



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA DE
DOS PLANTAS CONSTRUIDA EN HORMIGÓN ARMADO UBICADA EN
LA CIUDAD DE MACHALA

DIEGUEZ RODRIGUEZ JULIO
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA
DE DOS PLANTAS CONSTRUIDA EN HORMIGÓN ARMADO
UBICADA EN LA CIUDAD DE MACHALA

DIEGUEZ RODRIGUEZ JULIO
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

EVALUACIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA DE DOS
PLANTAS CONSTRUIDA EN HORMIGÓN ARMADO UBICADA EN LA CIUDAD
DE MACHALA

DIEGUEZ RODRIGUEZ JULIO
INGENIERO CIVIL

ZARATE ENCALADA JOSE MARCELO

MACHALA, 22 DE FEBRERO DE 2022

MACHALA
22 de febrero de 2022

FINAL DIEGUEZ

por Julio Dieguez

Fecha de entrega: 11-feb-2022 09:32a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1757923989

Nombre del archivo: Archivo_para_turnitin_Dieguez.pdf (210.42K)

Total de palabras: 5139

Total de caracteres: 26490

FINAL DIEGUEZ

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.cgmser.com

Fuente de Internet

1%

2

repositorio.unc.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

3

www.contratacionestatal.net

Fuente de Internet

<1%

4

inmobiliariadja.files.wordpress.com

Fuente de Internet

<1%

5

www.planarquitecto.com

Fuente de Internet

<1%

6

bibdigital.epn.edu.ec

Fuente de Internet

<1%

7

Submitted to Pontificia Universidad Catolica
del Peru

Trabajo del estudiante

<1%

8

www.normaconstruccion.ec

Fuente de Internet

<1%

9

1library.co

Fuente de Internet

<1 %

10

es.wikipedia.org

Fuente de Internet

<1 %

11

repositorio.uladech.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

12

Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD
AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA

Trabajo del estudiante

<1 %

13

repositorio.unfv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

14

blog.beisbolreport.com

Fuente de Internet

<1 %

15

blogs.elca.org

Fuente de Internet

<1 %

16

invenio.nusl.cz

Fuente de Internet

<1 %

17

issuu.com

Fuente de Internet

<1 %

18

repositorio.udec.cl

Fuente de Internet

<1 %

19

books.openedition.org

Fuente de Internet

<1 %

20

eloficial.ec

Fuente de Internet

<1 %

21

sdi.bcn.cl

Fuente de Internet

<1 %

22

www.calculistaestructural.com

Fuente de Internet

<1 %

23

www.europarl.europa.eu

Fuente de Internet

<1 %

24

www.guiacurico.cl

Fuente de Internet

<1 %

25

www.preval.org

Fuente de Internet

<1 %

26

I Abrantes, F Rocha, J Vidinha, JA Dias.
"Influence of Aveiro Lagoon heavy metal
contents in the adjacent continental shelf
(Portugal)", Ciencias Marinas, 2005

Publicación

<1 %

27

core.ac.uk

Fuente de Internet

<1 %

28

moam.info

Fuente de Internet

<1 %

29

oa.upm.es

Fuente de Internet

<1 %

30

www.mysciencework.com

Fuente de Internet

<1 %

| | | |
|----|--|------|
| 31 | www.observatorioviolencia.org Fuente de Internet | <1 % |
| 32 | www.oxfam.org Fuente de Internet | <1 % |
| 33 | www.quickfood.com.ar Fuente de Internet | <1 % |
| 34 | repositorio.uees.edu.ec Fuente de Internet | <1 % |
| 35 | Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante | <1 % |

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias Apagado

Excluir bibliografía

Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, DIEGUEZ RODRIGUEZ JULIO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Evaluación del diseño estructural de una vivienda de dos plantas construida en hormigón armado ubicada en la ciudad de Machala, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 22 de febrero de 2022



DIEGUEZ RODRIGUEZ JULIO
0960110476

RESUMEN

El presente informe expone el procedimiento y los resultados del análisis del diseño estructural de una vivienda unifamiliar de dos plantas construida en hormigón armado, ubicada en la ciudad de Machala. El objetivo fundamental de esta investigación es determinar si la estructura objeto de estudio cumple con los requerimientos técnicos establecidos en la normativa nacional actual, Norma Ecuatoriana de la Construcción, o NEC.

La vivienda fue visitada durante su construcción en el año 2017, donde se verificó que los elementos estructurales fueron construidos según los correspondientes planos. Con la utilización de los planos estructurales y arquitectónicos se cuantificó el peso de los elementos permanentes que componen la carga muerta, mientras que la carga viva se obtuvo de la NEC. Con estos datos, se procedió al modelado de la estructura en el software ETABS.

Una vez obtenidos los resultados de carga axial, momento flexionante y fuerza cortante de los elementos estructurales, se procedió con la realización de agrupaciones de cada tipo de elemento con características similares, seleccionándose para el análisis aquel con mayores solicitaciones. Seguidamente se realizaron cálculos manuales y con la ayuda de una hoja de cálculo electrónica, se determinaron las dimensiones, cuantías de acero y distribuciones de varillas más idóneas según lo establecido en la normativa.

Finalmente, se obtuvieron resultados desfavorables, ya que la estructura no cumple con los valores permitidos en cuanto a periodo de vibración, deriva de piso y torsión. Además, se determinó que algunos elementos viga y columna no poseen las características necesarias para resistir las combinaciones de cargas establecidas en la NEC.

Palabras clave: elementos estructurales, diseño sismorresistente, vivienda unifamiliar, hormigón armado, cuantía de acero, evaluación estructural

ABSTRACT

This report describes the procedure and results of the analysis of the structural design of a two-story single-family house built in reinforced concrete, located in the city of Machala. The main objective of this research is to determine if the structure under study complies with the technical requirements established in the current national regulation, the Ecuadorian Construction Norm (NEC).

The house was visited during its construction in 2017, where it was verified that the structural elements were built according to the corresponding plans. Using the structural and architectural plans, the weight of the permanent elements that make up the dead load was quantified, while the live load was obtained from the NEC. With this data, the structure was modeled in ETABS software.

Once the results of axial load, bending moment and shear force of the structural elements were obtained, we proceeded with the grouping of each type of element with similar characteristics, selecting for the analysis the one with the highest stresses. Afterwards, manual calculations were performed and with the help of an electronic spreadsheet, the most suitable dimensions, steel quantities and rod distributions were determined according to the regulations.

Finally, unsatisfactory results were obtained, since the structure does not comply with the permitted values in terms of vibration period, floor drift and torsion. In addition, it was determined that some beam and column elements do not have the necessary characteristics to resist the load combinations established in the NEC.

Keywords: structural elements, seismic-resistant design, single-family house, reinforced concrete, steel amount, structural evaluation.

CONTENIDOS

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN | 1 |
| ABSTRACT | 2 |
| CONTENIDOS | 3 |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | 5 |
| ÍNDICE DE CUADROS | 5 |
| ÍNDICE DE ANEXOS | 5 |
| INTRODUCCIÓN | 6 |
| 1. GENERALIDADES DEL OBJETO DE ESTUDIO | 7 |
| 1.1 Definición y contextualización del objeto de estudio | 7 |
| 1.1.1 Ubicación..... | 7 |
| 1.2 Hechos de interés | 8 |
| 1.3 Objetivos de la investigación | 9 |
| 1.3.1 Objetivo General. | 9 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos..... | 9 |
| 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICO-EPISTEMOLÓGICA DEL ESTUDIO | 10 |
| 2.1 Descripción del enfoque epistemológico de referencia | 10 |
| 2.2 Bases teóricas de la investigación | 10 |
| 2.2.1 Terremoto..... | 10 |
| 2.2.2 Relación amenaza - vulnerabilidad - riesgo. | 11 |
| 2.2.3 Hormigón armado..... | 11 |
| 2.2.4 Cargas. | 12 |
| 2.2.5 Construcción sismorresistente..... | 12 |
| 2.2.6 Elementos estructurales de una vivienda..... | 12 |
| 2.2.6.1 Evaluación estructural..... | 12 |
| 2.2.7 Norma Ecuatoriana de Construcción..... | 13 |
| 2.2.8 Reforzamiento estructural..... | 13 |
| 2.2.9 Muros estructurales..... | 13 |

| | |
|--|-----------|
| 3. PROCESO METODOLÓGICO | 14 |
| 3.1 Sistema estructural..... | 14 |
| 3.2 Medidas de elementos estructurales..... | 14 |
| 3.3 Determinación de Cargas | 15 |
| 3.3.1 Carga Muerta..... | 15 |
| 3.3.2 Carga Viva..... | 15 |
| 3.4 Combos de diseño | 16 |
| 3.5 Espectro de diseño | 16 |
| 3.6 Cálculo y modelación de la estructura..... | 17 |
| 3.7 Período de vibración | 17 |
| 3.7.1 Método 1: Norma..... | 17 |
| 3.7.2 Método 2: Software..... | 18 |
| 3.8 Cortante basal | 18 |
| 3.9 Participación de la masa..... | 19 |
| 3.10 Torsión | 19 |
| 3.11 Derivas de piso..... | 19 |
| 4. RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN..... | 21 |
| 4.1 Análisis de los elementos estructurales de la vivienda..... | 21 |
| 4.1.1 Elementos losa..... | 21 |
| 4.1.2 Elementos viga..... | 21 |
| 4.1.3 Elementos columna..... | 22 |
| 4.1.4 Elementos zapata..... | 22 |
| 5. CONCLUSIONES | 23 |
| 6. RECOMENDACIONES | 24 |
| BIBLIOGRAFÍA | 25 |
| ANEXOS..... | 28 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|---|
| Ilustración 1. Ubicación de la vivienda | 8 |
|---|---|

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Secciones de elementos estructurales | 14 |
| Cuadro 2. Resumen de carga muerta distribuida | 15 |
| Cuadro 3. Resumen de carga viva distribuida | 15 |
| Cuadro 4. Combinaciones de cargas | 16 |
| Cuadro 5. Comprobación del periodo de la estructura | 18 |
| Cuadro 6. Ratio de participación de la masa modal | 19 |
| Cuadro 7. Deriva máxima inelástica..... | 20 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| ANEXO A. PLANO ARQUITECTÓNICO | 28 |
| ANEXO B. VISITA Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN EN LA VIVIENDA | 30 |
| ANEXO C. DETALLES DE LOSA Y ZAPATA | 31 |
| ANEXO D. PESOS DE MATERIALES | 32 |
| ANEXO E. CARGA MUERTA..... | 33 |
| ANEXO F. ESPECTRO DE DISEÑO | 35 |
| ANEXO G. VISTA 3D DE ESTRUCTURA MODELADA..... | 37 |
| ANEXO H. CORTANTE BASAL SEGÚN LA NORMA NEC-SE-DS | 38 |
| ANEXO I. CORTANTE BASAL SEGÚN ANÁLISIS DINÁMICO..... | 39 |
| ANEXO J. RATIO DE DERIVAS MÁXIMAS Y PROMEDIO DE PLANTAS | 40 |
| ANEXO K. GRÁFICO DE DERIVAS SEGÚN ANÁLISIS DINÁMICO | 41 |
| ANEXO L. ANÁLISIS DE ELEMENTOS VIGA..... | 42 |
| ANEXO M. ANÁLISIS DE ELEMENTOS COLUMNA..... | 44 |
| ANEXO N. ANÁLISIS DE ELEMENTOS ZAPATA | 45 |
| ANEXO O. REACCIONES EN LA BASE PARA CARGAS NO MAYORADAS..... | 46 |

INTRODUCCIÓN

La construcción privada en Ecuador es realizada por maestros albañiles, ingenieros civiles y empresas constructoras. Los involucrados en estos procesos no siempre son conscientes de la responsabilidad que tienen cuando realizan estructuras que serán utilizadas por personas. El resultado son construcciones que a veces no cumplen con las normas técnicas o requerimientos mínimos establecidos.

Los sismos o terremotos son el fenómeno natural que más afecta al Ecuador, poniendo en peligro la vida de millones de personas. Como el país se ubica en el Cinturón de Fuego del Pacífico, existe una alta actividad sísmica, uno de los mayores sismos de la historia ocurrió en 1906, con magnitud de 8.8 en la escala de Richter [1].

En el país no existe un manual o procedimiento obligatorio establecido que determine los pasos a seguir y los requisitos a cumplir en los procesos de contratación privada, además, tampoco hay un control estricto por parte de las autoridades y gobiernos municipales respecto de las construcciones de viviendas unifamiliares. Esto provoca que en ocasiones se construyan viviendas que no cumplen con los requisitos establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, estas deficiencias no siempre son detectadas por no tratarse de construcciones estatales.

El presente trabajo consiste en la evaluación, desde el punto de vista estructural, de una vivienda de dos pisos, construida en hormigón armado y ubicada en la ciudad de Machala, donde se determinará si cumple o no con las especificaciones técnicas y requisitos mínimos establecidos por la NEC.

1. GENERALIDADES DEL OBJETO DE ESTUDIO

1.1 Definición y contextualización del objeto de estudio

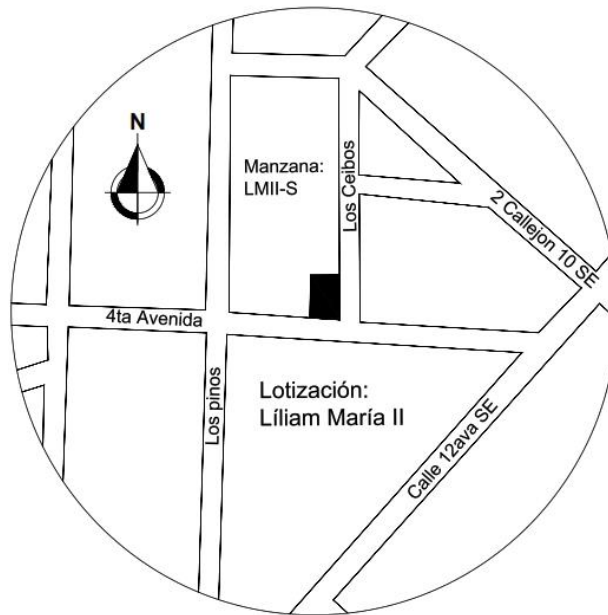
Los derrumbes de viviendas es un tema preocupantemente común en la actualidad. Existen variadas causas, que de forma independiente o combinadas, pueden provocar el desplome parcial o completo de una edificación, algunos ejemplos de estas causas son construcciones deterioradas, ubicaciones inadecuadas, suelos que no son lo suficientemente resistentes para la carga aplicada, mala calidad de los materiales, incorrectas dosificaciones, uso de mano de obra no cualificada o cálculos mal realizados.

La vivienda estudiada en esta investigación está construida en la Ciudad de Machala, posee planta baja y planta alta. Se construyó en un terreno llano, con el método tradicional y común de la zona, que es el sistema constructivo puntual de columnas y vigas de hormigón armado. Los elementos estructurales analizados son: losas, vigas, columnas y cimentaciones. Los planos se realizaron en agosto de 2016, un año y medio después de que entrara en vigencia la normativa actual, NEC; mientras que la construcción inició en mayo de 2017.

La NEC constituye una actualización del Código Ecuatoriano de la Construcción y está respaldada por estudios de sismicidad realizados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Esta normativa resume los reglamentos obligatorios para todo el territorio nacional, los cuales establecen los parámetros de calidad y seguridad que deben ser cumplidos por la construcción de obras civiles [2].

1.1.1 Ubicación. La vivienda objeto de estudio de este proyecto, se encuentra construida en la calle 4ta Avenida, barrio Lilian María, de la ciudad de Machala, Provincia de El Oro. Cuenta con un área de terreno de 227.86 m², y un área constructiva de 249.45 m² comprendida entre planta baja y planta alta. Se encuentra en una zona urbana, contando con todos los servicios básicos como electricidad, agua potable y alcantarillado sanitario.

Ilustración 1. Ubicación de la vivienda



Fuente: Elaborado por el autor

1.2 Hechos de interés

Una característica del hormigón que tiende a confundir a las personas, dando una falsa sensación de seguridad, es la facilidad que tienen los elementos contruidos con este material para soportar cargas verticales. Esto se logra entender fácilmente con el siguiente ejemplo: se pueden colocar 10 bloques apilados unos encima del otro, perfectamente alineados sin que la estructura colapse, pero no significa que sea segura; si se aplica una pequeña carga horizontal a la estructura, esta colapsará. La estructura colapsaría igualmente si se coloca una carga excéntrica en dirección de la gravedad, algo que puede ocurrir en columnas por errores constructivos o de cálculos.

Una estructura diseñada correctamente según la NEC, seguirá una filosofía sismorresistente, la misma que según Hermel Flores, Presidente de la Cámara de la Industria de la Construcción queda definida como: “comportamiento adecuado de los materiales y las estructuras ante un movimiento sísmico. Los edificios deben ser capaces de deformarse en ese movimiento sin llegar a colapsar. Que logren disipar la energía que produce el sismo sin destruirse. El objetivo de desempeño de esta filosofía busca evitar la pérdida de vidas a través de impedir el colapso de la estructura, de manera que se satisfaga los criterios de diseño de estados límites en esfuerzos de compresión, tracción, cortante, torsión o flexión” [2].

Se debe tener presente que la filosofía de diseño sismorresistente no contempla que luego del sismo de diseño, las estructuras sigan siendo funcionales. Es decir, este criterio sólo exige que una estructura permanezca sin colapsar el tiempo suficiente para que las personas puedan salir de la misma sin resultar perjudicadas, luego del sismo la edificación deberá, en muchos casos, ser demolida ya que no continuará cumpliendo con los requisitos de seguridad.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General. Analizar el diseño estructural de una vivienda de dos plantas construida en hormigón armado ubicada en la ciudad de Machala, comparando el resultado con las normas y especificaciones técnicas de la normativa de construcción vigente en el Ecuador para identificar si cumple con esta.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Identificar las características físicas de la estructura de una vivienda de dos plantas construida en hormigón armado ubicada en la ciudad de Machala.
- Comparar el diseño estructural de la vivienda y lo establecido por las normas NEC-SE-HM, NEC-SE-DS y NEC-SE-GC.
- Determinar el cumplimiento de las normas y especificaciones técnicas de construcción por la estructura de la vivienda objeto de estudio.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICO-EPISTEMOLÓGICA DEL ESTUDIO

2.1 Descripción del enfoque epistemológico de referencia

El presente proyecto está fundamentado a través la utilización de la normativa ecuatoriana vigente, NEC, para realizar un análisis y evaluación de los elementos estructurales de la vivienda objeto de estudio, se tomaron en cuenta todos los aspectos importantes como los que se presentan en el siguiente subcapítulo. De esta forma se busca determinar si la vivienda cumple con la mencionada norma.

2.2 Bases teóricas de la investigación

2.2.1 Terremoto. Movimiento repentino de una o varias partes de la Tierra en el que se libera gran cantidad de energía. Las placas tectónicas se mueven constantemente, provocando fricciones entre ellas, por lo que estos movimientos, aunque sean imperceptibles para el ser humano la mayor parte del tiempo, nunca se detienen. La fricción entre placas provoca tensiones, cuando esta tensión es demasiado grande se produce un movimiento de desprendimiento de las placas en el que se libera toda la energía que ha sido acumulada y se transmite hacia otros lugares en forma de ondas sísmicas [3].

2.2.1.1 Intensidad sísmica. “Escala subjetiva que mide los efectos de un sismo sobre las personas, las edificaciones y la naturaleza” [4]. Este parámetro dependerá de la distancia desde el epicentro hasta donde se determine, y de las interacciones entre las ondas sísmicas y el tipo de suelo que encuentren en su recorrido.

2.2.1.2 Magnitud sísmica. “Escala que mide la energía liberada en el foco sísmico en forma de ondas sísmicas. Se mide en la escala de Richter donde la magnitud de un sismo es determinada con base en la amplitud de la mayor onda registrada en el sismograma” [4].

2.2.2 Relación amenaza - vulnerabilidad - riesgo.

2.2.2.1 *Amenaza sísmica.* “Probabilidad de que ocurra un evento en espacio y tiempo determinado, con suficiente intensidad como para producir daños” [5].

2.2.2.2 *Vulnerabilidad sísmica.* “Grado de daño que sufre una estructura, ocasionado por un sismo de determinadas características. (...) es una propiedad intrínseca de cada estructura e independiente de la peligrosidad del emplazamiento” [6].

2.2.2.3 *Riesgo sísmico.* “(...) es el caso de que se produzca el evento sísmico más severo, de modo que lo que se evalúa realmente es un escenario de daños para este evento” [7]. Se puede entender el término riesgo sísmico como la posibilidad de que se produzcan daños con la ocurrencia de un sismo en un lugar y una fecha determinadas [4].

2.2.3 Hormigón armado.

2.2.3.1 *Cemento Portland.* “Cemento hidráulico producido por pulverización de clinker, consistente esencialmente de silicatos cálcicos hidráulicos cristalinos y que usualmente contiene uno o más de los siguientes elementos: agua, sulfato de calcio hasta 5%, piedra caliza y adiciones de proceso” [8].

2.2.3.2 *Hormigón simple.* También conocido simplemente como concreto, es una mezcla de cemento, agua y otros agregados; es utilizado en elementos constructivos que no requieren la utilización de armadura metálica. Se emplea en algunos rubros como el replantillo o mortero.

2.2.3.3 *Hormigón Armado.* “A diferencia del hormigón simple este dispondrá necesariamente de una armadura formada por varillas corrugadas de acero, la cual se coloca en los encofrados antes del hormigonado. Las armaduras del sistema, denominadas pasivas, se encargan de suplir la deficiente resistencia a tracción del hormigón” [9].

2.2.3.4 Propiedades mecánicas del hormigón armado. La resistencia a la compresión es la capacidad de los elementos de hormigón de soportar cargas externas que tienden a acortarlos. Es la propiedad principal del hormigón que se aprovecha en la construcción, según la sección 3.3.1.a de la NEC-SE-HM, el valor mínimo para el hormigón a utilizar es $f'c = 21 \text{ MPa}$ o 214.14 kg/cm^2 [10].

2.2.4 Cargas. Las cargas son las fuerzas que serán aplicadas a la estructura durante toda su vida útil. Existen varias clasificaciones de como: puntual o distribuida; viva o muerta; sísmica o no sísmica; en obra o de servicio; variables o permanentes.

2.2.4.1 Combos de diseño. “Son combinaciones de cargas que sirven para investigar cada estado límite de resistencia. Las estructuras, componentes y cimentaciones, deberán ser diseñadas de tal manera que la resistencia de diseño iguale o exceda los efectos de las cargas incrementadas” [11].

2.2.5 Construcción sismorresistente. “Edificación que ha sido diseñada y calculada para que presente un comportamiento adecuado de los materiales y las estructuras ante un movimiento sísmico. Debe ser capaz de deformarse en ese movimiento sin llegar a colapsar y disipar la energía que produce el sismo sin destruirse” [2].

2.2.6 Elementos estructurales de una vivienda. Son aquellos elementos constructivos cuya función principal es dar soporte y resistencia a las edificaciones, estos deberán ser determinados, ubicados y calculados de forma tal que soporten todos los tipos de cargas o solicitaciones que afectarán a la edificación. Los más comunes son: vigas, columnas, losas y cimentaciones. “Una estructura, por otro parte, es un conjunto de elementos que se interconectan para cumplir funciones como: salvar vanos, contener sólidos o líquidos, soportar empuje de tierras, etc.; las cualidades de una buena estructura deben ser: seguridad y economía” [12].

2.2.6.1 Evaluación estructural. “Realización de ensayos, mediciones, inspecciones y hasta en muchos casos un recalculado del edificio o construcción” [13]. Algunos de los pasos que se podrían utilizar para la realización de una evaluación estructural son: inspección de campo, donde se realiza una evaluación visual y se localizan los problemas constructivos presentes; lo siguiente es verificar los planos, donde se contrasta la información de los planos estructurales con la construcción existente;

finalmente se realizan estudios de campo, estos podrían ser de mecánica de suelos, de resistencia del concreto o de cuantías de acero [14].

2.2.7 Norma Ecuatoriana de Construcción. Esta normativa resume los reglamentos obligatorios para todo el territorio nacional, los cuales establecen los parámetros de calidad y seguridad que deben ser cumplidos por la construcción de obras civiles [2].

2.2.8 Reforzamiento estructural. Aumento de secciones o adición de materiales nuevos que aumenten la capacidad resistente de los elementos estructurales y de la estructura en su conjunto [15]. Algunos elementos que pueden ser agregados son columnas o muros estructurales.

2.2.9 Muros estructurales. “Los muros estructurales constituyen elementos de hormigón armado con una dimensión en altura de gran magnitud, ancho intermedio y espesor pequeño” [16]. “El objetivo de incluir muros en una estructura de pórticos es cambiar su comportamiento, como se notaría en la reducción sustancial de las derivas de piso” [17]. Además de la reducción de la deriva, también se puede lograr reducir los efectos de torsión y el periodo de vibración de la estructura.

3. PROCESO METODOLÓGICO

3.1 Sistema estructural

La vivienda analizada está construida en hormigón armado y se utilizó un sistema de pórticos en su estructura. Las cargas vivas y muertas verticales son recibidas por la losa alivianada que las distribuye hacia las vigas, estas las transmiten a las columnas que a su vez las transfieren hacia la cimentación superficial, que finalmente las reparte en el suelo. El sistema se distribuye en tres ejes en el sentido x (oeste – este) y cinco en el sentido y (norte – sur). (Ver Anexo A)

Durante la construcción se realizó una visita a la obra, donde se levantó información necesaria para verificar que el proceso constructivo se realizó según el diseño estructural y arquitectónico establecido en los planos. (Ver Anexo B)

3.2 Medidas de elementos estructurales

En el Cuadro 1 se presentan las secciones de los elementos analizados. Los datos fueron extraídos de los planos estructurales.

Cuadro 1. Secciones de elementos estructurales

| Elemento | Ubicación | Detalle | Medidas (cm) |
|----------|------------------------------|--|---|
| Zapata | Cimentación (Ver Anexo C) | lado 1 x lado 2 x altura 1 x altura 2 | 160 x 160 x 30 x 50 90 x 140 x 30 x 50 |
| Columna | Planta baja | lado 1 x lado 2 | 25 x 25; 30 x 30 |
| | Planta alta | | 20 x 20; 25 x 30 |
| Viga | Planta baja | base x altura | 30 x 20 |
| | Planta alta | | 25 x 15 |
| Losa | Entrepiso | espesor | 20 |
| | Cubierta | espesor | 15 |

Fuente: Elaborado por el autor

3.3 Determinación de Cargas

3.3.1 *Carga Muerta*. Para la determinación de la carga muerta en la estructura se consideraron todos aquellos elementos que se encuentran permanentemente en la vivienda: paredes, acabados, cerámica, ventanas, puertas y equipos sanitarios. Los valores de los pesos específicos de los materiales fueron obtenidos de la sección 4.1 de la norma NEC-SE-CG y de catálogos de empresas nacionales, ya que en los planos no se especifica esta información. En el Cuadro 2 se resume la carga muerta distribuida. (Ver Anexos D y E)

Cuadro 2. Resumen de carga muerta distribuida

| Área | Carga muerta (kN/m ²) |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| Planta baja | 5.32 |
| Escalera | 6.00 |
| Planta alta | 7.37 |
| Cubierta | 2.53 |
| Fuente: Elaborado por el autor | |

3.3.2 *Carga Viva*. Las cargas variables “dependen de la ocupación a la que está destinada la edificación y están conformadas por los pesos de personas, muebles y equipos electrodomésticos” [11]. En el Cuadro 3 se resumen los valores de la carga viva distribuida que fueron extraídos de la sección 4.2.1 de la norma NEC-SE-CG.

Cuadro 3. Resumen de carga viva distribuida

| Área | Carga viva (kN/m ²) |
|----------------------------------|---------------------------------|
| Planta baja | 2 |
| Escalera | 2 |
| Planta alta | 2 |
| Cubierta | 0.7 |
| Fuente: Adaptado de la NEC-SE-CG | |

3.4 Combos de diseño

“Las estructuras, componentes y cimentaciones, deberán ser diseñadas de tal manera que la resistencia de diseño iguale o exceda los efectos de las cargas incrementadas” [11]. Debido a la ubicación geográfica de la vivienda, las cargas por lluvia, viento y granizo no fueron consideradas. Las combinaciones se resumieron de la sección 3.4.3.a de la norma NEC-SE-CG. En el Cuadro 4 se resumen los combos de diseño o combinaciones de cargas utilizadas para la evaluación de la estructura. Las letras D, L y E representan la carga muerta, viva y sismo respectivamente.

Cuadro 4. Combinaciones de cargas

| Número | Combinación |
|--------|-----------------------|
| 1 | 1.4 D |
| 2 | 1.2 D + 1.6 L + 0.5 E |
| 3 | 1.2 D + 1.6 E + L |
| 4 | 1.2 D + L + 0.5 E |
| 5 | 1.2 D + E + L |
| 6 | 0.9 D + E |

Fuente: Adaptado de la NEC-SE-CG

3.5 Espectro de diseño

El espectro de diseño se calculó según lo establecido en la sección 3.3 de la norma NEC-SE-DS. La norma también indica que este “puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura” [18]. La vivienda objeto de estudio se ubica en la zona sísmica V, caracterizada por un peligro sísmico alto y un factor de zona igual a 0.4 g. El tipo de perfil del suelo se ha seleccionado como E, en base a un estudio realizado por docentes de la Universidad Técnica de Machala [19]. (Ver Anexo F)

3.6 Cálculo y modelación de la estructura

Para la realización de los cálculos estructurales se ha seleccionado el software ETABS, que pertenece a la compañía de software estructural e ingeniería sísmica Computers and Structures, Inc. (CSI). El programa ofrece una única interfaz amigable al usuario en la que se puede realizar el modelado, el análisis, el diseño y los informes [20]. Los datos de los elementos modelados, así como la información necesaria para la determinación de la carga muerta han sido extraídos de los planos de la vivienda y cuantificados a través de una hoja de cálculo, mientras que la carga viva y combinaciones de diseño se obtuvieron de la norma NEC-SE-CG. (Ver Anexo G)

3.7 Período de vibración

Según la norma NEC-SE-DS, el período de vibración aproximado de la estructura se refiere al “tiempo que demora la estructura en completar una oscilación” [18]. Este se determinó según lo establecido en la sección 6.3.3.a de dicha norma y se comparó con el obtenido en el software de cálculo. El Cuadro 5 muestra los resultados.

3.7.1 Método 1: Norma. Para la determinación del periodo aproximado de la estructura se utilizó la expresión 3.3.3.a de la norma NEC-SE-DS: $T = Ct * h_n^\alpha$.

Donde:

T : Período de vibración

Ct : Coeficiente que depende del tipo de edificio

h_n : Altura total de la vivienda

α : Impedancia del semi espacio

El coeficiente Ct para estructuras de hormigón armado sin muros estructurales corresponde el valor de 0.055. La altura máxima del edificio es de 8.25 m. Mientras que el término α se refiere a la impedancia del semi espacio, es igual a 0.9. El valor obtenido es de 0.367 segundos.

3.7.2 *Método 2: Software*. La sección 6.3.3.b de la norma NEC-SE-DS indica que el período “puede ser calculado utilizando las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos resistentes” [18]. Además, establece que este periodo “calculado según el Método 2 no debe ser mayor en un 30% al valor del calculado con el Método 1” [18].

En el análisis realizado en el software ETABS se obtuvo un periodo igual a 0.51 segundos, incumpliendo lo establecido en la norma. En el Cuadro 5 se resume el análisis.

Cuadro 5. Comprobación del periodo de la estructura

| Descripción | Valor (segundos) |
|--|------------------|
| Periodo obtenido en Método 1: Norma | 0.367 |
| Periodo obtenido en método 1 incrementado un 30% | 0.478 |
| Periodo obtenido en método 2: Software | 0.510 |
| Fuente: Elaborado por el autor | |

3.8 Cortante basal

Se define por cortante basal a la “fuerza total de diseño por cargas laterales, aplicada en la base de la estructura, resultado de la acción del sismo de diseño con o sin reducción” [18].

Para la determinación del cortante basal de diseño se determinó la carga sísmica reactiva, que según la sección 6.1.7 de la norma NEC-SE-DS, para casos generales, le corresponde la carga muerta total de la estructura [18]. Es decir, incluye el peso de los elementos estructurales y no estructurales. El cortante basal obtenido con la expresión 6.3.2 fue de 172.82 kN. (Ver Anexo H)

La sección 6.2.2.b de la norma NEC-SE-DS indica que “el valor del cortante dinámico total en el base, obtenido por cualquier método de análisis dinámico, no debe ser menor al 80% del cortante basal obtenido por el método estático” [18].

El cortante basal obtenido en el análisis fue de 263.30 kN (Ver Anexo I), mayor al obtenido a nivel de cargas últimas, por lo que no fue necesario la realización de correcciones, ya que se cumplió con el requerimiento.

3.9 Participación de la masa

La sección 6.2.2.e de la norma NEC-SE-DS establece que “se deben considerar en el análisis todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas” [18]. En el presente análisis se utilizaron 8 modos de vibración, involucrando más del 90% de la masa de la estructura, por lo que se cumple con el requerimiento. En el Cuadro 6 se muestra la ratio de participación de la masa modal de la estructura obtenida en el software de análisis.

Cuadro 6. Ratio de participación de la masa modal

| Caso | Tipo de ítem | Ítem | Estático (%) | Dinámico (%) |
|-------|--------------|------|--------------|--------------|
| Modal | Aceleración | UX | 99.82 | 97.75 |
| Modal | Aceleración | UY | 99.55 | 95.71 |

Fuente: Elaborado por el autor

3.10 Torsión

La sección 5.2.3 de la norma NEC-SE-DS indica que “existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura 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” [18]. Con el análisis dinámico se determinó que la estructura de la vivienda no cumple con el requisito, ya que se sobrepasa este valor. (Ver Anexo J)

3.11 Derivas de piso

Se define por deriva al “desplazamiento lateral relativo de un piso con respecto al piso consecutivo, medido en dos puntos ubicados en la misma línea vertical de la estructura” [18]. La sección 4.2.2 de la norma NEC-SE-DS indica que, para estructuras de hormigón armado el límite máximo permisible es de 0.02. En la sección 6.3.9 se establece que la deriva máxima de cada piso debe calcularse según la expresión: $\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$.

Donde:

Δ_M : Deriva máxima inelástica

R : Factor de reducción de resistencia

Δ_E : Desplazamiento calculado al aplicar las fuerzas laterales

Utilizando un factor R de 3, y con los datos obtenidos del análisis se determinó que la estructura no cumple con el requisito establecido en la norma, ya que se sobrepasa el valor máximo permisible de 0.02 para las derivas en ambos ejes. El Cuadro 7 muestra el resultado de las derivas máximas inelásticas. (Ver Anexo K)

Cuadro 7. Deriva máxima inelástica

| Eje | Δ_E | Δ_M |
|-----|------------|------------|
| X | 0.0092 | 0.0207 |
| Y | 0.0094 | 0.0212 |

Fuente: Elaborado por el autor

4. RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Análisis de los elementos estructurales de la vivienda

Con la realización de la visita a la obra se verificó que el proceso constructivo se realizó según el diseño estructural. La información necesaria para la evaluación como dimensiones, cuantías de acero o la distribución de los refuerzos longitudinales y transversales, fue extraída de los planos.

4.1.1 Elementos losa. La losa utilizada en la vivienda es del tipo alivianada, nervada en dos direcciones, (Ver Anexo C), no tiene macizos, pero si cuenta con vigas entre los apoyos en todos los lados, en la planta baja tiene una altura de 20 cm mientras que en la cubierta es de 15 cm. Para su análisis se realizaron cálculos manuales. Las cargas que se incluyeron fueron: peso propio, carga muerta y carga viva. Para el análisis se seleccionó al paño de losa con mayores luces entre vigas.

Se determinó que la losa de la planta alta no cuenta con el acero por flexión adecuado, ya que no se cumple con la cuantía mínima establecida en la sección 8.7.5.6.3.1 de la norma ACI-318S-14 [21].

4.1.2 Elementos viga. Para el análisis de las vigas se utilizaron los resultados de momento flexionante y fuerza cortante obtenidos en el software ETABS. Los elementos se agruparon según longitud, nivel y refuerzo longitudinal utilizado. Luego fue seleccionado de cada grupo el elemento crítico, es decir, aquel con mayores solicitaciones por momento flexionante y fuerza cortante. Finalmente, con los datos del elemento crítico se procedió al análisis.

La estructura cuenta con vigas de 30 x 20 cm en la planta alta y 25 x 15 cm en la cubierta, en ambos casos se determinó que el diseño es inadecuado, a continuación, se fundamenta esta afirmación:

- Las vigas de cubierta no cuentan con peralte mínimo recomendado en la sección 9.3.1.1 de la norma ACI-318S-14.
- La separación de estribos en todas las vigas es mayor a la permitida en la sección 4.2.8.b de la norma NEC-SE-HM. (Ver Anexo L)

- En algunos elementos de la planta alta no se cuenta con el área de acero longitudinal apropiado, incluso, la cuantía de acero requerida es mayor a la máxima permitida en la sección 4.2.5 de la norma NEC-SE-HM. (Ver Anexo L)

4.1.3 Elementos columna. En el análisis de los elementos columna se utilizaron los valores de fuerza axial y momento flexionante obtenidos en el software ETABS. Las columnas se agruparon según sección transversal y refuerzo longitudinal. De cada grupo se seleccionó al elemento con mayores solicitaciones para el análisis.

Se determinó que las columnas de la planta alta no cumplen con la sección mínima establecida en la sección 4.3.1 de la norma NEC-SE-HM, además en ningún caso los estribos cumplen con lo requerido en la sección 4.3.4.b, ya que la separación de los mismos es mayor a la permitida. En el caso del refuerzo longitudinal, algunas columnas no cuentan con la cuantía de acero requerida. (Ver Anexo M)

4.1.4 Elementos zapata. La vivienda cuenta con dos tipos de zapatas superficiales, que son: central y de borde, de cada uno se analizó el elemento con mayores solicitaciones. Se utilizaron los valores de carga axial obtenidos del software ETABS, (Ver Anexo Ñ) al que se agregó la correspondiente carga debido a la planta baja según el área tributaria de cada columna, también fue agregado el peso del suelo encima de la cimentación y el peso de la propia zapata. Según lo establecido en la sección 13.3.1.1 del ACI-318S-14, el área mínima de la base de la cimentación se calculó a partir “de las fuerzas y momentos no mayorados transmitidos por la cimentación al suelo” [21].

Los datos del suelo se obtuvieron del proyecto “Geotecnia enfocada a cimentaciones de edificaciones de 3 pisos en la ciudad de Machala” [19], donde se determinó un peso específico de 15.68 kN/m^3 y una capacidad admisible de 294.58 kN/m^2 , y se aplicó un factor de seguridad de 1.5 conforme a lo establecido en la sección 6.2 de la norma NEC-SE-GC [22]. Se concluyó que la zapata de la vivienda cumple con los requerimientos de las cargas que soporta.

5. CONCLUSIONES

Con la información obtenida a través de los planos estructurales y arquitectónicos, además de una visita a la vivienda durante su construcción, se identificaron las características físicas de los elementos que conforman la estructura, así como aquellos no estructurales, lográndose cuantificar el peso que aportan a la estructura.

Con la aplicación de los procedimientos establecidos en las normas NEC-SE-HM, NEC-SE-CG, NEC-SE-DS y NEC-SE-GC se realizó el cálculo de cada elemento estructural y un análisis dinámico de toda la estructura, a través de la aplicación del software ETABS.

Con el análisis dinámico se determinó que la estructura no cumple con los lineamientos de la NEC, ya que los parámetros periodo, deriva de piso y torsión están por encima del rango permitido. Tampoco es satisfactorio el diseño de la losa de entrepiso, vigas y columnas, ya que muchos de estos elementos no poseen las dimensiones mínimas recomendadas o las cuantías de acero requeridas.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda que en los cálculos estructurales se utilicen las combinaciones de cargas establecidas en la NEC-SE-CG y se seleccione de estas a las que ofrezcan mayores solicitaciones a los elementos estructurales, así se garantiza un adecuado nivel de seguridad en el diseño.

El análisis demostró una configuración de vigas inadecuada, pues la base de estas es mayor a su altura. Con el objetivo de aumentar la inercia de las secciones, se recomienda que la altura de las vigas sea mayor o igual a su base.

Estructuras como la analizada no pueden ser diseñadas con la norma NEC-SE-Vivienda debido a que su altura de piso sobrepasa el límite para el cual se puede utilizar este capítulo. Es aconsejable el uso del capítulo de la NEC adecuado para cada diseño.

Se recomienda la realización de un reforzamiento estructural a las columnas y vigas. Esto puede ser realizado por medio de encamisados de hormigón armado, con perfiles metálicos o mediante la aplicación de fibra de carbono. También se puede implementar la construcción de muros estructurales, que se deben ubicar en las esquinas exteriores y opuestas con el objetivo de aumentar la rigidez lateral de la estructura. Se debe tener en cuenta, que cualquier adición que se haga a la vivienda, implicaría un aumento de su masa, y por tanto de la carga que transmite al suelo, por lo que se necesitaría, además, realizar un estudio de la cimentación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Martínez y R. Angulo, «Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca,» *Revista de Ingeniería Sísmica*, nº 94, pp. 1-26, 2016.
- [2] Gobierno de la República del Ecuador, «Plataforma Gubernamental de Desarrollo Social,» Quito - Ecuador, Preguntas y Respuestas 2015. [En línea]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/>. [Último acceso: 2022].
- [3] C. Trujillo, R. Ospina y H. Parra, «Los terremotos: una amenaza latente,» *Scientia Et Technica*, vol. XVI, pp. 303-308, 2010.
- [4] Instituto Geofísico, «Escuela Politécnica Nacional,» Ecuador, [En línea]. Available: <https://www.igepn.edu.ec/glosario>. [Último acceso: 2022].
- [5] Comisión Económica para América Latina y el Caribe, «CEPAL,» Naciones Unidas, 1948. [En línea]. Available: <https://www.cepal.org/es>. [Último acceso: 2022].
- [6] P. Arteaga, «Estudio de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y evaluación del índice de daño de una edificación perteneciente al patrimonio central edificado en la ciudad de Cuenca-Ecuador.,» *Universidad de Cuenca*, p. 189, 2017.
- [7] S. Iglesias, C. Irigaray y J. Chacón, «Análisis del riesgo sísmico en zonas urbanas mediante Sistemas de Información Geográfica,» *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, vol. 39, nº Universidad de Granada, pp. 147-166, 2006.
- [8] A. Delgado y C. Negrete, «Evaluación del uso de arcillas y puzolanas en la etapa de molienda de acabado para la fabricación de cemento Portland puzolánico tipo IP,» *Escuela de Ingeniería Química*, 2012.
- [9] J. López y L. Bañón, Apuntes de Hormigón Armado, Departamento de Ingeniería de la Construcción, Obras Públicas e Infraestructura Urbana: Universidad de Alicante, 2013.
- [10] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Norma Ecuatoriana de la Construcción: Estructuras de Hormigón Armado, Quito, 2015.

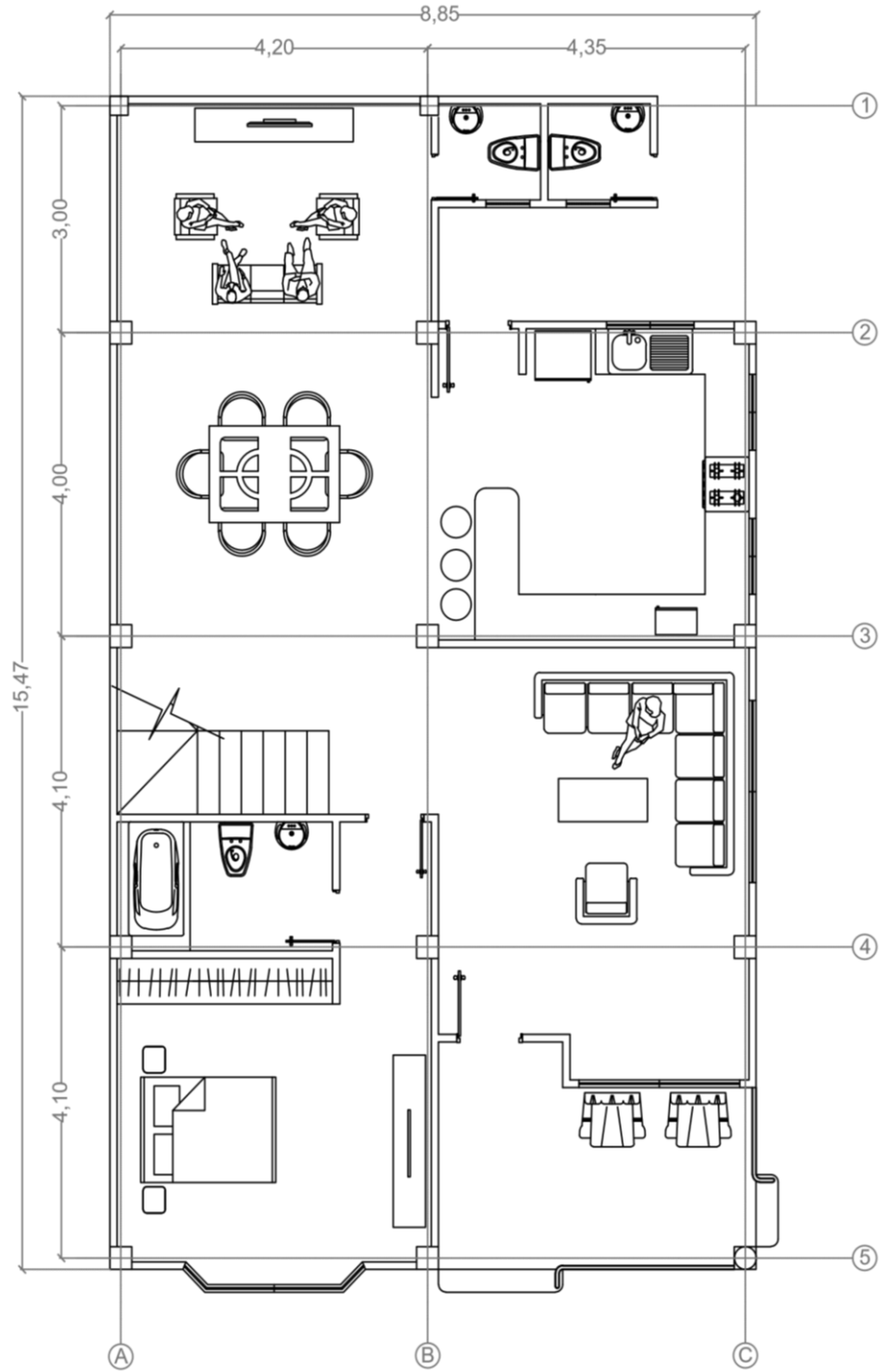
- [11] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Norma Ecuatoriana de la Construcción: Cargas no Sísmicas, Quito, 2015.
- [12] H. Rodas, Estructuras 1 Apuntes de Clase, Cuenca: Universidad de Cuenca, 2014.
- [13] G. Parrales, L. Moreno, D. Cobos, F. Ponce, B. Fienco, M. Terán , J. Peralta y B. Baque, Conservación de Edificaciones, Editorial Área de Innovación y Desarrollo: Tomo II. Ingeniería y Tecnología, 2018.
- [14] F. Dueñas, «Evaluación Estructural de acuerdo con las Normas NEC Y FEMA de la Estación de Bomberos del Cantón Jama Provincia de Manabí, Ecuador,» *Polo del Conocimiento*, vol. 5, nº 1, pp. 380-397, 2020.
- [15] M. Theurer, J. Rodriguez, Alcívar, López, Soriano y Villacis, «Las fibras de carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras,» *Revista Académica de la Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán*, vol. 20, nº 1, pp. 57-62, 2016.
- [16] S. Arteaga, J. Malavé y J. Olival, «Comparación del diseño de muros estructurales de concreto armado según FONDONORMA,» *Ingeniería UC*, vol. 24, nº 1, pp. 125-137, 2017.
- [17] L. Viera y P. Caiza, «Muros estructurales y diafragmas,» *Dominio de las Ciencias*, vol. 1, nº 2, pp. 863-877, 2017.
- [18] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Norma Ecuatoriana de la Construcción: Peligro sísmico, Quito, 2015.
- [19] P. Cabrera, J. Ordóñez, L. Carrión y R. Lima, «Geotecnia enfocada a cimentaciones de edificaciones de 3 pisos en la ciudad de Machala,» *Conference Proceedings*, vol. 4, nº 1, p. 18, 2020.
- [20] I. Computers and Structures, «Building, Analysis and Design,» [En línea]. Available: <https://www.csiamerica.com/products/etabs>. [Último acceso: Enero 2022].
- [21] American Concrete Institute, «ACI-318S-14,» de *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*, Farmington Hills, 2014.

[22] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, «Norma Ecuatoriana de la Construcción: Geotécnica y Cimentaciones,» Quito, 2015.

ANEXOS

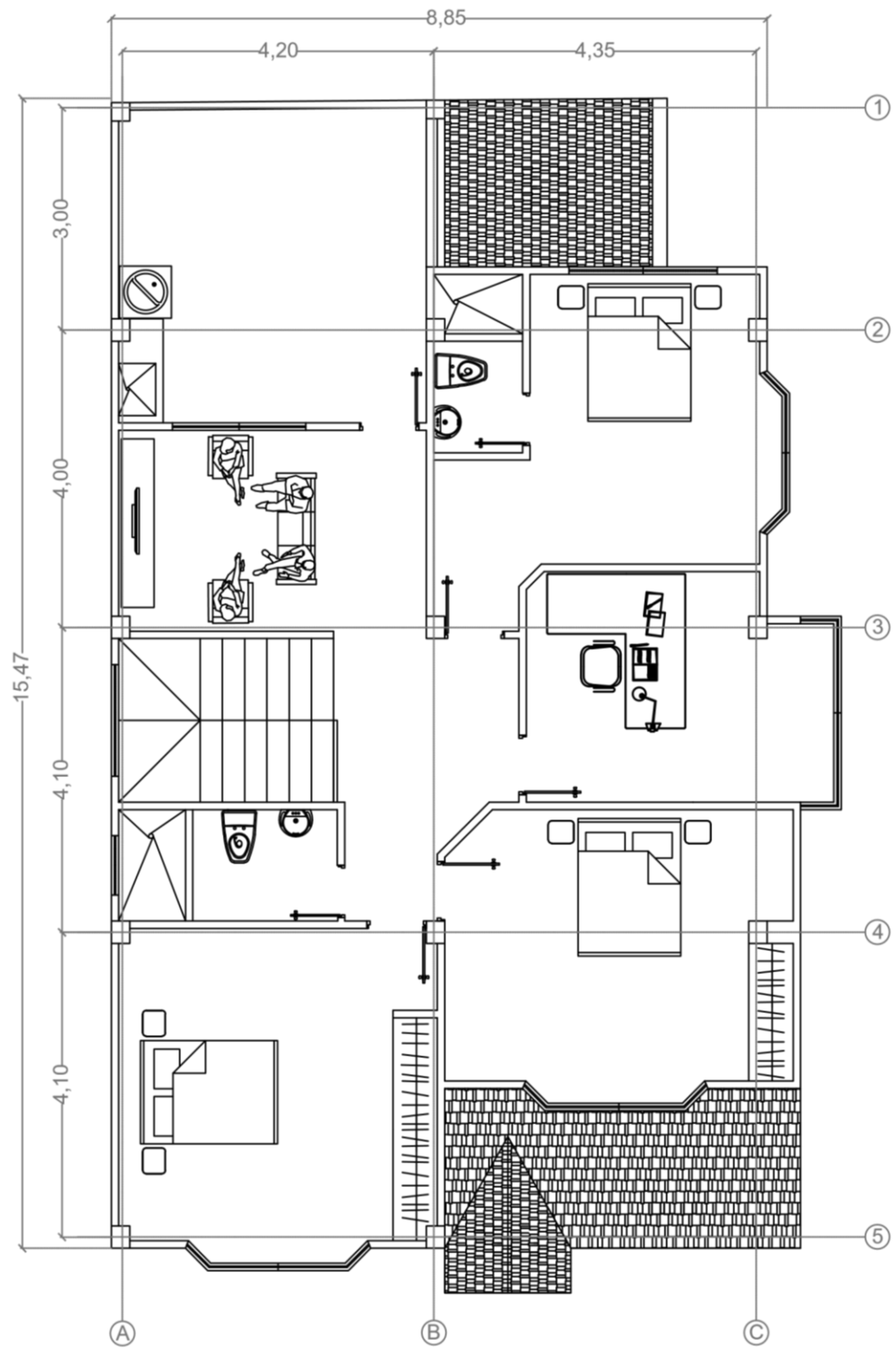
ANEXO A. PLANO ARQUITECTÓNICO

Planta Baja



Fuente: Adaptado de los planos de la vivienda

Planta alta



Fuente: Adaptado de los planos de la vivienda

ANEXO B. VISITA Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN EN LA VIVIENDA

Medición de elementos estructurales



Fuente: Elaborado por el autor

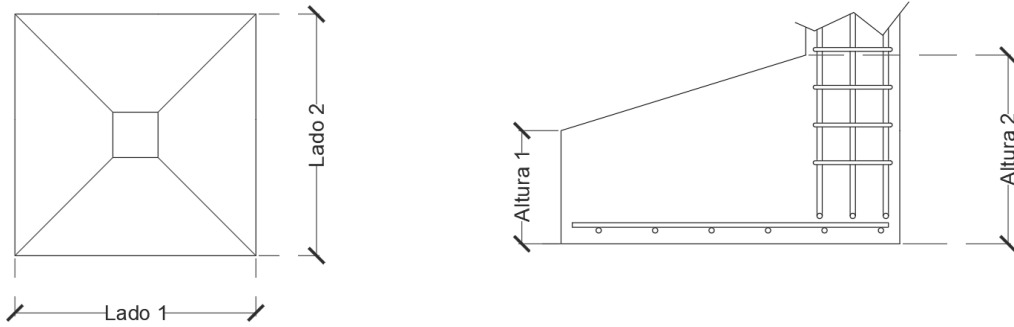
Levantamiento de información



Fuente: Elaborado por el autor

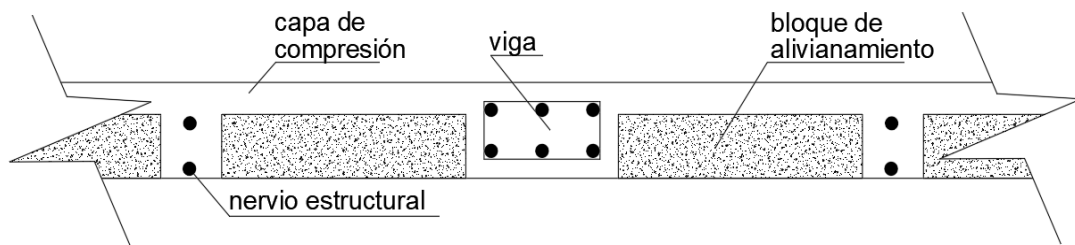
ANEXO C. DETALLES DE LOSA Y ZAPATA

Detalles de zapata



Fuente: Elaborado por el autor

Detalles de losa



Fuente: Elaborado por el autor

ANEXO D. PESOS DE MATERIALES

| Peso específico de materiales | | |
|--|-------|-------------------|
| Descripción | Valor | Unidad |
| Granito | 26.00 | kN/m ³ |
| Hormigón Simple | 22.00 | kN/m ³ |
| Hormigón Armado | 24.00 | kN/m ³ |
| Ladrillo artesanal | 16.00 | kN/m ³ |
| Mortero, Cemento compuesto y arena 1:3 a 1:5 | 20.00 | kN/m ³ |
| Vidrio plano | 26.00 | kN/m ³ |
| Baldosa de cerámica, con mortero de cemento: por cada cm, de espesor | 0.20 | kN/m ² |
| Contrapiso de hormigón simple, por cada cm, de espesor | 0.22 | kN/m ² |
| Fuente: Adaptado de la NEC-SE-CG | | |

| Peso específico de materiales según valores de catálogos comerciales | | |
|--|-------|-------------------|
| Descripción | Valor | Unidad |
| Melamina | 6.96 | kN/m ³ |
| Inodoro | 0.27 | kN/u |
| Lavado con pedestal | 0.09 | kN/u |
| Madera | 4.91 | kN/m ³ |
| Gypsum | 0.09 | kN/m ² |
| Fuente: Resumido de catálogos comerciales nacionales | | |

ANEXO E. CARGA MUERTA

| Peso de mampostería por m ² con ladrillo artesanal | | | |
|---|---------|-------|--------------------------------|
| Descripción | | Valor | Unidad |
| Dimensiones de ladrillos | Largo | 25.00 | cm |
| | Altura | 12.00 | cm |
| | Espesor | 7.00 | cm |
| Requerimiento | | 27.00 | u/m ² |
| Peso de ladrillos | | 0.91 | kN/m ² |
| Área de ladrillos | | 0.81 | m ² /m ² |
| Volumen mortero | | 0.013 | m ³ /m ² |
| Peso de mortero | | 0.27 | kN/m ² |
| Peso de mampostería | | 1.17 | kN/m ² |
| Fuente: Elaborado por el autor | | | |

| Carga muerta distribuida en planta baja | | | | | | |
|---|--------------|------------|------------------------|-------------|---------------------------|-----------------|
| Descripción | Longitud (m) | Altura (m) | Área (m ²) | Espesor (m) | Volumen (m ³) | Peso total (kN) |
| Mampostería | 68.09 | 2.86 | 169.67 | | | 199.05 |
| Enlucido de paredes | 136.18 | 2.84 | 349.08 | 0.015 | 5.24 | 104.72 |
| Cerámica en pared de baño | 8.40 | 1.50 | 12.60 | | | 5.04 |
| Cerámica en pared de baño | 9.45 | 0.50 | 4.73 | | | 1.89 |
| Granito en cocina | 0.60 | 7.45 | 4.47 | 0.20 | 0.89 | 23.24 |
| Melamina en cocina | | | 18.00 | 0.15 | 2.70 | 18.81 |
| Inodoro y lavado | | | | | | 0.36 |
| Cerámica en piso | | | 117.64 | | | 47.06 |
| Contrapiso | | | 117.64 | 0.10 | 11.76 | 258.81 |
| Puertas | | | 8.40 | 0.04 | | 1.65 |
| Ventanas | | | 16.67 | 0.004 | | 1.73 |
| Peso total | | | | | | 662.37 |
| Carga Distribuida (kN/m ²) | | | | | | 5.32 |
| Fuente: Elaborado por el autor | | | | | | |

| Carga muerta distribuida de escalera (tramos 1 y 2) | | | | | | |
|---|--------------|------------|-----------|------------------------|---------------------------|-----------------|
| Descripción | Longitud (m) | Altura (m) | Ancho (m) | Área (m ²) | Volumen (m ³) | Peso total (kN) |
| Losa | 3.00 | 0.15 | 1.10 | 0.45 | 0.50 | 11.88 |
| Cerámica y mortero | 3.84 | | 1.10 | 4.22 | | 1.69 |
| Recubrimiento inferior | 3.00 | 0.015 | 1.10 | 0.05 | 0.05 | 0.99 |
| Escalones | 2.40 | 0.18 | 1.10 | 0.22 | 0.24 | 5.23 |
| Peso total | | | | | | 19.79 |
| Carga Distribuida (kN/m ²) | | | | | | 5.99 |
| Fuente: Elaborado por el autor | | | | | | |

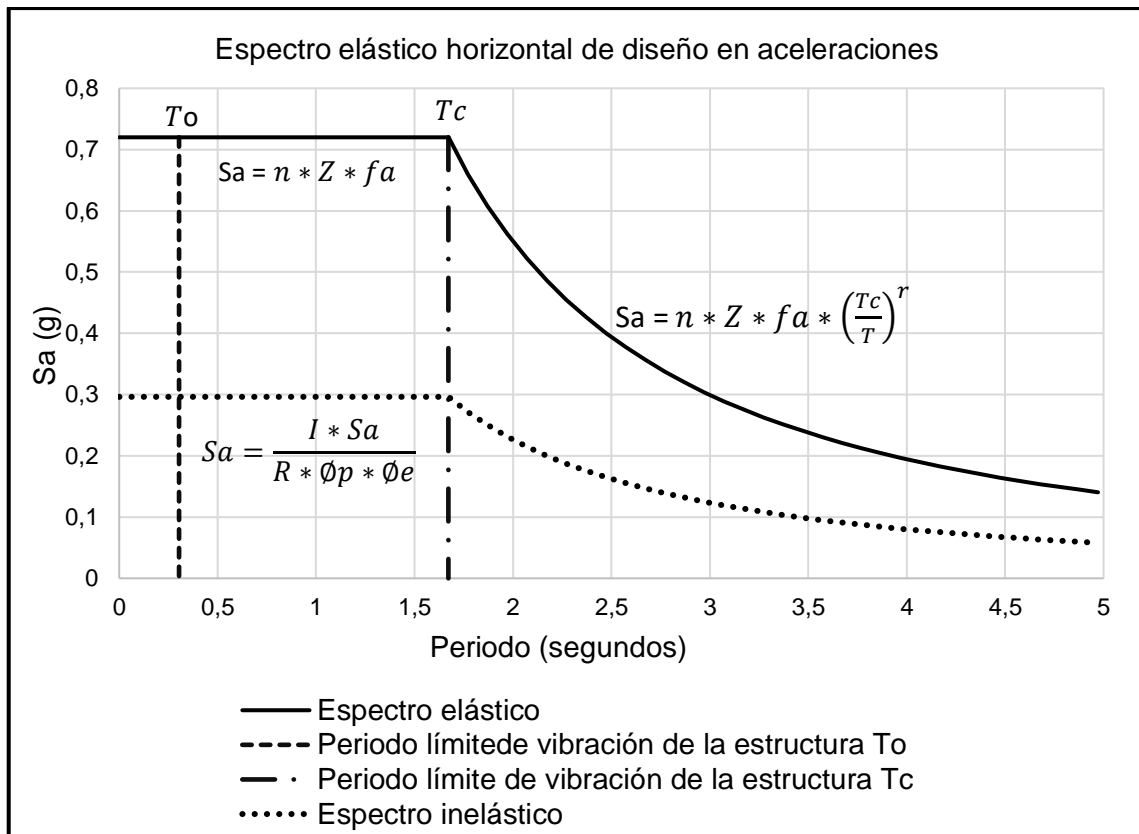
| Carga muerta distribuida en planta alta | | | | | | |
|---|--------------|------------|------------------------|-------------|---------------------------|-----------------|
| Descripción | Longitud (m) | Altura (m) | Área (m ²) | Espesor (m) | Volumen (m ³) | Peso total (kN) |
| Mampostería | 89.40 | 3.15 | 245.62 | | | 288.16 |
| Enlucido de paredes | 178.80 | 3.13 | 503.40 | 0.015 | 7.55 | 151.02 |
| Cerámica en pared de baño | 13.50 | 1.50 | 20.25 | | | 8.10 |
| Inodoro y lavado | | | | | | 0.73 |
| Cerámica y mortero en piso | | | 116.06 | | | 46.42 |
| Losa alivianada | | | 107.94 | | | 346.51 |
| Tumbado | | | 117.64 | | | 10.17 |
| Puertas | | | 10.80 | 0.04 | | 2.12 |
| Ventanas | | | 25.20 | 0.004 | | 2.62 |
| Peso total | | | | | | 855.84 |
| Carga Distribuida (kN/m ²) | | | | | | 7.37 |
| Fuente: Elaborado por el autor | | | | | | |

| Carga muerta distribuida en cubierta | | | | | | |
|--|--------------|------------|------------------------|-------------|---------------------------|-----------------|
| Descripción | Longitud (m) | Altura (m) | Área (m ²) | Espesor (m) | Volumen (m ³) | Peso total (kN) |
| Losa alivianada | | | 114.95 | | | 302.21 |
| Tumbado | | | 114.36 | | | 9.88 |
| Peso total | | | | | | 312.09 |
| Carga Distribuida (kN/m ²) | | | | | | 2.53 |
| Fuente: Elaborado por el autor | | | | | | |

ANEXO F. ESPECTRO DE DISEÑO

| Datos | | |
|--|----------|-------|
| Descripción | Símbolo | Valor |
| Altura de la vivienda | h_n | 8.25 |
| Zona Sísmica | | V |
| Factor de zona | Z | 0.4 |
| Tipo de perfil | | E |
| Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto | Fa | 1 |
| Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca | Fd | 1.6 |
| Comportamiento no lineal de los suelos | Fs | 1.9 |
| Razón entre la aceleración espectral | η | 1.8 |
| Factor usado en el espectro de diseño elástico | R | 1.5 |
| Coeficiente de importancia | I | 1 |
| Coeficiente que depende del tipo de edificio | Ct | 0.055 |
| Impedancia del semi espacio | α | 0.9 |
| Factor de reducción resistencia sísmica | R | 3 |
| Coeficiente de configuración en planta | Φ_p | 0.9 |
| Coeficiente de configuración en elevación | Φ_e | 0.9 |
| Fuente: Elaborado por el autor | | |

| Cálculos | | |
|---|--|-----------|
| Descripción | Ecuación | Resultado |
| Periodo de vibración (segundos) | $T = C_t * h_n^\alpha$ | 0.3674 |
| Periodo límite de vibración (segundos) | $T_0 = 0,1 * F_s * \left(\frac{F_d}{F_a}\right)$ | 0.3040 |
| Periodo límite de vibración (segundos) | $T_c = 0,55 * F_s * \left(\frac{F_d}{F_a}\right)$ | 1.6720 |
| Espectro de respuesta elástico (g) | $S_a = Z * f_a(1 + (n - 1) * \frac{T}{T_0})$ | 0.7868 |
| Espectro cuando $0 \leq T \leq T_c$ (g) | $S_a = n * z * F_a$ | 0.7200 |
| Espectro cuando $T > T_c$ (g) | $S_a = n * z * F_a * \left(\frac{T_c}{T}\right)^r$ | 6.9890 |
| Fuente: Elaborado por el autor | | |



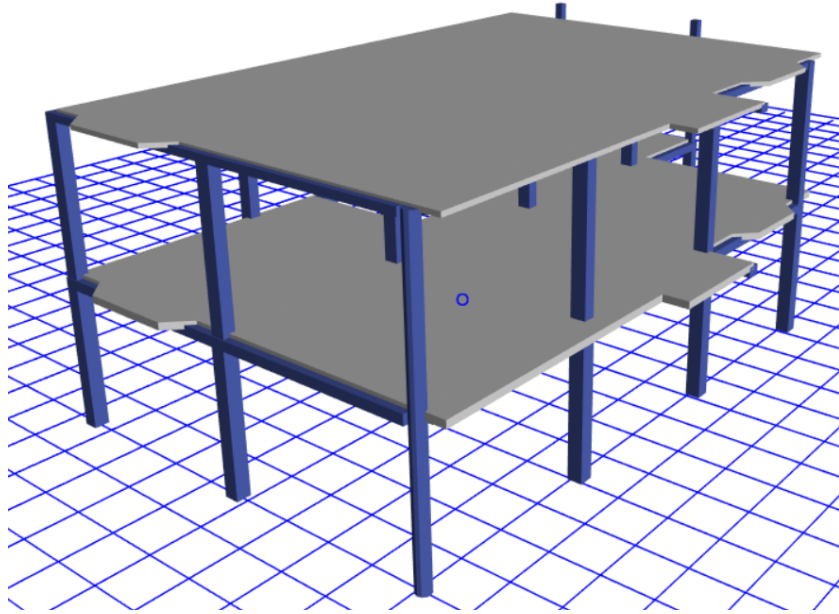
Fuente: Elaborado por el autor

| Espectro de aceleraciones | | | Espectro de aceleraciones | | |
|---------------------------|----------|---|---------------------------|----------|---|
| T | Elástico | Inelástico | T | Elástico | Inelástico |
| | Sa | $Sa = \frac{I * Sa}{R * \phi p * \phi e}$ | | Sa | $Sa = \frac{I * Sa}{R * \phi p * \phi e}$ |
| 0.000 | 0.7200 | 0.2963 | 3.272 | 0.2630 | 0.1082 |
| 0.304 | 0.7200 | 0.2963 | 3.372 | 0.2514 | 0.1035 |
| 1.672 | 0.7200 | 0.2963 | 3.472 | 0.2406 | 0.0990 |
| 1.772 | 0.6599 | 0.2716 | 3.572 | 0.2306 | 0.0949 |
| 1.872 | 0.6078 | 0.2501 | 3.672 | 0.2212 | 0.0910 |
| 1.972 | 0.5621 | 0.2313 | 3.772 | 0.2125 | 0.0874 |
| 2.072 | 0.5219 | 0.2148 | 3.872 | 0.2043 | 0.0841 |
| 2.172 | 0.4863 | 0.2001 | 3.972 | 0.1966 | 0.0809 |
| 2.272 | 0.4545 | 0.1871 | 4.072 | 0.1894 | 0.0780 |
| 2.372 | 0.4261 | 0.1754 | 4.172 | 0.1827 | 0.0752 |
| 2.472 | 0.4005 | 0.1648 | 4.272 | 0.1763 | 0.0725 |
| 2.572 | 0.3774 | 0.1553 | 4.372 | 0.1703 | 0.0701 |
| 2.672 | 0.3564 | 0.1467 | 4.472 | 0.1646 | 0.0677 |
| 2.772 | 0.3373 | 0.1388 | 4.572 | 0.1592 | 0.0655 |
| 2.872 | 0.3198 | 0.1316 | 4.672 | 0.1541 | 0.0634 |
| 2.972 | 0.3038 | 0.1250 | 4.772 | 0.1493 | 0.0615 |
| 3.072 | 0.2891 | 0.1190 | 4.872 | 0.1448 | 0.0596 |
| 3.172 | 0.2755 | 0.1134 | 4.972 | 0.1404 | 0.0578 |

Fuente: Elaborado por el autor

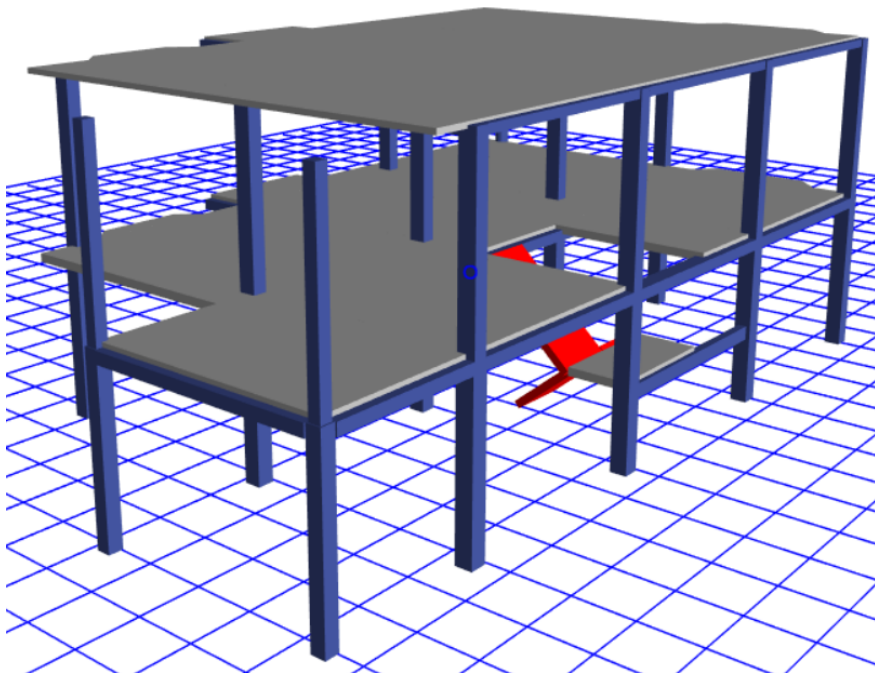
ANEXO G. VISTA 3D DE ESTRUCTURA MODELADA

Vista Sur - Este



Fuente: Elaborado por el autor

Vista Norte - Oeste



Fuente: Elaborado por el autor

ANEXO H. CORTANTE BASAL SEGÚN LA NORMA NEC-SE-DS

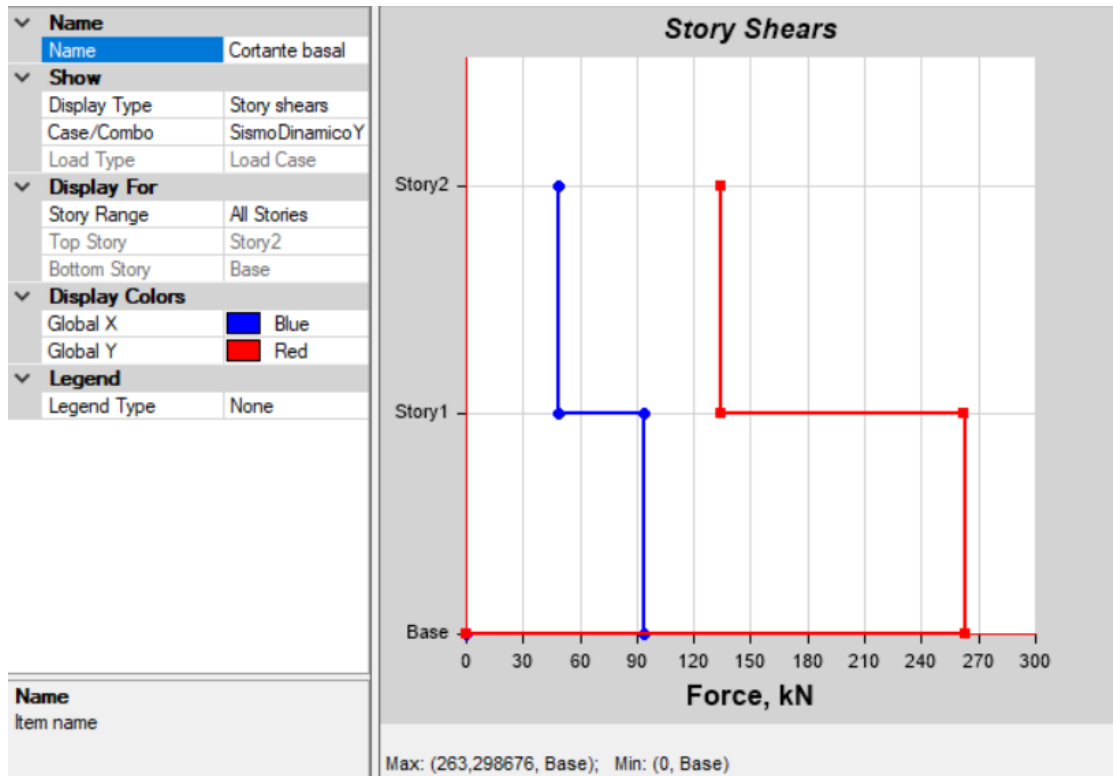
| Determinación del peso sísmico de la estructura. W | | |
|--|---------------------|-----------|
| Nivel | Descripción | Peso (kN) |
| Planta baja | Columnas | 87.07 |
| | Escalera | 39.57 |
| Planta alta | Vigas | 107.86 |
| | Losa + Carga Muerta | 921.76 |
| | Columnas | 73.76 |
| Azotea | Vigas | 45.32 |
| | Losa + Carga Muerta | 312.09 |
| Total | | 1587.43 |
| Fuente: Elaborado por el autor | | |

Expresión 6.2.3 de la norma NEC-SE-DS para el cálculo del cortante basal. V:

$$V = \frac{I * S_a * (T_a)}{R * \phi_p * \phi_E} W = 167.15kN$$

En el Anexo E se encuentra el cálculo de los parámetros incluidos en la expresión.

ANEXO I. CORTANTE BASAL SEGÚN ANÁLISIS DINÁMICO

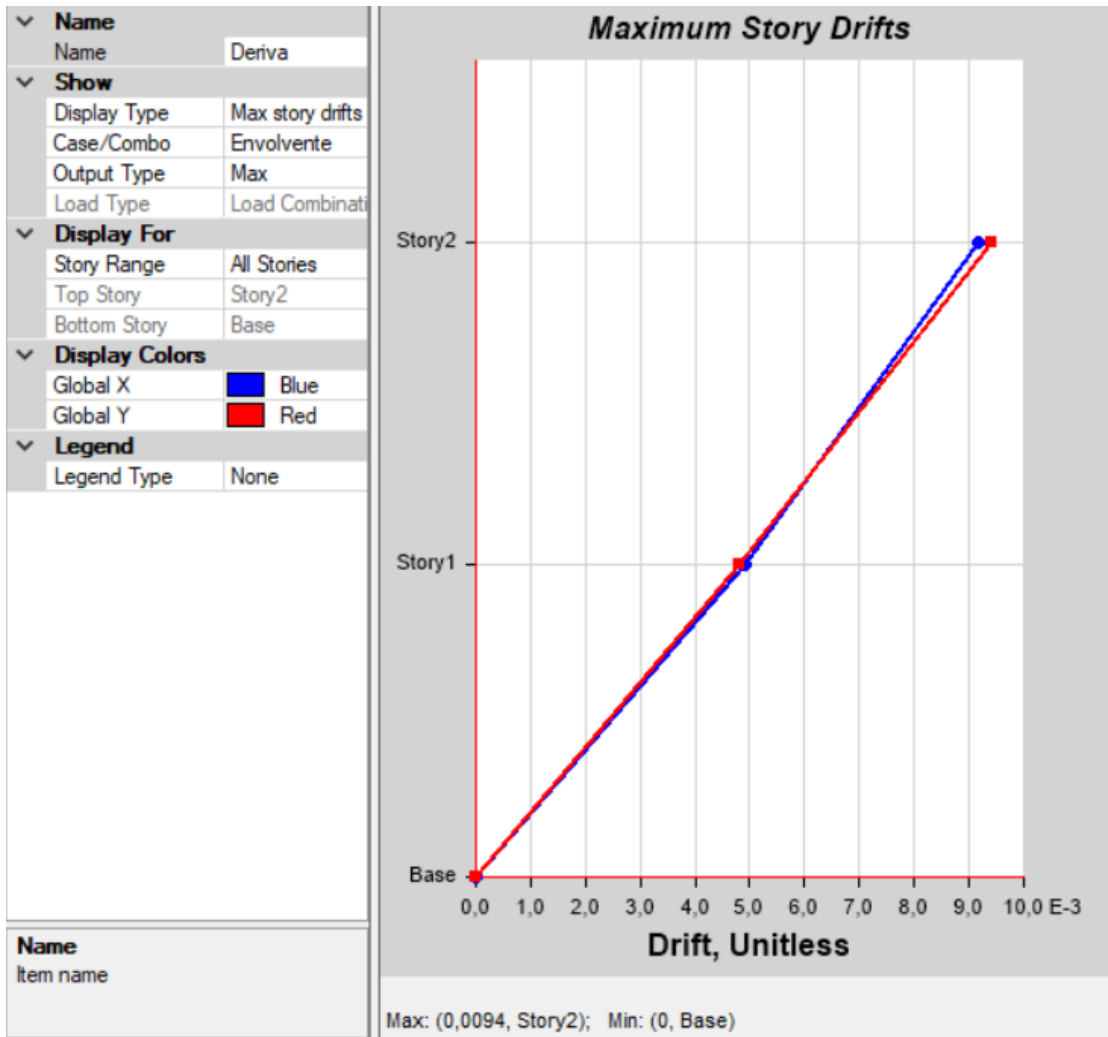


Fuente: Elaborado por el autor

ANEXO J. RATIO DE DERIVAS MÁXIMAS Y PROMEDIO DE PLANTAS

| Planta | Caso de carga | Dirección | Deriva máxima (mm) | Deriva promedio (mm) | Ratio |
|--------------------------------|---------------|-----------|--------------------|----------------------|-------|
| Cubierta | Sismo X | X | 17.84 | 14.25 | 1.25 |
| Cubierta | Sismo X | Y | 7.59 | 5.46 | 1.39 |
| Planta Alta | Sismo X | X | 9.31 | 8.18 | 1.14 |
| Planta Alta | Sismo X | Y | 3.86 | 2.89 | 1.33 |
| Cubierta | Sismo Y | X | 11.24 | 8.30 | 1.35 |
| Cubierta | Sismo Y | Y | 18.34 | 13.37 | 1.37 |
| Planta Alta | Sismo Y | X | 7.02 | 4.72 | 1.49 |
| Planta Alta | Sismo Y | Y | 9.17 | 6.94 | 1.32 |
| Fuente: Elaborado por el autor | | | | | |

ANEXO K. GRÁFICO DE DERIVAS SEGÚN ANÁLISIS DINÁMICO



Fuente: Elaborado por el autor

ANEXO L. ANÁLISIS DE ELEMENTOS VIGA

| Separación de refuerzo por cortante (Φ 10mm) | | | | | |
|--|----------------------|--------|---------------------------|--------|--------|
| Vigas (todas) | Separación real (cm) | | Separación requerida (cm) | | Cumple |
| | 2h | Centro | 2h | Centro | |
| Planta Alta | 10.00 | 15.00 | 4.00 | 7.15 | No |
| Cubierta | 10.00 | 15.00 | 2.00 | 4.65 | No |
| Fuente: Elaborado por el autor | | | | | |

Donde:

2h: Distancia menor que 2 veces el peralte de la viga. medida desde los extremos del elemento [10].

| Área de refuerzo longitudinal utilizado en vigas de planta alta (30 x 20 cm) | | | | | | |
|--|--------|-----|--------------|---|--------|-----------------------|
| Ejes | | | Longitud (m) | Área según ubicación (mm ²) | | |
| Longitudinal | Inicio | Fin | | Empotramiento izquierdo | Centro | Empotramiento derecho |
| 1 | A | B | 3.90 | 339.12 | 452.16 | 339.12 |
| 2, 3, 4, 5 | A | B | 3.90 | 452.16 | 615.44 | 678.24 |
| 2, 3, 4, 5 | B | C | 4.05 | 678.24 | 615.44 | 678.24 |
| A, B, C | 5 | 3 | 3.80 | 678.24 | 615.44 | 678.24 |
| A, B, C | 3 | 2 | 3.70 | 678.24 | 615.44 | 678.24 |
| A, B | 2 | 1 | 2.65 | 678.24 | 615.44 | 452.16 |
| Fuente: Elaborado por el autor | | | | | | |

| Área de refuerzo longitudinal requerida en vigas de planta alta (30 x 20 cm) | | | | | | |
|--|--------|-----|---|--------|-----------------------|--------|
| Ejes | | | Área según ubicación (mm ²) | | | Cumple |
| Longitudinal | Inicio | Fin | Empotramiento izquierdo | Centro | Empotramiento derecho | |
| 1 | A | B | 809.19 | 347.79 | 843.12 | No |
| 2, 3, 4, 5 | A | B | x | 626.00 | x | No |
| 2, 3, 4, 5 | B | C | x | 745.00 | x | No |
| A, B, C | 5 | 3 | x | 626.00 | x | No |
| A, B, C | 3 | 2 | x | 544.00 | x | No |
| A, B | 2 | 1 | 992.67 | 154.58 | 570.60 | No |
| Fuente: Elaborado por el autor | | | | | | |

Donde:

x: La cuantía requerida excede a la máxima permitida

| Área de refuerzo longitudinal utilizado en vigas de cubierta (25 x 15 cm) | | | | | | |
|---|--------|-----|--------------|---|--------|-----------------------|
| Ejes | | | Longitud (m) | Área según ubicación (mm ²) | | |
| Longitudinal | Inicio | Fin | | Empotramiento izquierdo | Centro | Empotramiento derecho |
| 2, 3, 4, 5 | A | B | 3.90 | 226.08 | 339.12 | 452.16 |
| 2, 3, 4, 5 | B | C | 4.05 | 452.16 | 339.12 | 226.08 |
| A, B, C | 5 | 3 | 3.80 | 452.16 | 339.12 | 452.16 |
| A, B, C | 3 | 2 | 3.70 | 452.16 | 339.12 | 452.16 |

Fuente: Elaborado por el autor

| Área de refuerzo longitudinal requerida en vigas de cubierta (25 x 15 cm) | | | | | | |
|---|--------|-----|---|--------|-----------------------|--------|
| Ejes | | | Área según ubicación (mm ²) | | | Cumple |
| Longitudinal | Inicio | Fin | Empotramiento izquierdo | Centro | Empotramiento derecho | |
| 2, 3, 4, 5 | A | B | 625.76 | 195.52 | 625.76 | No |
| 2, 3, 4, 5 | B | C | 654.32 | 216.39 | 654.32 | No |
| A, B, C | 5 | 3 | 570.60 | 195.52 | 570.60 | No |
| A, B, C | 3 | 2 | 570.60 | 195.52 | 570.60 | No |

Fuente: Elaborado por el autor

ANEXO M. ANÁLISIS DE ELEMENTOS COLUMNA

| Planta Baja | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------|----------|---------------------------------|---------------------------------|--------|
| Ubicación | Lado 1 (cm) | Lado 2 (cm) | Alto (m) | As utilizado (mm ²) | As requerido (mm ²) | Cumple |
| 1A, 1B | 25 | 25 | 3.06 | 923.16 | 1875.00 | No |
| 2A, 2C, 5A | 30 | 30 | 3.06 | 904.32 | 2700.00 | No |
| 5C | Sección circular 30 cm de diámetro | | 3.06 | 904.32 | 1413.00 | No |
| 2B, 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 4C, 5B | 30 | 30 | 3.06 | 1230.88 | 900.00 | Si |
| Planta Alta | | | | | | |
| 1A, 1B | 20 | 20 | 3.15 | 452.16 | 400.00 | Si |
| 2A, 2C, 5A | 30 | 25 | 3.15 | 678.24 | 2250.00 | No |
| 2B, 3A, 3B, 3C, 4A, 4B, 4C, 5B | 30 | 25 | 3.15 | 923.16 | 1500.00 | No |
| Fuente: Elaborado por el autor | | | | | | |

Donde:

As: Área de acero longitudinal

| Separación de estribos en todas las columnas (Φ 10mm) | | | | |
|---|--------|------------------|--------|--------|
| S Real (cm) | | S Requerido (cm) | | Cumple |
| L ₀ | Centro | L ₀ | Centro | |
| 10 | 15.00 | 7.20 | 7.20 | No |
| Fuente: Elaborado por el autor | | | | |

Donde:

S: Separación de estribos

L₀: Distancia menor que 50 cm medida desde los extremos de la columna

ANEXO N. ANÁLISIS DE ELEMENTOS ZAPATA

| Análisis de zapatas | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|-------------------------------|---------------------------------|-----------|--------------------------|----------------------------|-----------|--------|
| Tipo | a x b (m) | A requerida (m ²) | As requerido (mm ²) | | A real (m ²) | As real (mm ²) | | Cumple |
| Central | 1.6 x 1.6 | 1.64 | Ambos sentidos | | 2.40 | Ambos sentidos | | Si |
| | | | 1055.00 | | | 1538.60 | | |
| Borde | 0.9 x 1.6 | 1.17 | Sentido a | Sentido b | 1.26 | Sentido a | Sentido b | Si |
| | | | 639.00 | 994.00 | | 923.16 | 1538.60 | |

Fuente: Elaborado por el autor

Donde:

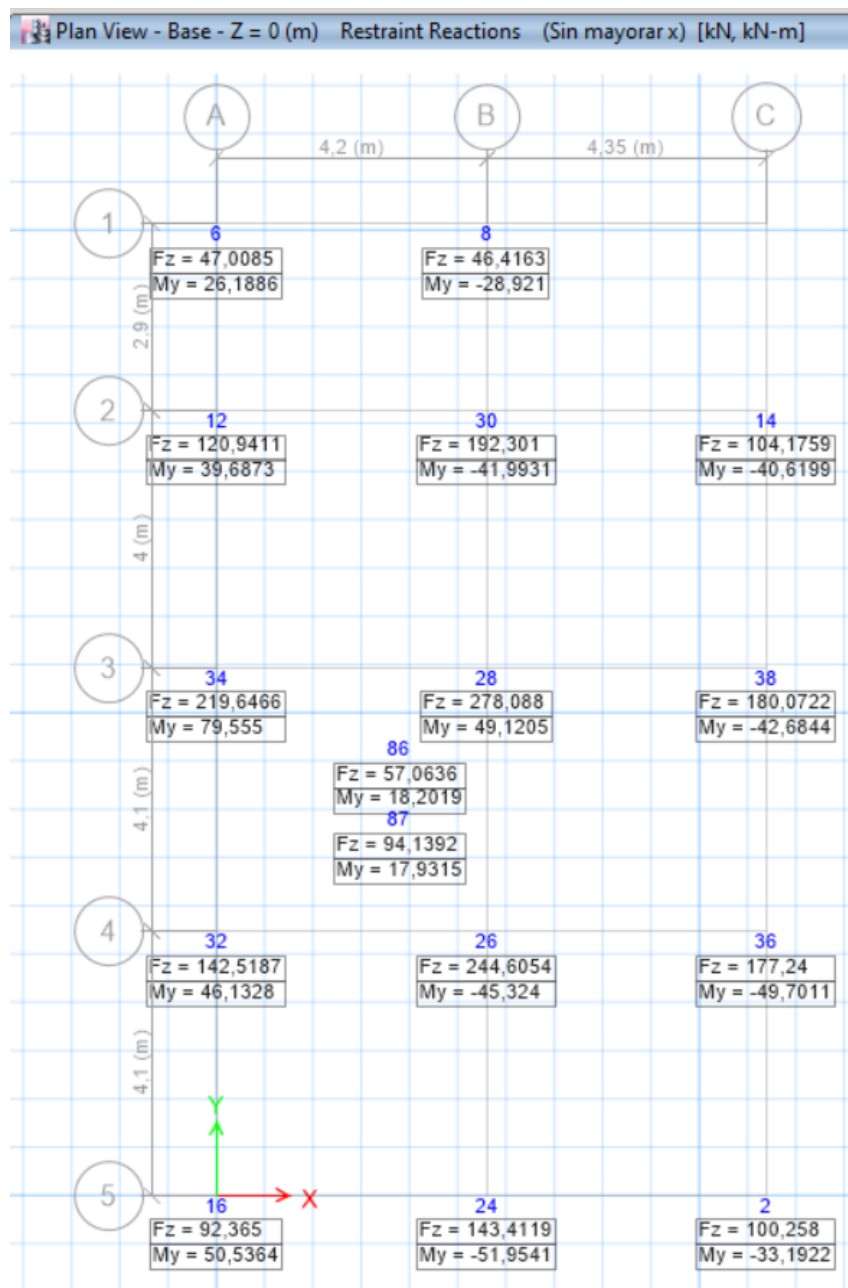
A: Área de la base de la cimentación

As: Área de acero longitudinal

a: Lado de la zapata paralelo al eje x (oeste – este)

b: Lado de la zapata paralelo al eje y (norte – sur)

ANEXO O. REACCIONES EN LA BASE PARA CARGAS NO MAYORADAS



Fuente: Elaborado por el autor

Donde:

Fz: Carga axial (kN), no incluye peso de planta baja

My: Momento en la base de las columnas (kN-m)