columna tanto en dirección x-x como y-y las variaciones tienden a disminuir cuando el suelo es más flexible y se considera la IDSE con o sin amortiguamiento.

6.1.6.4 Fuerza cortante en la viga

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para la fuerza cortante en la viga en x-x la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento, los cuales son -0.53% para suelo S1, -1.97% para suelo S2 y -1.99% para suelo S3. Esto significa, mientras más flexible sea el suelo las variaciones tienden a aumentar cuando se considera la IDSE sin amortiguamiento, pero tiende a disminuir cuando se considera la IDSE con amortiguamiento.

6.1.6.5 Momento en la viga

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para el momento en la viga en x-x la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento, que son -0.39% para suelo S1, -0.49% para suelo S2 y 4.00% para suelo S3. Por otro lado, mientras más flexible sea el suelo las variaciones tienden a aumentar cuando se considera la IDSE con y sin amortiguamiento.

6.2 Conclusiones del Modelo B

6.2.1 Desplazamiento

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para los desplazamientos tanto en x-x como en y-y la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento. Para el caso más desfavorable son: 0.27% para suelo S1, 2.79% para suelo S2 y 67.59% para suelo S3. Por otro lado, mientras más flexible sea el suelo las variaciones tienden a aumentar cuando se considera la IDSE con y sin amortiguamiento.

6.2.2 Derivas

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para las derivas tanto en x-x como en y-y la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento. Para el caso más desfavorable son: 0.46% para suelo S1, 4.93% para suelo S2 y 85.13% para suelo S3. Esto indica, mientras más flexible sea el suelo las variaciones tienden a aumentar cuando se considera la IDSE con y sin amortiguamiento.

6.2.3 Periodos

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para los periodos en los suelos tipo S1 y S2 los resultados presentan la misma variación cuando se considera la IDSE con y sin amortiguamiento 0.43% y 4.56% respectivamente, pero para el suelo tipo S3 la variación es mayor cuando se considera la IDSE con amortiguamiento 38.18%. Por consiguiente, mientras más flexible es el suelo las variaciones tienden a aumentar cuando se considera la IDSE con y sin amortiguamiento.

6.2.4 Modos de vibración

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye que los modos de vibración en los tres tipos de suelo S1, S2 y S3 son los mismos con la única diferencia de que cambian de posición, es decir, los resultados del modo 1 pueden estar en otras posiciones como el modo 2 o 3.

6.2.5 Reacciones en la base

6.2.5.1 Cortante en la base

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para la cortante en la base tanto en dirección x-x como en y-y la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento. Para el caso más desfavorable son: -0.37% para suelo S1, -4.24% para suelo S2 y -1.78% para suelo S3. Con estos resultados se puede apreciar, las variaciones en el suelo tipo S2 tienden a disminuir respecto al suelo tipo S1. Pero las variaciones en el suelo S3 tiende a aumentar respecto al suelo tipo S2 y S3 para los casos donde se consideran la IDSE con y sin amortiguamiento.

6.2.5.2 Momento en la base

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para el momento en la base en dirección x-y como en y-x la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento. Para el caso más desfavorable son: -0.44% para suelo S1, -4.78% para suelo S2 y -3.03% para suelo S3. Significa, mientras más flexible sea el suelo, las variaciones tienden a aumentar cuando se considera la IDSE sin amortiguamiento, pero las variaciones tienden a disminuir cuando se considera la IDSE con amortiguamiento.

6.2.6 Fuerzas internas

6.2.6.1 Fuerza normal en la columna

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para la fuerza normal en la columna tanto en dirección x-x como en y-y la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento. Para el caso más desfavorable son: -1.16% para suelo S1, -11.35% para suelo S2 y -26.79% para suelo S3. Esto indica, mientras más flexible sea el suelo las variaciones tienden a disminuir cuando se considera la IDSE con y sin amortiguamiento.

6.2.6.2 Fuerza cortante en la columna

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, en primer lugar, para la fuerza cortante en la columna en dirección x-x la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento, los cuales son: -0.52% para suelo S1, -5.54% para suelo S2 y -6.56% para suelo S3. En segundo lugar, para la fuerza cortante en la columna tanto en dirección x-x como y-y las variaciones tienden a disminuir cuando el suelo es más flexible y se considera la IDSE con o sin amortiguamiento.

6.2.6.3 Momento en la columna

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, en primer lugar, para el momento en la columna en dirección x-x la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento, los cuales son: -0.52% para suelo S1, -5.83% para suelo S2 y -15.28% para suelo S3. Segundo lugar, para el momento en la columna en dirección y-y la variación es mayor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento, que son -0.35% en suelo S1, -3.93% en suelo S2 y -10.04% en suelo S3. En tercer lugar, para el momento en la columna tanto en dirección x-x como y-y las variaciones tienden a disminuir cuando el suelo es más flexible si se considera la IDSE con o sin amortiguamiento.

6.2.6.4 Fuerza cortante en la viga

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para la fuerza cortante en la viga en la dirección x-x la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento, los cuales son: -0.92% para suelo S1, -9.33% para suelo S2 y -22.34% para suelo S3. Por otro lado, mientras más flexible sea el suelo las variaciones tienden a disminuir cuando se considera la IDSE con o sin amortiguamiento.

6.2.6.5 Momento en la viga

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para el momento en la viga en la dirección x-x la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento, los cuales son: -0.87% para suelo S1, -8.85% para suelo S2 y -21.12% para suelo S3. Se muestra, mientras más flexible sea el suelo las variaciones tienden a disminuir cuando se considera la IDSE con y sin amortiguamiento.

6.3 Conclusiones del Modelo C

6.3.1 Desplazamiento

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para los desplazamientos tanto en x-x como en y-y la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento. Para el caso más desfavorable son: 0.26% en suelo S1, 2.58% en suelo S2 y 24.48% en suelo S3. Por otro lado, mientras más flexible sea el suelo las variaciones tienden a aumentar cuando se considera la IDSE con y sin amortiguamiento.

6.3.2 Derivas

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para las derivas tanto en x-x como en y-y la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento. Para el caso más desfavorable son: 0.48% en suelo S1, 5.53% en suelo S2 y 46.74% en suelo S3. Estos datos indican, mientras más flexible sea el suelo las variaciones tienden a aumentar cuando se considera la IDSE con y sin amortiguamiento.

6.3.3 Periodos

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para los periodos en los suelos tipo S1 y S2 los resultados presentan la misma variación cuando se considera la IDSE con y sin amortiguamiento 0.49% y 4.56% respectivamente, pero para el suelo tipo S3 la variación es mayor cuando se considera la IDSE con amortiguamiento 39.13%. Por otro lado, mientras más flexible es el suelo las variaciones tienden a aumentar cuando se considera la IDSE con y sin amortiguamiento.

6.3.4 Modos de vibración

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye que los modos de vibración en los tres tipos de suelo S1, S2 y S3 son los mismos con la única diferencia de que cambian de posición, es decir, los resultados del modo 1 pueden estar en otras posiciones como el modo 2 o 3.

6.3.5 Reacciones en la base

6.3.5.1 Cortante en la base

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para la cortante en la base tanto en dirección x-x como en y-y la variación es menor en los 3 tipos de suelo

cuando se considera la IDSE con amortiguamiento. Para el caso más desfavorable son: -0.32% para suelo S1, -4.15% para suelo S2 y -26.95% para suelo S3. Se observa, mientras más flexible es el suelo las variaciones tienden a disminuir cuando se consideran la IDSE con y sin amortiguamiento.

6.3.5.2 Momento en la base

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para el momento en la base en dirección x-y como en y-x la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento el caso más desfavorable son -0.45% para suelo S1, -5.08% para suelo S2 y -30.29% para suelo S3. Además, mientras más flexible sea el suelo, las variaciones tienden a disminuir cuando se considera la IDSE con o sin amortiguamiento.

6.3.6 Fuerzas internas

6.3.6.1 Fuerza normal en la columna

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para la fuerza normal en la columna tanto en dirección x-x como en y-y la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento. Para el caso más desfavorable son: -1.14% para suelo S1, -11.30% para suelo S2 y -47.55% para suelo S3. Además, mientras más flexible sea el suelo las variaciones tienden a disminuir cuando se considera la IDSE con y sin amortiguamiento.

6.3.6.2 Fuerza cortante en la columna

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, en primer lugar, para la fuerza cortante en la columna en dirección x-x la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento, los cuales son: -0.43% para suelo S1, -5.16% para suelo S2 y -28.77% para suelo S3. Segundo lugar, para la fuerza cortante en la columna en dirección y-y para el suelo tipo S1 la variación aumenta en un porcentaje no significativo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento (-0.40%), a diferencia de los Suelos Tipo S2 (-4.47%) y S3 (-21.90%) donde las variaciones disminuyen. En tercer lugar, para la fuerza cortante en la columna tanto en dirección x-x como y-y las variaciones tienden a disminuir cuando el suelo es más flexible y se considera la IDSE con o sin amortiguamiento.

6.3.6.3 Momento en la columna

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, en primer lugar, para el momento en la columna en dirección x-x la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento, los cuales son: -0.39% para suelo S1, -4.77% para suelo S2 y -31.30% para suelo S3. En segundo lugar, para el momento en la columna en dirección y-y la variación es mayor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento, los cuales son: -0.26% para suelo S1, -3.07% para suelo S2 y -21.76% para suelo S3. En tercer lugar, para el momento en la columna tanto en dirección x-x como y-y las variaciones tienden a disminuir cuando el suelo es más flexible y se considera la IDSE con o sin amortiguamiento.

6.3.6.4 Fuerza cortante en la viga

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para la fuerza cortante en la viga en la dirección x-x la variación es menor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento, los cuales son: -0.86% para suelo S1, -9.22% para suelo S2 y -44.73% para suelo S3. Por otro lado, mientras más flexible sea el suelo las variaciones tienden a disminuir cuando se considera la IDSE con o sin amortiguamiento.

6.3.6.5 Momento en la viga

Según los resultados de variación del Capítulo V, se concluye, por un lado, para el momento en la viga en la dirección x-x la variación es mayor en los 3 tipos de suelo cuando se considera la IDSE con amortiguamiento, los cuales son: -0.84% para suelo S1, -9.01% para suelo S2 y -44.27% para suelo S3. Por otro lado, mientras más flexible sea el suelo las variaciones tienden a disminuir cuando se considera la IDSE con y sin amortiguamiento.

6.4 Comparativo de los Modelos A, B y C

6.4.1 Desplazamiento

Desplazamientos en dirección x-x

- Suelo S1, S2 y S3 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo A, los cuales son 0.58%, 10.48%, 87.71% respectivamente.

Desplazamientos en dirección y-y

- Suelo S1 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B (0.35%)

- Suelo S2 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo A (6.80%).
- Suelo S3 con IDSE sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo A (61.54%).
- Suelo S3 con IDSE con amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B (50.31%).

6.4.2 Derivas

Derivas en dirección x-x

- Suelo S1, S2 y S3 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo A, los cuales son: 0.84%, 13.10% y 108.56% respectivamente.

Derivas en dirección y-y

- Suelo S1 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C (0.90%).
- Suelo S2 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo A (10.80%).
- Suelo S3 con IDSE sin o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B (94.55%).

6.4.3 Periodos

- Suelo S1 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C (0.49%).
- Suelo S2 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B y C. Además, cabe resaltar que los modelos B y C presentan misma variación cuando se considera la IDSE con o sin amortiguamiento (4.56%).
- Suelo S3 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C (39.13%).

6.4.4 Modos de vibración

Los modos de vibración para los tres modelos presentan similitud en su forma y tienden a cambiar de posición cuando se aplica la IDSE con o sin amortiguamiento. También, cabe resaltar que el valor en cada modelo varía ligeramente con la aplicación en los distintos suelos y considerando la IDSE con o sin amortiguamiento.

6.4.5 Reacciones en la base

6.4.5.1 Cortante en la base

Cortante en la base en dirección x-x

- Suelo S1 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo A (-0.45%).
- Suelo S2 con IDSE sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C (-2.59%).
- Suelo S2 con IDSE con amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B (-4.24%).
- Suelo S3 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C (-26.95%).

Cortante en la base en dirección y-y

- Suelo S1 con IDSE sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo A (-0.21%).
- Suelo S1 con IDSE con amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B (-0.28%).
- Suelo S2 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B (-3.31%).
- Suelo S3 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C (-18.41%).

6.4.5.2 Momento en la base

Momento en la base en dirección x-y

- Suelo S1 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo A (-0.47%).
- Suelo S2 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C (-5.08%).
- Suelo S3 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C (-30.29%).

Momento en la base en dirección y-x

- Suelo S1 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B y C. Cabe resaltar que los Modelos B y C presentan misma variación considerando la IDSE con o sin amortiguamiento (-0.32%).

- Suelo S2 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B (-3.65%).
- Suelo S3 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C (-20.47%).

6.4.6 Fuerzas internas

6.4.6.1 Fuerza normal en la columna

Fuerza normal en la columna en dirección x-x

- Suelo S1 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B (-1.16%).
- Suelo S2 con IDSE sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C (-13.48%).
- Suelo S2 con IDSE con amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B (-11.35%).
- Suelo S3 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C (-47.55%).

Fuerza normal en la columna en dirección y-y

- Suelo S1, S2 y S3 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C, la mayor variación se da en el suelo S3 (-49.01%)

6.4.6.2 Fuerza cortante en la columna

Fuerza cortante en la columna en dirección x-x

- Suelo S1 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B (-0.52%).
- Suelo S2 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B (-5.54%).
- Suelo S3 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C (-28.77%).

Fuerza cortante en la columna en dirección y-y

- Suelo S1 con IDSE sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo A y B. Cabe resaltar que los Modelos A y B presentan misma variación considerando la IDSE sin amortiguamiento (-0.41%).

- Suelo S1 con IDSE con amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B (-0.45%).
- Suelo S2 con IDSE sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C (-4.30%).
- Suelo S2 con IDSE con amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B (-4.76%).
- Suelo S3 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C (-21.90%).

6.4.6.3 Momento en la columna

Momento en la columna en dirección x-x

- Suelo S1 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B (-0.52%).
- Suelo S2 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B (-5.83%).
- Suelo S3 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C (-31.30%).

Momento en la columna en dirección y-y

- Suelo S1 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo A (-0.55%).
- Suelo S2 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B (-4.61%).
- Suelo S3 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C (-24.71%).

6.4.6.4 Fuerza cortante en la viga

Momento en la columna en dirección x-x

- Suelo S1 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B (-0.92%).
- Suelo S2 con IDSE sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B y C. Cabe resaltar que los Modelos B y C presentan misma variación considerando la IDSE sin amortiguamiento (-7.73%).

- Suelo S2 con IDSE con amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B (-9.33%).
- Suelo S3 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C (-44.73%).

6.4.6.5 Momento en la viga

- Suelo S1 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo B (-0.87%).
- Suelo S2 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C (-9.01%).
- Suelo S3 con IDSE con o sin amortiguamiento: Existe mayor variación en el Modelo C (-44.27%).

7 RECOMENDACIONES

- Los desplazamientos presentan variaciones de hasta 61.54% este valor se hace más significativo mientras la estructura es más pequeña y se apoya sobre un suelo flexible. Por ello, se recomienda considerar el efecto IDSE en el diseño sísmico-estructural.
- Las Derivas al igual que en los desplazamientos presentan variaciones de hasta 94.55%. Este valor es más crítico cuando la edificación es más pequeña y se apoya sobre un suelo con mayor flexibilidad. Esto, sucede debido a que están directamente relacionadas. Por ello, se recomienda considerar el efecto IDSE en el diseño sísmico-estructural.
- Los periodos obtenidos, indican que es recomendable considerar el efecto IDSE en el diseño sísmico-estructural tanto en estructuras grandes como en pequeñas, ya que aumenta ligeramente los periodos, lo cual es aceptable en estructuras de menor tamaño debido a su rigidez; sin embargo, también lo hace en estructuras grandes, donde se busca que el periodo sea mayor por la flexibilidad que posee.
- Los modos de vibración no sufren un cambio significativo al momento de aplicar la IDSE con o sin amortiguamiento, lo único que varía es la posición en la que se encuentran, quiere decir que la aplicación de la IDSE no afecta al modo de vibrar de la estructura.
- La cortante en la base tiene una reducción considerable de hasta 26.95% si se considera el efecto IDSE. Esto se hace más significativo aún si la edificación es más pequeña y se apoya sobre un suelo flexible. Por ello, se recomienda considerar el efecto IDSE en el diseño sísmico-estructural.
- Al reducirse la cortante basal cuando se considera el efecto IDSE, se reduce también las fuerzas internas (momentos, cortantes y normales) que sufren las columnas y vigas que conforman los pórticos que posee la estructura. Esto, se hace más significativo aún si la estructura se encuentra bajo suelo flexible, por ello se recomienda y se hace importante considerar el efecto IDSE en el diseño sísmico-estructural.

8 BIBLIOGRAFIA

- ATC. (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC-40 Report, Applied Technology Council. California.
- ATC. (2010). Modeling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings. En *PEER/ATC-72-1 Report, prepared by Applied Technology Council in cooperation with Pacific Earthquake Engineering Research Center*. California.
- Baquero, L. H. (2013). *Evaluacion de la interaccion dinamica suelo estructura de edificaciones construidas en ladera*. Colombia.
- Castro, D. G. (2009). *Interaccion sismica suelo estructura en edificaciones con zapata aislada*. Lima - Peru.
- Castro, G. V. (s.f.). *Interaccion sismica suelo estructura en edificaciones con zapatas aisladas*. Peru.
- Fernández Sola, L. R. (2013). *Influencia de la interacción dinámica suelo-estructura en la respuesta dinámica de las estructuras*.
- Givens, M. (2013). *Dynamic Soil-Structure Interaction of Instrumented Buildings and Test Structures*. Los Angeles: Department of Civil and Environmental Engineering.
- Guarniz, W. C. (2007). *Interaccion sismica suelo estructura en edificaciones de albañería confinada con plateas de cimentacion*. Peru.
- Guzman, F. D. (2012). *Respuesta dinamica de un edificio considerando el efecto de interaccion suelo-estructura*. California.
- Parodi choccelahua, I. (2015). *Interaccion sismica suelo estructura en edificaciones en el barrio de pueblo nuevo de la ciudad de Ircay*. Peru.
- Rocha, P. (2004). *Bases para las nuevas disposiciones reglamentarias sobre la interaccion dinamica suelo estructura*. Mexico.
- Sola, L. R. (2008). *Efectos de interaccion suelo estructura en edificaciones con planta baja*. Mexico.
- Soriano, A. (1989). *Interaccion suelo estructura modificacion del movimiento*. Madrid.
- Stewart, J. F. (1999b). Seismic soil-structure interaction in buildings II: Empirical findings. En *Journal Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* (Vol. 125, págs. 38-48).
- Tellado, M. J. (2001). *Interaccion del suelo cimienta y estructura: el caso de las zapatas*.
- Veletsos, A. a. (1974). Dynamic behavior of building-foundation systems. En *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* (Vol. 3, págs. 121-138).

9 ANEXOS

9.1 Datos del espectro de diseño

ESPECTROS DE DISEÑO								
SUELO S1			SUELO S2			SUELO S3		
C	T	Sa/g	C	T	Sa/g	C	T	Sa/g
2.50	0	0.156	2.50	0	0.164	2.50	0	0.172
2.50	0.02	0.156	2.50	0.02	0.164	2.50	0.02	0.172
2.50	0.04	0.156	2.50	0.04	0.164	2.50	0.04	0.172
2.50	0.06	0.156	2.50	0.06	0.164	2.50	0.06	0.172
2.50	0.08	0.156	2.50	0.08	0.164	2.50	0.08	0.172
2.50	0.1	0.156	2.50	0.1	0.164	2.50	0.1	0.172
2.50	0.12	0.156	2.50	0.12	0.164	2.50	0.12	0.172
2.50	0.14	0.156	2.50	0.14	0.164	2.50	0.14	0.172
2.50	0.16	0.156	2.50	0.16	0.164	2.50	0.16	0.172
2.50	0.18	0.156	2.50	0.18	0.164	2.50	0.18	0.172
2.50	0.2	0.156	2.50	0.2	0.164	2.50	0.2	0.172
2.50	0.25	0.156	2.50	0.25	0.164	2.50	0.25	0.172
2.50	0.3	0.156	2.50	0.3	0.164	2.50	0.3	0.172
2.50	0.35	0.156	2.50	0.35	0.164	2.50	0.35	0.172
2.50	0.4	0.156	2.50	0.4	0.164	2.50	0.4	0.172
2.22	0.45	0.139	2.50	0.45	0.164	2.50	0.45	0.172
2.00	0.5	0.125	2.50	0.5	0.164	2.50	0.5	0.172
1.82	0.55	0.114	2.50	0.55	0.164	2.50	0.55	0.172
1.67	0.6	0.104	2.50	0.6	0.164	2.50	0.6	0.172
1.54	0.65	0.096	2.31	0.65	0.151	2.50	0.65	0.172
1.43	0.7	0.089	2.14	0.7	0.141	2.50	0.7	0.172
1.33	0.75	0.083	2.00	0.75	0.131	2.50	0.75	0.172
1.25	0.8	0.078	1.88	0.8	0.123	2.50	0.8	0.172
1.18	0.85	0.074	1.76	0.85	0.116	2.50	0.85	0.172
1.11	0.9	0.069	1.67	0.9	0.109	2.50	0.9	0.172
1.05	0.95	0.066	1.58	0.95	0.104	2.50	0.95	0.172
1.00	1	0.063	1.50	1	0.098	2.50	1	0.172
0.91	1.1	0.057	1.36	1.1	0.089	2.27	1.1	0.156
0.83	1.2	0.052	1.25	1.2	0.082	2.08	1.2	0.143
0.77	1.3	0.048	1.15	1.3	0.076	1.92	1.3	0.132
0.71	1.4	0.045	1.07	1.4	0.070	1.79	1.4	0.123
0.67	1.5	0.042	1.00	1.5	0.066	1.67	1.5	0.115
0.63	1.6	0.039	0.94	1.6	0.062	1.56	1.6	0.107
0.59	1.7	0.037	0.88	1.7	0.058	1.38	1.7	0.095
0.56	1.8	0.035	0.83	1.8	0.055	1.23	1.8	0.085
0.53	1.9	0.033	0.79	1.9	0.052	1.11	1.9	0.076
0.50	2	0.031	0.75	2	0.049	1.00	2	0.069
0.45	2.2	0.028	0.62	2.2	0.041	0.83	2.2	0.057
0.42	2.4	0.026	0.52	2.4	0.034	0.69	2.4	0.048
0.37	2.6	0.023	0.44	2.6	0.029	0.59	2.6	0.041
0.32	2.8	0.020	0.38	2.8	0.025	0.51	2.8	0.035

<i>0.28</i>	3	0.017	<i>0.33</i>	3	0.022	<i>0.44</i>	3	0.031
<i>0.16</i>	4	0.010	<i>0.19</i>	4	0.012	<i>0.25</i>	4	0.017
<i>0.10</i>	5	0.006	<i>0.12</i>	5	0.008	<i>0.16</i>	5	0.011
<i>0.07</i>	6	0.004	<i>0.08</i>	6	0.005	<i>0.11</i>	6	0.008
<i>0.05</i>	7	0.003	<i>0.06</i>	7	0.004	<i>0.08</i>	7	0.006
<i>0.04</i>	8	0.002	<i>0.05</i>	8	0.003	<i>0.06</i>	8	0.004
<i>0.03</i>	9	0.002	<i>0.04</i>	9	0.002	<i>0.05</i>	9	0.003
<i>0.03</i>	10	0.002	<i>0.03</i>	10	0.002	<i>0.04</i>	10	0.003