



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

*Proyecto de Investigación previo a la obtención del Título de
Ingeniero Civil*

TEMA:

**INTERACCIÓN SÍSMICA ENTRE SUELO- ESTRUCTURA EN EDIFICIOS
DE HORMIGÓN ARMADO DE 6 PISOS LIMITADOS POR ZAPATAS
AISLADAS EN LA CIUDAD DE AMBATO SECTOR PLAZA URBINA.**

Autor: Toapanta Tixilema Hugo Fabián.

Tutor: Ing. Mg. Durán Sánchez Fernando Antonio.

**Ambato – Ecuador
2016**

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Mg. Fernando Antonio Durán Sánchez. certifico que el presente trabajo bajo el tema: INTERACCIÓN SISMICA ENTRE SUELO - ESTRUCTURA EN EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO DE 6 PISOS LIMITADOS POR ZAPATAS AISLADAS EN LA CIUDAD DE AMBATO SECTOR PLAZA URBINA, es de autoría del Sr. Hugo Fabián Toapanta Tixilema, el mismo que ha sido realizado bajo mi supervisión y tutoría.

Ambato, enero del 2016

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized initials and a surname, with the letters 'FADS' written in a smaller font below the main signature.

Ing. Mg. Fernando Antonio Durán Sánchez.

TUTOR

AUTORÍA

Yo, Hugo Fabián Toapanta Tixilema, C.I: 180379241-3 egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el trabajo con el tema: INTERACCIÓN SISMICA ENTRE SUELO- ESTRUCTURA EN EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO DE 6 PISOS LIMITADOS POR ZAPATAS AISLADAS EN LA CIUDAD DE AMBATO SECTOR PLAZA URBINA, es de mi autoría y fue realizado en el período enero 2015 – diciembre 2015.

Ambato, enero del 2016



Egdo. Hugo Fabián Toapanta Tixilema

180379241-3

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de esta tesis o parte de ella un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi tesis, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de ésta tesis, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Autor

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a horizontal line at the bottom. The signature is stylized and appears to read 'Hugo Fabián Toapanta Tixilema'.

Hugo Fabián Toapanta Tixilema

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Al Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica:

La comisión de Estudios y Calificación del Informe del Trabajo de Graduación o Titulación, sobre el Tema:

“INTERACCIÓN SISMICA ENTRE SUELO- ESTRUCTURA EN EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO DE 6 PISOS LIMITADOS POR ZAPATAS AISLADAS EN LA CIUDAD DE AMBATO SECTOR PLAZA URBINA”, Presentado por el sr. Toapanta Tixilema Hugo Fabián, egresado de la Carrera de Ingeniería Civil, Modalidad Presencial, Promoción Marzo – Agosto 2010, considera que, una vez revisada la investigación, **APRUEBA** en razón de que cumple con los principios básicos, técnicos y científicos reglamentarios.

Por lo tanto, se autoriza la presentación ante los organismos pertinentes.

LA COMISIÓN

Ing. M.sc. Francisco Pazmiño G.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Mg. Jorge Cevallos
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Mg. Juan Garcés
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios por ser mi fuente de inspiración y con este trabajo puedo honrarlo, a mi madre por su apoyo y el ejemplo que me ha dado de dedicación y esfuerzo y a mi hermano por el ánimo y el apoyo que me ha brindado.

AGRADECIMIENTO

Al terminar el presente trabajo y por ende mi carrera universitaria mi más sincero agradecimiento para mi madre, mi hermano por ser ellos quienes me impulsaron a terminar esta etapa de mi vida.

Agradezco de todo corazón al Ingeniero Oswaldo Calero por su apoyo, motivación y aporte para mi crecimiento profesional.

Un reconocimiento especial a Cynthia Zúñiga que con sus palabras de amor intencionales me han ayudado a la superación personal y a la visualización de un futuro lleno de éxito al poder alcanzar la presente meta.

Agradezco a todos mis pastores, la familia Constante Almeida, a la Familia Pilopais a mis amigos, Daniel Calderón, David Sandoval, Juan Cisneros, Jefferson Pumisacho, David Rúaless, a mis compañeros de trabajo y a todos quienes de una u otra manera aportaron para este logro.

A la Universidad Técnica de Ambato en especial a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, a sus docentes, empleados, al Ing. Mg. Fernando Antonio Durán Sanchez quien con su sabiduría supo guiarme y brindarme su apoyo.

FABIAN.

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. Páginas preliminares

I	Página de título o portada
II	Página de aprobación del tutor
III	Página de autoría de la tesis
IV	Derechos de autor
V	Página aprobación del tribunal de grado
VI	Página de dedicatoria
VII	Página de agradecimiento
VIII	Índice general de contenidos
XII	Índice de cuadros y gráficos
XVI	Resumen ejecutivo
XVII	Abstract

B. Texto: Introducción

CAPÍTULO I	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2.2. ANÁLISIS CRÍTICO	2
1.2.3. PROGNOSIS	3
1.2.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2.5. PREGUNTAS DIRECTRICES	4
1.2.6. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.2.6.1.1. DE CONTENIDO	4
1.2.6.1.2. ESPACIAL	4
1.2.6.1.3. TEMPORAL	5
1.2.6.1.4. LEYES	5
1.3. JUSTIFICACIÓN	5

1.4. OBJETIVOS.....	6
1.4.1. GENERAL	6
1.4.2. ESPECÍFICOS	7
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	8
2.2. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA	10
2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL	10
2.4. CATEGORIAS FUNDAMENTALES	10
2.5. HIPÓTESIS	18
2.5.1. UNIDADES DE OBSERVACIÓN O DE ANÁLISIS	18
2.6. VARIABLES	18
2.6.1. VARIABLE DEPENDIENTE	18
2.6.2. VARIABLE INDEPENDIENTE	18
2.6.3. UNIDAD DE OBSERVACIÓN	18
CAPÍTULO III.....	19
METODOLOGÍA	19
3.1. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN	19
3.1.1. ENFOQUE	19
3.1.2. MODALIDAD	19
3.1.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	19
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	20
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	20
3.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	23
3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	23
3.5.1. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	23
3.5.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	23
CAPÍTULO IV	24
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	24

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS	24
4.1.1. REPRESENTACIÓN DE DATOS	25
4.1.1.1. Pregunta 1.-	25
4.1.1.2. Pregunta 2.-	26
4.1.1.3. Pregunta 3.-	27
4.1.1.4. Pregunta 4.-	28
4.1.1.5. Pregunta 5.-	29
4.1.1.6. Pregunta 6.-	30
4.2. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	31
CAPÍTULO V.....	32
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	32
5.1. CONCLUSIONES.....	32
5.2. RECOMENDACIONES.....	33
CAPÍTULO VI.....	34
PROPUESTA	34
6.1. DATOS INFORMATIVOS.....	34
6.1.1. ASPECTOS GENERALES	34
6.1.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA	34
6.1.1.2. ESTUDIO DE SUELOS	34
6.1.1.2.1. ANÁLISIS SÍSMICO.....	34
6.1.1.2.2. MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA	35
6.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.....	35
6.3. JUSTIFICACIÓN	35
6.4. OBJETIVOS.....	36
6.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	36
6.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	36
6.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....	36
6.6. FUNDAMENTACIÓN	36
6.7. METODOLOGÍA	38
6.7.1. IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS TIPO EN EL SECTOR	38

6.7.2.	VALORES CARACTERÍSTICOS.....	41
6.7.3.	PREDISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA	43
6.7.3.1.	PREDISEÑO DE LOSA.....	43
6.7.3.2.	PREDISEÑO DE VIGAS	46
6.7.3.3.	PREDISEÑO DE COLUMNAS.....	49
6.7.3.4.	PREDISEÑO DE CIMENTACIÓN	52
6.7.4.	DETERMINACIÓN DE FUERZAS ESTÁTICAS POR NIVELES.....	53
6.7.4.1.	CORTANTE BASAL DE DISEÑO SEGÚN EL NEC 2015 ...	53
6.7.4.2.	DISTRIBUCIÓN DEL CORTANTE BASAL (V).....	61
6.7.5.	ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO	63
6.7.6.	MODELACIÓN COMPUTACIONAL	66
6.7.6.1.	ANTECEDENTES GENERALES	66
6.7.6.2.	GENERALIDADES DEL MODELO ESTRUCTURAL.....	67
6.7.6.3.	IDEALIZACIÓN GEOMETRICA	67
6.7.6.4.	IDEALIZACIÓN DE MATERIALES.....	68
6.7.6.5.	IDEALIZACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	68
6.7.6.6.	IDEALIZACIÓN Y ASIGNACIÓN DE LOSA.....	70
6.7.6.7.	CREACIÓN Y MODELACIÓN DE LA ESCALERA	72
6.7.6.8.	IDEALIZACIÓN DE LAS CARGAS	75
6.7.6.9.	ESTABILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA	78
6.7.6.10.	ASIGNACIÓN DE CARGAS	79
6.7.6.11.	CENTRO DE MASAS.....	80
6.7.6.12.	CENTRO DE RIGIDECES.....	82
6.7.6.13.	DISCRETIZACIÓN DE LOSA.....	83
6.7.7.	ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	83
6.7.7.1.	ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA ESTRUCTURA	85
6.7.7.2.	ANÁLISIS DINÁMICO DE LA ESTRUCTURA SIN INTERACCIÓN SÍSMICA SUELO-ESTRUCTURA.....	87
6.7.7.2.1.	ANÁLISIS MODAL DE LA ESTRUCTURA.	87
6.7.7.3.	MODELACIÓN DE INTERACCIÓN SÍSMICA ENTRE SUELO- ESTRUCTURA	94

6.7.7.3.1. ASIGNACIÓN DE CIMENTACIÓN A LA MODELACIÓN	94
6.7.7.3.2. ASIGNACIÓN DE COEFICIENTE DE BALASTO	96
6.7.7.3.3. OBTENCIÓN DE RESULTADOS.....	98
6.7.8. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	103
6.7.9. CONCLUSIONES	106
6.7.10. RECOMENDACIONES	107
C. MATERIALES DE REFERENCIA.....	108
1. BIBLIOGRAFÍA.....	108
2. ANEXOS	110

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS

Gráfico 1. Delimitación Espacial	5
Gráfico 2 Supraordinación de la Variable Independiente	10
Gráfico 3 Supraordinación de la Variable Dependiente	11
Gráfico 4. Equilibrio Dinámico (Sistema de un grado de libertad sujeto a una fuerza horizontal)	16
Gráfico 5 Resultados Pregunta N°1.....	25
Gráfico 6 Resultados Pregunta N° 2	26
Gráfico 7. Resultados Pregunta N° 3	27
Gráfico 8 Resultados Pregunta N° 4	28
Gráfico 9 Resultados Pregunta N° 5	29
Gráfico 10 Resultados Pregunta N° 6	30
Gráfico 11. Ubicación de edificios mayores de 6 pisos.....	39
Gráfico 12. Configuración en planta.....	41
Gráfico 13 Configuración en Elevación.....	42
Gráfico 14 Tablero Crítico	43
Gráfico 15 Espesor de losa.....	45
Gráfico 16 Ancho cooperante para vigas	48
Gráfico 17 Áreas cooperantes para columnas	50
Gráfico 18 Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa al sismo de diseño	63

Gráfico 19. Espectro sísmico elástico de aceleración	66
Gráfico 20 Idealización Geométrica	68
Gráfico 21. Idealización del material	68
Gráfico 22. Idealización de vigas	69
Gráfico 23. Idealización de columnas	69
Gráfico 24. Asignación de Vigas y Columnas	70
Gráfico 25. Asignación de Vigas y Columnas	72
Gráfico 26. Asignación de Vigas y Columnas	72
Gráfico 27. Detalle de grada en planta	73
Gráfico 28. Detalle de grada en Corte a-a	73
Gráfico 29. Detalle de escalón	73
Gráfico 30. Detalle de escalón equivalente	74
Gráfico 31 Detalle de escalón equivalente	75
Gráfico 32 Asignación de grada	75
Gráfico 33 Definición de cargas	76
Gráfico 34 Asignación de coeficientes sísmico X	76
Gráfico 35 Asignación de coeficientes sísmico Y	76
Gráfico 36 Asignación de espectro de respuesta	77
Gráfico 37 Generación de cargas dinámicas	77
Gráfico 38 Parámetros para Modo de Vibración	78
Gráfico 39 Modelo Corrido y generación de tabla de resultados	78
Gráfico 40 Masas de la estructura	79
Gráfico 41 Asignación de cargas a losas de entrepiso	79
Gráfico 42 Asignación de cargas a losa de terraza	80
Gráfico 43 Asignación de cargas a losa de tapagrada	80
Gráfico 44 Asignación de cargas a grada	80
Gráfico 45 Definición de unidades y Región	81
Gráfico 46 Determinación de Centro de masa	81
Gráfico 47 Asignación de centro de masas	82
Gráfico 48 Generación de Diafragmas	82
Gráfico 49 Asignación de Diafragmas	83
Gráfico 50 Discretización de losa	83

Gráfico 51 Asignación de masas.....	85
Gráfico 52 Análisis estático	85
Gráfico 53 Desplazamientos sísmicos.	86
Gráfico 54 Análisis Dinámico.....	88
Gráfico 55 Análisis Dinámico (Modo1 y Modo 2).....	90
Gráfico 56 No linealidad de cargas.....	94
Gráfico 57 Puntos de limitación para zapata aislada.	95
Gráfico 58 Generación de zapata aislada.	95
Gráfico 59 Asignación de zapata aislada.	95
Gráfico 60 Restricción en zapatas.....	96
Gráfico 61 Asignación de “Spring”.	97
Gráfico 62 Parámetros del “Spring”.	97
Gráfico 63 Combinación de cimentación.....	98
Gráfico 64 Esquema de interacción suelo-estructura.....	98
Gráfico 65 Modos de vibración 1 y 2 con interacción suelos estructura.	99
Gráfico 66 Deriva de piso en el eje X de los 3 Análisis.	104
Gráfico 67 Deriva de piso en el eje Y de los 3 Análisis.	104
Tabla 1 Operacionalización de Variable Independiente	21
Tabla 2 Operacionalización de Variable Dependiente.....	22
Tabla 3 Resultados Pregunta N°1.....	25
Tabla 4 Resultados Pregunta N° 2	26
Tabla 5 Resultados Pregunta N° 3	27
Tabla 6 Resultados Pregunta N° 4	28
Tabla 7 Resultados Pregunta N° 5	29
Tabla 8 Resultados Pregunta N° 6	30
Tabla 9 Configuración en planta.....	40
Tabla 10 Distancias entre ejes x.....	40
Tabla 11 Distancias entre ejes y.....	40
Tabla 12 Tipo de losa.....	43
Tabla 13 Secciones para vigas más críticas	49
Tabla 14 Secciones de columnas.....	51

Tabla 15 Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.....	55
Tabla 16 Tipo de suelo y factores de sitio Fa	55
Tabla 17 Tipo de suelo y factores de sitio Fd	56
Tabla 18 Tipo de suelo y factores de sitio Fs.....	56
Tabla 19 Tipo de uso, destino e importancia de la estructura.....	58
Tabla 20 Coeficiente r para sistemas estructurales dúctiles.....	59
Tabla 21 Configuraciones estructurales no recomendadas	60
Tabla 22 Coeficientes de irregularidad en planta.....	60
Tabla 23 Coeficientes de irregularidad en elevación	61
Tabla 24 Valor de k.....	62
Tabla 25 Distribución del cortante basal por piso.....	63
Tabla 26 Valores para espectro elástico.....	65
Tabla 27 Valores recomendados para secciones de grada	72
Tabla 28 Derivas Estática para el sismo en X.....	86
Tabla 29 Derivas Estática para el sismo en Y.....	86
Tabla 30 Reacciones en la Base.	87
Tabla 31 Participación de las masas de la estructura.	89
Tabla 32 Modos de vibración Fallas.	90
Tabla 33 Modos de vibración controlados.....	91
Tabla 34 Derivas de piso Dinámico en X.	91
Tabla 35 Derivas de piso Dinámico en Y.	92
Tabla 36 Reacciones en la base Dinámico.....	93
Tabla 37 Participación de las masas de la estructura.	99
Tabla 38 Modos de vibración con interacción suelo estructura.....	100
Tabla 39 Derivas de piso sentido X con interacción suelo estructura.....	100
Tabla 40 Derivas de piso sentido Y con interacción suelo estructura.....	100
Tabla 41 Comparación de los Modos de vibración.....	103
Tabla 42 Derivas de piso sentido Y con interacción suelo estructura.....	104
Tabla 43 Comparación de Reacciones en la Base.....	105

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación se realizó en EL Sector Plaza Urbina de la Ciudad de Ambato, en donde podemos encontrar edificios mayores a los 6 pisos que es objeto de este estudio, además se puede encontrar terrenos, los cuales en un futuro no muy lejano pueden llegar a construirse edificios, estas futuras estructuras serán beneficiadas mediante la aplicación de este estudio, el cual tiene por objeto conocer la interacción sísmica suelo – estructura de las edificaciones que están dentro del sector.

Para este estudio se consideró un edificio tipo, dentro de un sondeo de edificaciones realizado en el sector en donde las mismas cumplen con las condiciones de ser edificios de hormigón armado de 6 pisos, además se consideran las características estructurales del suelo del sector, por lo que se realizó el prediseño de los elementos estructurales del edificio, para luego aplicar los análisis sísmicos vigentes en el Ecuador, y realizar la modelación del edificio aplicando los análisis sísmicos, el Estático como requisito fundamental, y dos análisis Dinámico Espectral, el primero sin considerar los efectos de interacción sísmica suelo-estructura y el segundo análisis considerando los efectos de interacción sísmica suelo-estructura.

En base a las conclusiones, producto de la comparación de resultados obtenidos para los dos análisis realizados, se demuestra que la no consideración de la interacción sísmica suelo-estructura provoca que la estructura tenga un diseño muy conservador, mientras que la consideración de dicho efecto provocará que la energía sísmica aplicada al edificio se disipe, logrando que los elementos estructurales sufran menores afectaciones.

ABSTRACT

The present investigation was made in Urbina sector square in Ambato. Where we can find over 6-story buildings what is the object of this study. Also it is possible to find land, which in the Future can be places where new buildings can be constructed, these future structures will be benefited through the application of this study, which aims to meet the seismic interaction soil - structure buildings that are in the sector.

For this study, a typical building was taken into account, within survey realized to 6 story building in the area where they comply with the conditions of being reinforced concrete-buildings. Also considering the structural characteristics of the soil in the sector, so the predesign of structural elements of the building was done. Then, implement existing seismic analysis in Ecuador, and perform the modeling of the building and apply the seismic analysis, the static as a fundamental requirement, and two Dynamic Analysis. The first without considering the effects of seismic soil-structure interaction analysis and the second considering the effects of seismic soil-structure interaction.

Based on the conclusions, the result of the comparison of results obtained for the two analyzes carried out, shows that no consideration of seismic soil-structure causes that the structure has a very conservative design. While, the consideration of this effect will cause the seismic energy applied to the building get dissipated, making structural elements suffer less affectations.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN

Interacción sísmica entre suelo-estructura en edificios de hormigón armado de 6 pisos limitados por zapatas aisladas en la ciudad de Ambato sector plaza Urbina.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

A través de la historia encontramos que los eventos sísmicos han provocado en las edificaciones diversas afectaciones, podemos citar algunos de los eventos sísmicos de mayor intensidad registrados como los ocurridos en Chile en los años 1568, 1737, y en los años 1609, 1615, 1715, 1868 y 1877 en la frontera Chile - Perú , también podemos mencionar de los eventos sísmicos registrados en Perú en los años 1555, 1650, 1678, 1725, 1746, 1754 y 1828, en Colombia, Argentina, Venezuela y el resto de países que están ubicadas en las costas de Océano Pacífico, los mismos que registran sismos de alta intensidad.

El Instituto Geofísico (IG) del Ecuador, registró 977 sismos durante el año 2014, en donde la magnitud promedio fue de 3.55 y en el mes de octubre se registraron 168 eventos sísmicos, siendo este el mes con el mayor registro, (INSTITUTO GEOFISICO, 2014). Pero en el mes de agosto del mismo año en la ciudad de

Quito se registraron eventos sísmicos de magnitud media que alarmaron a la población.

El Ecuador es uno de los países que se encuentra dentro del denominado “Anillo de fuego del Pacífico”, que es el lugar donde se registra la mayor actividad sísmica y volcánica en todo el mundo, es por ello que la normativa actual hace ciertas consideraciones con el fin de reducir la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones.

En Ambato se han registrado eventos sísmicos de gran magnitud, a tal punto que terremotos, como el registrado en 1698, han destruido al cantón, lo que obligó a la población a una reubicación, sitio donde se encuentra actualmente asentada, otro terremoto que se registra es el de 1797, que estuvo acompañado de erupciones volcánicas del Tungurahua, las mismas destruyeron nuevamente gran parte de la ciudad, pero el 5 de agosto de 1949 se produjo el terremoto que provocó la destrucción del cantón Pelileo, y afectó a Ambato dejando un gran número de damnificados y viviendas destruidas, (HIPE ECUADOR, 2010). En la última década se ha registrado sismos de mediana magnitud, como el ocurrido el 18 de junio del 2012, que si bien no se reportaron grandes pérdidas, pero han sembrado cierto grado de inseguridad en la población. Técnicos en el tema concuerdan que las edificaciones son muy susceptibles ante eventos sísmicos ya que las ordenanzas del Municipio de la ciudad en 1953 establecía que los edificios deberán ser máximo de 5 pisos, pero en 1970 la misma entidad establece una nueva ordenanza, que aún está en vigencia, en donde se indicó que el número de pisos permisibles subía a ocho como máximo en el centro de la ciudad, edificios con grandes alturas son aún más vulnerables, lo que genera que las áreas de refugio queden reducidas y obstaculizadas si alguna de las estructuras llegara a colapsar. (LA HORA, 2012).

1.2.2. ANÁLISIS CRÍTICO

Al tener pocas referencias con respecto al estudio de la interacción sísmica Suelo-Estructura en edificaciones de hormigón armado de 6 pisos limitado por zapatas

aisladas en la ciudad de Ambato sector Plaza Urbina, es útil realizar dicho estudio con el fin de conocer el comportamiento estructural del edificio teniendo en consideración ciertos requisitos. Dentro de la ingeniería estructural es un tema que poco a poco va tomando fuerza, pero profesionales del medio aun no lo consideran dentro del análisis sísmico.

Teniendo en cuenta que la actividad sísmica de la ciudad es alta, debe considerarse como necesario realizar un análisis sísmico con la acción de los efectos de la interacción Suelo-Estructura, con el fin de conocer un comportamiento que se aproxime a la realidad al momento de un evento sísmico, este análisis va a depender del método que se emplee pero los resultados deben ir acordes a los requerimientos mínimos del código vigente, pero cabe indicar que la estructura no solo se ve comprometida por la omisión del análisis de la interacción suelo estructura, a esto debemos sumarle algunos aspectos, como son, la calidad de los materiales de construcción, el mal diseño de la estructura, la pérdida de la capacidad portante del suelo, entre otros factores.

1.2.3. PROGNOSIS

La falta del estudio de la interacción sísmica entre suelo-estructura en las edificaciones de hormigón armado de 6 pisos limitado por zapatas aisladas en la ciudad de Ambato sector Plaza Urbina, provocará la omisión de parámetros fundamentales que influirán grandemente en el proceso de diseño de la estructura, tal situación conlleva a que la edificación en el futuro se vea comprometida ante un evento sísmico, ocasionando que se ponga en riesgo a las vidas de los usuarios que ocupan la misma.

1.2.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué manera la interacción sísmica entre suelo-estructura en edificios de hormigón armado de 6 pisos limitado por zapatas aisladas en la ciudad de Ambato sector Plaza Urbina, puede aportar en la estabilidad de una estructura de tal forma que resulte una guía práctica al momento de diseñar una edificación?

1.2.5. PREGUNTAS DIRECTRICES

1. ¿Cuáles son los factores que inciden en la interacción suelo – estructura dentro de un análisis sismo-resistente?
2. ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas del suelo para que influya en la interacción con la estructura?
3. ¿Qué conceptos se tiene sobre la interacción suelo – estructura?
4. ¿Cuál es la incidencia de las zapatas aisladas en la interacción suelo – estructura ante un evento sísmico en los edificios de hormigón armado de 6 pisos limitado por zapatas aisladas en la ciudad de Ambato sector Plaza Urbina?
5. ¿Cómo interpretar los resultados obtenidos para que los diseños de las edificaciones sean seguras?

1.2.6. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.6.1.1. DE CONTENIDO

La presente investigación se emerge dentro del campo de la ingeniería estructural, la verificación de secciones, el análisis sismo-resistente, el estudio de las zapatas aisladas de la edificación, mientras que el estudio de la interacción del suelo con la estructura, requiere conocimientos de mecánica de suelos.

1.2.6.1.2. ESPACIAL

La presente investigación se realizará con datos generales de la ciudad de Ambato sector Plaza Urbina, pero cabe indicar que las referencias bibliográficas, así como el resto de actividades que complementen el presente trabajo serán consultados en la Universidad Técnica de Ambato en la Facultad de Ingeniería Civil, internet y demás fuentes de investigación.



Gráfico 1. Delimitación Espacial

1.2.6.1.3. TEMPORAL

El proyecto de investigación se realizará desde el mes de enero del 2015 hasta el mes de marzo del 2015.

1.2.6.1.4. LEYES

1. NEC 2015 (NORMA ECUATARIANA DE LA CONSTRUCCION 2015)
2. ACI318-11 (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE)

1.3. JUSTIFICACIÓN

El estudio de la interacción sísmica entre suelo – estructura es un tema muy importante y que en la última década se está estudiando de manera muy profunda dentro del campo de la Ingeniería Civil, este estudio consiste en un modelo dinámico entre la base y la estructura, debemos resaltar que este tema aún está en estudio debido a que los modelos matemáticos y físicos aún tienen un sinnúmero de variables, por lo que podemos decir que muchos han considerado como un campo abierto para los investigadores.

Al suelo se lo debe considerar como un elemento fundamental en las edificaciones debido a que el mismo soportará a toda la estructura, el análisis estructural se basa en la compatibilidad de desplazamientos entre los diferentes elementos que lo

componen, dicha compatibilidad, al llegar a la cimentación, se omite, por lo que a la estructura, cimentación y suelo se analiza de manera independiente, es por tal razón que el estudio de la interacción entre suelo – estructura es muy importante en el análisis y diseño estructural, ya que todo el edificio se asienta sobre el suelo y por lo tanto trabajan en conjunto, de esta manera el comportamiento de la estructura depende en gran parte de esta interacción, además se debe tener en cuenta que el suelo no solo resiste a la estructura sino que también soporta todas las cargas que se aplican sobre el edificio, considerando estos aspectos debemos decir que no se debe realizar un estudio individual debido a que el suelo y la estructura trabajan de manera integral.

En épocas pasadas la falta de recursos obligaba al análisis por partes de cada elemento de la estructura teniendo esta forma como el método de análisis más factible, con el avance de la tecnología y los recursos disponibles hoy en día hacen viable que se analice toda la estructura en conjunto.

La cimentación es el elemento que interactúa con el suelo y quien transmite la vibraciones que se producen por un evento sísmico a toda la estructura, en tal virtud, como se dijo anteriormente que los dos trabajan de manera dinámica e integral, este modelo puede realizarse a través de varios software especializados en el diseño de estructuras, estos programas nos ayudarán a analizar los modelos dinámicos de la interacción entre el suelo y la estructura y el comportamiento de la edificación ante un evento sísmico, los resultados obtenidos nos ayudarán a tener un mejor diseño de la estructura.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. GENERAL

Aplicar un análisis dinámico en un edificio de 6 pisos limitado por zapatas aisladas teniendo en cuenta la interacción sísmica entre suelo-estructura en la ciudad de Ambato sector Plaza Urbina.

1.4.2. ESPECÍFICOS

1. Aplicar un método de análisis sísmico en la edificación, teniendo en cuenta periodos de vibración de la estructura y del suelo.
2. Ejecutar y determinar fuerzas internas y desplazamientos máximos de los modelos de interacción suelo-estructura en edificios de hormigón armado de 6 pisos limitado por zapatas aisladas en la Ciudad de Ambato sector Plaza Urbina.
3. Analizar los periodos de vibración en edificios de hormigón armado de 6 pisos limitado por zapatas aisladas, sometida a un espectro de diseño.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

a. En la tesis de grado del año 2009 elaborado por Daniel Alberto Silva Gutiérrez y Gustavo Adolfo Ipanaque Sanchez, de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Piura – Perú, cuyo tema es “Interacción Sísmica Suelo-Estructura en Edificaciones Aporticadas.” Concluyen que:

“La verificación de la reducción de esfuerzos en los muros de albañilería, debido a que parte de la energía generada por el sismo en la estructura, será absorbida ahora por el suelo de fundación, llevando a un mejor comportamiento estructural”

“En edificios de mediana altura cimentada en suelo suelto, el efecto de interacción suelo-estructura son importantes considerarlos. Así mismo, en edificios altos de periodos fundamentales grandes, cimentados en suelos sueltos (o muy flexibles) profundos cuyos periodos fundamentales son grandes y que puedan igualarse al del edificio, los efectos interacción suelo-estructura serán muy importantes, dado el efecto de resonancia que puede producirse.”

“El efecto de interacción suelo-estructura es muy notorio en el cálculo de edificaciones, porque influye en la determinación de los modos de vibración libre, así como en la distribución de los esfuerzos en el edificio y cimentación, debido a la flexibilidad del apoyo, por lo tanto, hay un flujo de energía desde el suelo a la estructura y viceversa, cambiando las fuerzas internas en los diferentes elementos estructurales.”

“En edificio de baja altura, cuyo periodo fundamental bajo condición de cimentación rígida es diferente al periodo fundamental del suelo, el efecto de interacción suelo-estructura es despreciable si se cimenta en suelo firme, y tiene influencia apreciable si se cimenta en suelo suelto”

b. El artículo del año 2000 elaborado por el Dpto. de Tecnología de la Construcción de la universidad de la Coruña – España cuyo tema “Interacción del Suelo, Cimiento y Estructura: El caso de las zapatas.” Concluye que:

“Es Preciso adecuar los modelos de cálculo de estructuras a las posibilidades que hoy permite la técnica: se impone mejorar las condiciones de borde impuestas a la estructura, incorporando al modelo de análisis suelo y cimiento.”

“En un cálculo matricial convencional, el método del módulo de balasto permite la realización de una representación del suelo convincente, siempre que se emplee el método con las correcciones desarrolladas por la bibliografía, especialmente las tocantes a la forma y proporción de la cimentación, así como también la corrección por distancia desde el punto de aplicación de la carga al borde del cimiento. Este método cuenta, además, con el aval experimental.”

“En el caso de los pórticos de 2 y 5 plantas con zapata de medianería, la conclusión más destacada es, sin duda, que la zapata medianera es capaz de encontrar el equilibrio, incluso con pequeñas dimensiones de piezas de centrado, puesto que los esfuerzos a que éstas se encuentran sometidas son mucho menores de los que señala el análisis convencional. Resultan destacables así mismo las modificaciones de las leyes de esfuerzos que se producen en la superestructura, especialmente a nivel de planta baja y pilar de medianería.”

c. El libro del año 2009 elaborado por el Dr. Genner Villarreal Castro de Lima – Perú, cuyo tema “Interacción Sísmica Suelo-estructura en Edificaciones con Zapatas Aisladas.” concluye que:

“Si el reforzamiento estructural se realiza sin considerar la interacción suelo-estructura, entonces el nivel de reforzamiento de la edificación se incrementará, aumentando los gastos de la misma.”

2.2. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

La presente investigación es un tema que se le debe dar importancia ya que conocer el comportamiento de la estructura ante un sismo nos ayudará a actuar con responsabilidad, además nos ayudara entender el comportamiento de los edificios de hormigón armado de 6 pisos limitado por zapatas aisladas en la ciudad de Ambato sector Plaza Urbina, servirá como material de consulta para quienes les interese este tema, debido a que es un tema muy extenso.

2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

- NEC 2015 (NORMA ECUATARIANA DE LA CONSTRUCCION 2015)
- ACI318-11 (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE)

2.4. CATEGORIAS FUNDAMENTALES

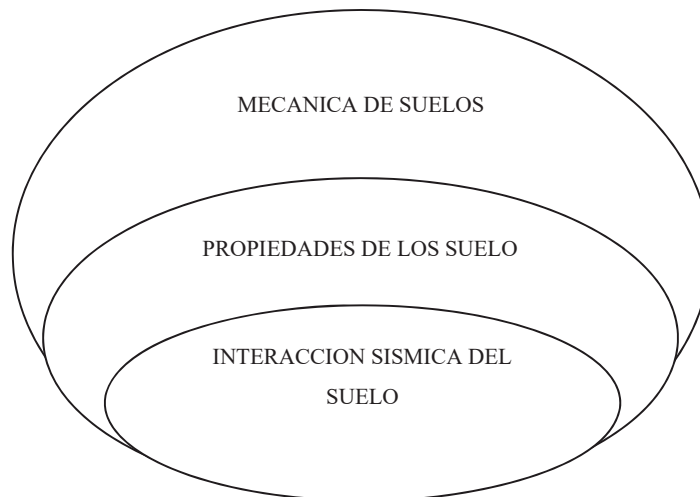


Gráfico 2 Supraordinación de la Variable Independiente
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

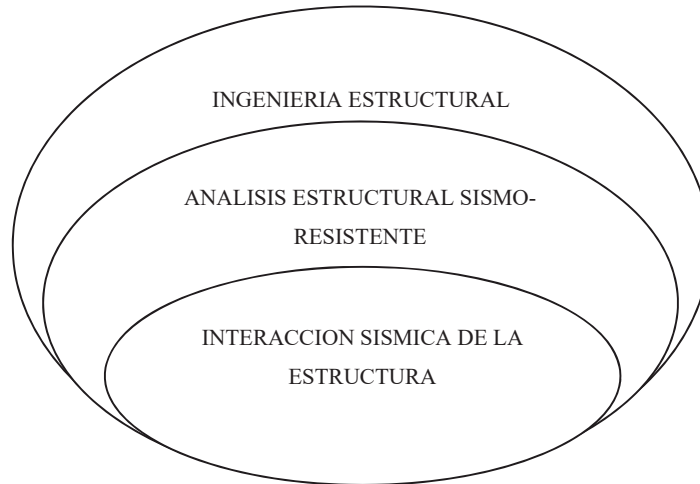


Gráfico 3 Supraordinación de la Variable Dependiente
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

MECANICA DE SUELOS

La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la física y las ciencias naturales a los problemas que involucran las cargas impuestas a la capa superficial de la corteza terrestre. Esta ciencia fue fundada por Karl von Terzaghi, a partir de 1925.

Todas las obras de ingeniería civil se apoyan sobre el suelo de una u otra forma, y muchas de ellas, además, utilizan la tierra como elemento de construcción para terraplenes, diques y rellenos en general; por lo que, en consecuencia, su estabilidad y comportamiento funcional y estético estarán determinados, entre otros factores, por el desempeño del material de asiento situado dentro de las profundidades de influencia de los esfuerzos que se generan, o por el del suelo utilizado para conformar los rellenos.

Si se sobrepasan los límites de la capacidad resistente del suelo o si, aún sin llegar a ellos, las deformaciones son considerables, se pueden producir esfuerzos secundarios en los miembros estructurales, quizás no tomados en consideración en el diseño, productores a su vez de deformaciones importantes, fisuras, grietas, alabeo o desplomos que pueden producir, en casos extremos, el colapso de la obra o su inutilización y abandono.

En consecuencia, las condiciones del suelo como elemento de sustentación y construcción y las del cimiento como dispositivo de transición entre aquel y la superestructura, han de ser siempre observadas, aunque esto se haga en proyectos pequeños fundados sobre suelos normales a la vista de datos estadísticos y experiencias locales, y en proyectos de mediana a gran importancia o en suelos dudosos, infaliblemente, al través de una correcta investigación de mecánica de suelos.

PROPIEDADES DE LOS SUELOS

Estos se clasifican dependiendo de tamaño de las partículas que lo conforman y del porcentaje de humedad que se encuentra en los mismos. Grava: Pasa la malla de 3 pulgadas y se retiene en la de 2 mm. Las partículas mayores se conocen como enrocamientos.

Arena: Pasan la malla de 2 mm y se retienen en la de .074 mm. Limo: Es un material más pequeño que la arena y se retiene en la maya de .005 mm. Este es poco resistente, tiene poca humedad y es poco compresible. Arcilla: Es un material cohesivo y sus partículas pasan la malla de .005 mm. Presentan plasticidad dependiendo del contenido de humedad y con muy compresibles. Material orgánico: Son partes podridas de vegetación y no son recomendables para proyectos de construcción (Medina W, 2010).

Propiedades físicas del suelo:

- Textura
- Estructura

Propiedades mecánicas del suelo:

- Capacidad portante del suelo
- Contenido de humedad
- Grado de saturación
- Permeabilidad
- Porosidad
- Drenaje

INTERACCIÓN SÍSMICA DEL SUELO

El suelo, soporte de la estructura, es el agente transmisor de la excitación sísmica, desde el foco a la superficie. Como tal, ajusta algunas de las características de la onda a sus propiedades dinámicas particulares. Así, por ejemplo, un suelo arcilloso filtra las componentes de aceleración de mayor frecuencia, mientras que amplifica en un 100% o más las de bajas frecuencia. En todo caso, sea cual fuere el cambio que la onda sufra a su paso por el suelo, la estructura percibe el movimiento tal como aflora a la superficie, considerando, eso sí, que la función no constituye por ningún motivo, un empotramiento rígido de la misma. (URIBE, 1975).

ANÁLISIS DE SUELOS PARA CIMENTACIONES

Las cimentaciones tienen como función principal transmitir al suelo todas las cargas a las cuales está sometida la estructura. De modo general se puede decir que existen dos tipos de cimentación según que principalmente vayan a soportar esfuerzos de compresión pura o que soporten, además, tensiones de tracción. Esta consideración afecta al material que va a constituir la cimentación.

El primer caso se corresponde con estructuras sencillas basadas principalmente en muros de carga. Se pueden emplear las cimentaciones denominadas ciclópeas en las que se emplean sillares de piedra u hormigón en masa, sin armadura, aunque se recomienda la inclusión de un armado mínimo en su cara inferior con objeto de absorber las tensiones producidas por distintos factores: atado, arriostramiento, asientos diferenciales, defectos de hormigonado, etc. En el resto de los casos, que constituyen la mayoría, se emplea el hormigón armado.

A los solos efectos del estudio de la interacción suelo-estructura, las zapatas se clasifican en rígidas y flexibles según la relación entre el canto total (h) y el vuelo máximo (V_{\max}). (PRONTUARIO, 2011).

INGENIERÍA ESTRUCTURAL

Dentro de la ingeniería civil el campo más importante es el de las estructuras, ya que así como en los vertebrados el sistema óseo y muscular es parte fundamental

para que se mantengan estables y en pie, la estructura provee de resistencia y rigidez a una construcción y el proceso para el diseño de la estructura involucran todas las actividades necesarias para dotar a la misma de la resistencia y la rigidez necesaria para sobre llevar las cargas que se le aplicará a la construcción, esta dotación debe ser de manera económica (Martinez, 2000).

Dentro del proceso de diseño, podemos citar las principales etapas:

a. Estructuración

Es la etapa inicial en donde se establece el tipo de sistema estructural que dará a la construcción la resistencia y rigidez necesaria para soportar las cargas que se aplicara, es en este punto donde se establece el material con el que será construida la estructura, se hará el prediseño de los elementos estructurales ya sean estos, sistemas de pórticos, con muros, o algún otro sistema estructural que garantice la estabilidad de la construcción, para lo cual se requiere que el profesional encargado de esta etapa tenga la experiencia necesaria ya que es aquí donde se requiere de un buen criterio y creatividad para poder dar la solución más apropiada a edificaciones poco comunes. (Martinez, 2000).

b. El Análisis

En la etapa de análisis el calculista debe evaluar las respuestas de la estructura a las diferentes acciones que pueden preverse, algunas de ellas tenemos la acción del viento, la acción de caída de ceniza, pero entre las más importantes es la acción sísmica, para cada uno de estos casos deben estimarse magnitudes y distribución de las acciones las mismas que deben ser aplicadas a un modelo con el fin de determinar la respuesta a cada acción, sean estas deformaciones o establecer la distribución de fuerzas en cada elemento, el análisis de la estructura no debe estar lejos de cómo se comportara en la realidad, dentro de los valores tolerables establecidos por los códigos del medio, para ello en la actualidad se elaboran modelos en computadora con el fin de evitar condiciones inaceptables en cuanto a la seguridad y funcionamiento, además en el análisis obtenemos información fundamental en cuanto a la respuesta del suelo ante la acción sísmica

que es la principal acción que puede ser sometida la edificación, para ellos debe conocerse de ingeniería sísmica. (Martinez, 2000).

ANÁLISIS ESTRUCTURAL SISMO-RESISTENTE

La ingeniería sísmica surge a principios del siglo XX con el fin de crear un nexo entre la ingeniería civil y la sismología, en un inicio con el fin de mitigar amenazas sísmicas, para posteriormente buscar soluciones a problemas sísmicos, poco a poco normando la construcción de edificios con el fin de que sufran daños estructurales pero evitando el colapso de la estructura, en varios países las normas exigen que se evite el daño de los elementos estructurales, creando una mayor confiabilidad en los usuarios de las edificaciones (NUÑEZ GARCIA, 2014).

Tenemos varios tipos de sismos, los cuales pueden ser tectónico, volcánicos y los no naturales, cada uno de estos puede ser registrado mediante un sismógrafo, pero los sismos de gran intensidad son los que una estructura debe estar diseñada para resistir, para ello se lleva a cabo un análisis previo a la construcción, del cual obtendremos indicadores, que deben estar dentro del rango permisible por los códigos del medio, y ayudarán a conocer el comportamiento para un sismo de gran magnitud, por lo que de esta manera se llega a la toma de decisiones al momento de diseñar cada uno de los elementos estructurales de la edificación.

El análisis sísmico de cualquier estructura se basa en el equilibrio dinámico de los cuerpos estructurales como se ilustra en la fig. 2. De acuerdo con el principio de D'Alembert:

$$FI+FD+FS=F(t)$$

Ec. 1

En donde

FI = fuerza de inercia

FD = fuerza de amortiguamiento

FS = fuerza que resiste el resorte

Entonces:

$$m\ddot{a}+cv+kd= F(t)$$

Ec. 2

En donde:

\ddot{a} = aceleración inercial de la masa

m = masa de la estructura

v = velocidad de desplazamiento

k = rigidez de la estructura

d = magnitud del desplazamiento

c = constante de amortiguamiento de la estructura.

Cuando las estructuras se someten a una aceleración del terreno

$$F(t)=m(a+g)$$

Ec. 3

g = aceleración del terreno

Entonces:

$$ma+cv+kd= -mg$$

Ec. 4

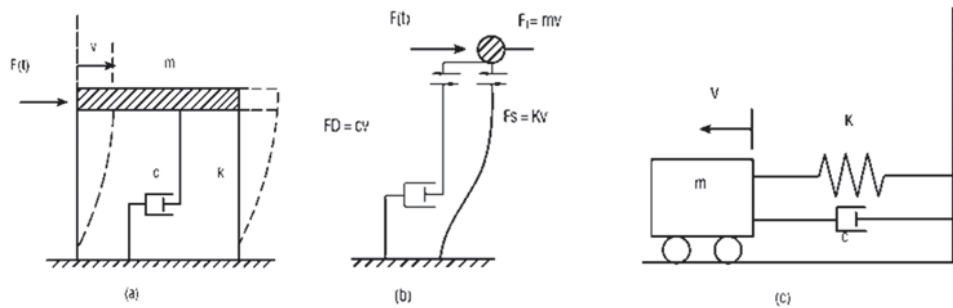


Gráfico 4. Equilibrio Dinámico (Sistema de un grado de libertad sujeto a una fuerza horizontal)

Las estructuras se caracterizan por ciertas propiedades que definen su comportamiento bajo cargas laterales. Estas propiedades involucran su masa y su rigidez. Como se mencionó anteriormente, en las estructuras actúan mecanismos de disipación de energía cuando se presenta un evento sísmico. Estos mecanismos afectan el equilibrio dinámico de las estructuras por medio de amortiguamiento,

que puede considerarse de varias formas. De este modo las fuerzas que se involucran en el equilibrio dinámico de una estructura son las fuerzas inerciales, derivadas directamente de la masa; la rigidez del sistema, las fuerzas de amortiguamiento y las fuerzas externas (PANEL REY, 2008).

INTERACCIÓN SÍSMICA DE LA ESTRUCTURA

El comportamiento de la estructura ante un evento sísmico está íntimamente ligada a la forma como los movimientos sísmicos del suelo afectan a la construcción a través de la cimentación. Las características dinámicas del suelo subyacente, la rigidez y disposición de la cimentación y el tipo de sistema estructural de la edificación interactúan entre sí, como un solo conjunto, para caracterizar los efectos sísmicos sobre ella. Al no considerar las características dinámicas entre el suelo y la estructura en el análisis sísmico de la edificación puede conducir a variaciones apreciables entre la respuesta sísmica estimada y la real de la estructura. Por las razones indicadas es conveniente incluir los efectos de la interacción suelo-estructura en el análisis sísmico de la edificación (NSR-98).

EFFECTOS ASOCIADOS CON LA INTERACCIÓN SUELO – ESTRUCTURA

Teniendo en consideración que los efectos dependerán del tipo de suelo, del tipo cimentación, del sistema estructural utilizado, la respuesta de la estructura ante sollicitaciones verticales y dinámicas, como son los sismos, pueden variar con respecto al estimativo que se realiza sin tener en cuenta la interacción suelo-estructura en los siguientes aspectos:

- a. La presencia de suelos blandos y compresibles en las distribuciones de esfuerzos y deformaciones bajo losas de fundación, tanto ante sollicitaciones de cargas verticales como de esfuerzos horizontales,
- b. Variación en los periodos de vibración de la estructura,
- c. Aumento del amortiguamiento viscoso equivalente del sistema estructura-cimentación-suelo,
- d. Aumento de las derivas de piso de la estructura ante un sismo,

e. Variación en la distribución de las fuerzas cortantes horizontales producidas por los movimientos sísmicos, entre los diferentes elementos del sistema de resistencia sísmica, especialmente cuando se combinan elementos con rigideces y sistemas de apoyo en la cimentación diferentes, como pueden ser el caso de combinación de pórticos y muros estructurales,

f. Entre otros.

Los efectos de interacción suelo-estructura no deben ser confundidos por los efectos de sitio, en donde estos últimos son causados por la amplificación de la onda sísmica al viajar desde la roca hasta la superficie (NSR-98).

2.5. HIPÓTESIS

La interacción sísmica suelo estructura en los edificios de hormigón armado de 6 pisos limitado por zapatas aisladas proporcionará mayor estabilidad al diseño estructural de edificios.

2.5.1. UNIDADES DE OBSERVACIÓN O DE ANÁLISIS

Edificios de Hormigón armado de 6 pisos.

2.6. VARIABLES

2.6.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Interacción sísmica de la estructura.

2.6.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Interacción sísmica del suelo

2.6.3. UNIDAD DE OBSERVACIÓN

Ciudad de Ambato sector Plaza Urbina

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. ENFOQUE

En la presente investigación predomina el enfoque cuantitativo ya que busca la comprensión de los resultados obtenidos.

3.1.2. MODALIDAD

El proyecto de investigación tiene las modalidades de Campo y Bibliográfica-Documental.

La investigación de campo extrae información de la realidad mediante técnicas de recolección de datos de forma sistemática, rigurosa y racional del lugar de ocurrencia, los datos obtenidos ayudarán al desarrollo de la investigación debido a que los mismos son tomados de forma directa del lugar donde se producen las acciones en estudio.

La investigación bibliográfica recopila información de forma sistemática previamente documentada por varios autores que determina cual es el conocimiento existente sobre el tema en estudio.

3.1.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El proyecto en estudio tiene los siguientes niveles de investigación:

- Exploratorio debido a que esta investigación a realizarse no encuentra registros de estudios similares previos dentro del sector, por lo cual será necesaria la exploración de los diferentes medios y técnicas de recolección de datos, que aportarán a la toma de decisiones y conclusiones.
- Descriptivo ya que los resultados obtenidos tendrán indicadores que aportarán a las construcciones futuras dentro del sector.
- Explicativo porque contiene un conjunto de definiciones y de suposiciones relacionadas entre sí de manera organizada sistemática.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La investigación en general se aplicará a un ejemplo concreto que será aplicable a todos los edificios de hormigón armado de 6 pisos limitado por zapatas aisladas en la ciudad de Ambato sector Plaza Urbina, los datos serán comparados con los valores máximos y mínimos establecidos por los diferentes códigos que se ocuparán para la presente investigación.

3.2.2. MUESTRA

El análisis de interacción sísmica entre suelo-estructura para edificios de hormigón armado de 6 pisos limitado por zapatas aisladas en la ciudad de Ambato sector Plaza Urbina se realizará considerando un edificio tipo, el mismo que tendrá los requerimientos mínimos para el caso en particular, es decir que será un edificio de 6 pisos de tipo residencial, si se quiere analizar otra estructura más grande se procederá de la misma manera, teniendo en cuenta bien cada uno de los resultados ya que serán distintos.

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE INDEPENDIENTE: Interacción sísmica del suelo

CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
La interacción sísmica del suelo establece la reacción del mismo, sobre el cual se levanta una estructura, ante un evento sísmico.	<p>Capacidad del suelo.</p> <p>Inseguridad Estructural</p> <p>Riesgos Humanos</p>	<p>- Tipo de suelo según la SUCS</p> <p>- Granulometría</p> <p>-Coeficiente de Balasto.</p> <p>Subdimensionamientos</p>	<p>-¿Cuáles son los factores que inciden en la interacción sísmica del suelo en los edificios de hormigón armado limitados por zapatas aisladas en el sector plaza Urbina en la ciudad de Ambato?</p> <p>-¿En que incide la consideración de la interacción sísmica del suelo en los edificios de hormigón armado limitados por zapatas aisladas en el sector plaza Urbina en la ciudad de Ambato?</p>	<p>-Fichas de campo/ensayos de laboratorio</p> <p>-Herramientas computacionales</p>

Tabla 1 Operacionalización de Variable Independiente

3.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para el proyecto de investigación se empleará técnicas de observación directa que permitirá obtener los resultados del modelo dinámico de la interacción sísmica suelo-estructura en edificios de hormigón armado de 6 PISOS LIMITADOS POR ZAPATAS AISLADAS en la ciudad de Ambato sector Plaza Urbina, los datos serán fundamentados por el código ACI318-11 y por el NEC2015.

3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.5.1. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

- Revisión crítica de la información recogida, tanto bibliográfica como los de laboratorio.
- Tabulación de cuadros según variables de la hipótesis. (cuadros de una variable, cuadros de cruce de variables).
- Porcentual: obtener la relación porcentual con respecto al total, con el resultado numérico. Y el porcentaje se estructura en cuadros de resultados que sirve de base para graficar.
- Analizar e interpretar los resultados relacionados con las diferentes partes de la investigación, especialmente con los objetivos y la hipótesis.

3.5.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

- Interpretación de resultados con el apoyo del marco teórico.
- Comprobación de la hipótesis.
- Establecimiento de conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los datos procesados en la investigación “Interacción sísmica suelo-estructura en edificios de hormigón armado de 6 pisos limitados por zapatas aisladas en la ciudad de Ambato sector Plaza Urbina”, fueron obtenidos mediante una encuesta a los moradores de diferentes edificios aledaños a la Plaza Urbina, las informaciones proporcionadas ayudaron a determinar que en el sector no se consideraron los efectos de interacción sísmica entre el suelo y la estructura dentro del sector en estudio.

4.1.1. REPRESENTACIÓN DE DATOS

4.1.1.1. Pregunta 1.-

¿El edificio de que tipo es?

Opciones:	Frecuencia	Porcentaje
Estructuras Esenciales	1	10.00%
Estructuras Especiales	1	10.00%
Otras Estructuras	8	80.00%
Total:	10	100.00%

Tabla 3 Resultados Pregunta N°1

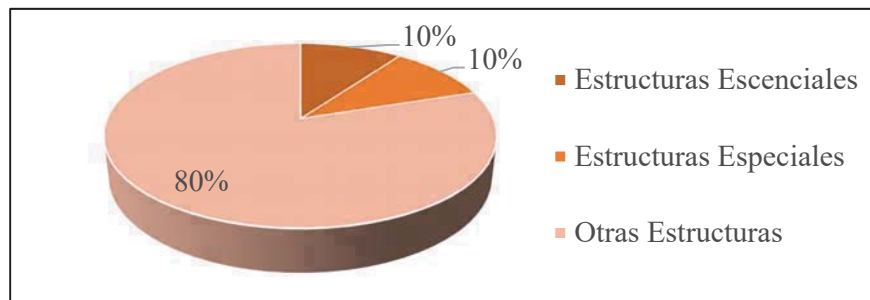


Gráfico 5 Resultados Pregunta N°1

Fuente: Encuesta

Elaborado por: Fabián Toapanta

Análisis

El gráfico 4.1 nos indica que 1 de 10 estructuras es de tipo esencial que corresponde al 10%, 1 de 10 de tipo especial que corresponde al 10% y 8 de 10 de tipo otras estructuras que corresponde al 80%.

Interpretación

Existen tres tipos de edificios alrededor de la plaza Urbina, los cuales son establecidos por el NEC 2015, de las cuales predominan las que indican Otras Estructuras, en donde están inmersas los edificios residenciales y edificios de oficina, al ser la mayor parte de estructuras encuestadas del tipo mencionado anteriormente, se realizará el estudio de un edificio con las características residenciales, tomando las consideraciones de la norma vigente.

4.1.1.2. Pregunta 2.-

¿El Edificio fue diseñado a base de normas sismo - resistentes?

Opciones:	Frecuencia	Porcentaje
Si	2	20.00%
No	3	30.00%
Desconozco	5	50.00%
Total:	10	100.00%

Tabla 4 Resultados Pregunta N° 2

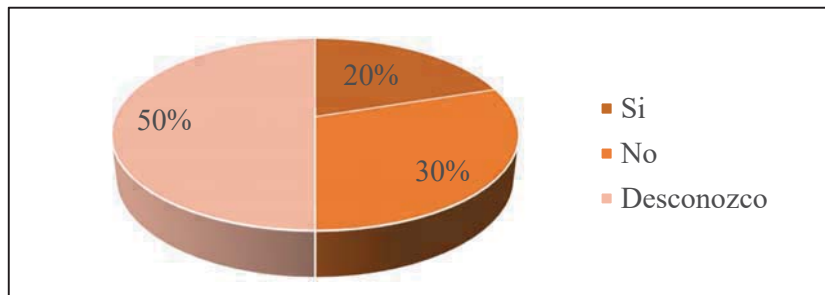


Gráfico 6 Resultados Pregunta N° 2

Fuente: Encuesta

Elaborado por: Fabián Toapanta

Análisis

El gráfico 4.2 nos indica que 2 de 10 estructuras son diseñadas a base de normas sismo - resistentes que corresponde al 20%, 3 de 10 no son diseñadas a base de normas sismo - resistentes que corresponde al 30% y 5 de 10 desconoce que corresponde al 50%.

Interpretación

La mitad de los encuestados desconoce del diseño estructural del edificio donde reside o trabaja, por lo que genera un grado de riesgo al no saber si al momento de un evento sísmico la estructura será capaz de resistir dicho evento, para estructuras no mayores a 25 años se puede establecer que si se consideró un análisis sísmico en sus diseños, ya que la norma vigente lo exigía, pero además tenemos un 30% de personas que saben que el edificio no fue diseñado en base a

normas sísmicas es debido a que el tiempo de construcción es mayor a los 25 años.

4.1.1.3. Pregunta 3.-

El Edificio tiene un tiempo de funcionamiento entre:

Opciones:	Frecuencia	Porcentaje
0-15 Años	3	30.00%
15-25 Años	5	50.00%
Más de 25 Años	2	20.00%
Total:	10	100.00%

Tabla 5 Resultados Pregunta N° 3

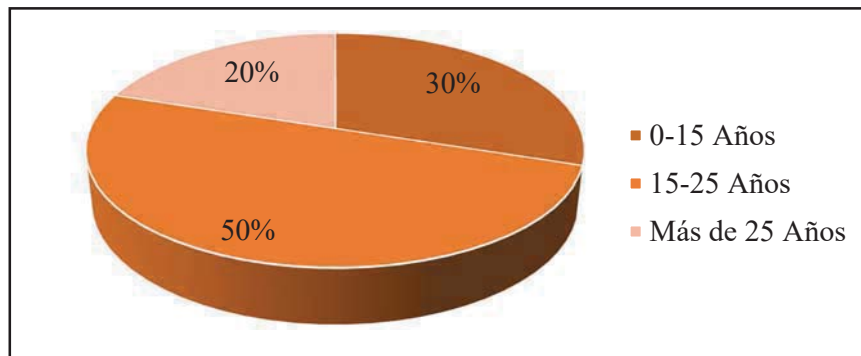


Gráfico 7. Resultados Pregunta N° 3

Fuente: Encuesta

Elaborado por: Fabián Toapanta

Análisis

El gráfico 4.3 nos muestra que 3 de 10 estructuras tienen un funcionamiento entre 0 y 15 años que corresponde al 30%, 5 de 10 estructuras tienen un funcionamiento entre 15 y 25 años que corresponde al 50% y 2 de 10 estructuras tienen un funcionamiento mayor a 25 años que corresponde al 20%.

Interpretación

Los edificios en su mayoría son estructuras que superan los 15 años de funcionamiento, lo que justificaría que más de la mitad de estructuras este llegando a su tiempo de vida útil, y los diseños sísmo resistentes, para estos

edificios, no consideraron factores muy importantes que en la actualidad se toma en cuenta.

4.1.1.4. Pregunta 4.-

¿Presenta Vibraciones?

Opciones	Frecuencia	Porcentaje
si	6	60.00%
no	4	40.00%
Total:	10	100.00%

Tabla 6 Resultados Pregunta N° 4

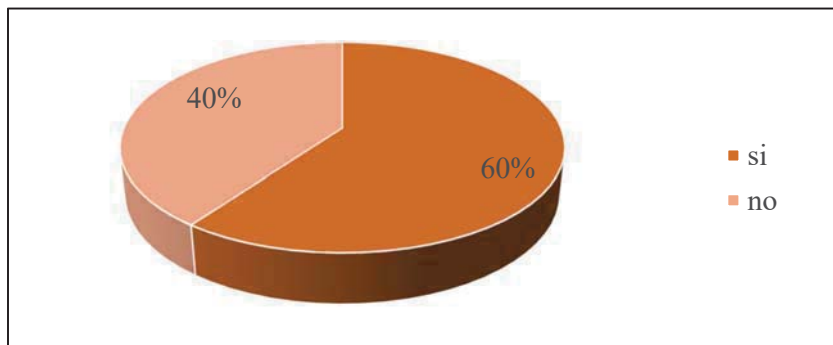


Gráfico 8 Resultados Pregunta N° 4

Fuente: Encuesta

Elaborado por: Fabián Toapanta

Análisis

El gráfico 4.4 nos indica que 6 de 10 estructuras presentan vibraciones lo que representa a un 60%, y 4 de las 10 estructuras no presentan vibraciones, esto representa al 40%.

Interpretación

Debido al tránsito de vehículos pesados que se da en el sector, el 60% de las estructuras presentan vibraciones debido a este tópico, por lo que podemos encontrar un indicio de que dichas vibraciones no son disipadas correctamente y

al momento de un evento sísmico de gran magnitud producirá fallas en elementos estructurales y mayormente en elementos no estructurales.

4.1.1.5. Pregunta 5.-

¿Presenta Filtraciones de agua?

Opciones	Frecuencia	Porcentaje
si	2	20.00%
no	8	80.00%
Total:	10	100.00%

Tabla 7 Resultados Pregunta N° 5

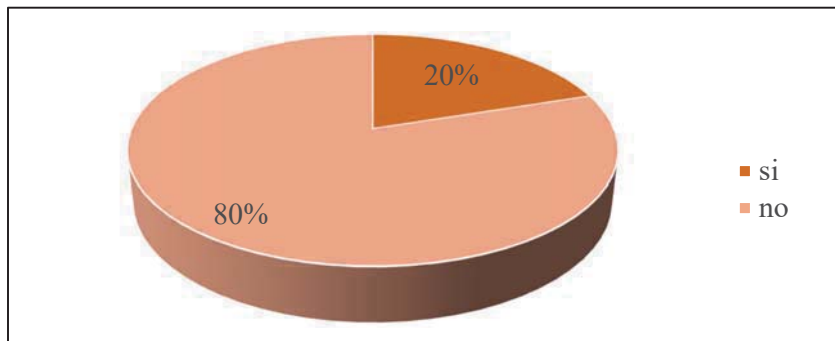


Gráfico 9 Resultados Pregunta N° 5

Fuente: Encuesta

Elaborado por: Fabián Toapanta

Análisis

En el gráfico 4.5 tenemos a 2 de 10 edificios que presentan filtraciones de agua esto representa un 20%, las otras 8 estructuras no presentan este problema lo que representa a un 80%.

Interpretación

El problema de filtraciones de agua es un indicador de vulnerabilidad debido a fallas ya producidas en estructuras que fueron sometidas a fuerzas laterales o también puede existir dichas filtraciones debido a la calidad de los materiales usados en la construcción, la antigüedad de la estructura es un factor muy

importante que no debemos olvidar ya que la misma produce el desgaste de los materiales, y la estructura está llegando a su tiempo de vida útil.

4.1.1.6. Pregunta 6.-

¿Presenta Fisuras de pared?

Opciones:	Frecuencia	Porcentaje
si	4	40.00%
no	6	60.00%
Total:	10	100.00%

Tabla 8 Resultados Pregunta N° 6

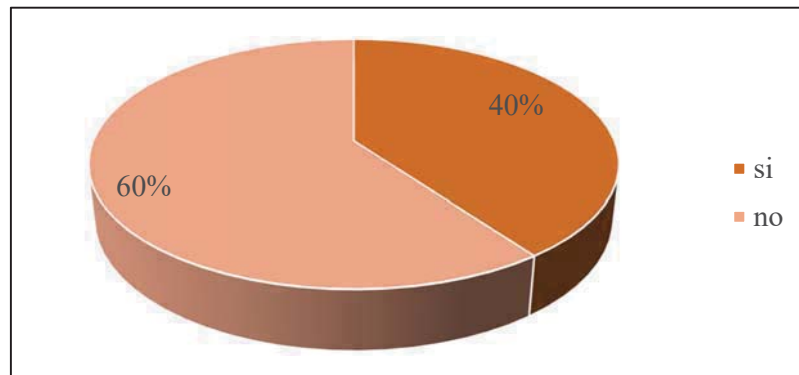


Gráfico 10 Resultados Pregunta N° 6

Fuente: Encuesta

Elaborado por: Fabián Toapanta

Análisis

El gráfico 4.6 nos muestra que 4 de 10 estructuras muestran fisuras de paredes esto corresponde al 40%, y 6 de 10 estructuras no muestran este problema esto corresponde al 60%.

Interpretación

Las estructuras que presentan fisuras de paredes son aquellas que presentan vibraciones, por lo que las fisuras pudieron ser producidas por posibles asentamientos de la estructura, o por las mismas vibraciones a las que están expuestas, indicador de que no hay una buena disipación de energía.

4.2. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Las estructuras diseñadas por el método estático presentan vibraciones, por lo tanto, para la consideración de los efectos de interacción suelo estructura en los edificios de hormigón armado de 6 pisos limitado por zapatas aisladas presentarán mayor estabilidad estructural al actuar el suelo y la estructura como un solo elemento.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Mediante las encuestas realizadas podemos concluir que:

- La interacción sísmica del suelo con la estructura es poco estudiada dentro del medio, por lo que los parámetros establecidos por el estudio de suelos previo, son omitidos dentro del análisis y diseño, tomando simplemente en cuenta la capacidad portante del suelo como un único parámetro.
- La interacción de la estructura con el suelo ha provocado que las estructuras tengan un diseño conservador, creando elementos estructurales de mayores dimensiones, afectando en el costo de construcción.
- El análisis dinámico del edificio proporciona resultados que ayudan a entender mejor el comportamiento de la estructura ante un evento sísmico, a tal punto que es posible considerar la acción que el suelo produce en el edificio.

5.2. RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos por la investigación podemos recomendar:

- Usar el método dinámico de análisis estructural de edificios, ya que al aplicar dicho método se consideran los efectos de interacción sísmica.
- Para edificios mayores a 20 años se recomienda que los habitantes tengan un plan de contingencia, ya que es poco probable que se haya considerado los efectos de interacción sísmica dentro del análisis estructural.
- Los edificios que presentan filtraciones y fisuras es probable que hayan sido ocasionadas por fallas estructurales, por lo que se recomienda realizar una evaluación del comportamiento actual de la estructura.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1. DATOS INFORMATIVOS

6.1.1. ASPECTOS GENERALES

6.1.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA

Para poder realizar el análisis de interacción sísmicas entre suelo-estructura en edificios de hormigón armado de 6 pisos limitado por zapatas aisladas en la ciudad de Ambato sector Plaza Urbina, es necesario establecer las características de la estructura para el presente estudio, por lo que es fundamental conocer la utilidad que se le dará a la estructura, la importancia que tendrá la misma, las secciones de los elementos estructurales del edificio.

6.1.1.2. ESTUDIO DE SUELOS

El estudio de suelo nos proporcionara información que servirá para conocer el comportamiento de la estructura en su fundación, por lo que será necesario realizar un estudio de suelos previo, que nos aporte con datos confiables.

6.1.1.2.1. ANÁLISIS SÍSMICO

El análisis sísmico será aplicado a la zona en estudio, determinando el espectro de respuesta de la estructura, según el NEC2015, y aplicando el análisis dinámico de estructuras para conocer el comportamiento estructural y saber si se considera o se omite la interacción entre suelo – estructura en edificios de hormigón armado de 6 pisos limitadas por zapatas aisladas.

6.1.1.2.2. MODELACIÓN DE LA ESTRUCTURA

La modelación de la estructura mediante el uso de un software especializado nos ayuda a establecer el comportamiento real de la estructura, estableciendo comparativas entre los dos análisis dinámicos, ingresando el espectro de respuesta establecidos por el NEC2015 y considerando o no la interacción del suelo con la estructura.

6.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Un edificio desde el momento de su concepción debe ser sometido por un proceso muy riguroso, la cual será plasmada al momento de ejecución del proyecto y verificada al momento de someterla a las cargas que fueron previstas dentro del proceso inicial, por lo que en el estudio que requiere la estructura, es preciso recalcar que el análisis sísmico es una de los fundamentales dentro del proceso.

Toda estructura pasa por un proceso de análisis sísmico dentro de su estudio, pero no se tiene una referencia de un estudio de interacción sísmica entre suelo – estructura para edificios de hormigón armado de 6 pisos limitado por zapatas aisladas, en la ciudad de Ambato, lo que conlleva a la necesidad de realizar dicho estudio.

6.3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad en la ciudad de Ambato existen edificios mayores a 6 pisos construidos hace más de 15 años, por lo que es posible que para las mismas no se haya considerado los efectos de interacción suelo – estructura, por lo que para construcciones futuras este estudio servirá como referencia al momento de realizar el análisis sísmico de los edificios.

En la actualidad se cuenta con un sin número de recursos que facilitan la consideración de efecto en estudio, es por eso que la aplicación de la interacción sísmica suelo-estructura se debe establecer como requisito de análisis, previo al diseño, y la omisión del mismo deberá tener una justificación válida.

6.4. OBJETIVOS

6.4.1. OBJETIVO GENERAL

Conocer el comportamiento de la estructura ante un evento sísmico considerando la interacción entre el suelo y la estructura.

6.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio de suelos para poder determinar la interacción de la estructura con el suelo de fundación.
- Realizar el análisis sísmico dinámico aplicando el NEC2011.
- Realizar la modelación de la estructura omitiendo la interacción sísmica entre el suelo – estructura.
- Realizar la modelación de la estructura considerando la interacción sísmica entre el suelo – estructura
- Comparar los resultados obtenidos entre las dos modelaciones.

6.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

El presente estudio es posible realizarlo ya que para el lugar las ordenanzas del GAD Municipalidad de Ambato establecen que se pueden construir edificios de hasta 8 pisos.

Además, tenemos lugares abiertos en donde podemos realizar los estudios de suelos del sector.

6.6. FUNDAMENTACIÓN

Análisis Sísmico

El análisis sísmico tiene como objetivo encontrar las fuerzas y momentos internos debido a cargas de origen sísmico, en cada uno de los elementos estructurales, para posteriormente proceder con el diseño de la estructura, dentro de este análisis deben seguirse ciertos requerimientos establecido por cada región o país en donde se requiere realizar el estudio.

Son varios los métodos de análisis sísmico, por lo se debe tener en cuenta los parámetros a analizar dentro del estudio para poder establecer el método correcto de análisis, con el fin de obtener el comportamiento más real de la estructura ante un evento sísmico.

Análisis Sísmico Dinámico

El comportamiento real de una estructura ante cargas y desplazamientos es dinámico, partiendo del principio de la segunda ley de Newton en donde nos indica que la masa por la aceleración es equivalente a las fuerzas de inercia que se generan en la estructura, depende de la velocidad de aplicación de dichas cargas o desplazamientos, si las mismas son aplicadas de forma lenta entonces las fuerzas de inercia se podrán despreciar, de esta forma el método de análisis será estático, de esta manera se deduce que el análisis dinámico es una extensión del análisis estático.

Teniendo en cuenta lo anterior podemos decir que toda estructura, ya sea esta regular o irregular puede analizarse de manera dinámica, pero dentro de este análisis podemos hacer dos distinciones; La primera que se aplica a edificios convencionales, para las cuales debe realizarse un análisis modal espectral, y la segunda para edificios especiales, para lo cual debe hacerse un análisis Tiempo-Historia.

Para nuestro estudio consideramos un edificio convencional, por lo tanto, aplicaremos el análisis modal espectral, en donde debe realizarse la modelación de la estructura, definir las matrices de masas, rigidez y calcular la respuesta modal.

Interacción suelo – estructura

La interacción entre el suelo y la estructura es un fenómeno que consiste en determinar la diferencia entre la respuesta de un punto donde es emplazada la estructura y la respuesta que debería experimentar ese punto si la estructura no estuviera. La omisión de este análisis puede llevar a obtener fuerzas y desplazamientos erróneos en el análisis de la respuesta y en el diseño de la

estructura, lo que podríamos decir que sin considerar los efectos de interacción suelo - estructura el diseño de la estructura sería conservador.

Algunos de los principales efectos producidos por la interacción suelo-estructura, es el movimiento sísmico de entrada que puede llegar a cambiar, esto debido a la amplificación del movimiento en campo libre, la componente traslacional de este movimiento efectivo de entrada a la cimentación, en muchos casos, será mayor que el movimiento de control surgiendo, además, una componente de cabeceo significativa en la estructura.

Considerar la presencia del suelo en el modelo dinámico final hará del sistema más flexible disminuyendo la frecuencia fundamental y modificando también la forma del modo de vibración, siendo el modo fundamental el de mayor influencia.

El cabeceo en la base del edificio afectará en la respuesta de la estructura, especialmente en la parte superior, para edificios altos, reduciéndose los valores de las fuerzas laterales, el cortante basal y los momentos de volteo calculados para la estructura supuesta con base rígida incrementándose los desplazamientos laterales.

Diversos estudios realizados en edificios de hormigón armado, en donde se utilizaron n modelos estructurales, se determinó que la interacción reduce la fuerza de córtate basal de algunos edificios compararse con la suposición típica en la que la interacción se despreciaba.

6.7. METODOLOGÍA

6.7.1. IDENTIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS TIPO EN EL SECTOR

Para el presente estudio se considera una estructura tipo, la determinación de la misma implica la realización de un sondeo dentro del sector, del cual se debe obtener:

- a) Número de pisos
- b) Alturas de piso
- c) Número de ejes en el sentido X y en el sentido Y

- d) Dimensiones de la separación entre pórticos en los dos sentidos
- e) Dimensiones de vigas y columnas
- f) Configuración estructural
- g) Uso de la estructura

Para obtener la información, anteriormente detallada, únicamente el primer literal fue posible obtener de todos los edificios dentro del sector, ya que se lo realizó de modo observatorio, de lo cual el gráfico 11. detalla la ubicación de los 14 edificios que cumplen con ser de hormigón armado de 6 pisos.



Gráfico 11. Ubicación de edificios mayores de 6 pisos
Fuente: Google Earth

Para la información restante es necesario tener un contacto directo con los propietarios de los edificios, por lo que no fue posible obtener toda la información, ya que hubo oposición por parte de los propietarios o simplemente no se encontraban, y los arrendatarios, por desconfianza, no permitieron realizar el sondeo.

De las 14 estructuras sondeadas se obtuvo información de 6 edificios, en donde los mismos se consideran regulares en planta en donde el valor de $\phi_p=1$, según el NEC 2015, por lo tanto, tenemos la información que se detalla a continuación:

ESTRUCTURA	N. EJES EN X	N. EJES EN Y	H. ENTRE PISOS
1	4	4	3
2	4	6	2,8
3	6	4	2,7
4	3	4	3
5	5	5	2,8
6	6	4	2,8
PROMEDIO	4,67	4,50	2,85
ASUMIDO	5	5	2,85

Tabla 9 Configuración en planta
Fuente: Sondeo elaborado por Fabián Toapanta

ESTRUCTURA	L. ENTRE EJE 1-2	L. ENTRE EJE 2-3	L. ENTRE EJE 3-4	L. ENTRE EJE 4-5
1	3,20	4,00	4,50	
2	4,50	6,00	5,30	
3	5,20	5,00	5,20	5,40
4	3,30	3,75		
5	3,10	3,70	4,00	4,80
6	6,20	4,40	4,90	5,70
PROMEDIO	4,25	4,48	4,78	5,30
ASUMIDO	4,30	4,50	4,80	5,30

Tabla 10 Distancias entre ejes x
Fuente: Sondeo elaborado por Fabián Toapanta

ESTRUCTURA	L. ENTRE EJE 1-2	L. ENTRE EJE 2-3	L. ENTRE EJE 3-4	L. ENTRE EJE 4-5
1	5,00	4,50	2,25	
2	4,80	3,25	4,50	4,45
3	4,20	3,85	5,20	
4	5,60	3,00	3,75	
5	4,20	2,70	4,50	5,30
6	4,50	5,00	5,40	
PROMEDIO	4,72	3,72	4,27	4,88
ASUMIDO	4,70	3,70	4,30	4,90

Tabla 11 Distancias entre ejes y
Fuente: Sondeo elaborado por Fabián Toapanta

En altura, para todas las estructuras sondeadas, se observó que tenían un tapagrada y una bodega o mini departamento en la terraza, mientras que el resto de pisos mantiene la altura de entrepiso y la configuración vertical, del sistema aporticado, es constante en todos los niveles, por lo que la configuración en elevación tiene un valor de $\varnothing_E=0,9$, según el NEC 2015.

6.7.2. VALORES CARACTERÍSTICOS

Una vez analizado cada una de los datos obtenidos del sondeo, se consideran las siguientes condiciones.

El edificio es de tipo residencial en donde la altura del edificio es de 17.10m considerada desde el nivel del suelo, con un área de construcción de 351.14m², en donde las dimensiones del edificio son de 19.40m por 18.10m, con una altura de entrepiso de 2.85m para todos los 6 niveles considerados dentro del sondeo realizado.

El tipo de estructura es de hormigón armado, con ejes en las dos direcciones que forman pórticos en tres dimensiones, conformado por vigas y columnas, las cuales deben ser prediseñadas, considerando que las divisiones son de mampostería de ladrillo.

La altura de la losa de entre piso de igual manera debe ser prediseñada, teniendo las gradas ubicadas en los ejes B-C y 3-4, las mismas que también deben prediseñarse considerando la configuración establecida en los planos.

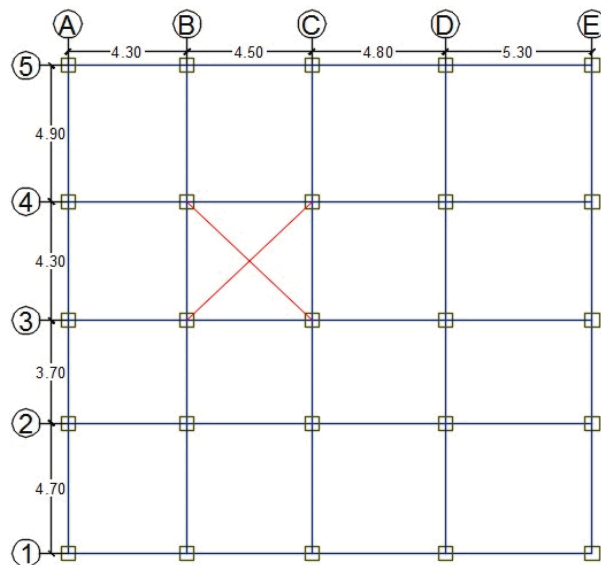


Gráfico 12. Configuración en planta
Fuente: Sondeo elaborado por Fabián Toapanta

El sistema de cimentación será de zapatas aisladas, y tenemos tres tipos, centrales, de lindero y esquineras, en donde las dimensiones se establecerán de acuerdo a las

cargas totales que se generarán de la estructura, las mismas que se transmitirán a la cimentación, y de la capacidad portante del suelo.

La estructura aporricada de hormigón armado es simétrica en planta, tal como se ilustra en el gráfico 12.

En elevación se considera el tapagrada y un área de lavandería, máquinas y bodega, tal como muestran el gráfico 13.

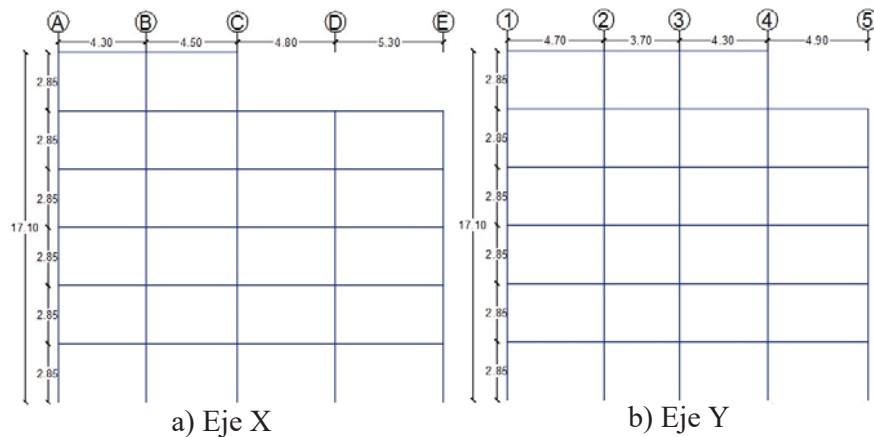


Gráfico 13 Configuración en Elevación
Fuente: Sondeo elaborado por Fabián Toapanta

Las características de los materiales de construcción, según la norma ACI-318-08 sección 19.3.1 y según lo establecido en el NEC_SE_HM sección 3.3.1 son las siguientes:

- Resistencia de hormigón a los 28 días: $F'c=210\text{kg/cm}^2$
- Resistencia del Aceros estructural: $Fy=4200\text{ Kg/cm}^2$

Las características mecánicas del suelo fueron proporcionados por el Ing. Fausto A. Guevara, mediante un estudio de suelos, en donde se indican los siguientes valores:

- Tipo de cimentación: Directa mediante zapatas
- Profundidad de desplante: 2.0m
- Cota de cimentación: 2583.0 msnm
- Capacidad de carga admisible: $q_a= 28.84\text{ t/m}^2$
- Módulo de balasto: $k_s= 5.77\text{kg/cm}^2/\text{cm}$

6.7.3. PREDISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA

6.7.3.1. PREDISEÑO DE LOSA

Se Define el tipo de losa

Tablero	S	L	m=S/L	Observación
Tipo 1	4,90	5,30	0,925	Bidireccional
Tipo 2	3,70	4,30	0,860	Bidireccional
Tipo 3	4,30	4,70	0,915	Bidireccional

Tabla 12 Tipo de losa

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

El tablero que se considera el más crítico, se ilustra en el Gráfico 14, y es aquel que tiene mayores dimensiones y es el apropiado para el prediseño de la losa.

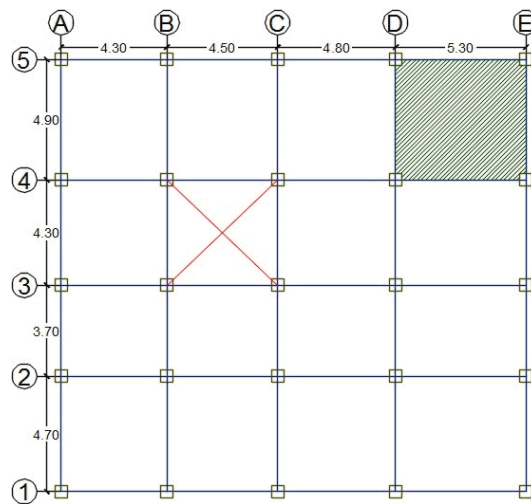


Gráfico 14 Tablero Crítico

Fuente: Sondeo elaborado por Fabián Toapanta

En donde las dimensiones para el tablero crítico son:

$$L = 5.30 \text{ m} \quad S = 4.90 \text{ m}$$

Procedemos a definir la altura de la losa según el ACI318-08 en la ecuación 9-13:

$$h = \frac{\ln\left(0.8 + \frac{f_y}{14000}\right)}{36 + 9\beta} \quad \text{Ec. 5}$$

En donde:

ln: Longitud Nominal del claro más largo del tablero seleccionado, en centímetros
fy: Límite de fluencia del acero.

β : Relación entre el lado largo y el lado corto del tablero seleccionado según ACI318-08 sección 9.5.3.3.

$$\beta = \frac{L}{s} \quad \text{Ec. 6}$$

$$\beta = \frac{5.30}{4.90} = 1.08$$

$$h = \frac{530(0.8 + \frac{4200}{14000})}{36 + 9 * 1.08}$$

$$h = 12.75 \text{ cm}$$

Además, la altura de la losa puede definirse también mediante la ecuación 7 del ACI318-08 sección 9.5.3.3:

$$h = \frac{\ln(0.8 + \frac{fy}{14000})}{36} \quad \text{Ec. 7}$$

$$h = \frac{530(0.8 + \frac{4200}{14000})}{36}$$

$$h = 16.19 \text{ cm}$$

El prediseño de la losa, de manera rápida, se puede obtener mediante la ecuación 8, pero dicha ecuación no es normada, pero la dimensión que se obtiene se acerca mucho a los valores obtenida mediante las ecuaciones del ACI.

$$h = 3 * \text{Claro mas largo} \quad \text{Ec. 8}$$

$$h = 3 * 5.30$$

$$h = 15.90 \text{ cm}$$

Una de las tres expresiones anteriores tomaremos el valor mayor para definir el espesor necesario.

$$h \text{ mayor} = 16.19 \text{ cm}$$

$$h \text{ asumido} = 20 \text{ cm}$$

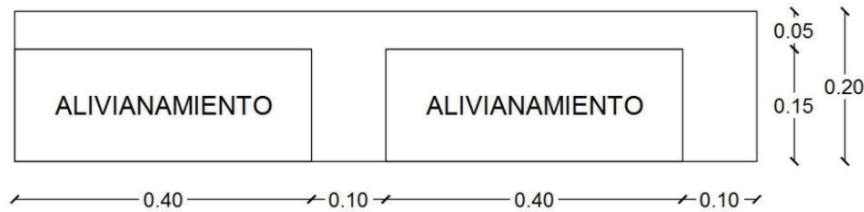


Gráfico 15 Espesor de losa
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Una vez definida la losa, deberemos calcular el peso por unidad de área de la misma, dicho peso, más las cargas aplicadas a la losa, serán las que se transmitan a las vigas, por lo que se determinan los pesos de cada componente de la losa, en dónde los pesos es la multiplicación del volumen que ocupa cada elemento por su peso específico, por lo que tenemos que:

PESO PROPIO DE LOSA

$$\text{Peso loseta} = 0.05 \times 1.00 \times 1.00 \times 2400 = 120.00 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Peso nervio} = 0.10 \times 0.15 \times 3.60 \times 2400 = 129.60 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Peso alivianamiento} = 8 * 11 = 88.00 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Peso Propio de Losa} = \text{Peso loseta} + \text{Peso nervio} + \text{Peso alivianamiento}$$

$$\text{Peso Propio de Losa} = 120.00 \text{ kg/m}^2 + 129.60 \text{ kg/m}^2 + 88.00 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Peso Propio de Losa} = 337.60 \text{ kg/m}^2$$

Además, tenemos el peso permanente, este peso lo conforma los enlucidos, masillado y acabados finales, por lo que se determina de la misma manera:

PESO PERMANENTE

$$\text{Peso enlucido} = 0.02 * 1.00 * 1.00 * 2200 = 44.00 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Peso Macillado} = 0.02 * 1.00 * 1.00 * 2200 = 44.00 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Peso Acabado} = 0.02 * 1.00 * 1.00 * 2200 = 44.00 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Peso Pared} = 200 = 200.00 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Peso Permanente} = \text{P. enlucido} + \text{P. macillado} + \text{P. acabado} + \text{P. pared}$$

$$\text{Peso Permanente} = 44 \text{ kg/m}^2 + 44 \text{ kg/m}^2 + 44 \text{ kg/m}^2 + 200 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Peso Permanente} = 332.00 \text{ kg/m}^2$$

CARGA MUERTA (D)

La carga muerta es la suma del peso propio de la losa con el peso permanente

Carga Muerta = Peso Propio de Losa + Peso Permanente

$$\text{Carga Muerta} = 337.60\text{kg/m}^2 + 332.00\text{kgm}^2$$

$$\text{Carga Muerta} = 669.60\text{kg/m}^2 \cong 670 \text{ kg/m}^2$$

CARGA VIVA (L)

La carga viva se define según la ocupación de la estructura, la tabla 9 del NEC_SE_CG 2015 (sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas, Lo y concentradas, Po) nos proporciona la cantidad de carga viva recomendada para edificios de acuerdo a la ocupación o uso del mismo.

$CV = 2.0\text{KN/m}^2$ Para Residencias (viviendas unifamiliares y multifamiliares).

$CV = 1.40\text{KN/m}^2$ Para cubiertas sujetas a mantenimiento de trabajadores.

Por lo tanto, la carga viva en Kg/m^2 sería:

$CV = 200\text{kg/m}^2$ Para las losas de entrecimiso

$CV = 140\text{kg/m}^2$ Para la losa de terraza.

6.7.3.2. PREDISEÑO DE VIGAS

La combinación de cargas para establecer la carga última viene dada por el NEC_SE_CG en la sección 3.4.3 “Combinación para el diseño por última resistencia.” Por lo tanto, usamos la combinación 2, que establece lo siguiente.

$$U = 1.2D + 1.6L + 0.5 \max[L_r; S; R] \quad \text{Ec. 9}$$

En donde:

D: Carga muerta

L: Carga Viva

L_r : Sobrecarga cubierta (carga viva)

S: Carga de granizo

R: Factor de reducción utilizado para la sobrecarga en cubierta

Por lo tanto, la carga última será:

$$U = 1.2D + 1.6L$$

$$U = 1.2 * 670\text{kg/m}^2 + 1.6 * 200\text{kg/m}^2$$

$$U = 1124 \text{ kg/m}^2 = 1.124 \text{ Ton/m}^2$$

Las secciones de las vigas determinamos mediante la obtención de la sección más crítica, en donde los valores de \emptyset y de R_u se establecen en el libro de Arthur H. Nilson, “DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO”, en la tabla A6 y en la sección 3.4 respectivamente:

$$L = 5.30\text{m}$$

$$\emptyset = 0.90$$

$$R_u = 39.03$$

$$\text{Ancho cooperante} = 13.75\text{m}^2$$

El recubrimiento el ACI 318S-08 en la sección 7.7.1, “Concreto construido en sitios (no preesforzado)”, indica que para vigas y columnas el recubrimiento mínimo debe ser de 40mm, es decir 4cm.

La Carga última determinamos mediante la ecuación 10, tomamos de Arthur H. Nilson, “DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO”, sección 13.3.

$$q_u = \frac{U * \text{ancho cooperante}}{L} \quad \text{Ec. 10}$$

$$q_u = \frac{1124 * 13.75}{5.3}$$

$$q_u = 2916.04 \text{ kg/m}$$

La ecuación 11 tomamos del ACI318, sección 8.3.

$$M_u = \frac{q_u * L^2}{10} \quad \text{Ec. 11}$$

$$M_u = \frac{2916.07 * 5.30^2}{10}$$

$$M_u = 8191.24 \text{ kg} - \text{m}$$

Arthur H. Nilson, “DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO”, en la sección 3.4, despejando la ecuación 3.38 tenemos que:

$$d = \sqrt{\frac{Mu}{\phi * Ru * b}} \quad \text{Ec. 12}$$

Para la ecuación anterior el momento último debe estar en kg-cm y además asumir un valor para la base la cual será 30cm.

$$d = \sqrt{\frac{8191.24 * 100}{0.90 * 39.03 * 30}}$$

$$d = 27.88 \text{ cm}$$

Por lo tanto, el valor de la altura de la viga es:

$$h = d + r$$

$$h = 27.88 + 4$$

$$h = 31.88 \text{ cm}$$

Ec. 13

Por facilidad de construcción los valores deben ser cerrados, por lo que estableceremos una sección de viga de 30x30, y con los análisis correspondientes estableceremos si es necesario aumentar las secciones de las vigas.

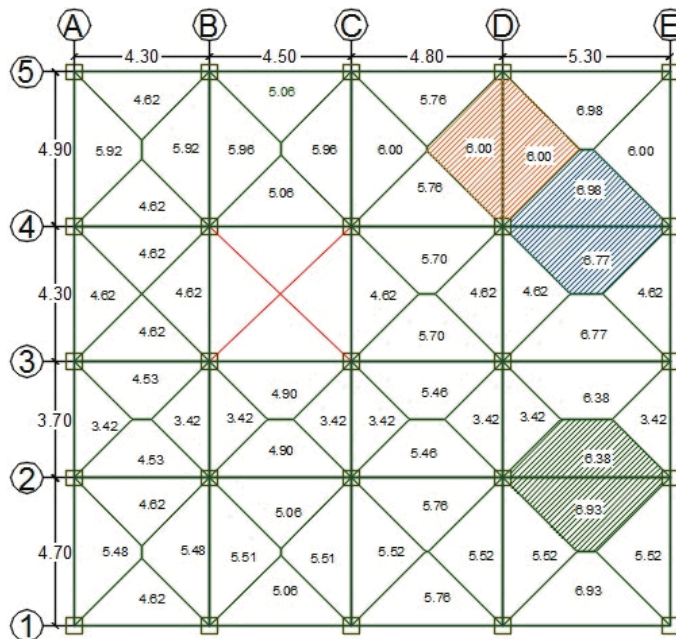


Gráfico 16 Ancho cooperante para vigas
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Eje	Tramo	Long m	Ru	Ancho coop. cm ²	B asum.	d cm	r cm	h cm	H asum.	Sección cm
4	D-E	5.30	39.03	13.75	30	27.88	4.00	31.88	30	30x30
2	D-E	5.30	39.03	13.31	30	27.43	4.00	31.43	30	30x30
D	4-5	4.90	39.03	12.00	30	25.04	4.00	29.04	30	30x30

Tabla 13 Secciones para vigas más críticas

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

PESO DE VIGA

Para determinar el peso de las vigas debemos recalcar que es necesario tener el peso por unidad de área, la ecuación 14 nos proporciona dicho peso.

$$\text{Peso de viga} = \frac{b \text{ viga} * (h \text{ viga} - h \text{ losa}) * L \text{ total de viga} * 2400}{\text{Area del edificio}} \quad \text{Ec. 14}$$

$$\text{Peso de viga} = \frac{0.30 * (0.30 - 0.20) * 182.50 * 2400}{351.14}$$

$$\text{Peso de viga} = 37.42 \text{ kg/m}^2 = 0.04 \text{ Ton/m}^2$$

6.7.3.3. PREDISEÑO DE COLUMNAS

Para prediseñar la columna es necesario el cálculo de la carga puntual que soportarán las columnas por cada piso, en donde los datos para la columna D4 son los siguientes:

$$\text{Ancho cooperante} = 23.23 \text{ m}^2$$

$$\text{Número de Pisos} = 5$$

$$\text{Recubrimiento mínimo} = 4 \text{ cm}$$

Por lo tanto, la carga muerta para la columna obtendremos mediante la aplicación de la ecuación 15.

$$C_m = (\text{CM losa} + \text{Peso de viga}) * \#\text{pisos} * \text{Area Cooperante} \quad \text{Ec. 15}$$

$$C_m = (670 + 34.42) * 5 * 23.23$$

$$C_m = 704,42 * 5 * 23.23$$

$$C_m = 81818.38 \text{ kg}$$

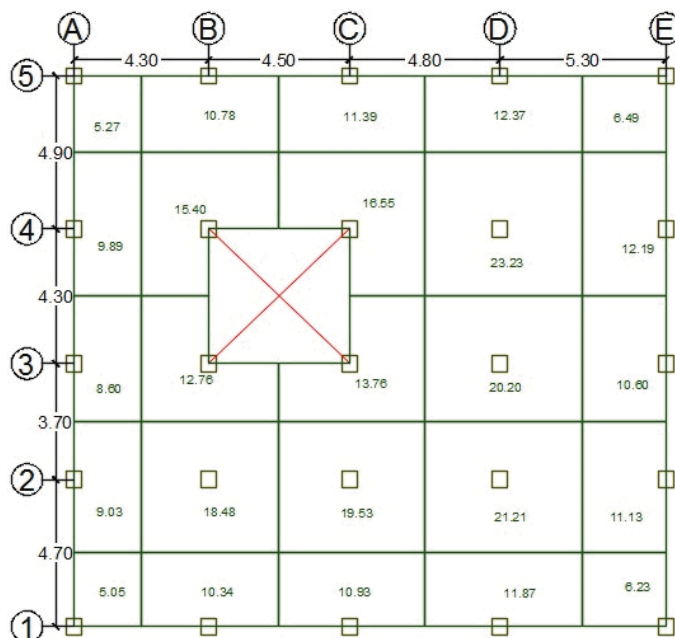


Gráfico 17 Áreas cooperantes para columnas
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

La ecuación 16 nos proporciona la carga viva total para la columna más crítica.

$$C_v = CV * \#pisos * Area\ Cooperante \quad Ec. 16$$

$$C_v = 200 * 5 * 23.23$$

$$C_v = 23230\ kg$$

$$P_u = 1.2D + 1.6L \quad Ec. 17$$

$$P_u = 1.2 (81818.38) + 1.6 (23230)$$

$$P_u = 135350.06\ Kg = 135.35\ Ton$$

La sección para la columna conseguiremos del despeje de la expresión dada por el ACI318-08 en el artículo 10.3.6.2, obteniendo la ecuación 18, recalando que la cuantía de acero establecida en la sección 4.3.3 del NEC_SE_HM (ρ_{min}) es 0.01 y (ρ_{max}) es 0.03, por lo que tomaremos la cuantía mínima.

$$A_g = \frac{1.68 P_u}{0.85 f'_c (1 - \rho) + \rho * f_y} \quad Ec. 18$$

$$A_g = \frac{1.68 (135350.06)}{0.85 * 210 * 1 + 0.01 * 4200}$$

$$A_g = 1031.24\ cm^2$$

De la ecuación anterior, al obtener el área de la columna extrayendo la raíz de la misma, obtendremos sus dimensiones.

$$b = \sqrt{Ag} \quad \text{Ec. 19}$$

$$b = \sqrt{1034.42 \text{ cm}^2}$$

$$b = 32.11 \text{ cm}$$

Las dimensiones de la columna son mayores a 30 cm, establecido como mínimo dentro del código ACI318, por lo que asumo una sección de 50cmx50cm, debido a que el edificio es de 6 pisos, y la sección calculada es insuficiente.

Consecuentemente tendremos la siguiente tabla, que nos indica las secciones a adoptar para cada una de las columnas.

Col	Ancho Cooperante m2	Numero de pisos	Pu Ton	Ag cm2	b cm	h cm	B (asumido) cm	H (asumido) cm	Seccion cm
A1	5,05	6	35,31	269,02	20,40	20,40	50	50	50x50
A2	9,03	6	63,14	481,04	25,93	25,93	50	50	50x50
A3	8,60	6	60,13	458,13	25,40	25,40	50	50	50x50
A4	9,89	6	69,15	526,85	26,95	26,95	50	50	50x50
A5	5,27	5	30,71	233,95	19,30	19,30	50	50	50x50
B1	10,34	6	72,30	550,82	27,47	27,47	50	50	50x50
B2	18,48	6	129,21	984,45	35,38	35,38	50	50	50x50
B3	12,76	6	89,22	679,74	30,07	30,07	50	50	50x50
B4	15,40	6	107,67	820,37	32,64	32,64	50	50	50x50
B5	10,78	5	62,81	478,55	25,88	25,88	50	50	50x50
C1	10,93	6	76,42	582,25	28,13	28,13	50	50	50x50
C2	19,53	6	136,55	1040,38	36,25	36,25	50	50	50x50
C3	13,76	6	96,21	733,01	31,07	31,07	50	50	50x50
C4	16,55	6	115,71	881,64	33,69	33,69	50	50	50x50
C5	11,39	5	66,36	505,63	26,49	26,49	50	50	50x50
D1	11,87	5	69,16	526,94	26,96	26,96	50	50	50x50
D2	21,21	5	123,58	941,57	34,68	34,68	50	50	50x50
D3	20,20	5	117,70	896,73	33,95	33,95	50	50	50x50
D4	23,23	5	135,35	1031,24	36,11	36,11	50	50	50x50
D5	12,37	5	72,07	549,14	27,43	27,43	50	50	50x50
E1	6,23	5	36,30	276,57	20,63	20,63	50	50	50x50
E2	11,13	5	64,85	494,09	26,23	26,23	50	50	50x50
E3	10,60	5	61,76	470,56	25,69	25,69	50	50	50x50
E4	12,19	5	71,03	541,14	27,26	27,26	50	50	50x50
E5	6,49	5	37,81	288,11	20,97	20,97	50	50	50x50

Tabla 14 Secciones de columnas
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

6.7.3.4. PREDISEÑO DE CIMENTACIÓN

Para el prediseño de la cimentación se debe tomar en cuenta las características del suelo, las cuales nos proporciona el estudio de suelos, en donde el tipo de cimentación es “Directa mediante zapatas”, por lo que se realizará al prediseño de una zapata aislada, con los datos siguientes:

- Profundidad de desplante: 2.0m
- Cota de cimentación: 2583.0 msnm
- Capacidad de carga admisible: $q_a=28.84 \text{ t/m}^2$
- Módulo de balasto: $k_s= 5.77 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$

El código ACI establece que toda cimentación debe ser diseñada para cargas de servicio, por lo tanto a la carga última debe dividirse para un factor f , que resulta del promedio de los factores de mayoración de carga, 1.2 y 1.6, de la combinación de cargas, entonces tenemos lo siguiente:

$$\text{Carga Ultima (Pu)} = 135.35 \text{ ton}$$

$$\text{Carga de servicio (Ps)} = \frac{135.35}{1.4} \text{ ton} = 96.68 \text{ ton}$$

Tenemos que para un prediseño podemos aplicar la ecuación 20, referida en el ACI318-08 en la sección R15.2:

$$q_{adm} = \frac{P_s}{A_F} \quad \text{Ec. 20}$$

$$A_F = \frac{P_s}{q_{adm}}$$

$$A_F = \frac{96.68 \text{ ton}}{28.84 \text{ ton/m}^2}$$

$$A_F = 3.35 \text{ m}^2$$

Con el área de cimentación podemos tomar el criterio de diseñar una zapata cuadrada, por lo que la base y la altura tendrán las mismas dimensiones, al determinar la raíz del área de cimentación obtendremos las secciones de la zapata.

$$b = \sqrt{A_F} \quad \text{Ec. 21}$$

$$b = \sqrt{3.35 \text{ m}^2}$$

$$b = 1.83\text{m} \quad \text{Entonces Asumo } b=1.85 \text{ m}$$

Tomamos una sección de zapata de 1.85m x 1.85m, por lo que podemos comprobar si las dimensiones son las correctas, mediante la ecuación 22, tomada de igual manera de la sección R15.2 del ACI318-08.

$$q_r = \frac{P_s}{A_F} \quad \text{Ec. 22}$$

$$q_r = \frac{96.68 \text{ ton}}{1.85 \text{ m} \times 1.85 \text{ m}}$$

$$q_r = 28.27 \text{ ton/m}^2 < q_{\text{adm}}$$

Las secciones si cumplen, por lo tanto, adoptamos las dimensiones prediseñadas.

Sección de zapatas 1.85m x 1.85m

Es necesario establecer el espesor de la cimentación, por lo cual tomamos el valor mínimo establecido por el código ACI318-08 en la sección 15.7 establece la altura mínima que es 150 mm, es decir 15cm, pero asumimos una altura de zapata de 70 cm, debido a que es un edificio de 6 pisos.

6.7.4. DETERMINACIÓN DE FUERZAS ESTÁTICAS POR NIVELES.

6.7.4.1. CORTANTE BASAL DE DISEÑO SEGÚN EL NEC 2015

El cortante Basal de diseño V según el NEC_SE_DS 2015 en la sección 6.3.2 está dentro del procedimiento de cálculo del Diseño Basado en Fuerzas (DBF), lo cual indica que se debe seguir los siguientes pasos:

- Determinar el espectro de diseño $S_a(T)$
- Cálculo aproximado del periodo fundamental de vibración aproximado T_a .
- Determinar el cortante basal V
- Determinar la distribución vertical y horizontal de V
- Establecer la dirección de aplicación de las fuerzas sísmicas
- Verificación de derivas, que no sobrepasen los valores permitidos.

La sección 3.3 de la misma Norma establece los parámetros para determinar el espectro elástico de diseño, en donde se establecen dos tipos de espectros, el primero detallado en la sección 3.3.1 “espectro elástico horizontal de diseño en aceleración”, la cual es de aplicación obligatoria para la determinación del cortante basal.

Mientras que el “Espectro elástico de diseño en desplazamientos” es el segundo tipo, y esta detallado en la sección 3.3.2, este espectro es utilizado para el diseño basado en desplazamientos (DBD) la cual es aplicada como modo de verificación del Diseño basado en fuerzas para estructuras regulares o con poca irregularidad.

Cálculo del Periodo de vibración (T)

Según el NEC_SE_DS 2015, sección 6.3.3.

$$T = C_t h_n^\alpha \quad \text{Ec. 23}$$

En donde:

C_t : Coeficiente que depende del tipo de edificio

h_n : Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura en metros

T: Periodo de Vibración

Los valores para los coeficientes corresponden a “Pórticos especiales de hormigón armado, sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras”, detallada en la sección 6.3.2 del NEC_SE_DS, los cuales son:

$$C_t = 0.055$$

$$\alpha = 0.9$$

$$h_n = 17.10\text{m}$$

Por lo tanto

$$T = 0.055 * 17.10^{0.9}$$

$$T = 0.708 \text{ segundos.}$$

Antes de hallar el espectro, para el diseño basado en fuerzas, debe determinarse el límite para el periodo de vibración en el espectro sísmico de aceleraciones T_c el mismo que se expresa mediante la ecuación de la sección 3.3.1 del NEC_SE_DS:

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a} \quad \text{Ec. 24}$$

En donde los valores correspondientes a los F_a , F_d y F_s son dependientes de la Zona sísmica en donde se encuentren, la misma que es detallada en el NEC_SE_DS en la sección 3.1.1. “Zonificación sísmica y factor de zona Z”.

Zonificación Sísmica

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Tabla 15 Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Fuente: NEC_SE_DS_(peligro sísmico) 2015

La Zona sísmica correspondiente a la ciudad de Ambato provincia de Tungurahua es: $Z=0.40$

Coefficientes de perfil de suelo F_a , F_d y F_s

El perfil del suelo, para los Factores, es de tipo C, suelos muy densos o roca blanda, por lo tanto, los coeficientes son los siguientes:

F_a : Coeficiente de ampliación de suelo en la zona de periodo corto.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.50
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.2
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1	0.85
F	Véase Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Tabla 16 Tipo de suelo y factores de sitio F_a

Fuente: NEC_SE_DS_(peligro sísmico) 2015

Factor $F_a= 1.20$

Fd: amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.50
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.26	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.6.4					

Tabla 17 Tipo de suelo y factores de sitio Fd
Fuente: NEC_SE_DS_(peligro sísmico) 2015

Factor Fd= 1.11

Fs: comportamiento no lineal de los suelos

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.50
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.6.4					

Tabla 18 Tipo de suelo y factores de sitio Fs
Fuente: NEC_SE_DS_(peligro sísmico) 2015

Factor Fs=1.11

Con los datos necesarios obtenidos de las tablas, el periodo Tc será el siguiente:

$$T_c = 0.55 * 1.11 * \frac{1.11}{1.20}$$

$$T_c = 0.565 \text{ segundos}$$

Los periodos de vibración deben comprobarse con el fin de definir la ecuación a usar en el espectro de respuesta.

$$T > T_c$$

$$0.708 > 0.565$$

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones (S_a), depende del periodo o modo de vibración del suelo, dicho espectro se define mediante la ecuación de la sección 3.3.1 del NEC_SE_DS:

$$S_a = \eta Z F_a \quad \text{Ec. 25}$$

En donde:

El factor η , que corresponde a la relación entre la aceleración espectral, el mismo que depende de la región en el Ecuador, se obtiene del NEC_SE_DS sección 3.3.1, los cuales son:

$\eta=1.80$: Provincias de la Costa (Excepto Esmeraldas)

$\eta=2.48$: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos

$\eta=2.60$: Provincias del Oriente

En tal virtud **$\eta=2.48$** (Provincias de la Sierra)

Z es el factor de zona sísmica anteriormente especificado.

$$\mathbf{Z=0.40}$$

Fa es el coeficiente de ampliación de suelo en la zona de periodo corto.

$$\mathbf{Fa=1.20}$$

Tc es el periodo límite de vibración en el espectro sísmico de aceleraciones.

$$\mathbf{Tc=0.565 \text{ segundos}}$$

T es el periodo fundamental de vibración de la estructura

$$\mathbf{T=0.708 \text{ segundos}}$$

El coeficiente r, que de igual manera depende de la ubicación geográfica del proyecto, según la sección 3.3.1 del NEC_SE_DS, los valores son:

r=1: Para todos los suelos, con excepción del suelo E

r=1.5: Para tipo de suelo E

Por lo tanto, el valor de **r=1**

Por lo que la ecuación 25, para el espectro de respuesta elástico de aceleraciones (S_a), resolvemos de la siguiente manera:

$$S_a = \eta z F_a$$

$$S_a = 2.48 * 0.4 * 1.20$$

$$S_a = 1.1904$$

El cortante Basal se define por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{I S_a}{R \phi_p \phi_E} * W \quad \text{Ec. 26}$$

En donde:

I es el coeficiente de importancia del edificio, y se obtiene de la siguiente tabla:

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente.	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores.	1.0

Tabla 19 Tipo de uso, destino e importancia de la estructura
Fuente: NEC_SE_DS_(peligro sísmico) 2015

El edificio en estudio es de tipo Residencial, y es de clasificación “Otras Estructuras”, por lo que le corresponde un coeficiente $I=1.0$

S_a es la aceleración de gravedad correspondiente al espectro de respuesta elástico para diseño anteriormente determinado, $S_a=1.1904$.

R es el factor de reducción de resistencia sísmica, la cual se determina de la tabla 15 de la sección 6.3.4 “Ductilidad y factor de reducción de resistencia sísmica R”

Sistemas Estructurales Dúctiles	R
Sistemas Duales	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras (sistemas duales).	8
Pórticos especiales sismo resistentes de acero laminado en caliente, sea con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	8
Sistemas Estructurales Dúctiles	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7
Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	8
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5

Tabla 20 Coeficiente r para sistemas estructurales dúctiles
Fuente: NEC_SE_DS_(peligro sísmico) 2015

Por lo tanto, el valor de $R=8$

Θ_p y Θ_E son Coeficientes de configuración en planta y elevación, según las tablas 12, 13 y 14 de la sección 5.2 “Regularidad/configuración estructural”, en donde se considera regular a una estructura que no presente las condiciones de dichas tablas.

Es necesario establecer la regularidad de la configuración estructural, para ello es preciso un buen criterio. Para el caso en estudio se presenta un edificio regular tanto en planta como en elevación, aun cuando en esta última tenemos que en el piso más alto existe una terraza, un cuarto de bodega y el tapagrada que hacen que la regularidad en elevación no sea tan uniforme, pero al tratarse de un solo piso en

donde la altura de entrepiso es igual al resto, ayudan en la decisión de considerar regular.

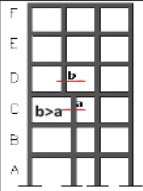
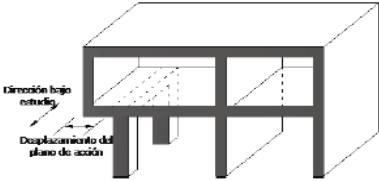
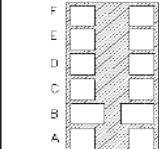
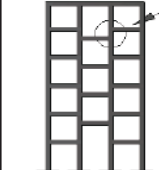
IRREGULARIDADES EN ELEVACIÓN		IRREGULARIDADES EN PLANTA
<p>Ejes verticales discontinuos o muros soportados por columnas. La estructura se considera irregular no recomendada cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema resistente, dentro del mismo plano en el que se encuentran, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento.</p> 	<p>Desplazamiento de los planos de acción de elementos vertical.</p> <p>Una estructura se considera irregular no recomendada cuando existen discontinuidades en los ejes verticales, tales como desplazamientos del plano de acción de elementos verticales del sistema resistente.</p> 	
<p>Piso débil-Discontinuidad en la resistencia. La estructura se considera irregular no recomendada cuando la resistencia del piso es menor que el 70% de la resistencia del piso inmediatamente superior, (entendiéndose por resistencia del piso la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada).</p>  <p>RESISTENCIA PISO B < 0.70 RESISTENCIA PISO C</p>		
<p>Columna corta Se debe evitar la presencia de columnas cortas, tanto en el diseño como en la construcción de las estructuras.</p> 		

Tabla 21 Configuraciones estructurales no recomendadas
Fuente: NEC_SE_DS_(peligro sísmico) 2015

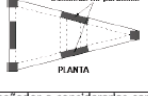
<p>Tipo 1 - Irregularidad torsional $\phi_w=0.9$ $\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$</p> <p>Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</p>	
<p>Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas $\phi_w=0.9$ $A > 0.15B$ y $C > 0.15D$</p> <p>La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	
<p>Tipo 3 - Discontinuidades en el sistema de piso $\phi_w=0.9$ a) $CxD > 0.5AxB$ b) $CxD + CxE > 0.5AxB$</p> <p>La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p>	
<p>Tipo 4 - Ejes estructurales no paralelos $\phi_w=0.9$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

Tabla 22 Coeficientes de irregularidad en planta
Fuente: NEC_SE_DS_(peligro sísmico) 2015

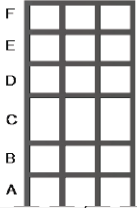
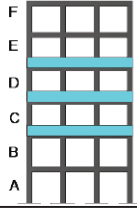
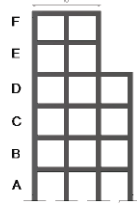
<p>Tipo 1 - Piso flexible $\phi_E=0.9$ Rigidez $K_c < 0.70$ Rigidez K_o Rigidez $< 0.80 \frac{(K_o + K_g + K_p)}{3}$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	
<p>Tipo 2 - Distribución de masa $\phi_E=0.9$ $m_o > 1.50 m_i$ ó $m_o > 1.50 m_c$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p>	
<p>Tipo 3 - Irregularidad geométrica $\phi_E=0.9$ $a > 1.3 b$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

Tabla 23 Coeficientes de irregularidad en elevación
Fuente: NEC_SE_DS_(peligro sísmico) 2015

Los valores por lo tanto serán; $\phi_p = 0.9$ $\phi_E = 0.9$

Peso total del edificio $W = 1315.48$ Ton

Por lo tanto, el cálculo del cortante basal, de acuerdo a la ecuación 26, es igual a:

$$V = \frac{1.0 * 1.1904}{8 * 0.9 * 0.9} * W$$

$$V = 0.1837 * 1315.48$$

$$V = 241.66 \text{ Ton}$$

6.7.4.2. DISTRIBUCIÓN DEL CORTANTE BASAL (V)

Una estructura puede ser sometida a varios tipos de análisis sísmicos, entre ellos tenemos el análisis Estático, que representa las demandas sísmicas mediante un conjunto de fuerzas horizontales, las mismas que están actuando en cada nivel.

De lo anteriormente dicho, la distribución del cortante Basal en el edificio resulta ser las fuerzas horizontales para el Análisis Estático. Este tipo de análisis tiene la particularidad de que las cargas que actúan sobre el edificio no dependen del tiempo, pero la aplicación de este análisis se lo realizará únicamente para estructuras menores a los 45 metros de altura.

El NEC_SE_DS en la sección 6.3.5 establece la ecuación para la distribución vertical de las fuerzas sísmica laterales.

$$F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} V \quad \text{Ec. 27}$$

En donde:

F_x : Fuerza lateral aplicada en el piso x de la estructura

w_x : Peso asignado al piso o nivel x de la estructura

w_i : Peso asignado al piso o nivel i de la estructura

n: Número de Pisos de la estructura

h_x : Altura del piso x de la estructura

V: Cortante basal de la estructura

k: Coeficiente relacionado con el periodo de vibración de la estructura T

El valor de k se asigna de acuerdo a la tabla de la sección 6.3.5 del NEC_SE_DS.

Valores de T(s)	K
≤ 0.50	1
$0.5 < T \leq 2.5$	$0.75 + 0.50 T$
> 2.5	2

Tabla 24 Valor de k

Fuente: NEC_SE_DS_(Peligro Sísmico) 2015

Tenemos que el valor del periodo $T = 0.708$ segundos, por lo tanto, el valor de k, tomado del NEC_SE_DS sección 6.3.5, es:

$$k = 0.75 + 0.50 T \quad \text{Ec. 28}$$

$$k = 0.75 + 0.50 (0.708)$$

$$k = 1.104$$

Piso	Nivel hi (m)	Peso Wi (Tn)	Wi x hi^k (Tn-m)	Fx (Tn)
6	17.10	78.73	1346,21	27.29
5	14.25	247.35	3524,74	71.46
4	11.40	247.35	2819,79	57.16
3	8.55	247.35	2114,84	42.87
2	5.70	247.35	1409,90	28.58
1	2.85	247.35	704,95	14.29

Tabla 25 Distribución del cortante basal por piso
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

6.7.5. ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO

El análisis sísmico dinámico es convencionalmente utilizado, y consiste en que las cargas actuantes de la estructura son variables con el tiempo, por lo que actúan las fuerzas inerciales del edificio al momento de analizar la respuesta estructural.

La estructura es sometida a un espectro de respuesta elástico de aceleración, el mismo que depende del periodo de vibración de la estructura, el espectro obedece a una fracción de amortiguamiento respecto al crítico de 5%.

El espectro de respuesta evalúa a la estructura ante acciones que se inducen desde el exterior, esto es cuando la base de un edificio es sometida a una vibración, en donde la misma se transmite a toda la estructura, causando que el edificio también vibre de manera diferente, ya que la misma siempre presenta cierta ductilidad, lo cual hace que sea diferente el modo de vibración con respecto a la base.

El espectro de respuesta, definido por el NEC, se expresa como fracción de la aceleración de la gravedad (S_a), para el sismo de diseño.

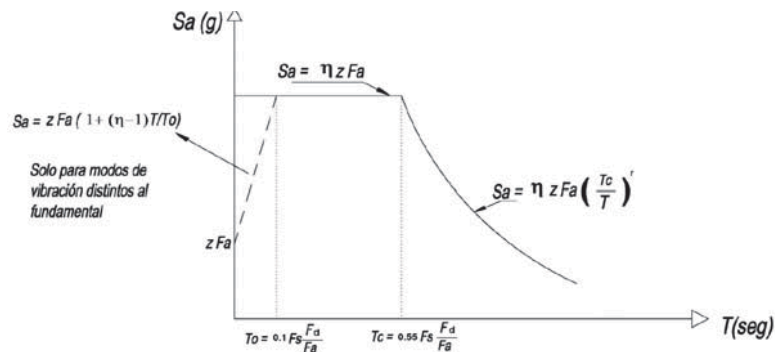


Gráfico 18 Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa al sismo de diseño

Fuente: NEC_SE_DS_(Peligro Sísmico) 2015

En donde:

- η : Razón entre la aceleración espectral $S_a(T=0.1 \text{ s})$
 F_a : Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto.
 F_d : Coeficiente de amplificación de suelo, amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para el diseño en roca
 F_s : Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio
 S_a : Espectro de respuesta elástico de aceleración
 T : Periodo fundamental de vibración de la estructura
 T_0 : Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleración
 T_c : Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleración
 Z : Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño

En donde los Datos para determinar el espectro son:

$$\begin{array}{ll} Z = 0.4 & F_a = 1.20 \\ \eta = 2.48 & F_s = 1.11 \\ r = 1 & F_d = 1.11 \end{array}$$

$$T_0 = 0.103 \text{ segundo}$$

$$T_c = 0.565 \text{ segundo}$$

$$T = 0.708 \text{ segundo}$$

Las aceleraciones para el espectro de diseño determinamos con la ecuación expuesta en el NEC_SE_DS en la sección 3.3.1.

$$\begin{aligned} S_a &= \eta z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r && \text{Ec. 29} \\ S_a &= 2.48 * 0.4 * 1.20 \left(\frac{0.565}{T}\right)^1 \\ S_a &= \frac{0.673}{T} \end{aligned}$$

Por lo que el espectro de diseño de la estructura tendrá como aceleración máxima de:

$$\begin{aligned} S_a &= 2.48 * 0.40 * 1.20 \left(\frac{0.565}{0.708}\right)^1 \\ S_a &= 0.9494 \end{aligned}$$

Espectro Elástico			
T (seg)	Sa(g)	T (seg)	Sa(g)
0,100	0,9494	1,700	0,3954
0,150	0,9494	1,750	0,3841
0,200	0,9494	1,800	0,3735
0,250	0,9494	1,850	0,3634
0,300	0,9494	1,900	0,3538
0,350	0,9494	1,950	0,3447
0,400	0,9494	2,000	0,3361
0,450	0,9494	2,050	0,3279
0,500	0,9494	2,100	0,3201
0,550	0,9494	2,150	0,3127
0,600	0,9494	2,200	0,3056
0,650	0,9494	2,250	0,2988
0,700	0,9494	2,300	0,2923
0,750	0,8963	2,350	0,2861
0,800	0,8403	2,400	0,2801
0,850	0,7909	2,450	0,2744
0,900	0,7469	2,500	0,2689
0,950	0,7076	2,550	0,2636
1,000	0,6722	2,600	0,2586
1,050	0,6402	2,650	0,2537
1,100	0,6111	2,700	0,2490
1,150	0,5846	2,750	0,2444
1,200	0,5602	2,800	0,2401
1,250	0,5378	2,850	0,2359
1,300	0,5171	2,900	0,2318
1,350	0,4980	2,950	0,2279
1,400	0,4802	3,000	0,2241
1,450	0,4636	3,050	0,2204
1,500	0,4482	3,100	0,2169
1,550	0,4337	3,150	0,2134
1,600	0,4201	3,200	0,2101
1,650	0,4074	3,250	0,2068

Tabla 26 Valores para espectro elástico
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

En tal virtud el espectro de diseño para el presente estudio es el siguiente:

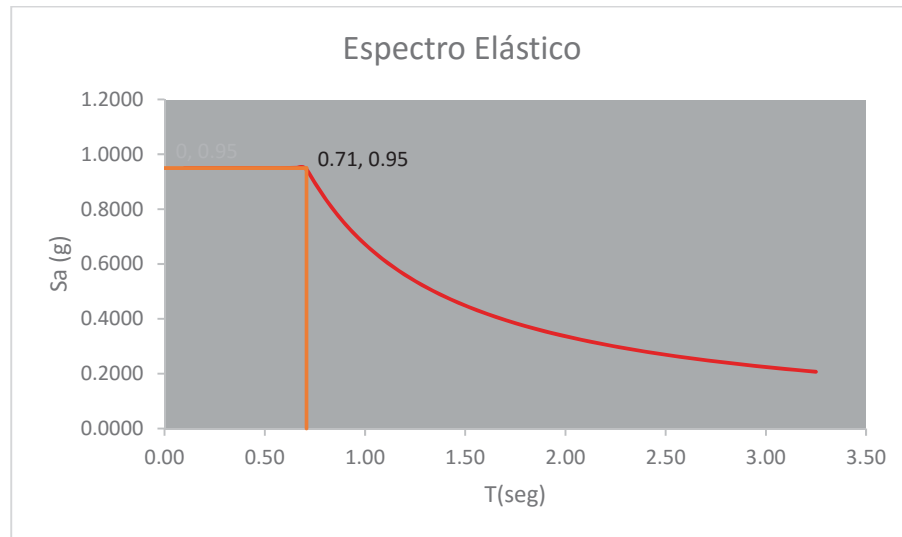


Gráfico 19. Espectro sísmico elástico de aceleración
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

6.7.6. MODELACIÓN COMPUTACIONAL

6.7.6.1. ANTECEDENTES GENERALES

A través del tiempo, conocer el comportamiento de una estructura de la manera real ha ido evolucionando, a tal punto que al día de hoy podemos contar con herramientas que faciliten el análisis y el diseño de una estructura en tiempo real, a la cual se le puede llegar a aplicar condiciones extremas y conocer su comportamiento, aun cuando la estructura no se construya.

La modelación de una estructura, por los diferentes medios, no es nada más que la idealización matemática de una estructura que pretende conocer el comportamiento de la misma, antes de ser construida, para lo cual es fundamental tomar decisiones trascendentales como las siguientes:

- La geometría de la estructura
- Propiedades de los materiales
- Los tipos de elementos
- Las cargas que se asignaran

- Conexiones internas entre los elementos
- La internación de la estructura con el medio circundante

Tenemos el aporte de elementos computacionales, al momento del análisis estructural, los cuales son herramientas que no sustituyen al ingeniero, estos programas mediante el uso de elementos finitos, y otros métodos de cálculo, proporciona al calculista valores aproximadamente reales, los cuales ayudan a la toma de decisiones al momento del diseño final.

En la actualidad tenemos programas que no son utilizados solamente para el análisis estructural de edificios, sino que hay programas que modelan otras estructuras, como celosías, tanques, entre otros, por lo cual resulta muy versátil al momento de usarlos, por lo que es importante saber cuáles son los programas más completos dentro de la ingeniería estructural.

6.7.6.2. GENERALIDADES DEL MODELO ESTRUCTURAL

La modelación de la estructura, implica la idealización geométrica del edificio, de los materiales, de los elementos estructurales y de las cargas del edificio en el programa, para este caso en particular es una estructura de hormigón armado cuyas secciones fueron prediseñadas previamente según las cargas a las que estarán sujetas. El modelo tridimensional estará sujeto a los ejes locales, dependiendo del tipo de elemento.

El análisis sísmico para la estructura es el dinámico, por lo que se determinó con anterioridad el espectro elástico de respuesta, de acuerdo a la norma vigente, NEC 2015. Dentro de este análisis se considera los modos de vibración para la estructura.

6.7.6.3. IDEALIZACIÓN GEOMETRICA

Las dimensiones que conforman los pórticos de la estructura deben idealizarse de la forma correcta, teniendo presente las unidades con la cual fue prediseñado el edificio.

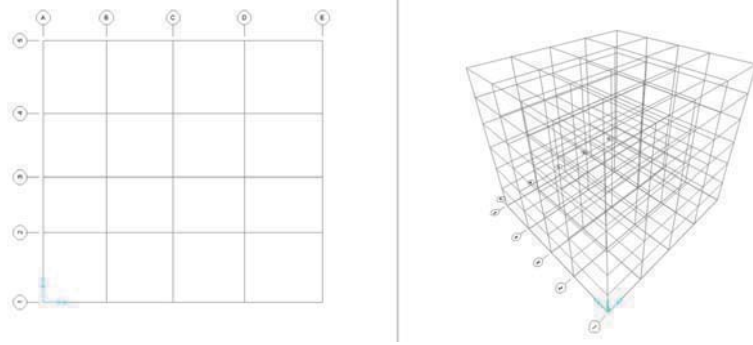


Gráfico 20 Idealización Geométrica
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

6.7.6.4. IDELAIZACIÓN DE MATERIALES

La idealización del material, pretende definir el tipo de material del cual está compuesta la estructura, según la norma ACI-318-08 sección 19.3.1 y según lo establecido en el NEC_SE_HM sección 3.3.1, los mismos que son, el hormigón de 210 kg/cm², y acero de refuerzo cuyo límite de fluencia es de 4200 Kg/cm², por lo que el material tiene las siguientes características:



Gráfico 21. Idealización del material
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

6.7.6.5. IDEALIZACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

La idealización de los elementos estructurales, parte de los prediseños realizados, en donde se definió la sección de viga que es de (30x30) cm, es importante mencionar que debe considerarse las inercias agrietadas para los elementos, debido a los momentos flectores que puede presentarse, para la cual el NEC-15 en

el apartado 6.1.6 establece que para vigas la inercia agrietada es del 50% de la inercia sin agrietar.

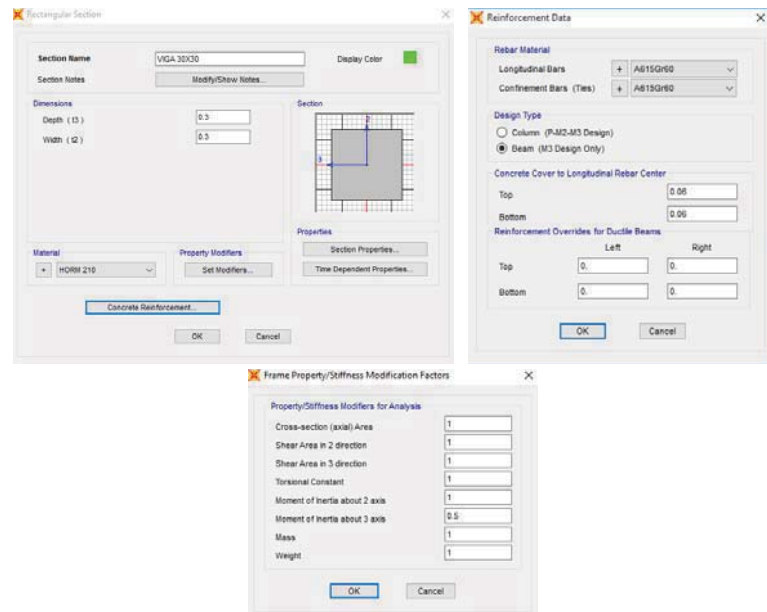


Gráfico 22. Idealización de vigas
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Para las columnas se define una sección de (50x50) cm de acuerdo con el prediseño previo a la modelación, y la inercia agrietada según el NEC-15 es del 80% de la Inercia sin agrietar.

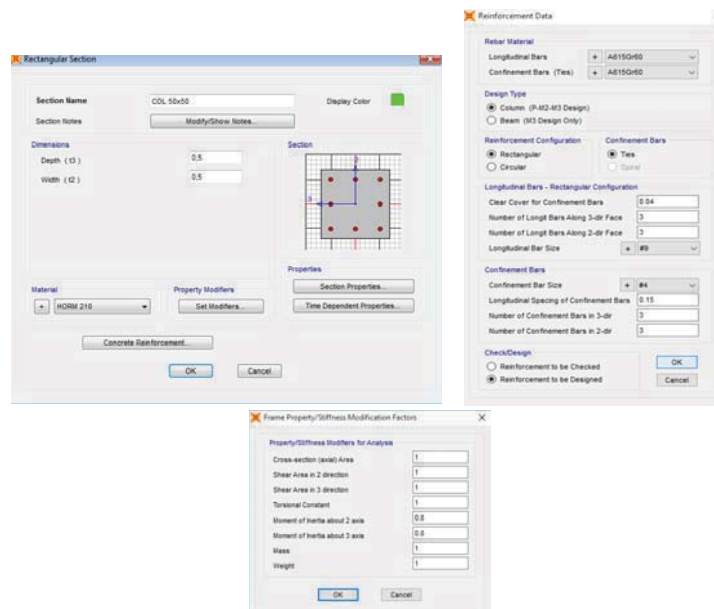


Gráfico 23. Idealización de columnas
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Realizadas las idealizaciones ahora dibujaremos los elementos estructurales, asignamos las vigas y columnas dentro de la idealización geométrica.

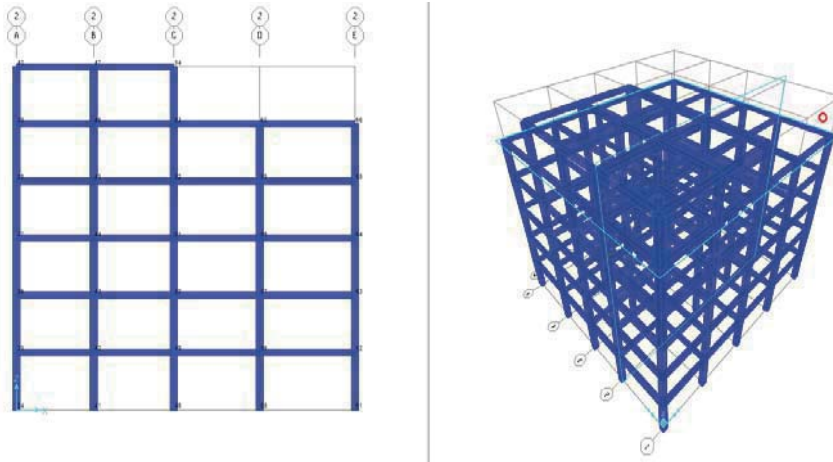


Gráfico 24. Asignación de Vigas y Columnas
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

6.7.6.6. IDEALIZACIÓN Y ASIGNACIÓN DE LOSA

El prediseño de losa, previamente realizado, es de tipo alivianada con espesor de 20cm, por lo que transformaremos a una losa maciza equivalente, para lo cual debemos tomar en cuenta que el peso específico del hormigón es de 2400Kg/m^3 , por lo tanto, tenemos que:

Altura de Nervios=15cm

Altura de Loseta=5cm

Altura de losa= 20 cm

En una losa alivianada por cada metro cuadrado tenemos:

- Nervios cuyo ancho es de 10cm con una longitud de 3.60m por cada metro cuadrado, por lo tanto, el volumen y el peso serán los siguientes:

$$\text{Volumen de nervio} = 0.10 * 3.60 * 0.15$$

$$\text{Volumen de nervio} = 0.054 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

$$\text{Peso de nervio} = 0.054 \text{ m}^3/\text{m}^2 * 2400\text{kg}/\text{m}^3$$

$$\text{Peso de nervio} = 129.60 \text{ kg}/\text{m}^2$$

- 8 Alivianamientos que para este caso en particular cada uno pesa 11Kg, por lo tanto, el peso será el siguiente:

$$\text{Peso de alivianamiento} = 8 * 11\text{kg}$$

$$\text{Peso de alivianamiento} = 88\text{kg/m}^2$$

- Un metro cuadrado de loseta de espesor anteriormente indicado, tiene el siguiente peso:

$$\text{Volumen de loseta} = 0.05 * 1.00 * 1.00$$

$$\text{Volumen de loseta} = 0.05 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

$$\text{Peso de loseta} = 0.05 \text{ m}^3/\text{m}^2 * 2400\text{kg/m}^3$$

$$\text{Peso de loseta} = 120 \text{ kg/m}^2$$

El peso total de la losa es la suma de los pesos de los elementos anteriores:

$$\text{Peso total de losa} = (129.60 + 88 + 120) \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Peso total de losa} = 337.60 \text{ kg/m}^2$$

Para hallar la altura equivalente para un metro cuadrado de losa partimos de la fórmula de la densidad, de la cual despejamos la altura de la siguiente manera:

$$\delta = \frac{m}{v} = \frac{m}{h * b * l} \quad \text{Ec. 30}$$

$$h = \frac{m}{\delta * b * l} \quad \text{Ec. 31}$$

$$h = \frac{337.60 \text{ kg}}{2400 \text{ kg/m}^3 * 1.00\text{m} * 1.00\text{m}}$$

$$h = 0.14\text{m} = 14\text{cm}$$

Con lo anterior definimos la losa en el programa tal cual indica el gráfico 25.

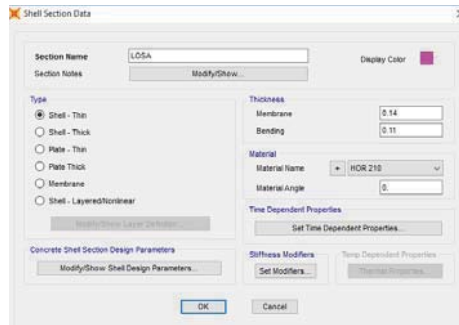


Gráfico 25. Asignación de Vigas y Columnas
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

A continuación, se colocan los tableros correspondientes a la losa definida.

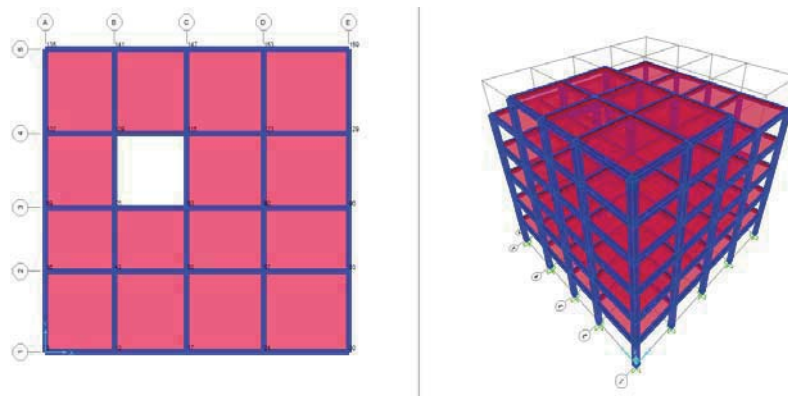


Gráfico 26. Asignación de Vigas y Columnas
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

6.7.6.7. CREACIÓN Y MODELACIÓN DE LA ESCALERA

Las dimensiones de gradas se consideran según el tipo de estructura, por lo que a continuación se detallan valores recomendados para huellas y contrahuellas, según la tabla 1 de la norma CPE INEN 5:

Tipo de estructura	Huella (h) cm	ContraHuella (ch) cm
Viviendas unifamiliares	22.5 - 35	10-20
Oficinas-viviendas multifamiliares	25 - 35	10-19
Colegios, hospitales, Clínicas	28 - 35	10-18

Tabla 27 Valores recomendados para secciones de grada
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Para este caso en particular la grada arquitectónica y estructuralmente está compuesta de la siguiente manera:

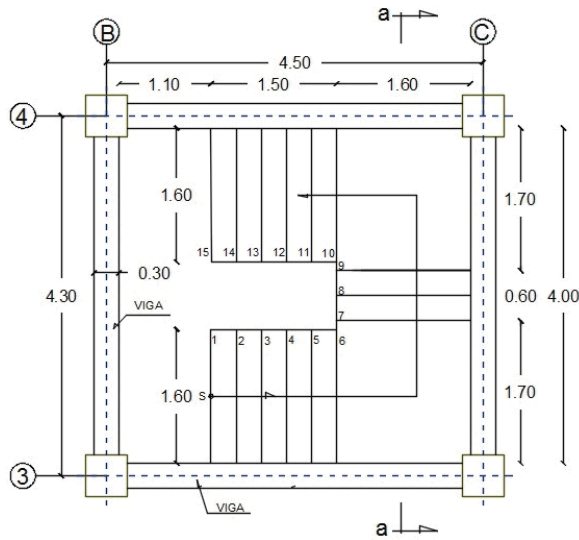


Gráfico 27. Detalle de grada en planta
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

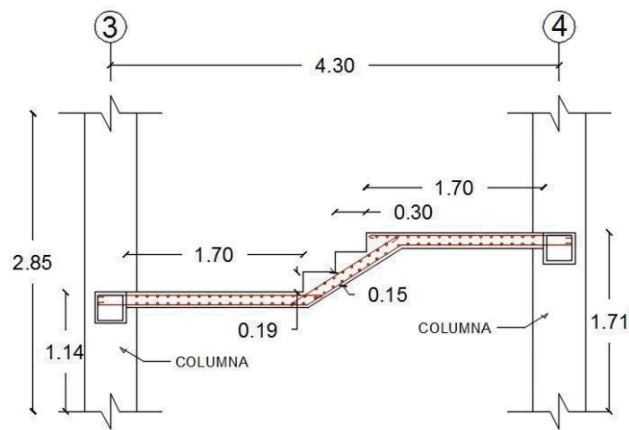


Gráfico 28. Detalle de grada en Corte a-a
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Para la modelación de la grada se idealizará una losa maciza que sea equivalente a la sección de la grada, por tanto, debemos hallar el área que forma la huella y contrahuella:

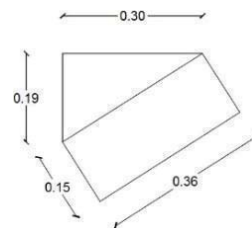


Gráfico 29. Detalle de escalón
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

$$\text{Area de escalón} = \frac{b * h}{2} \quad \text{Ec. 32}$$

$$\text{Area de escalón} = \frac{0.19 * 0.30}{2}$$

$$\text{Area de escalón} = 0.0285\text{m}^2$$

$$\text{Area de losa} = b * h \quad \text{Ec. 33}$$

$$\text{Area de losa} = 0.36 * 0.15$$

$$\text{Area de losa} = 0.054\text{m}^2$$

Sí se conoce la base de la losa, que es 0.36m, y el área del escalón 0.0285m², podemos encontrar un área equivalente rectangular, determinando la altura de la siguiente manera:

$$\text{Area equivalente de escalón} = 0.0285\text{m}^2$$

$$\text{Area equivalente del escalón} = b * h \quad \text{Ec. 34}$$

$$h = \frac{\text{Area equivalente de escalón}}{b} \quad \text{Ec. 35}$$

$$h = \frac{0.0285\text{m}^2}{0.36\text{m}}$$

$$h = 0.08\text{m}$$

Ahora el rectángulo equivalente, de base igual a 0.36m, tiene una altura de 0.08m, la misma que sumaremos a la altura de la losa que es de 0.15m, para obtener una sección de grada equivalente en forma rectangular, tal como se muestra a continuación:

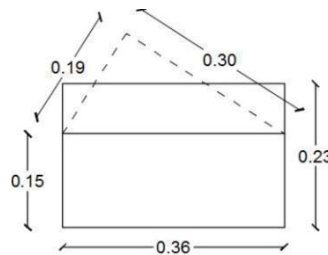


Gráfico 30. Detalle de escalón equivalente
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

A continuación, definimos el elemento losa de grada con la dimensión determinada:

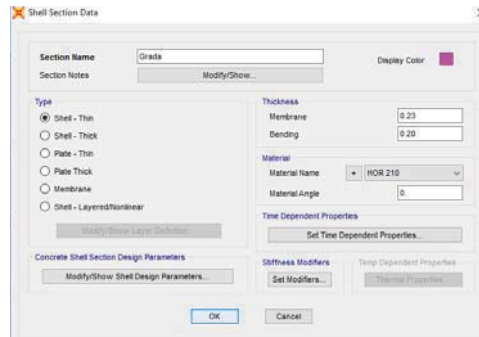


Gráfico 31 Detalle de escalón equivalente
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Para dibujar la grada dentro del modelo, debemos crear ejes auxiliares, con el fin de ubicar con precisión dicha grada, es por ello que se debe tomar en cuenta el detalle en planta y corte.

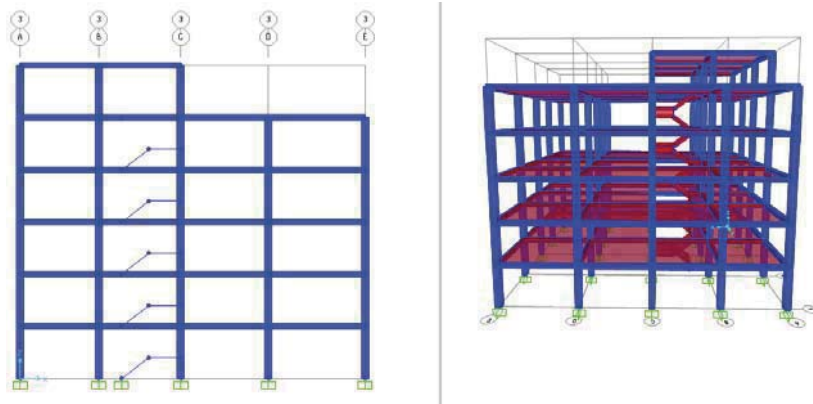


Gráfico 32 Asignación de grada
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

6.7.6.8. IDEALIZACIÓN DE LAS CARGAS

Los tipos de cargas que se definan deben ser identificadas, tal como se lo hizo en el prediseño de cargas, pero la carga muerta de la estructura (DEAD) el programa ya lo considera, dándole un factor de ampliación de 1, mientras que el resto de cargas deben ser generadas: La carga muerta permanente (CM) que son todas las cargas no estructurales, la carga Viva (CV) se asigna de manera uniformemente distribuida sobre la losa, Estas dos cargas el valor de ampliación será 0, caso

contrario estaríamos duplicando el peso propio de la estructura, y además se debe definir las cargas sísmicas en los dos sentidos X, Y (SX, SY).

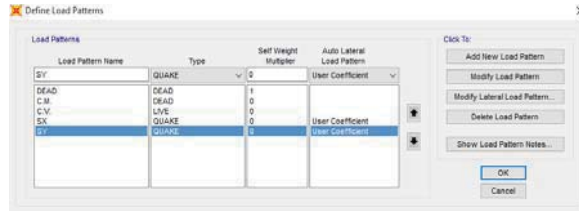


Gráfico 33 Definición de cargas
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

El coeficiente para las cargas sísmicas es el cortante basal calculado previamente, en donde el valor es $V=0.1837$, y el valor de $k=1.104$, también calculado con anterioridad, estos valores deben asignarse a cada caso sísmico, teniendo en cuenta la dirección de los mismos, para ello seguimos el proceso siguiente:

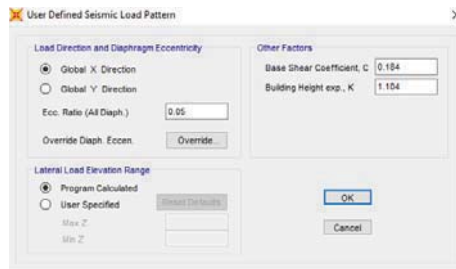


Gráfico 34 Asignación de coeficientes sísmico X
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

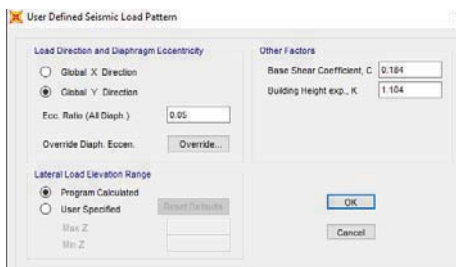


Gráfico 35 Asignación de coeficientes sísmico Y
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Dentro de la idealización de cargas ingresaremos el espectro de diseño, el cual ya definimos, por lo que es necesario guardar en un archivo de formato .txt, para poder cargar mediante la opción desde archivo, en el programa de modelación, para ello seguimos se procede de la manera siguiente:

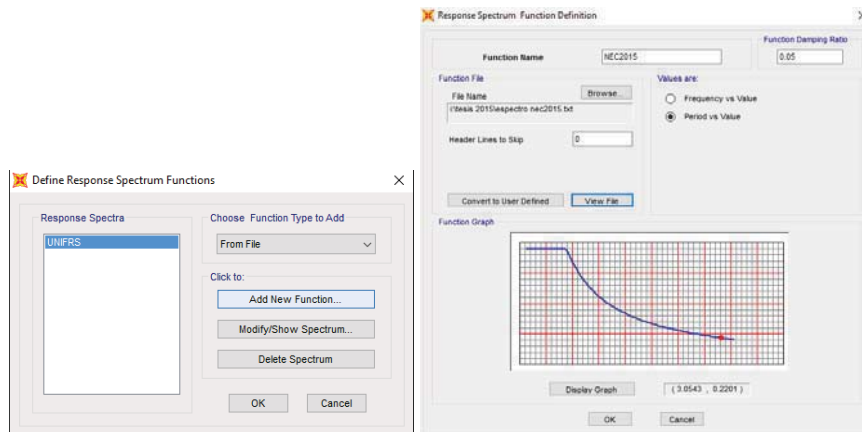


Gráfico 36 Asignación de espectro de respuesta
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Es necesario establecer los casos de carga sísmico dinámico, para lo cual procedemos de la manera siguiente:

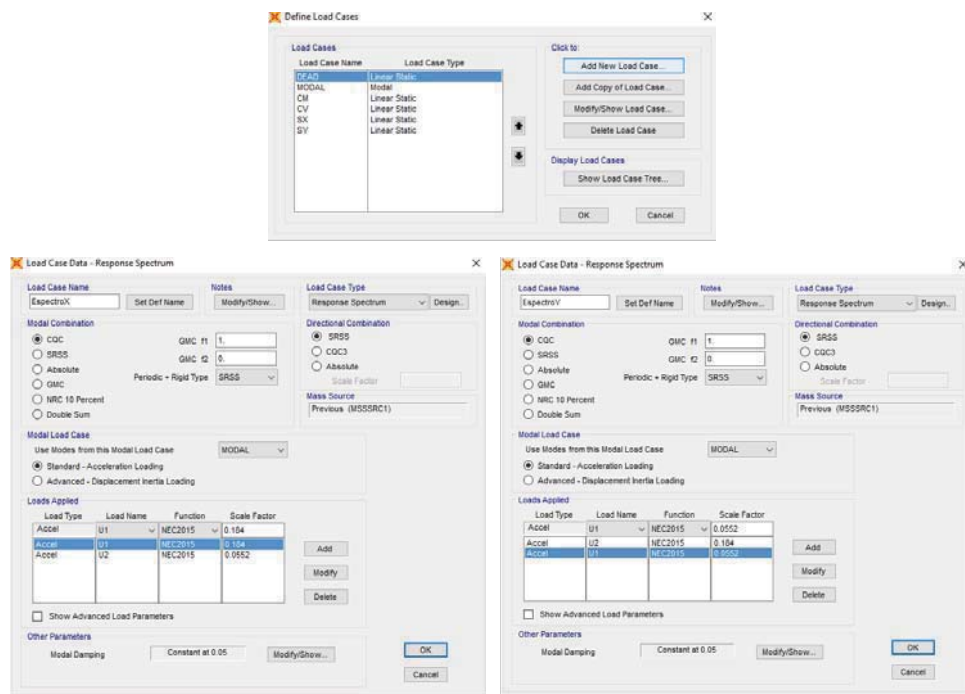


Gráfico 37 Generación de cargas dinámicas
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Se comprobará que en el programa esté especificado el número mínimo de modos de vibración, sino es así debe modificarse a la cantidad requerida, además dentro del programa tenemos dos métodos para los modos de vibración, el primero son usando los vectores de Eigen, en donde estos vectores determinan las formas modales para la libre vibración no amortiguada y frecuencias del sistema, pero

investigaciones anteriores indican que los valores obtenidos no son muy confiables para un análisis modal dinámico en una estructura. El segundo método para los modos de vibración son los vectores de Ritz, los resultados producidos por este método son más confiables ya que toma en cuenta la distribución espacial de cargas dinámicas, por esta razón usaremos este método de análisis modal.

Modos de vibración= $3gdl * \# \text{ de pisos}$

Ec. 36

Modos de vibración= 18

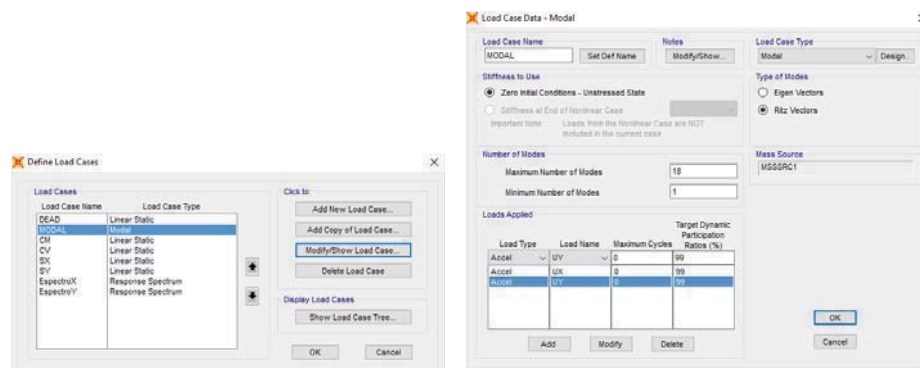


Gráfico 38 Parámetros para Modo de Vibración
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

6.7.6.9. ESTABILIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA

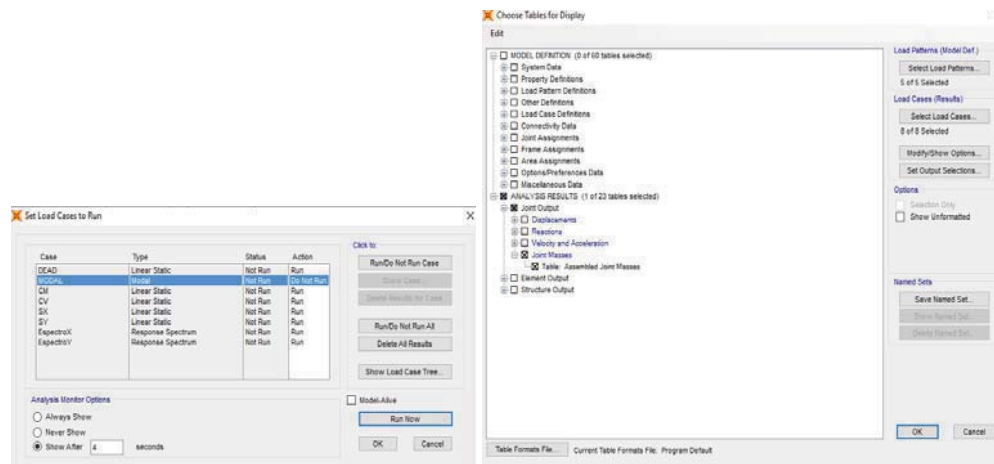


Gráfico 39 Modelo Corrido y generación de tabla de resultados
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Una vez generadas las cargas dentro del modelo, verificaremos la estabilidad de la estructura, para ello se debe correr el modelo, primero sin el análisis modal, y

luego considerando el mismo, y se genera la tabla de resultados, para cada caso, observando que cumplan con los valores mínimos.

Joint Text	Mass Source	U1 Kgf-s2/m	U2 Kgf-s2/m	U3 Kgf-s2/m	R1 Kgf-m-s2	R2 Kgf-m-s2	R3 Kgf-m-s2
1	MSSSRC1	87.29	87.29	87.29	0	0	0
2	MSSSRC1	447.11	447.11	447.11	0	0	0
3	MSSSRC1	447.11	447.11	447.11	0	0	0
4	MSSSRC1	447.11	447.11	447.11	0	0	0
5	MSSSRC1	447.11	447.11	447.11	0	0	0
6	MSSSRC1	447.11	447.11	447.11	0	0	0
7	MSSSRC1	359.83	359.83	359.83	0	0	0
8	MSSSRC1	87.29	87.29	87.29	0	0	0
9	MSSSRC1	678.1	678.1	678.1	0	0	0
10	MSSSRC1	678.1	678.1	678.1	0	0	0
11	MSSSRC1	678.1	678.1	678.1	0	0	0
12	MSSSRC1	678.1	678.1	678.1	0	0	0
13	MSSSRC1	678.1	678.1	678.1	0	0	0
14	MSSSRC1	590.02	590.02	590.02	0	0	0
15	MSSSRC1	87.29	87.29	87.29	0	0	0

Gráfico 40 Masas de la estructura
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

La tabla que se muestra en el gráfico 40, indica que la estructura es estable, ya que no existe diferencia entre los valores en cada sentido.

6.7.6.10. ASIGNACIÓN DE CARGAS

Una vez verificada la participación de las masas, se asignará las cargas verticales correspondientes a cada una de las losas, la cuales son las siguientes:

Carga muerta (CM) = Peso Permanente= 332.00 Kg/m²

Carga Viva entre piso= 200 Kg/m² Según NEC_SE_CG 2015

Carga viva terraza= 140 Kg/m² Según NEC_SE_CG 2015

Carga viva tapagrada= 70 Kg/m² Según NEC_SE_CG 2015

Carga viva para grada= 480 Kg/m² Según NEC_SE_CG 2015

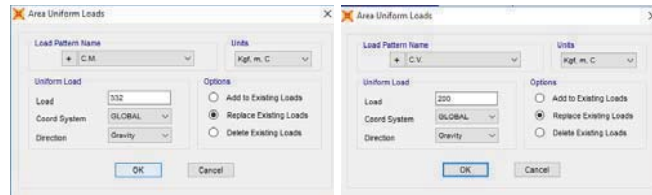


Gráfico 41 Asignación de cargas a losas de entpiso
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

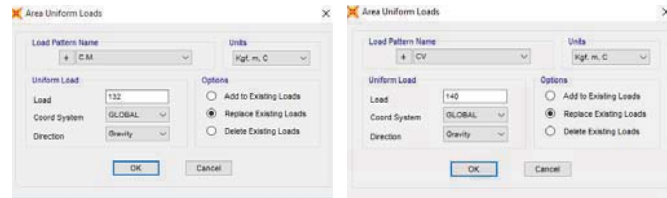


Gráfico 42 Asignación de cargas a losa de terraza
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

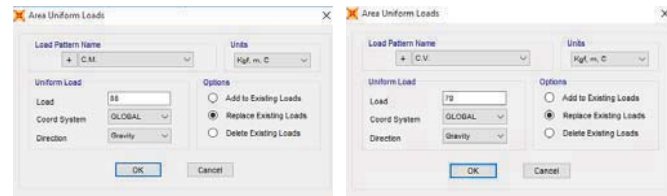


Gráfico 43 Asignación de cargas a losa de tapagrada
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

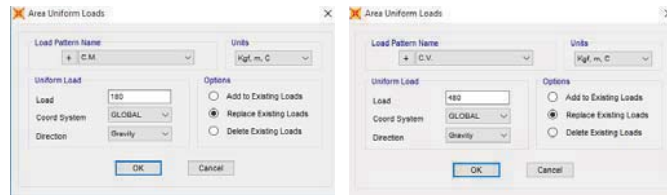


Gráfico 44 Asignación de cargas a grada
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

6.7.6.11. CENTRO DE MASAS

El centro de masas (C.M.) se define como el lugar geométrico sobre el cual las masas se concentran, para hallar dicho punto se lo puede realizar mediante la aplicación del programa Autocad, en donde debe graficarse la planta del edificio, en el origen del sistema de coordenadas del propio programa, previamente debe haberse establecido las unidades de trabajo, que para este caso son metros.

A continuación, se debe establecer el perímetro de la planta, mediante la opción “POLILINEA”, para posteriormente transformar dicho perímetro en una región, con el comando que lleva el mismo nombre, para que por último con el comando “PROPFIS” obtener el punto de coordenadas del centro de gravedad o centro de masas.

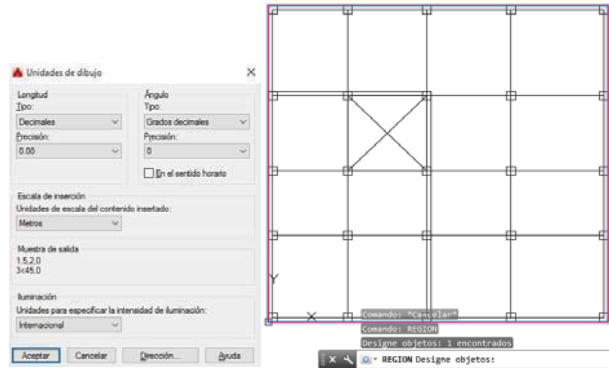


Gráfico 45 Definición de unidades y Región
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

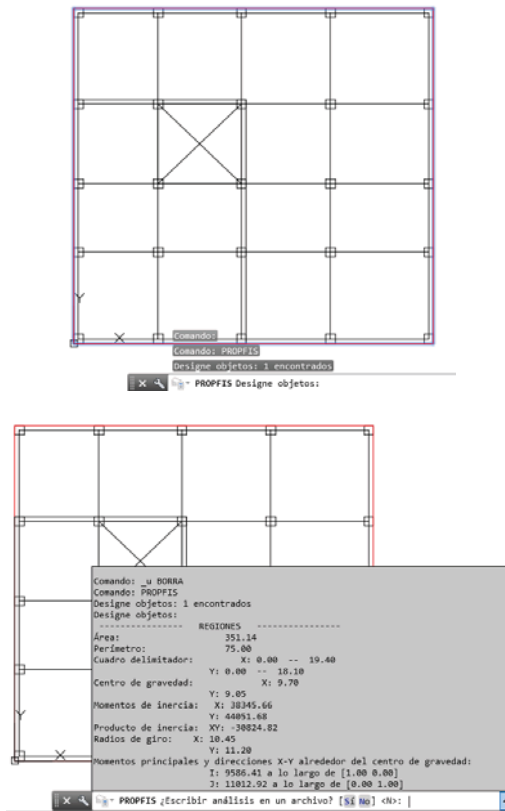


Gráfico 46 Determinación de Centro de masa
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Para este caso las coordenadas del centro de gravedad, es donde se encuentra el centro de masa, por lo que C.M.= (9.70 ; 9.05)m

6.7.6.12. CENTRO DE RIGIDECES

El centro de rigidez se lo define como el punto sobre el cual se mueve el edificio, desplazándose como un todo, es decir el punto que se moverá en sentido traslacional sin presentar torsión, la distancia que existen entre el centro de masas y el centro de rigidez se lo denomina como excentricidad estática.

Al contar con una herramienta computacional para la modelación, podemos definir diafragmas a los nudos y el programa nos calculará los centros de rigideces de cada piso, por lo tanto, realizamos el siguiente proceso:

Primero ubicaremos el punto de centro de masas en cada piso, a continuación, creamos los diafragmas, uno por cada nivel, y por último marcamos todos los nudos por cada piso, y se asigna el diafragma exclusivo para el piso, un indicador de que el proceso está bien realizado, es que los nudos cambiarán de color.

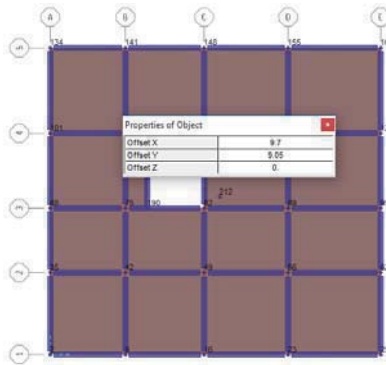


Gráfico 47 Asignación de centro de masas
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

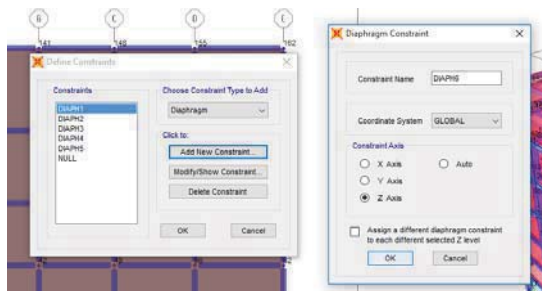


Gráfico 48 Generación de Diafragmas
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

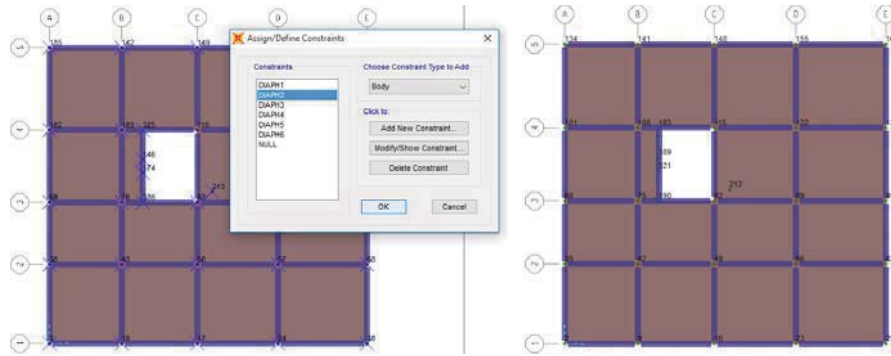


Gráfico 49 Asignación de Diafragmas
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

6.7.6.13. DISCRETIZACIÓN DE LOSA

Las losas creadas son de tipo Shell, el programa en uso trabaja con elementos finitos para la modelación de losas, en donde tenemos que los tableros forman un solo elemento, por lo que el modelo matemático se torne más complejo, ya que hay no hay un número determinado de nudos, por tal razón es necesario discretizar la losa con el fin de establecer un número finito de nudos, para de esta manera conocer un comportamiento más real del modelo estructural, ya que de esta manera, dentro de las ecuaciones, las incógnitas pasan a ser funciones de los nodos.

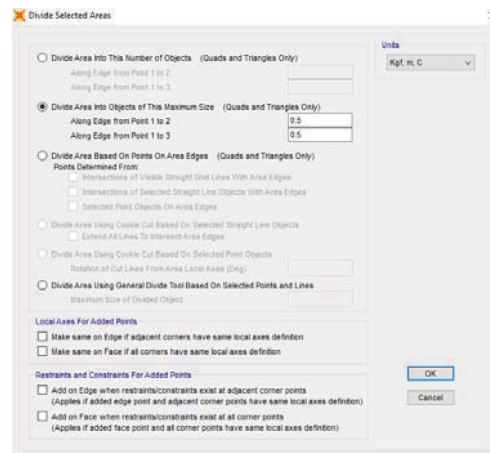


Gráfico 50 Discretización de losa
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

6.7.7. ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

El Ecuador es un país sísmico, por tal razón se estableció una norma de uso obligatorio para el análisis sísmico de la estructura, la normativa actual vigente

desde el 10 de enero del 2015 es la “Normativa Ecuatoriana de la Construcción 2015” (NEC2015) en donde tenemos el apartado “Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente”, en este apartado se establece los parámetros mínimos de análisis para estructuras.

La importancia de realizar un análisis sísmico radica en el diseño preventivo de una estructura ante un evento sísmico, el NEC establece tres tipos de análisis sísmicos los cuales son:

- Análisis Sísmico Estático (1)
- Análisis Sísmico Dinámico
 - Análisis dinámico espectral (2)
 - Análisis dinámico paso a paso en la línea de tiempo (3)

El análisis estático, como requisito mínimo de análisis estructural, consiste en aplicar el cortante basal en el edificio, mientras que los dos modelos dinámicos es aplicable para todo tipo de estructura, pero el análisis espectral es de manera obligatoria para estructuras irregulares, entre tanto que el Análisis paso a paso en el tiempo, el cual usa acelerogramas del sitio en estudio, analiza la respuesta dinámica estructural, y la solución de este método es el más completo, dentro del análisis dinámico, debido a que las ecuaciones son resueltas según los tiempos.

Para este caso de estudio se aplicarán el análisis estático, por ser de manera obligatoria, y el análisis dinámico espectral, por lo que para los dos análisis es necesario definir las masas de la estructura, ya que el programa solo toma las masas de los elementos modelados, pero la carga muerta, que son las cargas de paredes y acabados, también forman parte de dichas masas, por tal razón el NEC_SE_DS del 2015, en la sección 6.1.7, establece que debe tomarse el 100% de la carga muerta total, por lo tanto tenemos lo siguiente:

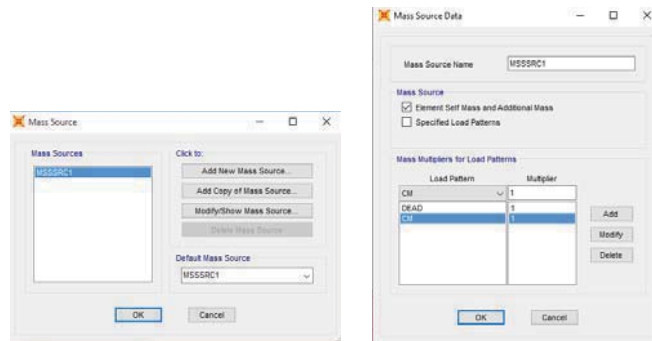


Gráfico 51 Asignación de masas
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

6.7.7.1. ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA ESTRUCTURA

El NEC2015 establece como requisito mínimo que se aplique el análisis Estático en toda estructura.

Con todos los datos ya ingresados, y estabilizado el edificio haremos el análisis estático, para ello debe correrse el modelo, pero deben desactivarse las cargas dinámicas, es decir MODAL, para que los Espectros también se desactiven.

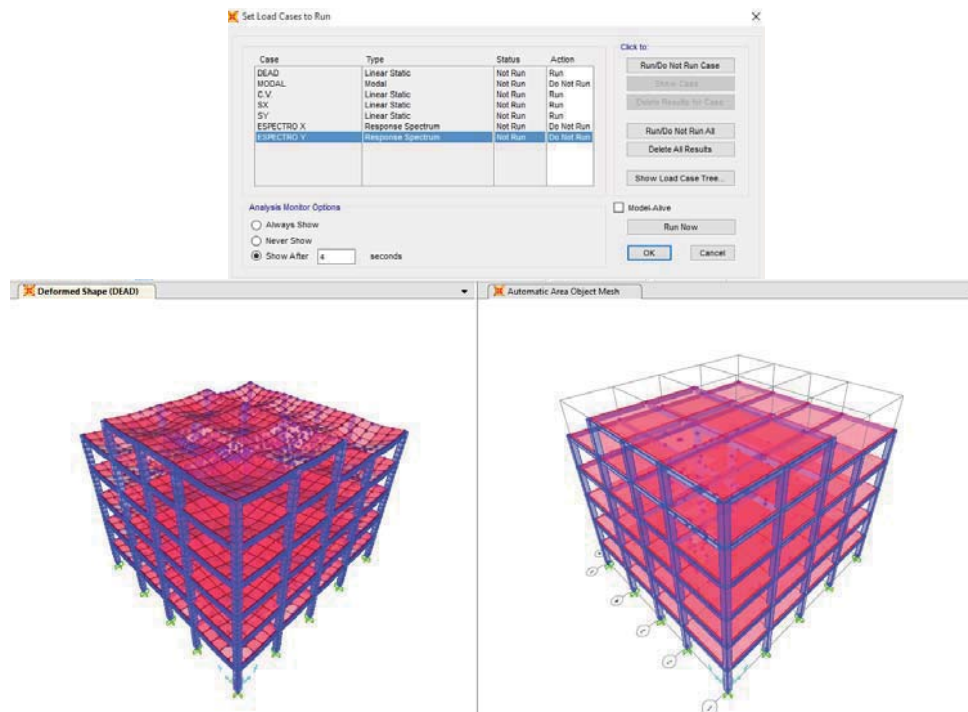


Gráfico 52 Análisis estático
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Analizaremos primeramente las deformaciones antes de observar el comportamiento de la resistencia de los elementos, dentro de las deformaciones debe chequearse las derivas Inelásticas de pisos, que según el NEC2015 no debe ser mayor a 2%.

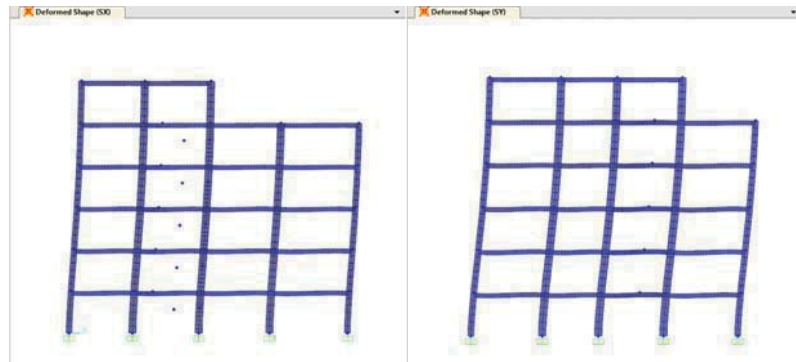


Gráfico 53 Desplazamientos sísmicos.
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

En caso de que la deformación en cada sentido sea mayor al permitido, una de las soluciones es aumentar las secciones de columnas y vigas.

A continuación, se detalla las derivas de piso para los casos sísmicos estáticos.

TABLE: Joint Displacements									
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	Relacion	Deriva	PISO	COL
Text	Text	Text	m	m	m		Inelásticas		
1	SX	LinStatic	0	0	0	0.000000	0.00%	0	A1
2	SX	LinStatic	0.004757	-6.8E-05	0.000086	0.001669	1.00%	1	
3	SX	LinStatic	0.013653	-0.00034	0.000156	0.003121	1.87%	2	
4	SX	LinStatic	0.022955	-0.00076	0.000205	0.003264	1.96%	3	
5	SX	LinStatic	0.031231	-0.0013	0.000242	0.002904	1.74%	4	
6	SX	LinStatic	0.037292	-0.0018	0.000261	0.002127	1.28%	5	
7	SX	LinStatic	0.041582	-0.002	0.000269	0.001505	0.90%	6	

Tabla 28 Derivas Estática para el sismo en X
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

TABLE: Joint Displacements									
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	Relacion	Deriva	PISO	COL
Text	Text	Text	m	m	m		Inelásticas		
1	SY	LinStatic	0	0	0	0	0.00%	0	A1
2	SY	LinStatic	-6.9E-05	0.00479	6.7E-05	0.00168	1.01%	1	
3	SY	LinStatic	-0.0002	0.01337	0.00012	0.00301	1.81%	2	
4	SY	LinStatic	-0.00039	0.02208	0.00016	0.00305	1.83%	3	
5	SY	LinStatic	-0.00072	0.02958	0.00019	0.00263	1.58%	4	
6	SY	LinStatic	-0.00116	0.03515	0.0002	0.00196	1.17%	5	
7	SY	LinStatic	-0.00133	0.03904	0.00021	0.00136	0.82%	6	

Tabla 29 Derivas Estática para el sismo en Y.
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Las reacciones de la base para los casos de carga que son, combinación de cimentación, con el fin de conocer los asentamientos:

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
1	COMB CIM	Combination	565.38	735.57	43628.48	-505.84	-10.37	16.73
8	COMB CIM	Combination	-172.74	1454.12	74758.51	-1213.12	-675.78	16.73
15	COMB CIM	Combination	-126.04	1543.39	72798.33	-1346.05	-633.67	16.73
22	COMB CIM	Combination	3.36	1695.81	70793.31	-1540.24	-517.03	16.73
28	COMB CIM	Combination	-1337.52	983.85	43835.14	-948.08	-1725.82	16.73
34	COMB CIM	Combination	1032.64	-425.13	66948.21	557.72	333.97	16.73
41	COMB CIM	Combination	-187.98	-647.48	117822.72	712.61	-766.42	16.73
48	COMB CIM	Combination	-148.82	-735.78	117761.87	781.13	-850.5	24.63
55	COMB CIM	Combination	122.82	-655.21	113568.43	614.02	-486.23	16.73
61	COMB CIM	Combination	-1973.69	-344.02	65721.57	276.43	-2153.98	11.88
67	COMB CIM	Combination	945.57	52.68	62118.9	91.87	485.95	11.88
74	COMB CIM	Combination	291.86	279.57	134675.23	-63.03	-342.35	20.49
81	COMB CIM	Combination	-6589.39	3783.86	107460.21	-2175.53	-4675.68	152.01
88	COMB CIM	Combination	127.81	318.36	105954.05	-280.35	-263.37	11.88
94	COMB CIM	Combination	-1943.65	196.22	63025.11	-218.61	-2161.49	11.88
100	COMB CIM	Combination	1070.29	101.41	65185.8	47.22	559.52	11.88
107	COMB CIM	Combination	-6.96	236.53	141082.35	-24.23	-679.08	20.49
114	COMB CIM	Combination	-3122.37	-3163.15	118864.96	2478.5	-3036.27	45.93
121	COMB CIM	Combination	139.67	356.3	120666.45	-315.11	-293.22	11.88
127	COMB CIM	Combination	-2169.31	226.11	71022.51	-245.99	-2408.98	11.88
133	COMB CIM	Combination	479.12	-1006.32	37700.58	1090.28	-376.09	16.73
139	COMB CIM	Combination	-314.44	-1744.37	65293.61	1717.71	-1091.48	16.73
145	COMB CIM	Combination	-257.98	-1793.37	67637.38	1711.48	-1040.58	16.73
151	COMB CIM	Combination	-107.34	-2000.14	73887.57	1824.74	-844.45	20.49
157	COMB CIM	Combination	-1469.96	-1104.66	45602.95	922.08	-2083.4	20.49
163	COMB CIM	Combination	3905.05	5297.51	3524.74	224.8	-314.47	-92
164	COMB CIM	Combination	11244.62	-3641.66	10759.88	-205.74	-661.01	1.92

Tabla 30 Reacciones en la Base.

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

6.7.7.2. ANÁLISIS DINÁMICO DE LA ESTRUCTURA SIN INTERACCIÓN SÍSMICA SUELO-ESTRUCTURA

6.7.7.2.1. ANÁLISIS MODAL DE LA ESTRUCTURA.

El análisis modal debe aplicarse en la estructura antes de establecer un modelo matemático del comportamiento dinámico, y consiste en determinar las

características dinámicas inherentes de la estructura, para ello anteriormente se estableció los parámetros de trabajo para los modos de vibración, ahora debe correrse el modelo para el análisis dinámico espectral.

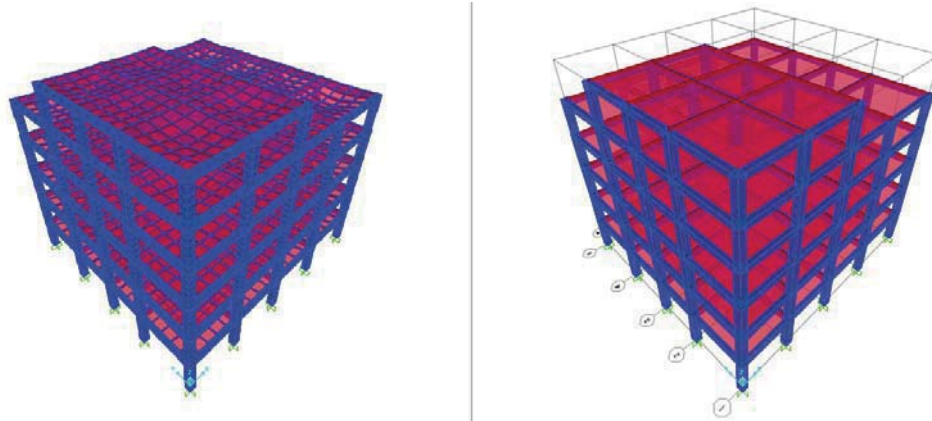


Gráfico 54 Análisis Dinámico
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Antes de realizar el análisis dinámico es necesario establecer que, para definir el análisis modal, debe establecerse que el mismo debe involucrar por lo menos el 90% de las masas totales, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas, según el NEC_SE_DS_2015 en la sección 6.2.2.

Para ello generamos la tabla “Modal Participating Mass Ratio”, lo cual nos proporciona la participación de las masas por cada modo de vibración, debe analizarse los parámetros de UX, UY y RZ, de los cuales determinaremos la suma acumulada, con el fin de conocer la participación de masas total, por lo que tenemos la siguiente tabla:

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	RZ	Σ UX	Σ UY	Σ RZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.75885	79.00%	0.25%	0.67%	79.00%	0.25%	0.67%
MODAL	Mode	2	0.75403	0.27%	80.60%	0.03%	79.27%	80.85%	0.70%
MODAL	Mode	3	0.70623	0.71%	0.06%	79.40%	79.97%	80.91%	80.10%
MODAL	Mode	4	0.24406	10.20%	0.02%	0.60%	90.17%	80.93%	80.70%
MODAL	Mode	5	0.2421	0.00%	10.00%	0.48%	90.17%	90.93%	81.18%
MODAL	Mode	6	0.21957	0.60%	0.54%	9.80%	90.78%	91.48%	90.98%
MODAL	Mode	7	0.14362	0.00%	0.00%	0.00%	90.78%	91.48%	90.98%
MODAL	Mode	8	0.14308	0.00%	0.00%	0.00%	90.78%	91.48%	90.98%
MODAL	Mode	9	0.14222	0.04%	0.07%	0.00%	90.82%	91.55%	90.98%
MODAL	Mode	10	0.14138	0.10%	0.11%	0.00%	90.93%	91.66%	90.98%
MODAL	Mode	11	0.14089	1.50%	1.90%	0.02%	92.43%	93.56%	91.00%
MODAL	Mode	12	0.13772	2.00%	1.40%	0.70%	94.43%	94.96%	91.70%
MODAL	Mode	13	0.13629	0.01%	0.00%	0.00%	94.43%	94.97%	91.70%
MODAL	Mode	14	0.13406	0.00%	0.00%	0.00%	94.43%	94.97%	91.70%
MODAL	Mode	15	0.13329	0.00%	0.00%	0.01%	94.44%	94.97%	91.70%
MODAL	Mode	16	0.13252	0.00%	0.00%	0.00%	94.44%	94.97%	91.71%
MODAL	Mode	17	0.1322	0.00%	0.00%	0.00%	94.44%	94.98%	91.71%
MODAL	Mode	18	0.12896	0.00%	0.00%	0.00%	94.44%	94.98%	91.71%

Tabla 31 Participación de las masas de la estructura.

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Tenemos que, para los 3 parámetros analizados, la participación total de las masas supera el 90% del mínimo requerido por el NEC_SE_DS_2015, por lo tanto, podemos iniciar el proceso de análisis dinámico.

Y el primer análisis que debe realizarse es comprobar los modos de vibración, los cuales deben considerarse los tres grados de libertad del piso, en donde los dos primeros modos de vibración deben ser movimientos de traslación con un 10% de rotación máxima, según la teoría Sismo resistente, el tercer modo debe ser de rotación.

Los dos primeros modos de vibración son las formas más flexibles de la estructura, es decir que en un evento sísmico los modos más probables de ocurrencia son los dos primeros modos, por lo que estos dos primeros modos no deben tener rotaciones mayores al límite establecido, deberán ser siempre traslacionales.

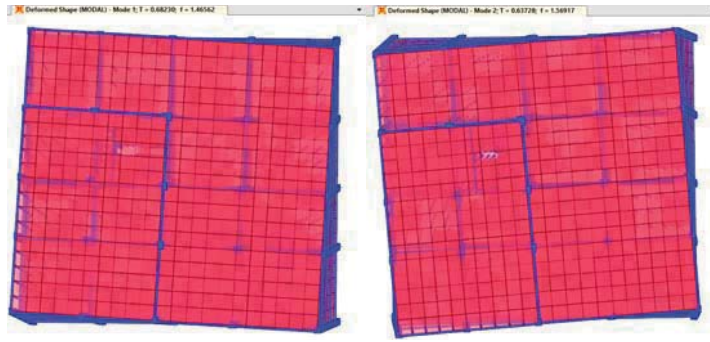


Gráfico 55 Análisis Dinámico (Modo 1 y Modo 2)

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

La gráfica indica que para el análisis modal presenta rotación en el eje Z para los dos primeros modos de vibración, en tal virtud se presenta la siguiente tabla en donde se muestran todos los modos de vibración por piso, con el fin de conocer el comportamiento de la estructura.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios													
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	R	RX	RY	RZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Total	%	%	%
MODAL	Mode	1	0.67659	0.535	0.001522	0.00001671	0.002081	0.059	0.279	0.340081	0.61%	17.35%	82.04%
MODAL	Mode	2	0.63053	0.229	0.183	0.00002371	0.033	0.017	0.405	0.455	7.25%	3.74%	89.01%
MODAL	Mode	3	0.62273	0.05	0.631	0.00002553	0.056	0.003048	0.138	0.197048	28.42%	1.55%	70.03%
MODAL	Mode	4	0.21918	0.073	0.0005876	0.00001765	0.001805	0.16	0.028	0.189805	0.95%	84.30%	14.75%
MODAL	Mode	5	0.20702	0.014	0.063	0.000009572	0.158	0.032	0.024	0.214	73.83%	14.95%	11.21%
MODAL	Mode	6	0.1979	0.015	0.039	0.00002112	0.093	0.031	0.051	0.175	53.14%	17.71%	29.14%
MODAL	Mode	7	0.12827	0.032	0.0006161	3.549E-07	0.0006417	0.021	0.005527	0.0271707	2.37%	77.29%	20.34%
MODAL	Mode	8	0.12229	0.0002025	0.027	0.0000107	0.02	0.000154	0.011	0.031154	64.20%	0.49%	35.31%
MODAL	Mode	9	0.11418	0.006032	0.00815	0.000003941	0.005334	0.004025	0.019	0.028359	18.81%	14.19%	67.00%
MODAL	Mode	10	0.09269	0.001099	0.006496	0.0005992	0.01	0.00115	0.009187	0.020337	49.17%	5.65%	45.17%
MODAL	Mode	11	0.08879	0.021	1.781E-06	0.000007222	0.0001992	0.031	0.0001275	0.0313267	0.64%	98.96%	0.41%
MODAL	Mode	12	0.08394	2.869E-05	0.015	0.0002039	0.028	0.000135	0.005432	0.0335672	83.41%	0.40%	16.18%
MODAL	Mode	13	0.06768	0.006425	0.005419	0.00002518	0.001975	0.003606	0.0007166	0.0062976	31.36%	57.26%	11.38%
MODAL	Mode	14	0.06523	0.007195	0.006612	0.000006103	0.006153	0.006039	0.0005295	0.0127215	48.37%	47.47%	4.16%
MODAL	Mode	15	0.05447	0.0034	0.005537	0.000008669	0.013	0.006626	0.0001538	0.0197798	65.72%	33.50%	0.78%
MODAL	Mode	16	0.05148	0.002871	0.002803	0.0002385	0.00531	0.005704	0.0004865	0.0114005	46.17%	49.60%	4.23%
MODAL	Mode	17	0.02248	0.002305	0.0001345	0.0002496	0.000526	0.000163	4.806E-08	0.0006885	76.39%	23.60%	0.01%
MODAL	Mode	18	0.01808	0.0006113	0.00285	0.0002168	0.00124	0.000233	7.449E-05	0.0015476	80.12%	15.06%	4.81%

Tabla 32 Modos de vibración Fallas.
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Observamos que 12 modos de vibración sobrepasan el porcentaje máximo recomendado, teniendo en cuenta que los modos 3, 6, 9, 12, 15 y 18 son modos netamente rotacionales mientras que el resto deben ser traslacionales, y dentro de las soluciones posibles para los controlar los modos de vibración podemos numerar las siguientes:

- Colocar muros de corte al contrario del eje de rotación, con el fin de equilibrar el sistema.
- Variar las dimensiones de columnas, si son cuadradas cambiar por rectangulares o cambiar de sentido si ya son rectangulares.

- Aumentar el peralte de las vigas de borde.
- Aumentar el peralte de las vigas internas.
- Aumentar el Ancho de la losa

Es posible que sea necesario la combinación entre las soluciones posible.

La opción de variar las dimensiones de columnas ayudó a que las rotaciones en el eje Z sean menores al 10%, porcentaje máximo recomendado, dentro de los modos que son traslacionales; para los que se muestran con giros, estos modos son rotacionales, por lo que no es necesario controlarlos.

Dentro del criterio debe recordarse que los dos primeros modos deben ser controlados, por lo que en la tabla siguiente detallan dichos modos:

TABLE: Modal Participating Mass Ratios												
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	RX	RY	RZ	R	RX	RY	RZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Total	%	%	%
MODAL	Mode	1	0.685686	0.772	0.035	0.003675	0.071	0.003383	0.078058	4.71%	90.96%	4.33%
MODAL	Mode	2	0.684092	0.035	0.781	0.077	0.003339	0.0008422	0.0811812	94.85%	4.11%	1.04%
MODAL	Mode	3	0.632868	0.002916	0.001853	0.001445	0.000107	0.807	0.808552	0.18%	0.01%	99.81%
MODAL	Mode	4	0.223092	0.1	0.00009311	0.0001432	0.205	0.004335	0.2094782	0.07%	97.86%	2.07%
MODAL	Mode	5	0.22197	1.108E-06	0.098	0.242	0.0000622	0.003928	0.2459902	98.38%	0.03%	1.60%
MODAL	Mode	6	0.200638	0.004481	0.004566	0.00807	0.008832	0.097	0.113902	7.09%	7.75%	85.16%
MODAL	Mode	7	0.13258	0.002169	0.002004	0.001697	0.00125	0.0001514	0.0030984	54.77%	40.34%	4.89%
MODAL	Mode	8	0.131392	0.016	0.015	0.015	0.015	0.0001626	0.0301626	49.73%	49.73%	0.54%
MODAL	Mode	9	0.128841	0.016	0.016	0.006622	0.008625	0.006776	0.022023	30.07%	39.16%	30.77%
MODAL	Mode	10	0.113891	0.002311	0.003906	0.021	0.003396	0.025	0.049396	42.51%	6.88%	50.61%
MODAL	Mode	11	0.109168	0.001617	0.0001328	0.005634	0.004945	0.00203	0.012609	44.68%	39.22%	16.10%
MODAL	Mode	12	0.095563	0.006103	0.014	0.016	0.008193	0.0000271	0.0242201	66.06%	33.83%	0.11%
MODAL	Mode	13	0.090987	0.016	0.003529	0.00552	0.018	0.0006788	0.0241988	22.81%	74.38%	2.81%
MODAL	Mode	14	0.073463	0.0006532	0.013	0.016	0.0001138	0.0003746	0.0164884	97.04%	0.69%	2.27%
MODAL	Mode	15	0.065702	0.017	0.00135	0.001297	0.016	0.00004741	0.01734441	7.48%	92.25%	0.27%
MODAL	Mode	16	0.058454	0.001476	0.006107	0.008011	0.003246	0.000472	0.011729	68.30%	27.67%	4.02%
MODAL	Mode	17	0.03702	0.003289	0.0001918	0.0001946	0.004582	0.0003305	0.0051071	3.81%	89.72%	6.47%
MODAL	Mode	18	0.020734	0.0006451	0.002464	0.003489	1.658E-06	0.002994	0.006484658	53.80%	0.03%	46.17%

Tabla 33 Modos de vibración controlados.

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Con los modos de vibración controlados el siguiente paso de análisis es verificar las derivas de piso del análisis dinámico en los dos sentidos, las tablas siguientes proporciona los valores obtenidos.

TABLE: Joint Displacements													
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3	Relacion	Deriva	PISO	COL
Text	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians		Inelástica		
1	ESPECTROX	LinRespSpec	Max	0	0	0	0	0	0	0	0.00%	0	
2	ESPECTROX	LinRespSpec	Max	0.00046	0.000144	0.000014	0.000064	0.000205	2.71E-06	0.000161404	0.10%	1	
3	ESPECTROX	LinRespSpec	Max	0.001163	0.000356	0.000025	0.000065	0.000215	6.68E-06	0.000246667	0.15%	2	
4	ESPECTROX	LinRespSpec	Max	0.00182	0.000551	0.000031	0.000055	0.000185	0.00001	0.000230526	0.14%	3	A1
5	ESPECTROX	LinRespSpec	Max	0.002349	0.000704	0.000034	0.000042	0.000146	0.000013	0.000185614	0.11%	4	
6	ESPECTROX	LinRespSpec	Max	0.002712	0.000807	0.000036	0.000028	0.000098	0.000016	0.000127368	0.08%	5	
7	ESPECTROX	LinRespSpec	Max	0.002952	0.000873	0.000037	0.000014	0.00005	0.00002	8.42105E-05	0.05%	6	

Tabla 34 Derivas de piso Dinámico en X.

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

TABLE: Joint Displacements													
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3	Relacion	Deriva	PISO	COL
Text	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians		Inelastico		
1	ESPECTROY	LinRespSpec	Max	0	0	0	0	0	0	0	0.00%	0	
2	ESPECTROY	LinRespSpec	Max	0.000139	0.000475	0.00001	0.000209	0.000062	2.4E-06	0.000166667	0.10%	1	
3	ESPECTROY	LinRespSpec	Max	0.000352	0.001172	0.000018	0.000212	0.000065	5.85E-06	0.000244561	0.15%	2	
4	ESPECTROY	LinRespSpec	Max	0.000551	0.001811	0.000023	0.00018	0.000056	8.58E-06	0.000224211	0.13%	3	A1
5	ESPECTROY	LinRespSpec	Max	0.00071	0.002312	0.000025	0.00013	0.000045	0.000011	0.000175789	0.11%	4	
6	ESPECTROY	LinRespSpec	Max	0.00082	0.002644	0.000027	0.000085	0.000031	0.000012	0.000116491	0.07%	5	
7	ESPECTROY	LinRespSpec	Max	0.000893	0.002853	0.000027	0.000042	0.000016	0.000015	7.33333E-05	0.04%	6	

Tabla 35 Derivas de piso Dinámico en Y.

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Para los dos sentidos, las derivas son menores a la máxima permitida por el NEC 2015, en tal virtud las secciones de los elementos estructurales, vigas y columnas, son resistentes a las solicitaciones sísmicas que se les apliquen. Las reacciones en la base para el combo de cimentación, para determinar los asentamientos, las reacciones para los espectros en los dos sentidos, son los siguientes:

TABLE: Joint Reactions

Joint Text	COMBO CEMENT						ESPECTROX						ESPECTROY						
	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-m	M2 Kgf-m	M3 Kgf-m	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-m	M2 Kgf-m	M3 Kgf-m	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-m	M2 Kgf-m	M3 Kgf-m	
1	217.07	304.42	13079.5	-168.61	-31.56	10.25	44083.4	2685.74	121153.72	5965.09	109421.2	630.63	2194.59	31092.94	78451.96	75825.29	4659.53	355.22	
8	-146.76	723.89	28856.1	-584.76	-362.17	10.25	55039.12	1403.84	13236.03	3185.57	119391.1	630.63	2483.67	33361.96	85387.99	78452.47	4934.64	355.22	
15	-116.53	781.82	30159.4	-669.03	-334.71	10.25	54085.31	735.15	16287.26	1331.6	118524.29	630.63	2183.41	33800.5	90010.31	79430.29	4648.84	355.22	
22	-35.43	870.21	32632.1	-783.43	-261	10.25	53170.7	1688.69	9751.97	3754.06	117691.53	630.63	1968.23	34056.69	82722.69	80295.93	4389.99	355.22	
28	-650.21	-240.98	464.64	17035.6	-445.93	-819.67	10.25	42368.34	2878.13	84088.27	6985.75	107860.78	630.63	1595.37	32256.65	71672.01	79349.24	3905.25	355.22
34	500.04	-240.98	24924.8	334.19	177.64	10.25	42597.65	3218.97	113744.01	6544.17	107642.78	630.63	812.67	39674.73	31340.13	83748.02	1852.43	355.22	
41	-145.47	-366.1	52527.9	420.08	-409.13	10.25	52506.04	1943.3	4938.83	3657.34	116661.26	630.63	1124.14	44532.93	54707.14	88764.29	2134.98	355.22	
48	-99.73	-373.29	54412.2	395.85	-367.55	10.25	51290.99	762.3	25556.05	1353.08	115556.69	630.63	865.59	44746.62	45256.37	89532.78	1877.86	355.22	
55	37.1	-367.81	59112.7	357.89	-243.17	10.25	50372.72	2154.94	9831.36	4191.48	114720.41	630.63	875.3	44715.43	34088.86	90132.21	1909.19	355.22	
61	-1146.8	-167.85	31149.4	137.15	-1319.3	10.25	40815.66	3646.48	73090.58	7731.94	106021.17	630.63	735.79	41249.4	26991.08	87648.87	1751.62	355.22	
67	425.66	-23.14	22501.5	132.91	260.34	6.67	24274.2	3115.55	109101.89	6488.38	51879.23	410.17	375.38	39744.11	14388.49	83453.39	635.4	231.04	
74	112.71	55.52	58052.7	52.02	-159.56	10.72	54421.92	3199.18	151639.66	5035.13	107188.4	659.52	15996.86	55520.74	327172.34	110330.38	14582.09	371.49	
81	-3383.8	1604.86	46574.3	-885.05	-2336.4	70.95	102094.68	63563.19	175951.88	37247.56	134116.32	862.59	42903.88	104449.68	100782.91	136845.85	26586.89	1540.86	
88	34.77	153.28	56501.6	-117.05	-230.95	10.72	44652.1	2499.09	16180.68	5035.88	98238.16	659.52	645.42	51461.78	20923.4	108110.65	1174.24	371.49	
94	-933.48	98.65	28118.7	-107.94	-1000.6	6.67	22590.61	3748.19	69917.32	7809.33	50315.27	410.17	324.71	41366.11	19117.58	87382.25	600.65	231.04	
100	512.37	5.44	27059	106.96	106.9	10.25	42985.16	2941.7	116265.12	6380.04	107565.43	630.63	1612.94	38918.11	21482.2	83049.57	3438.54	355.22	
107	-20.45	104.82	64573.4	6.86	-318.29	10.72	55013.77	2350.47	165821.86	4345.7	107573.41	659.52	14498.75	55029.2	408702.02	109882.29	14286.17	371.49	
114	-1506.5	-1571.5	54747.2	1231.82	-1450.5	11.46	88456.49	14571.7	179168.87	11641.94	131639.03	922.58	7497.07	33167.24	164484.36	92043.15	7249.91	1101.2	
121	48.32	213.12	66156.1	-171.86	-255.3	10.72	44619.87	2469.99	15767.46	5004.69	98052.21	659.52	1609.9	50036.22	19549.86	106803.37	3121.96	371.49	
127	-1075.4	113.78	33039.4	-121.8	-1151	6.67	22611.49	3733.35	66445.04	7780.82	50254.34	410.17	774.43	40126.12	12672.01	86245.28	1560.37	231.04	
133	180.09	-508.33	13414.1	605.21	-176.53	10.72	35260.03	2717.06	91768.93	7048.83	89398.15	659.52	2628.15	36448.31	70548.47	92182.45	5448.24	371.49	
140	-236.56	-916.65	29611	927.76	-624.08	10.25	48538.72	1341.2	3975.97	3143.14	112533.64	630.63	3344.47	33846.66	86843.1	78901.4	6695.71	355.22	
147	-204.33	-928.55	30818.5	907.88	-594.78	10.25	47764.45	830.67	12178.39	1416.13	111829.69	630.63	2941.32	33825.75	87969.64	79453.5	6319.65	355.22	
154	-114.03	-979.78	33778.5	922.21	-512.7	10.25	46862.49	1689.1	11012.4	3753.68	111008.97	630.63	2756.97	33833.09	78518.53	80089.24	6127.15	355.22	
161	-735.44	-521.38	17771.2	455.55	-1015.1	10.72	33970.6	3629.33	6552.69	8741.62	88215.31	659.52	1966.52	37707.69	68184.22	96390.99	4740.49	371.49	
168	5975.8	-1710.4	5349.24	-125.72	-193.86	54.86	69814.36	24791.37	66262.91	959.89	5964.52	50.11	86326.3	54238.95	58922.27	481.18	2712.96	91.91	
169	2506.88	3181.27	23689.2	88.23	-122.1	-18.67	52725.4	10848.73	35977.18	368.28	4044.07	403.28	138361.82	84469.17	103624.95	487.17	996.18	444.63	

Tabla 36 Reacciones en la base Dinámico.

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

6.7.7.3. MODELACIÓN DE INTERACCIÓN SÍSMICA ENTRE SUELO-ESTRUCTURA

Del modelo dinámico anterior, en el cual cumple con todos los chequeos, se toma en cuenta la misma estructura con las secciones de los elementos estructurales corregidas, por lo que lo primero que se debe realizar para la consideración de interacción sísmica suelo estructura son los casos de carga, a estos se debe establecer la no linealidad de las mismas con el fin de que el programa desconecte los resortes en tracción.

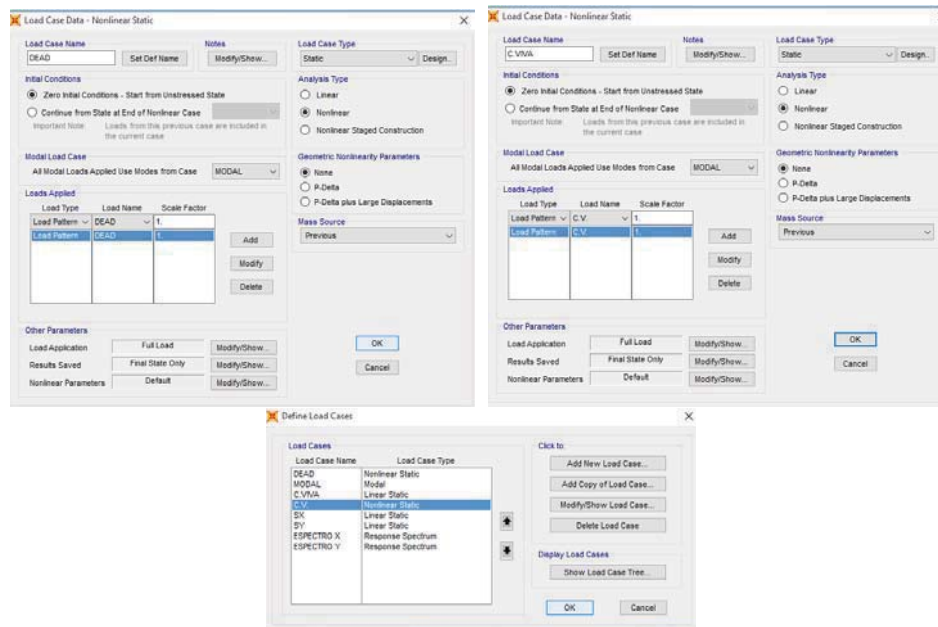


Gráfico 56 No linealidad de cargas.
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

La aplicación de la interacción suelo estructura dentro del análisis sísmico, para este caso en particular está limitado por zapatas aisladas, las cuales fueron prediseñadas en la sección 6.7.3.4. de este escrito, por lo que definiremos dentro de la modelación dichas secciones.

6.7.7.3.1. ASIGNACIÓN DE CIMENTACIÓN A LA MODELACIÓN

Las dimensiones de la cimentación prediseñada son:

Seccion de zapatas 1.85m x 1.85m

$H_{\min} = 0.70 \text{ m}$

Con las dimensiones de la zapata, debe colocarse dentro del modelo los puntos donde irán ubicadas todas las cimentaciones establecidas, ya que la misma será creada como un elemento área, por lo tanto, debe estar limitada.

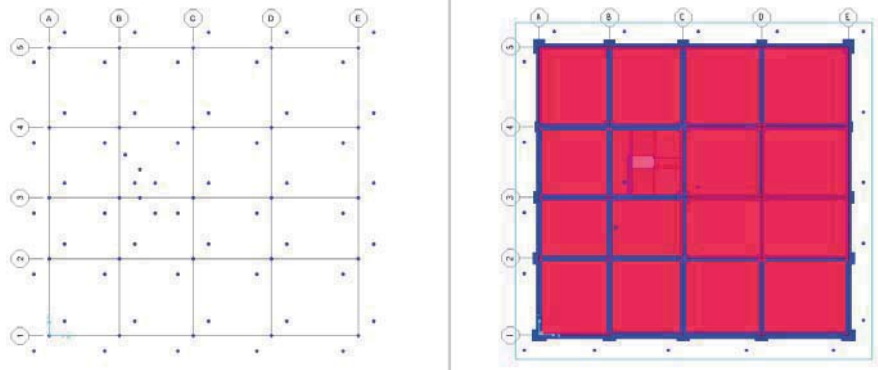


Gráfico 57 Puntos de limitación para zapata aislada.
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Debe crearse la cimentación como tipo área por lo que la zapata debe generarse como se lo hace para una losa.

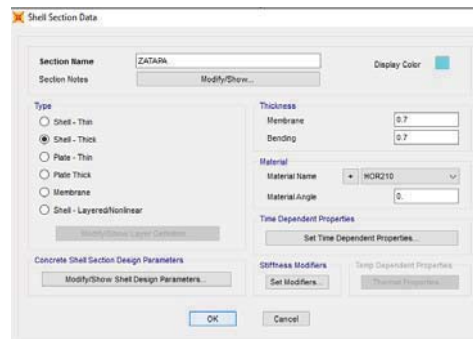


Gráfico 58 Generación de zapata aislada.
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Después de la asignación procedemos a ubicar las zapatas

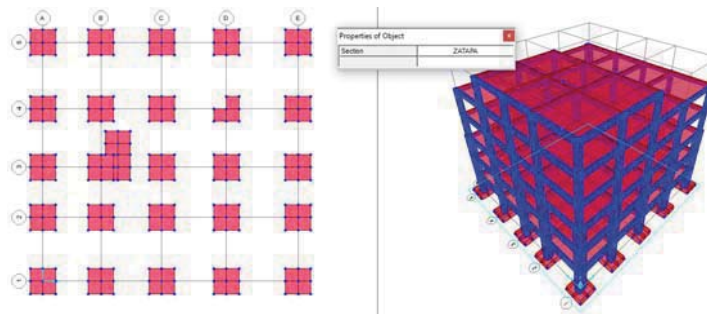


Gráfico 59 Asignación de zapata aislada.
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

6.7.7.3.2. ASIGNACIÓN DE COEFICIENTE DE BALASTO

El coeficiente de balasto es un valor de carga por cada centímetro cúbico, dentro del modelo es el parámetro que proporcionará las características del suelo, al cual se lo asimila como un medio continuo y elástico.

La zapata se modela como un área que resiste a la columna, es necesario calcular la carga que se le asignará a cada una de ellas, pero teniendo en cuenta que la misma está dividida en 4 secciones iguales, para ello realizamos el siguiente cálculo:

El área de la zapata es de 3.42 m², a esta área dividida en 4 partes iguales, son áreas de 8556.25 cm², mientras que el coeficiente de balasto proporcionado por el estudio de suelos es de 5.77 kg/cm³, de esta manera con una multiplicación del módulo de balasto por cada área nos proporcionará la carga que se le aplicará a cada zapata.

$$\text{Carga para zapata} = 5.77\text{Kg/cm}^3 * 8556.25\text{cm}^2$$

$$\text{Carga para zapata} = 49369.56 \text{ Kg/cm}$$

La aplicación de la carga para zapata en la modelación de la interacción suelo estructura genera la elasticidad del suelo de manera continua, por lo que a las áreas que modelan las zapatas colocaremos “springs”, que son equivalentes a resortes en la base de la zapata, pero antes de dicha asignación debe limitarse la cimentación.

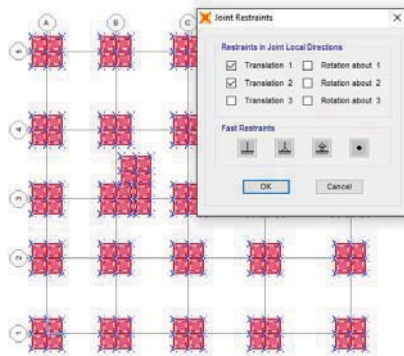


Gráfico 60 Restricción en zapatas
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

El gráfico anterior indica que se restringe los desplazamientos en los sentidos X e Y, esto ocasionará que se consideren los resortes únicamente en el sentido libre, para este caso en el eje Z, de tal manera que al aplicar el sismo solo habrá movimiento en el eje libre y rotaciones, establecidas las restricciones, se asignarán a las zapatas cada uno el resorte.

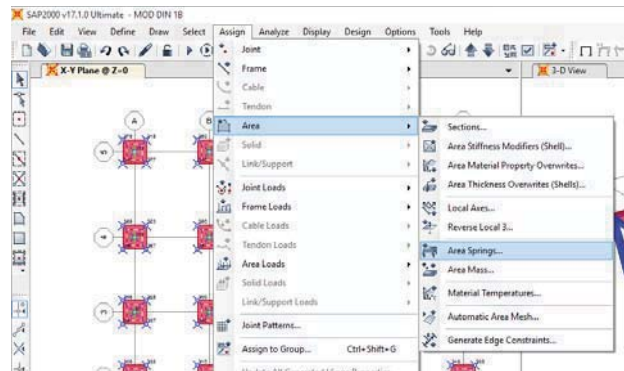


Gráfico 61 Asignación de “Spring”.
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

El coeficiente de balasto proporcionado por el estudio de suelos se estableció con anterioridad, el cual tiene el siguiente valor:

$$\text{Módulo de balasto: } k_s = 2.5 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$$

El valor anterior debe asignarse como el valor del resorte, pero únicamente en el eje z, que es el eje sin restricción.



Gráfico 62 Parámetros del “Spring”.
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

El resorte debe actuar solamente a compresión, en la base de la zapata y que esté paralelo al eje 3, para que de esta forma podamos obtener la interacción entre el suelo y la estructura.

A continuación, se creará un caso de carga para la cimentación, el cual consiste en una suma lineal de la carga muerta y la carga viva, con el fin de conocer los asentamientos producidos.

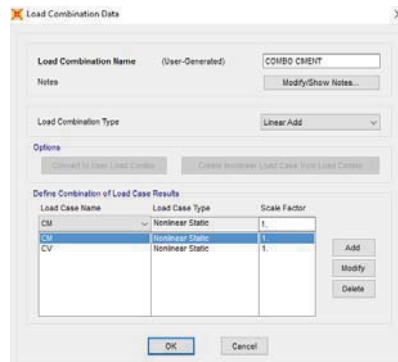


Gráfico 63 Combinación de cimentación.
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

6.7.7.3.3. OBTENCIÓN DE RESULTADOS

Al momento de correr la modelación es necesario espera de un tiempo extenso, ya que las condiciones de modelación para este estudio son fuera de lo convencional, el esquema que indica que se está tomando en cuenta la interacción suelo – estructura es:

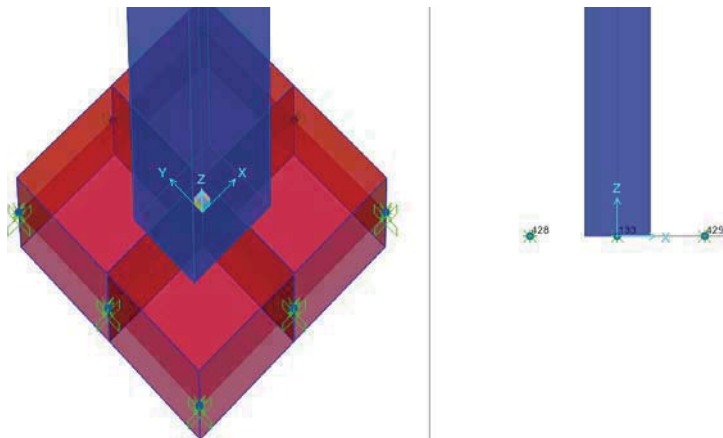


Gráfico 64 Esquema de interacción suelo-estructura.
Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Debe chequearse nuevamente la participación de las masas dentro del modelo actual, en donde debe cumplir con las demandas especificadas por el NEC_SE_DS.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	RZ	Σ UX	Σ UY	Σ RZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	2.46148	0.19%	60.90%	0.04%	0.19%	60.90%	0.04%
MODAL	Mode	2	2.30334	59.20%	0.23%	0.01%	59.39%	61.13%	0.05%
MODAL	Mode	3	1.36687	0.02%	0.00%	0.00%	59.41%	61.13%	0.05%
MODAL	Mode	4	0.59783	0.03%	0.17%	86.40%	59.43%	61.30%	86.45%
MODAL	Mode	5	0.36485	27.80%	0.00%	0.01%	87.23%	61.31%	86.46%
MODAL	Mode	6	0.3354	0.00%	26.30%	0.02%	87.23%	87.61%	86.48%
MODAL	Mode	7	0.26241	0.06%	2.60%	0.45%	87.30%	90.21%	86.93%
MODAL	Mode	8	0.2182	5.80%	0.00%	0.44%	93.10%	90.21%	87.37%
MODAL	Mode	9	0.20488	0.00%	0.15%	0.11%	93.10%	90.36%	87.48%
MODAL	Mode	10	0.19717	0.02%	2.00%	2.80%	93.12%	92.36%	90.28%
MODAL	Mode	11	0.19617	0.27%	2.70%	1.20%	93.39%	95.06%	91.48%
MODAL	Mode	12	0.18906	1.40%	0.17%	3.80%	94.79%	95.23%	95.28%
MODAL	Mode	13	0.17461	0.01%	0.01%	0.01%	94.79%	95.24%	95.30%
MODAL	Mode	14	0.17342	0.05%	0.07%	0.01%	94.84%	95.31%	95.30%
MODAL	Mode	15	0.14444	0.03%	0.01%	0.00%	94.86%	95.32%	95.31%
MODAL	Mode	16	0.13946	0.00%	0.01%	0.00%	94.86%	95.33%	95.31%
MODAL	Mode	17	0.13107	0.00%	0.00%	0.00%	94.86%	95.34%	95.31%
MODAL	Mode	18	0.13006	0.00%	0.00%	0.00%	94.86%	95.34%	95.31%

Tabla 37 Participación de las masas de la estructura.

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

La participación de las masas es mayor al 90% establecido en la Norma, por lo tanto, continuamos con el análisis dinámico.

Las condiciones de los modos de vibración son las mismas que en el análisis dinámico sin interacción, por lo que al correr la modelación se tendrá que los modos de vibración 1 y 2 son los siguientes:

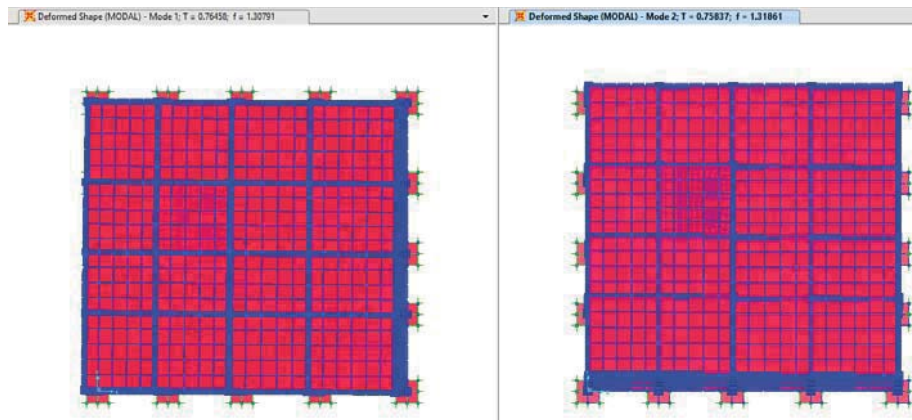


Gráfico 65 Modos de vibración 1 y 2 con interacción suelos estructura.

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, acerca de que los modos 1 y 2 deben ser traslacionales, se presenta la siguiente tabla, en donde nos indica si la rotación que tiene para cada dirección está dentro de lo permitido.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios												
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	RX	RY	RZ	R	RX	RY	RZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Total	%	%	%
MODAL	Mode	1	2.478341	0.001862	0.61	0.496	0.00231	0.0003624	0.4986724	99.46%	0.46%	0.07%
MODAL	Mode	2	2.317947	0.592	0.002308	0.001242	0.508	0.000152	0.509394	0.24%	99.73%	0.03%
MODAL	Mode	3	1.373233	0.00018	0.00002041	1.512E-05	0.0001236	4.356E-08	0.000138764	10.90%	89.07%	0.03%
MODAL	Mode	4	0.590293	0.0002426	0.001733	0.002086	0.0002395	0.875	0.8773255	0.24%	0.03%	99.73%
MODAL	Mode	5	0.357483	0.287	0.0001008	0.0001499	0.365	0.00006781	0.36521771	0.04%	99.94%	0.02%
MODAL	Mode	6	0.330954	0.00004547	0.278	0.375	5.372E-05	0.0002929	0.37534662	99.91%	0.01%	0.08%
MODAL	Mode	7	0.254256	0.0004874	0.017	0.021	0.000553	0.004481	0.026034	80.66%	2.12%	17.21%
MODAL	Mode	8	0.208789	0.048	0.00008736	9.201E-05	0.05	0.003755	0.05384701	0.17%	92.86%	6.97%
MODAL	Mode	9	0.190843	0.00007846	0.028	0.031	9.395E-05	0.006567	0.03766095	82.31%	0.25%	17.44%
MODAL	Mode	10	0.186228	0.003662	0.014	0.016	0.003703	0.003866	0.023569	67.89%	15.71%	16.40%
MODAL	Mode	11	0.182694	0.01	0.001152	0.00117	0.01	0.00001811	0.01118811	10.46%	89.38%	0.16%
MODAL	Mode	12	0.176834	0.005672	0.001888	0.002357	0.006082	0.039	0.047439	4.97%	12.82%	82.21%
MODAL	Mode	13	0.120735	0.009754	0.005877	0.006906	0.01	0.00001845	0.01692445	40.80%	59.09%	0.11%
MODAL	Mode	14	0.118138	0.00555	0.007498	0.008828	0.005937	0.004159	0.018924	46.65%	31.37%	21.98%
MODAL	Mode	15	0.083967	0.0000352	0.015	0.017	4.051E-05	0.0007975	0.01783801	95.30%	0.23%	4.47%
MODAL	Mode	16	0.080327	0.015	0.00001147	1.325E-05	0.016	0.0006653	0.01667855	0.08%	95.93%	3.99%
MODAL	Mode	17	0.042276	0.001222	0.009131	0.011	0.001269	0.001547	0.013816	79.62%	9.19%	11.20%
MODAL	Mode	18	0.040276	0.011	0.0004154	0.0004874	0.012	0.001698	0.0141854	3.44%	84.59%	11.97%

Tabla 38 Modos de vibración con interacción suelo estructura.

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

La tabla anterior ratifica que los dos primeros modos de vibración son traslacionales, con rotaciones menores al 10% para los dos casos, por lo tanto, cumple con los modos de vibración admisibles.

A continuación, debe chequearse las derivas de piso del edificio, para los espectros en el sentido X y en el sentido Y, de la misma manera que se lo hizo para los dos análisis anteriores.

TABLE: Joint Displacements													
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3	Relacion	Deriva	PISO	COL
Text	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians		Inelastica		
1	ESPECTROX	LinRespSpec	Max	0	0	0.004327	0.000175	0.000526	1.79E-06		0	0.00%	0
2	ESPECTROX	LinRespSpec	Max	0.001488	0.000494	0.004329	0.00017	0.000512	2.03E-06	0.000522105	0.31%	1	
3	ESPECTROX	LinRespSpec	Max	0.002934	0.000976	0.00433	0.000168	0.000502	3.29E-06	0.000507368	0.30%	2	
4	ESPECTROX	LinRespSpec	Max	0.004359	0.001454	0.004331	0.000167	0.000498	4.15E-06	0.0005	0.30%	3	A1
5	ESPECTROX	LinRespSpec	Max	0.005779	0.001931	0.004332	0.000164	0.00049	5.05E-06	0.000498246	0.30%	4	
6	ESPECTROX	LinRespSpec	Max	0.00717	0.0024	0.004332	0.000163	0.000486	5.91E-06	0.00048807	0.29%	5	
7	ESPECTROX	LinRespSpec	Max	0.008561	0.002865	0.004333	0.000161	0.000483	6.6E-06	0.00048807	0.29%	6	

Tabla 39 Derivas de piso sentido X con interacción suelo estructura.

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

TABLE: Joint Displacements													
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3	Relacion	Deriva	PISO	COL
Text	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians				
1	ESPECTROY	LinRespSpec	Max	0	0	0.004818	0.000576	0.00016	3.33E-06		0	0.00%	0
2	ESPECTROY	LinRespSpec	Max	0.000453	0.001628	0.00482	0.000561	0.000156	3.77E-06	0.000571228	0.34%	1	
3	ESPECTROY	LinRespSpec	Max	0.000893	0.00322	0.004821	0.000553	0.000153	6.34E-06	0.000558596	0.34%	2	
4	ESPECTROY	LinRespSpec	Max	0.001326	0.004794	0.004822	0.000549	0.000151	8.38E-06	0.000552281	0.33%	3	A1
5	ESPECTROY	LinRespSpec	Max	0.001758	0.006366	0.004823	0.00054	0.000149	0.00001	0.000551579	0.33%	4	
6	ESPECTROY	LinRespSpec	Max	0.00218	0.007912	0.004824	0.000536	0.000148	0.000012	0.000542456	0.33%	5	
7	ESPECTROY	LinRespSpec	Max	0.002603	0.009446	0.004824	0.000529	0.000147	0.000013	0.000538246	0.32%	6	

Tabla 40 Derivas de piso sentido Y con interacción suelo estructura.

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Las reacciones en la base son las siguientes, para los asentamientos, sismo en los dos sentidos, y para los 2 primeros modos de vibración:

TABLE: Joint Reactions															
Joint	COMBO CEMENT			ESPECTROX			ESPECTROY			MODO 1			MODO 2		
	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf
Text	1394.52	1086.63	7666.14	410.08	85.69	182.78	133.39	275.07	203.51	8.21	55.53	76.18	-86.53	0.84	-66.88
1	1237.55	1426.89	8147.4	428.5	88.41	104.42	140.53	286.15	197.3	7.23	59	74.36	-92.33	2.75	-31.67
15	405.28	1493.8	8611.41	472.15	90.96	58.84	156.08	292.83	193.89	2.67	59.81	72.26	-100.87	6.58	4.37
22	-740.14	1576.2	9029.14	459.37	89.54	112.9	150.35	288.43	193.57	-0.68	58.88	69.74	-100.47	8.5	42.12
28	-968.44	1178.33	9381.68	420.33	101.14	208.96	135.62	317.99	197.86	-0.21	63.36	66.89	-91.87	10.5	84.2
34	1583.42	778.94	7834.38	326.33	107.32	177.6	100.65	349.46	107.16	4.98	70.19	37.56	-71.63	1.8	-69.5
41	1569.26	651.27	8326.39	447.48	129.97	92.69	139.66	429.39	95.95	3.76	84.17	35.81	-94.83	3.14	-34.21
48	720.9	683.3	8798.11	501.96	133.63	27.56	159.97	422.16	90.09	-1.06	80.49	33.56	-103.69	11.88	2.18
55	-666.91	892.26	9236.68	502.76	129.63	99.43	156.75	416.19	92.33	-1.02	78.27	31.08	-106.63	10.53	40.08
61	-1465.09	828.3	9573.91	342.9	129.77	201.59	105.21	410.93	104.34	-0.69	79.7	28.36	-78.19	10.48	82.13
67	1270.37	387.31	7922.46	288.11	102.67	177.12	87.13	331.69	54.85	3.96	66.4	6.99	-64.18	4.88	-71.47
74	-19620.43	-7423.32	8400.6	868.21	348.34	90.27	506.1	1119.8	29.36	92.31	212.26	5.38	-127.19	35.28	-36.23
81	-9947.27	9148.32	8876.32	433.61	327.81	5.42	545.14	1035.62	8.06	-82.88	177.94	2.93	-62.25	5.97	0.65
88	-391.97	422.75	9329.76	437.71	130.4	94.75	134.19	425.17	29.29	-0.43	77.52	0.52	-93.2	8.48	38.38
94	-1326.35	186.9	9666.75	293.04	131.15	198.61	89.98	424.39	60.36	-0.11	80.81	-1.97	-67.83	6.47	80.33
100	1130.5	-344.56	7996.91	155.74	74.4	180.16	52.74	232.07	100.18	-4.79	50.82	-28.58	-39.88	8.21	-73.45
107	2075.95	545.71	8506.91	962.4	271.81	95.64	351.71	875.05	91.82	-29.23	156.32	-31.18	-193.33	18.21	-38.41
114	-2304.17	-3612.12	8959.24	563.81	190.33	27.22	224.92	252.6	88.45	-20.22	47.64	-32.97	-108.41	41.56	-1.5
121	-420.31	-583.4	9408.98	500.68	128.22	96.87	153.83	423.14	93.64	3.91	79.46	-34.72	-104.99	4.3	36.22
127	-1386.8	-519.68	9723.99	165.22	92.33	198.33	52.2	301.57	108.16	2.62	60.32	-36.73	-42.67	1.9	77.98
133	1346.7	-572.74	7999.51	281.7	123.04	188.32	101.49	386.52	199.61	-8.83	74.57	-68.8	-64.67	12.12	-75.43
140	1210.7	-1240.33	8491.7	354.44	109.05	109.86	119.94	349.72	196.79	-6.04	71.86	-71.2	-80.21	11.26	-40.39
147	415.92	-1199.61	8951.04	400.93	105.93	59.59	132.4	350.21	196.29	1.18	70.64	-73.16	-86.92	2.68	-4.34
154	-542.42	-1440.25	9372.12	399.84	106.56	108.04	130.47	346.79	198.95	3.58	69.09	-74.86	-86.87	2.58	33.34
161	-846.28	-859.47	9725.61	298.92	147.29	203.06	101.07	467.27	206.49	0.79	86.35	-76.81	-67.41	5.41	75.33
168	21430.38	-8883.82	7985.22	147.23	92.39	60.69	138.11	135.19	34.64	-33.77	34.34	-10.04	-52.58	10.89	-24.43
169	-4450.69	4346.35	5713.54	602.41	326.33	42.64	401.19	297.36	14.88	81.28	50.68	3.36	-98.59	-66.46	-16.88

Tabla 41 Reacciones en la base con interacción suelo-estructura.

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

6.7.8. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

Los resultados obtenidos en las modelaciones Estática, Dinámica y Dinámica con Interacción los compararemos para poder determinar las conclusiones de los resultados.

Compararemos los modos de vibración, entre los dos análisis dinámicos, por lo que tenemos la siguiente tabla:

TABLE: Modal Participating Mass Ratios						
OutputCase	StepType	StepNum	Periodos		Rotaciones por Modos	
			Dinamico	Con Interaccion	Dinamico	Con Interaccion
Text	Text	Unitless	Sec	Sec	%	%
MODAL	Mode	1	0.685686	2.478341	4.33%	0.07%
MODAL	Mode	2	0.684092	2.317947	1.04%	0.03%
MODAL	Mode	3	0.632868	1.373233	99.81%	0.03%
MODAL	Mode	4	0.223092	0.590293	2.07%	99.73%
MODAL	Mode	5	0.22197	0.357483	1.60%	0.02%
MODAL	Mode	6	0.200638	0.330954	85.16%	0.08%
MODAL	Mode	7	0.13258	0.254256	4.89%	17.21%
MODAL	Mode	8	0.131392	0.208789	0.54%	6.97%
MODAL	Mode	9	0.128841	0.190843	30.77%	17.44%
MODAL	Mode	10	0.113891	0.186228	50.61%	16.40%
MODAL	Mode	11	0.109168	0.182694	16.10%	0.16%
MODAL	Mode	12	0.095563	0.176834	0.11%	82.21%
MODAL	Mode	13	0.090987	0.120735	2.81%	0.11%
MODAL	Mode	14	0.073463	0.118138	2.27%	21.98%
MODAL	Mode	15	0.065702	0.083967	0.27%	4.47%
MODAL	Mode	16	0.058454	0.080327	4.02%	3.99%
MODAL	Mode	17	0.03702	0.042276	6.47%	11.20%
MODAL	Mode	18	0.020734	0.040276	46.17%	11.97%

Tabla 411 Comparación de los Modos de vibración.

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

A continuación, compararemos las derivas de piso para los tres análisis realizados, lo que genera la siguiente tabla, para el análisis estático, análisis dinámico sin Interacción suelo estructura y el análisis dinámico con Interacción suelo Estructura.

PISO	COL	Estático		Dinámico sin Interacción		Dinámico con Interacción	
		x	y	x	y	x	y
A1	0	0.00%	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	1	1.00%	0.0101	0.0010	0.0010	0.0031	0.0034
	2	1.87%	0.0181	0.0015	0.0015	0.0030	0.0034
	3	1.96%	0.0183	0.0014	0.0013	0.0030	0.0033
	4	1.74%	0.0158	0.0011	0.0011	0.0030	0.0033
	5	1.28%	0.0117	0.0008	0.0007	0.0029	0.0033
	6	0.90%	0.0082	0.0005	0.0004	0.0029	0.0032

Tabla 42 Derivas de piso sentido Y con interacción suelo estructura.

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

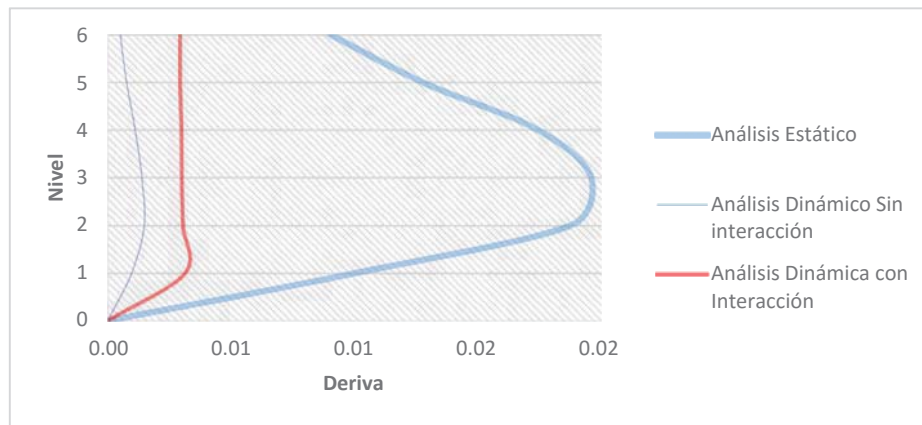


Gráfico 66 Deriva de piso en el eje X de los 3 Análisis.

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

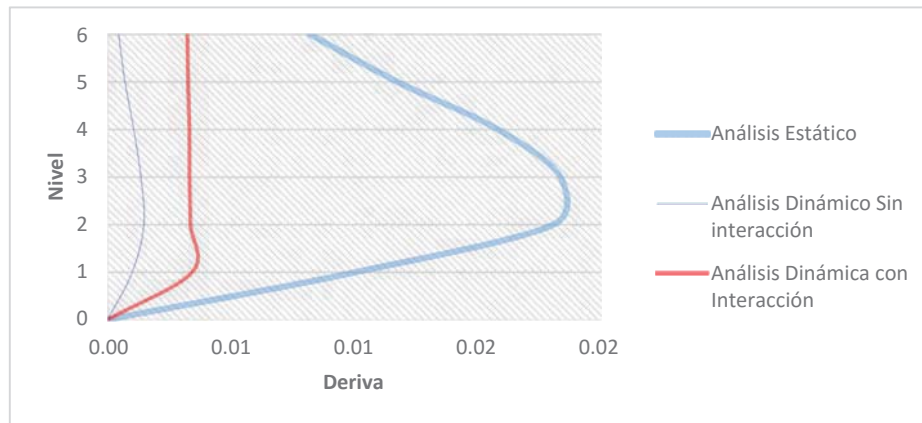


Gráfico 67 Deriva de piso en el eje Y de los 3 Análisis.

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

Por último, se compara las reacciones en la base de igual manera para los tres análisis, por lo que tenemos:

Joint Text	COMBO CIMENT										SISMO EN X						SISMO EN Y							
	F1		F2		F3		F1		F2		F3		F1		F2		F3		F1		F2		F3	
	ESTATICO	DINAMICO	ESTATICO	DINAMICO	ESTATICO	DINAMICO	CON INTERAC	DINAMICO	CON INTERAC	DINAMICO	CON INTERAC	DINAMICO	CON INTERAC	DINAMICO	CON INTERAC	DINAMICO	CON INTERAC	DINAMICO	CON INTERAC	DINAMICO	CON INTERAC	DINAMICO	CON INTERAC	
	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf
1	565.38	207.47	1394.52	735.57	297.12	1086.63	43628.48	13150.03	7666.14	910.88	410.08	201.85	85.69	2674.98	182.78	133.39	657.39	275.07	1911.15	203.51				
8	-172.74	-147.13	1237.55	1454.12	694.63	1426.89	74758.51	28797.95	8147.4	1146.32	428.5	211.97	88.41	635.36	104.42	347.66	702.79	286.15	1904.98	197.3				
15	-126.04	-122.56	405.28	1543.39	753.72	1493.8	72798.33	30263.46	8611.41	1126.43	472.15	212.99	90.96	684	58.84	341.25	708.5	292.83	1997.19	193.89				
22	3.36	-48.73	-740.14	1695.81	837.59	1576.2	70793.31	32659.11	9029.14	1108.69	459.37	214.15	89.54	579.35	112.9	335.79	709.43	288.43	1823.8	193.57				
28	-1337.52	-638.88	-968.44	983.85	455.76	1178.33	43835.14	17124.78	9381.68	873.69	420.33	204.22	101.14	1919.28	208.96	264.9	667.76	317.99	1711.35	197.86				
34	1032.64	482.09	1583.42	-425.13	-224.74	778.94	66948.21	25071.98	7834.38	890.86	326.33	259.4	107.32	2536.97	177.6	267.97	100.65	849.04	349.46	991.51	107.16			
41	-187.98	-148.54	1569.26	-647.48	-333.65	651.27	117822.72	52280.98	8326.39	1114.67	447.48	284.79	129.97	353.78	92.69	335.32	942.99	422.16	959.15	90.09				
48	-148.82	-110.69	720.9	-735.78	-345.07	683.3	117761.87	54253.91	8798.11	1087.58	501.96	283.22	133.63	602.56	27.56	327.05	159.97	942.99	1134.17	95.95				
55	122.82	16.51	-666.91	-655.21	-334.83	892.26	113568.43	58957.11	9236.68	1069.56	502.76	282.6	129.63	293.13	99.43	321.65	156.75	936.86	697.32	92.33				
61	-1973.69	-1124.2	-1465.09	-344.02	-147.81	828.3	65721.57	31267.18	9573.91	850.93	342.9	263.46	129.77	1676.23	201.59	255.95	105.21	862.97	744.4	104.34				
67	945.57	389.1	1270.37	52.68	-23.53	387.31	62118.9	22440	7922.46	515.39	288.11	258.51	102.67	2349.68	177.12	154.78	87.13	848.75	771.18	54.85				
74	291.86	104.73	-19620.43	279.57	55.51	-7423.32	134675.23	58115.52	8400.6	1133.3	868.21	355.61	348.34	3018.97	90.27	438.4	506.1	1173.42	5672.34	29.36				
81	-6589.39	-3034.31	-9947.27	3783.86	1304.95	9148.32	107460.21	46896.14	8876.32	1922.03	433.61	1257.51	327.81	3083.27	5.42	978.54	545.14	2082.06	1880.73	8.06				
88	127.81	19.89	-391.97	318.36	147.31	422.75	105954.05	56713.75	9329.76	950.26	437.71	325.02	130.4	373.74	94.75	285.36	134.19	1077.28	427.4	29.29				
94	-1943.65	-883.74	-1326.35	196.22	101.67	186.9	63025.11	28029.12	9666.75	480.05	293.04	263.78	131.15	1550.88	198.61	144.16	89.98	863.47	610.15	60.36				
100	1070.29	493.57	1130.5	101.41	-0.66	-344.56	65185.8	27267.43	7996.91	904.12	155.74	253.23	74.4	2567.52	180.16	272.64	52.74	833.22	875.61	100.18				
107	-6.96	-9.91	2075.95	236.53	88.36	545.71	141082.35	64284.27	8506.91	1147.39	962.4	349.93	271.81	3424.45	95.64	427.12	351.71	1161.22	7261.7	91.82				
114	-3122.37	-1305.87	-2304.17	-3163.15	-1405.86	-3612.12	118864.96	54748.74	8959.24	1683.2	563.81	305.18	190.33	3221.6	27.22	524.6	286.55	153.83	3072.29	88.45				
121	139.67	30.04	-420.31	356.3	204.82	-583.4	120666.45	66119.77	9408.98	950.62	500.68	316.88	128.22	369.74	96.87	286.55	153.83	1050.04	421.47	93.64				
127	-2169.31	-1015.14	-1386.8	226.11	110.23	-519.68	71022.51	32834.5	9723.99	481.28	165.22	256.92	92.33	1469.79	198.33	145.01	52.2	839.52	301.57	108.16				
133	479.12	170.03	1346.7	-1006.32	-493.46	-572.74	37700.58	13463.04	7999.51	742.9	281.7	232.39	123.04	2135.83	188.32	227.63	101.49	764.53	1718.91	199.61				
140	-314.44	-241.27	1210.7	-1744.37	-878.7	-1240.33	65293.61	29639.59	8491.7	1036.02	354.44	214.87	109.05	590.77	109.86	316.43	119.94	713.15	1955.18	196.79				
147	-257.98	-214.08	415.92	-1793.37	-889.35	-1199.61	67637.38	30881.85	8951.04	1018.83	400.93	213.37	105.93	654.51	59.59	310.15	132.4	709.27	1982.95	196.29				
154	-107.34	-128.91	-542.42	-2000.14	-937.49	-1440.25	73887.57	33825.93	9372.12	999.31	399.84	212.61	106.56	570.87	108.04	303.95	130.47	704.25	1745.26	198.95				
161	-1469.96	-728.8	-846.28	-1104.66	-508.3	-859.47	45602.95	17947.12	9725.61	713.64	298.92	237.67	147.29	1569.92	203.06	217.2	101.07	467.27	1606.66	206.49				
168	3905.05	5459.99	21430.38	5297.51	-1569.07	-8883.82	3524.74	4902.25	7985.22	1261.25	147.23	529.57	92.39	1164.13	60.69	1668.43	138.11	1034.5	1159.91	34.64				
169	11244.62	2529.34	-4450.69	-3641.66	3040.82	4346.35	10759.88	2389.39	5713.54	1260.64	602.41	539.05	326.33	890.47	42.64	2625.37	401.19	1597.83	1965.15	14.88				

Tabla 43 Comparación de Reacciones en la Base.

Fuente: Elaborado por Fabián Toapanta

6.7.9. CONCLUSIONES

- Para el método sísmico de análisis estático no es posible aplicar los efectos de interacción suelo-estructura, ya que se considera solamente fuerzas laterales aplicadas a lo alto del edificio.
- Los modos de vibración, en el análisis dinámico, al considerar los efectos de interacción suelo-estructura, son menores que al no considerar los efectos de interacción.
- Los Períodos de vibración en el análisis con interacción suelo – estructura son menores que los períodos del análisis sin considerar la interacción.
- Los modos de vibración y los periodos de vibración al ser menores se observan que la energía de la onda sísmica se disipa, porque a mayor frecuencia es menor la onda, pero al reducir la frecuencia la onda debe aumentar, y las secciones que absorban los modos de vibración deben también aumentar, al analizar sucedió lo contrario.
- Los desplazamientos de piso, derivas, disminuyen en el análisis con interacción respecto del análisis simple.
- Las reacciones del suelo difieren en gran manera de los tres tipos de análisis, siendo el análisis estático el que proporciona el valor más alto, mientras que en el análisis dinámico con interacción la reacción es la más baja.

6.7.10. RECOMENDACIONES

- El uso del análisis estático en edificios se lo realiza de manera obligatoria, pero no debe aceptarse un diseño simplemente con este análisis, por lo que se recomienda utilizar también el análisis dinámico.
- Los modos de vibración indican el comportamiento del edificio al momento de un evento sísmico, y al considerar los efectos de interacción los modos se reducen, por lo que se recomienda el uso de la interacción suelo-estructura.
- La reacción del suelo nos demuestra que debe considerarse los efectos de interacción en el análisis dinámico de edificios.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1. BIBLIOGRAFÍA

CALAVERA, J. (1999). Proyecto Y Calculo De Estructuras De Hormigón Tomo 1. Madrid - España.

CASTRO, D. G. (2009). Interacción Suelo-Estructura En Edificios Altos. LIMA-PERU.

HIPE ECUADOR. (20 de 05 de 2010). HIP.ECUADOR. Obtenido de HIP.ECUADOR:
http://www.hipecuador.com/html/ecuador/regions/andes/provinces/tungurahua/_baks/tungurahua_history.htm.0001.6a3b.bak

INSTITUTO GEOFISICO. (31 de 12 de 2014). IG. Obtenido de IG:
<http://www.igepn.edu.ec/index.php/ultimos-sismos>

LA HORA. (19 de junio de 2012). LA HORA NACIONAL. Obtenido de LA HORA NACIONAL:
http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101348197/-1/Fuerte_sismo_en_Ambato.html#.VMnCv2iG_-M

Martinez, J. d. (2000). La Ingenieria Estructural. REDALYC, 171-177.

Medina W, E. (2010). Propiedades de los suelos. ARQHYS.

Mercedes, S. E. (04 de 02 de 2007). ARQHYS ARCHITECTS SITE. Obtenido de
<http://www.arqhys.com/tipos-cimentaciones.html>

NSR-98. (s.f.). Obtenido de
<http://www.eird.org/cdforreogional/pdf/spa/doc13281/doc13281-2i.pdf>

NUÑEZ GARCIA, L. (2014). AISLACIÓN SÍSMICA DE UN EDIFICIO (ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO Y COSTOS CON UN EDIFICIO TRADICIONAL). QUITO: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

PANEL REY. (2008). Manual de Diseño Sismico Sistema Constructivo. Panel Rey.

PRONTUARIO. (2011). Obtenido de http://www.mapfre.com/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1036794

TORRES, I. C. (2008). Interacción Suelo-Estructura En Edificaciones Con Muros De Ductilidad Limitada Sobre Plateas De Cimentación. Trujillo - Perú: UPAO.

URIBE, G. E. (1975). Estructuras Antisismicas. Mexico.

2. ANEXOS

ESTUDIO DE SUELOS

**ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS PARA EL DISEÑO
DE CIMENTACIONES**

SOLICITA:

SR. FABIAN TOAPANTA

DICIEMBRE DEL 2015

CONTENIDO

1.- INTRODUCCION

- 1.1 PROPOSITO Y ALCANCE
- 1.2 ESTRUCTURA PROYECTADA
- 1.3 DESCRIPCION DEL SITIO

2.- EXPLORACION SUBTERRANEA

- 2.1 PLANIFICACION PREVIA
- 2.2 SONDEOS EJECUTADOS
- 2.3 NIVEL FREATICO

3.- PERFIL DEL SUBSUELO

- 3.1 PERFIL ESTRATIGRAFICO
- 3.2 CALCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA

4.- RECOMENDACIONES PARA LA CIMENTACION

- 4.1 TIPO DE SUELO Y TEORIA DE CALCULO
- 4.2 CARGAS DE LA ESTRUCTURA
- 4.3 ASENTAMIENTOS
- 4.4 CAPACIDAD DE CARGA
- 4.5 RECOMENDACIONES ADICIONALES
- 4.6 CONSTRUCCION DE MUROS

ANEXOS

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS PARA EL DISEÑO DE LAS CIMENTACIONES

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1.- PROPÓSITO Y ALCANCE:

El presente Informe corresponde al Estudio de Mecánica de Suelos, para un PROYECTO DE TESIS, ubicado en las calles Guayaquil y Juan Benigno Vela de la ciudad de Ambato, y su objetivo es el establecer la composición del subsuelo y las características generales de los materiales que servirán de soporte a la edificación, de manera que se constituya en el antecedente requerido para la selección del tipo de cimentación que mejor se adapte a las condiciones del lugar y proporcione los parámetros necesarios para el diseño respectivo.

1.2.- ESTRUCTURA PROYECTADA:

En el terreno ubicado en las calles Guayaquil y Juan Benigno Vela, propiedad del Sr. Carlos Ortiz se estudiará un edificio de 6 pisos, mediante columnas, vigas y losas de hormigón armado formado un todo monolítico e hiperestático y paredes de mampostería.

1.3.- DESCRIPCIÓN DEL SITIO:

El terreno en estudio se localiza en el sector urbano de la ciudad de Ambato, donde se derrocó una construcción ya existente, el lugar es plano. En el sector el clima es templado.

CAPITULO 2

EXPLORACIÓN SUBTERRÁNEA

2.1.- PLANIFICACIÓN PREVIA:

En función al tamaño del terreno, se creyó conveniente efectuar la exploración en dos puntos del terreno, que defina adecuadamente la posición de los estratos.

2.2.- SONDEOS EJECUTADOS:

La exploración subterránea sigue la planificación ya descrita, y además se recuperaron muestras para el respectivo análisis manual- visual.

Para los trabajos de perforación se empleó un equipo rotoperkusivo manual, para perforación en seco.

El cuadro que sigue indica en detalle la exploración realizada y anexos a este Informe se presentan los registros de los sondeos. Todas las muestras fueron clasificadas siguiendo el método manual-visual para identificar al material y determinar su resistencia.

CUADRO 1

DETALLE DE LOS SONDEOS REALIZADOS

SONDEO NÚMERO	PROFUNDIDAD Metros	NIVEL FREÁTICO
1	5.50	No Existente
2	4.50	No Existente

2.3.- NIVEL FREÁTICO:

No se detectó ni filtraciones ni indicios de nivel freático hasta la profundidad investigada.

CAPITULO 3

PERFIL DEL SUBSUELO

3.1.- PERFIL ESTRATIGRÁFICO:

Con los datos de campo de las perforaciones, se obtuvo el perfil estratigráfico que se describe a continuación:

El suelo predominante en el sector es la arena limosa de color gris, de baja humedad.

En la perforación # 1, a partir de la cota 0.00m que corresponde al nivel de la acera de la calle Guayaquil el suelo existente tiene una variación de baja a mediana compacidad.

En la perforación # 2, desde la cota 0.00 m hasta la cota -3.00 su compacidad es de baja a mediana y a partir de -3.00 m de profundidad el suelo presenta una compacidad alta.

En el anexo se resume los resultados del ensayo de penetración estándar, los cuales reflejan la resistencia del suelo.

3.2.- CALCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA:

De acuerdo a la naturaleza de los suelos y a las condiciones de carga, la evaluación de la capacidad de carga se realizó en base a los resultados de los ensayos de penetración estándar con las fórmulas propuestas por MEYERHOF, considerando a la Teoría de TERZAGHI como límite para no excederse y limitar los asentamientos a valores aceptables.

Los valores de capacidad de carga vertical y área de influencia anotados pertenecen a la columna más cargada.

DATOS:

AREA COLABORANTE: $4 \text{ m} \times 4\text{m} = 16\text{m}^2$

CARGA UNITARIA: 0.8 Tn/m^2

NUMERO DE PISOS: 6

CARGA VERTICAL:

Columna B-2

$$Q_v = 16\text{m}^2 \times 6 \text{ pisos} = 96 \text{ Tn.}$$

ASENTAMIENTO MAXIMO PERMISIBLE:

$$S_{\text{máx}} = 0.003L \quad L = 4 \text{ m.}$$

$$S_{\text{máx}} = 0.003 \times 4 \text{ m.}$$

$$S_{\text{máx}} = 0.012\text{m.}$$

$$S_{\text{máx}} = 1.2 \text{ cm.}$$

CAPACIDAD DE CARGA PARA LA COLUMNA MAS CARGADA

Nivel de Fundación: $D_f = 2.00 \text{ m}$

Ancho de la zapata: $B = 2.00 \text{ m}$

METODO DE TERZAGHI							
N (S.P.T)	Nq	N γ	γ (Tn/m ³)	qu (Tn/m ²)	fs	Qadm (Tn/m ²)	Ks (Kg/cm ³)
11	19.09	15.89	1.6	86.52	3	28.84	5.77

METODO DE MEYERHOF					
N (S.P.T.)	S (m)	Kd	A (m ²)	Qadm (Tn/m ²)	Ks (Kg/cm ³)
11	2.23	1.20	4.00	14.61	5.77

CALCULO DE ASENTAMIENTOS POR EL METODO DE MEYERHOF

Datos:

$$N = 11$$

$$C_d = 0.75$$

$$C_w = 1$$

$$q_{\text{trab}} = 24$$

$$B = 2.00$$

$$S_{\text{calculado}} = 2.23\text{cm.}$$

CAPITULO 4

RECOMENDACIONES PARA LA CIMENTACION

Para el cálculo de la cimentación se ha tomado en cuenta la exploración del subsuelo y los resultados de los ensayos de campo.

4.1 TIPO DE SUELO Y TEORIAS DE CALCULO

La cimentación estará desplantada sobre suelos de comportamiento granular, por lo que se usaron las fórmulas de capacidad de carga para éstos suelos considerando la teoría de Terzaghi como referencia límite para no exceder y limitar los asentamientos permisibles o aceptables.

4.2 CARGAS DE LA ESTRUCTURA

Las cargas actuantes sobre la cimentación fueron estimadas en base a una luz entre columnas de 4,00 m. y de acuerdo al cálculo que indica en el numeral 3.3 Cálculo de la Capacidad de Carga.

4.3 ASENTAMIENTOS

La capacidad de carga en las condiciones antes indicadas consideran un asentamiento permisible de 2.23 cm.

4.4 CAPACIDAD DE CARGA

La Capacidad de Carga según Meyerhof es de 14.61 Tn/m² (1.46 Kg/cm²).

1. La Capacidad de Carga para una profundidad de 2.00m es de 14.61 Tn/m² (1.46 Kg/cm²), sin mejoramiento de suelo.
2. La Capacidad de carga para una profundidad de 2.00m con mejoramiento de suelo es de 20 Tn/m² (2 Kg/cm²).

Se recomienda que el Ingeniero constructor realice la excavación para la implantación de las zapatas hasta una profundidad de 3.00m. para efectuar un cambio de suelo de una altura de 1.50m, para lo cual utilizará material

seleccionado, el cual será apisonado en capas de 20 cm. de espesor hasta llegar al nivel -2.00m con respecto al nivel 0.00m, que corresponde a la calle Guayaquil, de igual manera se deberá proceder con el relleno que se utilice sobre la zapata hasta llegar al nivel 0.00.

Como alternativa para evitarse mejoramiento de suelo o sobredimensionamiento de las zapatas por motivo de la baja capacidad de carga que presenta el suelo, se recomienda construir un subsuelo, el mismo que se podría aprovechar como garaje o bodegas de la futura construcción.

3. La Capacidad de Carga para una profundidad de 2.00 es de 25 Tn/m² (2.5 Kg/cm²), en el caso de construir subterráneo.

4.5 RECOMENDACIONES ADICIONALES

Las zapatas se construirán sobre un replantillo de hormigón simple de por lo menos 10 cm. de espesor.

Las dimensiones de las zapatas son solo sugerencias, ya que la construcción se la realizará con los resultados proporcionados por el Ingeniero encargado del cálculo estructural.

4.6 CONSTRUCCION DE MUROS

Para determinar el empuje sobre los muros, se utilizará la fórmula de Ranking. En caso de construirse subsuelo.

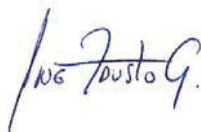
$$PH = [\gamma H^2/2] \tan^2 (45^\circ - \emptyset/2)$$

PH = Carga horizontal sobre el muro (Ton/m²)

γ = Densidad del suelo

H = Altura del muro a construir

\emptyset = Angulo de fricción interna



Fausto A. Guevara G.
INGENIERO CIVIL
LP. 18-599

ANEXOS

RESULTADOS DEL ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR

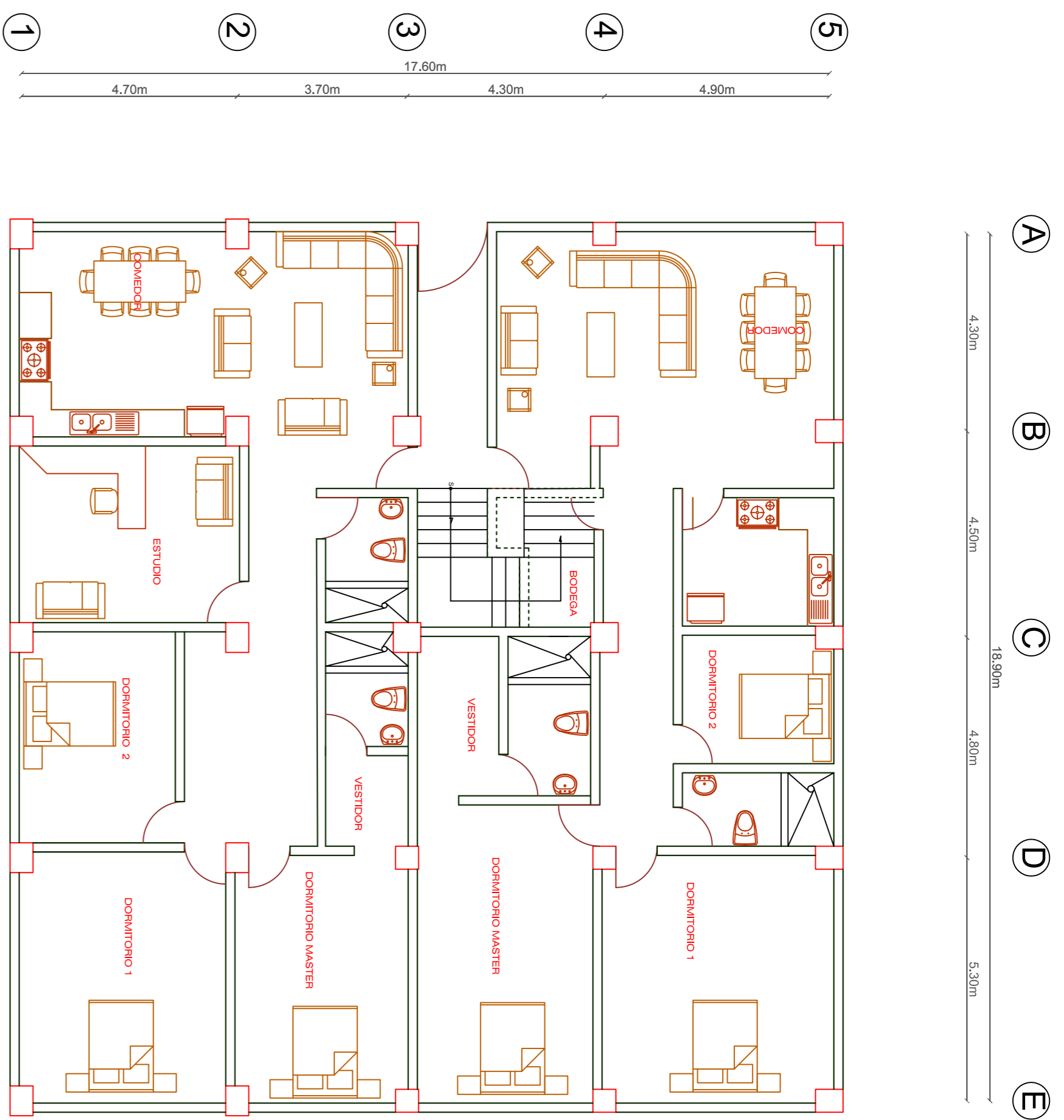
REGISTRO DE LA PERFORACIÓN**PERFORACION: 1****FECHA: DICIEMBRE DEL 2015**

PROF. (m)	N (S.P.T.)	DESCRIPCION	CLASIFICACION
0,00 a 1,00		Limpieza con cuchara.	
1,00 a 2,00	2	Limo arenoso de color gris oscuro, baja Humedad, y muy baja compacidad.	MS
2,00 a 3,00	5	Arena limosa, color café oscuro, baja humedad, baja compacidad.	SM
3.00 a 3,50	7	Idem. Al anterior	SM
3,50 a 4,00	10	Idem. Al anterior	SM
4.00 a 4.50	11	Idem. Al anterior	SM

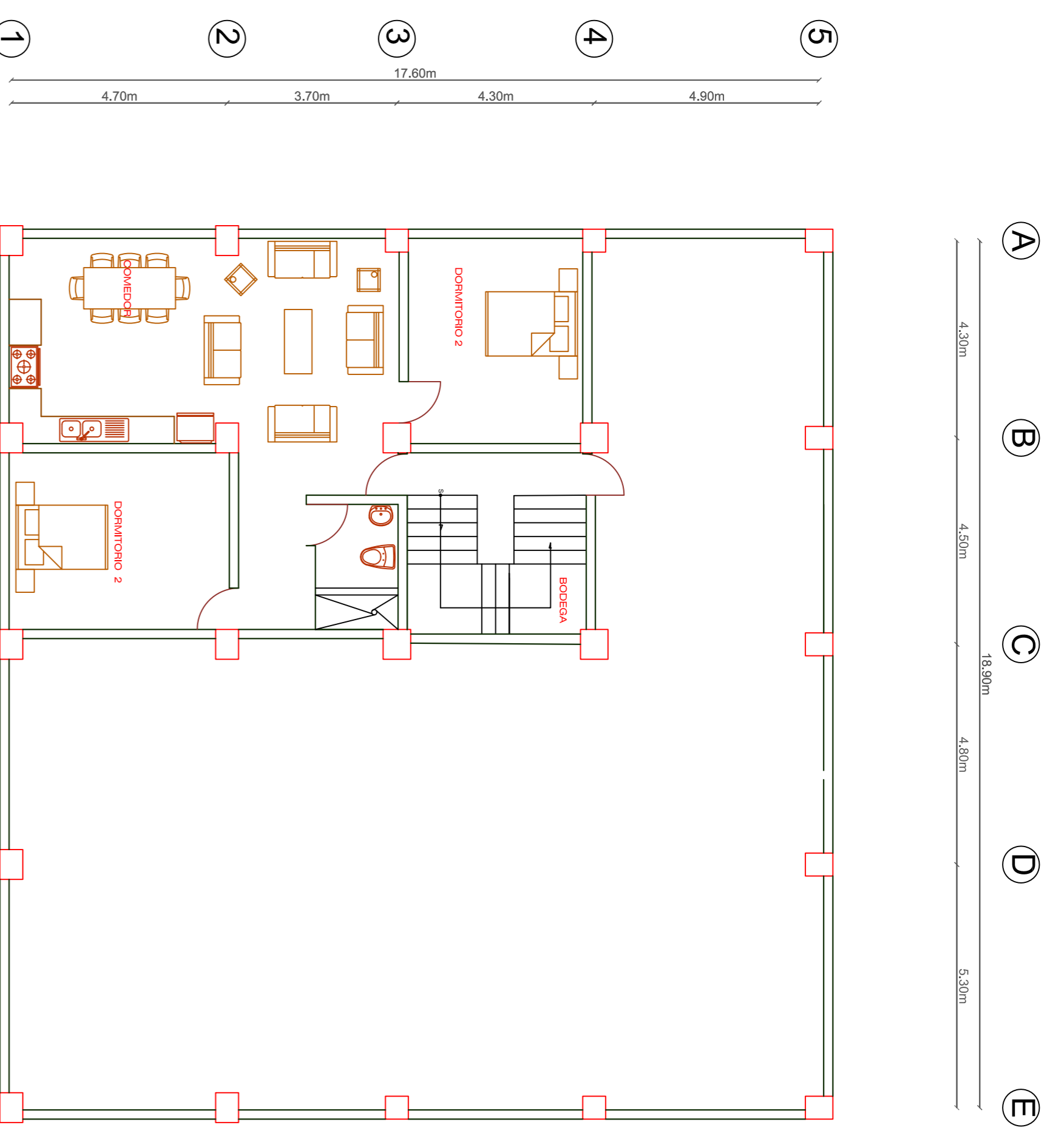
REGISTRO DE LA PERFORACION**PERFORACION: 2****FECHA: DICIEMBRE DEL 2015**

PROF. (m)	N (S.P.T.)	DESCRIPCION	CLASIFICACION
+0.80 a 0,00	—	Limpieza con cuchara.	
0,00 a 1,00	—	Limpieza con cuchara.	
1,00 a 2,00	5	Arena limosa, color café oscuro, baja Humedad, mediana compacidad.	SM
2.00 a 2.50	9	Idem. Al anterior	SM
2.50 a 3.00	11	Idem. Al anterior	SM
3.00 a 3.50	15		SM
3.50 a 4.00	19		SM

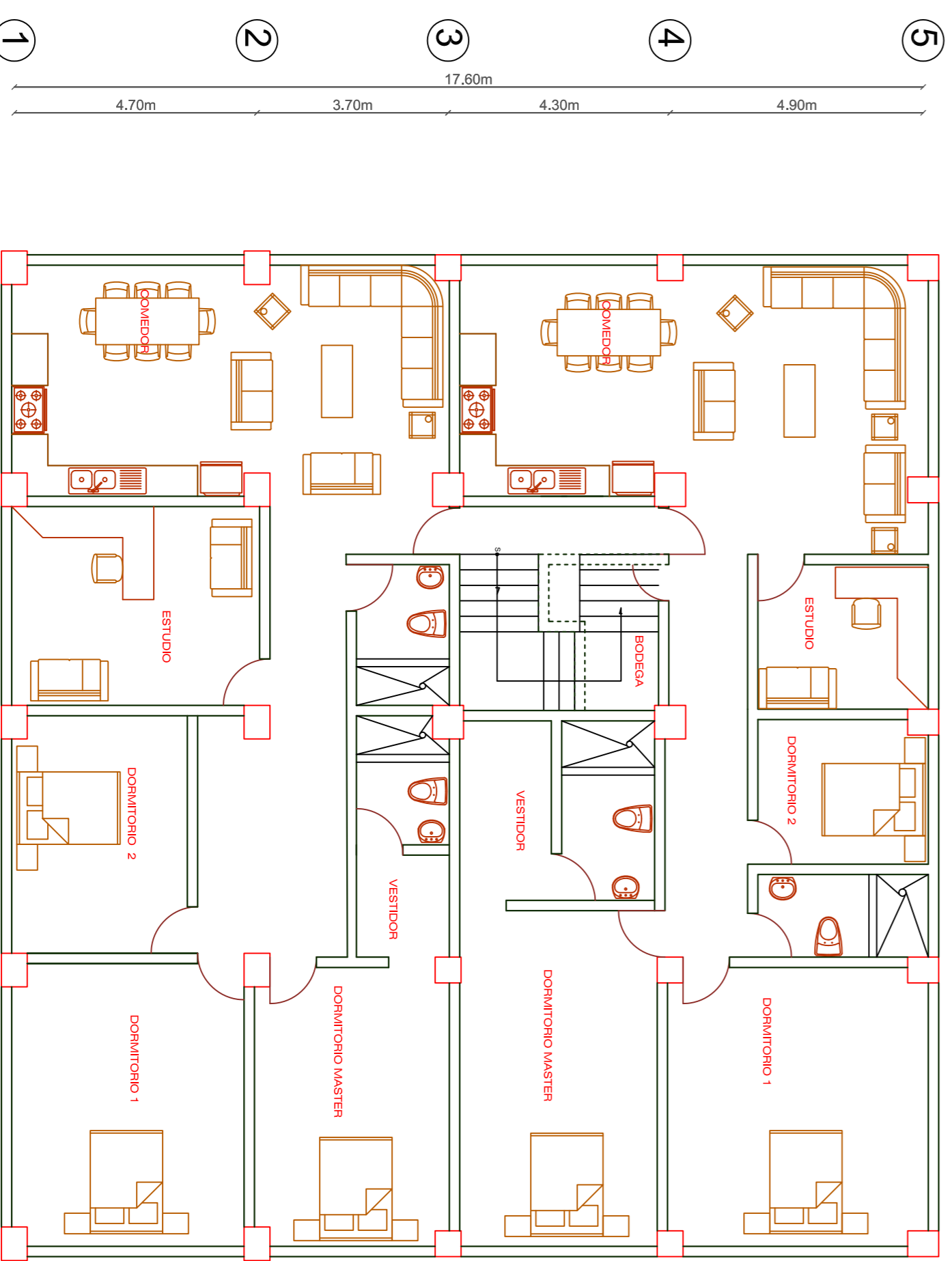
PLANOS ARQUITECTÓNICO



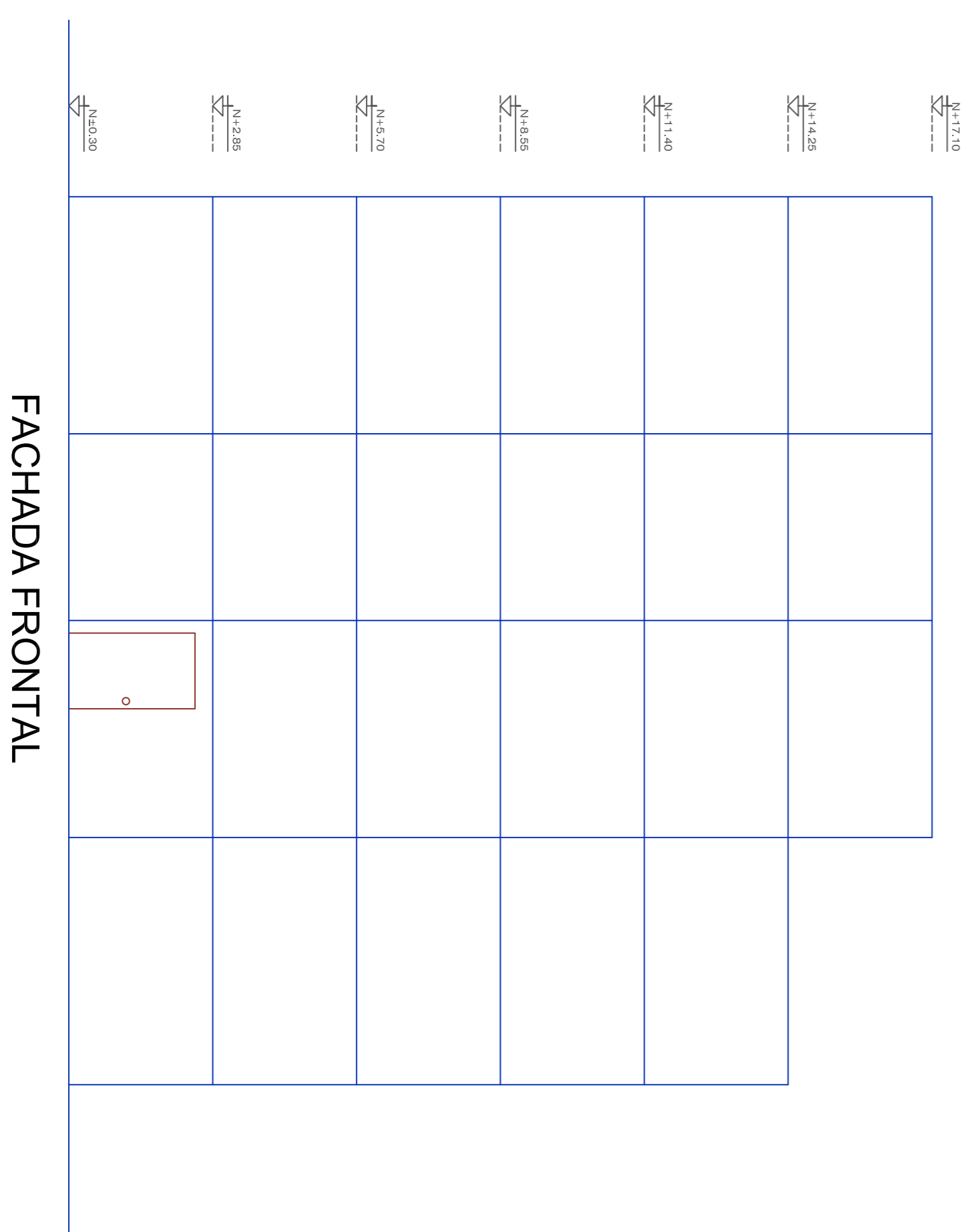
PLANTA BAJA NV.+0.30



PLANTA ALTA Y TERRAZA
NV.+17.10



PLANTAS ATAS NV.+2.85m, +5.70m,
+8.55m, +11.40m, +14.25m



FACHADA FRONTAL

PROYECTO:

TESIS DE GRADO

ESCALA:	INDICADA	ARCHIVO:	ARQUITECTONICO
FECHA:	ENERO 2016	TUTOR:	

AUTOR:

 FABIAN TOLOSANTA

TUTOR:

 ING. FERNANDO DURAN

CONTIENE:
 DISTRIBUCION ARQUITECTONICA
 EN PLANTA Y ELEVACION
 DEL N.+0.30 AL N.+17.10