



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“COMPARACIÓN DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN CON
CIMENTACIÓN EMPOTRADA E INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA”**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

11751162 RITZA MARIELA PACHECO ORDOÑEZ

ASESOR METODOLÓGICO: ING. JUAN CARLOS REYES ZÚNIGA

ASESOR TEMÁTICO: ING. DAVID ALEJANDRO RODRÍGUEZ LACAYO

CAMPUS TEGUCIGALPA; JULIO, 2020.

Dedicado a Delmy Ordoñez y Víctor Pacheco, quienes, gracias a su esfuerzo
y su trabajo, me han permitido salir adelante y cumplir mis metas.

Dedicado a Dunia Hernández y Eduardo Ordoñez por confiar en mí
y alentarme a superarme.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, Delmy Ordoñez y Víctor Pacheco, por apoyarme a lo largo de toda mi vida y estar siempre cuidándome las espaldas. Por pagarme mis estudios y estar pendiente de mí. Por leer mi proyecto y ayudarme con las correcciones.

Agradezco a mi amiga Dunia Hernández, por siempre apoyarme y estar cuando la necesito. Ser un apoyo y ayuda importante a lo largo de mi carrera universitaria, de mi proyecto de graduación y en cada proyecto propuesto desde que nos conocemos.

Agradezco al Ingeniero David Rodríguez por ser mi asesor temático y por enseñarme a que "la vida es dura". Por tomarse el tiempo de explicarme con detalles, leer mis informes, corregirlos y más que todo, por responder a todas mis preguntas y nunca cansarse de enseñar.

Agradezco a Eduardo Ordoñez, por ser un pilar importante, por darme ánimos, apoyarme y ayudarme en todo. Por estar ahí y siempre alentarme a salir adelante. Por creer y confiar en mí.

Agradezco a Unitec, por brindarme la oportunidad de estudiar en dicha institución, por prepararme y enseñarme a ser una gran profesional. Por demostrarme que las oportunidades se deben aprovechar.

Agradezco al Ingeniero Juan Carlos Reyes, al Doctor Marco Canales y al Ingeniero Julio César López. Ustedes fueron un apoyo importante en la realización de mi proyecto de graduación. Y a todos los demás ingenieros que me formaron a lo largo de mi vida universitaria.

Agradezco a mi familia y amigos que me han apoyado y han estado pendientes de mí.

*No se puede conectar los puntos hacia adelante, sólo puedes hacerlo hacia atrás.
Así que tiene que confiar en que los puntos se conectarán alguna vez en el futuro.
Tienes que confiar en algo – tu instinto, el destino, la vida, el karma, lo que sea.*

Steve Jobs

RESUMEN EJECUTIVO

En la siguiente investigación se estudia la importancia de considerar la Interacción Dinámica Suelo-Estructura en los diferentes tipos de suelo, Grava (S1), Arena Limosa (S2), Arcilla Media (S3) y Arcilla Blanda (S4), descritos en el Código Hondureño de la Construcción (CHOC, 2008) para la revisión de las respuestas estructurales (periodo, cortante basal, deriva y deformación). El CHOC indica que deberá considerarse la posible amplificación de la respuesta del edificio debido a los efectos de la interacción suelo-estructura y el alargamiento del período del edificio causado por el comportamiento elástico. Sin embargo, se realizaron los cálculos de acuerdo a las especificaciones de la ASCE 41-13, ya que la norma nacional no indica procedimientos. Se compara la respuesta de un edificio de marcos rígidos de concreto reforzado de 5 pisos con el periodo fundamental, el cortante basal y la deformación para la interacción suelo-estructura (considerando la elasticidad del suelo) y la cimentación con empotramiento perfecto (apoyo rígido). Se concluyó que el período fundamental aumenta a mayor elasticidad del suelo, y el cortante basal disminuye a mayor periodo fundamental. De igual manera, se concluyó que para una roca y arena limosa no es crítico considerar la interacción suelo-estructura, dado que los resultados obtenidos fueron similares entre ambos modelos. Sin embargo, para suelo arcilloso blando se concluyó que en los modelos que si se considera la interacción suelo-estructura, la respuesta de la estructura varia con la cimentación empotrada, debido a la elasticidad del suelo.

Palabras Claves: Interacción dinámica suelo-estructura, Respuesta estructural, Análisis estructural dinámico, Código Hondureño de la Construcción, Sismo.

ABSTRACT

The following research studies the importance of the consideration of the Soil-Structure Dynamic Interaction (SSI) in the different types of soil (S1, S2, S3 and S4) described in the Honduran Construction Code (CHOC, 2008) for the review of the response of the structure. The CHOC (2008) states that the possible amplification of the building response should be considered due to the effects of the soil-structure interaction and the lengthening of the building period caused by elastic behavior. Due to the lack of procedures from behave the national code, calculations had to be taken from ASCE 41-13. The response of the structure is compared, such as fundamental period, the basal shear and the deformation for the soil-structure interaction and a foundation with perfect recessing. In conclusion, the fundamental period increases according to the elasticity of the soil, and basal shear decrease as the fundamental period increases. For a rock and limous sand it is not critical to consider the interaction of soil-structure, since the results obtained were similar between the two models. However, for clay soils it was observed that in models that the soil-structure interaction is considered, the response of the structure varies significantly with the recessed foundation, due to soil elasticity.

Keywords: Soil-Structure Dynamic Interaction, Structural response, dynamic structural response, earthquake.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. Introducción	1
II. Planteamiento del Problema.....	3
2.1 Precedentes del problema.....	3
2.2 Definición del problema	3
2.3 Justificación	3
2.4 Preguntas de Investigación	4
2.5 Objetivos.....	4
2.5.1 Objetivo General.....	4
2.5.2 Objetivos Específicos	4
III. Marco Teórico.....	5
3.1 Dinámica Estructural	5
3.1.1 Definición de la dinámica.....	5
3.1.2 Acciones Estructurales Dinámicos.....	6
3.2 Principios de la Mecánica de Suelo Bajo Estructura.....	8
3.2.1 Dinámica del Suelo	8
3.2.2 Propiedades del Suelo.....	13
3.3 Consideraciones Estructurales.....	15
3.3.1 Sistemas Estructurales	15
3.3.2 Cargas Gravitacionales	16
3.3.3 Aplicación de presión del viento	17
3.3.4 Aplicación de Fuerzas Sísmicas.....	22
3.3.5 Consideraciones para Predimensionamiento Mínimo de Elementos.....	28

3.4 Interacción Suelo-Estructura.....	33
3.4.1 Definición del movimiento durante sismos.....	33
3.4.2 Sistemas interacción Suelo-Estructura.....	33
3.4.3 Tipos de Interacción.....	34
3.4.4 Modelos de rigideces equivalente del suelo.....	37
IV. Metodología.....	40
4.1 Enfoque.....	40
4.2 Variables de Investigación.....	41
4.2.1 Variables Independientes.....	41
4.2.2 Variables Dependientes:.....	41
4.2.3 Variables Controladas.....	42
4.3 Herramientas Digitales.....	42
4.4 Población y Muestra.....	43
4.5 Metodología de estudio.....	43
4.6 Metodología de Validación.....	44
4.7 Cronograma de actividades.....	44
V. Resultados y análisis.....	46
5.1 Cargas Gravitacionales.....	46
5.2 Predimensionamiento de Viga.....	46
5.3 Predimensionamiento de Losa Sólida en Dos Direcciones.....	47
5.4 Cargas de Viento.....	48
5.5 Cálculo de Coeficientes de Rigidez.....	49
5.6 Cargas de Sismo por el Método Estático.....	54

5.7 Período Fundamental	56
5.8 Cortante Basal.....	57
5.9 Desplazamiento Lateral Relativo (Deriva)	60
5.10 Deformaciones Laterales.....	64
5.10.1 Deformaciones Laterales Por Tipo de Suelo.....	64
5.10.2 Deformaciones Laterales Por Tipo de Apoyo.....	72
5.10.3 Deformaciones Laterales Máximas.....	74
VI. Conclusiones.....	76
VII. Recomendaciones	78
VIII. Aplicabilidad/Implementación	79
IX. Evolución de Trabajo Actual/Trabajo Futuro.....	80
X. Bibliografía.....	81
XI. Anexos.....	84
11.1 Actas de Asesoramiento.....	85
11.2 Modelación en programa ETABS.....	97
11.3 Cálculos en MathCad.....	114
11.4 Espectros.....	118

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Cargas ejercidas sobre una edificación.....	7
Ilustración 2 Velocidad de ondas en compresión y Corte.....	9
Ilustración 3 Velocidad mínima básica del viento	20
Ilustración 4 Mapa zona Sísmica.....	26
Ilustración 5 Espectros de respuesta elásticos.....	28
Ilustración 6 Losa en una y dos direcciones	30
Ilustración 7 Análisis de Interacción Inercial.....	34
Ilustración 8 Análisis de Interacción Cinemática.....	36
Ilustración 9 Combinación de Interacción Cinemática e Inercial	37
Ilustración 10 Separación entre vigas.....	46
Ilustración 11 Diagrama de Viga.....	47
Ilustración 12 Deformación de ISE para S1	65
Ilustración 13 Deformación de Empotramiento para S1.....	65
Ilustración 14 Deformación de ISE para S2.....	67
Ilustración 15 Deformación de Empotramiento para S2.....	67
Ilustración 16 Deformación de ISE para S3	69
Ilustración 17 Deformación de Empotramiento para S3.....	69
Ilustración 18 Deformación de ISE para S4.....	71
Ilustración 19 Deformación de Empotramiento para S4.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coeficiente del Suelo	11
Tabla 2 Propiedades de Suelos Compactados	11
Tabla 3 Velocidad de Onda según NEHRP	12
Tabla 4 Degradación de Propiedades por Efecto del Sismo	12
Tabla 5 Valores representativos del Coeficiente de Poisson	13
Tabla 6 Cargas Uniformes y Concentradas	17
Tabla 7 Coeficiente combinado C_e	18
Tabla 8 Coeficiente de presión C_q	19
Tabla 9 Presión estática del viento	21
Tabla 10 Factor de Importancia.....	21
Tabla 11 Coeficiente R_w	24
Tabla 12 Categoría de ocupación.....	25
Tabla 13 Espesor mínimo para vigas (cm).....	29
Tabla 14 Resumen de Actividades.....	44
Tabla 15 Resumen de cargas en la estructura	46
Tabla 16 Resultados de C_e para Barlovento.....	49
Tabla 17 Presión de Viento Resultante.....	49
Tabla 18 Resumen de Propiedades del Suelo.....	49
Tabla 19 Resumen de Datos de la Cimentación de la Estructura	50
Tabla 20 Resultados de Coeficiente de Rigidez Superficial	51
Tabla 21 Resultados de Corrección por Embebimiento (β).....	52
Tabla 22 Resultados de Coeficiente de Rigidez Corregido por Embebimiento.....	52

Tabla 23 Resultados de Coeficiente de Rigidez Finales para S1 (ROCA)	53
Tabla 24 Resultados de Coeficiente de Rigidez Finales para S2 (ARENA LIMOSA)	54
Tabla 25 Resultados de Coeficiente de Rigidez Finales para S3 (ARCILLA MEDIA)	54
Tabla 26 Resultados de Coeficiente de Rigidez Finales para S4 (ARCILLA BLANDA).....	54
Tabla 27 Resultados de Fuerza Cortante Sísmica por empotramiento (kgf).....	55
Tabla 28 Resultados de Fuerza Cortante Sísmica por ISE (kgf)	55
Tabla 29 Resultados de Período Fundamental (seg)	56
Tabla 30 Resultados de Cortante Basal por el Método Estático (kgf).....	57
Tabla 31 Resultados de Cortante Basal por el Método Dinámico (kgf)	58
Tabla 32 Resultados de Deriva en Eje X para S1 (Roca)	60
Tabla 33 Resultados de Deriva en Eje X para S2 (Arena Limosa).....	61
Tabla 34 Resultados de Deriva en Eje X para S3 (Arcilla Media).....	62
Tabla 35 Resultados de Deriva en Eje X para S4 (Arcilla Blanda).....	63
Tabla 36 Resultados de Deformación en Eje X para S1 (Roca).....	64
Tabla 37 Resultados de Deformación en Eje X para S2 (Arena Limosa)	66
Tabla 38 Resultados de Deformación en Eje X para S3 (Arcilla Media).....	68
Tabla 39 Resultados de Deformación en Eje X para S4 (Arcilla Blanda).....	70
Tabla 40 Resultados de Deformaciones con Apoyo Empotrado (cm)	72
Tabla 41 Resultados de Deformaciones con Interacción Suelo-Estructura (cm)	73
Tabla 42 Resultados de Deformaciones Máximas (cm).....	74

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Relación Velocidad de Onda Cortante vs Módulo Cortante	10
Ecuación 2 Módulo de Young.....	13
Ecuación 3 Presiones de diseño del viento	18
Ecuación 4 Cortante de Diseño.....	22
Ecuación 5 Cálculo de C	23
Ecuación 6 Período de la Estructura	23
Ecuación 7 Aceleración espectral.....	27
Ecuación 8 Rigidez Relativa de vigas.....	31
Ecuación 9 relación de la rigidez flexionante	31
Ecuación 10 Módulo de Elasticidad	32
Ecuación 11 Espesores mínimos.....	32
Ecuación 12 Movimiento para Interacción Inercial	34
Ecuación 13 Movimiento para Interacción Cinemática	36
Ecuación 14 Movimiento para Interacción Completa	37
Ecuación 15 Cálculo de Rigidez para losa de fundación	38
Ecuación 16 Factor de corrección por embebimiento	39
Ecuación 17 La rigidez con la corrección por embebimiento.....	39
Ecuación 18 La rigidez considerando el área tributaria	39
Ecuación 19 Centroide de la viga.....	47
Ecuación 20 Inercia de viga.....	47
Ecuación 21 Inercia de losa	47
Ecuación 22 Presión de viento	48

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico 1 Amplificación vs Frecuencia del movimiento.....	35
Gráfico 2 Diagrama de Grantt.....	45
Gráfico 3 Período Fundamental Empotrado vrs ISE	56
Gráfico 4 Cortante Basal Estático de Empotrado vrs ISE	57
Gráfico 5 Cortante Basal Dinámica de Empotrado vrs ISE	58
Gráfico 6 Cortante Basal Empotrado Estático vrs ISE Dinámico	59
Gráfico 7 Normalización del Cortante Basal.....	59
Gráfico 8 Deriva para S1 (Roca).....	60
Gráfico 9 Deriva para S2 (Arena Limosa).....	61
Gráfico 10 Deriva para S3 (Arcilla Media).....	62
Gráfico 11 Deriva para S4 (Arcilla Blanda).....	63
Gráfico 12 Deformación para S1 (Roca).....	64
Gráfico 13 Deformación para S2 (Arena Limosa)	66
Gráfico 14 Deformación para S3 (Arcilla Media).....	68
Gráfico 15 Deformación para S4 (Arcilla Blanda)	70
Gráfico 16 Deformaciones con Apoyo Empotrado.....	72
Gráfico 17 Deformaciones con Interacción Suelo-Estructura.....	73
Gráfico 18 Deformaciones relativas con Interacción Suelo-Estructura	74
Gráfico 19 Deformaciones Máximas.....	75

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Valores de Earth Manual según el tipo de Suelo para USCS.....	84
Anexo 2 Acta de Asesoramiento N° 1.....	85
Anexo 3 Acta de Asesoramiento N° 2.....	86
Anexo 4 Acta de Asesoramiento N° 3.....	87
Anexo 5 Acta de Asesoramiento N° 4.....	88
Anexo 6 Acta de Asesoramiento N° 5.....	89
Anexo 7 Acta de Asesoramiento N° 6.....	90
Anexo 8 Acta de Asesoramiento N° 7.....	91
Anexo 9 Acta de Asesoramiento N° 8.....	92
Anexo 10 Acta de Asesoramiento N° 9.....	93
Anexo 11 Acta de Asesoramiento N° 10.....	94
Anexo 12 Acta de Asesoramiento N° 11.....	95
Anexo 13 Acta de Asesoramiento N° 12.....	96
Anexo 14 ETABS Códigos y el sistema métrico con el que se va a trabajar.....	97
Anexo 15 ETABS Datos generales de la estructura.....	97
Anexo 16 ETABS Materiales a utilizar.....	98
Anexo 17 ETABS Concreto a utilizar.....	98
Anexo 18 ETABS Acero a utilizar.....	99
Anexo 19 ETABS Definición de los elementos estructurales.....	99
Anexo 20 ETABS Dimensiones de las columnas y la cuantía mínima.....	100
Anexo 21 ETABS Dimensiones de las vigas.....	100
Anexo 22 ETABS Dimensión de la losa.....	101

Anexo 23 ETABS Asignar las columnas en todos los niveles.....	101
Anexo 24 ETABS Asignar las vigas en todos los niveles.....	102
Anexo 25 ETABS Colocación de la losa por panel en cada piso.	102
Anexo 26 ETABS Cargas que actúan en la estructura.	103
Anexo 27 ETABS Asignación de las cargas muertas o vivas.	103
Anexo 28 ETABS Diafragma por medio de "Shell".	104
Anexo 29 ETABS Cargas que influirán en la masa de la estructura.....	104
Anexo 30 ETABS Para ISE. Definición de resortes en Point Springs.....	105
Anexo 31 ETABS Para Modelo Empotrado, "Restraints".	105
Anexo 32 ETABS Para ISE, asignar los springs.....	106
Anexo 33 ETABS Espectros de respuesta.....	106
Anexo 34 ETABS Espectro de respuesta para sismo X.....	107
Anexo 35 ETABS Parámetros que se desean encontrar.....	107
Anexo 36 ETABS Masas modales según nivel de piso.....	108
Anexo 37 ETABS Cortante Basal para ISE por el método dinámico para suelo S1.	108
Anexo 38 ETABS Cortante Basal para empotrado por el método dinámico para suelo S1.....	109
Anexo 39 ETABS Cortante Basal para ISE por el método dinámico para suelo S2.	109
Anexo 40 ETABS Cortante Basal para empotrado por el método dinámico para suelo S2.....	110
Anexo 41 ETABS Cortante Basal para ISE por el método dinámico para suelo S3.	110
Anexo 42 ETABS Cortante Basal para empotrado por el método dinámico para suelo S3.....	111
Anexo 43 ETABS Cortante Basal para ISE por el método dinámico para suelo S4.	111
Anexo 44 ETABS Cortante Basal para empotrado por el método dinámico para suelo S4.....	112
Anexo 45 ETABS Período para el modelo ISE para suelo S4.	112

Anexo 46 ETABS Demostración de respuesta del edificio a las cargas asignadas.....	113
Anexo 47 ETABS Despliegue de los datos por nivel de piso.....	113
Anexo 48 MathCad Propiedades para S1.....	114
Anexo 49 MathCad Cálculos de Rigidez Superficiales.....	114
Anexo 50 MathCad Factor de Corrección por Embebimiento.....	115
Anexo 51 MathCad Factor de Coeficiente de Rigidez con corrección.....	115
Anexo 52 MathCad Rigidez para columnas de Esquina.....	116
Anexo 53 MathCad Rigidez para columnas de Borde.....	116
Anexo 54 MathCad Rigidez para columnas Internas.....	117
Anexo 55 Espectro de Respuesta para S1.....	118
Anexo 56 Espectro de Respuesta para S2.....	118
Anexo 57 Espectro de Respuesta para S3.....	119
Anexo 58 Espectro de Respuesta para S4.....	119

LISTA DE SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
CHOC	Código Hondureño de la Construcción
CL	Arcilla de baja plasticidad (ligera)
E_c	Módulo de elasticidad del concreto en kg/cm^2
E_s	Módulo de elasticidad del refuerzo en kg/cm^2
F'_c	Resistencia especificada a la compresión del concreto en kg/cm^2
F_y	Resistencia especificada a fluencia del refuerzo no preesforzado en kg/cm^2
IHCIT	Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra
I_w	Factor de Importancia
ℓ_n	Longitud del claro de viga o losa en dos direcciones
NEHRP	National Earthquake Hazards Reduction Program
USCS	Unified Soil Classification System
Z	Factor de Zona Sísmica
ρ	Cuantía de refuerzo

LISTA DE GLOSARIO

Análisis Matemático. Es una rama de matemáticas que estudia números reales, sus complejos y funciones.

Asentamiento. Deformación vertical en una superficie del terreno por cargas aplicadas y peso propio.

Base. Es el nivel al que se considera que los movimientos sísmicos son impartidos a la estructura, o el nivel al que la estructura, como un vibrador dinámico, es soportada.

Cargas de Servicio. Las cargas, incluyendo carga muerta y carga viva.

Cargas Muertas. Carga vertical debida al peso de todos los componentes permanentes, estructurales y no estructurales de un edificio, como ser muros, pisos, techos y equipo fijo de servicios.

Cargas Vivas. Es la carga superpuesta por el uso y ocupación de un edificio. En esta no se incluyen las cargas de viento, sismo o muerta.

Cohesión. Medida de adherencia entre las partículas del suelo.

Columna. Miembro con una relación de altura a dimensión menor lateral que excede 3, utilizados principalmente para soportar carga axial de compresión.

Cortante de Piso. Es la suma de todas las fuerzas laterales de diseño sobre el piso en consideración.

Cortante de Base. Es la fuerza o cortante total lateral de diseño en la base de la estructura.

Desplazamiento. Acción de desplazarse.

Esfuerzo. Intensidad de fuerza por unidad de área.

Estructura. Es el acoplamiento de miembros y marcos diseñado para soportar cargas gravitacionales y resistir fuerzas laterales. Las estructuras se pueden clasificar en estructuras de edificios y otras estructuras.

ETABS. Software para el análisis estructural y dimensionamiento de edificios.

Ingeniería Civil. Disciplina de ingeniería en la cual se emplean diversas áreas de mecánica, hidráulica, donde se encarga del diseño, construcción y mantenimiento de infraestructuras.

Marco Rígido. Es un marco en el que los miembros y juntas son capaces de resistir fuerzas por flexión.

Mecánica de Suelos. Es el estudio de las leyes de la mecánica e hidráulica con los problemas geotécnicos del terreno, en el cual estudio más a fondo el comportamiento y la utilidad del suelo, como su resistencia y deformaciones.

Modelo Matemático de la Estructura. Representa la distribución espacial de la masa y rigidez de la estructura, para calcular las características de respuestas dinámicas.

Placa tectónica. Porciones litósfera ubicadas bajo la superficie de la corteza terrestre.

Relación de desplazamiento lateral relativo. Es el desplazamiento lateral relativo de un piso dividido entre la altura del piso.

Sismo. Es una sacudida del terreno, usualmente causados por el movimiento de las placas tectónicas.

Sistemas estructurales. Son las estructuras compuestas de varios miembros que soportan las edificaciones y tienen además la función de soportar las cargas que actúan sobre ellas transmitiéndolas al suelo.

Zapatas Aisladas. Es un tipo de cimentación, en la cual se acomoda en el suelo hasta que pueda soportar la carga transmitida sin problemas.

I. INTRODUCCIÓN

Una labor importante de la ingeniería civil es diseñar edificios acordes con las normativas vigentes, para asegurar que tengan un buen desempeño ante las cargas aplicadas. Durante esta etapa, se realiza un análisis matemático donde se estudia el esqueleto de un edificio y su interacción conforme a su comportamiento debido a la aplicación de cargas externas.

Convencionalmente se realiza una modelación de cimentación empotrada (rígida), y comprueba que el peso y fuerzas de la estructura enviada a las cimentaciones sean admisibles para el diseño.

Sin embargo, esta suposición usualmente se emplea en cimentaciones superficiales como ser zapatas aisladas, dado que en la mayoría de los casos esta cimentación no se ubica sobre roca, éstas sufren asentamiento y rotación debido a la elasticidad del terreno. Al paso del tiempo, por el movimiento constante del suelo, las edificaciones sufren asentamientos; adicionalmente, existen fuerzas sísmicas que producen fuerzas laterales y verticales en el mismo suelo.

Honduras es considerado un país con baja actividad sísmica, sin embargo, se encuentra dentro de tres placas tectónicas y sus movimientos generan bastante actividad sísmica; 33% del territorio nacional se encuentra con alta amenaza sísmica, sin embargo, muy pocas edificaciones tienen un sistema antisísmico, dado que, para muchos, éste no cuenta con movimiento.

La cimentación es un elemento sumamente crítico en una edificación. Estos deben ser capaces de soportar las cargas muertas y vivas, tanto como mantenerse firmes y para canalizar el peso de la edificación hacia el suelo. Los edificios se diseñan de arriba hacia abajo para conocer todas las cargas influyentes en el mismo y así diseñar la cimentación adecuada. Tanto como para que pueda soportar los movimientos del suelo por fenómenos naturales, evitando la falla absoluta del edificio. A su vez, deben ayudar a impedir que la humedad se filtre en la estructura. Lo que se busca con la investigación es poder visualizar la interacción que existe entre el suelo y la edificación con la alteración de un movimiento brusco en el suelo y predecir su comportamiento, permitiendo alargar la vida útil de las edificaciones.

En la siguiente investigación se realizan dos modelaciones por tipo de suelo, una con un análisis convencional de la cimentación y otra con un análisis de interacción suelo-estructura. Para ello, se diseñará un edificio de apartamentos de 5 niveles en el departamento de Choluteca, dentro de un área de 625 m², asegurando que cumpla con las normativas nacionales. Se realizaron modelos en un programa de diseño estructural, donde se plantearán las diferentes condiciones del suelo y se observará el comportamiento del edificio como respuesta hacia las cargas aplicadas. Finalmente, se realiza un análisis comparativo entre los resultados otorgados por los diferentes modelos en el software.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Precedentes del problema

“Honduras, por estar situado sobre la placa del Caribe, es una de las zonas sísmicas más activas del mundo, donde se encuentran tres grandes placas, la de Norteamérica, El Caribe y la de Cocos, que están situadas a lo largo del pacífico, eso hace que todo el territorio nacional tenga riesgo de medio a alto por la actividad sísmica”, explicó Manuel Rodríguez, coordinador de la sección de Geofísica del Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra (IHCIT).

El Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra, a través de los estudios han determinado que los departamentos en Honduras con mayor nivel de amenaza de sismo son: Valle. Choluteca y La Paz. Sus estudios demuestran que el 33% del territorio nacional se encuentra en amenaza alta a sismo como: Copán, Cortés, Intibucá, Lempira, Ocotepeque, Santa Barbara y Comayagua.

En territorios donde la amenaza sísmica es alta, es importante realizar análisis de la reacción del suelo con su edificación para conocer el comportamiento bajo los movimientos de los sismos.

2.2 Definición del problema

Se comparan las respuestas de una edificación conforme al periodo fundamental, deformación y deriva variando las condiciones de apoyo y tipo de suelo; una modelación con apoyo rígido (empotramiento en la base) y otra, tomando en cuenta la elasticidad del suelo (interacción suelo-estructura), calculando para ello la rigidez de los suelos aplicables a los apoyos. La ejecución de cálculos para los dos escenarios propuestos por tipo de suelo se llevará a una modelación en programa digital de diseño estructural. Luego, se comparan los resultados obtenidos para observar la variación de las respuestas del edificio hacia las diferentes condiciones y realizar las recomendaciones para futuros diseños dentro del CHOC (2008).

2.3 Justificación

En Honduras no se ha enfatizado el estudio de interacción de suelo-estructura, siendo considerado un territorio no sísmico por muchos, sin embargo, es importante considerar el territorio nacional con amenaza alta a sismo, por lo que se debe tomar en cuenta el

comportamiento de las estructuras de los edificios con todos los parámetros reales. El suelo es uno de los factores más importante en el análisis estructural, ya que toda obra civil es apoyada en él. Se ve cómo varios edificios del país han sufrido por su cimentación; al considerar mejorar la estabilidad de ellos, permitirán salvaguardar las estructuras y vidas.

2.4 Preguntas de Investigación

- 1) ¿Qué características del suelo influyen en los coeficientes de rigidez del mismo?
- 2) ¿Cuál de los modelos, tiene mayor período fundamental?
- 3) ¿Cómo se ve afectado el cortante basal según su método de cálculo y el tipo de suelo en los dos modelos?
- 4) ¿Cómo afecta la interacción suelo-estructura en la deformación por cada tipo de suelo?

2.5 Objetivos

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Comparar la respuesta elástica de un edificio de apartamentos de cinco niveles para los diferentes tipos de suelo, indicados en la norma nacional, considerando empotramiento y la interacción suelo-estructura para los apoyos utilizando el programa de diseño estructural.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Definir el modelo de interacción sísmica en suelo-estructura.
- 2) Comparar el período fundamental del edificio entre el modelo con empotrado perfecto en el apoyo y la interacción suelo-estructura para cada tipo de suelo.
- 3) Comparar el cortante basal entre el modelo con empotrado perfecto en el apoyo y la interacción suelo estructura para cada tipo de suelo.
- 4) Comparar la relación de desplazamiento lateral relativa entre el modelo con empotrado perfecto en el apoyo y la interacción suelo estructura para cada tipo de suelo.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Dinámica Estructural

3.1.1 DEFINICIÓN DE LA DINÁMICA

La mecánica es la rama de la física encargada de estudiar y describir el movimiento de los objetos y sus reacciones a las fuerzas, con la evolución en el tiempo. La mecánica se divide en dos ramas: la estática y la dinámica. La estática es el estudio de cuerpos en reposo o equilibrio. Sin embargo, la dinámica, es el estudio de los cuerpos en movimiento, dividiéndose en cinemática y cinética. La cinemática estudia la geometría del movimiento, involucrando en este el desplazamiento, tiempo, aceleración y velocidad. En este no se suele considerar las causas del movimiento. En la cinética, por el caso opuesto, se estudia la relación de las fuerzas actuantes en un cuerpo, la masa del mismo y su movimiento, prediciendo los movimientos causantes de las fuerzas, y determinando las fuerzas necesarias para producir movimiento.

La dinámica estructural estudia las vibraciones de cuerpos flexibles, aunque estos puedan ser estudiados por medio de los principios de la dinámica de cuerpos rígidos, dado que son considerados vibraciones despreciables por lo bajo de su magnitud.

La dinámica estructural estudia los efectos de las acciones externas que producen vibraciones. Esta comenzó a desarrollarse en el siglo XIX por Lord Rayleigh, con sus investigaciones sobre los efectos del sonido en los cuerpos elásticos. Para realizar un estudio de dinámica a las estructuras, se recomienda conocer más a fondo las características de resistencia y rigidez.

Los edificios suelen construirse con mucha rigidez, se generaliza que las estructuras están en estado de reposo, pero en realidad estos vibran y se mueven constantemente, a pesar que estos movimientos pueden ser despreciables. Estas vibraciones son fundamentadas por las propiedades básicas de la masa y la rigidez. La dinámica es sumamente importante, ya que, en el momento de alcanzar la resistencia, es decir, cuando la edificación esté por colapsar, éste sufre vibraciones, explicando así el movimiento dinámico. Los problemas son dinámicos, cuando las masas están en movimiento y estos son periódicos, resultantes de una rigidez restauradora.

3.1.2 ACCIONES ESTRUCTURALES DINÁMICOS

El análisis de una estructura es parte del proceso del conocimiento de ciertas características bajo estado de cargas; es el estudio del comportamiento en estados tensionales y deformación alcanzados por elementos y componentes físicos de la estructura. Estos comportamientos se ven afectados por acciones exteriores como ser:

- 1) Acción gravitatoria: peso propio, sobrecargas de uso, sobrecargas de nieve, movimientos forzado, cargas permanentes.
- 2) Acciones reológicas: retracción, fluencia.
- 3) Acción del terreno: empujes activos y asientos.
- 4) Acciones térmicas: flujo de calor por conducción, convección o radiación, transitorios térmicos.

Estas acciones anteriormente mencionadas, suelen suceder lentamente, dándole tiempo a las estructuras de responder. Sin embargo, existen acciones sobre las estructuras que inciden con tal velocidad, generan fuerzas de inercia que compromete el equilibrio de fuerzas. Las respuestas a dichas acciones suelen ser del tipo transitorias, y suelen depender del tiempo que tarden en que las vibraciones se amortigüen. Estas fuerzas suelen ser:

- 1) Impactos.
- 2) Ondas de explosiones.
- 3) Sismos.
- 4) Vibraciones.
- 5) Vientos.

Una carga dinámica ejerce dos tipos de efectos en una estructura:

- 1) Locales: efectos inducidos por cargas de impacto.
- 2) Globales: diferencia en el tiempo de desplazamientos en diferentes puntos que dan lugar a deformaciones que generan estados tensionales.

Algunas acciones dinámicas consideradas como casos especiales son:

- 1) Impacto: Estos surgen de accidentes como choques de vehículos contra soportes de edificaciones.
- 2) Paso de vehículos o personas: A largo plazo, esta acción puede provocar problemas de fatiga, por lo cual es potencialmente peligrosa.
- 3) Explosiones: Esta acción suele ser de corta duración, y puede ser de expansión o de contracción.

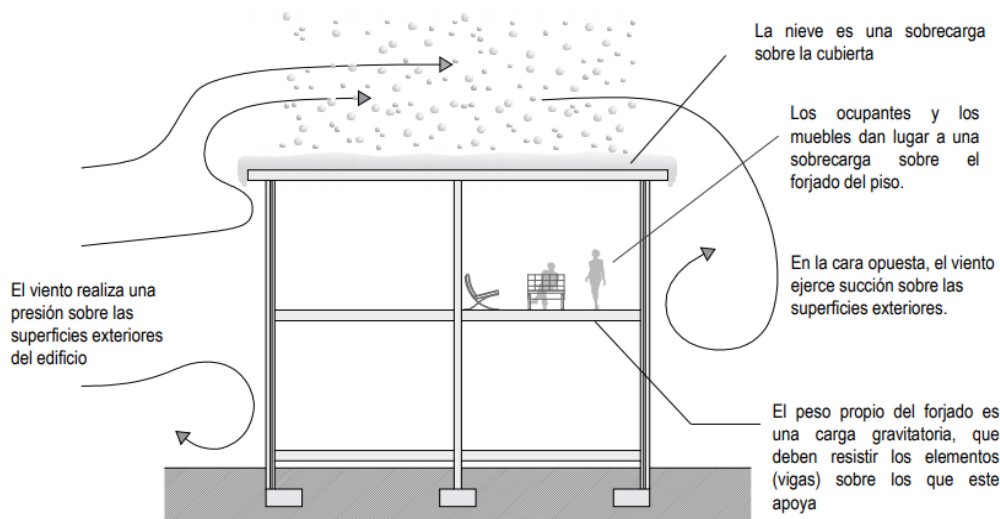


Ilustración 1 Cargas ejercidas sobre una edificación

Fuente: (Delgado, De Justo, Lozano, & Bascón)

En la ilustración 1, se presentan las cargas ejercidas sobre una edificación. Estas pueden ser cargas de viento de barlovento y sotavento, cargas muertas, cargas vivas, sobrecargas, peso propio de la estructura y la nieve como sobrecarga.

La dinámica estructural se caracteriza por el comportamiento y propiedades de las estructuras. Estas propiedades estructurales analizan los parámetros modales, que consisten en resonancia, que es una frecuencia natural y un valor de amortiguación. Estos parámetros se obtienen por modelos matemáticos, describiendo la relación de entrada y salida, es decir, la relación entre excitación y respuesta. Estos parámetros se pueden obtener con análisis modal operacional (OMA), empleando excitación natural y/o análisis modal clásico, empleando excitación con martillos de impacto o vibradores modales. Estos análisis se miden con acelerómetros.

3.2 Principios de la Mecánica de Suelo Bajo Estructura

3.2.1 DINÁMICA DEL SUELO

La dinámica de suelos es una rama de la Mecánica de Suelos que estudia el comportamiento y reacción del suelo a la aplicación de cargas, vibraciones y transmisión de ondas. Uno de los problemas más frecuentes en la dinámica de los suelos es que con movimientos excesivos, este:

- 1) Impone condiciones no soportables para el personal.
- 2) Causa daño en tuberías y maquinarias.
- 3) Producen grandes asentamientos.

El suelo está sometido a varias cargas, estas pueden ser cargas dinámicas o cargas estáticas. El suelo se puede estudiar como una masa, ésta al estar bajo cargas, presenta cambios en el estado de esfuerzo, así como incremento en las deformaciones o reducción en su resistencia. Las cargas dinámicas comunes que un suelo puede estar sometido son: sismo, tránsito de un vehículo, vibración de maquinaria, entre otras. Estas acciones, en muchos tipos de suelo no ocasionan una falla en él, no obstante, si puede causar modificaciones en el movimiento del terreno y esto provocar algún daño en las estructuras suprayacentes.

Díaz (2007) menciona características que se le atribuye a los problemas con base a la dinámica de suelos, las cuales son:

- 1) Las cargas varían con el tiempo, por lo que la respuesta del suelo también es en función del tiempo.
- 2) Las ecuaciones de ondas y de equilibrio son representativas en la distribución de los esfuerzos.
- 3) Los esfuerzos y deformaciones son cargas cíclicas de carga-descarga-recarga.

En un suelo las cargas aplicadas presentan características propias de esfuerzo – deformación, estas cargas son afectadas según propiedades del suelo como: relación de vacíos, esfuerzo de confinamiento, contenido de humedad, entre otros. A diferencia cuando es sometido a cargas estáticas, la dinámica presenta otras propiedades que deben ser analizadas como: pulsos, vibraciones y transmisiones de ondas.

Las cargas dinámicas se le conoce también como carga cíclica, al someter el suelo a este tipo de carga se tiene como respuestas dos tipos de deformaciones. La deformación recuperable, que varía cíclicamente con la carga y la deformación permanente la cual se va acumulando después de cada ciclo. En el suelo se presentan dos escenarios en la deformación permanente, en el primero la deformación se reduce por lo que el suelo tiende a un patrón de equilibrio, mientras que en el segundo la deformación tiende a aumentar a cada ciclo hasta llegar a una falla.

A lo largo de los años, la aplicación de la dinámica de los suelos se ha enfocado en la relación de las condiciones del suelo y los daños en el momento de los sismos.

Las cargas dinámicas son directamente ligadas a las propiedades dinámicas del suelo:

- 1) Velocidad de Onda Cortante (V_s).
- 2) Módulo Cortante (G).
- 3) Factor de Amortiguamiento.
- 4) Coeficiente de Poisson (ν).

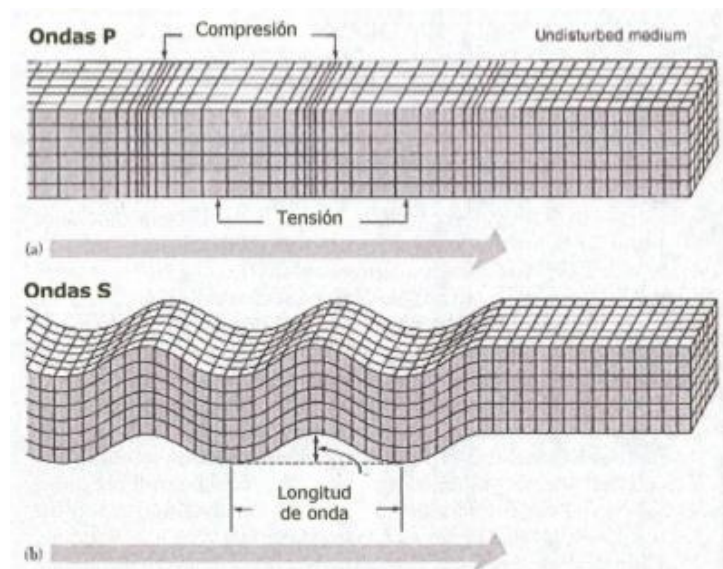


Ilustración 2 Velocidad de ondas en compresión y Corte

Fuente: (Díaz, 2007)

3.2.1.1 Velocidad de Onda Cortante (V_s)

Este parámetro es muy utilizado en la geofísica ya que se puede establecer y analizar el comportamiento del suelo ante cargas cíclicas. Con la velocidad de las ondas se puede:

- 1) Determinar el módulo de rigidez al esfuerzo cortante.
- 2) Estimar el estado de esfuerzos.
- 3) Estimar la cementación natural.

La relación entre la velocidad de la onda cortante y el módulo cortante está determinada con la siguiente ecuación:

$$G = \rho \cdot V_s^2$$

Ecuación 1 Relación Velocidad de Onda Cortante vs Módulo Cortante

Donde

- 1) ρ es la densidad del material.
- 2) G es el módulo cortante.
- 3) V_s es la velocidad de onda.

Este parámetro es el más usado para caracterizar un suelo. Se utiliza para calcular propiedades dinámicas en el rango elástico. Estas se desplazan perpendicular a la dirección de propagación de la onda, permitiendo medir las propiedades de corte del esqueleto y no los líquidos que no resisten esfuerzos cortantes.

Dado que es imposible obtener datos de campo en la actualidad, se decidió utilizar datos de otras investigaciones, ejemplo: (Knodel, 1998), (NEHRP, s.f.) y (CHOC, 2008). Para la obtención de datos para calcular el módulo cortante, se utiliza el CHOC (2008) para la velocidad de onda según el tipo de suelo, especificado en la tabla 1 y el Earth Manual (1998) para la densidad del suelo, según lo requerido en la tabla 2. Las velocidades no especificadas por el CHOC, se utilizan según NEHRP, en la tabla 3.

Earth Manual ha realizado 2005 pruebas en 1,100 muestras de suelos y han determinado los valores mostrados en la tabla 2. A su vez, en el anexo 1 se puede observar toda la tabla con los valores según la clasificación de suelos por el USCS.

Tabla 1 Coeficiente del Suelo

Tabla 3.4-2 Coeficiente del suelo S^a y parámetros para curvas de espectro^b

Tipo	Descripción	Coeficiente S	Parámetros para espectros		
			Períodos en segundos		Exponente e
			T _a	T _b	
S1	Un perfil de suelo con: (a) Un material tipo roca caracterizado por una velocidad de onda cortante mayor que 760 m/s o por otros medios adecuados de clasificación, o (b) Condiciones de suelo medio-denso a denso, o medio-duro a duro, donde la profundidad del suelo es menor que 60 metros.	1.0	0.155	0.364	2.00
S2	Un perfil de suelo con condiciones predominantes de suelo medio-denso a denso, o medio-duro a duro, donde la profundidad del suelo excede los 60 metros.	1.2	0.186	0.524	2.00
S3	Un perfil de suelo que contiene más de 6 metros de arcilla blanda a media-duro, pero no más de 12 metros de arcilla blanda.	1.5	0.233	0.818	2.00
S4	Un perfil de suelo que contiene más de 12 metros de arcilla blanda, caracterizado por una velocidad de onda cortante menor que 150 m/s.	2.0	0.310	1.455	2.00

^a El coeficiente del sitio deberá determinarse de datos geotécnicos adecuadamente respaldados. En los lugares donde las propiedades del suelo son desconocidas en suficiente detalle como para determinar el tipo de perfil de suelo, se deberá suponer un perfil de suelo tipo S3; no será necesario asumir un perfil de suelo tipo S4 a menos que el Supervisor determine que un perfil de suelo S4 puede existir en el sitio, o en el caso de que se establezca un perfil de suelo S4 por datos geotécnicos.

^b Los parámetros de curvas para espectros de respuesta se utilizan en los procedimientos dinámicos de análisis. Ver la Sección 3.6.5.7 y la Figura 3.6-1 para los espectros de respuesta para diseño correspondientes a cada Zona Sísmica y Perfil de Suelo.

Fuente: (CHOC, 2008)

Tabla 2 Propiedades de Suelos Compactados

USCS soil type	Total No. of samples tested	Specific gravity		Compaction				Shear Strength								Values listed		
				Laboratory		Index density		Consolidated-drained and consolidated-undrained triaxial shear tests				Unconsolidated-undrained triaxial shear tests						
		No. 4 minus	No. 4 plus	Max. dry density kg/m ³	Optimum moisture content %	Max. kg/m ³	Min. kg/m ³	Av. placement conditions		Effective stress		Av. placement conditions		Effective stress				
								Dry density kg/m ³	Moisture content %	Friction angle degrees	Cohesion kPa	Dry density kg/m ³	Moisture content %	Friction angle degrees	Cohesion kPa			
GP	62	2.68	2.52	1907	12.2	2212	1808	1933	7.5	42.2	8.1							Average Std. dev. Minimum Maximum
		0.04	0.21	153	4.3	113	124	238	4.1	2.1	16.3							
		2.54	1.76	1436	9.1	1826	1375	1489	3.3	38.0	0.0							
		2.77	2.65	2045	26.5	2383	1986	2144	15.1	43.8	40.7							
		37	15	16	50	5											# of tests	
SM	174	2.68	2.50	1877	12.3	1803	1379	1760	13.2	34.0	20.7	1821	12.6	33.5	59.3		Average Std. dev. Minimum Maximum	
		0.06	0.12	140	3.3	147	136	145	5.2	4.9	25.5	201	5.5	6.1	42.1			
		2.51	2.24	1488	6.8	1417	1034	1459	4.6	23.7	0.0	1488	7.6	23.3	0.0			
		3.11	2.69	2114	25.5	1968	1555	2019	23.0	40.7	90.3	2122	25.0	45.0	146.2			
		162	10	133	20	10										# of tests		
CL	395	2.70	2.48	1768	16.4			1665	18.3	28.1	15.2	1760	15.3	24.4	91.0		Average Std. dev. Minimum Maximum	
		0.05	0.13	97	3.1			174	5.7	5.0	18.6	86	2.4	7.0	49.0			
		2.56	2.34	1398	10.7			1297	10.2	10.8	0.0	1622	11.6	8.0	0.0			
		2.87	2.75	2002	30.9			1922	35.0	36.8	104.1	1986	20.2	33.8	164.1			
		361	8	286		31										# of tests		
CH	101	2.73		1531	24.8			1406	30.6	20.5	32.4	1574	22.7	15.1	124.1		Average Std. dev. Minimum Maximum	
		0.06		102	5.2			107	5.7	6.3	31.0	92	4.6	6.7	25.5			
		2.51		1318	16.6			1249	22.4	10.8	0.0	1438	17.9	5.1	85.5			
		2.89		1720	41.8			1555	42.0	30.9	108.2	1680	29.1	26.1	148.2			
		93		36		11										# of tests		

Fuente: (Knodel, 1998, pág. 50)

Tabla 3 Velocidad de Onda según NEHRP

NEHRP Site Classification (BSSC, 2003)

Site Class	V_{S30} (m/s)	N_{30}	General Description
S_A	> 1500	N.A.	Hard rock
S_B	760–1500	N.A.	Rock with moderate weathering
S_C	360–760	< 50	Very dense soil and soft rock
S_D	180–360	15–50	Stiff soil
S_E	< 180	< 15	Soft clay soil
S_F	N.A.	N.A.	Soils requiring site-specific evaluations

Fuente: (NEHRP, s.f.)

3.2.1.2 Módulo Cortante (G)

El módulo cortante es la relación entre el esfuerzo y deformación de cortante a amplitudes como las de los sismos. Este se puede calcular con la relación de velocidad de onda cortante. Este se utiliza para realizar un modelo avanzado del suelo y la respuesta dinámica de la interacción suelo-estructura. Este es utilizado para definir matrices de rigidez para el análisis de elementos finitos de estructuras de tierra y suelos de fundación. Se realiza una degradación de propiedades por efecto del sismo según la tabla 4, especificado en la ASCE 41-13.

Tabla 4 Degradación de Propiedades por Efecto del Sismo

Table 8-2. Effective Shear Modulus Ratio (G/G_0)

Site Class	Effective Peak Acceleration, $S_{XS}/2.5^a$			
	$S_{XS}/2.5 = 0$	$S_{XS}/2.5 = 0.1$	$S_{XS}/2.5 = 0.4$	$S_{XS}/2.5 = 0.8$
A	1.00	1.00	1.00	1.00
B	1.00	1.00	0.95	0.90
C	1.00	0.95	0.75	0.60
D	1.00	0.90	0.50	0.10
E	1.00	0.60	0.05	<i>b</i>
F	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>

Fuente: (ASCE 41-13, 2014, pág. 169)

3.2.1.3 Coeficiente de Amortiguamiento

También conocida con la letra griega Lambda (λ), representando la disipación de energía durante el sismo. Es la capacidad del sistema para absorber energía dinámica y como se ve afectada la duración y modos de vibración.

3.2.1.4 Coeficiente de Poisson

Es la relación entre deformación lateral y deformación axial al aplicarle carga axial a una probeta. Es una constante que relaciona el módulo de Young y el módulo de rigidez. La siguiente ecuación es válida dentro del límite elástico.

$$E = 2G(r + 1)$$

Ecuación 2 Módulo de Young

Donde,

E es el módulo de Young.

G es el módulo de rigidez.

R es el coeficiente de Poisson, obtenidos de la tabla 5.

Tabla 5 Valores representativos del Coeficiente de Poisson

Tipo de Suelo	Coeficiente de Poisson
Arena Suelta	0.2 – 0.4
Arena Media	0.25 – 0.4
Arena Densa	0.3 – 0.45
Arena Limosa	0.2 – 0.4
Arcilla Blanda	0.15 – 0.25
Arcilla Media	0.2 – 0.5

Fuente: (Das, Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, 2012)

3.2.2 PROPIEDADES DEL SUELO

Para realizar el diseño de cimentaciones se debe conocer los factores básicos, tales como:

- 1) Carga transmitida por la superestructura.
- 2) Requisitos del reglamento nacional: Código Hondureño de la Construcción (2008).
- 3) Comportamiento y deformabilidad asociada al esfuerzo que soporta la cimentación.
- 4) Condiciones geológicas del suelo.

Como ingeniero civil, es de suma importancia conocer las propiedades geotécnicas del suelo y saber leer los resultados de los ensayos de laboratorio, ya que para todo proyecto que se desea y quiera construir, se debe realizar el respectivo estudio de suelo. Estas involucran como mínimo:

- 1) Granulometría.
- 2) Plasticidad.
- 3) Compresibilidad.
- 4) Resistencia al Cortante.
- 5) Densidad In Situ, determinando la resistencia y deformación del suelo.

Estos ensayos de laboratorio pueden llegar a ser muy costosos y generar que la contratación de un ingeniero civil, geotécnico o un especialista estructural sea elevado, debido a esto, muchos optan por no realizar dicho estudio, e inclusive no contratar un especialista y esto conlleva a generar problemas a largo plazo en la edificación. Para ello, la importancia de la contratación de un ingeniero es generar al cliente mejores resultados en virtud de su experiencia y conocimiento. A su vez, el ingeniero debe considerar la carga de la superestructura, condiciones del subsuelo y un asentamiento tolerable.

Para construir en un terreno, se exige que se haga un estudio previo para conocer si el terreno es apto para el propósito deseado. De esta manera, se deben contratar expertos que realicen una serie de ensayos de laboratorio y puedan determinar si el suelo es o no apto.

En este estudio previo del terreno se deben realizar los siguientes ensayos:

- 1) Clasificación de Suelos.
- 2) Peso Volumétrico.
- 3) Permeabilidad.
- 4) Consolidación.
- 5) Densidad en Situ.
- 6) Compactación Próctor.
- 7) Corte Directo.
- 8) Compresión no Consolidada.
- 9) Resistencia al Cortante.

3.3 Consideraciones Estructurales

3.3.1 SISTEMAS ESTRUCTURALES

Un estructuralista debe tener en cuenta las siguientes consideraciones a la hora de diseñar una edificación:

- 1) Que la forma de la estructura sea atractiva, eficiente y económica.
- 2) Que sea resistente y tenga rigidez.
- 3) Coordinar un montaje considerando las acciones de cargas temporales durante la construcción.

Según Martínez (2018) para realizar un diseño y el análisis del mismo, se recomienda realizar los siguientes pasos:

- 1) Diseño Conceptual.
- 2) Diseño preliminar: Este es el primer dimensionamiento de los elementos estructurales.
- 3) Análisis de los diseños preliminares.
- 4) Rediseño estructural.
- 5) Evaluación de los diseños preliminares.
- 6) En la fase final, se realizan ajustes con respecto a la economía, se estiman las cargas, se evalúa la resistencia y rigidez y finalmente se comprueba que las dimensiones soportan las fuerzas de diseño.

Para diseñar una estructura, se deben conocer las características de los siguientes elementos estructurales básicos:

- 1) Armaduras.
- 2) Columnas.
- 3) Losas.
- 4) Marcos Rígidos.
- 5) Vigas.

3.3.2 CARGAS GRAVITACIONALES

El diseño de una estructura se rige bajo códigos que indican las cargas que pueden suceder y las cuales la estructura debe soportar. Aunque estas cargas de diseño sean suficientes, el estructuralista es el encargado de determinar si aplican todas las condiciones necesarias y si las cargas son las adecuadas. Las cargas gravitacionales se dividen en cargas muertas y cargas vivas.

3.3.2.1 Cargas Muertas

Las cargas muertas se asocian con el peso de la estructura y los componentes permanentes, como ser el piso, tuberías, instalaciones, etc. En 1.1.4.4 el CHOC (2008) especifica que se debe considerar una carga muerta uniformemente distribuida de 100 kg/m^2 para las divisiones y que los sistemas de piso deben soportar todas las cargas y adicionarle una carga muerta uniformemente distribuida de 50 kg/m^2 .

3.3.2.2 Cargas Vivas

Las cargas vivas son las cargas temporales de las estructuras. Estas pueden o no actuar sobre la estructura, como las personas o mobiliarios. Para obtener las cargas vivas de una edificación, se puede apreciar en la tabla 6, según la categoría de ocupación en la que entre la estructura. Estas cargas deben tomarse como cargas vivas mínimas en el diseño de edificios según su uso. Las cargas obtenidas son en kilogramos por metro cuadrado (kg/m^2). Las ocupaciones residenciales incluyen residencias privadas, apartamentos y cuartos de huéspedes de hoteles. (CHOC, 2008, pág. 1.3)

Tabla 6 Cargas Uniformes y Concentradas

Tabla 1.1.4-1 Cargas uniformes y concentradas

OCUPACIÓN O USO		CARGA UNIFORME	CARGA CONCENTRADA
Categoría	Descripción	Kg/m ²	Kg
1	Aceras y calles de entrada	1,250	Ver nota b
2	Áreas de reuniones públicas ^e y auditorios, incluye balcones	Áreas con asientos fijos	0
		Áreas con asientos móviles y otras áreas	0
		Escenarios y plataformas	0
3	Armerías	750	0
4	Bibliotecas	Cuartos de lectura	500 ^d
		Cuartos de libros	750 ^d
5	Bodegas y almacenes	Liviana	0
		Pesada	0
6	Cornisas y marquesinas	300 ^e	0
7	Cuartos de baño o sanitarios	Ver nota f	0
8	Escuelas	200	500 ^d
9	Estacionamientos o garajes	Vehículos en general y/o taller	Ver nota b
		Automóviles privados (9 personas capacidad máxima)	Ver nota b
10	Fábricas	Liviana	1,000 ^d
		Pesada	1,500 ^d
11	Graderías, palcos, bancas o sillas	500	
12	Hospitales	200	500 ^d
13	Imprentas	Cuartos de prensas	1,250 ^d
		Cuartos de ordenación y composición	1,000 ^d
14	Oficinas	250	1,000 ^d
15	Puentes peatonales y pasarelas	500	0
16	Residencial ^a	Área básica de piso	0 ^h
		Balcones exteriores	0
		Terrazas	0
17	Salidas de lugares públicos ⁱ	500	0 ^h
18	Sistemas de piso para acceso	Uso de oficinas	1,000 ^d
		Uso de computadoras	1,000 ^d
19	Terrazas en techos	Igual al área servida o para el tipo de ocupación acomodada	
20	Tiendas	500	1,500 ^d

Fuente: (CHOC, 2008)

3.3.3 APLICACIÓN DE PRESIÓN DEL VIENTO

Las fuerzas de los vientos generan cierto grado de respuesta en las edificaciones, aunque son complicadas de determinar tomando en cuenta que estas tienden a variar constantemente de dirección y velocidad. Sin embargo, se conoce que hay presión y succión.

El Código Hondureño de la Construcción (CHOC, 2008) especifica que todo edificio o estructura deberá diseñarse y construirse para resistir los efectos del viento determinados de acuerdo con los requisitos especificados en el código. Bajo el supuesto que el viento azota de cualquier dirección horizontal.

Para el cálculo de las Fuerzas de Viento, se recomienda seguir los siguientes pasos:

Cálculo de presiones de diseño del viento para edificio y estructuras.

$$P = C_e \cdot C_q \cdot q_s \cdot I_w \cdot h = [kg/m]$$

Ecuación 3 Presiones de diseño del viento

Fuente: (CHOC, 2008)

Donde,

P es la presión de viento.

C_e es un coeficiente que considera la altura, exposición y factor de ráfaga del edificio.

C_q es un coeficiente de presión, considerando los elementos estructurales o partes del mismo, y si es de empuje o succión.

q_s es la presión estática del viento a la altura estándar de 10 metros. Este coeficiente depende de la velocidad básica del viento según la ubicación encontrada en mapa. (kg/m²)

I_w es el el factor de importancia de viento según la categoría de ocupación del edificio.

H es la altura del edificio.

1) Cálculo de Coeficiente Combinado C_e.

El coeficiente C_e considera la altura, exposición y factor de ráfaga del edificio, obteniendo sus valores de la tabla 7 con la altura de interés según el nivel del terreno, y la exposición en la que se encuentra la estructura. En esta, se permite interpolar para valores intermedios de alturas.

Tabla 7 Coeficiente combinado C_e

Tabla 2.3-2 Coeficiente combinado C_e, para altura, exposición y factor de ráfaga ^a

Altura promedio sobre el nivel del terreno, metros.	Exposición B	Exposición C	Exposición D
0 - 5	0.62	1.07	1.39
7.5	0.71	1.17	1.49
10	0.78	1.25	1.56
12.5	0.84	1.31	1.62
15	0.89	1.37	1.67
20	0.98	1.46	1.75
25	1.06	1.53	1.82
30	1.12	1.60	1.87
40	1.24	1.70	1.97
50	1.33	1.79	2.04
75	1.53	1.96	2.18
100	1.68	2.09	2.29
125	1.81	2.19	2.38

^a Se permite interpolar para valores intermedios de alturas sobre 5 metros.

Fuente: (CHOC, 2008)

2) Cálculo de Coeficiente de presión C_q

El C_q es un coeficiente de presión, considerando los elementos estructurales o partes del mismo, y si es de empuje o succión. Estos valores se obtienen de la tabla 8 con el tipo de estructura.

Tabla 8 Coeficiente de presión C_q

Tabla 2.3-3 Coeficiente de presión C_q

Estructura o parte	Descripción	Factor C_q	Efecto
1 Sistemas y marcos principales	Método 1 (Método de la fuerza normal)		
	Muros:		
	Muro de barlovento	0.8	empuje
	Muro de sotavento	0.5	succión
	Techos ^a :		
	Viento perpendicular a la cumbrera		
	Techo de sotavento o techo plano	0.7	succión
	Techo de barlovento		
	pendiente menor que 16.7%	0.7	succión
	pendiente de 16.7% a 75%	0.9 o 0.3	suoc. o emp.
pendiente de 75% a 100%	0.4	empuje	
pendiente mayor que 100%	0.7	empuje	
Viento paralelo a la cumbrera y techos planos	0.7	succión	
2 Elementos y componentes en áreas sin discontinuidades ^b	Método 2 (Método del área proyectada)		
	Sobre el área vertical proyectada		
	Estructuras con altura menor o igual a 12 m	1.3	suoc. y emp.
	Estructuras con altura mayor que 12 m	1.4	suoc. y emp.
	Sobre el área horizontal proyectada ^a	0.7	hacia arriba
3 Elementos y componentes en áreas de discontinuidades ^b	Elementos de muros		
	Todas la estructuras	1.2	empuje
	Estructuras cerradas y no cerradas	1.2	succión
	Estructuras parcialmente cerradas	1.6	succión
	Muros de parapetos	1.3	suoc. o emp.
	Elementos de techos ^a		
	Estructuras cerradas y no cerradas		
	pendiente menor que 58.3%	1.3	succión
pendiente de 58.3% a 100%	1.3	suoc. o emp.	
4 Chimeneas tanques y torres sólidas	Estructuras parcialmente cerradas		
	pendiente menor que 16.7%	1.7	succión
	pendiente de 16.7% a 58.3%	1.6 o 0.8	suoc. o emp.
	pendiente de 58.3% a 100%	1.7	suoc. o emp.
	Muros: esquinas ^f	1.5 o 1.2	suoc. o emp.
5 Torres tipo armadura ^{a, b}	Techos: aleros, quiebres o cumbreras sin salientes ^f		
	pendiente menor que 16.7%	2.3	hacia arriba
	pendiente de 16.7% a 58.3%	2.6	succión
	pendiente de 58.3% a 100%	1.6	succión
	Techos: para pendientes menores que 16.7%		
6 Accesorios en torres (como luces, escaleras, ductos, y elevadores)	Salientes de aleros, quiebres o cumbreras y cobertizos	0.5	sumar arriba
	Sección cuadrada o rectangular	1.4	suoc. y emp.
	Sección hexagonal u octagonal	1.1	suoc. y emp.
7 Rótulos, astas, postes, estructuras menores.	Sección circular o elíptica	0.8	suoc. y emp.
	Forma cuadrada o rectangular		
	Diagonal	4.0	
8 Accesorios en torres (como luces, escaleras, ductos, y elevadores)	Normal	3.6	
	Forma triangular	3.2	
	Miembros cilíndricos		
9 Rótulos, astas, postes, estructuras menores.	diámetro menor o igual a 5 cm	1.0	
	diámetro mayor que 5 cm	0.8	
	Miembros planos a angulares	1.3	
10 Rótulos, astas, postes, estructuras menores.		1.4	suoc. y emp.

Fuente: (CHOC, 2008)

3) Cálculo de q_s

El coeficiente q_s es la presión estática del viento a la altura estándar de 10 metros. Este coeficiente depende de la velocidad básica del viento obtenida por las isoyetas en el mapa en la ilustración

4. Una vez obtenida la velocidad básica, se utiliza la tabla 9 para obtener el coeficiente q_s .

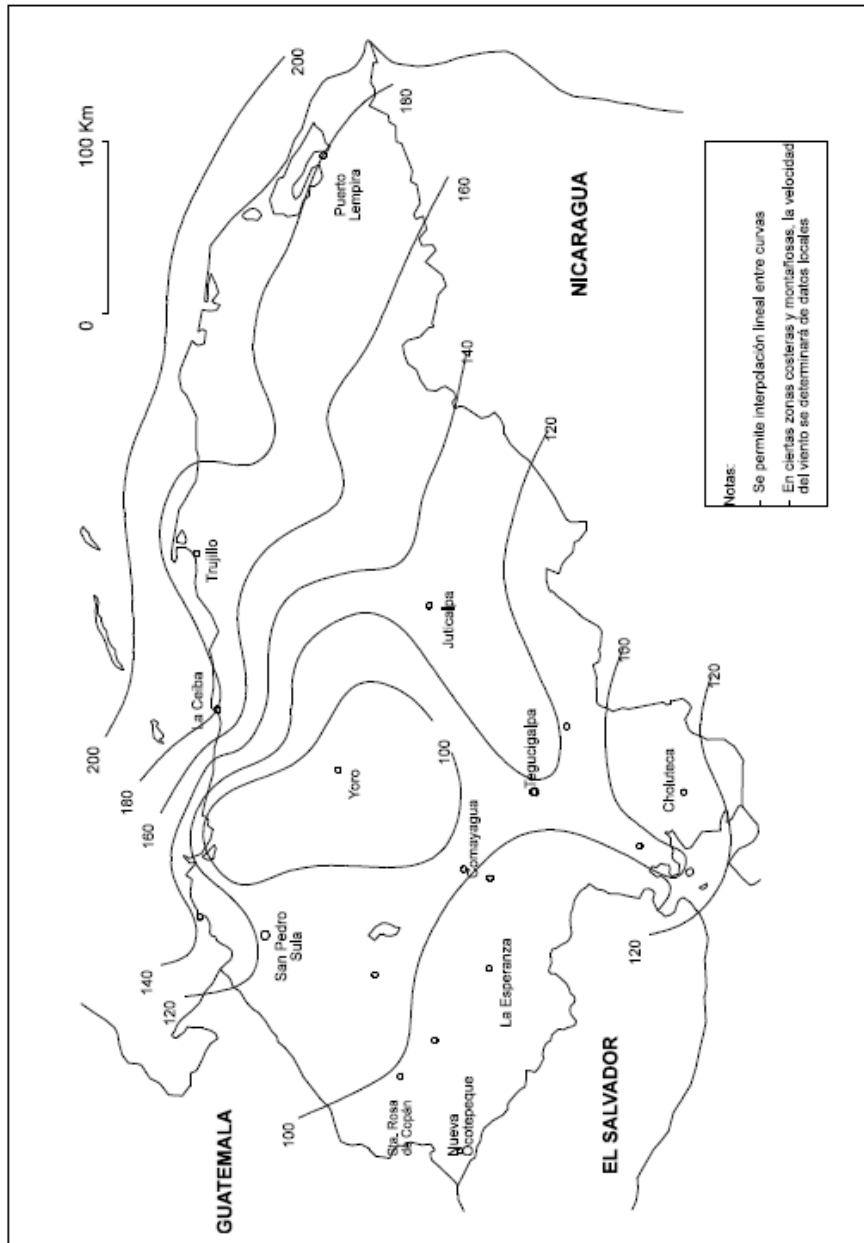


Ilustración 3 Velocidad mínima básica del viento

Fuente: (CHOC, 2008)

Figura 2.4-1 Velocidad mínima básica del viento, Km/h

Tabla 9 Presión estática del viento

Tabla 2.3-1 Presión estática del viento q_s a la altura estándar de 10 metros

Velocidad básica del viento ^a Km/h	Presión estática del viento q_s Kg/m ²
100	48.4
110	58.5
120	69.6
130	81.7
140	94.8
150	108.8
160	123.8
170	139.8
180	156.7
190	174.6
200	193.4

^a Ver la Sección 2.4 para la velocidad básica del viento

Fuente: (CHOC, 2008)

4) Cálculo de I_w

I_w es el factor de importancia de viento según la categoría de ocupación del edificio, obtenida en la tabla 10.

Tabla 10 Factor de Importancia

Tabla 3.4-3 Categoría de ocupación y factores de importancia

Categoría de Ocupación	Descripción de la ocupación o funciones de la estructura	Factor de importancia sísmica I	Factor de importancia sísmica ^a I_p	Factor de importancia de viento I_w
1 Estructuras esenciales	Hospitales y otros centros médicos que tienen áreas de cirugía y emergencia. Estaciones de bomberos y policía Garajes y refugios para vehículos y aeronaves de emergencia. Estructuras y refugios en centros de preparación para emergencias. Torres de control de aviación. Estructuras y equipos esenciales del gobierno. Centros de comunicación y otros centros requeridos para la responder a una emergencia. Plantas y equipos generadores de energía para estructuras esenciales. Tanques y otras estructuras que albergan, contienen o soportan agua contra incendios requerida para la protección de estructuras con Categoría tipo 1, 2 o 3.	1.25	1.50	1.15
2 Estructuras peligrosas	Estructuras que albergan, contienen o soportan sustancias o químicos tóxicos o explosivos en cantidades suficientes que serían peligrosas a la seguridad del público en general si se soltaran.	1.25	1.50	1.15
3 Estructuras de ocupación especial	Centros de reuniones públicas para más de 300 personas. Escuelas y centros para niños o infantes. Universidades y centros similares para más de 500 estudiantes. Centros de inválidos para más de 50 residentes. Todas las estructuras para más de 5,000 personas. Las estructuras y equipos de plantas generadoras de energía; y otros centros de servicios públicos no incluidos en las Categorías 1 y 2, y que su operación continua es requerida.	1.00	1.00 ^b	1.00
4 Estructuras ordinarias	Todas las estructuras que tienen una ocupación o función no incluida en las Categorías 1, 2 o 3.	1.00	1.00 ^b	1.00

Fuente: (CHOC, 2008)

3.3.4 APLICACIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS

Las edificaciones se diseñan para resistir los efectos de los movimientos sísmicos del terreno. El CHOC (2008) especifica que, aunque los efectos del viento sean mayores que los efectos sísmicos, todos los parámetros para el diseño por sismo, estipuladas en el código, deben cumplirse.

Para realizar el cálculo del Cortante Basal, el CHOC (2008) plantea dos métodos:

- 1) Método Estático.
- 2) Método Dinámico.

3.3.4.1 Método Estático

El método del análisis estático puede ser utilizado para las siguientes estructuras:

- 1) Todas las estructuras, regulares o irregulares, en la Zona Sísmica 1 y con Categoría de Ocupación 4 (estructuras ordinarias), ubicadas en las Zonas Sísmicas 2 y 3.
- 2) Estructuras regulares de una altura menor a 75 metros con resistencia a cargas laterales proporcionada por los sistemas descritos para el coeficiente R_w .
- 3) Estructuras irregulares con no más de 5 pisos o con una altura que no exceda 20 metros.

Cálculo del Cortante Basal

$$V = \frac{Z \cdot I \cdot C}{R_w} \cdot W$$

Ecuación 4 Cortante de Diseño

Fuente: (CHOC, 2008)

Donde

V es el cortante basal en kgf.

Z es el factor de Zona Sísmica.

I es el factor de importancia.

C es la relación del suelo entre período fundamental.

R_w es el factor de reducción de respuesta.

W es el peso total de la carga muerta.

El CHOC (2008) indica que el peso sísmico W es el peso total de la carga muerta más las porciones de otras cargas como:

- a) En ocupaciones para almacenes y bodegas, deberá incluirse por lo menos el 25% de la carga viva del piso.
- b) Cuando una carga por divisiones se utiliza en el diseño del piso, se deberá incluir una carga no menor que 50 kg/m^2 .
- c) Se deberá incluir el peso total del equipo o maquinaria permanente.

1) Coeficiente C

Es la relación del suelo entre el período de la estructura.

$$C = \frac{1.25 S}{T^{2/3}}$$

Ecuación 5 Cálculo de C

Fuente: (CHOC, 2008)

El valor C debe ser menor de 2.75, y puede ser utilizado en cualquier estructura sin importar el período de la estructura o el tipo de suelo.

El coeficiente C/R_w debe ser mayor a 0.075, exceptuando cuando las fuerzas son aumentadas por $3(R_w/8)$.

2) Período de la estructura

$$T = C_t(h_n)^{3/4}$$

Ecuación 6 Período de la Estructura

Fuente: (CHOC, 2008)

Donde

$C_t = 0.0853$ para marcos rígidos de acero.

$C_t = 0.0731$ para marcos rígidos de concreto reforzado y marcos arriostrados excéntricamente.

$C_t = 0.0488$ para todos los otros edificios.

3) Cálculo del Coeficiente R_w

R_w es un factor de reducción de respuesta, el cual considera la ductilidad de la estructura. Este factor se obtiene considerando el sistema básico estructural, como ser un sistema de muros de carga, un sistema de marco de edificio, sistema de marco rígido y sistemas dobles, indicados en la tabla 11. El coeficiente C/R_w debe ser mayor a 0.075, exceptuando cuando las fuerzas son aumentadas por $3(R_w/8)$.

Tabla 11 Coeficiente R_w

Tabla 3.4-6 Coeficiente R_w para sistemas estructurales

Sistema básico estructural ^a	Descripción del sistema resistente a fuerzas laterales	R_w ^b	Altura ^a (metros)
1 Sistema con muros de carga	1 Paredes livianas con marco y paneles de cortante	8	20
	a) Paneles de paredes de madera para estructuras de 3 pisos o menos	6	20
	b) Todas las otras paredes livianas		
	2 Muros cortante		
	a) Concreto	6	50
	b) Mampostería	6	50
	3 Muros de carga livianos de acero con riostras solo en tensión	4	20
	4 Marcos arriostrados donde las riostras soportan cargas gravitacionales		
	a) Acero	6	50
	b) Concreto ^d	6	-
c) Madera pesada	4	20	
2 Sistema de marco de edificio	1 Marco arriostrado excéntrico de acero (MAE)	10	75
	2 Paredes livianas con marco y paneles de cortante		
	a) Paneles de paredes de madera para estructuras de 3 pisos o menos	9	20
	b) Todas las otras paredes livianas	7	20
	3 Muros cortante		
	a) Concreto	8	75
	b) Mampostería	8	50
	4 Marcos arriostrados comunes		
	a) Acero	8	50
	b) Concreto ^d	8	-
c) Madera pesada	8	20	
5 Marcos arriostrados concéntricos especiales de acero	9	75	
3 Sistema de marco rígido	1 Marcos rígidos especiales (MRE)		
	a) Acero	12	S.L.
	b) Concreto	12	S.L.
	2 Marco-muro rígido de mampostería	9	50
	3 Marcos semirígidos de concreto (MSR) ^e	8	-
	4 Marcos rígidos comunes (MRC)		
	a) Acero	6	50
b) Concreto ^f	5	-	
4 Sistemas dobles	1 Muros cortante		
	a) Concreto con MRE	12	S.L.
	b) Concreto con MRC de acero	6	50
	c) Concreto con MSR de concreto ^e	9	50
	d) Mampostería con MRE	8	50
	e) Mampostería con MRC de acero	6	50
	f) Mampostería con MSR de concreto ^e	7	-
	2 Marco arriostrado excéntrico de acero (MAE)		
	a) con MRE de acero	12	S.L.
	b) con MRC de acero	6	50
	3 Marcos arriostrados comunes		
	a) Acero con MRE de acero	10	S.L.
	b) Acero con MRC de acero	6	50
	c) Concreto con MRE de concreto ^d	9	-
	d) Concreto con MSR de concreto ^e	6	-
	4 Marcos arriostrados concéntricos especiales		
	a) Acero con MRE de acero	11	S.L.
b) Acero con MRC de acero	6	50	
5 No definido	Ver Secciones 3.4.8.3 y 3.4.9.2	-	-

Fuente: (CHOC, 2008)

4) Factor de Importancia Sísmica I_w

I_w es el factor de importancia sísmica considerando la categoría de ocupación. En la tabla 12, se clasifican las categorías de ocupación como estructuras esenciales, estructuras peligrosas, estructuras de ocupación especial y estructuras ordinarias.

Tabla 12 Categoría de ocupación

Tabla 3.4-3 Categoría de ocupación y factores de importancia

Categoría de Ocupación	Descripción de la ocupación o funciones de la estructura	Factor de importancia sísmica I	Factor de importancia sísmica I_p^a	Factor de importancia de viento I_w
1 Estructuras esenciales	Hospitales y otros centros médicos que tienen áreas de cirugía y emergencia. Estaciones de bomberos y policía Garajes y refugios para vehículos y aeronaves de emergencia. Estructuras y refugios en centros de preparación para emergencias. Torres de control de aviación. Estructuras y equipos esenciales del gobierno. Centros de comunicación y otros centros requeridos para la responder a una emergencia. Plantas y equipos generadores de energía para estructuras esenciales. Tanques y otras estructuras que albergan, contienen o soportan agua contra incendios requerida para la protección de estructuras con Categoría tipo 1, 2 o 3.	1.25	1.50	1.15
2 Estructuras peligrosas	Estructuras que albergan, contienen o soportan sustancias o químicos tóxicos o explosivos en cantidades suficientes que serían peligrosas a la seguridad del público en general si se soltaran.	1.25	1.50	1.15
3 Estructuras de ocupación especial	Centros de reuniones públicas para más de 300 personas. Escuelas y centros para niños o infantes. Universidades y centros similares para más de 500 estudiantes. Centros de inválidos para más de 50 residentes. Todas las estructuras para más de 5,000 personas. Las estructuras y equipos de plantas generadoras de energía; y otros centros de servicios públicos no incluidos en las Categorías 1 y 2, y que su operación continua es requerida.	1.00	1.00 ^b	1.00
4 Estructuras ordinarias	Todas las estructuras que tienen una ocupación o función no incluida en las Categorías 1, 2 o 3.	1.00	1.00 ^b	1.00

Fuente: (CHOC, 2008)

5) Factor de zona sísmica (Z)

El factor de Zona Sísmica es la relación de Aceleración Pico del Suelo entre la gravedad. Este depende de la ubicación de la estructura, como se observa en la ilustración 4.

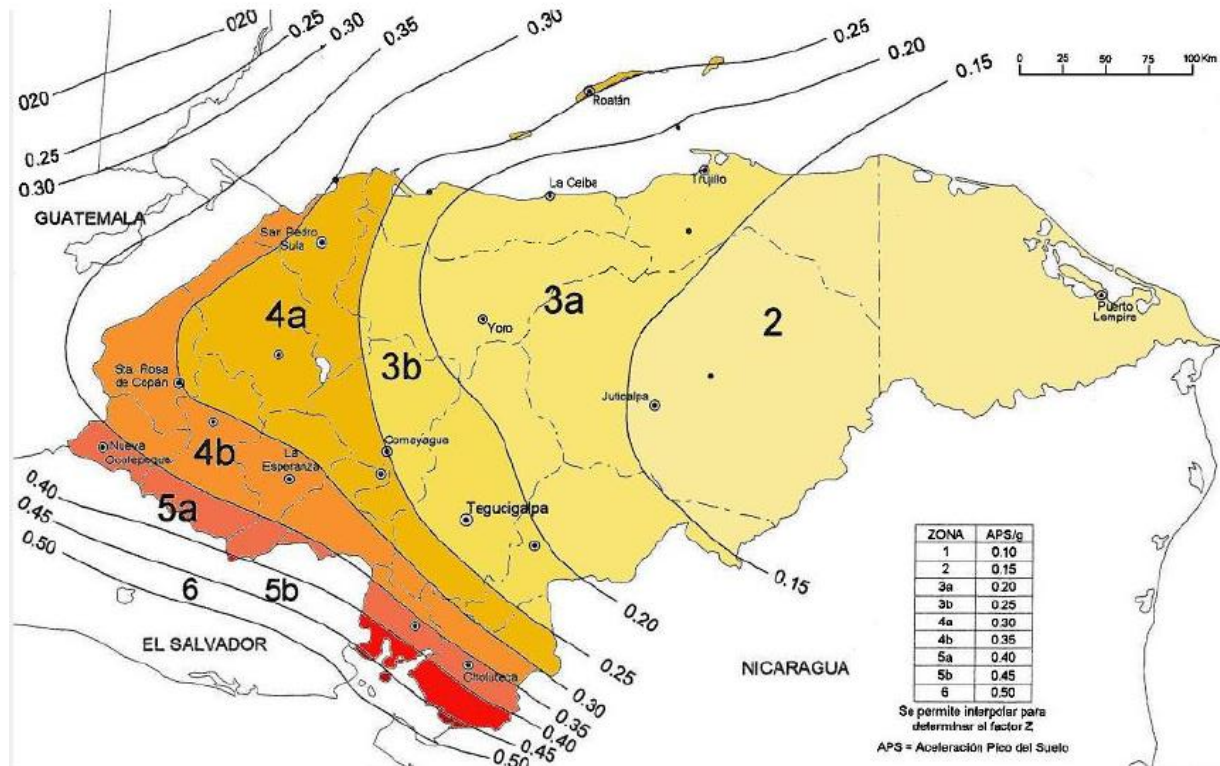


Ilustración 4 Mapa zona Sísmica

Fuente: (CHOC, 2008)

3.3.4.1 Método Dinámico

El método dinámico considera el análisis de espectros de respuesta de una estructura. El análisis de espectros es por medio de acelerogramas, el cual varía según su incremento de tiempo cuando la base es excitada por un acelerograma específico del movimiento del suelo.

El CHOC (2008) especifica que un espectro de respuesta específico deberá desarrollarse para una amortiguación del 5%. A su vez, que para un Suelo S4, el cortante en la base, determinado por estos procedimientos podrá reducirse a un cortante de diseño en la base V dividiéndolo por un factor no mayor que el factor R_w , apropiado para la estructura.

La forma de los espectros de respuesta depende del tipo de suelo. Para obtener los espectros de respuesta elásticos, representados en la ilustración 5, se debe calcular la aceleración espectral "a", la cual depende de los parámetros T_a y T_b , el factor exponencial "e" y el coeficiente del suelo "S", indicados en la tabla 1, Coeficientes de Suelo. También de la gravedad, el período modal "T" y el factor sísmico "Z". Sin embargo, para generar el espectro, el eje Y es la relación de la aceleración espectral y el factor sísmico en términos de la gravedad.

Para $T < T_a$

$$a = 2.5 \cdot Z \cdot g \cdot \left(0.4 + 0.7 \frac{T}{T_a} \right)$$

Para $T_a \leq T \leq T_b$

$$a = 2.75 \cdot Z \cdot g$$

Para $T > T_b$

$$a = Z \cdot g \cdot \frac{S^e}{T}$$

Ecuación 7 Aceleración espectral

Donde

Z es el factor sísmico.

g es la gravedad.

T es el período modal.

T_a y T_b son períodos característicos según el tipo de Suelo.

e factor exponencial.

S es el coeficiente del suelo.

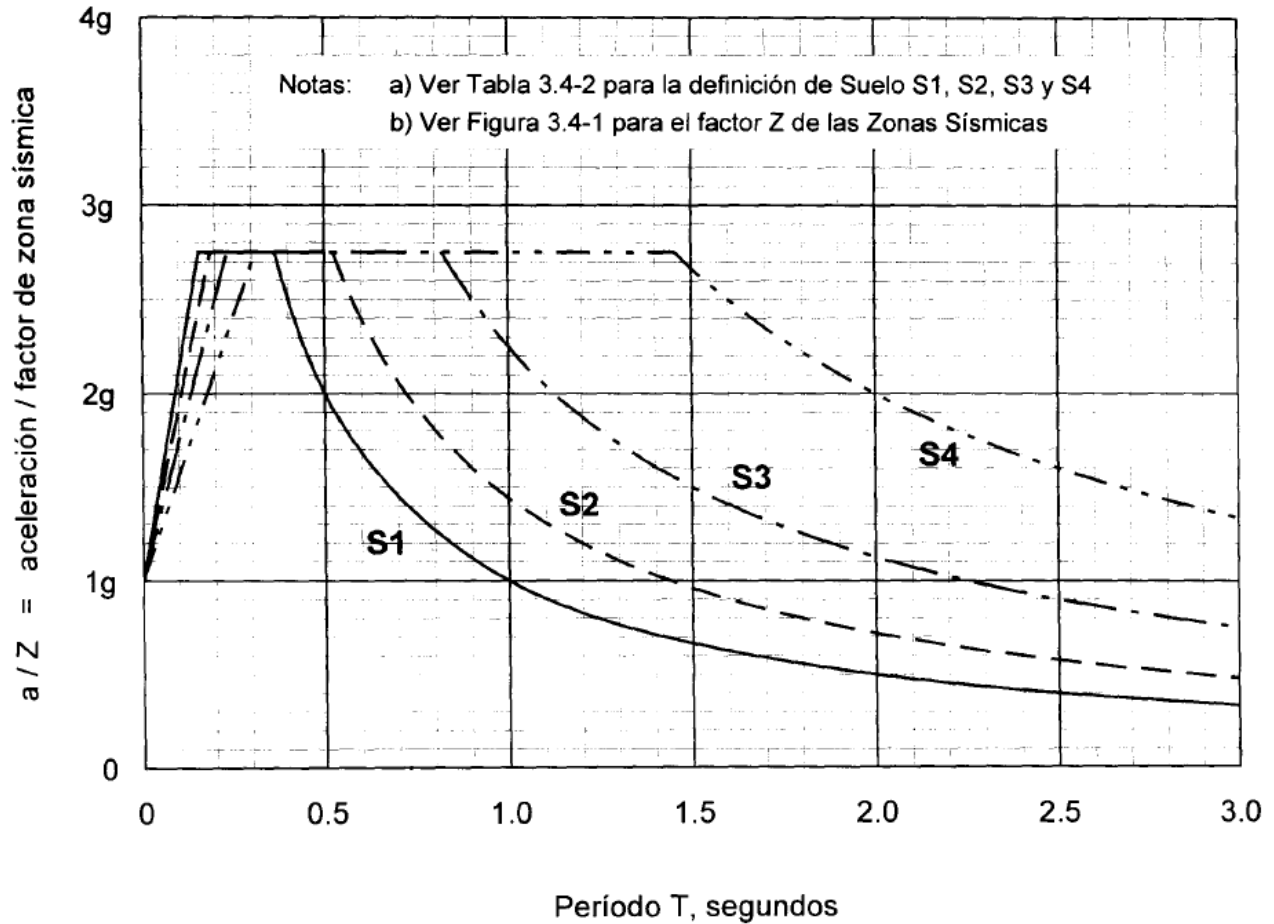


Ilustración 5 Espectros de respuesta elásticos

Fuente: (CHOC, 2008)

3.3.5 CONSIDERACIONES PARA PREDIMENSIONAMIENTO MÍNIMO DE ELEMENTOS

3.3.5.1 Columnas

Se realiza el cálculo de la columna como un miembro de marco que sea resistente a las fuerzas sísmicas y a la flexión. Para una zona sísmica, el CHOC (2008) en 2.21.4.1.1 indica que la dimensión más corta de la sección transversal no deberá ser menor a 30cm. En 2.21.4.3.1 especifica que la cuantía de refuerzo debe estar entre 0.01 y 0.06.

3.3.5.2 Vigas

Una vez teniendo las dimensiones de la columna, se realiza el cálculo de la viga como un miembro de marco que sea resistente a las fuerzas sísmicas y a la flexión. Estas deben satisfacer las siguientes condiciones:

- a) La relación entre el ancho y el peralte no deberá ser menor que 0.3.
- b) El claro libre del miembro no debe ser menor que 4 veces su peralte.
- c) El ancho de la viga no deberá ser menor que 25 cm.

El espesor deberá soportar grandes deflexiones. calcular el espesor mínimo, utilizando la tabla 13:

Tabla 13 Espesor mínimo para vigas (cm)

Tipo de Miembro	Simplemente Apoyada	Un extremo continuo	Ambos extremos continuos	Voladizo
Losa sólida en una dirección	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$l/16$	$l/18.5$	$l/21$	$l/8$

Fuente: (CHOC, 2008)

3.3.5.3 Losa en Dos Direcciones

Las losas de concreto reforzado es el elemento que proporciona superficies planas, estas generalmente son horizontales y paralelas entre superficies. Estas son apoyadas en vigas, muros o elementos de acero estructural. Las losas de concreto se diseñan según las características de la estructura como ser:

- 1) La funcionalidad o el propósito de la estructura.
- 2) Los claros que soportará.
- 3) Las cargas al que estará expuesta.

Las losas se pueden clasificar según son colocadas sus apoyos. Estas pueden ser losas de una dirección, se dice de las losas que se apoyan en dos lados opuestos y las cargas de estas se transfieren a las vigas de apoyo. Las losas de dos direcciones son aquellas que se apoyan en sus cuatros lados y las vigas son incorporadas dentro del espesor de la losa, como se observa en la ilustración 6.

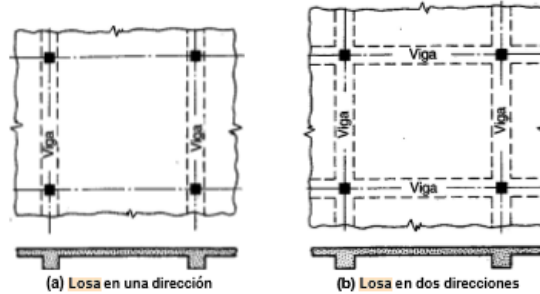


Ilustración 6 Losa en una y dos direcciones

Fuente: (Nilson, 2001)

Las losas en dos direcciones se pueden clasificar según la funcionalidad de la estructura:

1. Para cargas ligeras, como edificios de apartamento se puede utilizar losa de placa planas apoyadas en columnas. Este tipo de losa es una opción económica para luces que son de 4 a 6 metros.
2. Para losas con luces más grandes, se busca aliviar la losa y ahorrar material por lo que se diseña una losa por nervios o un sistema de joist de dos direcciones. Este tipo de losa se utiliza para claros de 8 a 12 metros.
3. Para losas que soportará cargas industriales, se utilizan columnas con capital la cual requiere un aumento de espesor mayor. Estas losas se utilizan para luces entre 6 a 9 metros.

Según el Código Hondureño de la Construcción (CHOC 2008) existen dos diseños para losas de dos direcciones, expuesto en el capítulo dos:

1. Método Directo de Diseño.
2. Método de Marco Equivalente.

En el método directo de diseño se basa en el momento estático total, y propone realizar el análisis panel por panel. Mientras que el método de marco equivalente divide la losa en dos series de marcos dimensionales.

Pasos para el Método Directo de Diseño

A lo largo del diseño de losa y revisión de este mismo se utiliza el Código de Construcción Hondureño (CHOC) del 2008, complementado por las normas del Instituto Americano del Concreto (ACI). Este método contiene las siguientes limitaciones:

1. Deberá haber por lo menos tres claros continuos en cada dirección.
2. Los paneles deberán ser rectangulares con una relación largo a corto no mayor a dos.
3. Las longitudes de dos claros adyacentes medidos de centro a centro de apoyo no deberán diferir en más de 1/3 del claro más largo.
4. Todas las cargas deberán ser gravitacionales y uniformemente distribuidos sobre todo el panel. La carga viva no debe ser mayor a dos veces la carga muerta.
5. La rigidez relativa de las vigas en dos direcciones perpendiculares debe ser entre 0.2 y 5, donde α es igual a:

$$\frac{\alpha_1 \cdot \ell_2^2}{\alpha_2 \cdot \ell_1^2}$$

Ecuación 8 Rigidez Relativa de vigas

Fuente: (CHOC, 2008)

Se determina el espesor de la losa adecuado para el sistema estructural, este debe cumplir con todas las normativas. El diseño de la losa se dividirá toda la losa en paneles rectangulares que cumplan con la siguiente relación entre claro largo a corto no sea mayor que 3. Para determinar el espesor debemos conocer la longitud del claro libre en la dirección en que los momentos están siendo determinados, medida de cara a cara de los apoyos y la resistencia a la fluencia del concreto.

- 1) Asumir un espesor de la losa tomando en cuenta el CHOC (2008), para encontrar el valor promedio de α . Este espesor puede ser asumido con un valor de 12.5 cm.
- 2) Encontrar el valor promedio de α , para todas las vigas en los bordes donde α es la relación de la rigidez flexionante de la sección de la viga.

$$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s}$$

Ecuación 9 relación de la rigidez flexionante

Fuente: (CHOC, 2008)

Donde

E_{cb} y E_{cs} es el módulo de elasticidad del concreto correspondiente a la viga y a la losa.

I_b y I_s son el momento de inercia de la sección de la viga y la losa.

Para el cálculo del módulo de elasticidad de un concreto, se puede dividir en dos categorías según el peso estructural:

Para concreto de peso entre 1,440 y 2,480 kg/m³

$$E_c = w^{1.5} \cdot 0.136 \cdot \sqrt{f'_c}$$

Para concreto de peso normal

$$E_c = 15,100 \cdot \sqrt{f'_c}$$

Ecuación 10 Módulo de Elasticidad

Fuente: (CHOC, 2008)

- 3) Encontrar β , la relación de los claros libres entre el claro largo y el claro corto.
- 4) Comprobar la 5ta limitación, mencionada anteriormente, donde las direcciones designadas como " ℓ " se eligen arbitrariamente, tomando en cuenta que ℓ_2 debe ser transversal a ℓ_1 .
- 5) El espesor debe cumplir con las siguientes normativas expuestas en el CHOC-08, esta depende si la losa será apoyada en vigas o no.
 - a) Se utiliza la tabla 2.9.5-c del CHOC-08 para determinar el espesor en losas sin vigas interiores entre sus apoyos, este debe ser mayor a los siguientes valores:
 - Losas sin ábacos de 12.5 cm
 - Losas con ábacos de 10 cm
 - b) Para losas con vigas entre los apoyos de todos los lados el espesor mínimo debe ser:
 - Para α_m igual o menos a 0.2m deberán ser: losas sin ábacos de 12.5 cm mientras losas con ábacos de 10 cm.
 - Para α_m entre 0.2 a 2, el espesor no deberá ser menor que 12.5 cm o menor a

$$e = \frac{\ln(0.8 + \frac{fy}{14,000})}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0.2)}$$

- Para α_m mayor que 2.0, el espesor deberá ser mayor que

$$e = \frac{\ln(0.8 + \frac{fy}{14,000})}{36 + 9\beta}$$

Ecuación 11 Espesores mínimos

Fuente: (CHOC, 2008)

3.4 Interacción Suelo-Estructura

3.4.1 DEFINICIÓN DEL MOVIMIENTO DURANTE SISMOS

Existen varias formas de determinar el movimiento en un punto durante la acción del sismo. El método más adecuado y completo para definir el movimiento en un punto exacto es colocar tres acelerogramas simultáneos en tres diferentes direcciones ortogonales entre ellos. Sin embargo, este estudio con los tres acelerogramas se vuelve complejo por lo que se realiza un estudio más simplificado utilizando un solo acelerograma colocándolo en el eje horizontal paralelo a la superficie del terreno, de esta manera se supondrá que estas condiciones aplicarían en cualquier sentido que se colocará.

Los acelerogramas determinan datos como: la duración de la fase más fuerte del sismo, máxima aceleración que tuvo el sismo, no obstante, no determina datos relativos a los efectos que tuvo el sismo sobre la estructura.

3.4.2 SISTEMAS INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA

La interacción de suelo-estructura es la respuesta que da un sistema estructural sometidas a todas las cargas y tomando en cuenta las propiedades elásticas del suelo. En el análisis típico se modela el suelo como infinitamente rígido, en la realidad el suelo contiene un cierto grado de amortiguamiento y este absorbe cierta energía de la acción sísmica. El sistema se comporta como uno solo hacia cierta acción actuante, algunos factores de los que depende el grado de interacción de la estructura con el suelo son:

- 1) El peso total de la estructura.
- 2) Rigidez lateral de la estructura.
- 3) Altura de la estructura.
- 4) Tipo de cimentación.
- 5) Rigidez de la cimentación.
- 6) Propiedades dinámicas del suelo.
- 7) Profundidad y estratificación del suelo.
- 8) La intensidad de la acción sísmica.

La interacción suelo-estructura corresponde a las modificaciones de la respuesta de una construcción que reposa sobre el subsuelo. Las modificaciones son alteraciones de los periodos de vibraciones por desplazamientos en la cimentación. La ISE se conoce como el proceso de equilibrio de la cimentación y la estructura, y específicamente la magnitud de las solicitaciones que se producen. Si la estructura se encuentra sobre un estrato firme, las deformaciones se pueden despreciar, por ende, los efectos de ISE no existirán, ya que esta sobre una base rígida.

3.4.3 TIPOS DE INTERACCIÓN

3.4.3.1 Interacción Inercial

La respuesta dinámica entre la estructura y el suelo depende del tipo de suelo donde se ubica la cimentación. Al ser un suelo deformable, las fuerzas que se transmiten a él de la estructura por la cimentación ocasionarán un movimiento en la misma, caso contrario si fuera una estructura de base empotrada, ésta restringiría los movimientos provocados por el suelo. Otro factor que afecta la interacción, es la forma y tipo de cimentación, cuando la cimentación es pequeña y superficial el estudio de la interacción se vuelve más sencilla.

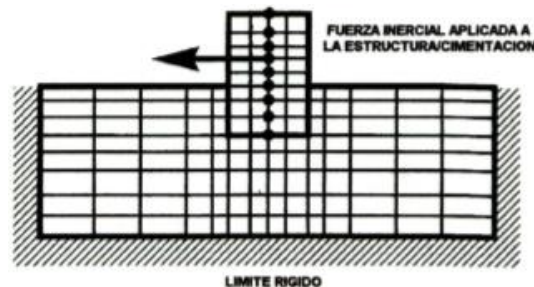


Ilustración 7 Análisis de Interacción Inercial

Fuente: (Angamarca, 2008)

Cuando se realiza el estudio de la interacción inercial, se toma en cuenta la carga inercial que solo es aplicada al sistema estructural. La carga inercial depende del movimiento en la base y del movimiento en la entrada de la cimentación. Para el cálculo de las deformaciones en este tipo de interacción estas pueden ser calculadas por las ecuaciones de movimiento:

$$[M]\{U_{II}\} + [K^*]\{u_{II}\} = - [M_{estructura}]\{U_{KI}(t) + U_b(t)\}$$

Ecuación 12 Movimiento para Interacción Inercial

Fuente: (Angamarca, 2008)

Donde cada matriz y vector representa lo siguiente:

- 1) $[M]$ es la matriz de masa del sistema estructural.
- 2) $[M_{\text{estructura}}]$ es la matriz de masa asumiendo que el suelo no tiene masa.
- 3) U_{II} es la aceleración como producto de la interacción inercial.
- 4) u_{II} es el desplazamiento como producto de la interacción inercial.
- 5) U_{KI} es la aceleración referente al movimiento de entrada de la cimentación.
- 6) U_b es la aceleración del campo libre.
- 7) K^* es la rigidez del sistema estructural.

La estructura al estar expuesta por una acción sísmica se transmite a través del suelo. Durante esta acción el sistema sufre un balanceo que produce un alargamiento en el periodo de vibración. Este tipo de interacción tiene dos efectos: aumenta el amortiguamiento y la reducción de la ductilidad de la estructura. En el gráfico 1 se observa la diferencia entre un sistema estructural sin interacción suelo - estructura y otra con interacción inercial. Este representa el comportamiento sísmico de un sistema estructural de un grado de libertad. Estos resultados se pueden representar en una gráfica de amplificación versus frecuencia del movimiento:

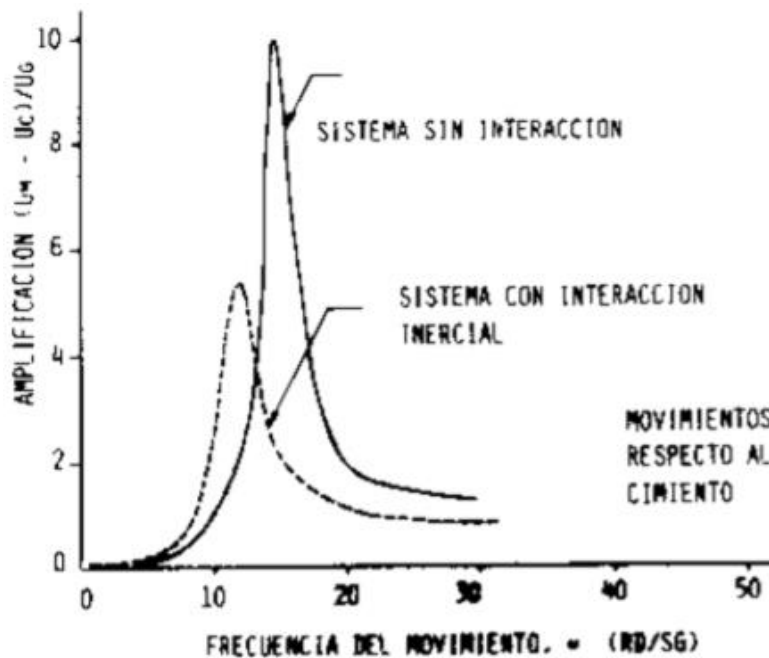


Gráfico 1 Amplificación vs Frecuencia del movimiento

Fuente: (Soriano)

3.4.3.2 Interacción Cinemática

La interacción de suelo-estructura cinemática es aquella que no se considera la masa del sistema estructural. Un sismo produce movimiento en el suelo en ambas direcciones, sin embargo, una cimentación empotrada dentro del suelo suele ser rígida, ya que no sigue los patrones de los desplazamientos del campo libre.

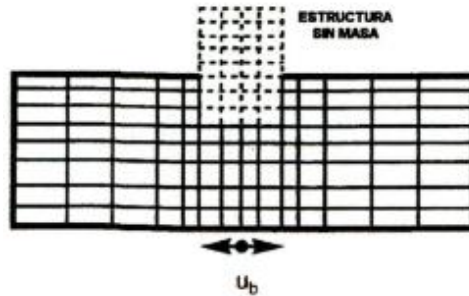


Ilustración 8 Análisis de Interacción Cinemática

Fuente: (Angamarca, 2008)

Para este análisis se utiliza el mismo principio de la ecuación de movimiento, sufriendo modificaciones ya que esta no se toma en cuenta la masa de la estructura.

$$[M_{suelo}]\{U_{KI}\} + [K^*]\{u_{KI}\} = - [M_{suelo}]U_b(t)$$

Ecuación 13 Movimiento para Interacción Cinemática

Fuente: (Angamarca, 2008)

Donde cada matriz y vector representa lo siguiente:

- 1) $[M_{suelo}]$ es la matriz de masa asumiendo que la estructura y la cimentación no tienen masa.
- 2) u_{KI} es el desplazamiento referente al movimiento de la entrada de la cimentación
- 3) U_{KI} es la aceleración referente al movimiento de entrada de la cimentación.
- 4) U_b es la aceleración del campo libre.
- 5) K^* es la rigidez del sistema estructural.

Este tipo de interacción induce diferentes modos de vibración en el sistema estructural, así impidiendo el desarrollo de los movimientos sísmico en el campo libre.

3.4.3.3 Interacción completa

La interacción inercial no toma en cuenta el suelo debido a que la cimentación es empotrada, por otro lado, la interacción cinemática no toma en cuenta la masa del sistema estructural. En la realidad cuando sucede una acción sísmica, la interacción de suelo-estructura toma en cuenta la masa de la estructura y la respuesta del suelo al movimiento.

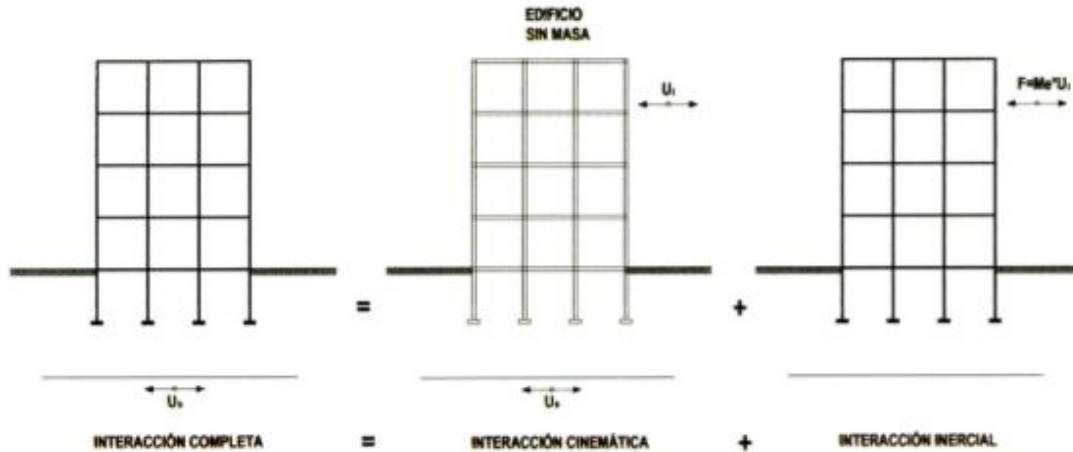


Ilustración 9 Combinación de Interacción Cinemática e Inercial

Fuente: (Angamarca, 2008)

El análisis de interacción completa requiere la combinación de la ecuación de movimiento de la interacción cinemática con la ecuación 14 de la interacción inercial, resultando en la siguiente ecuación:

$$[M]\{U\} + [K^*]\{u\} = - [M]U_b(t)$$

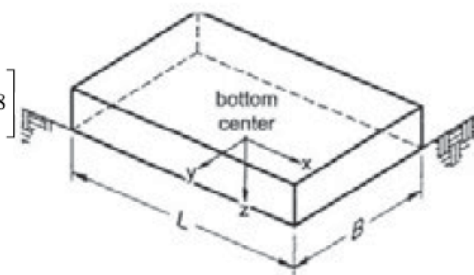
Ecuación 14 Movimiento para Interacción Completa

Fuente: (Angamarca, 2008)

3.4.4 MODELOS DE RIGIDECES EQUIVALENTE DEL SUELO

Para poder obtener una respuesta estructural aplicando la interacción suelo-estructura, se requiere calcular el coeficiente de rigidez por losa de cimentación. A esta, se le realiza una corrección por embebimiento para la losa de cimentación. Finalmente, se realiza una corrección para zapata aislada, considerando el área tributaria de cada columna y el área total de la superficie de la estructura.

Los coeficientes de rigidez consideran seis grados de libertad: Traslación en X, Y y Z y rotación en X, Y y Z. Para su cálculo se utilizan las ecuaciones especificados en la norma ASCE 41-13, descritas en la ecuación 15.

Degree of Freedom	Stiffness of Foundation at Surface	Note
Translation along x-axis	$K_{x,sur} = \frac{GB}{2-\nu} \left[3.4 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 1.2 \right]$	 <p>Orient axes such that $L > B$. If $L = B$, use x-axis equations for both x-axis and y-axis.</p>
Translation along y-axis	$K_{y,sur} = \frac{GB}{2-\nu} \left[3.4 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.4 \frac{L}{B} + 0.8 \right]$	
Translation along z-axis	$K_{z,sur} = \frac{GB}{1-\nu} \left[1.55 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.8 \right]$	
Rocking about x-axis	$K_{xx,sur} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[0.4 \left(\frac{L}{B} \right) + 0.1 \right]$	
Rocking about y-axis	$K_{yy,sur} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[0.47 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.034 \right]$	
Torsion about z-axis	$K_{zz,sur} = GB^3 \left[0.53 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.45} + 0.51 \right]$	

Ecuación 15 Cálculo de Rigidez para losa de fundación

Fuente: (ASCE 41-13, 2014, pág. 170)

Donde

G es el módulo de cortante con la reducción, descrito en la tabla 4.

B y L son las dimensiones de la losa de cimentación.

ν es el coeficiente de Poisson descritos en la tabla 5.

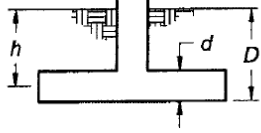
Para el cálculo del factor de corrección por embebimiento de la losa de cimentación, se utilizan las ecuaciones especificados en la norma ASCE 41-13, descritas en la ecuación 16.

Donde

D es la altura de desplante.

d es la altura de la cimentación.

h es la altura desde el nivel del terreno natural hasta la mitad de la cimentación

Degree of Freedom	Correction Factor for Embedment		
Translation along x-axis	$\beta_x = \left(1 + 0.21\sqrt{\frac{D}{B}}\right) \cdot \left[1 + 1.6\left(\frac{hd(B+L)}{BL^2}\right)^{0.4}\right]$		
Translation along y-axis	$\beta_y = \left(1 + 0.21\sqrt{\frac{D}{L}}\right) \cdot \left[1 + 1.6\left(\frac{hd(B+L)}{LB^2}\right)^{0.4}\right]$		
Translation along z-axis	$\beta_z = \left[1 + \frac{1}{21}\frac{D}{B}\left(2 + 2.6\frac{B}{L}\right)\right] \cdot \left[1 + 0.32\left(\frac{d(B+L)}{BL}\right)^{2/3}\right]$		
Rocking about x-axis	$\beta_{xx} = 1 + 2.5\frac{d}{B}\left[1 + \frac{2d}{B}\left(\frac{d}{D}\right)^{-0.2}\sqrt{\frac{B}{L}}\right]$		$d = \text{height of effective}$
Rocking about y-axis	$\beta_{yy} = 1 + 1.4\left(\frac{d}{L}\right)^{0.6}\left[1.5 + 3.7\left(\frac{d}{L}\right)^{1.9}\left(\frac{d}{D}\right)^{-0.6}\right]$		$\text{sidewall contact (may be}$
Torsion about z-axis	$\beta_{zz} = 1 + 2.6\left(1 + \frac{B}{L}\right)\left(\frac{d}{B}\right)^{0.9}$		$\text{less than total foundation height)}$

Ecuación 16 Factor de corrección por embebimiento

Fuente: (ASCE 41-13, 2014, pág. 170)

$$K_i = K_{sup} \cdot \beta_i$$

Ecuación 17 La rigidez con la corrección por embebimiento

Donde

K_i es la rigidez con la corrección por embebimiento.

K_{sup} es el coeficiente de rigidez por grado de libertad para losa de cimentación.

β_i es la corrección por embebimiento.

Se agrupan las columnas con la misma área tributaria, para ingresar los coeficientes de rigidez para cada columna. La distribución de la rigidez se realiza en cada una de las direcciones de los grados de libertad:

$$K_{ij} = K_i \cdot \frac{A_j}{A_t} \cdot \frac{1}{n}$$

Ecuación 18 La rigidez considerando el área tributaria

Donde

A_j es el área de tributaria por columnas agrupadas.

A_t es el área total de la superficie de la estructura.

n es la cantidad de las columnas agrupadas en la misma categoría.

IV. METODOLOGÍA

4.1 Enfoque

En la historia de la investigación han existido diversas corrientes de pensamiento, pero se ha llegado a un consenso en el cual involucra tener tres enfoques de una investigación: Cualitativo, Cuantitativo y Mixto.

El enfoque cualitativo no necesita de datos numéricos para obtener resultados sobre la investigación. En este enfoque se plantea un problema, pero el proceso no es tan específico ni definido. Básicamente, lo que indica este enfoque es que no se fundamenta en la estadística, es más inductivo, con análisis de realidades subjetivas en las cuales se pueden obtener una amplitud en el texto e interpretación.

El enfoque cuantitativo es comúnmente conocido como empírico-analítico, porque se basa en investigar, analizar y comprobar datos numéricos. Este enfoque utiliza la recolección de datos para probar la hipótesis, utilizando análisis estadístico y con patrones para probar teorías. En el enfoque se plantea un problema de una realidad objetiva, que sea delimitado y concreto, en el cual se construyen hipótesis para probarlas con la recolección de datos, analizándolos por medio de métodos estadísticas.

Según Tashakkori (2014) el enfoque mixto es un proceso que recolecta, analiza y vierte datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio. En este enfoque, tanto el enfoque cuantitativo como el cualitativo son igualmente importantes, ellos trabajan en conjunto, comprendiendo la realidad estudiada de manera integral. El enfoque mixto busca aprovechar ambos enfoques.

La investigación se basó en un enfoque cuantitativo, ya que requiere de datos de la estructura y el suelo para generar una conclusión en cuanto a la interacción entre ambos y poder comparar los resultados de comportamiento, generados por medio de un software de análisis estructural.

4.2 Variables de Investigación

Las variables son entidades que sufren cambios, se pueden observar, medir, controlar y analizarse a lo largo de la investigación. Estos pueden ser seres vivos, objetos, propiedades, etc. Existen tres tipos de variables para una investigación: variables independientes, dependientes y variables controladas.

4.2.1 VARIABLES INDEPENDIENTES

Este actúa como condicionante de la variable dependiente. Esta variable suele ser manipulada según el investigador lo requiera o vea necesario. Estas variables generan cambios en las variables dependientes. También son conocidas como variables explicativas, exógenas o predictoras.

Las variables independientes en la investigación son:

- 1) Tipo de suelo: Se modificó el tipo de suelo, utilizando la norma nacional, para obtener diferentes comportamientos de la estructura.
- 2) Condición de apoyo: Se utilizaron dos tipos de apoyos. Empotramiento perfecto, provocando que la estructura sea más rígida e Interacción Suelo-Estructura, considerando la elasticidad del suelo.

4.2.2 VARIABLES DEPENDIENTES:

Estas variables dependen tanto de la variable independiente, como de la variable controlada. Las variables dependientes también pueden ser independientes, según como el investigador lo requiera necesario. Pueden depender de ciertas variables y no depender de otras, y volverse independientes para otros aspectos de la investigación. Estas variables son las responsables de medir y brindar los resultados de las investigaciones.

Las variables dependientes en la investigación son:

- 1) La rigidez en la interacción suelo-estructura: Este factor depende del tipo de suelo a utilizar, dado que varía la velocidad de onda cortante, el coeficiente de Poisson y el peso específico del suelo.

2) Respuestas de las estructuras:

- a. Período de Respuesta: Obtenido por el software utilizado. Depende del tipo de apoyo.
- b. Cortante Basal: Calculado por el método estático y el método dinámico. Depende del tipo de suelo y del período de respuesta de la estructura.
- c. Deformación relativa lateral (deriva): Depende del tipo de suelo.

4.2.3 Variables Controladas

Las variables controladas, son las que se mantienen constantes a lo largo de la investigación. Estas con el propósito de medir el efecto que las variables independientes tienen sobre las variables dependientes. Las variables controladas en la investigación son:

- 1) Ubicación de interés: Es una variable controlada ya que todos los modelos serán en el mismo lugar. Se utilizó Choluteca como el punto de interés porque es una zona altamente sísmica.
- 2) Edificio a diseñar: Se realizó la investigación con una sola estructura, por ello, se mantiene constante a lo largo de toda la investigación. Un edificio de apartamentos de 25x25m con 5 niveles.

4.3 Herramientas Digitales

Las herramientas son avances tecnológicos que facilitan el trabajo y reducen el error humano, tales como Programas digitales, softwares estructurales, etc.

Para la investigación, se utilizaron diversas herramientas, tales como:

- 1) AutoCAD: Software de diseño para dibujos en 2D y modelación en 3D.
- 2) ETABS: Software para el análisis y diseño estructural. En dicho software se realizaron los modelos de la estructura y se obtuvieron los valores de respuesta, tales como el período de respuesta, el cortante basal por medio del método dinámico, el desplazamiento y la deriva.
- 3) MathCad: Software diseñado para cálculos de ingeniería. En dicho software se realizaron los cálculos de rigidez para la interacción suelo-estructura por tipo de suelo.

- 4) Microsoft Excel: Software con hojas para cálculos numéricos. En dicho software se realizaron los cálculos de sismo por el método estático y se obtuvieron las gráficas de deriva.
- 5) Microsoft Word: Software procesador de texto.
- 6) Project Management: Software para administrar proyectos.

4.4 Población y Muestra

En la investigación, se realizaron dos modelaciones por tipo de suelo, según la clasificación indicada en el CHOC (2008), con los dos tipos de cimentación estudiadas. La cimentación empotrada, simulando un suelo infinitamente rígido y la interacción suelo-estructura, considerando un suelo elástico. Fueron analizados un total de 8 modelos, obteniendo las deformaciones laterales, el período modal de respuesta y el cortante basal de las estructuras dependiendo sus apoyos.

4.5 Metodología de estudio

Se realizó la investigación de todos los temas necesarios e incluyentes para comprender más a fondo lo que se quiere investigar. Se seleccionaron los datos con los que se iba a trabajar. Se decidió trabajar con un edificio de apartamentos de 5 niveles, con una azotea, variando el tipo de suelo indicado en el CHOC (2008), desde S1 y S4, en la zona sur del país, Choluteca. El edificio se encuentra en un área de 625 m², un edificio simétrico de 25x25m, no considerando el bloque de gradas, realizando un diseño arquitectónico por medio del software AutoCAD. Se seleccionó un edificio de apartamentos porque se considera un edificio con una ocupación bastante común en el país. El edificio se definió de 5 niveles, para considerar las fuerzas sísmicas por el método estático, en el cual CHOC (2008) 1.3.4.8.2(c) indica "El procedimiento del análisis estático puede ser utilizado en estructuras irregulares con no más de 5 pisos o con una altura que no exceda 20 metros." A la vez, se propuso el estudio en Choluteca, para obtener una respuesta simbólica, dado que la actividad sísmica en la zona sur es mayor que en el resto del territorio. Se realizaron los predimensionamientos de las vigas, columnas y losa, calculando a su vez las cargas gravitacionales existentes en la estructura por medio del software MathCad.

Se calcularon los coeficientes de rigidez, considerando las propiedades del suelo y de la losa de cimentación. Se calcularon las áreas tributarias de cada columna, para distribuir la rigidez por el área total de forma más equitativa. Se modelaron las estructuras en el software ETABS, colocando empotramiento para la mitad de los modelos, uno por tipo de suelo e ingresando los valores de coeficientes de rigidez para generar los resortes actuantes como cimentación, obteniendo los periodos fundamentales para cada modelo, permitiendo calcular el cortante basal por el método estático. Se crearon los espectros de respuesta para cada tipo de suelo, ingresando los espectros en el programa. Con ello, se obtienen los cortantes basal de cada modelo por el método dinámico. Finalmente, se obtienen las respuestas estructurales por modelo, y se compara entre ellos.

4.6 Metodología de Validación

La metodología de validación para dicha investigación se realizó mediante simulaciones computacionales, y similitud en metodología, en el cual se utiliza una metodología de estudio similar a dicha investigación, comprendiendo mejor los resultados obtenidos por medio de simulaciones computacionales. De manera más específica, se trabajó de la mano con la investigación del Dr. Genner Villarreal Castro, ingeniero especializado en el área sismo resistente, titulada: "Interacción Sísmica Suelo-Estructura en Edificaciones con Zapatas Aisladas". No obstante, en esta investigación se utilizaron datos, normas y características propias del país.

También, se tomó como referencia el Seminario "Efecto de la Interacción Suelo-Estructura en las Edificaciones", otorgada por el Ing Yader Jarquin, organizada por la Fundación Extensus. En dicho seminario hacen referencia a la norma ASCE 41-17, a la vez como el NIST (la norma colombiana).

4.7 Cronograma de actividades

Tabla 14 Resumen de Actividades

1. Introducción	6. Diseño Arquitectónico	11. Obtención de Resultados
2. Planteamiento del Problema	7. Análisis Estructural con Apoyo Empotrado	12. Comparación entre modelos estructurales
3. Marco Teórico	8. Modelación de estructura con Apoyo Empotrado	13. Conclusiones
4. Metodología	9. Análisis Estructural con ISE	14. Recomendaciones
5. Presentación Semana V.	10. Modelación de estructura con apoyo ISE.	15. Resumen Ejecutivo

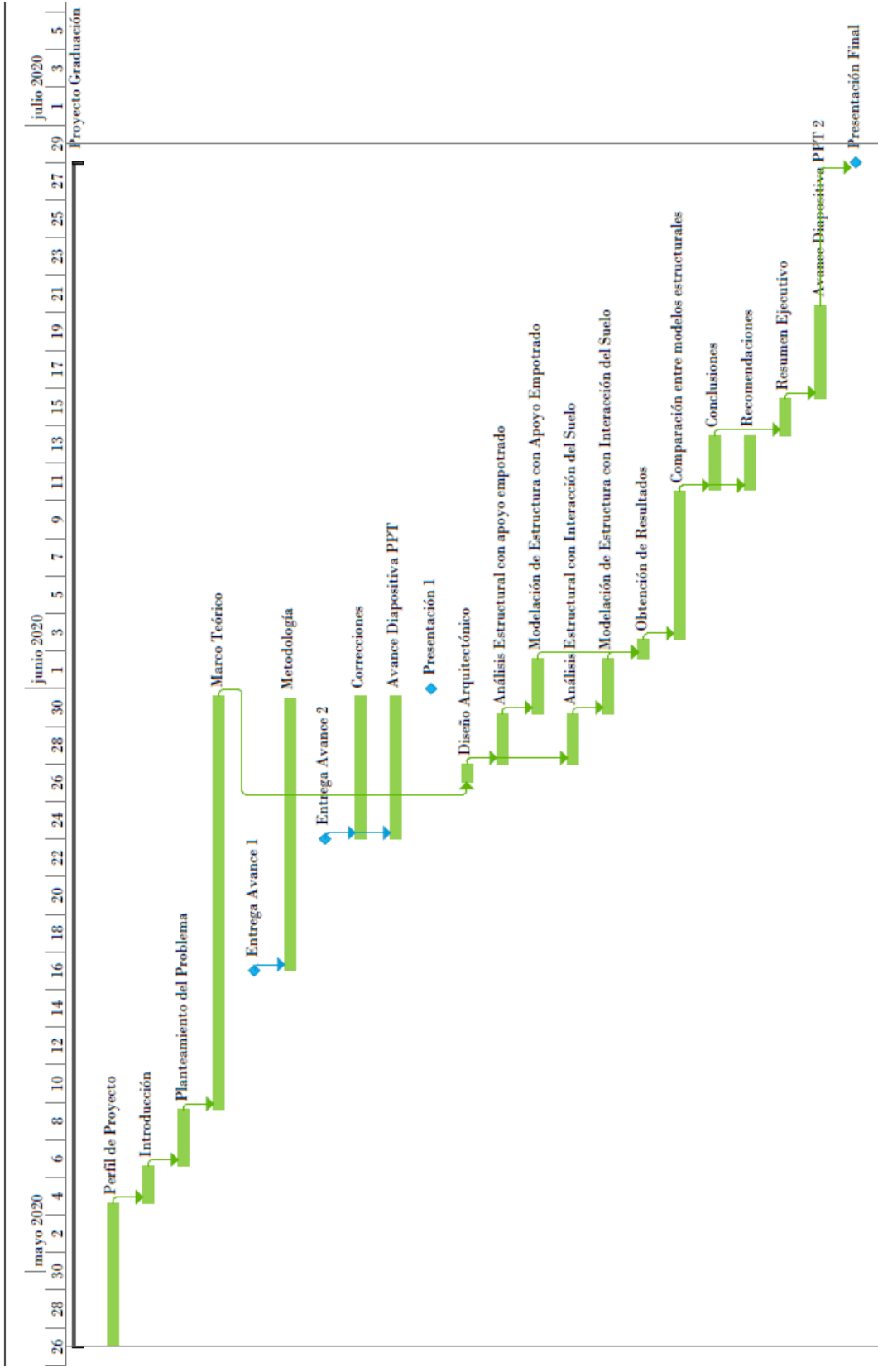


Gráfico 2 Diagrama de Grantt

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 Cargas Gravitacionales

Tabla 15 Resumen de cargas en la estructura

TIPO	DESCRIPCIÓN	Kg/m ²
CARGAS MUERTAS	Apartamento	100
	Pasillos	50
	Cielo Falso	20
	Instalaciones Hidrosanitarias	20
	Instalaciones Eléctricas	20
CARGAS VIVAS	Apartamentos	200
	Pasillos	500
	Azotea	200

Se realizaron los cálculos de predimensionamiento por medio del software MathCad, en los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

5.2 Predimensionamiento de Viga

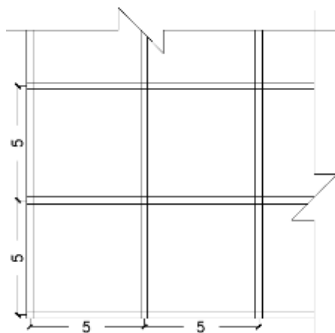


Ilustración 10

Separación entre vigas

Luz libre de vigas de centro a centro de los apoyos: 500 cm

Ambos extremos continuos:

$$h1 = l/21 = 500/21 = 23.81 \text{ cm}$$

Un extremo continuo:

$$h2 = l/18.5 = 500/18.5 = 27.03 \text{ cm}$$

Para la viga se consideró una luz libre de viga de centro a centro de los apoyos de 5m. Luego, se analizaron dos vigas, una con ambos extremos continuos y otra con un extremo continuo, valores obtenidos de la tabla 13, obtenida del CHOC-08 2.9.5.2.1. Se tomó el mayor valor entre ambos, considerando la más crítica. Se obtuvo una altura de viga de 30cm.

5.3 Predimensionamiento de Losa Sólida en Dos Direcciones

Para la losa sólida en dos direcciones, se consideran los materiales a utilizar: F_y : 4200 kg//cm² y F'_c : 280 kg/cm². Asumiendo un espesor inicial de 12.5cm. El CHOC-08 en 2.21.4.1.1, especifica que las columnas deben ser de al menos 30x30cm.

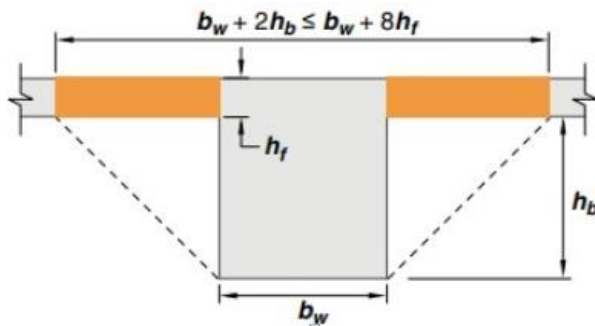


Ilustración 11 Diagrama de Viga

Fuente: (ACI, pág. 132)

$$hb = H_{viga} - hf$$

Donde H_{viga} es la obtenida de 30cm

H_f es el espesor de losa asumido de 12.5cm

Para el cálculo del ancho efectivo, se comparan:

$$bw + 2hb \leq bw + 8hf$$

$$30cm + 2(17.5cm) \leq 30cm + 8(12.5cm)$$

$$65cm \leq 130cm \therefore \text{Cumple.}$$

Se obtiene un ancho efectivo de 65cm. Ya teniendo las dimensiones, se calcula la relación de rigidez, en el que se considera un concreto de peso normal, y se calcula la inercia de la viga y losa.

$$E_c = 15100 * \sqrt{f'_c} = 252,671.33 \text{ kg/cm}^2$$

$$Y_b = \frac{(hb * bw)(hb/2) + (bn * hf)(hb + hf/2)}{(hb * bw) + (bn * hf)} = 17.86cm$$

Ecuación 19 Centroide de la viga

$$I_b = \frac{bw * (hb)^3}{12} + bw * hb \left(y_b - \frac{hb}{2} \right)^2 + \frac{bn * (hf)^3}{12} + bn * hf \left(hb + \frac{hf}{2} - y_b \right)^2 = 95,736.04 \text{ cm}^4$$

Ecuación 20 Inercia de viga

$$I_s = \frac{1}{12} * 500cm * (hf)^3 = 81,380.21 \text{ cm}^4$$

Ecuación 21 Inercia de losa

$$\alpha = \frac{E_c * I_b}{E_c * I_s} = 1.18$$

$$\alpha_m = \frac{4 * \alpha}{4} = 1.18$$

Obteniendo un Alpha promedio de 1.18, se utiliza para calcular el espesor mínimo de la losa.

$$e = \frac{\ln\left(0.8 + \frac{fy}{14,000}\right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0.2)} = e = \frac{\ln\left(0.8 + \frac{2400}{14,000}\right)}{36 + 5 * 1(1.18 - 0.2)} = 12.65cm$$

Comprobando que el espesor obtenido es mayor a 12.5cm, se redondea al entero mayor obteniendo un espesor de losa de 13cm.

5.4 Cargas de Viento

$$P = C_e \cdot C_q \cdot q_s \cdot I_w \cdot h = [kg/m]$$

Ecuación 22 Presión de viento

Para Sotavento, el CHOC 1.2.8 indica que los valores de Ce se obtienen de la tabla 7, basándose en la altura media de la estructura.

$$H_{prom} = \frac{15}{2} = 7.5m$$

Tabla 2.3-2 Coeficiente combinado C_e , para altura, exposición y factor de ráfaga ^a

Altura promedio sobre el nivel del terreno, metros.	Exposición B	Exposición C	Exposición D
0 - 5	0.62	1.07	1.39
7.5	0.71	1.17	1.49
10	0.78	1.25	1.56
12.5	0.84	1.31	1.62
15	0.89	1.37	1.67

Ce para sotavento con una exposición C es de 1.17

Para Barlovento, se obtiene según la altura de cada nivel. Si no se encuentra el valor exacto, se interpola.

Interpolación para 6m:

$$\begin{array}{l} 5 \text{ m} \quad \rightarrow \quad 1.07 \\ 6 \text{ m} \quad \rightarrow \quad X \\ 7.5 \text{ m} \quad \rightarrow \quad 1.17 \end{array} \quad \frac{1.17 - 1.07}{7.5 - 5} = \frac{X - 1.07}{6 - 5}$$

$$X = 1.110$$

Para 6m, se obtiene un Ce=1.110

Tabla 16 Resultados de Ce para Barlovento

Nivel	Altura	Ce _{barlovento}
1	3	1.070
2	6	1.110
3	9	1.218
4	12	1.298
5	15	1.370

Para el Coeficiente de Presión Cq, se obtiene de la tabla 8, para un muro de barlovento (empuje) de 0.8 y un muro de sotavento (succión) de 0.5. El q_s se obtiene de velocidad mínima de viento de 120 km/h. Leemos en la tabla 9, en la presión estática del viento, obteniendo un 69.6. El factor de importancia, en la tabla 10, para un edificio de apartamentos es 1, ya que entra en la categoría de estructuras ordinarias.

$$P = 1.17 \cdot 0.5 \cdot 69.6 \cdot 1 = 40.716 \text{ kg/m}^2$$

Obteniendo una resultante de presión de viento, esta se multiplica por los 25 m de longitud del edificio.

Tabla 17 Presión de Viento Resultante

Nivel	P _{barlovento} (kg/m ²)	P _{sotavento} (kg/m ²)	P (kg/m)	P resultante (kg)
1	59.578	40.716	454.662	11,366.550
2	61.805	40.716	316.583	7,914.564
3	67.818	40.716	332.284	8,307.108
4	72.273	40.716	344.979	8,624.484
5	76.282	40.716	175.496	4,387.410

5.5 Cálculo de Coeficientes de Rigidez

Utilizando las ecuaciones de la ASCE 41-13, ecuaciones 15.

Tabla 18 Resumen de Propiedades del Suelo

TIPO DE SUELO	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD (kg/m ³)	VELOCIDAD DE ONDA (m/s)	POISSON
S1	ROCA -GRAVA	1993	760	0.4
S2	ARENA LIMOSA	1760	360	0.35
S3	ARCILLA MEDIA	1665	180	0.3
S4	ARCILLA BLANDA	1406	150	0.2

Tabla 19 Resumen de Datos de la Cimentación de la Estructura

Propiedades de Cimentación	B (m)	L (m)	D (m)	d (m)	h (m)
	25	25	1.5	1.5	0.75

Ejemplo para el Suelo S1 utilizando los siguientes valores:

La ASCE especifica realizar una degradación de propiedades por efecto del sismo, especificados en la tabla 4.

$$G_1 = 0.95 * G_{01}$$

$$G_{01} = \rho * Vs^2 = 1993 * 760^2 = 1,151,156,800 Pa$$

$$G = 1,093,598,960 Pa$$

Traslación a lo largo del eje X

$$Kx_{sup} = \frac{G * B}{2 - \nu} \left[3.4 * \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 1.2 \right] = 78,602,425.25 kN/m$$

Traslación a lo largo del eje Y

$$Ky_{sup} = \frac{G * B}{2 - \nu} \left[3.4 * \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.4 * \frac{L}{B} + 0.8 \right] = 78,602,425.25 kN/m$$

Traslación a lo largo del eje Z

$$Kz_{sup} = \frac{G * B}{1 - \nu} \left[1.55 * \left(\frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.8 \right] = 107,081,564.83 kN/m$$

Balanceo a lo largo del eje X

$$Kxx_{sup} = \frac{G * B^3}{1 - \nu} \left[0.4 * \frac{L}{B} + 0.1 \right] = 14,239,569,791.67 kN * m$$

Balanceo a lo largo del eje Y

$$Kyy_{sup} = \frac{G * B^3}{2 - \nu} \left[0.47 * \left(\frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.034 \right] = 14,353,486,350 kN * m$$

Torsión a lo largo del eje Z

$$Kzz_{sup} = \frac{G * B^3}{2 - \nu} \left[0.53 * \left(\frac{L}{B} \right)^{2.45} + 0.51 \right] = 17,770,983,100 kN * m$$

Tabla 20 Resultados de Coeficiente de Rigidez Superficial

Grado de Libertad	S1 (ROCA)	S2 (ARENA LIMOSA)	S3 (ARCILLA MEDIA)	S4 (ARCILLA BLANDA)
Traslación en eje X (kN/m)	78,602,425	11,923,200	1,824,644	101,056
Traslación en eje Y (kN/m)	78,602,425	11,923,200	1,824,644	101,056
Traslación en eje Z (kN/m)	107,081,565	15,462,277	2,263,805	116,160
Balanceo en eje X (kN*m)	14,239,569,792	2,056,153,846	301,037,946	15,446,777
Balanceo en eje Y (kN*m)	14,353,486,350	2,072,603,077	303,446,250	15,570,352
Torsión en eje Z (kN*m)	17,770,983,100	2,779,920,000	438,311,250	25,703,438

Se realiza la corrección de rigidez por embebimiento, utilizando las ecuaciones 16.

Traslación a lo largo del eje X

$$\beta_x = \left(1 + 0.21 \sqrt{\frac{D}{B}} \right) \left(1 + 1.6 \left(\frac{h * d * (B + L)}{B * L^2} \right)^{0.4} \right) = 1.229$$

Traslación a lo largo del eje Y

$$\beta_y = \left(1 + 0.21 \sqrt{\frac{D}{B}} \right) \left(1 + 1.6 \left(\frac{h * d * (B + L)}{L * B^2} \right)^{0.4} \right) = 1.229$$

Traslación a lo largo del eje Z

$$\beta_z = \left(1 + \frac{1}{21} * \frac{D}{B} * \left(2 + 2.6 * \frac{B}{L} \right) \right) \left(1 + 0.32 * \left(\frac{d * (B + L)}{B * L} \right)^{2/3} \right) = 1.092$$

Balanceo a lo largo del eje X

$$\beta_{xx} = 1 + 2.5 * \frac{d}{B} * \left(1 + \frac{2 * d}{B} * \left(\frac{d}{D} \right)^{-0.2} * \sqrt{\frac{B}{L}} \right) = 1.168$$

Balanceo a lo largo del eje Y

$$\beta_{yy} = 1 + 1.4 * \left(\frac{d}{L} \right)^{0.6} * \left(1.5 + 3.7 * \left(\frac{d}{L} \right)^{1.9} * \left(\frac{d}{B} \right)^{-0.6} \right) = 1.413$$

Torsión a lo largo del eje Z

$$\beta_{zz} = 1 + 2.6 \left(1 + \frac{B}{L} \right) * \left(\frac{d}{B} \right)^{0.9} = 1.413$$

Tabla 21 Resultados de Corrección por Embebimiento (β)

Grado de Libertad	S1 (ROCA)	S2 (ARENA LIMOSA)	S3 (ARCILLA MEDIA)	S4 (ARCILLA BLANDA)
Traslación en eje X (kN/m)	1.229	1.229	1.229	1.229
Traslación en eje Y (kN/m)	1.229	1.229	1.229	1.229
Traslación en eje Z (kN/m)	1.092	1.092	1.092	1.092
Balanceo en eje X (kN*m)	1.168	1.168	1.168	1.168
Balanceo en eje Y (kN*m)	1.413	1.413	1.413	1.413
Torsión en eje Z (kN*m)	1.413	1.413	1.413	1.413

Se calcula una nueva rigidez con la corrección de embebimiento, especificado en la ecuación 17.

Traslación a lo largo del eje X

$$Kx = Kx_{sup} * \beta x = 96,572,792 \text{ kN/m}$$

Traslación a lo largo del eje Y

$$Ky = Ky_{sup} * \beta y = 96,572,792 \text{ kN/m}$$

Traslación a lo largo del eje Z

$$Kz = Kz_{sup} * \beta z = 6,154,475 \text{ kN/m}$$

Balanceo a lo largo del eje X

$$Kxx = Kxx_{sup} * \beta xx = 16,631,817,517 \text{ kN * m}$$

Balanceo a lo largo del eje Y

$$Kyy = Kyy_{sup} * \beta yy = 20,280,838,447 \text{ kN * m}$$

Torsión a lo largo del eje Z

$$Kzz = Kzz_{sup} * \beta zz = 25,116,983,080 \text{ kN * m}$$

Tabla 22 Resultados de Coeficiente de Rigidez Corregido por Embebimiento

Grado de Libertad	S1 (ROCA)	S2 (ARENA LIMOSA)	S3 (ARCILLA MEDIA)	S4 (ARCILLA BLANDA)
Traslación en eje X (kN/m)	96,572,792	14,649,124	2,241,801	124,160
Traslación en eje Y (kN/m)	96,572,792	14,649,124	2,241,801	124,160
Traslación en eje Z (kN/m)	6,154,475	16,885,088	2,472,117	126,849
Balanceo en eje X (kN*m)	16,631,817,517	2,401,587,692	351,612,321	18,041,836
Balanceo en eje Y (kN*m)	20,280,838,447	2,928,496,056	428,756,068	22,000,215
Torsión en eje Z (kN*m)	25,116,983,080	3,929,056,891	619,496,186	36,328,480

Debido a que la ASCE proporciona cálculos para coeficientes de rigidez para una losa de cimentación, se debe distribuir dicha rigidez a lo largo de las columnas, comportándose como zapatas aisladas, tomando en cuenta el área tributaria de cada columna, especificado en la ecuación 18.

$$K_{ex} = K_x \cdot \frac{A_e}{A_t} \cdot \frac{1}{n_e} = 965,727.917 \text{ kN/m}$$

Donde A_e es el área tributaria de las columnas en las esquinas, A_t es el área total de la superficie y n_e es la cantidad de columnas existentes en las esquinas. El proceso se repite para las columnas en los bordes y las columnas internas. Finalmente se ingresan los siguientes resultados en ETABS.

Área Total:

$$A_t = 25m \cdot 25m = 625 \text{ m}^2$$

Área Tributaria para 4 Columnas de Esquina: (ver planos)

$$A_e = 2.5m \cdot 2.5m \cdot 4 \text{ col} = 25m^2$$

Área Tributaria para 16 Columnas de Borde: (ver planos)

$$A_b = 2.5m \cdot 2.5m \cdot 16 \text{ col} = 200 \text{ m}^2$$

Área Tributaria para 16 Columnas Internas: (ver planos)

$$A_i = 5m \cdot 5m \cdot 16 \text{ col} = 400 \text{ m}^2$$

Tabla 23 Resultados de Coeficiente de Rigidez Finales para S1 (ROCA)

Grado de Libertad	Por Esquina	Por Borde	Por Internas
Traslación en eje X (kN/m)	965,728	1,931,456	3,862,912
Traslación en eje Y (kN/m)	965,728	1,931,456	3,862,912
Traslación en eje Z (kN/m)	1,169,350	2,338,700	4,677,401
Balanceo en eje X (kN*m)	166,318,175	332,636,350	665,272,701
Balanceo en eje Y (kN*m)	202,808,384	405,616,769	811,233,538
Torsión en eje Z (kN*m)	251,169,831	502,339,662	1,004,679,323

Tabla 24 Resultados de Coeficiente de Rigidez Finales para S2 (ARENA LIMOSA)

Grado de Libertad	Por Esquina	Por Borde	Por Internas
Traslación en eje X (kN/m)	146,491	292,982	585,965
Traslación en eje Y (kN/m)	146,491	292,982	585,965
Traslación en eje Z (kN/m)	168,851	337,702	675,403
Balanceo en eje X (kN*m)	24,015,877	48,031,754	96,063,508
Balanceo en eje Y (kN*m)	29,284,960	58,569,921	117,139,842
Torsión en eje Z (kN*m)	39,290,569	78,581,138	157,162,276

Tabla 25 Resultados de Coeficiente de Rigidez Finales para S3 (ARCILLA MEDIA)

Grado de Libertad	Por Esquina	Por Borde	Por Internas
Traslación en eje X (kN/m)	22,418	44,846	89,672
Traslación en eje Y (kN/m)	22,418	44,846	89,672
Traslación en eje Z (kN/m)	24,721	49,442	98,885
Balanceo en eje X (kN*m)	3,516,123	7,032,246	14,064,493
Balanceo en eje Y (kN*m)	4,287,561	8,575,121	17,150,243
Torsión en eje Z (kN*m)	6,194,962	12,389,924	24,779,847

Tabla 26 Resultados de Coeficiente de Rigidez Finales para S4 (ARCILLA BLANDA)

Grado de Libertad	Por Esquina	Por Borde	Por Internas
Traslación en eje X (kN/m)	1,242	2,483	4,966
Traslación en eje Y (kN/m)	1,242	2,483	4,966
Traslación en eje Z (kN/m)	1,268	2,537	5,074
Balanceo en eje X (kN*m)	180,418	360,837	721,673
Balanceo en eje Y (kN*m)	220,002	440,004	880,009
Torsión en eje Z (kN*m)	363,285	726,570	1,453,139

5.6 Cargas de Sismo por el Método Estático

$$V = \frac{Z \cdot I \cdot C}{R_w} \cdot W$$

Para calcular el cortante basal de diseño, se obtiene una zona sísmica 5a del mapa del CHOC-08 de Z=0.4.

El W es el peso total de la estructura, obtenida por el programa.

Con un Sistema de Marco Rígido Especial de concreto, se obtiene $R_w=12$ de la tabla 11.

$$C = \frac{1.25 S}{T^{2/3}}$$

El S es el coeficiente de suelo S1 en S=1.0

T es el período obtenido del programa de 1.230491

$$C = \frac{1.25 * 2}{1.230491^{2/3}} = 1.0886$$

$$V = \frac{0.4 * 1 * 1.0866}{12} * 1,935,954.45$$

$$V1 = 70,247.60690 \text{ kgf}$$

Luego, se calcula la fuerza cortante

$$F_x = \frac{(V - Ft) * W_x * H_x}{\sum(W * H)}$$

Tabla 27 Resultados de Fuerza Cortante Sísmica por empotramiento (kgf)

NIVEL DE PISO	S1 (ROCA)	S2 (ARENA LIMOSA)	S3 (ARCILLA MEDIA)	S4 (ARCILLA BLANDA)
5	24,901.56	29,881.87	37,352.34	49,803.12
4	17,004.77	20,405.72	25,507.15	34,009.54
3	13,225.93	15,871.12	19,838.90	26,451.86
2	9,447.09	11,336.51	14,170.64	18,894.187
1	5,668.26	6,801.91	8,502.38	11,336.51
Cortante Basal	70,247.61	84,297.13	105,371.41	140,495.21

Tabla 28 Resultados de Fuerza Cortante Sísmica por ISE (kgf)

NIVEL DE PISO	S1 (ROCA)	S2 (ARENA LIMOSA)	S3 (ARCILLA MEDIA)	S4 (ARCILLA BLANDA)
5	24,891.19	29,799.05	36,740.48	42,738.23
4	16,993.89	20,318.75	24,863.20	26,386.10
3	13,217.47	15,803.47	19,338.05	20,522.52
2	9,441.05	11,288.19	13,812.89	14,658.95
1	5,664.63	6,772.92	8,287.73	8,795.37
Cortante Basal	70,208.23	83,982.37	103,042.35	113,101.17

5.7 Período Fundamental

Tabla 29 Resultados de Período Fundamental (seg)

TIPO DE SUELO	DESCRIPCIÓN	EMPOTRADO	ISE	Diferencia
S1	ROCA -GRAVA	1.23049	1.23153	0%
S2	ARENA LIMOSA	1.23049	1.23742	1%
S3	ARCILLA MEDIA	1.23049	1.27245	3%
S4	ARCILLA BLANDA	1.23049	1.70361	38%

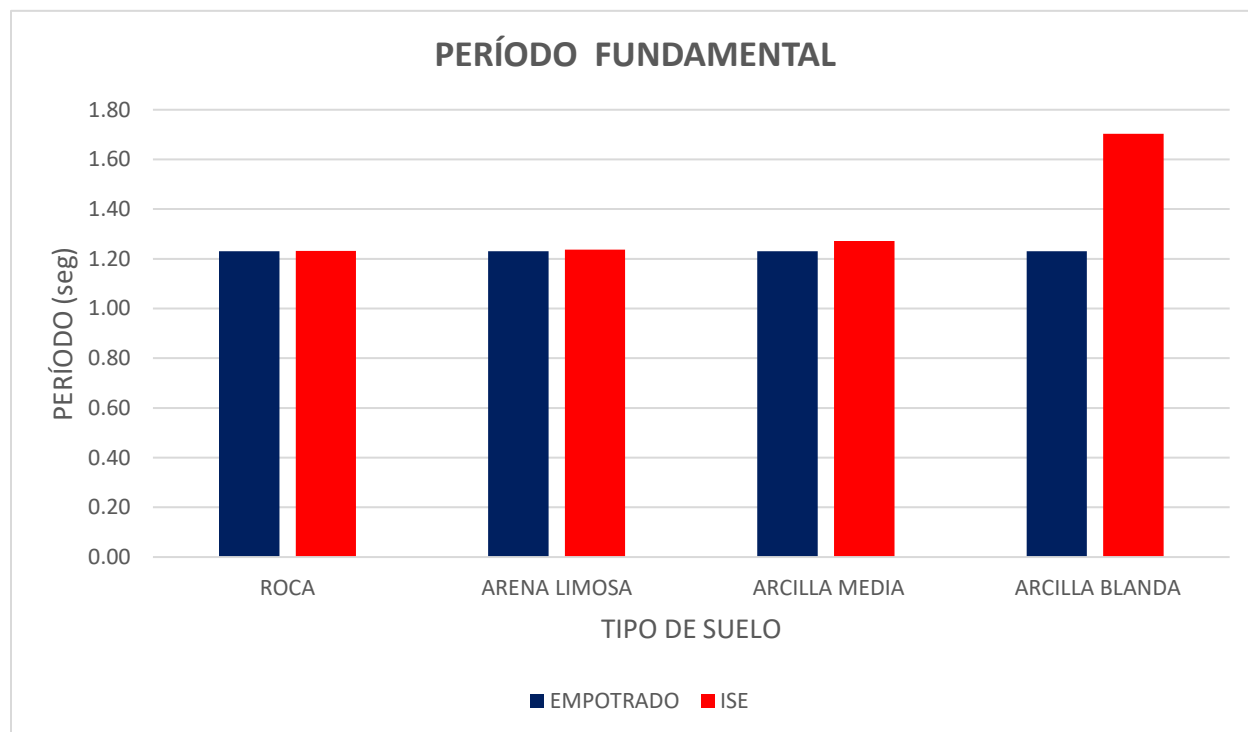


Gráfico 3 Período Fundamental Empotrado vs ISE

El gráfico 3 representa la diferencia existente en los períodos fundamentales según el modelo. Estos períodos fueron obtenidos por el software Etabs. Se puede observar que el período para el modelo empotrado, color azul marino, se mantiene constante en todos los tipos de suelo, sin embargo, el período para el modelo ISE aumenta a medida el suelo es más elástico, observado en la tabla 29. El período para ISE en roca es de 1.2315 segundos. Para una arena limosa, el período en ISE es de 1.2374 segundos, incrementando un 1% en comparación con el modelo empotrado. Para una arcilla media, el período de ISE es de 1.272, incrementando un 3%. Finalmente, para una arcilla blanda, el período en ISE es de 1.704, incrementando un 38%.

5.8 Cortante Basal

Tabla 30 Resultados de Cortante Basal por el Método Estático (kgf)

TIPO DE SUELO	DESCRIPCIÓN	EMPOTRADO	ISE	Diferencia
S1	ROCA -GRAVA	70,247.61	70,208.23	0%
S2	ARENA LIMOSA	84,297.13	83,982.37	0%
S3	ARCILLA MEDIA	105,371.41	103,042.35	2%
S4	ARCILLA BLANDA	140,495.21	113,101.17	24%

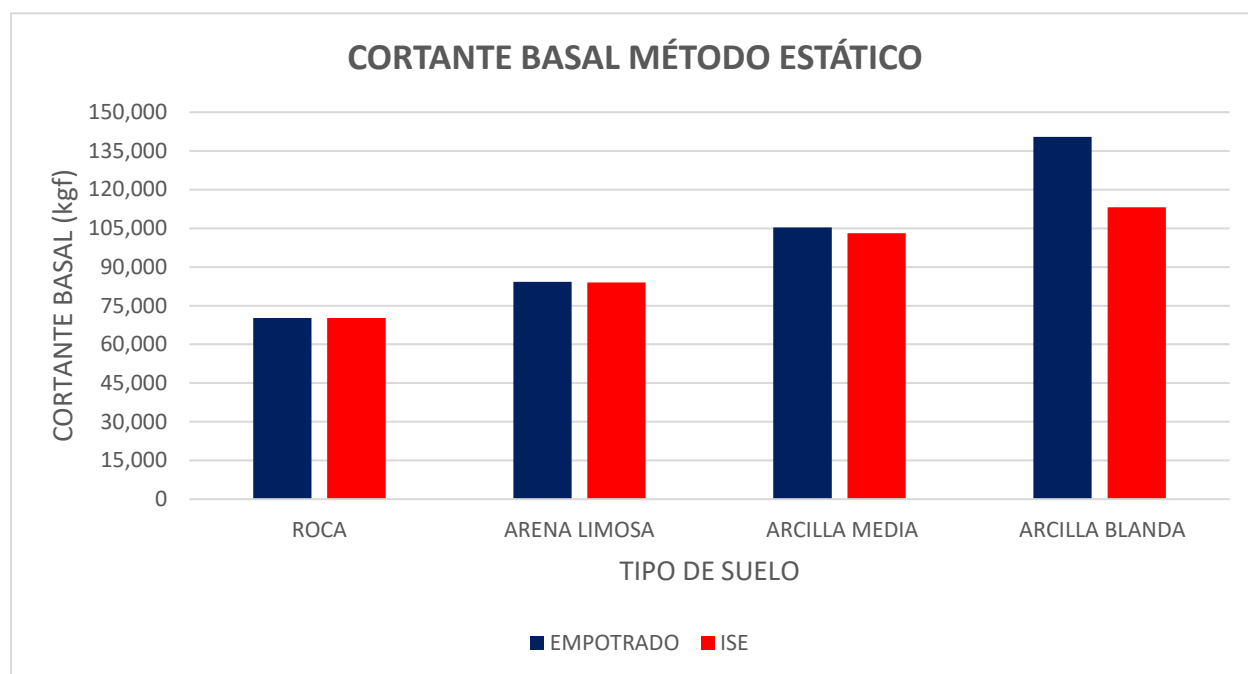


Gráfico 4 Cortante Basal Estático de Empotrado vrs ISE

En la tabla 30 se encuentran los resultados del cortante basal por el método estático para los diferentes tipos de suelo. En esta se puede observar el cortante basal para la ISE disminuye en comparación con el empotrado, como se puede observar en el gráfico 4. Esto es debido a que las propiedades elásticas del suelo proporcionan amortiguación ante la energía de un sismo. El cortante basal para la roca y arena limosa permanece casi constante para ambos modelos, respecto al modelo empotrado. Para la arcilla media existe una disminución de 2%, variando muy poco con respecto al modelo empotrado. Sin embargo, la arcilla blanda sufre una disminución de 24%, respecto a los modelos empotrados.

Tabla 31 Resultados de Cortante Basal por el Método Dinámico (kgf)

TIPO DE SUELO	DESCRIPCIÓN	EMPOTRADO	ISE	Diferencia
S1	ROCA -GRAVA	47,796.00	47,767.00	0%
S2	ARENA LIMOSA	66,602.00	66,319.00	0%
S3	ARCILLA MEDIA	101,332.00	98,560.00	3%
S4	ARCILLA BLANDA	150,716.00	135,066.00	12%

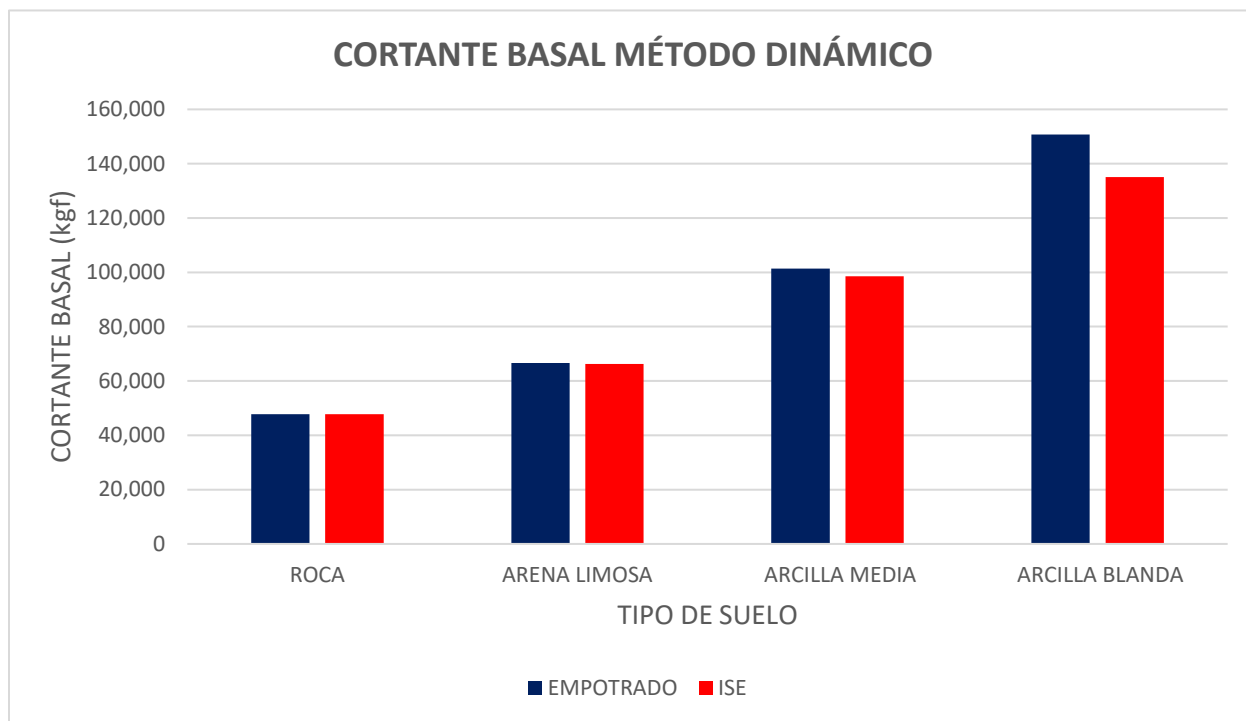


Gráfico 5 Cortante Basal Dinámica de Empotrado vs ISE

Se utilizó el método dinámico para obtener resultados del cortante basal más acertados, considerando los espectros de respuesta, indicados en la tabla 31. Comparando los suelos por el método dinámico, el cortante basal se ve más afectado en los suelos arcillosos, como se observa en el gráfico 5. Se observa que, para roca y arena limosa, el cortante basal por el método dinámico es casi el mismo en comparación con el empotrado. Para la arcilla media disminuye un 3% y arcilla blanda disminuye un 12%, en comparación con el empotramiento.

Comparando el cortante basal por el método estático del apoyo empotrado con el cortante basal por el método dinámico del ISE, se observó en el gráfico 6 que se mantiene el mismo comportamiento para todos los suelos. Todos los apoyos con ISE disminuyen respecto a los apoyos empotrados.

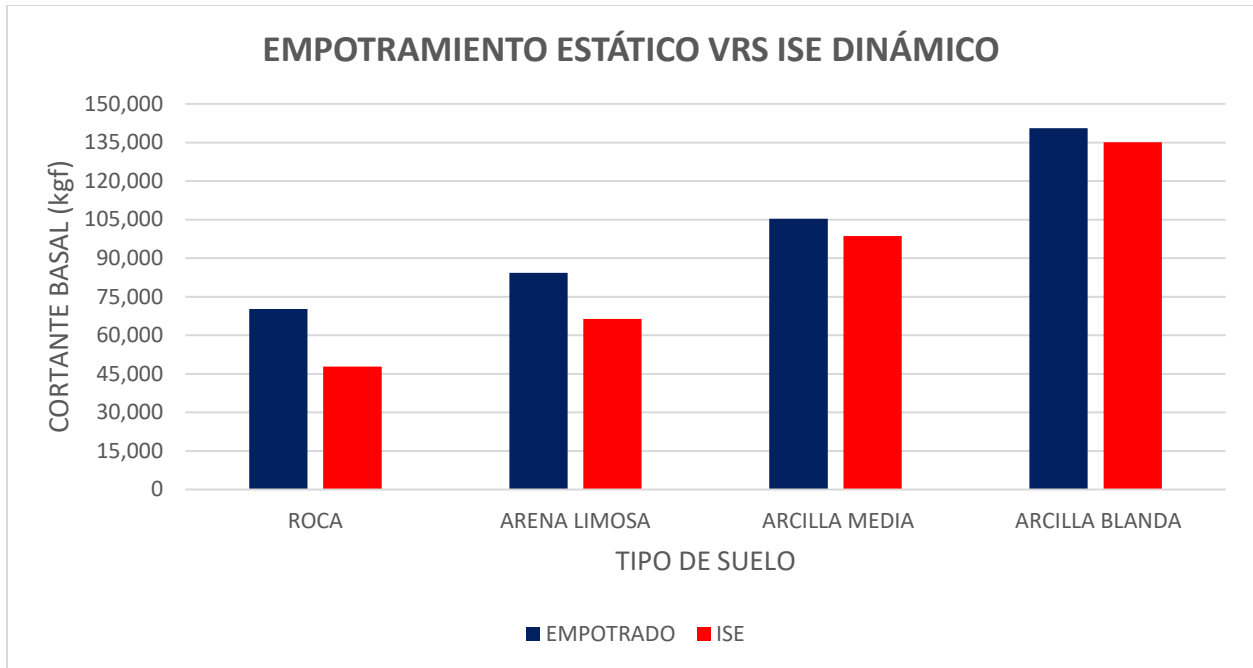


Gráfico 6 Cortante Basal Empotrado Estático vrs ISE Dinámico

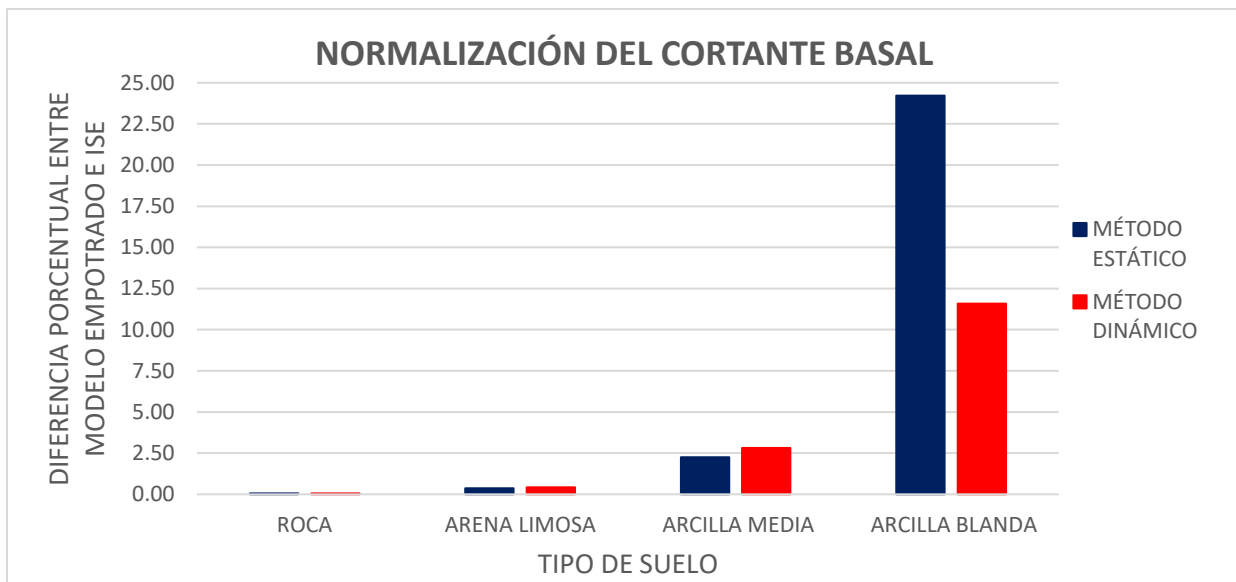


Gráfico 7 Normalización del Cortante Basal

En el gráfico 7, se normalizó el valor del cortante basal con respecto al modelo empotrado. En este se puede apreciar que la diferencia porcentual del método estático y el método dinámico, observado en una roca y arena limosa, es bastante baja. Para una arcilla media, la diferencia porcentual es de 2.5% y para una arcilla blanda, la diferencia del método estático es de 24% y del método dinámico es de un 11.5%, aproximadamente.

5.9 Desplazamiento Lateral Relativo (Deriva)

Tabla 32 Resultados de Deriva en Eje X para S1 (Roca)

NIVEL DE PISO	ELEVACIÓN	CHOC 0.03/Rw	DERIVA EMPOTRADO	RESTRICCIÓN	DERIVA ISE	RESTRICCIÓN
5	15	0.0025	0.00060715	Cumple	0.00060805	Cumple
4	12	0.0025	0.00095831	Cumple	0.00095905	Cumple
3	9	0.0025	0.00119732	Cumple	0.00119780	Cumple
2	6	0.0025	0.00136943	Cumple	0.00136962	Cumple
1	3	0.0025	0.00106657	Cumple	0.00106607	Cumple
BASE	0	0.0025	0		0	

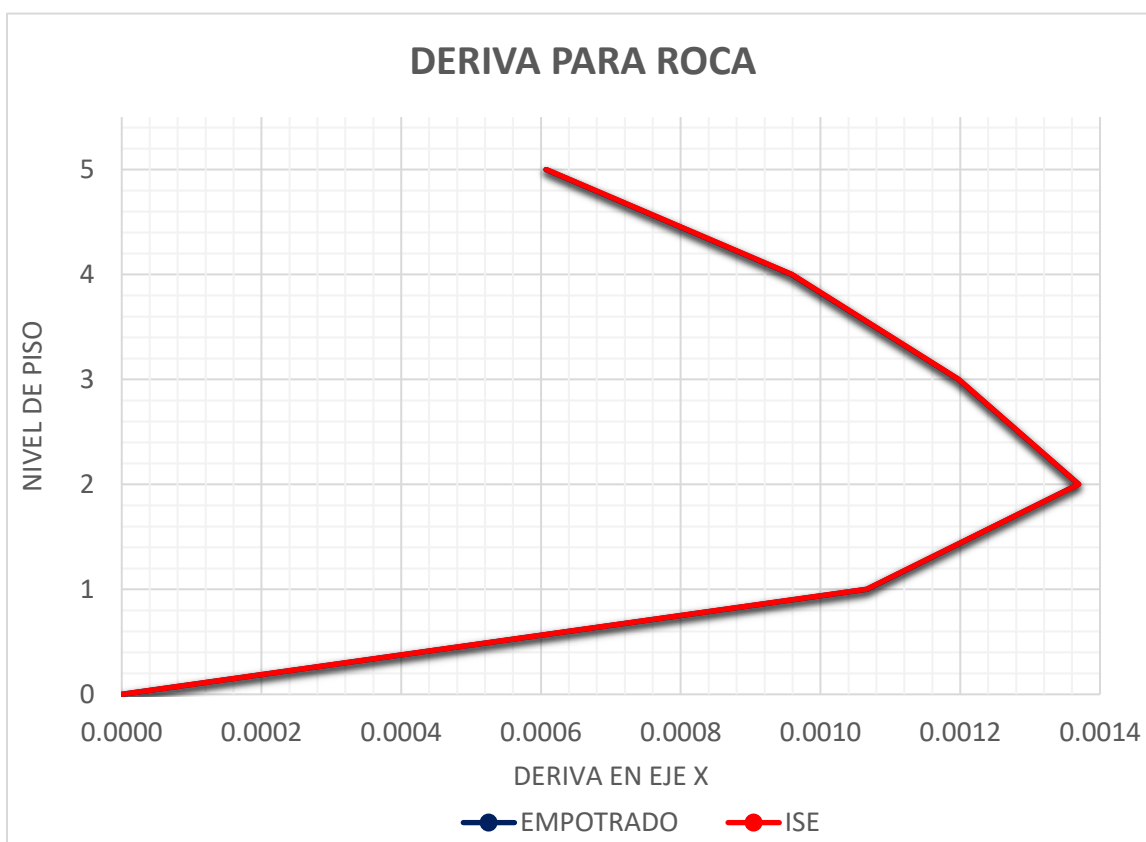


Gráfico 8 Deriva para S1 (Roca)

En el gráfico 8 se observa que la deriva para empotramiento y para ISE es la misma. Indicando que no es necesario considerar la Interacción Suelo-Estructura para un suelo estable. Se observa en la tabla 32 que al comparar la deriva con la restricción del CHOC (2008), cumplen para todos los niveles del edificio, indicando que la rigidez de la estructura es la adecuada.

Tabla 33 Resultados de Deriva en Eje X para S2 (Arena Limosa)

NIVEL DE PISO	ELEVACIÓN	CHOC 0.03/Rw	DERIVA EMPOTRADO	RESTRICCIÓN	DERIVA ISE	RESTRICCIÓN
5	15	0.0025	0.000782	Cumple	0.00079196	Cumple
4	12	0.0025	0.00131013	Cumple	0.00131775	Cumple
3	9	0.0025	0.00170467	Cumple	0.00170926	Cumple
2	6	0.0025	0.0019589	Cumple	0.00196094	Cumple
1	3	0.0025	0.00149877	Cumple	0.00149433	Cumple
BASE	0	0.0025	0		0	

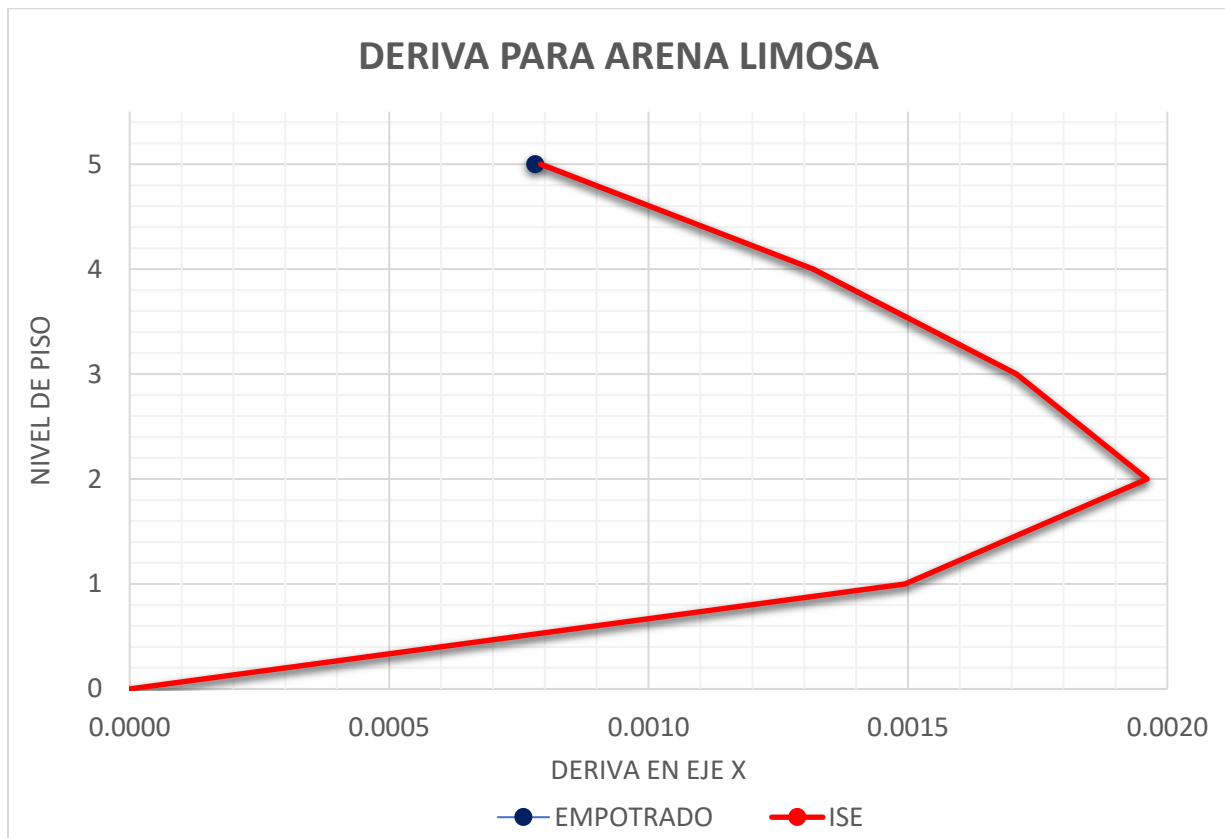


Gráfico 9 Deriva para S2 (Arena Limosa)

Para el S2-Arena Limosa, la deriva cumple con la restricción para todos los niveles, observado en la tabla 33. A su vez, en el gráfico 9 se observa que, pero la tendencia varía a partir del segundo nivel. Para el ISE, la deriva incrementa un poco. Sin embargo, se concluye que tampoco es crítico considerar la Interacción Suelo-Estructura, dado que no hay mayor cambio en sus deformaciones.

Tabla 34 Resultados de Deriva en Eje X para S3 (Arcilla Media)

NIVEL DE PISO	ELEVACIÓN	CHOC 0.03/Rw	DERIVA EMPOTRADO	RESTRICCIÓN	DERIVA ISE	RESTRICCIÓN
5	15	0.0025	0.00109947	Cumple	0.00119257	Cumple
4	12	0.0025	0.00195482	Cumple	0.00202062	Cumple
3	9	0.0025	0.00264192	No Cumple	0.00268141	No Cumple
2	6	0.0025	0.00304489	No Cumple	0.00306349	No Cumple
1	3	0.0025	0.00229552	Cumple	0.00225267	Cumple
BASE	0	0.0025	0		0	

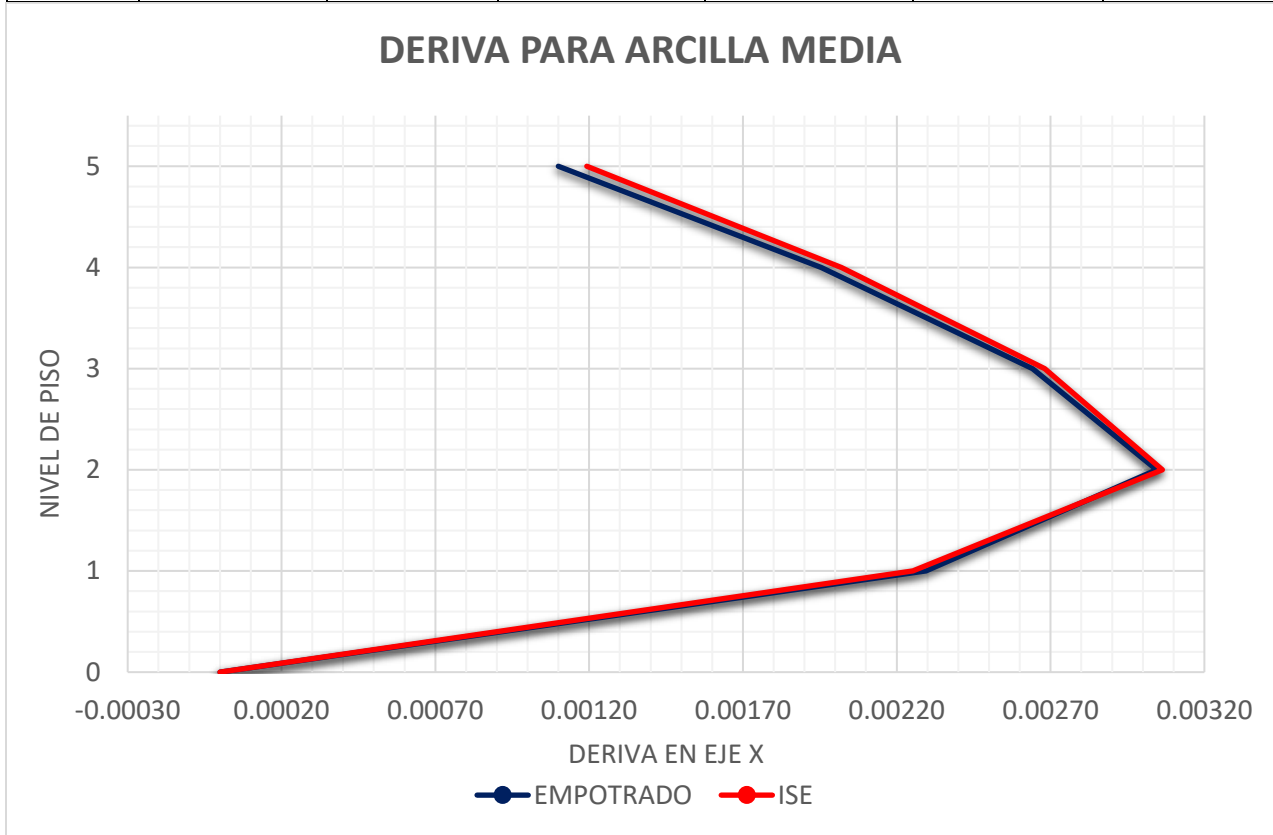


Gráfico 10 Deriva para S3 (Arcilla Media)

Para el S3-Arcilla Media, la deriva no cumple en los niveles 2 y 3, indicando que las deformaciones máximas son mayores a las permitidas, observadas en la tabla 34; la estructura debería ser más rígida. En este tipo de suelo se observa que las derivas sufren un cambio mínimo a partir del nivel 1, ver gráfico 10, en el cual para el ISE aumenta un poco.

Tabla 35 Resultados de Deriva en Eje X para S4 (Arcilla Blanda)

NIVEL DE PISO	ELEVACIÓN	CHOC 0.03/Rw	DERIVA EMPOTRADO	RESTRICCIÓN	DERIVA ISE	RESTRICCIÓN
5	15	0.0025	0.0015749	Cumple	0.0032389	No Cumple
4	12	0.0025	0.0028848	No Cumple	0.0043595	No Cumple
3	9	0.0025	0.00395998	No Cumple	0.005278	No Cumple
2	6	0.0025	0.00456971	No Cumple	0.0057267	No Cumple
1	3	0.0025	0.00342401	No Cumple	0.0043606	No Cumple
BASE	0	0.0025	0		0	

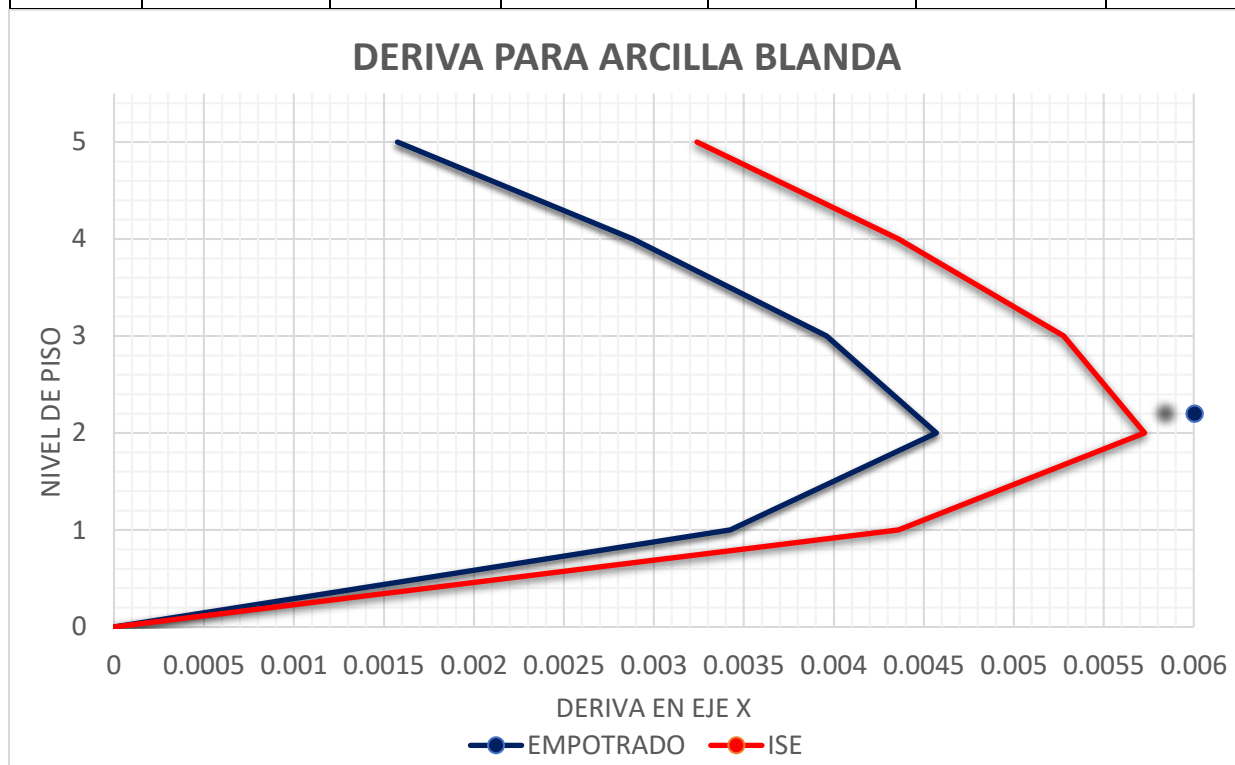


Gráfico 11 Deriva para S4 (Arcilla Blanda)

Para el suelo S4-Arcilla Blanda, la deriva no cumple con la restricción del CHOC en un 90%, ver tabla 35. Esto indica que la estructura debe hacerse más rígida, es decir, aumentar la sección transversal de las columnas y su refuerzo. Para el S4 es vital considerar la Interacción Suelo-Estructura, porque este tipo de suelo, arcilla, genera respuestas más grandes en la estructura por su elasticidad, como se observa en el gráfico 11.

5.10 Deformaciones Laterales

5.10.1 DEFORMACIONES LATERALES POR TIPO DE SUELO

Tabla 36 Resultados de Deformación en Eje X para S1 (Roca)

NIVEL DE PISO	ELEVACIÓN	EMPOTRADO (cm)	ISE (cm)
5	15	1.46430905	1.465643572
4	12	1.31862905	1.319630517
3	9	1.06670362	1.067480663
2	6	0.72644646	0.7270963
1	3	0.31997006	0.320576107
BASE	0	0	0.001219164



Gráfico 12 Deformación para S1 (Roca)

Para las rocas, se descubrió que las deformaciones son bastante similares entre apoyos, como se observa en el gráfico 12. La tabla 36 indica que la deformación máxima para la roca es de 1.464 cm para modelo empotrado y 1.465 cm para ISE. La variación es de 0.0013cm. La ilustración 12 representa la deformación para la ISE otorgado por el software ETABS, y la ilustración 13 representa la deformación de empotramiento para la roca, otorgado por el software ETBAS.

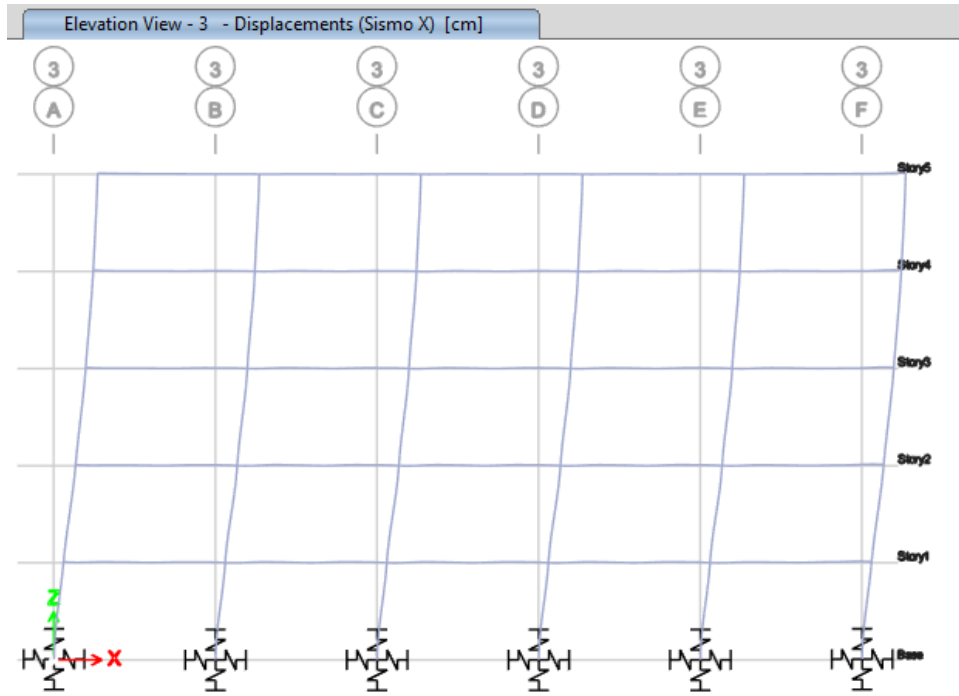


Ilustración 12 Deformación de ISE para S1

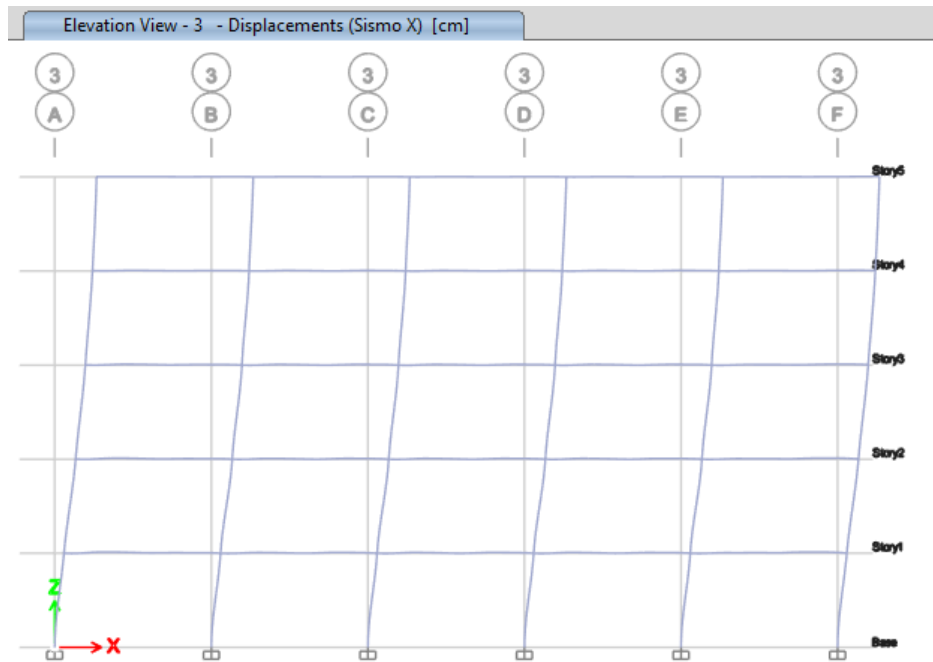


Ilustración 13 Deformación de Empotramiento para S1

Tabla 37 Resultados de Deformación en Eje X para S2 (Arena Limosa)

NIVEL DE PISO	ELEVACIÓN	EMPOTRADO (cm)	ISE (cm)
5	15	2.09545408	2.108145101
4	12	1.892505	1.90194496
3	9	1.52979479	1.537092507
2	6	1.03394745	1.040052386
1	3	0.44963158	0.45521956
BASE	0	0	0.01090028



Gráfico 13 Deformación para S2 (Arena Limosa)

Para la arena limosa (S2), se observa en el gráfico 13, que las deformaciones comienzan a variar. La deformación máxima es de 2.095 cm para modelo empotrado y 2.1081 cm para ISE. La diferencia es de 0.0127 cm, como se puede ver en la tabla 37. La ilustración 14 representa la deformación para ISE de la arena limosa y la ilustración 15 representa la deformación de empotramiento.

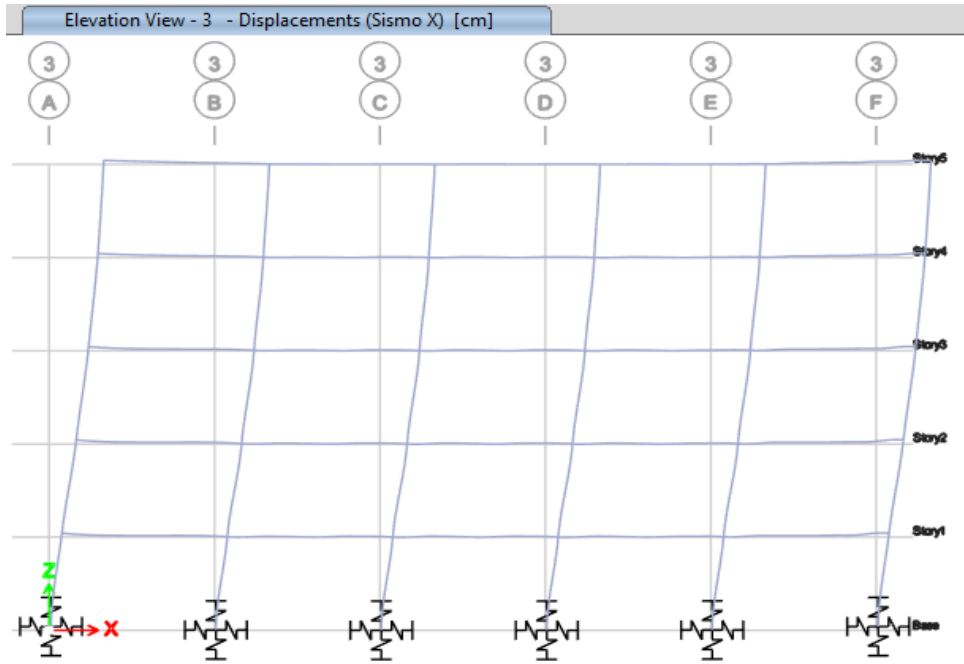


Ilustración 14 Deformación de ISE para S2

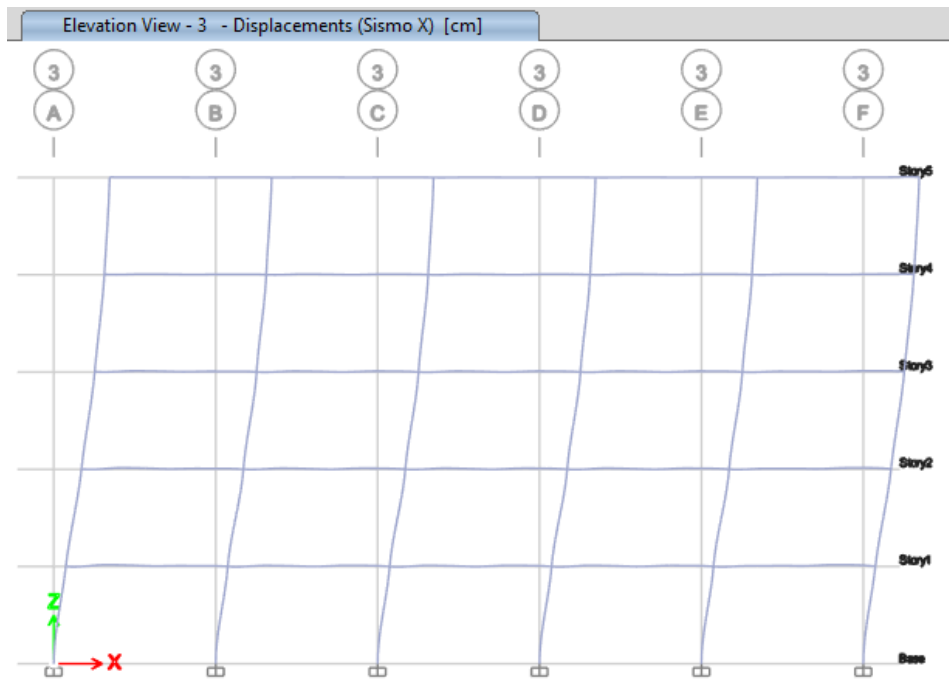


Ilustración 15 Deformación de Empotramiento para S2

Tabla 38 Resultados de Deformación en Eje X para S3 (Arcilla Media)

NIVEL DE PISO	ELEVACIÓN	EMPOTRADO (cm)	ISE (cm)
5	15	3.25758851	3.37498754
4	12	2.94924359	3.037649783
3	9	2.38257222	2.451826824
2	6	1.59998537	1.658159215
1	3	0.68865687	0.741681407
BASE	0	0	0.095283793

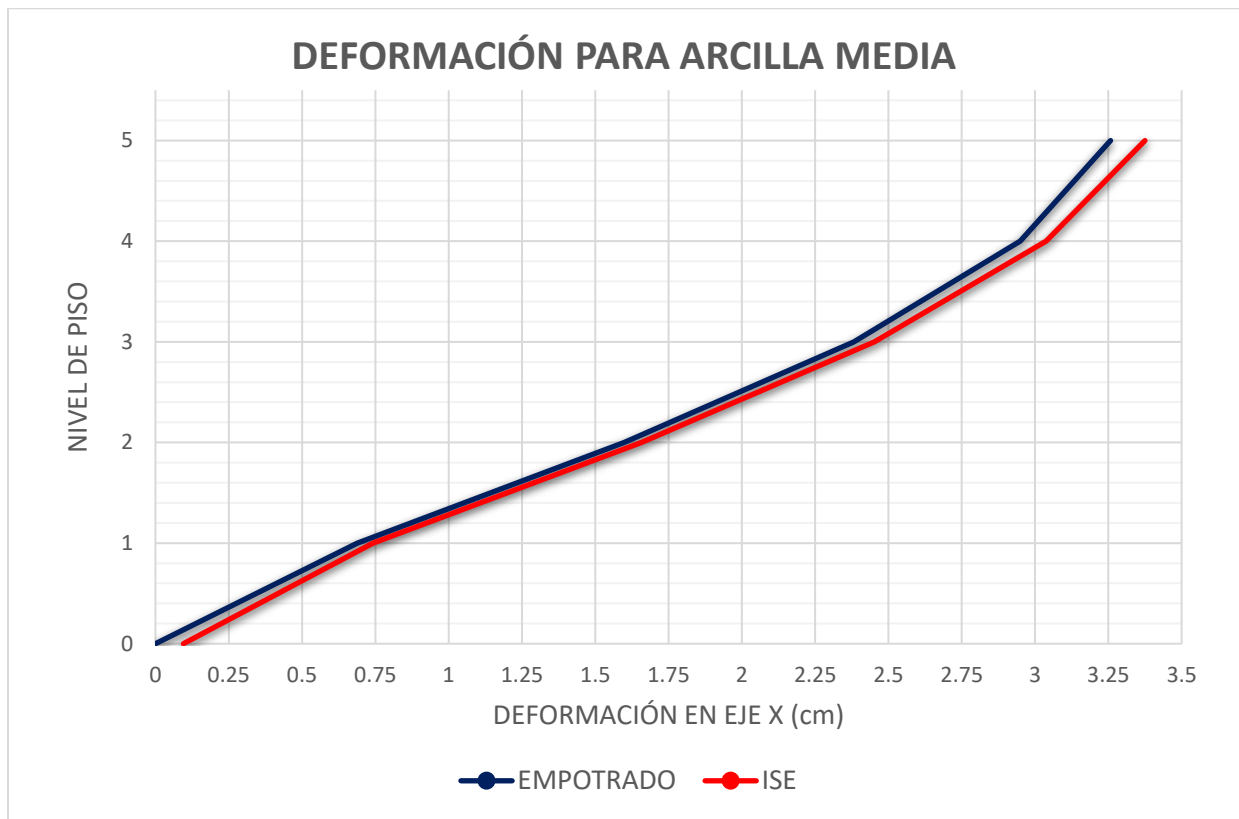


Gráfico 14 Deformación para S3 (Arcilla Media)

Para la arcilla media se comenzó a detectar una diferencia significativa en la deformación, como se observa en la gráfica 14. La deformación máxima es de 3.258 cm para modelo empotrado y 3.375 cm para ISE. La diferencia es de 0.1174 cm, planteado en la tabla 38. La ilustración 16 representa la deformación de ISE, en la que se puede observar el desplazamiento existen en la base y la ilustración 17 representa la deformación por empotramiento en el cual la base no se mueve.

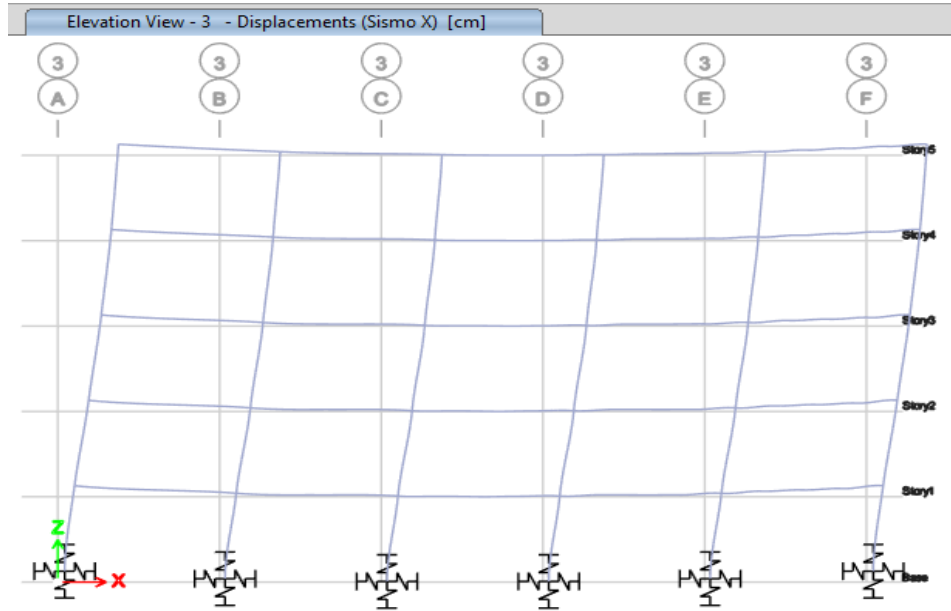


Ilustración 16 Deformación de ISE para S3

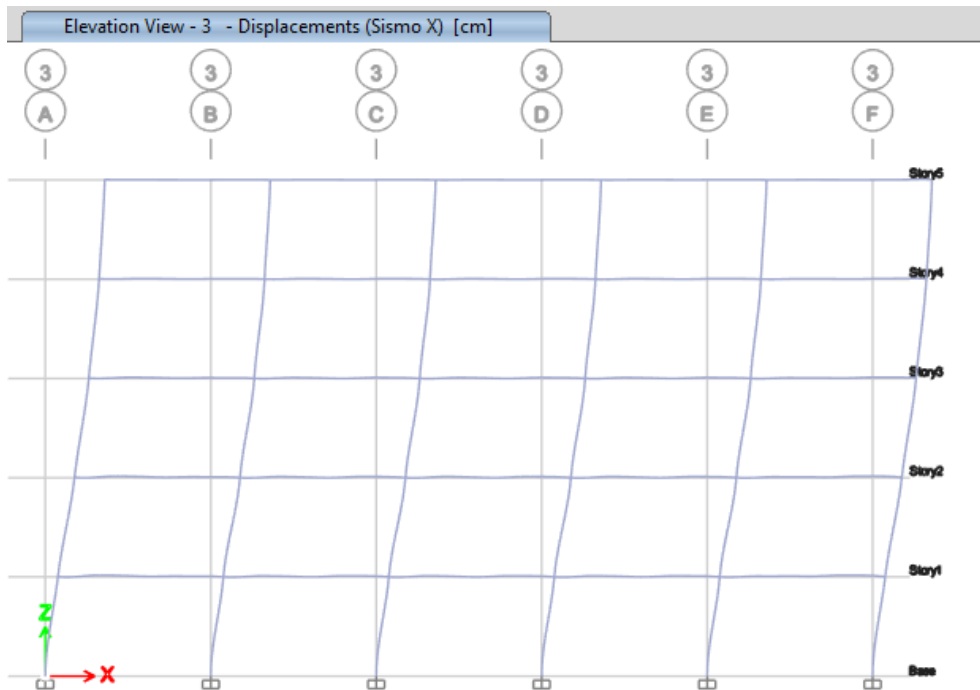


Ilustración 17 Deformación de Empotramiento para S3

Tabla 39 Resultados de Deformación en Eje X para S4 (Arcilla Blanda)

NIVEL DE PISO	ELEVACIÓN	EMPOTRADO (cm)	ISE (cm)
5	15	4.88904349	7.9840588
4	12	4.43064028	7.0220556
3	9	3.57842294	5.728882
2	6	2.39685375	4.1574038
1	3	1.0272021	2.4460542
BASE	0	0	1.4832098

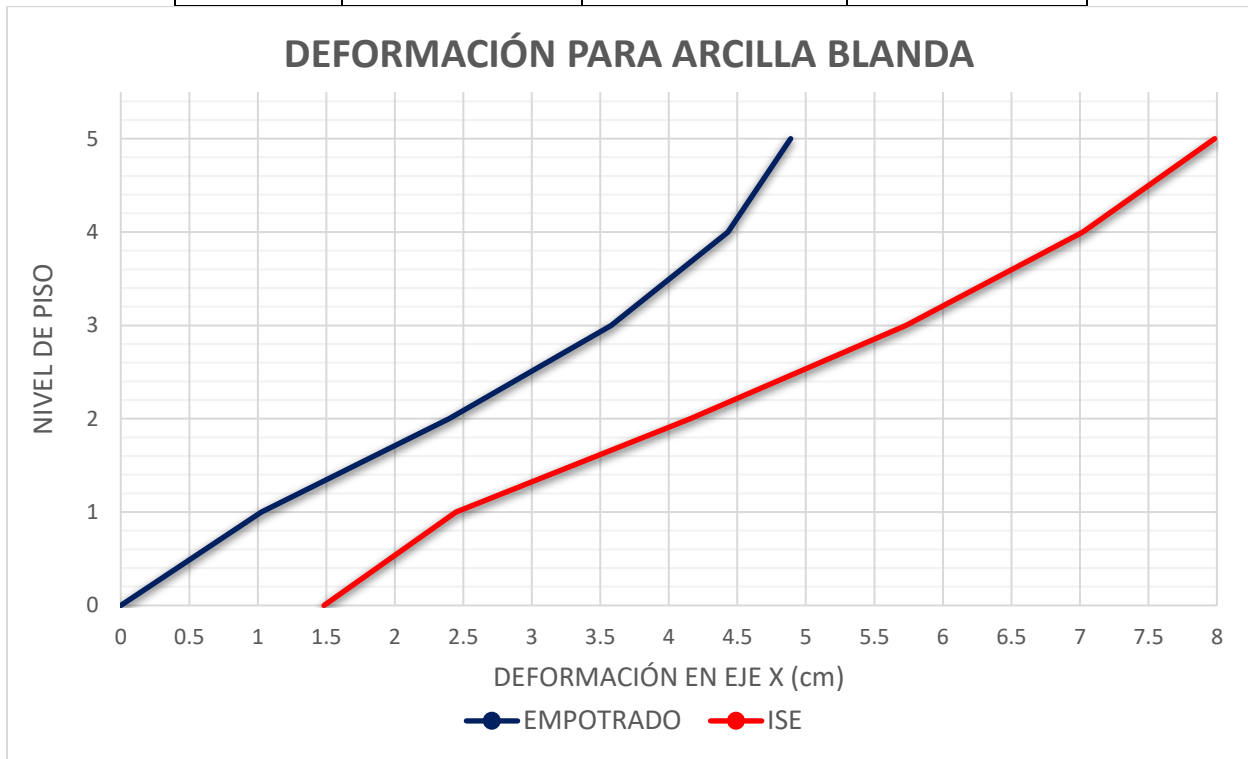


Gráfico 15 Deformación para S4 (Arcilla Blanda)

Para la arcilla blanda si hubo una diferencia significativa en la deformación, como se observa en la gráfica 15. La deformación máxima es de 4.89 cm para modelo empotrado y 7.98 cm para ISE con una diferencia de 3.09 cm, indicado en la tabla 39. Dada diferencia encontrada, se indica que sí es crítico considerar la interacción suelo-estructura para este tipo de suelo. En la ilustración 18 se observa que la deformación para ISE comienza desde la base, sin embargo, en la ilustración 19 se observa que la deformación en la base por empotramiento es nula.

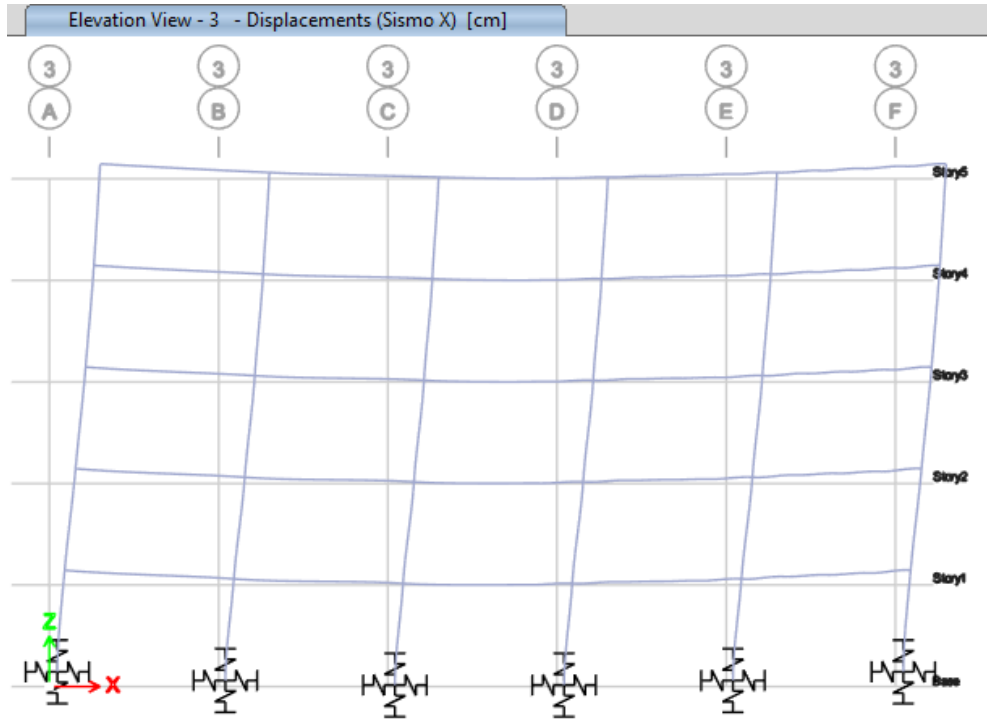


Ilustración 18 Deformación de ISE para S4

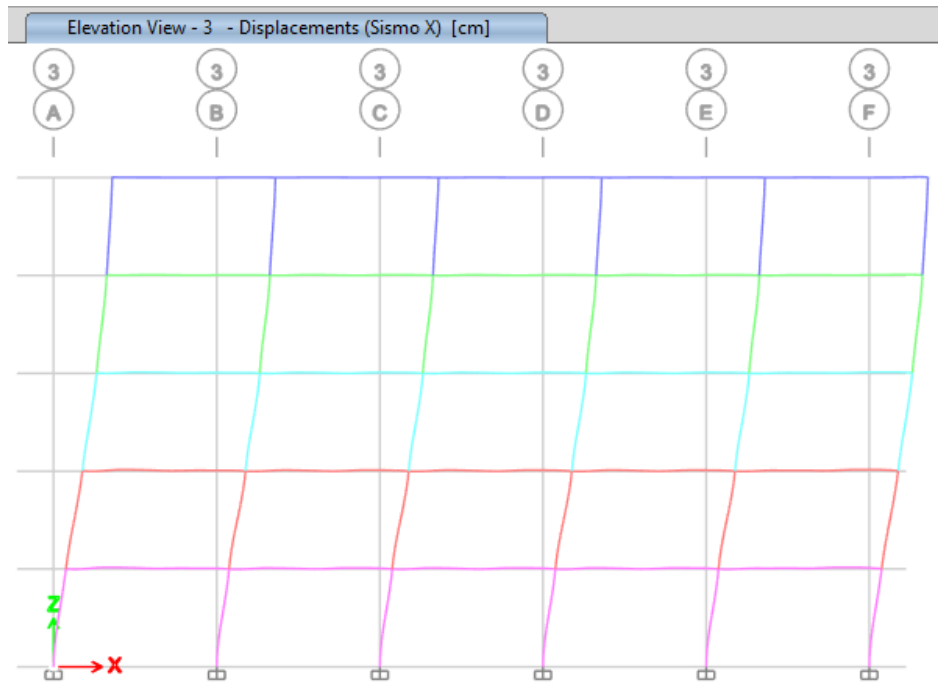


Ilustración 19 Deformación de Empotramiento para S4

5.10.2 DEFORMACIONES LATERALES POR TIPO DE APOYO

Tabla 40 Resultados de Deformaciones con Apoyo Empotrado (cm)

NIVEL DE PISO	S1 ROCA	S2 ARENA LIMOSA	S3 ARCILLA MEDIA	S4 ARCILLA BLANDA
5	1.464309049	2.095454076	3.25758851	4.889043487
4	1.31862905	1.892505	2.94924359	4.430640282
3	1.066703615	1.529794793	2.38257222	3.578422938
2	0.726446462	1.033947448	1.59998537	2.396853749
1	0.319970064	0.449631577	0.68865687	1.027202104
BASE	0	0	0	0

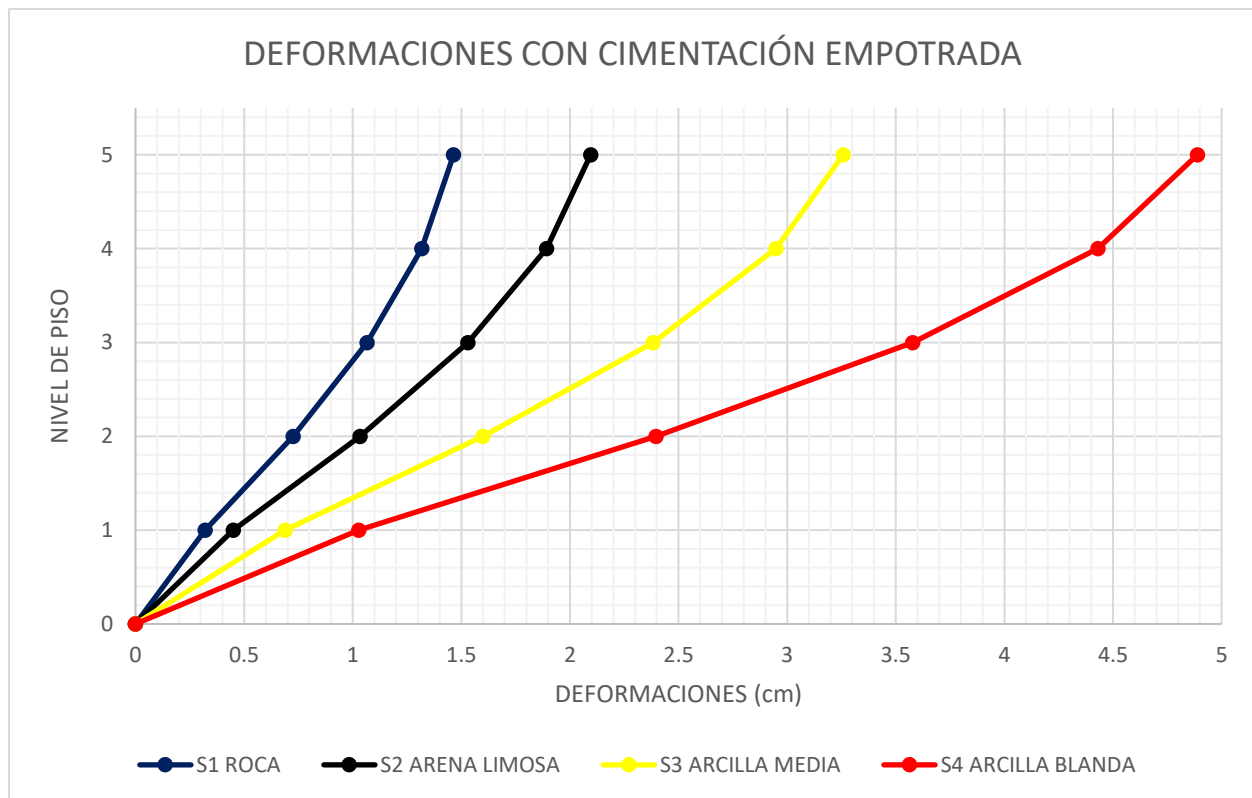


Gráfico 16 Deformaciones con Apoyo Empotrado

Se compararon las deformaciones por tipo de apoyo y se observó que la que más se deforma por la cimentación empotrada es el suelo S4, arcilla blanda, con 4.89 cm, siguiéndole la arcilla media con 3.26 cm de deformación, como se observa en el gráfico 16 e indica en la tabla 40.

Tabla 41 Resultados de Deformaciones con Interacción Suelo-Estructura (cm)

NIVEL DE PISO	S1 ROCA	S2 ARENA LIMOSA	S3 ARCILLA MEDIA	S4 ARCILLA BLANDA
5	1.46564357	2.1081451	3.37498754	7.9840588
4	1.31963052	1.90194496	3.03764978	7.0220556
3	1.06748066	1.53709251	2.45182682	5.728882
2	0.7270963	1.04005239	1.65815921	4.1574038
1	0.32057611	0.45521956	0.74168141	2.4460542
BASE	0.00121916	0.01090028	0.09528379	1.4832098

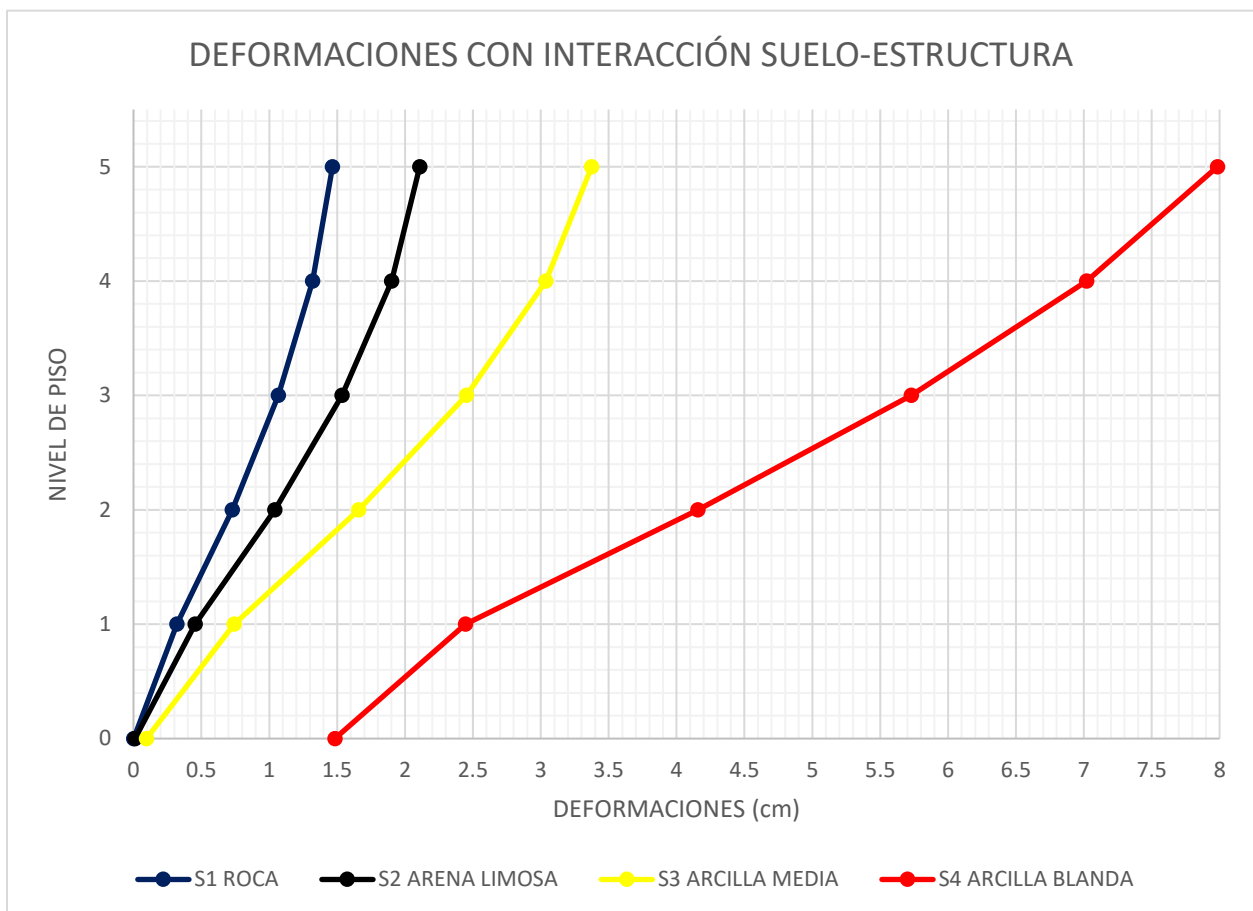


Gráfico 17 Deformaciones con Interacción Suelo-Estructura

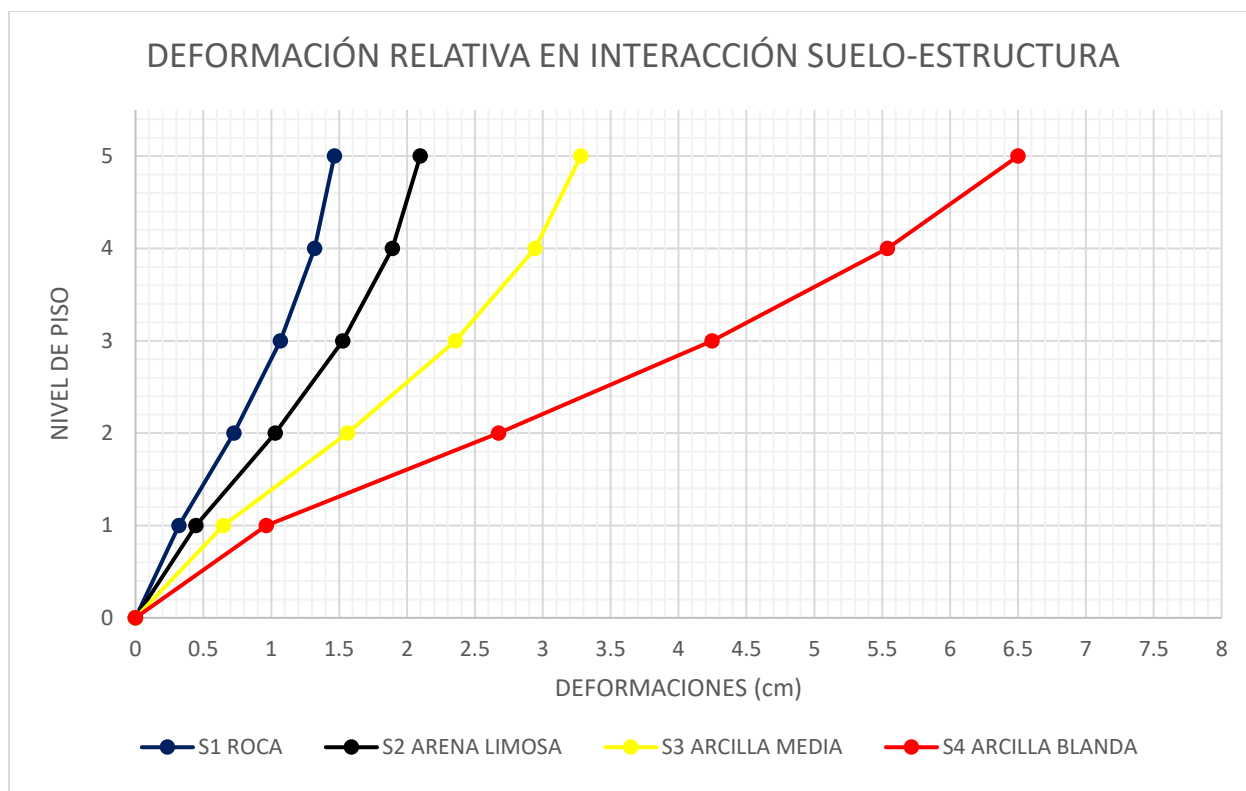


Gráfico 18 Deformaciones relativas con Interacción Suelo-Estructura

A su vez, comparando las deformaciones con Interacción Suelo-Estructura, el suelo S4, arcilla blanda, sufre una deformación de 7.98 cm, indicados en la tabla 41, siguiéndole la arcilla media de 3.37 cm. Las deformaciones para los suelos arcillosos son significativas en comparación con los demás suelos, como se observa en el gráfico 17. El gráfico 18 es sobre las deformaciones relativas en el método de interacción suelo-estructura. En este se desprecia la deformación existente en la base, tomando las deformaciones de la base comenzando todas en cero. De esta manera, la deformación máxima para el suelo S4 es de 6.5 cm y para un suelo S3 es de 3.28 cm.

5.10.3 DEFORMACIONES LATERALES MÁXIMAS

Tabla 42 Resultados de Deformaciones Máximas (cm)

TIPO DE SUELO	DESCRIPCIÓN	EMPOTRADO	ISE	Diferencia
S1	ROCA -GRAVA	1.464	1.466	0%
S2	ARENA LIMOSA	2.095	2.108	1%
S3	ARCILLA MEDIA	3.258	3.375	4%
S4	ARCILLA BLANDA	4.889	7.984	63%

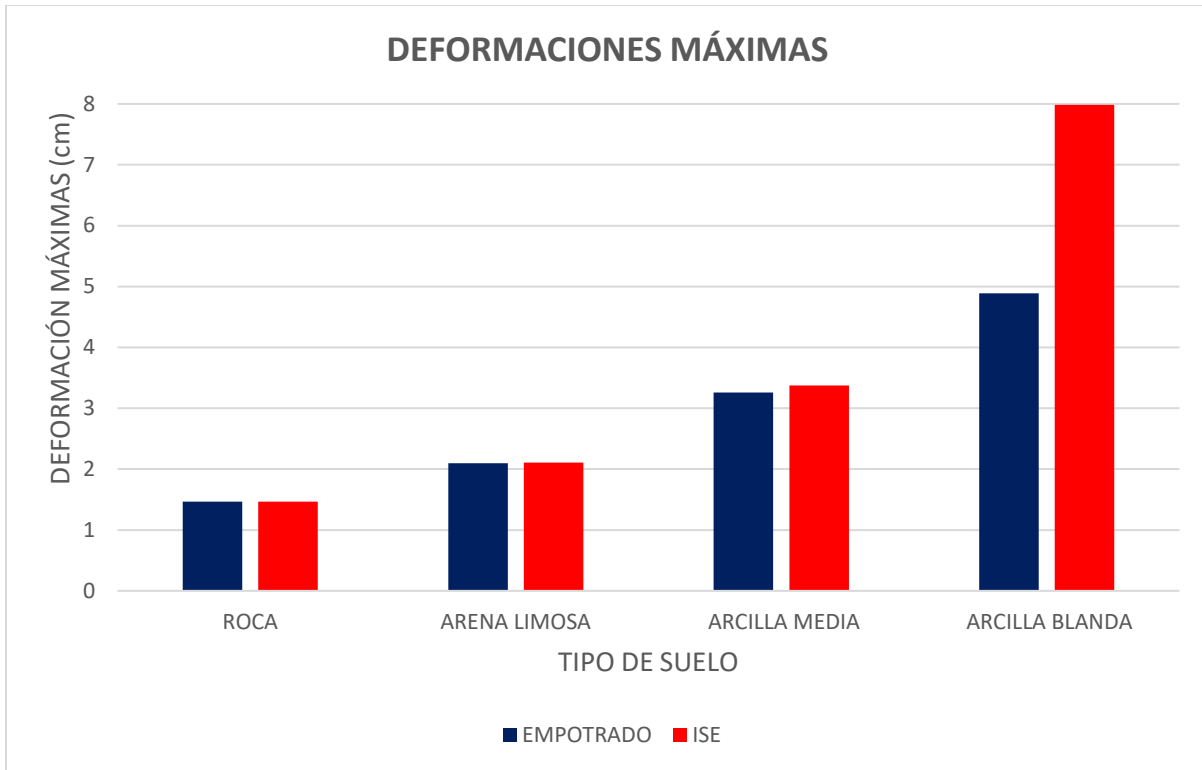


Gráfico 19 Deformaciones Máximas

Observando la tabla 42, en la cual se comparan las deformaciones máximas de todos los suelos y ambos sistemas estudiados, se determina que, para la roca, la diferencia de deformaciones es 0%, para la arena limosa es de un 1%. Estas diferencias en la deformación representan que es poca la deformación al considerar la Interacción Suelo-Estructura. para una arcilla media la diferencia de deformaciones máximas entre tipos de apoyo es de 4%. Sin embargo, para una arcilla blanda, la diferencia de deformaciones máximas entre tipos de apoyo es de 63%. Esta diferencia es elevada, lo cual indica que si es crítico considerar la interacción Suelo-Estructura. A su vez, en el gráfico 19 se observa que al considerar la interacción suelo-estructura, para cualquier tipo de suelo, su deformación aumenta. Esto es porque considera la elasticidad y los movimientos del suelo, y al considerar un empotramiento, está restringiendo los movimientos de la estructura.

VI. CONCLUSIONES

Se realizó una modelación de apoyo con cimentación empotrada perfecta y con Interacción Suelo-Estructura por tipo de suelo clasificado según el Código Hondureño de la Construcción (S1, S2, S3 y S4). Dado que el CHOC (2008) no especifica con claridad las características de los suelos, se tomaron las descripciones y se escogieron los suelos más certeros para dichas descripciones. Para S1 se obtuvo un suelo de roca o grava, para S2 una arena limosa, S3 una arcilla media y S4 una arcilla blanda. Con ello, se obtuvieron las densidades del suelo de "Earth Manual" (1998), las velocidades de onda que no especifica el CHOC se obtuvieron de "NEHRP", y los coeficientes de Poisson de obtuvieron de "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica" (2015).

Todos estos factores son fundamentales para el cálculo de los coeficientes de rigidez. Los coeficientes de rigidez para roca son mayores que los demás tipos de suelos, teniendo la arcilla blanda los coeficientes de rigidez más pequeños, porque las propiedades elásticas del suelo proporcionan amortiguación ante la energía de un sismo.

El período fundamental de una estructura, depende directamente de la restricción en los apoyos. Dada que la estructura estudiada es la misma para los modelos empotrados, el periodo permanece constante con 1.231 segundos. Este resultado se da, ya que el programa con los modelos empotrados, no considera las propiedades dinámicas del suelo. Sin embargo, para los modelos considerando la interacción suelo-estructura, las articulaciones en los apoyos si consideran las propiedades dinámicas del suelo y mientras más elástico sea el suelo, mayor es el periodo fundamental.

El cortante basal se calculó por medio de dos métodos: el estático y el dinámico. Se concluyó que, las diferencias entre los modelos aumentan a medida el suelo es más elástico y sin importar el método utilizado, el comportamiento es el mismo. No obstante, con el método dinámico se obtienen resultados más reales dado que considera los espectros de respuesta, formados por acelerogramas, que dependen del tipo de suelo.

Los desplazamientos laterales relativos (la deriva) son los desplazamientos entre su altura. Estos se compararon con la restricción del CHOC (2008) de $0.03/R_w$ (reducción de respuesta). Para los suelos S1 y S2, las derivas cumplen con toda la estructura. Sin embargo, para S3 y S4, no cumplen en un 40% y 90%, respectivamente de la estructura. Esto indica que se debe aumentar la rigidez de la estructura, es decir, la sección transversal de la columna y su refuerzo. A su vez, se compararon las deformaciones de la estructura y se concluyó que la deformación para un suelo arcilloso blando aumenta significativamente, concluyendo que si es crítico considerar la interacción suelo-estructura en nuestras edificaciones.

VII. RECOMENDACIONES

Dada la circunstancia actual del país y debido al confinamiento decretado por el gobierno a nivel nacional por la pandemia del COVID 19, no es posible realizar pruebas de campo, por ello, se obtuvieron los datos del suelo de libros u otras investigaciones. Se recomienda obtener pruebas de campo y realizar un estudio exhaustivo de diferentes tipos de suelos para así continuar con el estudio tomando en cuenta datos reales.

Se procuró seguir con los requerimientos mínimos estipulados por el CHOC, pero existen ciertos parámetros no estipulados en el mismo, como las especificaciones del tipo de suelo y velocidad de onda para el coeficiente de suelo, por ello, se recomienda trabajar con un código que involucre todo lo necesario para realizar un estudio de tal magnitud.

Realizar los modelos en otros programas y comparar las respuestas y resultados en dos diferentes programas.

Comparar los resultados obtenidos por el CHOC (2008) con un código internacional.

Realizar esta investigación comparando diferentes zonas sísmicas del país con edificaciones de diferentes alturas y diferentes ocupaciones. Observar las respuestas con una misma estructura.

Se recomienda hacer dicha investigación con edificios existentes en el país, realizando el estudio de suelos correspondientes, tomando todos los parámetros lo más real posible.

No quedarse en la etapa de predimensionamiento, sino, evaluar los edificios y según sea necesario, adecuar sus dimensiones. Con las dimensiones de cada edificio, se puede obtener un costo de cada uno, y realizar una investigación más amplia, tomando en cuenta el costo de construcción de dicha estructura.

Considerar y analizar el bloque de gradas dentro de la misma estructura.

VIII. APLICABILIDAD/IMPLEMENTACIÓN

La investigación realizada ayuda a entender la respuesta de un edificio hacia diferentes condiciones de cimentación y suelo. De acuerdo a los resultados y las conclusiones de la investigación se pudo demostrar la importancia de modificar algunos criterios utilizados para el diseño o la revisión del diseño de las estructuras por construir. Los conceptos expuestos se pueden implementar especialmente en las obras que están construidas en suelos arcilloso como ser suelo tipo S3 y S4 según el Código Hondureño de la Construcción (2008).

Al considerar la interacción suelo-estructura, como muestra la investigación, se mejoraría la estabilidad de los futuros edificios del país. A pesar de ser una metodología más extensa a diferencia de las acostumbradas, esta práctica permitirá tener una mejor predicción del movimiento del suelo y la respuesta que tendrá la estructura y así determinar con mayor certeza su resistencia a las cargas.

IX. EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL/TRABAJO FUTURO

En el trabajo actual se realizó el predimensionamiento de los elementos estructurales, se calculó el cortante basal por el método estático y se obtuvo el cortante basal por el método dinámico. Se calcularon los coeficientes de rigidez por medio de la norma ASCE 41-13. También, se obtuvo el período, deriva y la deformación de cada modelo por medio del software Etabs. Para una ampliación de la investigación, se podrían comparar otros tipos de respuestas de la estructura otorgadas por el programa Etabs. A su vez, se podría realizar dicha investigación realizando estudios de campo con diferentes tipos de suelo y obtener resultados más precisos. También, existen diferentes normas para calcular los coeficientes de rigidez, como ser el Nist (norma colombiana), Norma Rusa, así como varios métodos dentro de las mismas. Se podría calcular los coeficientes de rigidez y comparar los resultados entre dichas normas.

X. BIBLIOGRAFÍA

1. ACI. (s.f.). *ACI 318-19 Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. American Concrete Institute.
2. Análisis Estructural. (s.f.).
3. Angamarca, S. A. (2008). *Estudio de los Efectos de Interacción Suelo-Estructura en Cimentaciones Superficiales de Edificaciones*. Loja - Ecuador: Escuela de Ingeniería Civil - Universidad Técnica Particular de Loja.
4. ASCE 41-13. (2014). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. Virginia: American Society of Civil Engineers.
5. *Asociación Argentina de Mecánica Computacional*. (Noviembre de 2017). Obtenido de Dinámica Estructural, Comparación y Análisis de la Propagación de Vibraciones en Estructuras:
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/94820/Documento_completo.pdf?sequence=1
6. Braja M. Das. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (Cuarta ed.). Cengage Learning.
7. Cabañes, C. J. (2012). *Problemas de interacción suelo estructura en cimentaciones y muros de contención*. E.T.S. Ing. Caminos, Canales y Puertos (UPM).
8. Canales Chavez, M. T. (2009). *Modelo de Respuesta para Cimientos Rígidos y Flexibles en Función del Suelo*. Tegucigalpa: UNITEC (Facultad Postgrado).
9. Candido, J. (2016). *Análisis Matricial de Estructuras por el Método de Rigidez*. eadic.
10. *Código Hondureño de la Construcción*. (2008). Tegucigalpa.
11. company, H. (s.f.). *Brüel & Kjær*. Obtenido de Dinámica Estructural:
<https://www.bksv.com/es-ES/Applications/product-vibration/structural-dynamics>
12. Das, B. M. (2006). *Principios de Ingeniería de Cimentaciones* (Quinta ed.). Sacramento: Cengage Learning.

13. Das, B. M. (2011). *Geotechnical Engineering Handbook*. J. Ross Publishing.
14. Das, B. M. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* (Séptima ed.). Cengage Learning.
15. Delgado, A., De Justo, E., Lozano, J., & Bascón, M. C. (s.f.). *Acciones en la Edificación*. Universidad de Sevilla.
16. Días Guzmán, F. D., Espinoza Barreras, F., Sánchez Vergara, R., & Huerta López, C. I. (2012). *Respuesta dinámica de un edificio considerando el efecto de interacción suelo-estructura*. Barcelona, España: A.H. Barbat.
17. Díaz, S. L. (2007). *Caracterización de suelos arenosos mediante análisis de ondas de superficie*. México: Academia de Ingeniería.
18. Fernández Sola, L. R. (2017). *Interacción Dinámica Suelo-Estructura*. Azcapotzalco, México: Colegio de Ingenieros Civiles de México.
19. Fundación Extensus, & Yader Jarquin. (13 de abril de 2020). Seminario: Efecto de la interacción suelo-estructura en las edificaciones.
20. Garay, R. K. (2017). *Influencia de la Interacción Suelo-Estructura en el comportamiento sísmico de un edificio de 7 niveles*. Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
21. García Reyes, L. E. (1998). *Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico*. Bogotá: Universidad de los Andes.
22. Hunt, R. E. (2005). *Geotechnical Engineering Investigation Handbook*. Taylor & Francis Group.
23. Hurtado Gómez, J. E. (2000). *Introducción a la Dinámica de Estructuras*. Sede Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
24. Hurtado, D., & Hurtado, A. (s.f.). *Dinámica de Suelos*. Universidad Nacional de Ingeniería.
25. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. (2009). *Construcción y Tecnología en Concreto*. Obtenido de <http://www.imcyc.com/revistacyt/feb11/ingenieria.htm>
26. Introducción al Análisis Estructuras. (s.f.).

27. Knodel, P. (1998). *Earth Manual*. Geotechnical Services Branch.
28. Look, B. G. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. Taylor & Francis Group.
29. Martínez Reyes, V. A. (octubre de 2018). *Apuntes de Análisis Hiperestático I*. Tegucigalpa, Honduras.
30. Martínez, V. A. (2019). *Apuntes de Estructuras de Concreto I*. Tegucigalpa.
31. McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado* (Octava ed.). Alfaomega.
32. Miranda, E. (s.f.). *Conceptos básicos sobre interacción dinámica suelo-estructura*.
33. NEHRP. (s.f.). *National Earthquake Hazards Reduction Program*. Obtenido de Seismic Site Classifications for the St. Louis Urban Area: <https://www.nehrp.gov/>
34. Roopa, M., Naikar, H. G., & Prakash, D. S. (2015). *Soil Structure Interaction Analysis on a RC Building with Raft foundation under Clayey Soil Condition*. International Journal of Engineering Research & Technology.
35. SCDOT. (2019). *Geotechnical Desing Manual*.
36. Soriano, A. (s.f.). *Interacción suelo-estructura. Modificación del movimiento*. Madrid: E.T.S. Ing. Caminos, Canales y Puertos.
37. Tellado, A. M. (2001). *Interacción del suelo, cimientto y estructura*.
38. Vasco, P. (2003). *Guia para Analisis Estructural*. Universidad Tecnica de Ambato. Obtenido de https://www.academia.edu/8180956/GUIA_PARA_EL_ANALISIS_ESTRUCTURAL_DE_EDIFICACIONES
39. Villarreal Castro, G. (2006). *Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas*. Lima, Perú.

XI. ANEXOS

Table 1-3.—Average engineering properties of compacted soils from the 17 Western United States. Data from reports published between June 1960 and December 1985. Data from 2005 tests on 1110 samples. Table compiled January 1988

USCS soil type	Total No. of samples tested	Compaction						Shear Strength								Values listed			
		Specific gravity		Laboratory		Index density		Consolidated-drained and consolidated-undrained triaxial shear tests				Unconsolidated-undrained triaxial shear tests							
		No. 4 minus	No. 4 plus	Max. dry density kg/m ³	Optimum moisture content %	Max. kg/m ³	Min. kg/m ³	Av. placement conditions		Effective stress		Av. placement conditions		Effective stress					
								Dry density kg/m ³	Moisture content %	Friction angle degrees	Cohesion kPa	Dry density kg/m ³	Moisture content %	Friction angle degrees	Cohesion kPa				
GW	22	2.69	2.58	1989	11.4	2167	1746												
		0.03	0.08	51	1.2	139	128												
		2.63	2.39	1907	9.9	1810	1417												
		2.75	2.67	2042	13.3	2332	1896												
		17	10		5		20											# of tests	
GP	62	2.88	2.52	1907	12.2	2212	1908	1933	7.5	42.2	8.1								
		0.04	0.21	153	4.3	113	124	238	4.1	2.1	18.3								
		2.54	1.78	1438	9.1	1828	1375	1489	3.3	38.0	0.0								
		2.77	2.65	2045	28.5	2383	1988	2144	15.1	43.8	40.7								
		37	15		18		50											# of tests	
GM	37	2.73	2.43	1819	15.7														
		0.07	0.18	189	5.9														
		2.65	2.19	1393	5.8														
		2.92	2.92	2130	29.5														
		35	17		35													# of tests	
GC	32	2.73	2.50	1854	14.2														
		0.09	0.15	128	3.9														
		2.67	2.38	1537	8.0														
		3.11	2.78	2088	23.8														
		30	5		32													# of tests	
SW	20	2.67	2.57	2019	9.1	1987	1578												
		0.03	0.03	98	1.7	128	142												
		2.64	2.54	1898	7.4	1883	1278												
		2.72	2.59	2182	11.2	2207	1758												
		13	2		4		13											# of tests	
SP	81	2.88	2.62	1827	10.5	1890	1542												
		0.04	0.08	180	2.1	120	144												
		2.80	2.52	1849	7.8	1821	1252												
		2.88	2.75	2159	13.4	2199	1980												
		50	5		8		43											# of tests	
SM	174	2.88	2.50	1877	12.3	1803	1379	1760	13.2	34.0	20.7	1821	12.6	33.5	59.3				
		0.06	0.12	140	3.3	147	138	145	5.2	4.9	25.5	201	5.5	8.1	42.1				
		2.51	2.24	1488	8.8	1417	1034	1459	4.8	23.7	0.0	1488	7.8	23.3	0.0				
		3.11	2.69	2114	25.5	1988	1555	2019	23.0	40.7	90.3	2122	25.0	45.0	148.2				
		162	10		133		20											# of tests	
SC	112	2.69	2.47	1908	12.4			1773	15.4	32.7	19.3	1967	11.1	35.1	53.8				
		0.04	0.18	99	2.4			225	5.2	3.8	14.5	88	2.1	0.7	4.1				
		2.56	2.17	1547	8.7			1459	7.5	25.5	0.0	1843	9.7	34.2	49.0				
		2.84	2.59	2109	22.1			2111	22.7	38.3	42.1	2035	14.0	35.8	58.6				
		110	4		90													# of tests	
ML	63	2.70		1845	20.1			1528	25.2	35.2	4.8	1878	17.4	31.8	81.4				
		0.09		188	5.7			179	9.5	2.5	3.4	181	5.7	4.3	24.1				
		2.52		1355	10.8			1292	13.5	31.4	0.0	1512	11.1	25.2	21.4				
		3.10		2018	34.8			1778	40.3	38.3	10.3	1909	25.8	37.2	82.0				
		80			36													# of tests	
MH	11	2.79		1372	33.1														
		0.27		35	1.5														
		2.47		1327	31.5														
		3.50		1425	35.5														
		9			4													# of tests	
CL	395	2.70	2.48	1788	18.4			1885	18.3	28.1	15.2	1780	15.3	24.4	91.0				
		0.05	0.13	97	3.1			174	5.7	5.0	18.8	88	2.4	7.0	49.0				
		2.58	2.34	1398	10.7			1297	10.2	10.8	0.0	1822	11.8	8.0	0.0				
		2.87	2.75	2002	30.9			1922	35.0	38.8	104.1	1988	20.2	33.8	184.1				
		381	8		286													# of tests	
CH	101	2.73		1531	24.8			1408	30.8	20.5	32.4	1574	22.7	15.1	124.1				
		0.06		102	5.2			107	5.7	8.3	31.0	92	4.8	8.7	25.5				
		2.51		1318	18.8			1249	22.4	10.8	0.0	1438	17.9	5.1	85.5				
		2.89		1720	41.8			1555	42.0	30.9	108.2	1880	29.1	28.1	148.2				
		93			38													# of tests	

Conversion factors: 1 kg/m³ = 0.06243 lb/ft³; 1 kPa = 0.145 lb/in²

Anexo 1 Valores de Earth Manual según el tipo de Suelo para USCS

11.1 Actas de Asesoramiento

3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Comparación de respuesta estructural elástica de una edificación con cimentación empotrada vrs. Interacción suelo-estructura.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ritza Mariela Pacheco Ordoñez	11751162

ASESORAMIENTO	N°: 01
ASESOR: Ing David Alejandro Rodriguez Lacayo	
RECOMENDACIONES DEL ASESOR	
1	Correcciones en el perfil del proyecto en cuanto a redacción y a enfoques sobre el proyecto.
2	Modificaciones en cuanto al programa a trabajar. Se planteó trabajar en SAP 2000, se recomendó trabajar preferiblemente en ETABS.
3	Corrección en la descripción del problema de investigación.
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO Fecha: <u>28/04/2020</u>

Anexo 2 Acta de Asesoramiento N° 1

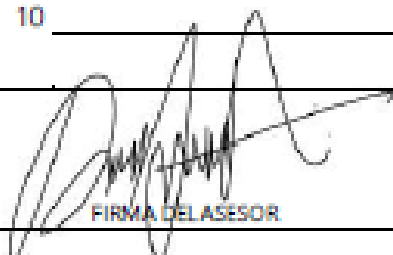
3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Comparación de respuesta estructural elástica de una edificación con cimentación empotrada vs. Interacción suelo-estructura.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ritza Mariela Pacheco Ordoñez	11751162

ASESORAMIENTO	N°: 02
ASESOR: Ing David Alejandro Rodriguez Lacayo	
RECOMENDACIONES DEL ASESOR	
1	<u>Correcciones en el desglose de temas para el marco teórico.</u>
2	<u>Cuales propiedades de suelo se iban a considerar.</u>
3	<u>Considerar Rigidez y amortiguamiento, en vez de resortes y amortiguamiento.</u>
4	<u>Las deformaciones de la cimentación se corrigieron a deformaciones del suelo, y deben ser consideradas en el suelo no en la estructura.</u>
5	
6	
7	
8	
9	
10	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO Fecha: <u>15/05/2020</u>

Anexo 3 Acta de Asesoramiento N° 2

3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Comparación de respuesta estructural elástica de una edificación con cimentación empotrada vrs. Interacción suelo-estructura.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ritza Mariela Pacheco Ordoñez	11751162

ASESORAMIENTO	N°: 03
ASESOR: Ing David Alejandro Rodríguez Lacayo	
RECOMENDACIONES DEL ASESOR	
1 Correcciones en la introducción en cuanto a redacción y planteamiento de ideas.	
2	Especificar qué tipo de edificio y tipo de suelo se puede utilizar.
3	Brindar una mejor explicación de lo que se busca en la investigación.
4	Corrección en redacción y planteamiento de ideas en planteamiento de problema, como ser la precedencia y justificación.
5	Recomendación de eliminar y agregas temas en el marco teórico existente.
6	Sugerencia de ir colocando la bibliografía para conocer la fuente de la información ingresada en el marco teórico.
7	
8	
9	
10	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO
Fecha: <u>20/05/2020</u>	

Anexo 4 Acta de Asesoramiento N° 3


3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Comparación de respuesta estructural elástica de una edificación con cimentación empotrada vrs. Interacción suelo-estructura.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ritza Mariela Pacheco Ordoñez	11751162

ASESORAMIENTO	N°: 04
ASESOR: Ing David Alejandro Rodríguez Lacayo	
RECOMENDACIONES DEL ASESOR	
1	Video conferencia:
2	Acordar con que tipo de estructura se va a trabajar. Un edificio de apartamentos de 25 x 25m.
3	Proponer dimensiones de marco rígido especial. Buscar las dimensiones mínimas especificadas por el CHOC.
4	Buscar las cargas muertas y vivas que actúan en la estructura. Y buscar las especificaciones de las cargas en el CHOC.
5	En las cargas de sismo, utilizar un suelo S4 con una velocidad de onda cortante de 150m/s. Explicación sobre velocidad de onda cortante.
6	Obtener los datos del suelo por medio del libro Earth Manual, ya que ellos han realizado diversos estudios en el suelo, utilizando valores promedios.
7	Las cargas de sismo se realizarán preferiblemente por el análisis estático, inciso b. Donde pide obtener el peso total de la estructura. Dato obtenido por el programa.
8	Guía de las variables a estudiar.
9	Ver videos y tutoriales para aprender a utilizar el programa Etabs.
10	Transferencia de bibliografía de apoyo para la investigación.
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO Fecha: <u>21/05/2020</u>

Anexo 5 Acta de Asesoramiento N° 4

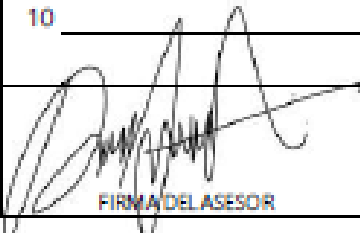
3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Comparación de respuesta estructural elástica de una edificación con cimentación empotrada vrs. Interacción suelo-estructura.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ritza Mariela Pacheco Ordoñez	11751162

ASESORAMIENTO		N°: 05
ASESOR: Ing David Alejandro Rodríguez Lacayo		
RECOMENDACIONES DEL ASESOR:		
1	Ayuda en la información para diseñar una losa en dos direcciones.	
2	Guiarse con las especificaciones del Código Hondureño de la Construcción (CHOC-08) en el que solicita calcular α_m	
3	Utilizar concreto de peso normal para calcular el modulo de elasticidad de la viga y de la losa.	
4	Se debe calcular la inercia de la losa, asumiendo un espesor de losa inicial de 12.5cm con un ancho de 5m.	
5	Para la inercia de la viga, se debe considerar la sección total indicada en el CHOC 08, tomando las distancias de los lados. Calculando el ancho efectivo.	
6	Aprender a utilizar MathCad para facilitar los procesos de cálculos.	
7		
8		
9		
10		
 FIRMA DEL ASESOR		SEIIO Fecha: <u>27/05/2020</u>

Anexo 6 Acta de Asesoramiento N° 5

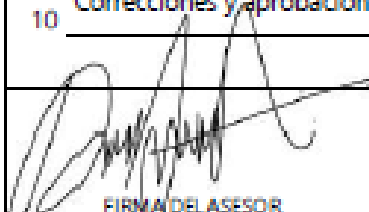
3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Comparación de respuesta estructural elástica de una edificación con cimentación empotrada vrs. Interacción suelo-estructura.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ritza Mariela Pacheco Ordoñez	11751162

ASESORAMIENTO	N°: 06
ASESOR: Ing David Alejandro Rodríguez Lacayo	
RECOMENDACIONES DEL ASESOR:	
1 Correcciones en el marco teórico.	
2	Se habla de las cargas de viento y sismo, pero no se menciona las gravitacionales. Se deben agregar.
3	Las cargas de viento no dan tanto impacto en edificaciones promedio, estos afectan más en edificaciones altas.
4	Corregir las fuentes de las ecuaciones. Investigar las fuentes de primera mano.
5	Describir los coeficientes que se necesitan según las ecuaciones, para que se necesitan y una mejor explicación, no solo colocarlos.
6	Corregir explicaciones sobre como obtener los datos según tablas, mapas y gráficos.
7	En las cargas sísmicas, incluir la explicación de la existencia de procesos, el estático y el dinámico. Describirlos de manera breve.
8	Al hablar del diseño flexo-compresión, referirse a diagramas de interacción.
9	Ir actualizando la bibliografía a medida se avanza en el proyecto.
10	Correcciones y aprobación del diseño arquitectónico.
 FIRMA DEL ASESOR	SEIHO
Fecha: <u>03/06/2020</u>	

Anexo 7 Acta de Asesoramiento N° 6

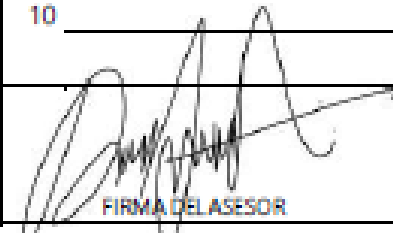
3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Comparación de respuesta estructural elástica de una edificación con cimentación empotrada vs. Interacción suelo-estructura.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ritza Mariela Pacheco Ordoñez	11751162

ASESORAMIENTO	N° <u>07</u>
ASESOR: Ing David Alejandro Rodríguez Lacayo	
RECOMENDACIONES DEL ASESOR	
1 Correcciones en el marco teórico.	
2 Incluir en la descripción de la obtención de datos, el motivo por el cual se utiliza datos de libros y no de campo.	
3 Asegurarse que, en cada ecuación colocada, explicar que significa cada variable y como obtenerla.	
4 Si existen parámetros explicados en el CHOC y en otra norma, preferiblemente hacer referencia al CHOC.	
5 Describir un poco de que trata el inciso, no entrar directamente a las ecuaciones a utilizar.	
6 Revisar siempre la fuente de donde se está obteniendo. Colocarla.	
7 Correcciones en los cálculos.	
8 Con el predimensionamiento de las vigas, columnas y losa, realizar el cálculo de cargas.	
9 Ingresar los materiales, realizar el frame e ingresar las cargas en ETABS.	
10	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO Fecha: <u>06/06/2020</u>

Anexo 8 Acta de Asesoramiento N° 7

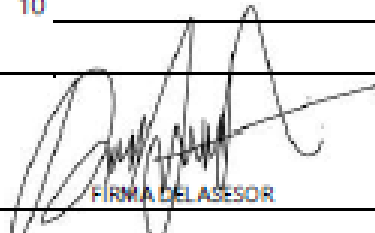
3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Comparación de respuesta estructural elástica de una edificación con cimentación empotrada vrs. Interacción suelo-estructura.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ritza Mariela Pacheco Ordoñez	11751162

ASESORAMIENTO	N°: <u>08</u>
ASESOR: Ing David Alejandro Rodríguez Lacayo	
RECOMENDACIONES DEL ASESOR	
1	Correcciones en modelación en ETABS.
2	Asegurarse que las unidades sean las correctas. Unas están en kN, otras en mm. Utilizar solo un tipo de unidades.
3	Ingresarles cuantía mínima a las columnas. El CHOC especifica que debe ser al menos 1% del área de las mismas.
4	La viga debe tener peralte, no cuadrada.
5	Las cargas de sismo serán ingresadas por el usuario, no con una norma específica.
6	Las cargas de viento serán ingresadas por el usuario.
7	Hace falta las cargas adicionales a toda la estructura, para calcular el peso de la estructura.
8	Agregar el diafragma a la estructura, para poder ingresar las cargas de viento y sismo por nivel, y para calcular el peso de la estructura.
9	
10	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO
	Fecha: <u>10/06/2020</u>

Anexo 9 Acta de Asesoramiento N° 8

3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Comparación de respuesta estructural elástica de una edificación con cimentación empotrada vrs. Interacción suelo-estructura.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ritza Mariela Pacheco Ordoñez	11751162

ASESORAMIENTO	N°: 09
ASESOR: Ing David Alejandro Rodríguez Lacayo	
RECOMENDACIONES DEL ASESOR	
1	Videoconferencia:
2	Aclarar dudas sobre el objetivo de la investigación.
3	Explicación de como calcular valores de pesos sísmica por piso.
4	Introducción al cálculo de los coeficientes de rigidez.
5	Introducción a la explicación sobre la deformación relativa (deriva).
6	Dudas sobre el programa ETABS, y como ingresar valores y funciones.
7	Explicación de obtención de datos del programa ETABS, como ser el periodo, masa y deformación.
8	
9	
10	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO
	Fecha: <u>13/ 06 / 2020</u>

Anexo 10 Acta de Asesoramiento N° 9

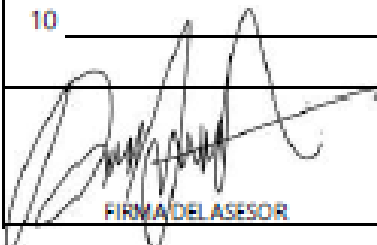
3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Comparación de respuesta estructural elástica de una edificación con cimentación empotrada vrs. Interacción suelo-estructura.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ritza Mariela Pacheco Ordoñez	11751162

ASESORAMIENTO	N°: 10
ASESOR: Ing David Alejandro Rodríguez Lacayo	
RECOMENDACIONES DEL ASESOR	
1	Correcciones en los cálculos.
2	Aumentar la altura del piso 1, ya que incluye la profundidad de desplante de la zapata.
3	El coeficiente C_e de sotavento permanece constante. El CHOC específica que debe ser con la altura media total del edificio.
4	A las cargas de sismo, el CHOC específica sumarle la fuerza F_t al último piso.
5	
6	
7	
8	
9	
10	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIO
Fecha: 16/06/2020	

Anexo 11 Acta de Asesoramiento N° 10

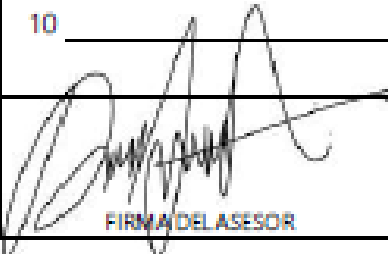
3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Comparación de respuesta estructural elástica de una edificación con cimentación empotrada vrs. Interacción suelo-estructura.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ritza Mariela Pacheco Ordoñez	11751162

ASESORAMIENTO	N°: 11
ASESOR: Ing David Alejandro Rodríguez Lacayo	
RECOMENDACIONES DEL ASESOR:	
1	<u>Correcciones en los cálculos.</u>
2	<u>Revisión de los cálculos para cargas de sismo y viento.</u>
3	<u>Corrección en las alturas acumuladas del sismo.</u>
4	<u>Revisión de los modelos ingresados en ETABS.</u>
5	<u>Seguimiento explicación de la deformación lateral relativa de piso.</u>
6	<u>Correcciones y observaciones sobre rigideces ingresadas en ETABS.</u>
7	<u>Explicación de obtención de datos y resultados en ETABS.</u>
8	<u>Recomendación de comparar las derivas con el CHOC y explicación de significado.</u>
9	
10	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIÑO
	Fecha: <u>20/06/2020</u>

Anexo 12 Acta de Asesoramiento N° 11

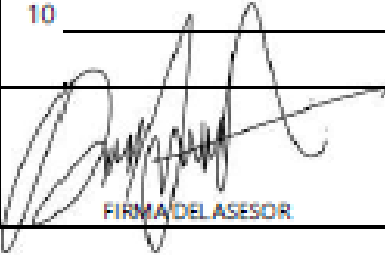
3.1.3. ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Comparación de respuesta estructural elástica de una edificación con cimentación empotrada vrs. Interacción suelo-estructura.

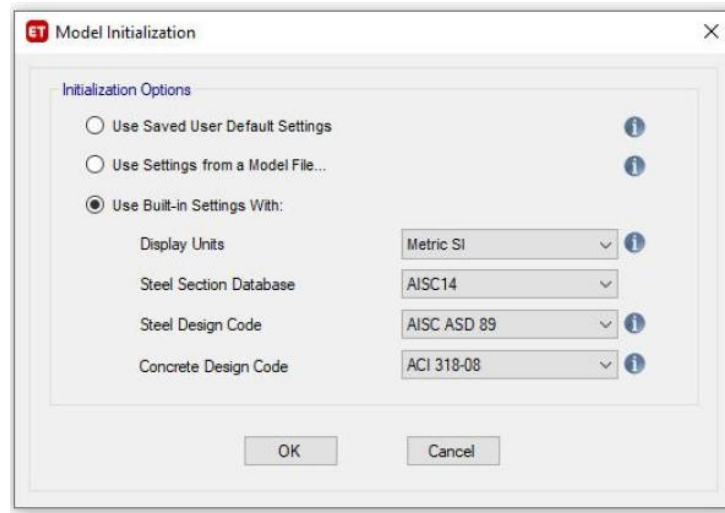
INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ritza Mariela Pacheco Ordoñez	11751162

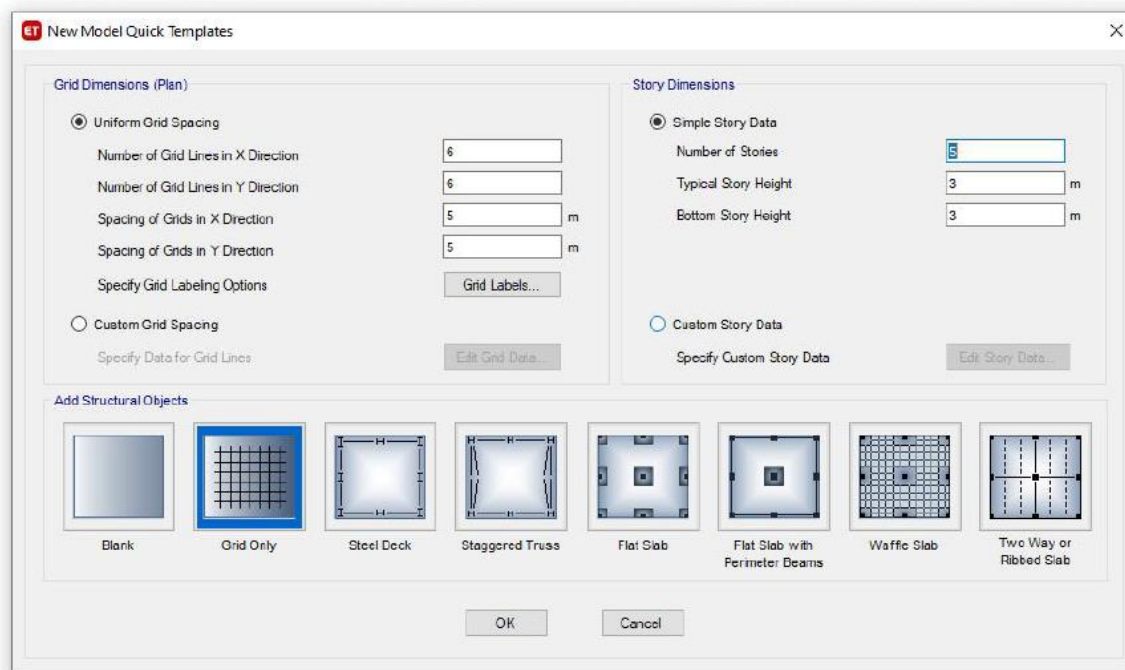
ASESORAMIENTO	Nº: 12
ASESOR: Ing David Alejandro Rodríguez Lacayo	
RECOMENDACIONES DEL ASESOR	
1	Correcciones en los cálculos.
2	Explicación de dudas.
3	Corrección de errores en modelaciones.
4	Considerar calcular las rigideces por el método de la ASCE preferiblemente.
5	Revisión minuciosa de cálculos y factores ingresados.
6	Explicación de espectro de respuesta. Como ingresarlo al programa, como utilizarlo y su función principal.
7	
8	
9	
10	
 FIRMA DEL ASESOR	SEÍDO Fecha: <u>23/06/2020</u>

Anexo 13 Acta de Asesoramiento N° 12

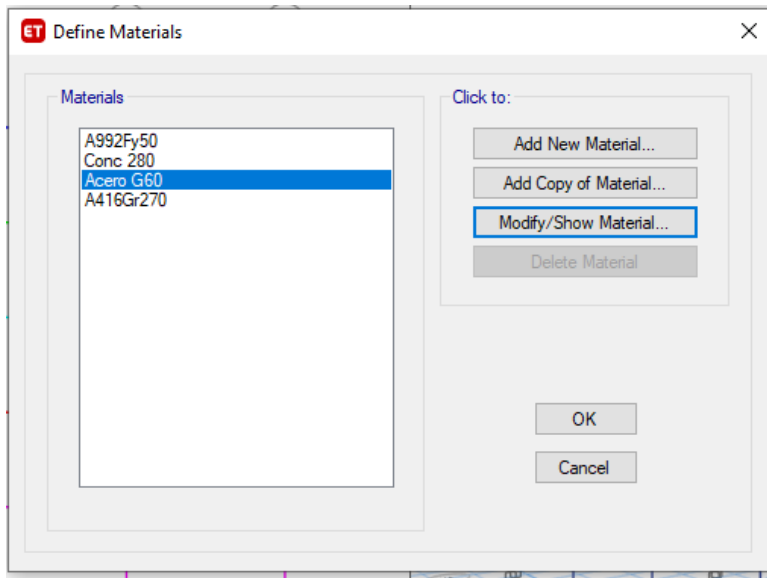
11.2 Modelación en programa ETABS



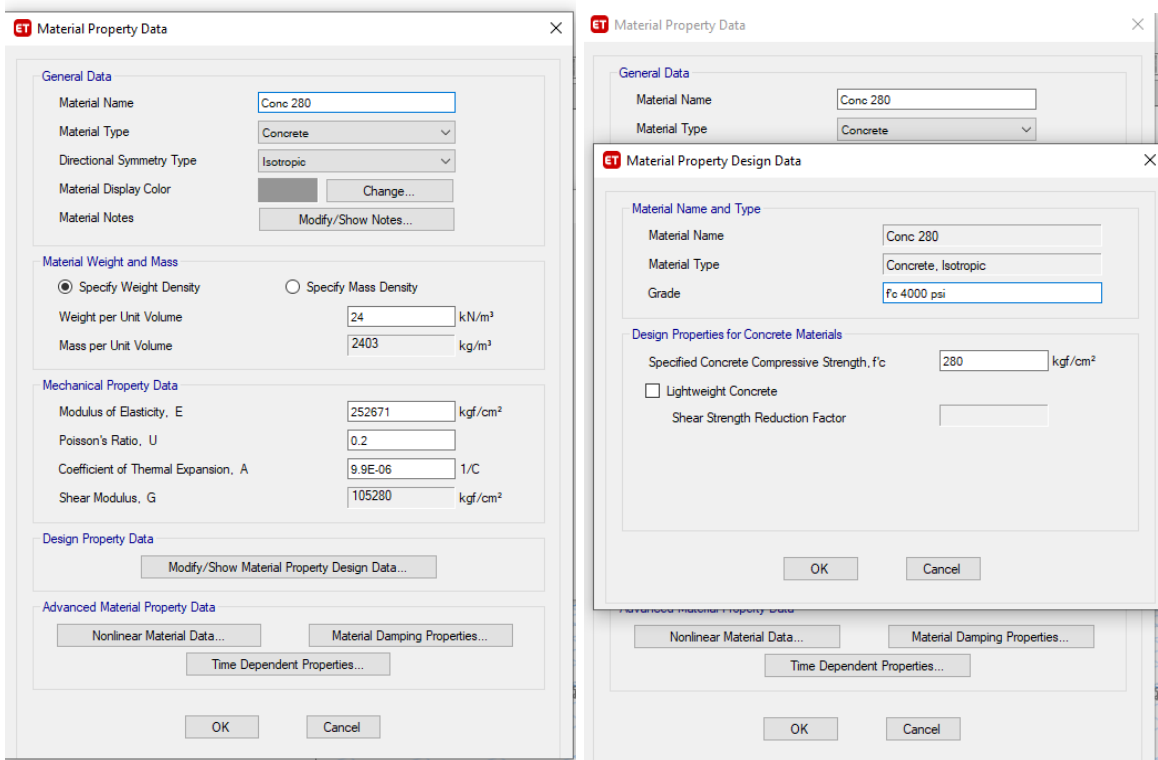
Anexo 14 ETABS Códigos y el sistema métrico con el que se va a trabajar.



Anexo 15 ETABS Datos generales de la estructura.

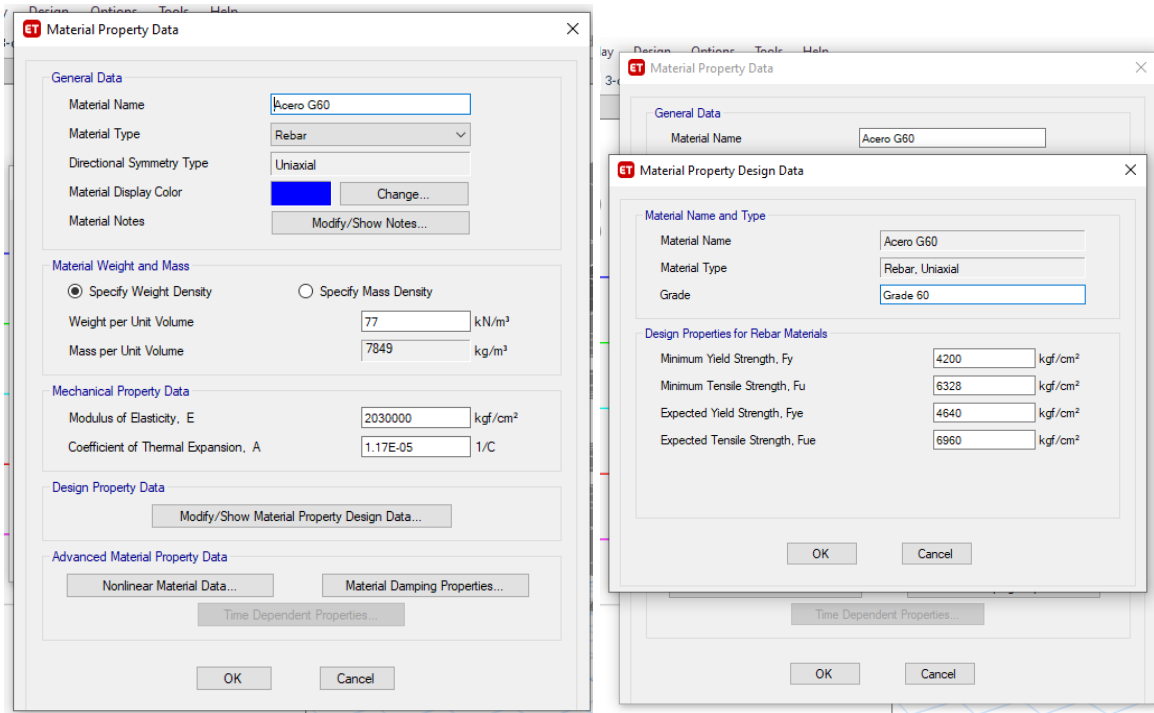


Anexo 16 ETABS Materiales a utilizar.



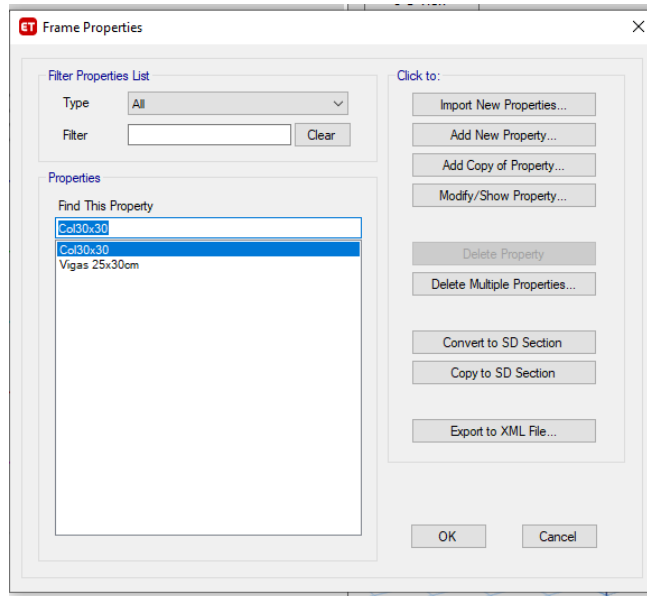
Anexo 17 ETABS Concreto a utilizar.

Para la investigación un concreto con f_c 4000 psi.

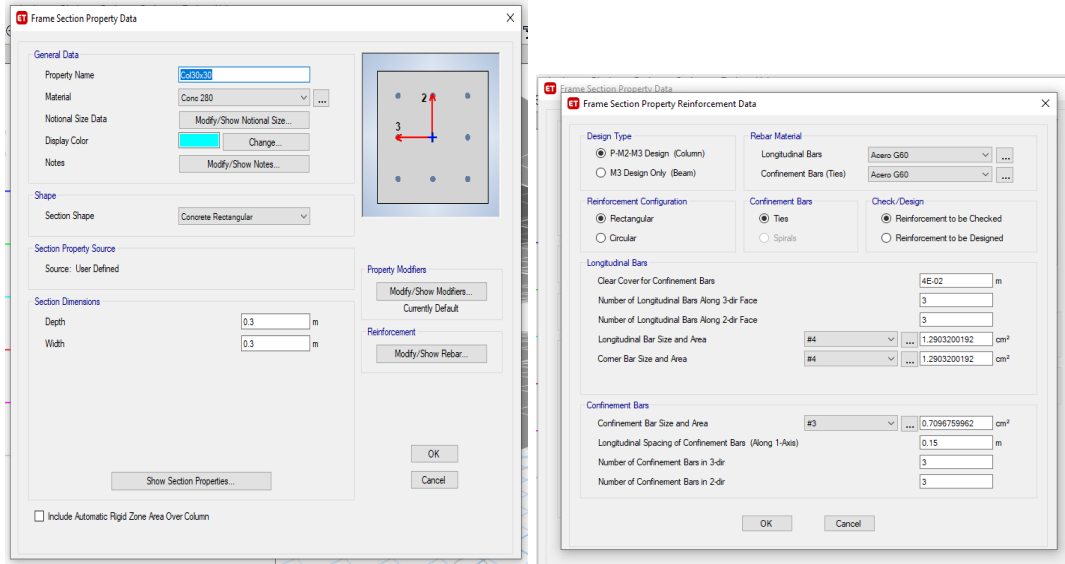


Anexo 18 ETABS Acero a utilizar.

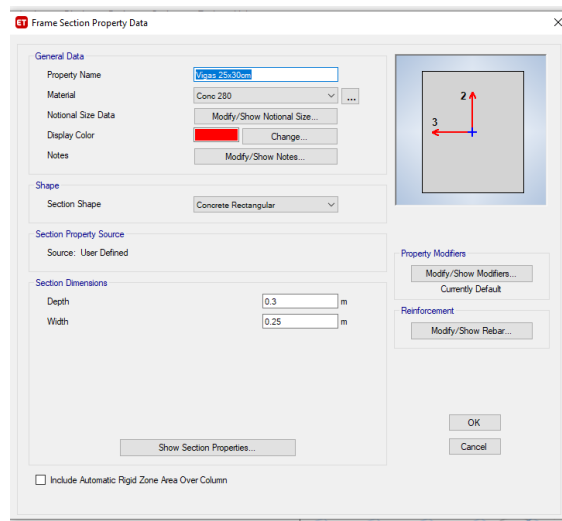
Para la investigación un acero grado 60.



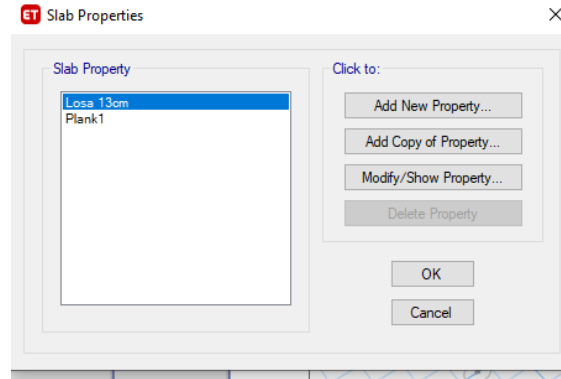
Anexo 19 ETABS Definición de los elementos estructurales.



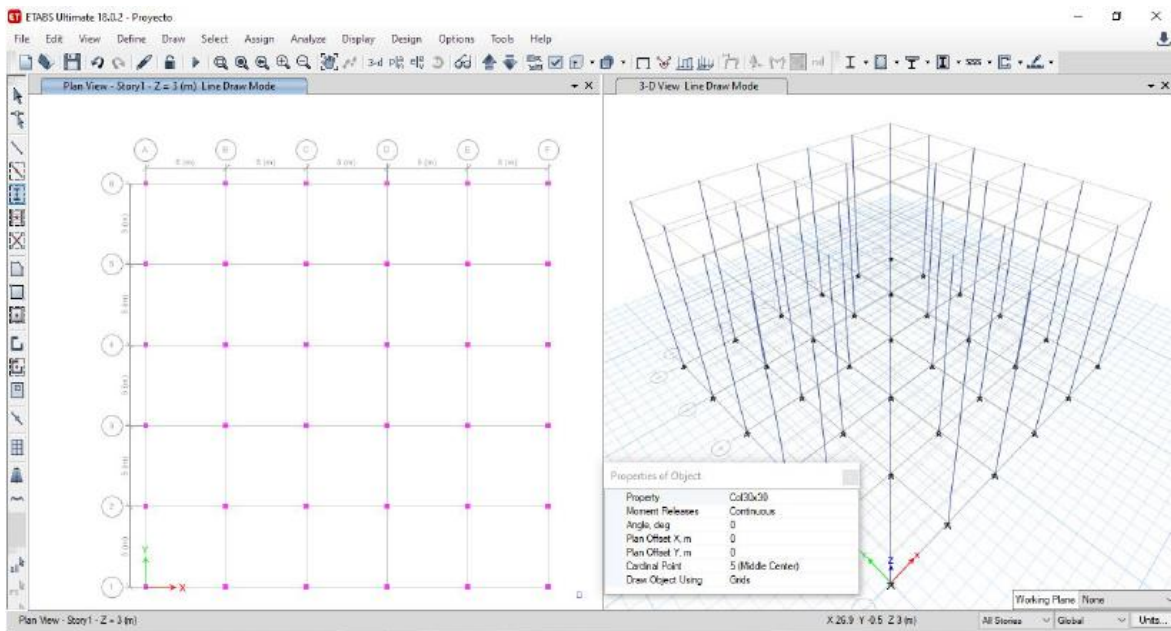
Anexo 20 ETABS Dimensiones de las columnas y la cuantía mínima.



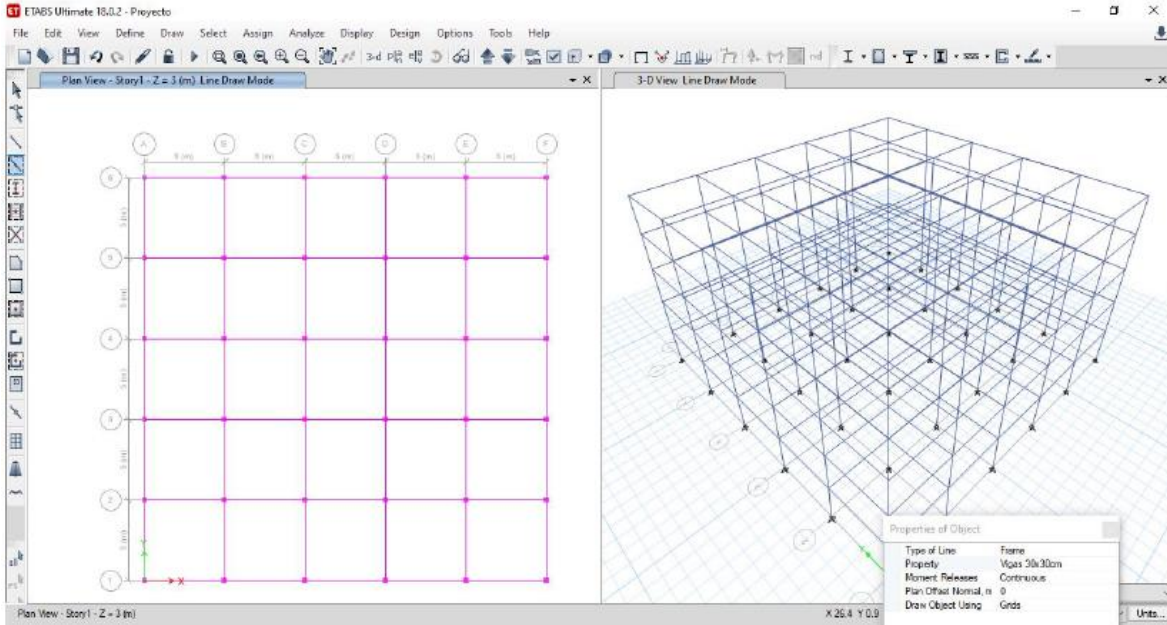
Anexo 21 ETABS Dimensiones de las vigas.



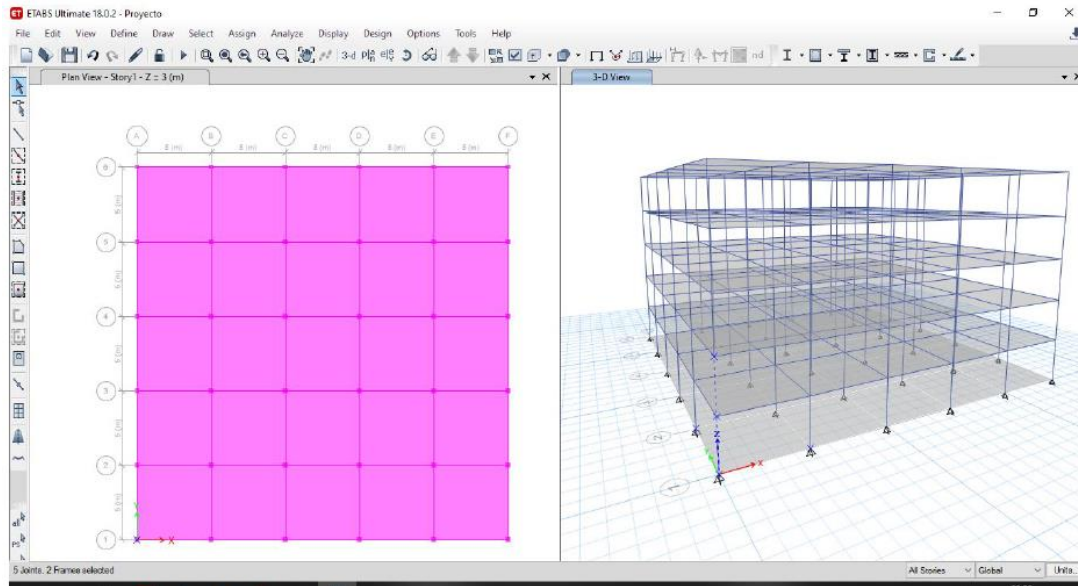
Anexo 22 ETABS Dimensión de la losa.



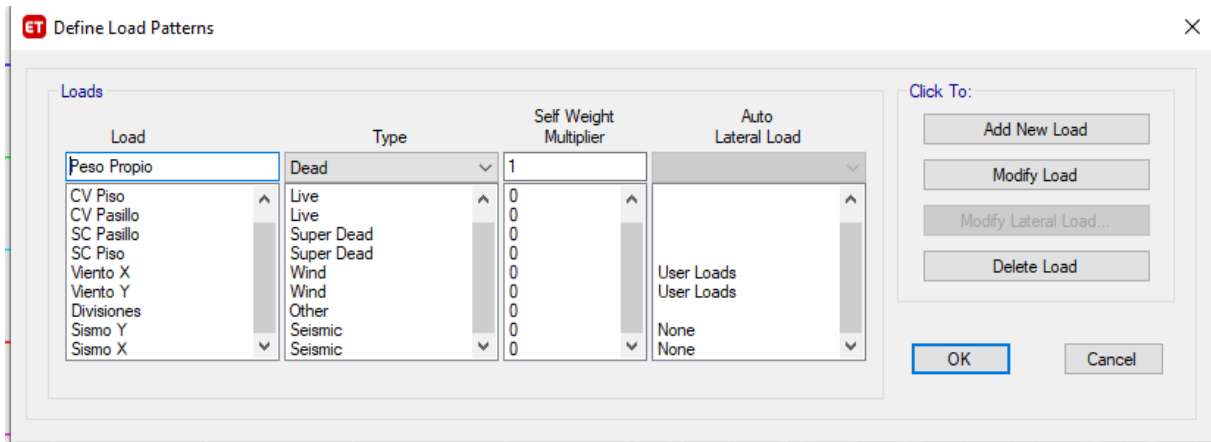
Anexo 23 ETABS Asignar las columnas en todos los niveles.



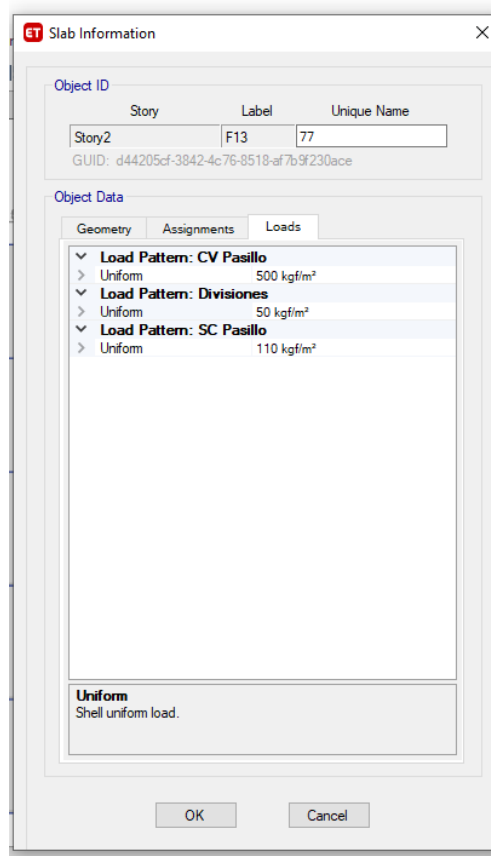
Anexo 24 ETABS Asignar las vigas en todos los niveles.



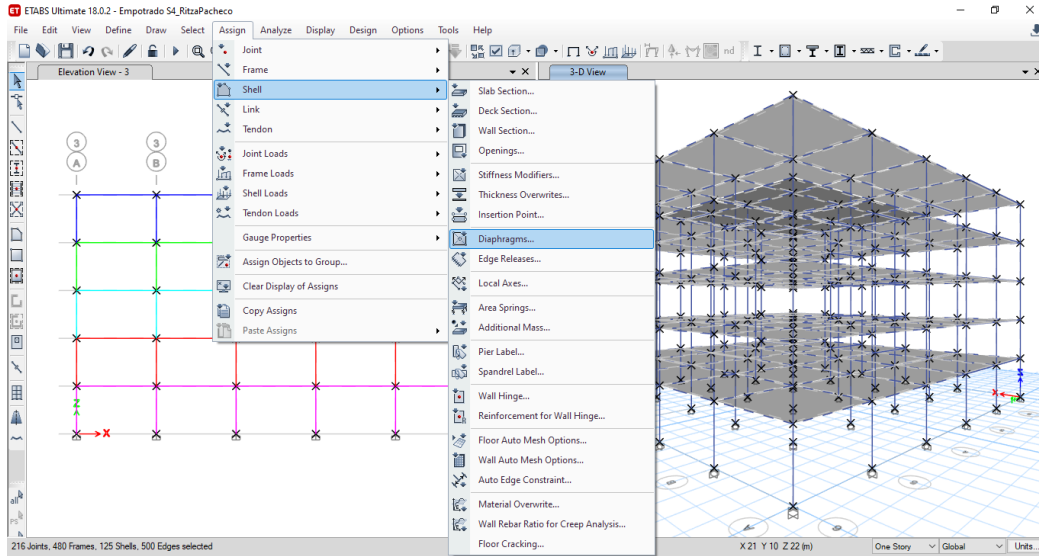
Anexo 25 ETABS Colocación de la losa por panel en cada piso.



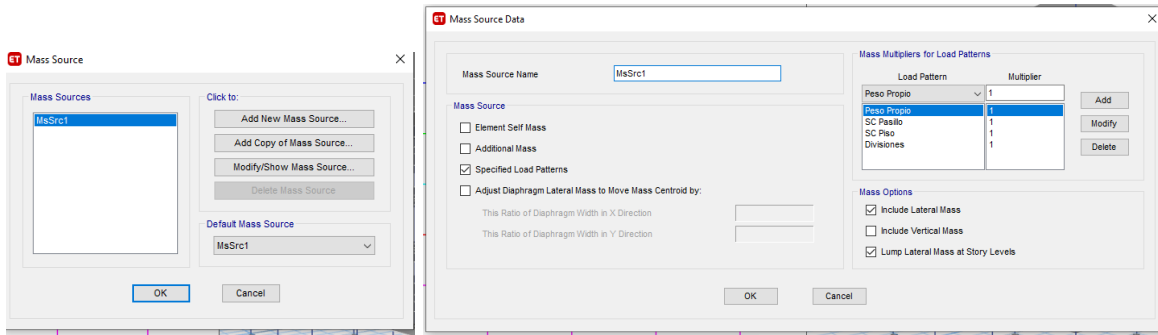
Anexo 26 ETABS Cargas que actúan en la estructura.



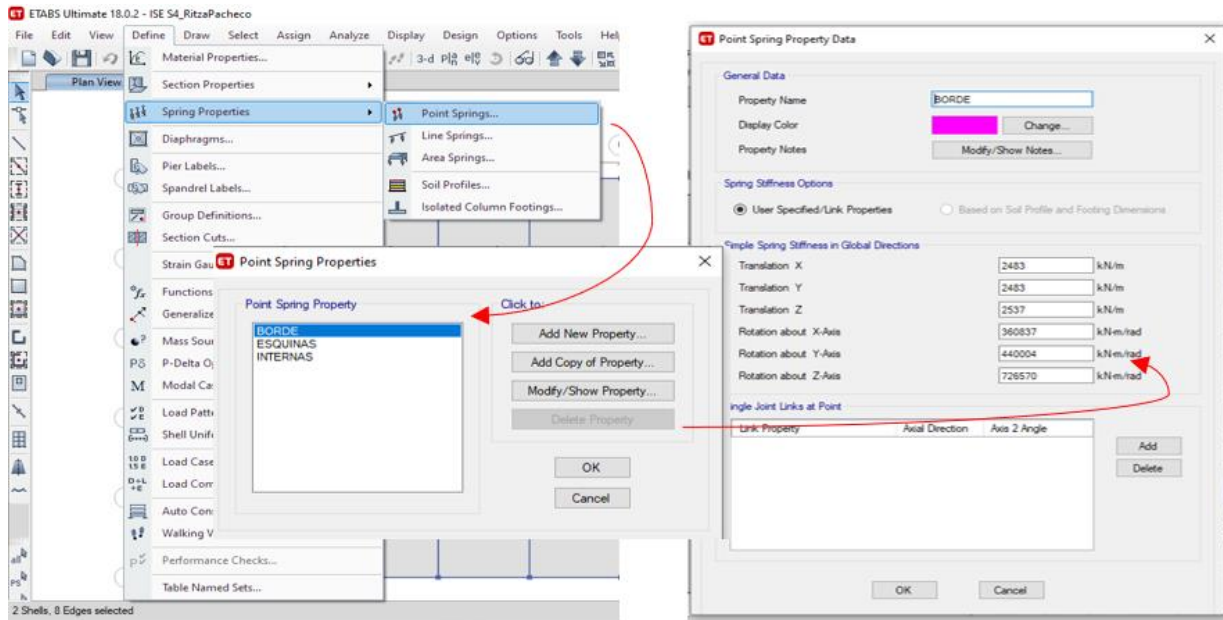
Anexo 27 ETABS Asignación de las cargas muertas o vivas.



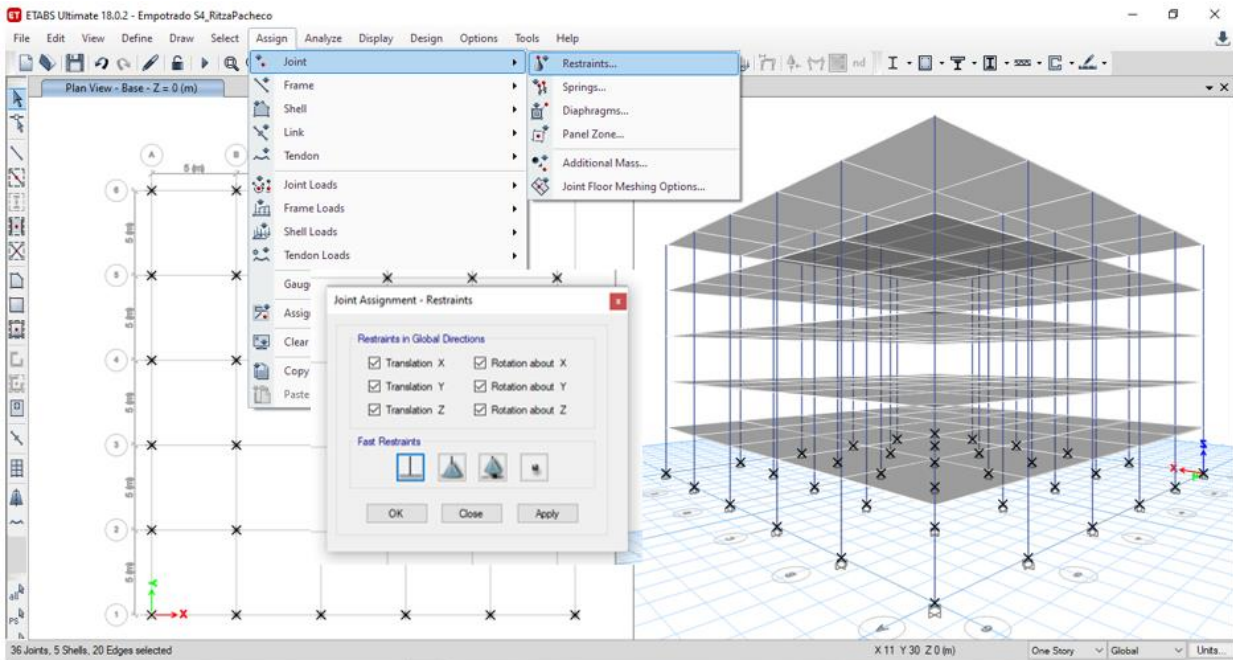
Anexo 28 ETABS Diafragma por medio de "Shell".



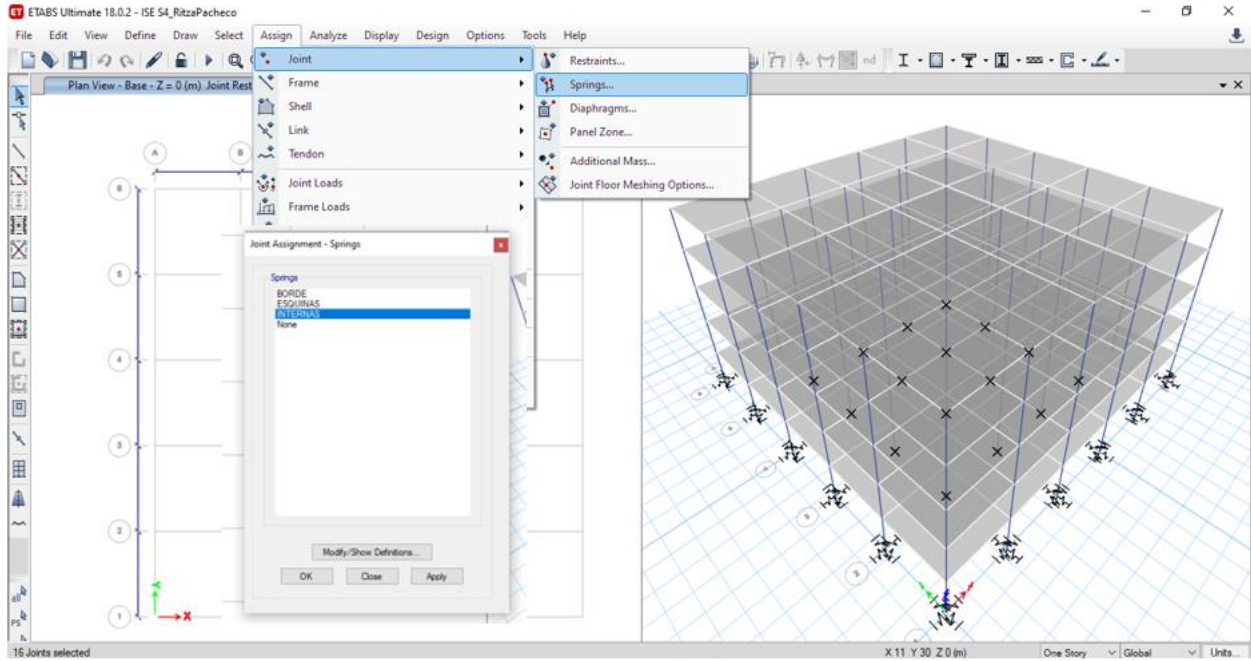
Anexo 29 ETABS Cargas que influirán en la masa de la estructura.



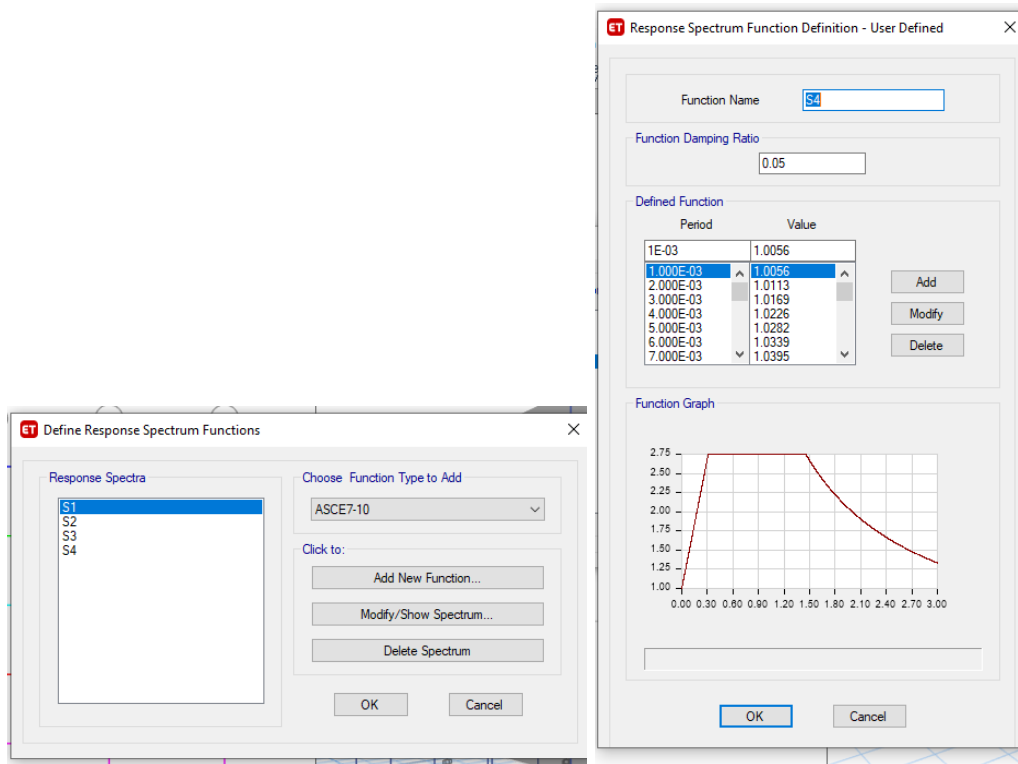
Anexo 30 ETABS Para ISE. Definición de resortes en Point Springs.



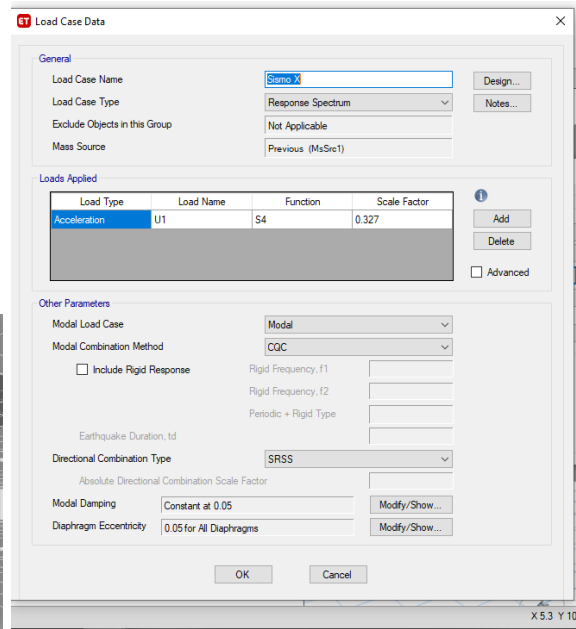
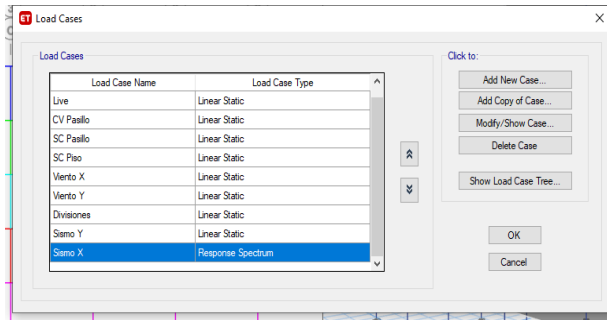
Anexo 31 ETABS Para Modelo Empotrado, "Restraints".



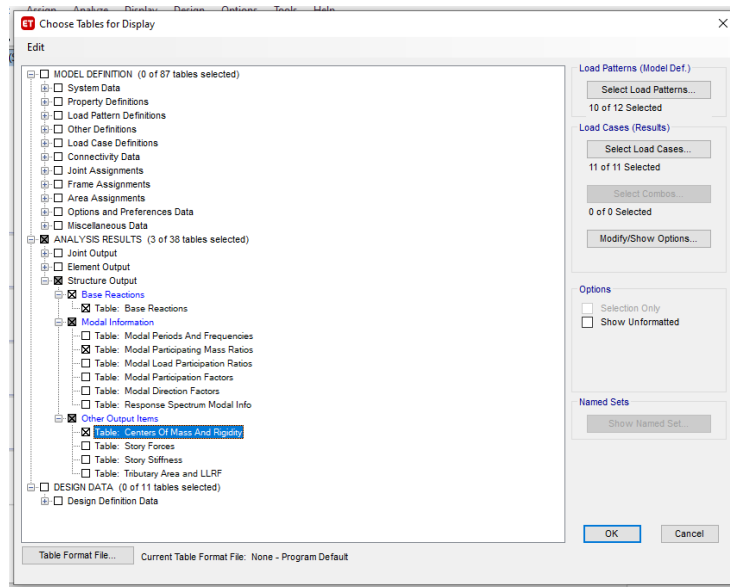
Anexo 32 ETABS Para ISE, asignar los springs.



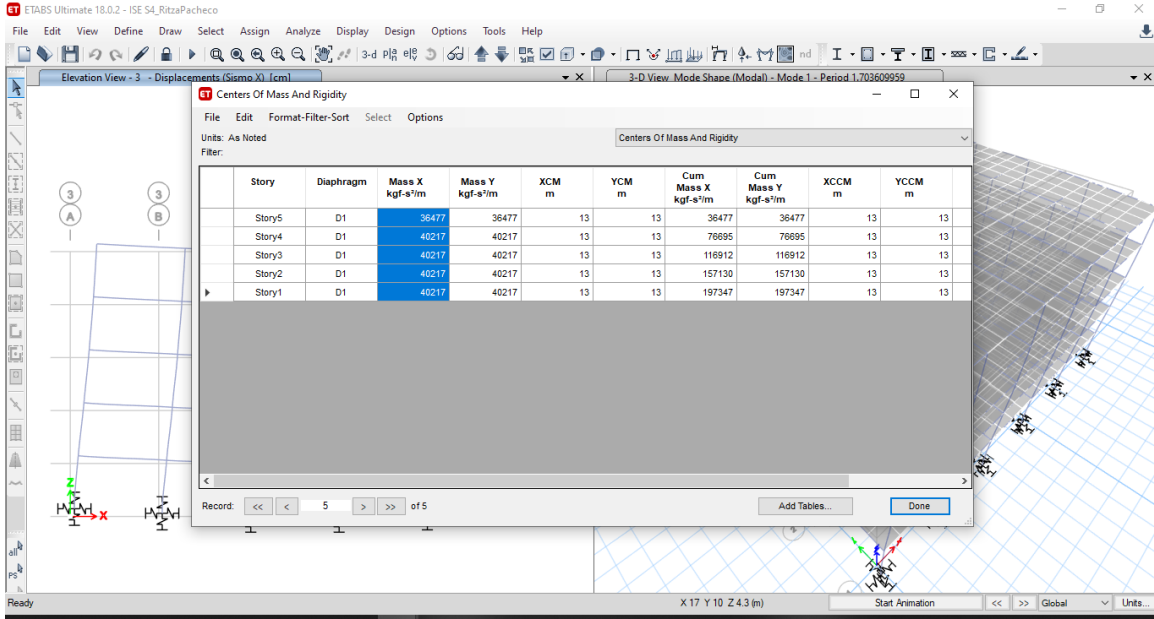
Anexo 33 ETABS Espectros de respuesta.



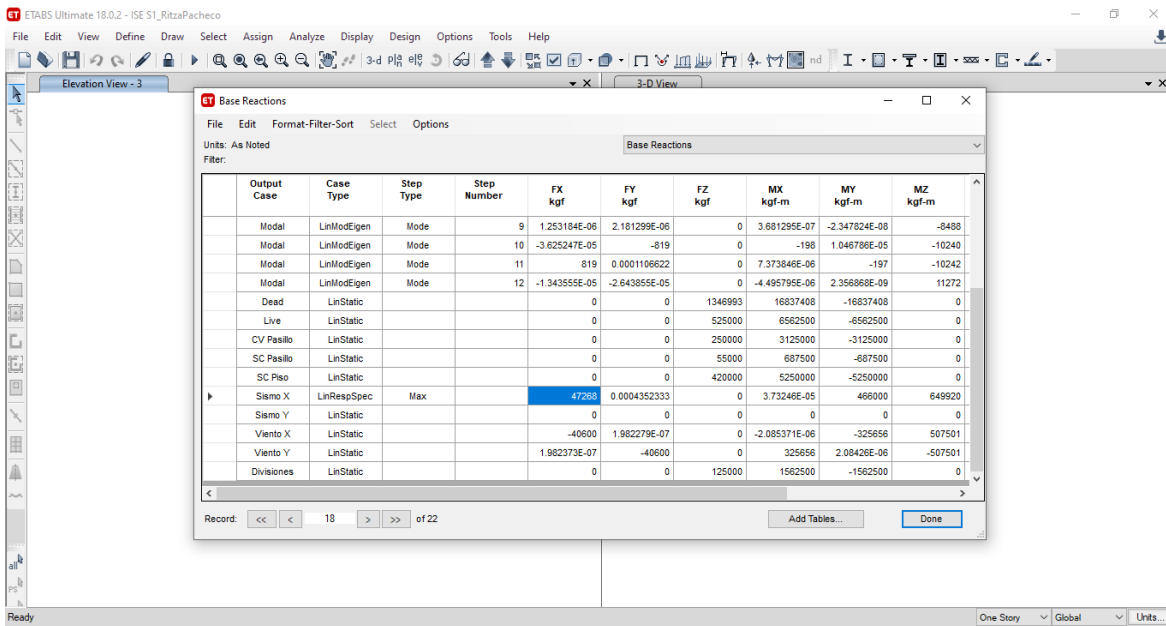
Anexo 34 ETABS Espectro de respuesta para sismo X.



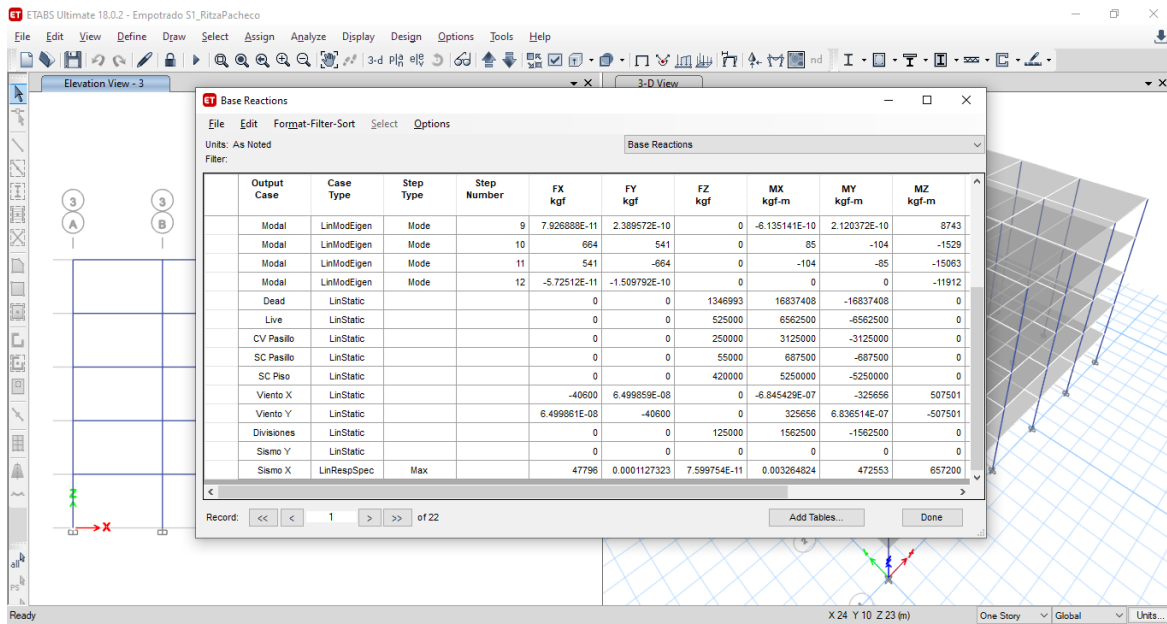
Anexo 35 ETABS Parámetros que se desean encontrar.



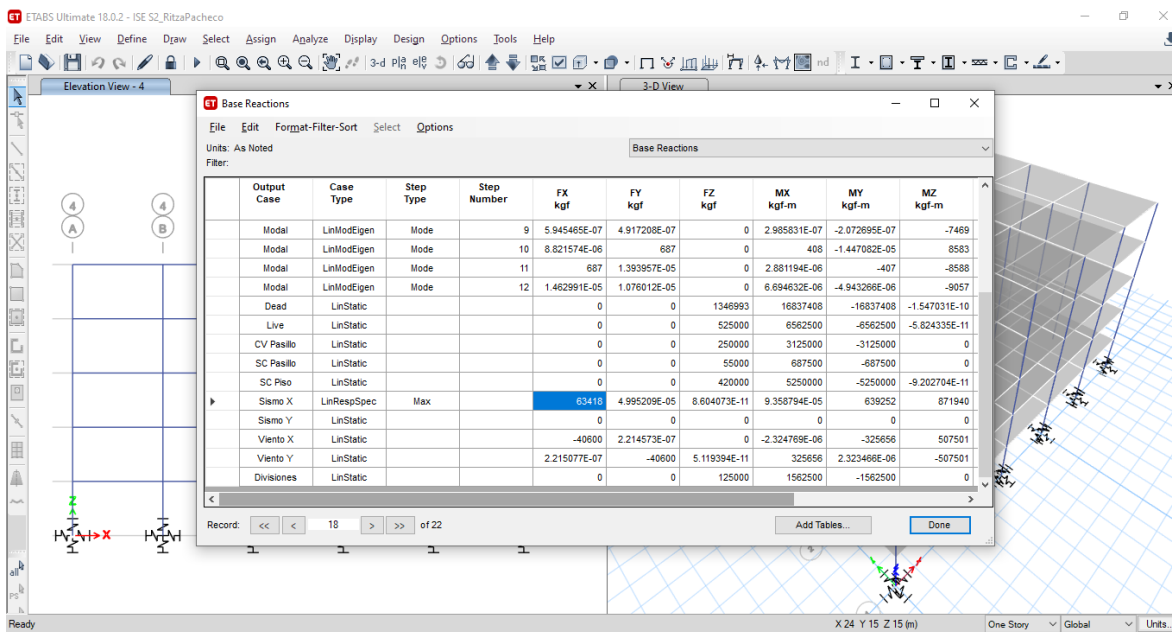
Anexo 36 ETABS Masas modales según nivel de piso.



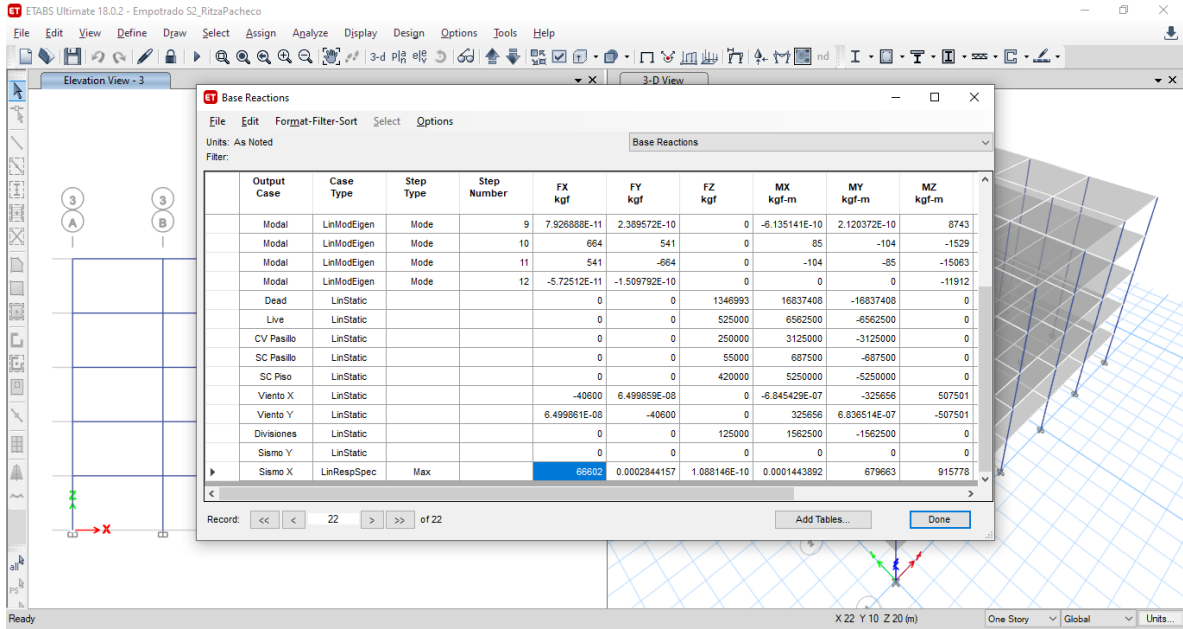
Anexo 37 ETABS Cortante Basal para ISE por el método dinámico para suelo S1.



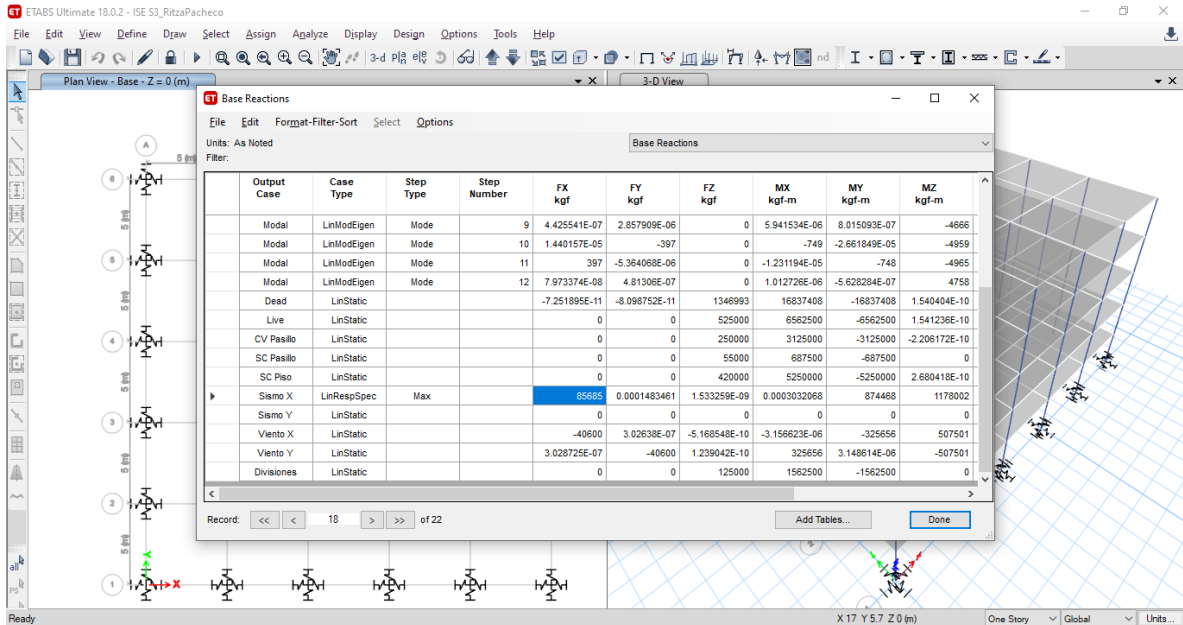
Anexo 38 ETABS Cortante Basal para empotrado por el método dinámico para suelo S1.



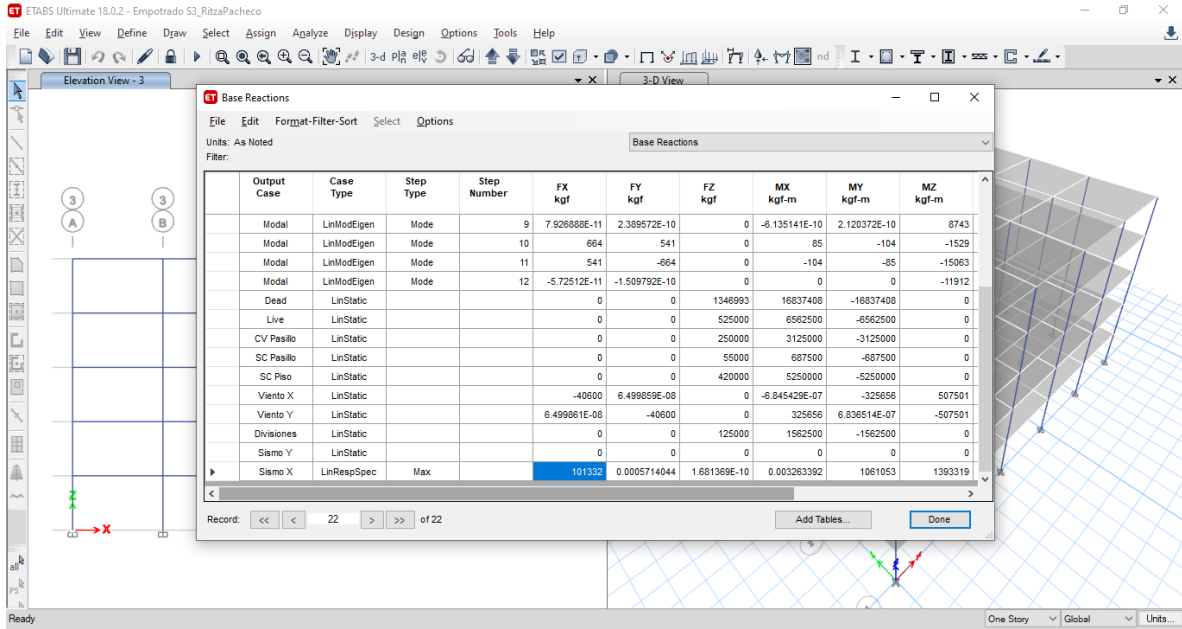
Anexo 39 ETABS Cortante Basal para ISE por el método dinámico para suelo S2.



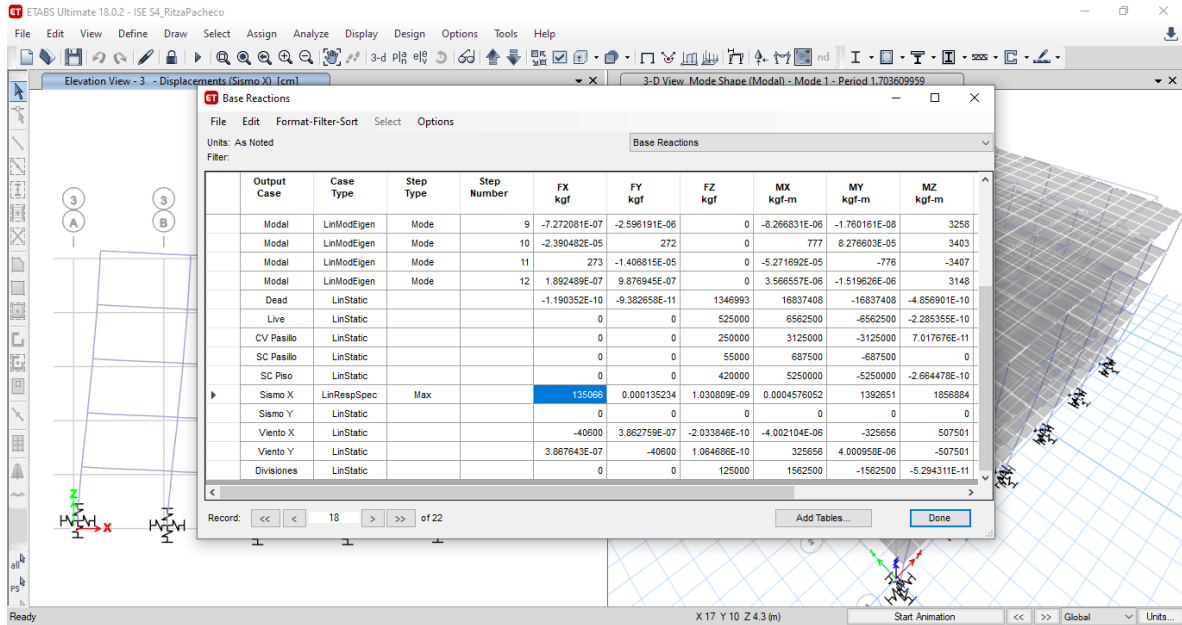
Anexo 40 ETABS Cortante Basal para empotrado por el método dinámico para suelo S2.



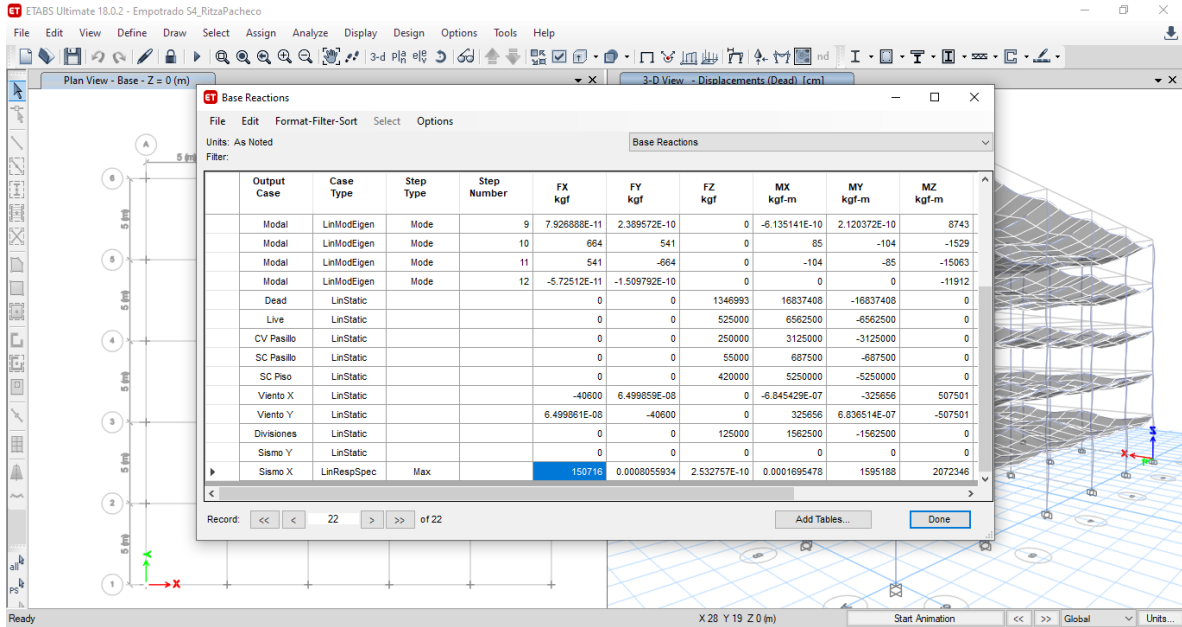
Anexo 41 ETABS Cortante Basal para ISE por el método dinámico para suelo S3.



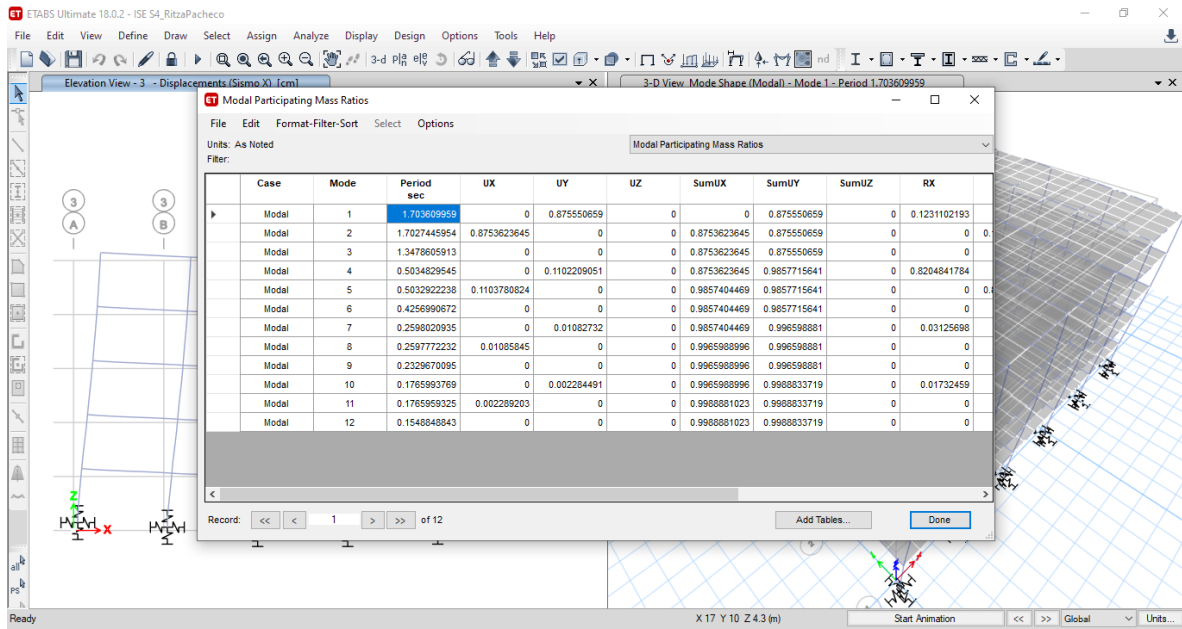
Anexo 42 ETABS Cortante Basal para empotrado por el método dinámico para suelo S3.



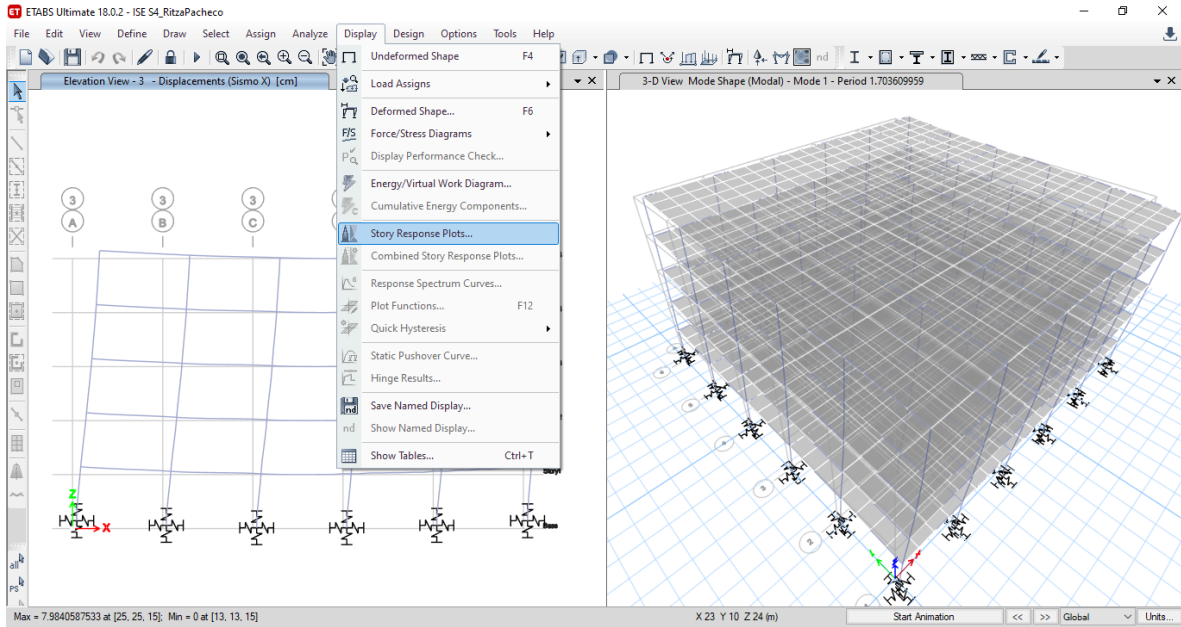
Anexo 43 ETABS Cortante Basal para ISE por el método dinámico para suelo S4.



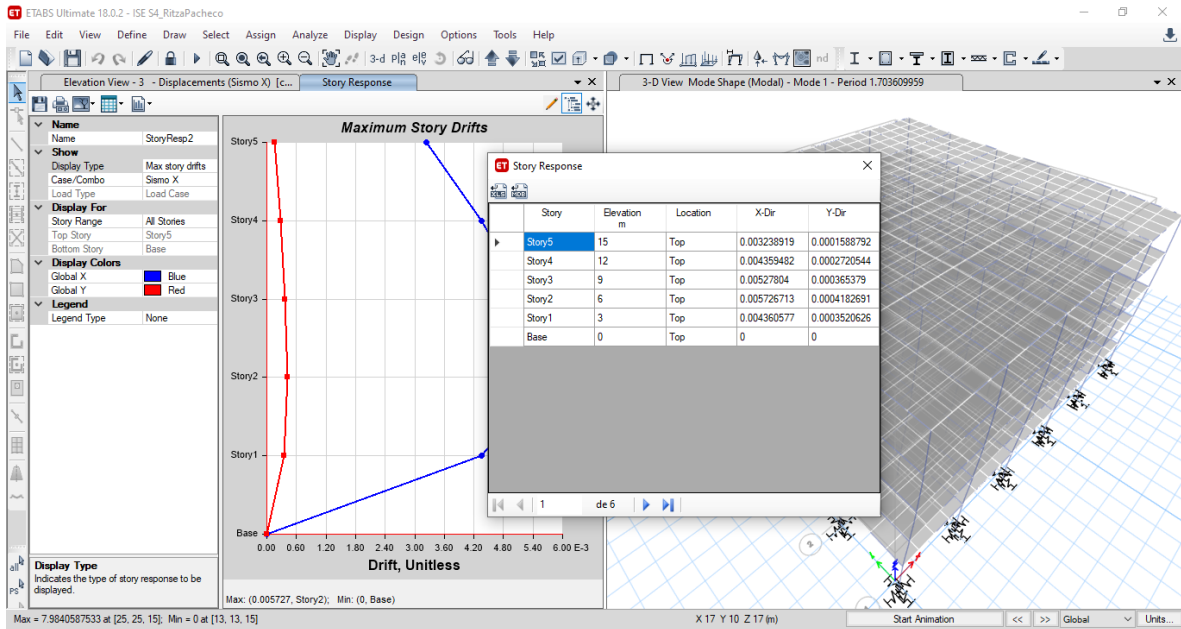
Anexo 44 ETABS Cortante Basal para empotrado por el método dinámico para suelo S4.



Anexo 45 ETABS Período para el modelo ISE para suelo S4.



Anexo 46 ETABS Demostración de respuesta del edificio a las cargas asignadas.



Anexo 47 ETABS Despliegue de los datos por nivel de piso.

11.3 Cálculos en MathCad

"Comparación de Respuesta Estructural Elástica de una Edificación con Cimentación Empotrada e Interacción Suelo-Estructura"

COEFICIENTE DE RIGIDEZ POR EL MÉTODO ASCE 41-13 PARA UN SUELO TIPO S4 (CH - ARCILLA BLANDA)

Propiedades de Cimentación:

$$B := 25 \cdot m \quad L := 25 \cdot m \quad D := 1.5 \cdot m \quad d := 1.5 \cdot m \quad h := 0.75 \cdot m$$

Propiedades de Suelo:

$$V_{s4} := 150 \cdot \frac{m}{s} \quad \rho_{s4} := 1406 \frac{kg}{m^3} \quad v_4 := 0.2 \text{ (Poisson)}$$

$$G_{04} := V_{s4}^2 \cdot \rho_{s4} = 31635000 \text{ Pa} \quad G_4 := 0.05 \cdot G_{04} = 1581750 \text{ Pa}$$

Anexo 48 MathCad Propiedades para S1.

Coefficiente de Rigidez Superficiales:

$$\text{Traslación a lo largo del eje x} \quad Kx_{sur4} := \frac{G_4 \cdot B}{2 - v_4} \cdot \left(3.4 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 1.2 \right) = 101056.25 \frac{kN}{m}$$

$$\text{Traslación a lo largo del eje y} \quad Ky_{sur4} := \frac{G_4 \cdot B}{2 - v_4} \cdot \left(3.4 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.4 \cdot \frac{L}{B} + 0.8 \right) = 101056.25 \frac{kN}{m}$$

$$\text{Traslación a lo largo del eje z} \quad Kz_{sur4} := \frac{G_4 \cdot B}{1 - v_4} \cdot \left(1.55 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.8 \right) = 116159.766 \frac{kN}{m}$$

$$\text{Balanceo a lo largo del eje x} \quad Kxx_{sur4} := \frac{G_4 \cdot B^3}{1 - v_4} \cdot \left(0.4 \left(\frac{L}{B} \right) + 0.1 \right) = 15446777.344 \text{ kN} \cdot m$$

$$\text{Balanceo a lo largo del eje y} \quad Kyy_{sur4} := \frac{G_4 \cdot B^3}{1 - v_4} \cdot \left(0.47 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.034 \right) = 15570351.563 \text{ kN} \cdot m$$

$$\text{Torsión en el eje z} \quad Kzz_{sur4} := G_4 \cdot B^3 \cdot \left(0.53 \cdot \left(\frac{L}{B} \right)^{2.45} + 0.51 \right) = 25703437.5 \text{ kN} \cdot m$$

Anexo 49 MathCad Cálculos de Rigidez Superficiales.

Factor de Corrección por Embebimiento:

Traslación a lo largo del eje x	$\beta_x := \left(1 + 0.21 \cdot \sqrt{\frac{D}{B}}\right) \cdot \left(1 + 1.6 \left(\frac{h \cdot d \cdot (B+L)}{B \cdot L^2}\right)^{0.4}\right) = 1.229$
Traslación a lo largo del eje y	$\beta_y := \left(1 + 0.21 \cdot \sqrt{\frac{D}{L}}\right) \cdot \left(1 + 1.6 \left(\frac{h \cdot d \cdot (B+L)}{L \cdot B^2}\right)^{0.4}\right) = 1.229$
Traslación a lo largo del eje z	$\beta_z := \left(1 + \frac{1}{21} \cdot \frac{D}{B} \cdot \left(2 + 2.6 \cdot \frac{B}{L}\right)\right) \cdot \left(1 + 0.32 \cdot \left(\frac{d \cdot (B+L)}{B \cdot L}\right)^{\frac{2}{3}}\right) = 1.092$
Balanceo a lo largo del eje x	$\beta_{xx} := 1 + 2.5 \cdot \frac{d}{B} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot d}{B} \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^{-0.2} \cdot \sqrt{\frac{B}{L}}\right) = 1.168$
Balanceo a lo largo del eje y	$\beta_{yy} := 1 + 1.4 \left(\frac{d}{L}\right)^{0.6} \cdot \left(1.5 + 3.7 \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^{1.9} \cdot \left(\frac{d}{B}\right)^{-0.6}\right) = 1.413$
Torsión en el eje z	$\beta_{zz} := 1 + 2.6 \cdot \left(1 + \frac{B}{L}\right) \cdot \left(\frac{d}{B}\right)^{0.9} = 1.413$

Anexo 50 MathCad Factor de Corrección por Embebimiento.**Coefficiente de Rigidez:**

Traslación a lo largo del eje x	$Kx_A := Kx_{surA} \cdot \beta_x = 124160.09 \frac{kN}{m}$
Traslación a lo largo del eje y	$Ky_A := Ky_{surA} \cdot \beta_y = 124160.09 \frac{kN}{m}$
Traslación a lo largo del eje z	$Kz_A := Kz_{surA} \cdot \beta_z = 126848.583 \frac{kN}{m}$
Balanceo a lo largo del eje x	$Kxx_A := Kxx_{surA} \cdot \beta_{xx} = 18041835.938 \text{ kN} \cdot m$
Balanceo a lo largo del eje y	$Kyy_A := Kyy_{surA} \cdot \beta_{yy} = 22000214.924 \text{ kN} \cdot m$
Torsión en el eje z	$Kzz_A := Kzz_{surA} \cdot \beta_{zz} = 36328480.037 \text{ kN} \cdot m$

Anexo 51 MathCad Factor de Coeficiente de Rigidez con corrección.

Área Total $A_t := B \cdot L = 625 \text{ m}^2$

Esquina:

Columnas $n_e := 4$

Área Esquina $A_e := (2.5 \cdot m \cdot 2.5 \text{ m}) \cdot n_e = 25 \text{ m}^2$

Traslación a lo largo del eje x $Kex_A := Kx_A \cdot \frac{A_e}{A_t} \cdot \frac{1}{n_e} = 1241.601 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Traslación a lo largo del eje y $Key_A := Ky_A \cdot \frac{A_e}{A_t} \cdot \frac{1}{n_e} = 1241.601 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Traslación a lo largo del eje z $Kez_A := Kz_A \cdot \frac{A_e}{A_t} \cdot \frac{1}{n_e} = 1268.486 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Balanceo a lo largo del eje x $Kexx_A := Kxx_A \cdot \frac{A_e}{A_t} \cdot \frac{1}{n_e} = 180418.359 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Balanceo a lo largo del eje y $Keyy_A := Kyy_A \cdot \frac{A_e}{A_t} \cdot \frac{1}{n_e} = 220002.149 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Torsión en el eje z $Kezz_A := Kzz_A \cdot \frac{A_e}{A_t} \cdot \frac{1}{n_e} = 363284.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Anexo 52 MathCad Rigidez para columnas de Esquina.

Borde:

Columnas $n_b := 4 \cdot 4 = 16$

Área Borde $A_b := (2.5 \cdot m \cdot 5 \text{ m}) \cdot (4 \cdot 4) = 200 \text{ m}^2$

Traslación a lo largo del eje x $Kbx_A := Kx_A \cdot \frac{A_b}{A_t} \cdot \frac{1}{n_b} = 2483.202 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Traslación a lo largo del eje y $Kby_A := Ky_A \cdot \frac{A_b}{A_t} \cdot \frac{1}{n_b} = 2483.202 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Traslación a lo largo del eje z $Kbz_A := Kz_A \cdot \frac{A_b}{A_t} \cdot \frac{1}{n_b} = 2536.972 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Balanceo a lo largo del eje x $Kbxx_A := Kxx_A \cdot \frac{A_b}{A_t} \cdot \frac{1}{n_b} = 360836.719 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Balanceo a lo largo del eje y $Kbyy_A := Kyy_A \cdot \frac{A_b}{A_t} \cdot \frac{1}{n_b} = 440004.298 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Torsión en el eje z $Kbzz_A := Kzz_A \cdot \frac{A_b}{A_t} \cdot \frac{1}{n_b} = 726569.601 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Anexo 53 MathCad Rigidez para columnas de Borde.

Internas:# Columnas $n_i := 4 \cdot 4 = 16$ Área Interna $A_i := (5 \cdot m \cdot 5 \cdot m) \cdot (4 \cdot 4) = 400 \text{ m}^2$

$$\text{Traslación a lo largo del eje x} \quad Kix_A := Kx_A \cdot \frac{A_i}{A_t} \cdot \frac{1}{n_i} = 4966.404 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Traslación a lo largo del eje y} \quad Kiy_A := Ky_A \cdot \frac{A_i}{A_t} \cdot \frac{1}{n_i} = 4966.404 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Traslación a lo largo del eje z} \quad Kiz_A := Kz_A \cdot \frac{A_i}{A_t} \cdot \frac{1}{n_i} = 5073.943 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

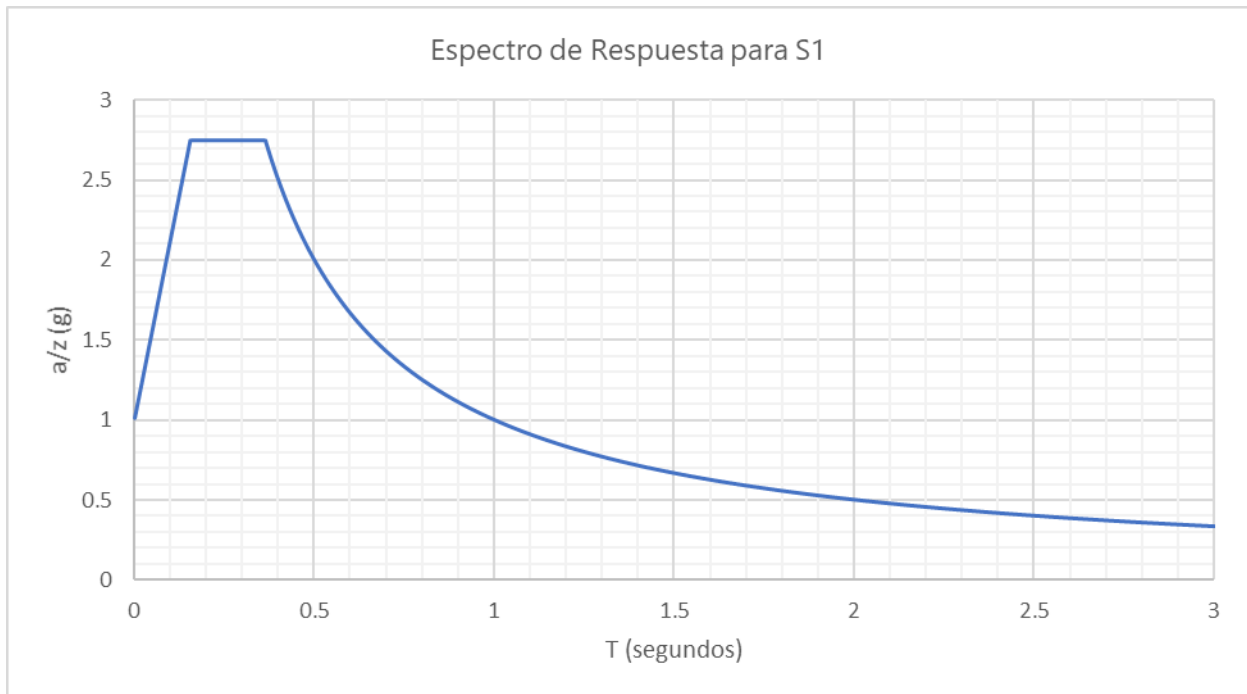
$$\text{Balanceo a lo largo del eje x} \quad Kixx_A := Kxx_A \cdot \frac{A_i}{A_t} \cdot \frac{1}{n_i} = 721673.438 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{Balanceo a lo largo del eje y} \quad Kiy_A := Kyy_A \cdot \frac{A_i}{A_t} \cdot \frac{1}{n_i} = 880008.597 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

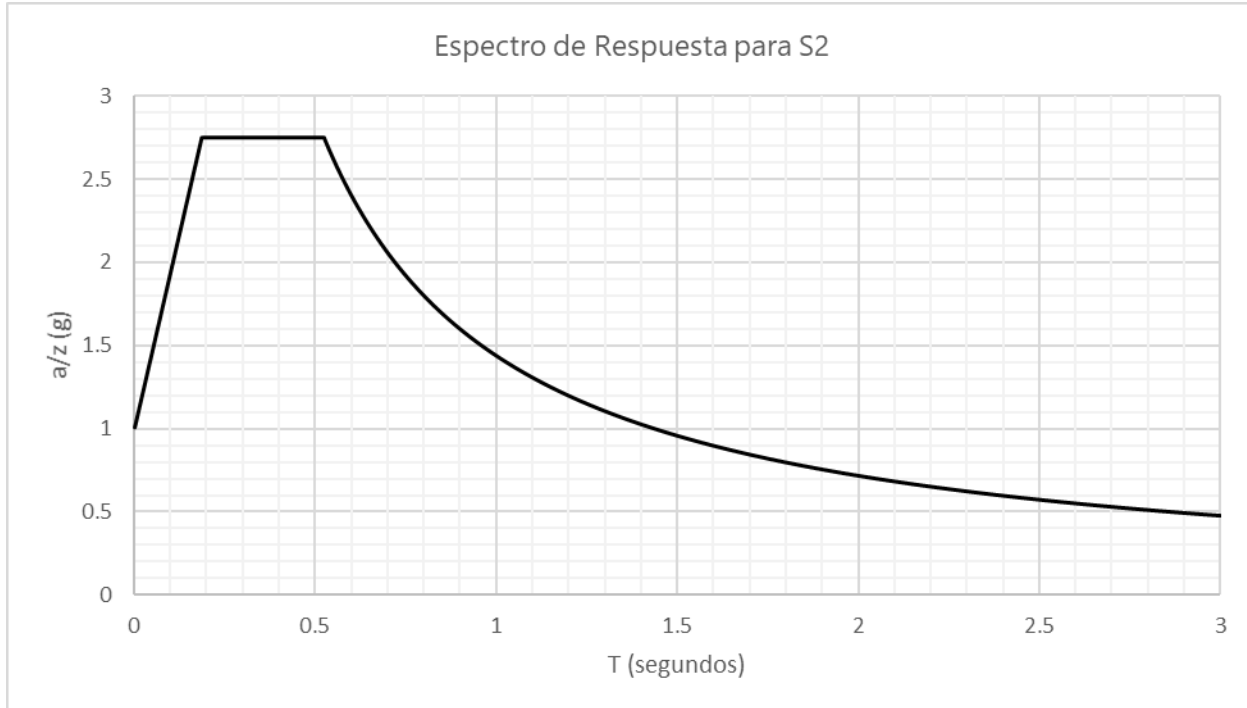
$$\text{Torsión en el eje z} \quad Kizz_A := Kzz_A \cdot \frac{A_i}{A_t} \cdot \frac{1}{n_i} = 1453139.201 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Anexo 54 MathCad Rigidez para columnas Internas.

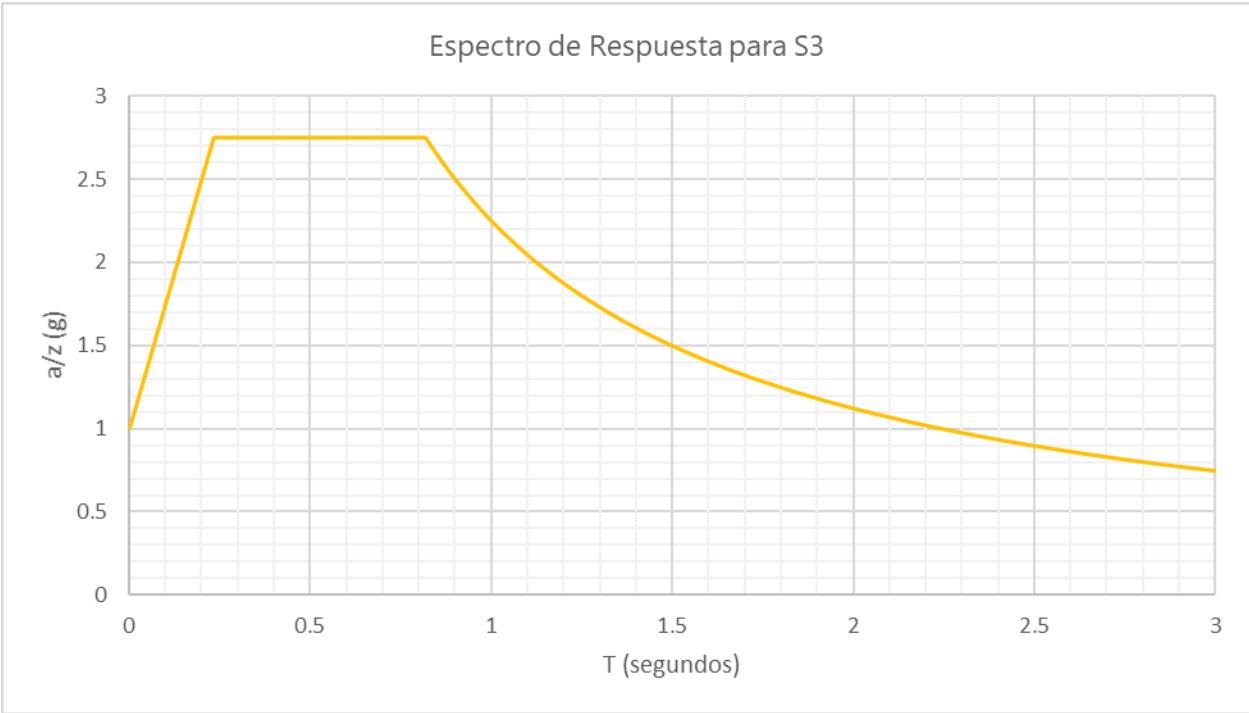
11.4 Espectros



Anexo 55 Espectro de Respuesta para S1.



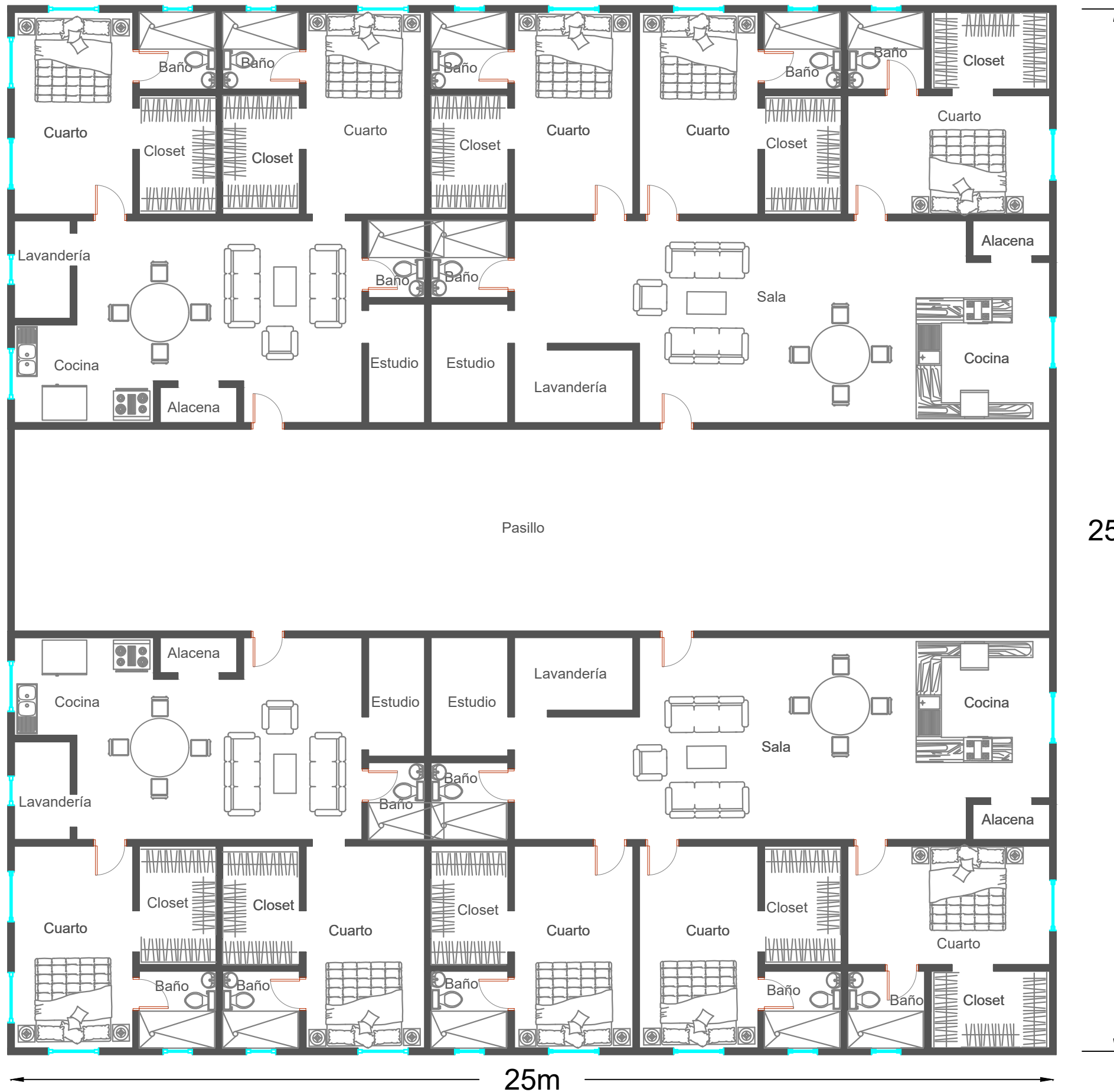
Anexo 56 Espectro de Respuesta para S2.



Anexo 57 Espectro de Respuesta para S3.



Anexo 58 Espectro de Respuesta para S4.



NOTA:

EL DISEÑO PROPUESTO PARA FINES DE INVESTIGACIÓN, TOMANDO EN CUENTA LAS SIGUIENTES CARACTERÍSTICAS:

1. EDIFICIO DE APARTAMENTOS DE 5 NIVELES
2. UBICADO EN LA CIUDAD DE CHOLUTECA, HONDURAS.
3. ÁREA DE CONSTRUCCIÓN DE 625 M²



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
CENTROAMÉRICA

PROYECTO:

COMPARACIÓN DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN CON CIMENTACIÓN EMPOTRADA E INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA

CONTENIDO:

PLANO
ARQUITECTÓNICO

DIBUJÓ:

RITZA M. PACHECO

REVISÓ:

ING. DAVID RODRÍGUEZ

ESCALA:

1 : 75

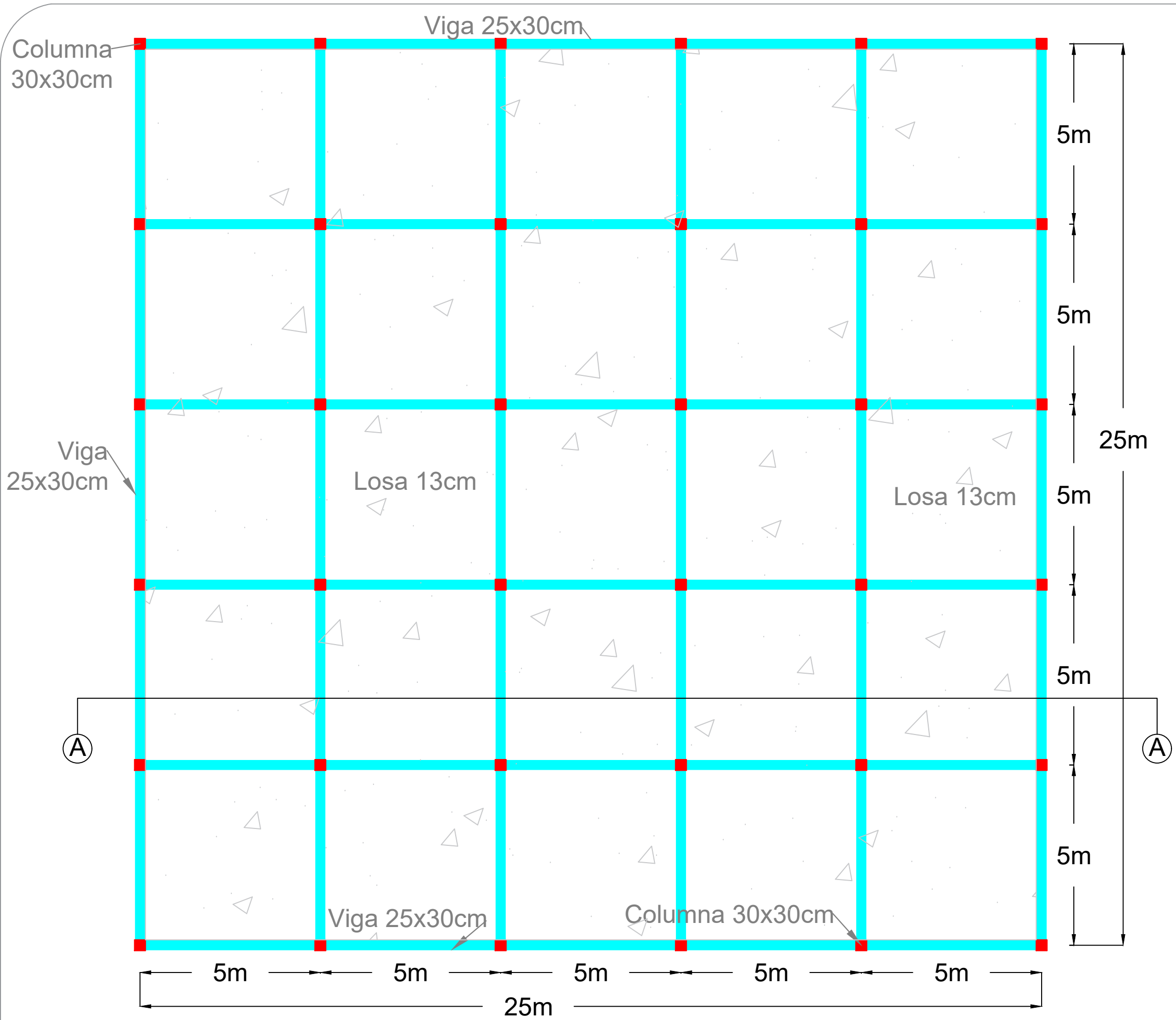
FECHA:

JULIO/2020

HOJA:

1 / 4





NOTA:

EL DISEÑO PROPUESTO PARA FINES DE INVESTIGACIÓN, TOMANDO EN CUENTA LAS SIGUIENTES CARACTERÍSTICAS:

1. ELEMENTOS ESTÁN EN ETAPA DE PREDIMENSIONAMIENTO
2. CONSIDERAR ELEMENTOS DE CONCRETO DE PESO NORMAL.
3. EL CONCRETO TIENE LAS SIGUIENTES CARACTERÍSTICAS:
 - a. $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$
 - b. $F_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$



PROYECTO:
COMPARACIÓN DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN CON CIMENTACIÓN EMPOTRADA E INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA

CONTENIDO:
PLANO SISTEMA ESTRUCTURAL

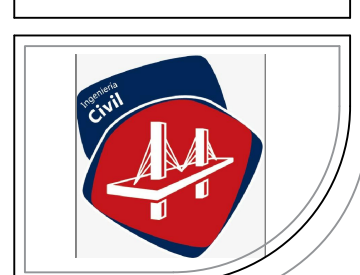
DIBUJÓ:
RITZA M. PACHECO

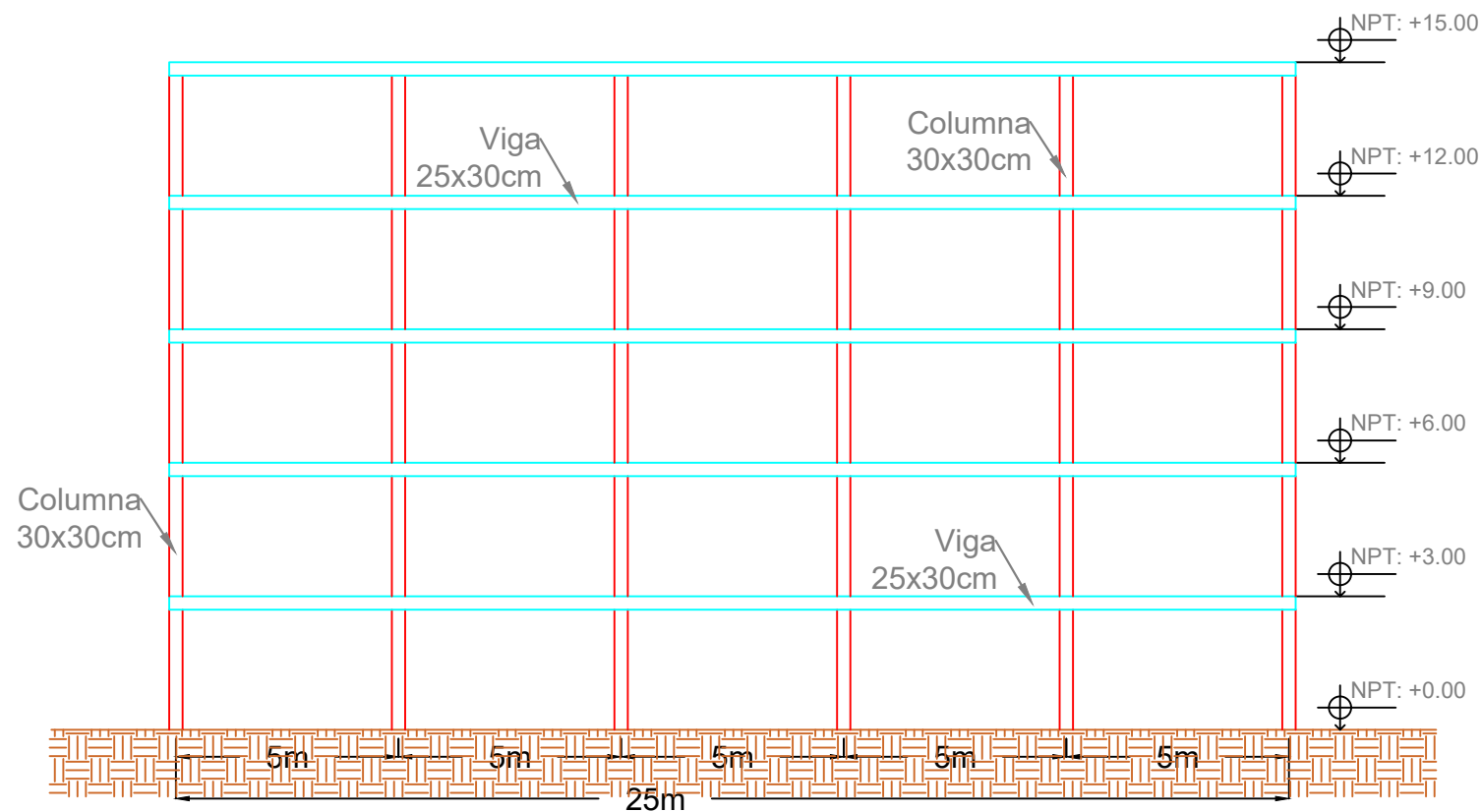
REVISÓ:
ING. DAVID RODRÍGUEZ

ESCALA:
1 : 75

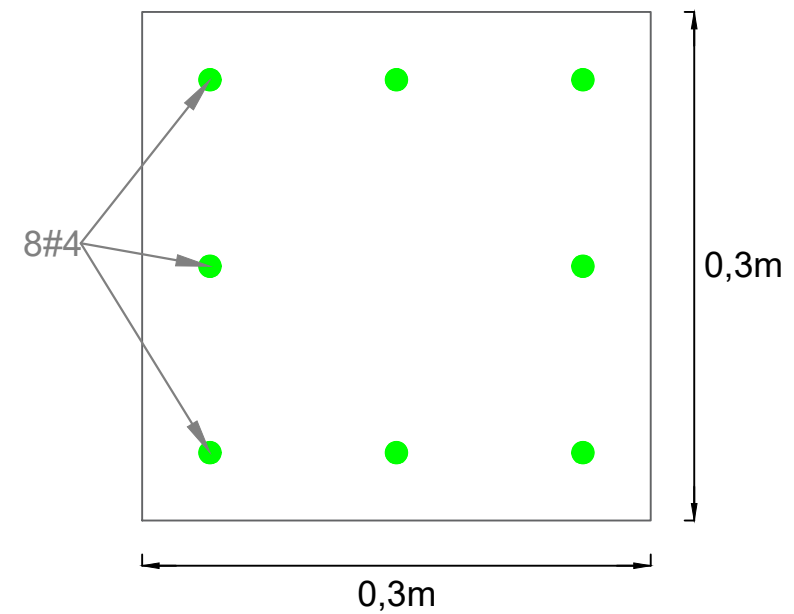
FECHA:
JULIO/2020

HOJA:
2/4

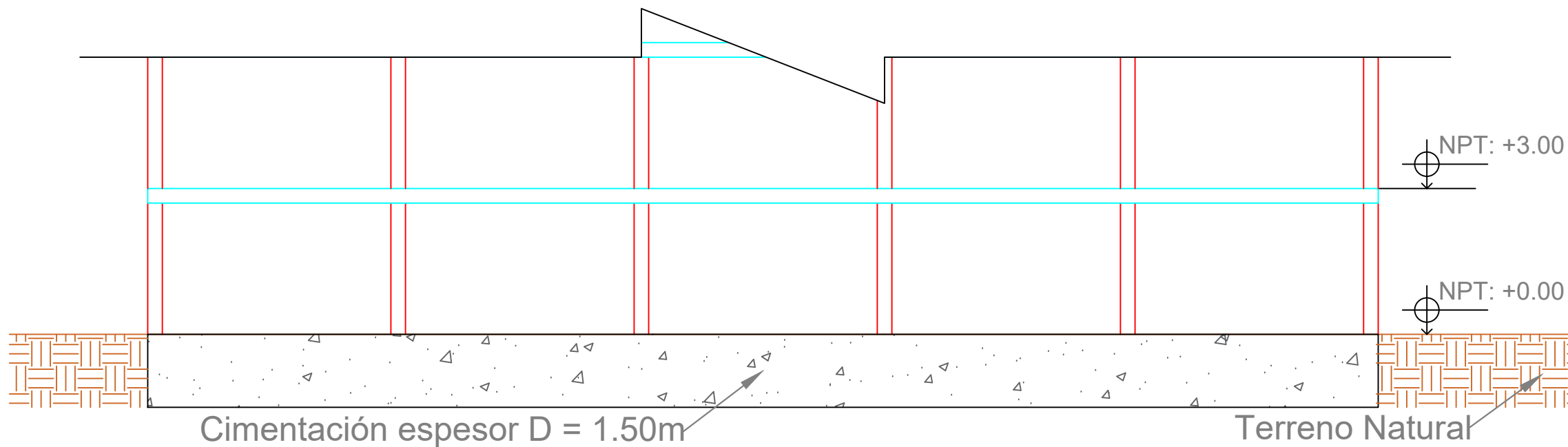




CORTE A-A



DETALLE DE COLUMNA



CIMENTACIÓN PROPUESTA PARA USO DE COEFICIENTE DE RÍGIDEZ



PROYECTO:
COMPARACIÓN DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN CON CIMENTACIÓN EMPOTRADA E INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA

CONTENIDO:
CORTE A-A, CIMENTACIÓN, DETALLE DE COLUMNA

DIBUJÓ:
RITZA M. PACHECO

REVISÓ:
ING. DAVID RODRÍGUEZ

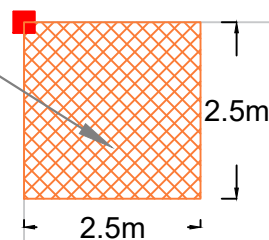
ESCALA:
1 : 100

FECHA:
JULIO/2020

HOJA:
3/4

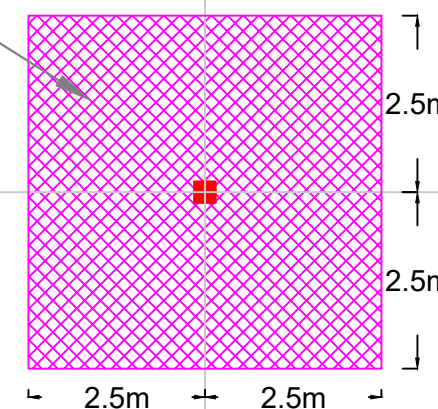


Área Tributaria
Columna de Esquina

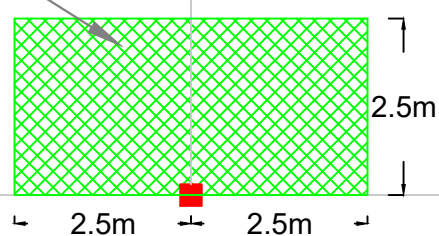


Columna 30x30cm

Área Tributaria
Columna Interna



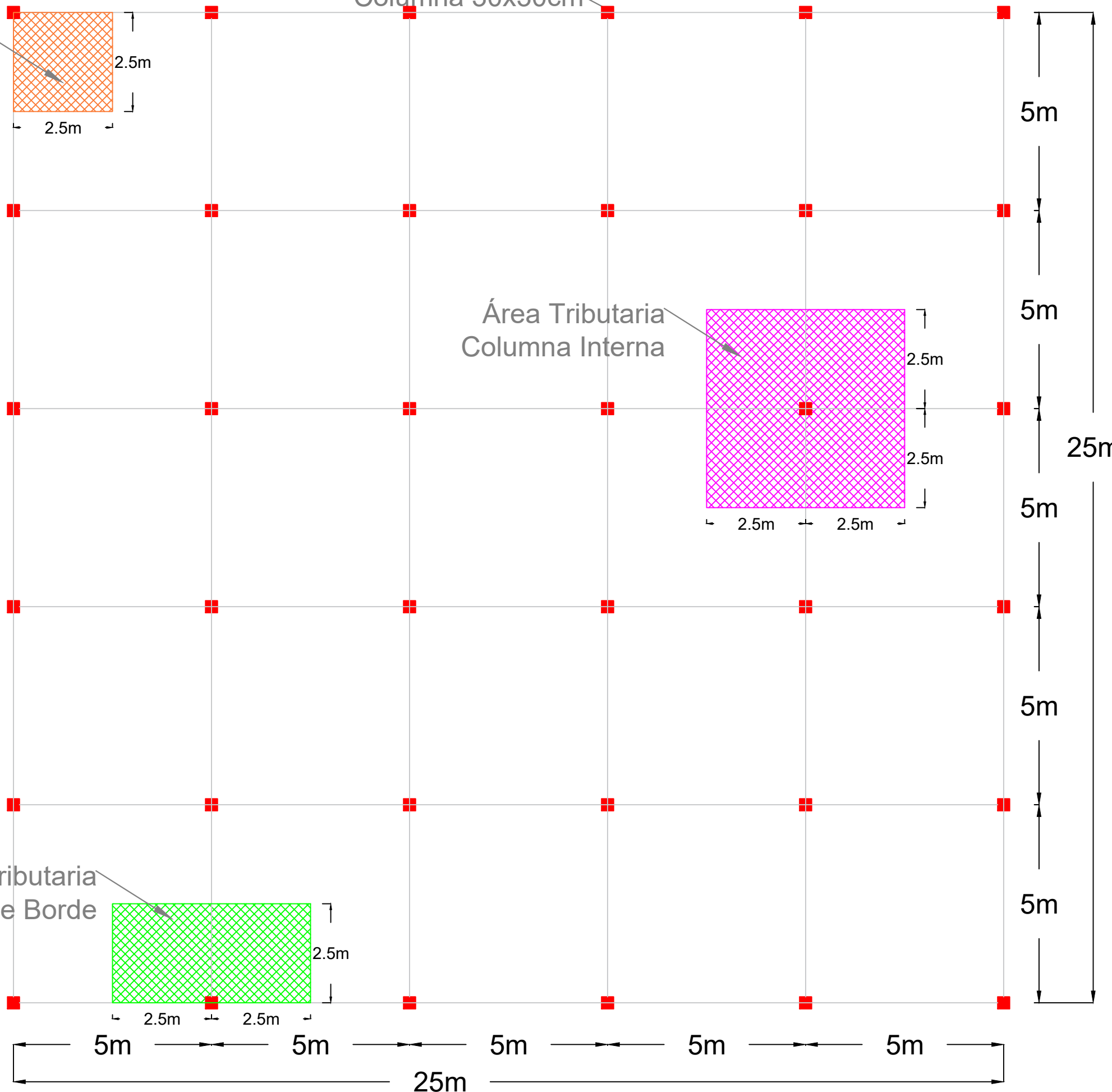
Área Tributaria
Columna de Borde



NOTA:

EL DISEÑO PROPUESTO PARA FINES DE INVESTIGACIÓN:

- MÉTODO PARA CONVERSIÓN DE UNA LOSA DE CIMENTACIÓN A ZAPATAS AISLADAS.
- DISTRIBUCIÓN DE COLUMNAS:
 - COLUMNAS DE ESQUINA = 4
 - COLUMNAS DE BORDE = 16
 - COLUMNAS INTERNAS = 16



PROYECTO:

COMPARACIÓN DE RESPUESTA ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN CON CIMENTACIÓN EMPOTRADA E INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA

CONTENIDO:

PLANO ÁREA TRIBUTARIA DE LAS COLUMNAS

DIBUJÓ:

RITZA M. PACHECO

REVISÓ:

ING. DAVID RODRÍGUEZ

ESCALA:

1 : 75

FECHA:

JULIO/2020

HOJA:

4/4

