



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

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL

TEMA:

“ANÁLISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL Y ECONÓMICO DE UNA
VIVIENDA MODULAR UNIFAMILIAR A BASE DE CONTENEDORES
RECICLADOS Y HORMIGÓN ARMADO PARA EL CANTÓN AMBATO”

Autor: Javier Enrique Olivo Mera

Tutor: Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera

AMBATO - ECUADOR

Septiembre - 2021

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL Y ECONÓMICO DE UNA VIVIENDA MODULAR UNIFAMILIAR A BASE DE CONTENEDORES RECICLADOS Y HORMIGÓN ARMADO PARA EL CANTÓN AMBATO”**, elaborado por el Sr. **Javier Enrique Olivo Mera** portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1805118005, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2021

.....
Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera
TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **JAVIER ENRIQUE OLIVO MERA** con C.I. 1805118005, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL Y ECONÓMICO DE UNA VIVIENDA MODULAR UNIFAMILIAR A BASE DE CONTENEDORES RECICLADOS Y HORMIGÓN ARMADO PARA EL CANTÓN AMBATO”**, así como también los análisis, gráficos, conclusiones y recomendaciones, son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2021




Javier Enrique Olivo Mera
CI: 1805118005
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, 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 Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Septiembre 2021



.....
Javier Enrique Olivo Mera

CI: 1805118005

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Javier Enrique Olivo Mera de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL Y ECONÓMICO DE UNA VIVIENDA MODULAR UNIFAMILIAR A BASE DE CONTENEDORES RECICLADOS Y HORMIGÓN ARMADO PARA EL CANTÓN AMBATO”**.

Ambato, Septiembre 2021

Para constancia firman:

.....
Ing. MSc. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre Ing. Mg. Wladimir José Ramírez Cabrera

Miembro Calificador

Miembro Calificador

DEDICATORIA

Dedico esta investigación con todo mi corazón a mi madre Anita, quien ha sido mi apoyo incondicional y nunca me ha dejado solo en este largo camino. A mi abuelito Fausto que hoy no está, pero siempre lo tengo presente en mi vida, por haberme forjado como la persona que soy actualmente, tengo la certeza que está feliz con esta meta que he cumplido. A mi abuelita Inés, por todo el cariño que me ha dado y por su apoyo.

A mi hermana Gabriela, que a pesar de los malos encuentros es mi amiga y siempre ha estado a mi lado. A mi padre Luis, que me ha apoyado y aconsejado para lograr mis objetivos.

A mis tíos Lucía y Santiago, por apoyarme siempre, son como mis padres. Mis primos Paulo y Micaela, con quienes crecí y los considero mis hermanos.

A mis amigos, por apoyarme en el trayecto de mi carrera, por todo lo compartido dentro y fuera del salón de clases.

Por último, pero no menos importante, a mis amuletos de la suerte, mis fieles compañeras, que, a pesar de sus travesuras, nada más basta ver su alegría al recibirme en casa para llenar de felicidad cada día de mi vida, mis mascotas Chela y Lula.

Javier Olivo Mera

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por ser mi guía y compañía en este largo trayecto de mi carrera, gracias a sus consejos y palabras de aliento me convierten cada vez en mejor persona, por nunca dejarme solo en las adversidades y por siempre creer en mí. Son los mejores. A mi hermana, con quien he compartido muchas cosas y siempre ha estado apoyándome.

A mis abuelitos, agradezco mucho su paciencia y por cuidarme en todo momento, por el afecto y cariño brindado. A toda mi familia por estar siempre presente en mi vida y por aportar con un granito de arena que me ha ayudado a salir adelante.

Quiero agradecer a la Universidad Técnica de Ambato, en especial a quienes forman parte de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por aportar con sus conocimientos y trabajo a mi formación profesional.

Al Ing. Carlos Navarro por su tiempo y sugerencias me ayudó como tutor para llevar a cabo mi proyecto de investigación. A mi amiga Gabriela Maldonado quien también con su experiencia aportó con un granito de arena para la culminación de mi proyecto.

Por último, quiero agradecer a todos los amigos y compañeros que hice en este trayecto, me enseñaron muchas cosas, he compartido momentos inolvidables dentro y fuera del aula, gracias por su amistad.

Javier Olivo Mera

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE	viii
ÍNDICE DE IMÁGENES	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Tema del Proyecto Técnico	1
1.2. Antecedentes Investigativos	1
1.2.1. Antecedentes	1
1.2.2. Justificación.....	5
1.2.3. Fundamentación Teórica.....	6
1.2.3.1. El Hormigón	6
1.2.3.2. Hormigón Armado.....	7
1.2.3.3. El Contenedor	8
1.2.3.4. Análisis Estructural.....	11
1.3. Objetivos	13
1.3.1. Objetivo General	13
1.3.2. Objetivos Específicos.....	13
CAPITULO II	14
METODOLOGÍA	14
2.1. Materiales y Equipo.....	14
2.1.1. Materiales.....	14
2.1.2. Equipo	14
2.2. Métodos	15
2.2.1. Nivel o Tipo de Investigación	15

2.2.2.	Población y Muestra.....	15
2.2.3.	Plan de Recolección de Datos	16
2.2.4.	Plan de Procesamiento y Análisis de Información.....	16
CAPITULO III.....		18
ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN HORMIGÓN ARMADO.....		18
3.1.	Introducción.....	18
3.2.	Descripción arquitectónica	18
3.2.1.	Materiales	20
3.3.	Pre dimensionamiento de elementos estructurales	20
3.3.1.	Losa.....	20
3.3.2.	Vigas	24
3.3.3.	Columnas	25
3.4.	Análisis estático equivalente	25
3.4.1.	Zonificación sísmica y factor Z	25
3.4.2.	Coefficientes de perfil de suelo	26
3.4.3.	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones.....	30
3.4.4.	Cortante basal.....	30
3.5.	Modelamiento Computacional	31
3.6.	Derivas de Piso	37
3.7.	Torsión en Planta.....	38
3.8.	Cimentación para la estructura de hormigón armado.....	39
3.8.1.	Predimensionamiento.....	39
3.8.2.	Modelación de la cimentación	45
3.9.	Análisis constructivo	50
3.9.1.	Presupuesto referencial	51
3.9.2.	Tiempos de Construcción.....	52
CAPITULO IV.....		53
ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON CONTENEDORES.....		53
4.1.	Introducción.....	53
4.2.	Descripción arquitectónica	53
4.2.1.	Materiales.....	56
4.2.2.	Cargas.....	56
4.3.	Secciones de elementos estructurales	58
4.3.1.	Viga longitudinal inferior (Viga 1)	58

4.3.2.	Vigas transversales (Viga 2)	59
4.3.3.	Viga frontal inferior (Viga 3).....	59
4.3.4.	Viga frontal y longitudinal superior (Viga 4)	60
4.3.5.	Vigas superior e inferior posteriores (Viga 5).....	61
4.3.6.	Pilares frontales (Columna 1)	61
4.3.7.	Pilares posteriores (Columna 2).....	62
4.4.	Análisis estático equivalente	63
4.4.1.	Zonificación sísmica y factor Z	63
4.4.2.	Coefficientes de perfil de suelo	64
4.4.3.	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones.....	68
4.4.4.	Cortante basal.....	68
4.5.	Análisis de grados de libertad en nudos y apoyos.....	69
4.5.1.	Conexiones rígidas (Soldadas) en nudos.....	69
4.5.2.	Conexiones flexibles o articuladas en nudos	70
4.5.3.	Apoyos articulados.....	72
4.6.	Modelamiento computacional	72
4.7.	Derivas de Piso	78
4.8.	Torsión en Planta.....	79
4.9.	Cimentación para la estructura de contenedores	80
4.9.1.	Predimensionamiento	80
4.9.2.	Coefficiente de Balasto.....	83
4.9.3.	Modelación de la cimentación	84
4.10.	Análisis constructivo.....	86
4.10.1.	Presupuesto referencial	87
4.10.2.	Tiempos de construcción.....	88
CAPITULO V		89
ANÁLISIS COMPARATIVO		89
5.1.	Peso de la estructura	89
5.2.	Carga Viva y Carga Muerta.....	89
5.3.	Cortante Basal	90
5.4.	Derivas de piso	91
5.5.	Torsión en planta	92
5.6.	Costo de construcción	92
5.7.	Tiempos de construcción.....	93

CAPITULO VI.....	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	94
6.1. Conclusiones	94
6.2. Recomendaciones	95
6.3. Referencias bibliográficas	96

ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1. Partes de un Contenedor	9
Figura 2. Configuración arquitectónica para hormigón armado	19
Figura 3. Vista en elevación	19
Figura 4. Detalle de Losa Alivianada.....	22
Figura 5. Zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z..	26
Figura 6. Peso de la Estructura.....	31
Figura 7. Material hormigón	32
Figura 8. Material acero de refuerzo	33
Figura 9. Vista de secciones en planta N+2.60 en hormigón armado.....	34
Figura 10. Vista de secciones en planta N+5.20 en hormigón armado	35
Figura 11. Vista de secciones en elevación pórtico A, B y C en hormigón armado	36
Figura 12. Vista 3D de secciones en hormigón armado	36
Figura 13. Deriva Sismo en X en hormigón armado.....	37
Figura 14. Deriva Sismo en Y en hormigón armado.....	38
Figura 15. Ubicación de cargas de la cimentación en hormigón armado.....	41
Figura 16. Cuadro de diálogo de exportación	45
Figura 17. Cuadro de diálogo de importación	45
Figura 18. Definición de propiedades del suelo	46
Figura 19. Esquema de cimentación en hormigón armado	47
Figura 20. Presión de zapatas en hormigón armado.....	48
Figura 21. Punzonamiento de zapatas en hormigón armado	49
Figura 22. Esquema de cimentación para hormigón armado	50
Figura 23. Configuración arquitectónica para contenedores	54
Figura 24. Vista en elevación de casa con contenedores.....	55
Figura 25. Configuración estructural de los contenedores	55
Figura 26. Disposición de columnas de los contenedores	56
Figura 27. Estructura de pared ligera.....	57
Figura 28. Sección transversal de viga longitudinal inferior.....	58
Figura 29. Sección transversal de viga transversal.....	59
Figura 30. Sección transversal la Viga frontal inferior	60
Figura 31. Sección transversal de viga frontal superior	60

Figura 32.	Sección transversal de viga superior e inferior posteriores.....	61
Figura 33.	Sección transversal de viga superior e inferior posteriores.....	61
Figura 34.	Sección transversal de viga superior e inferior posteriores.....	62
Figura 35.	Estructura de un contenedor.....	63
Figura 36.	Zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z	64
Figura 37.	Peso de la estructura con contenedores.....	69
Figura 38.	Conexiones rígidas de la estructura del contenedor.....	70
Figura 39.	Conexiones flexibles de la estructura del contenedor.....	71
Figura 40.	Apoyos flexibles.....	72
Figura 41.	Material acero del contenedor.....	73
Figura 42.	Vista de secciones en planta N+2.60 con contenedores.....	74
Figura 43.	Vista de secciones en planta N+5.20 con contenedores.....	75
Figura 44.	Vista de secciones en elevación ejes A y G con contenedores.....	76
Figura 45.	Vista de secciones en elevación ejes 1 y 2 con contenedores.....	76
Figura 46.	Vista de secciones en elevación ejes 1.1 y 2.2 con contenedores.....	77
Figura 47.	Vista 3D de secciones con contenedores.....	77
Figura 48.	Deriva Sismo en X con contenedores.....	78
Figura 49.	Deriva Sismo en Y con contenedores.....	79
Figura 50.	Ubicación de cargas de la cimentación con contenedores.....	82
Figura 51.	Esquema de Zapatas.....	84
Figura 52.	Presión de Zapatas.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Materiales.....	14
Tabla 2.	Equipo y Software	14
Tabla 3.	Plan de recolección de información.....	16
Tabla 4.	Cuadro resumen de cálculo de inercia de losa alivianada	22
Tabla 5.	“Pesos Unitarios Probables de Elementos Constructivos”	23
Tabla 6.	Coefficiente Z.....	26
Tabla 7.	Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto (Fa). 27	
Tabla 8.	Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca (Fd)	27
Tabla 9.	Comportamiento no lineal de los suelos (Fs).....	28
Tabla 10.	Valores de Ct y α	29
Tabla 11.	Derivas Inelásticas en hormigón armado.....	37
Tabla 12.	Datos de participación modal en hormigón armado	38
Tabla 13.	Tabla resumen de cálculo de torsión en hormigón armado	39
Tabla 14.	Cargas Transmitidas a la cimentación en hormigón armado.....	40
Tabla 15.	Cargas para prediseño de plintos	41
Tabla 16.	Resumen de secciones	43
Tabla 17.	Módulo de Winkler.....	44
Tabla 18.	Resumen de secciones definitivas para hormigón armado	49
Tabla 19.	Presupuesto Referencial en hormigón armado	51
Tabla 20.	Tiempo de construcción en hormigón armado	52
Tabla 21.	Coefficiente Z.....	64
Tabla 22.	Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto (Fa). 65	
Tabla 23.	Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca (Fd)	65
Tabla 24.	Comportamiento no lineal de los suelos (Fs).....	66
Tabla 25.	Valores de Ct y α	67
Tabla 26.	Derivas Inelásticas con contenedores	78
Tabla 27.	Datos de participación modal con contenedores.....	79
Tabla 28.	Tabla resumen de cálculo de torsión con contenedores.....	80
Tabla 29.	Cargas Transmitidas a la cimentación en hormigón armado.....	81
Tabla 30.	Cargas para prediseño de plintos	82

Tabla 31.	Resumen de secciones	83
Tabla 32.	Presupuesto Referencial con contenedores.....	87
Tabla 33.	Tiempo de construcción con contenedores.....	88
Tabla 34.	Tabla de comparación de peso de estructuras.....	89
Tabla 35.	Tabla de comparación de carga viva y carga muerta.....	90
Tabla 36.	Tabla de comparación de cortante basal	90
Tabla 37.	Tabla de comparación de derivas de piso	91
Tabla 38.	Tabla de comparación de torsión en planta	92
Tabla 39.	Tabla de comparación de costos	93
Tabla 40.	Tabla de comparación de tiempos de construcción	93

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación, se analizó y comparó la estructura de una vivienda de dos pisos hecha con hormigón armado y contenedores. Se evaluó el comportamiento estructural de cada uno y se compararon los resultados obtenidos para determinar el mejor sistema constructivo.

Para el modelamiento de la estructura en hormigón armado, primero se pre diseñaron los elementos estructurales, luego se realizó todos los chequeos en el software Etabs definiendo las secciones finales. Se controló derivas, torsión en planta, se efectuó el análisis estático equivalente y por último se determinó el presupuesto estimado y tiempo de construcción únicamente de la estructura.

Para el modelamiento de los contenedores, se determinaron las secciones de la estructura del contenedor. Cada elemento se modeló en el software Etabs y se realizaron los respectivos chequeos. Para cumplir con los parámetros de diseño, se tuvo que arriostrar la estructura completa, controlando así derivas y torsión en planta. Se realizó además el análisis estático equivalente y por último se determinó el presupuesto y tiempo construcción de la estructura.

Finalmente, realizando las comparaciones se determinó que el contenedor posee un buen comportamiento estructural y demora menos tiempo en construirse, sin embargo, no varía significativamente su precio comparado con el de hormigón armado.

Palabras claves: Análisis Estructural, Análisis Económico, Contenedor, Hormigón Armado, Vivienda Modular.

ABSTRACT

For this research paper, the structure of a two-story dwelling made of concrete and containers was analyzed and compared. In this study, concrete and container structural performance was evaluated. Then, the obtained results were compared in order to determine a suitable building system.

For the modeling of reinforced concrete structure, a pre-design of structural elements was done. Then, to define final sections, software Etabs was used. Drifts and torsion in the plan verified and, the equivalent static analysis was performed. Finally, the estimated budget and the building time of the structure was determined.

For the modeling of the containers, the sections of the container structure were determined. Each element was modeled in the software Etabs, and, the necessary revisions were carried out. To comply with the design parameters, the structure was braced in order to control drifts and torsion in plan. Then, the equivalent-static analysis was performed. Finally, the budget and building time for the structure was determined.

Finally, after comparing the results of both structures, it was determined that containers present a better structural performance and take less time to build. However, their price does not vary significantly compared to the reinforced concrete structure.

Keywords: Structural Analysis, Economic Analysis, Container, Reinforced Concrete, Modular Dwelling.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Tema del Proyecto Técnico

“ANÁLISIS COMPARATIVO ESTRUCTURAL Y ECONÓMICO DE UNA VIVIENDA MODULAR UNIFAMILIAR A BASE DE CONTENEDORES RECICLADOS Y HORMIGÓN ARMADO PARA EL CANTÓN AMBATO”

1.2. Antecedentes Investigativos

1.2.1. Antecedentes

Existen investigaciones referentes a usos alternativos de los contenedores y no solamente como recipientes de carga que transporten mercancías. En su mayoría son estudios que basan en la arquitectura del mismo, utilizándolos como viviendas, oficinas, puestos de comida entre otros. Sin embargo, existe información referente al análisis estructural del contenedor la cual es de suma importancia para el desarrollo de este trabajo técnico.

- María Fernanda Antivero (2014) realizó su investigación de tesis de grado **“LA IMPLEMENTACIÓN DE LA VIVIENDA CONTAINER. UNA RESOLUCIÓN SUSTENTABLE AL PROBLEMA HABITACIONAL EN LA CIUDAD AUTÓNOMA DE BUENOS AIRES”**

Dicha autora menciona en su trabajo investigativo que el utilizar contenedores en la arquitectura conlleva ventajas en los aspectos ecológicos, económicos y sociales:

Ecológicos, porque reduce la contaminación al ambiente, ya que se produce menor cantidad de desechos al reutilizar los contenedores que se encuentran en desuso en varios puertos del mundo, de la misma manera coopera disminuyendo el consumo de la energía que se requiere al momento de fabricar materiales tradicionales que se emplean en la construcción.

Económicos, tienen un costo reducido, debido al precio bajo de los contenedores ya que se fabrican en serie y una vez utilizados, son desechados.

Sociales, los contenedores ofrecen una calidad óptima para construir una vivienda digna para las personas. [1]

- Gustavo Alejandro Say García (2018) desarrolló el trabajo investigativo **“EDIFICACIONES HABITACIONALES CON CONTENEDORES MARÍTIMOS”**.

Propone un sistema constructivo donde impulsa el empleo de los contenedores marítimos para construir viviendas y también oficinas, así como también albergues para usarlos en una emergencia como lo son los desastres naturales que se pueden presentar de forma imprevista.

Para el desarrollo de la investigación, efectúa mediciones respecto a la humedad, la temperatura y el sonido dentro y fuera del contenedor, con lo que intenta demostrar la eficacia que tendría como sistema constructivo, sin embargo, concluye que se debe realizar adecuaciones como instalar aislantes de alta resistencia térmica, en el interior y exterior del contenedor, para así poder hacer habitable al mismo. [2]

- Aitor García Auladell (2014), realizó un análisis diferente en su proyecto investigativo **“CÁLCULO Y DISEÑO DE PLATAFORMA FLOTANTE A BASE DE CONTENEDORES DE 40’ ”**.

Menciona que se puede el utilizar los contenedores de muy diversas formas en la tierra y quiere hacer algo diferente, darle un uso en el agua, por lo que realiza un análisis estructural preciso de los contenedores donde le da un uso totalmente peculiar, una construcción flotante. Gracias al estudio que realizó, alcanzó un dimensionamiento de bajo costo.

Asegura que, si se garantiza estabilidad, resistencia necesaria y una altura máxima de tres contenedores, la plataforma vivienda (estructura flotante) que plantea, es factible para su aprovechamiento comercial. Además, afirma que, comparada con otras maneras de construir plataformas flotantes, ésta es más económica. [3]

- Katherine Armijos (2019) de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil realizó su proyecto de investigación **“MODELOS DE VIVIENDAS BIOCLIMÁTICAS A PARTIR DE CONTENEDORES MARÍTIMOS RECICLADOS PARA ZONAS MARGINALES DE GUAYAQUIL”**.

Elabora un diseño arquitectónico de una vivienda de interés social utilizando los contenedores marítimos. Transforma estos contenedores de manera que se adapten al ambiente sin desgastar energía. Realiza esta investigación con el fin de aportar con una idea de vivienda para satisfacer la necesidad de la población que es de escasos recursos mediante el uso de contenedores reciclados.

Su propuesta es una alternativa nueva de construcción, dejando de lado los materiales tradicionales y con ello reduciendo el impacto ambiental. Menciona que el utilizar contenedores trae consigo simplicidad al momento de distribuir espacios por su modulación, lo que ayuda a economizar. [4]

- María Avilés (2018) como trabajo de titulación realizó el proyecto **“EVALUACIÓN, ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDA A BASE DE CONTENEDORES RECICLADOS PARA LA PARROQUIA PEDERNALES”**.

Debido al terremoto ocurrido en Manabí en el 2016, María realiza un modelo de la estructura de una vivienda utilizando contenedores, con el fin de proveer de este tipo de viviendas por la demanda urgente de techo en la parroquia Pedernales.

Efectúa un análisis detallado de un contenedor basándose en los ensayos de la ISO 1496-1 que éste debe cumplir. Modela la estructura del contenedor en un programa de análisis estructural para estudiar el comportamiento del mismo. Concluye que en las tipologías que planteó, las secciones de vigas y columnas son insuficientes por lo que añade elementos de refuerzo. [5]

- El diario “La Hora” de la ciudad de Ambato publicó un dato referente a la construcción con contenedores en el año 2019, donde menciona que, según empresarios, esta idea nace debido a la época de crisis.

Un claro ejemplo en la ciudad de Ambato es la edificación del comercial “Pato Llantas”, conformado por 12 contenedores, que está ubicado en la Avenida Quis Quis y Huancavilcas. Patricio Vega, quien es el propietario de esta edificación, reveló que un día despertó con la idea de construir con contenedores, fue una respuesta a la crisis que tenía la economía local. La primera idea de Patricio era construir en hormigón armado, el cual tenía un costo de 600 mil dólares, su otra opción en estructura metálica tenía un valor de 250 mil dólares. Pero la idea de usar contenedores bajo su costo a 130 mil dólares con todo y acabados, por lo que llevo a cabo este proyecto. [6]

1.2.2. Justificación

El país está viviendo una época de crisis económica debido a la emergencia sanitaria que se presentó en los primeros meses del año 2020, forzando a muchas familias a perder el camino a disponer de una vivienda propia, es por ello que éste estudio busca una alternativa viable de construir casas resistentes, durables y más económicas al comparar el material tradicional con un contenedor.

Gran parte de los materiales tradicionales que se utilizan en la construcción, tienen su origen en la corteza terrestre, produciendo anualmente millones de toneladas de residuos y de demolición que aumenta constantemente con el pasar del tiempo, donde la naturaleza es más complicada cada vez más por la alteración de los materiales. Dicho acto restringe el reciclado y la reutilización de los residuos generados. [7]

El reutilizar contenedores es amigable con el medio ambiente ya que promueve el reciclaje debido a que existen miles de contenedores marítimos en el mundo, gran cantidad de ellos en descarte luego de su vida útil, la cual varía entre 7 y 14 años como un recurso para transporte, muchos de estos han sido utilizados solamente una vez. Por esta razón es que el contenedor se lo puede utilizar nuevamente dándole otras funciones como lo es para la construcción de viviendas. [8]

Los contenedores son diseñados para soportar climas extremadamente fuertes, están sellados a prueba de agua y de aire para poder transportar cualquier producto, esto lo hace un material óptimo para construir diversos proyectos que beneficiaría a muchas personas, ya que se podría edificar de manera rápida y segura, departamentos, albergues e incluso áreas de aislamiento para llevar la emergencia sanitaria que se vive en la actualidad.

Hoy en día se ha visto que los contenedores tienen varias funcionalidades muy aparte del transportar productos, se lo han utilizado de diferentes maneras como: expendio de comidas, para bodegas, baños públicos, viviendas u oficinas, por lo que es necesario realizar su análisis estructural para una mejor seguridad de su utilidad.

1.2.3. Fundamentación Teórica

1.2.3.1. El Hormigón

Es uno de los materiales de construcción considerado más útil y de gran importancia debido a que es más sencillo moldearlo en la forma que se anhela. El hormigón está constituido por una mezcla de un aglomerante, agregados grueso y fino, agua y aditivos en ciertas ocasiones los cuales son dosificados en distintas proporciones. Por lo general el aglomerante es el cemento, el cual, al mezclarlo con agua de una manera apropiada llega a formarse un material ligante. [9]

Posee una resistencia nominal a la compresión de $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ a 280 kg/cm^2 a los 28 días. Su resistencia a la tracción es muy baja. Su módulo de elasticidad se lo calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$E_c = 15100 * \sqrt{f'c} \quad \text{kg/cm}^2 \text{ [10]}$$

El coeficiente de 15100 varía en nuestro país debido a que cada mina de donde se extrae los agregados posee cada una, distintas condiciones, así como también la mano de obra y la técnica constructiva, son muy diferentes a las del lugar donde nace el código ACI. Por ello el coeficiente mostrado en la ecuación no es aplicable 100% en nuestro país.

Desde sus inicios en la construcción, el concreto se lo ha elaborado con rocas que provienen de distintos lugares del planeta, es por ello que este material es económico y por ende el más utilizado en todo el mundo. Los agregados utilizados son de origen natural y frecuentemente no necesitan de algún proceso industrial, por ello son baratos. Por otro lado, existen ciertos lugares de donde se extraen rocas madres directamente de la corteza terrestre, y para su extracción se requieren maquinarias especializadas y/o explosivos, luego estas rocas necesitan ser fragmentadas mediante la trituración mecanizada, estos agregados también pasan por un proceso de cribado y son clasificados según el tamaño de sus partículas. [11]

1.2.3.2. Hormigón Armado

Es un material de construcción que se forma de la combinación del hormigón de cemento y un refuerzo de una armadura de hierro trabajando en conjunto frente a cargas a las que está sujeta. El hormigón es quien resiste los esfuerzos de compresión mientras que el acero se encarga de los esfuerzos traccionantes. El acero de refuerzo que forma parte del hormigón armado por lo general es de sección circular con diámetros que van desde $\frac{1}{4}$ de pulgada hasta 1 pulgada. [9] [10]

El acero de refuerzo presenta las siguientes características:

- Módulo de elasticidad (E) = 2100000 kg/cm²
- Relación de Poisson (ν) = 0.3
- Densidad (γ) = 7850 kg/m³
- Esfuerzo de fluencia (F_y) = 4200 kg/cm² [10]

En el hormigón armado, el acero de refuerzo, concede ductilidad al hormigón debido a que este material puede quebrantarse por ser frágil. La ductilidad de las estructuras se logra mediante el uso de cuantías mínimas de acero.

El armado de un elemento estructural compuesto de este material, se basa en ordenar ciertas varillas en las zonas donde tenga esfuerzos de tracción. Prácticamente el acero conforma el esqueleto del elemento estructural. El elemento al estar sujeto a cargas, se deforma y tendrá fibras que se estiren y otras que se compriman, por ello las barras de acero deben ser colocadas de forma longitudinal en la parte donde se traccionan las fibras. Además de esta armadura se coloca otra armadura que es transversal, denominada estribos, sirve de refuerzo y absorbe los esfuerzos de corte.

Una estructura de hormigón armado se compone de columnas que son los elementos verticales, vigas son elementos horizontales y los pórticos que se forman por columnas y vigas.

El hormigón necesita fraguar al momento de realizar una obra, aproximadamente un mes para poder desencofrarlo, es por ello que no se recomienda su utilización para edificaciones cuya ejecución debe ser realizada en un corto periodo. Sin embargo,

existen aditivos que permiten el fraguado rápido de este material reduciendo así el tiempo de construcción. [12]

1.2.3.3. El Contenedor

Un contenedor es un elemento de transporte el cual se forma de un recipiente que facilita el traslado de productos. Posee una resistencia suficiente que es capaz de ser utilizada varias veces y poder llenarlo o vaciarlo con mucha facilidad. Es prácticamente una caja modular metálica, rígida y con resistencia a la corrosión. Tienen dos largos de 20 y de 40 pies que son los más utilizados. [13]

Están elaborados principalmente de acero corten, también se los fabrica de aluminio y otros de madera contrachapada reforzados con fibra de vidrio. Gran parte de estos el suelo es de madera, otros lo hay de bambú. En su interior vienen recubiertos para evitar la humedad en los viajes. En sus esquinas exteriores poseen twistlocks el cual ayuda a que sean enganchados por grúas especiales. [7]

El acero corten, material de lo que generalmente se fabrican los contenedores, es un tipo de acero estructural que tiene una resistencia mucho mayor con lo que respecta a la corrosión atmosférica. Contiene aleaciones de cobre, níquel, cromo y silicio cuya composición forma una capa superficial estable de óxido que se adhiere finamente al material. Este óxido actúa como inhibidor de la corrosión ya que no permite el acceso a agentes que le puedan perjudicar al material tal como lo es la humedad y las sales del ambiente. [14]

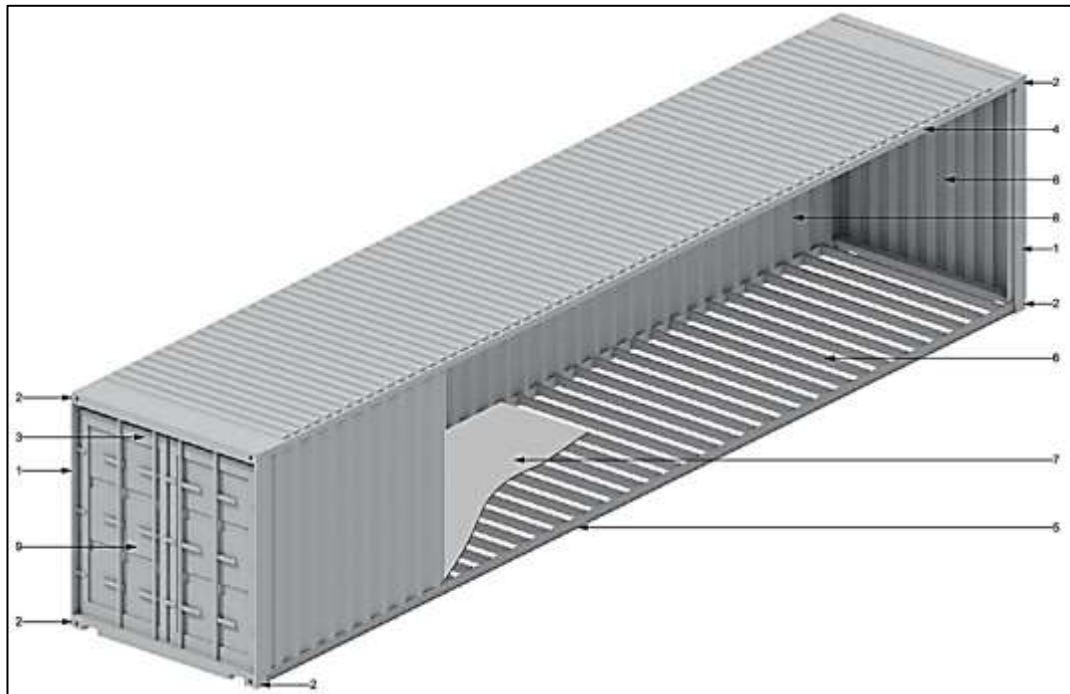
Este tipo de acero posee un límite elástico que ayuda a diseñar secciones más ligeras, permitiendo así reducir costes. Se diseñó este acero para ser utilizado sin pintarse, reduciendo así costos de mantenimiento. [15]

El contenedor está compuesto por las siguientes partes (Figura 1.):

1. **Pilares:** ubicados en las esquinas formando un marco vertical.
2. **Esquineros o Cantoneras:** están en las esquinas, sirven para manipular el contenedor.

3. **Marco Frontal:** se encuentra la puerta principal, formado por los travesaños superiores e inferiores.
4. **Travesaño Superior:** elementos superiores ubicados en los costados formando la estructura.
5. **Travesaño Inferior:** elementos inferiores (Vigas), se ubican en los costados del contenedor dando la forma de la estructura.
6. **Travesaño de Piso:** ubicados dentro del marco del soporte del piso, vigas transversales que soportan el contenedor.
7. **Piso:** por lo general de tablones o de madera lamina dura o suave.
8. **Costados y Frente:** paneles de acero.
9. **Puertas:** elemento de metal y enchapado. [16]

Figura 1. Partes de un Contenedor



Fuente: “Diseño de una vivienda con contenedores de carga aplicando materiales reutilizables al diseño interior en la ciudad de Cuenca-Ecuador” [16]

En los puertos del Ecuador hay dos tipos de contenedores que se clasifican según las dimensiones de éstas:

- 2.4m de ancho x 2.6m de alto x 6m de largo
- 2.4m de ancho x 2.6m de alto x 12m de largo

Los costos de los contenedores varían dependiendo del deterioro en el que se encuentre que va desde los 1800\$ a los 2500\$. [5]

Los contenedores han sido diseñados para ser capaces de soportar climas extremos, frío, calor, aguas salinas y fuertes vientos y tormentas.

Uso de contenedores como vivienda

Para que el contenedor sea habitable primero se debe construir la cimentación en donde se apoyará los contenedores. Las paredes deben ser cubiertas con placas que son de yeso y además de otros materiales como el aislamiento. En caso de que los contenedores no se apilen de forma lineal, se los debe reforzar. Al contenedor se lo debe mejorar colocando una pintura que permita proteger la parte exterior de los efectos climáticos. [17]

El construir con estos elementos, reducen la necesidad de excavaciones, disminuyendo así el impacto sobre el sitio, se los coloca de manera rápida, se lo puede hacer en un mismo día a diferencia que con materiales tradicionales requieren de más tiempo.

Se puede edificar a una gran velocidad por ser modular, además, se disminuye significativamente la utilización de materiales tradicionales. [4]

Ventajas de los contenedores utilizándolo como elemento constructivo

Las ventajas que se dan al construir con contenedores son las siguientes:

- El construir viviendas de este tipo puede tardar unas pocas semanas, es una construcción rápida.
- Es durable y portable, tiene una buena resistencia al paso del tiempo.
- Se la puede desarmar y movilizar con facilidad. [18]
- Al ser el contenedor un elemento reciclado, ayuda a reducir la contaminación del medio ambiente. [17]

Desventajas de los contenedores utilizándolo como elemento constructivo

Los inconvenientes que se presentan son las siguientes:

- Al ser estrechos puede requerir la necesidad de utilizar varios contenedores para acatar el reglamento de habitabilidad.
- El proyecto arquitectónico se deberá acoplar estrictamente a las dimensiones de los contenedores. [17]
- Dependiendo de la configuración de los contenedores, estructuralmente será necesaria la colocación de refuerzos, encareciendo su construcción.

1.2.3.4. Análisis Estructural

Es una predicción del desempeño de una estructura bajo cargas que son establecidas. Es parte del proceso de cálculo donde se determinan esfuerzos axiales, de flexión, de corte, torsión y otros, en cada elemento estructural. Estos esfuerzos dependerán de las cargas o fuerzas aplicadas en cada elemento estructural y del tipo de éstas.

- **Métodos de Diseño en Hormigón Armado**

La normativa NEC-SE-DS nos presenta dos tipos de métodos de diseño:

El método DBF (Método de Diseño basado en Fuerzas) que es aplicable para el Análisis Estático y Análisis Dinámico, Análisis Modal Espectral.

El análisis Lineal Estático busca transformar el análisis Dinámico en uno Estático al determinar el cortante basal, que será repartido en elevación mediante fuerzas laterales dependiendo del número de pisos, peso, altura de cada planta sobre el nivel basal y la altura total de la edificación. [19]

El método DBD (Método de Diseño basado en Desplazamientos) que es una opción a la utilización del Diseño basado en Fuerzas, pero el DBD hace preferencia a los desplazamientos obtenidos que debe resistir la estructura.

- **Métodos de Diseño en Acero**

En las especificaciones para construcciones de acero del AISC se puede encontrar los parámetros primordiales de diseño para conexiones y otros elementos en estructuras metálicas.

El método LRFD (Load and Resistance Factor Design = Diseño por Factores de Resistencia y Carga) es un método que se basa en el diseño utilizando factores de carga.

El método ASD (Allowable Stress Design = Diseño por Esfuerzos Admisibles) es un método de diseño que se basa en los esfuerzos permisibles.

Estos métodos tienen como propósito reducir la posibilidad de anomalías en las estructuras ocasionadas al estimar cargas de servicio para así tener resultados estructurales con un mínimo margen de error. Los factores de carga y de seguridad de estos métodos complementan las incertidumbres o los márgenes de error al momento de realizar los cálculos, errores que se pueden dar por acciones sísmicas inesperadas, lluvias, nieve, granizo, errores de construcción y también el incumplimiento a las normativas. [5]

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Analizar el comportamiento estructural y la factibilidad económica de una vivienda modular unifamiliar a base de contenedores reciclados y de hormigón armado.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar el diseño y análisis estructural para cada tipo de material con la ayuda de software especializado.
- Elaborar el presupuesto y costo de ambas propuestas de diseño.
- Comparar aspectos técnicos y económicos de cada uno de los materiales para construcción en análisis.

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales y Equipo

2.1.1. Materiales

Tabla 1. Materiales

MATERIALES		
Nombre	Cantidad	Unidad
Cuaderno	1	Unidad
Material de Oficina	1	Unidad

Elaboración: Tesista Javier Olivo

2.1.2. Equipo

Tabla 2. Equipo y Software

EQUIPO		
Nombre	Cantidad	Unidad
Computador	1	Unidad
Calculadora	1	Unidad
Impresora	1	Unidad
SOFTWARE UTILIZADO		
Etabs y Safe (versión libre)	1	Unidad
Microsoft Excel (con licencia)	1	Unidad
Microsoft Word (con licencia)	1	Unidad
AutoCAD (versión estudiantil)	1	Unidad

Elaboración: Tesista Javier Olivo

2.2. Métodos

2.2.1. Nivel o Tipo de Investigación

En el proyecto experimental a desarrollarse, se trabajará con los siguientes tipos de investigación: exploratoria, de campo y descriptiva.

- Exploratoria ya que en Ambato no se encuentran estudios acerca del análisis estructural para viviendas a partir de contenedores ni de su costo. Se evaluará el comportamiento que tendrá los elementos estructurales del contenedor y se realizará la comparación con los elementos de la estructura en hormigón armado, además la diferencia del presupuesto para llevar a cabo su construcción.
- De campo debido a que se utilizará datos de estudios realizados fuera y dentro del país referentes a la utilización de contenedores para construcción de viviendas. Además, se recopilará información de costos en materiales y acciones que conllevaría la construcción de este tipo de viviendas en la ciudad de Ambato.
- Descriptiva porque se explicará los resultados obtenidos de los análisis realizados en cada tipo de estructura tanto técnica como económicamente.

2.2.2. Población y Muestra

- Población: El proyecto de análisis estructural se lo realizará para la estructura de una vivienda modular unifamiliar de dos pisos ubicándola en la ciudad de Ambato.
- Muestra: se evaluará dos modelos de estructuras de la vivienda de diferentes materiales de construcción, en hormigón armado y con contenedores, para distinguir el comportamiento y costo de cada uno.

2.2.3. Plan de Recolección de Datos

Tabla 3. Plan de recolección de información

Preguntas básicas	Explicación
¿Para qué?	- Para evaluar el comportamiento estructural y la viabilidad económica de construir una vivienda unifamiliar con contenedores en Ambato.
¿De qué personas u objetos?	- Vivienda modular unifamiliar de 2 pisos.
¿Sobre qué aspectos?	- Influencia del uso de contenedores para vivienda.
¿Quién evalúa?	Olivo Mera Javier Enrique
¿Dónde se evalúa?	- Laboratorios de computación de la Universidad Técnica de Ambato de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica
¿Con qué técnica o instrumento?	- Software Etabs 16 - Norma NEC 2015 - Norma AISC - Norma ACI - Normas ISO

Elaboración: Tesista Javier Olivo

2.2.4. Plan de Procesamiento y Análisis de Información

El procedimiento que se llevará a cabo será:

- Planteamiento de un modelo arquitectónico de una vivienda modular de dos pisos.
- Modelado y análisis de la estructura de la vivienda para dos materiales, hormigón armado y con contenedores.

- Diseño estructural en hormigón armado aplicando normas vigentes.
- Chequeo de refuerzos en caso de ser necesario para los contenedores y diseño de la estructura aplicando normas vigentes.
- Elaboración de presupuestos referenciales del costo de la vivienda en hormigón armado y con contenedores.
- Realizar una comparación técnica económica de los dos tipos de estructuras.
- Concluir cual es una buena opción en base a la comparación realizada.

CAPITULO III

ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN HORMIGÓN ARMADO

3.1. Introducción

En el capítulo a desarrollarse a continuación, se parte de un modelo arquitectónico de una casa unifamiliar de tipo modular de dos pisos, en donde se analizará la estructura de dicho diseño, utilizando como herramienta computacional el software Etabs.

El hormigón armado es muy utilizado en el país para la construcción de viviendas, por lo que se analizará esta casa con dicho material. En el capítulo posterior se utilizará el mismo diseño arquitectónico, pero se lo analizará con contenedores de 40 pies de largo.

Los resultados del análisis estructural sumado el presupuesto obtenido, permitirá realizar una comparación con los datos obtenidos al analizar también la estructura con contenedores.

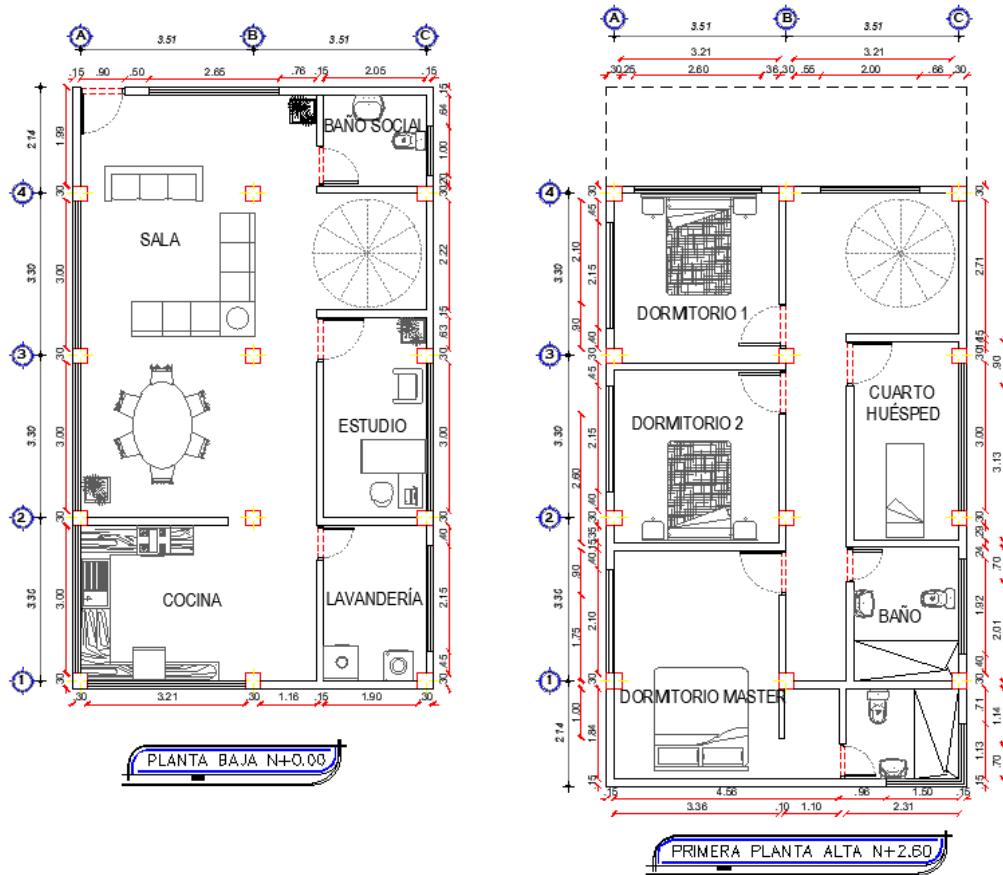
3.2. Descripción arquitectónica

El proyecto arquitectónico muestra la tipología de la vivienda, la misma que será analizada estructuralmente.

En el diseño arquitectónico que se muestra en la Figura 2. se puede apreciar que existe simetría tanto en los ejes verticales como en los ejes horizontales, lo que como consecuente dará el diseño estructural más sencillo debido a que existirá repetición de elementos estructurales.

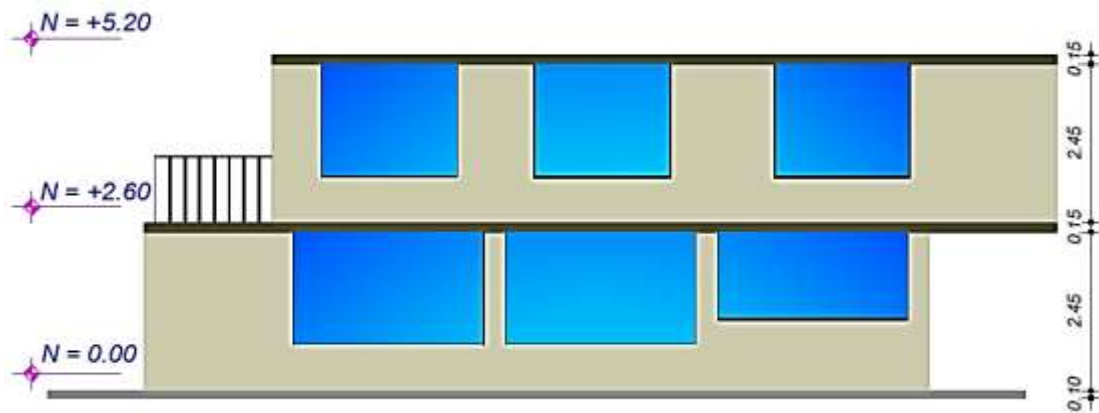
Cuenta con dos volados en la losa del nivel N+2.60.

Figura 2. Configuración arquitectónica para hormigón armado



Elaboración: Tesista Javier Olivo

Figura 3. Vista en elevación



Elaboración: Tesista Javier Olivo

Presenta las siguientes características:

- Luz máxima de 3.51m.
- 3 ejes en sentido vertical y 4 ejes en sentido horizontal.
- 12 columnas continuas en los dos pisos de la casa.

3.2.1. Materiales

- Resistencia a la compresión del hormigón: $f'c=210\text{kg/cm}^2$
- Límite de fluencia del acero de refuerzo: $f_y = 4200\text{kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad del hormigón: el ingeniero Edison Chávez, especialista estructural y profesor del Centro de Capacitación Estructural - CECAEST recomienda utilizar de manera general la fórmula:

$$E_c = 12600 * \sqrt{f'c} \quad \text{kg/cm}^2 \quad [20]$$

$$E_c = 12600 * \sqrt{210} \quad \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$E_c = 182591.35 \quad \text{kg/cm}^2$$

- Módulo de elasticidad del acero de refuerzo: $E=2100000\text{kg/cm}^2$
- Losa alivianada

3.3. Pre dimensionamiento de elementos estructurales

3.3.1. Losa

Se calculará la altura de una losa bidireccional mediante la fórmula que se muestra a continuación, tomada del código ACI 318S-14 de la tabla 8.3.1.2 espesor mínimo:

$$h_{\text{mín}} = l_n * \left(\frac{0.8 + \frac{f_y}{14000}}{36 + 9\beta} \right) \quad [21]$$

Donde:

- l_n = distancia de la mayor luz
- f_y = Límite de fluencia del acero del acero de refuerzo
- β = relación entre luz mayor y luz menor

$$h_{\text{mín}} = 351\text{cm} * \left(\frac{0.82 * \frac{4200\text{kg/cm}^2}{14000}}{36 + 9 * \frac{351\text{cm}}{330\text{cm}}} \right)$$

$$h_{\text{mín}} = 8.47\text{cm}$$

Con esta altura de losa bidireccional maciza se requiere obtener la altura mínima equivalente para una losa alivianada. Para lo cual debemos suponer una altura de losa aliviana que tenga la misma o mayor inercia de la losa maciza calculada.

Primero calcularemos la inercia de la losa maciza para un metro de lineal de la misma.

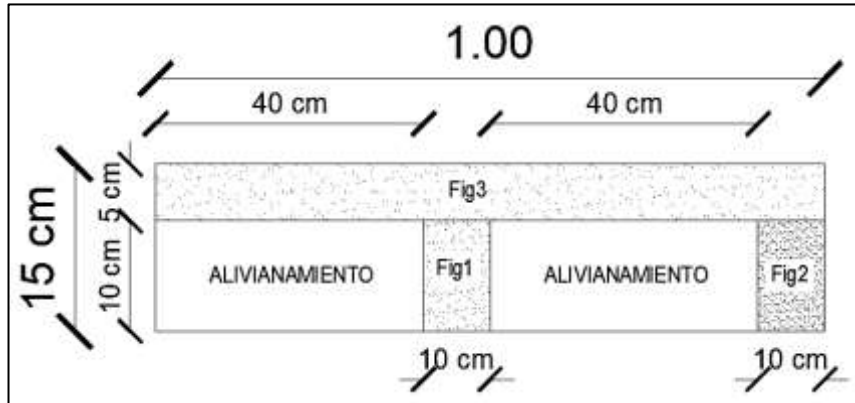
$$I(\text{maciza}) = \frac{b * h_{\text{mín}}^3}{12}$$

$$I(\text{maciza}) = \frac{100\text{cm} * (8.47\text{cm})^3}{12}$$

$$I(\text{maciza}) = 5063.71 \text{ cm}^4$$

Asumiremos una altura de 15 cm para la losa alivianada y determinaremos su inercia para un metro lineal de losa.

Figura 4. Detalle de Losa Alivianada



Elaborado: Tesista Javier Olivo

En la Tabla 4 se resume el cálculo de la inercia de la losa alivianada.

Tabla 4. Cuadro resumen de cálculo de inercia de losa alivianada

	Áreas cm ²	(y) Centro de gravedad cm	A*y	Inercia propia cm ⁴	(d ₂) Distancia trasladada	Inercia total cm ⁴
Fig1	100,00	5,00	500,00	833	28,70	3703
Fig2	100,00	5,00	500,00	833	28,70	3703
Fig3	500,00	12,50	6250,00	1042	4,59	3338
	700,00		7250,00		I total	10744.05
Centro de gravedad losa		10,36	cm			

Elaboración: Tesista Javier Olivo

Se determinó una inercia de la losa alivianada de 10744.05 cm⁴ la cual es mayor que la inercia de la losa maciza de 5063.71 cm⁴, por ende, la losa de 15cm de altura alivianada es la que se utilizará.

$$h \text{ losa} = 15 \text{ cm}$$

Determinaremos el peso propio de la losa alivianada y posterior a ello la carga última Cu.

$$P_{ploseta} = 1m * 1m * 0.05m * \frac{2.4ton}{m^3} = \frac{0.12ton}{m^2}$$

$$P_{pnervios} = 3.6m * 0.1m * 0.1m * \frac{2.4ton}{m^3} = \frac{0.09ton}{m^2}$$

$$P_{palivianamientos} = 0.4m * 0.2m * 0.1m * \frac{1ton}{m^3} * 8u = \frac{0.065ton}{m^2}$$

$$P_{palisado} = 1m * 1m * 0.03m * \frac{2ton}{m^3} * 2 = \frac{0.12ton}{m^2}$$

$$P_{pacabados} = 1m * 1m * 0.03m * \frac{2ton}{m^3} = \frac{0.06ton}{m^2}$$

$$P_{plosa} = 0.455 ton/m^2$$

Para la carga que se origina por paredes se utilizará el valor de 0.27ton/m², de acuerdo con la recomendación de Carlos Páez (2014) mostrado en la Tabla 5.

Tabla 5. “Pesos Unitarios Probables de Elementos Constructivos”

Tabiques y paredes de mampostería			
Bloques de hormigón	Espesor (cm)	Peso por m²	
		kg/m² (kN/m²)	
		Sin enlucido	Con enlucido
	10	150 (1.5)	210 (2.1)
	15	210 (2.1)	270 (2.7)
	20	270 (2.7)	330 (3.3)

Fuente: Determinación de la carga permanente debida al peso de mampostería de bloque en edificaciones de vivienda [22]

$$CM = 0.725 ton/m^2$$

CV = 0.2 ton/m² (NEC 2015 – CARGAS (NO SÍSMICAS) 4.2 Carga viva: sobrecargas mínimas – Tabla 9. Pág29.) [23]

$$Cu = 1.2CM + 1.6CV$$

$$Cu = 1.2 * 0.725 \text{ ton/m}^2 + 1.6 * 0.2 \text{ ton/m}^2$$

$$\mathbf{Cu = 1.19 \text{ ton/m}^2}$$

3.3.2. Vigas

Tomamos la viga más crítica, es decir la de mayor luz. En este caso la mayor luz es de 3.51m. Calculamos el momento estático (Me) y posterior a ello el momento de diseño (Md) con un factor de mayoración de 1.15.

$$Me = \frac{Cu * Lt * Lv^2}{8}$$

$$Me = \frac{\frac{1.19 \text{ ton}}{\text{m}^2} * 3.3 \text{ m} * 3.51^2}{8}$$

$$\mathbf{Me = 6.05 \text{ ton} * \text{m}}$$

$$Md = Me * 1.15 * 0.85 * 0.65$$

$$Md = 6.05 \text{ ton} * \text{m} * 1.15 * 0.85 * 0.65$$

$$\mathbf{Md = 3.84 \text{ ton} * \text{m}}$$

Asumiremos una base de 25cm de la viga con un recubrimiento de 2.5cm, y calcularemos la altura de la viga. Se utilizará la fórmula de peralte para una viga eficiente desarrollada por el ingeniero Edison Chávez, especialista estructural profesor del Centro de Capacitación Estructural - CECAEST. [20]

$$h = \sqrt{\frac{Md}{0.145 * f'c * b}} + rec$$

$$h = \sqrt{\frac{3.84 \text{ton} * m}{0.145 * \frac{210 \text{kg}}{\text{cm}^2} * 25 \text{cm}}} + 2.5 \text{cm}$$

$$h = 24.95 \text{cm}$$

Según el ingeniero Edison Chávez para que la viga sea eficiente las dimensiones de la sección debe estar en una relación entre 1.1 a 1.6.

Asumiremos una viga de 30cm de altura.

Entonces se tiene una viga de b=25cm con un h=30cm

3.3.3. Columnas

Por ser una vivienda de dos pisos, se tomará las dimensiones mínimas para una columna según la norma.

La columna será de 30cmx30cm.

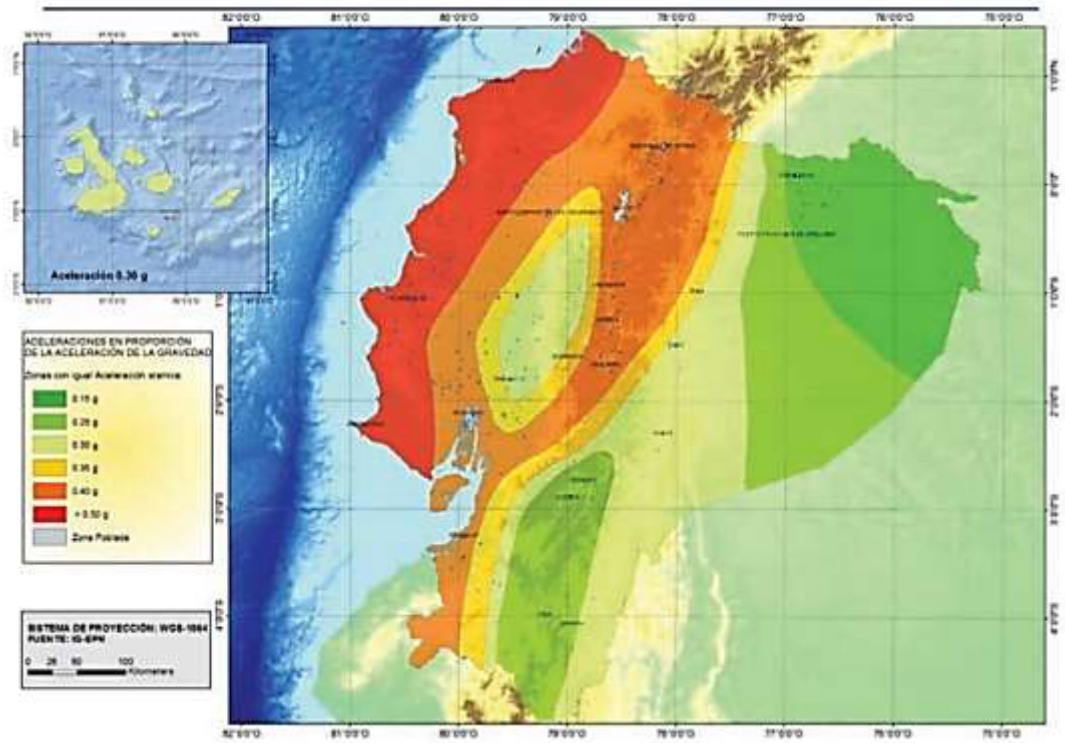
3.4. Análisis estático equivalente

Se obtuvo lo siguiente utilizando las fórmulas presentadas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 con valores de la ciudad de Ambato y un suelo tipo D.

3.4.1. Zonificación sísmica y factor Z

Se debe determinar el valor de Z para analizar el comportamiento de la estructura dependiendo del lugar donde se edificará. Z es la aceleración máxima que se espera para el sismo de diseño. En la tabla 6 se puede apreciar el coeficiente Z.

Figura 5. Zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z



Fuente: NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sismorresistente [24]

Tabla 6. Coeficiente Z

Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor Factor Z	0.15	0.25	0.3	0.35	0.40	>0.5
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Fuente: NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sismorresistente [24]

Ambato se encuentra en la Zona Sísmica V, por lo tanto, su coeficiente Z es de 0.4.

3.4.2. Coeficientes de perfil de suelo

Estos coeficientes se determinan dependiendo del tipo de suelo y la zona sísmica anteriormente revisada.

Tabla 7. Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto (Fa)

Tipo de perfil del suelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.3	0.35	0.40	≥ 0.5
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	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1	0.85
F	Clasificación de los perfiles de suelo					

Fuente: NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sismorresistente [24]

Tabla 8. Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca (Fd)

Tipo de perfil del suelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.3	0.35	0.40	≥ 0.5
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	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1	0.85
F	Clasificación de los perfiles de suelo					

Fuente: NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sismorresistente [24]

Tabla 9. Comportamiento no lineal de los suelos (Fs)

Tipo de perfil del suelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.3	0.35	0.40	≥0.5
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	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Clasificación de los perfiles de suelo					

Fuente: NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sismorresistente [24]

Asumiremos un suelo de tipo D para la ciudad de Ambato, por ello la zona sísmica es V, los coeficientes de perfil de suelo son los siguientes:

- $F_a = 1.20$
- $F_d = 1.19$
- $F_s = 1.28$

Con estos valores calcularemos el periodo de vibración T_c .

$$T_c = 0.55 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0.55 * 1.28 * \frac{1.19}{1.20}$$

$$\mathbf{T_c = 0.698}$$

También se calcula el periodo límite de vibración T_o .

$$T_o = 0.1 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_o = 0.1 * 1.28 * \frac{1.19}{1.20}$$

$$\mathbf{T_o = 0.127}$$

El periodo de vibración T_a se calcula mediante la expresión:

$$T_a = C_t * h n^\alpha$$

Donde:

- C_t = Coeficiente que depende del tipo de edificio
- h_n = altura máxima de la edificación

los valores de C_t y de α se obtienen de la tabla 10.

Tabla 10. Valores de C_t y α

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramiento	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Fuente: NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sismorresistente [24]

$$T_a = C_t * h n^\alpha$$

$$T_a = 0.055 * (5.20)^{0.9}$$

$$T_a = 0.243$$

$$T_o \leq T_a \leq T_c$$

$$0.127 \leq 0.243 \leq 0.698$$

3.4.3. Espectro de respuesta elástico de aceleraciones

Se calcula el espectro de respuesta elástico de aceleraciones Sa con la expresión:

$$Sa = n * Z * Fa$$

Como ya conocemos Z y Fa , n la obtenemos de los siguientes valores:

- $n = 1.80$ Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas)
- $n = 2.48$ Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos
- $n = 2.60$ Provincias del Oriente

Como la ciudad de Ambato pertenece a la Sierra, el valor de n es de 2.48, y calculamos Sa .

$$Sa = 2.48 * 0.4 * 1.20$$

$$Sa = 1.19$$

3.4.4. Cortante basal

Para el cálculo de cargas sísmicas equivalentes, se obtiene el cortante basal:

$$V = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \emptyset p * \emptyset e} * W$$

Se ha optado por un valor de R de 6 para una mayor seguridad en la estructura para pórticos sismorresistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas, el factor de irregularidad en elevación $\emptyset e$ de 0.9 debido a que la estructura posee una irregularidad geométrica debido al volado, el factor de irregularidad en planta $\emptyset p$ de 1 ya que no presenta irregularidad alguna y el peso de la estructura se la obtuvo del software.

Figura 6. Peso de la Estructura

Story	Load Case/Combo	Location	P tonf
N+5.2	Dead	Top	73.932
N+5.2	Dead	Bottom	81.2881
N+2.60	Dead	Top	167.4072
N+2.60	Dead	Bottom	174.7632

Fuente: ETABS 2016

$$V = \frac{1 * 1.19}{6 * 1 * 0.9} * 174.76ton$$

$$V = 0.22044 * 174.76ton$$

$$V = 38.53ton$$

El cortante basal está formado del 22.04% de la carga muerta que tiene la estructura.

3.5. Modelamiento Computacional

Después de realizar el pre dimensionamiento de los elementos estructurales, se procederá al modelamiento computacional en el programa ETABS, donde se obtendrá el modelo de la estructura de una manera más óptima la cual debe cumplir con los parámetros del diseño.

Los materiales están definidos de la manera como se muestran en las figuras 7 y 8.

Figura 7. Material hormigón

The image shows a 'Material Property Data' dialog box with the following sections and values:

- General Data**
 - Material Name: Fc=210kg/cm²
 - Material Type: Concrete
 - Directional Symmetry Type: Isotropic
 - Material Display Color: [Color swatch] Change...
 - Material Notes: Modify/Show Notes...
- Material Weight and Mass**
 - Specify Weight Density Specify Mass Density
 - Weight per Unit Volume: 2.4028 tonf/m³
 - Mass per Unit Volume: 0.245014 tonf-s²/m⁴
- Mechanical Property Data**
 - Modulus of Elasticity, E: 1825913.47 tonf/m²
 - Poisson's Ratio, U: 0.2
 - Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C
 - Shear Modulus, G: 760797.28 tonf/m²
- Design Property Data**
 - Modify/Show Material Property Design Data...
- Advanced Material Property Data**
 - Nonlinear Material Data...
 - Material Damping Properties...
 - Time Dependent Properties...

Buttons: OK, Cancel

Fuente: ETABS 2016

Figura 8. Material acero de refuerzo

Material Property Data

General Data

Material Name:

Material Type:

Directional Symmetry Type:

Material Display Color:

Material Notes:

Material Weight and Mass

Specify Weight Density Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: tonf/m³

Mass per Unit Volume: tonf-s²/m⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: tonf/m²

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1/C

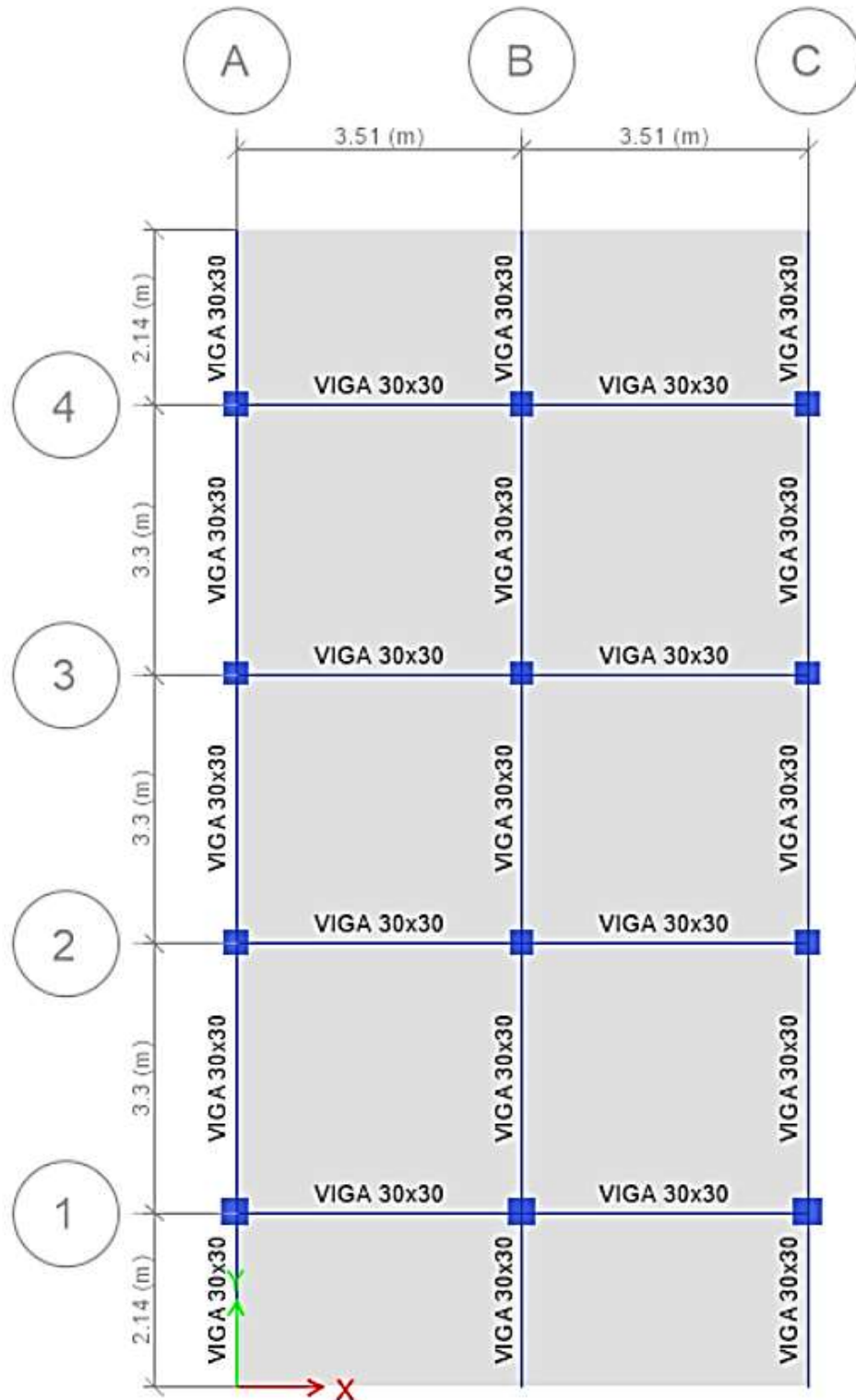
Design Property Data

Advanced Material Property Data

Fuente: ETABS 2016

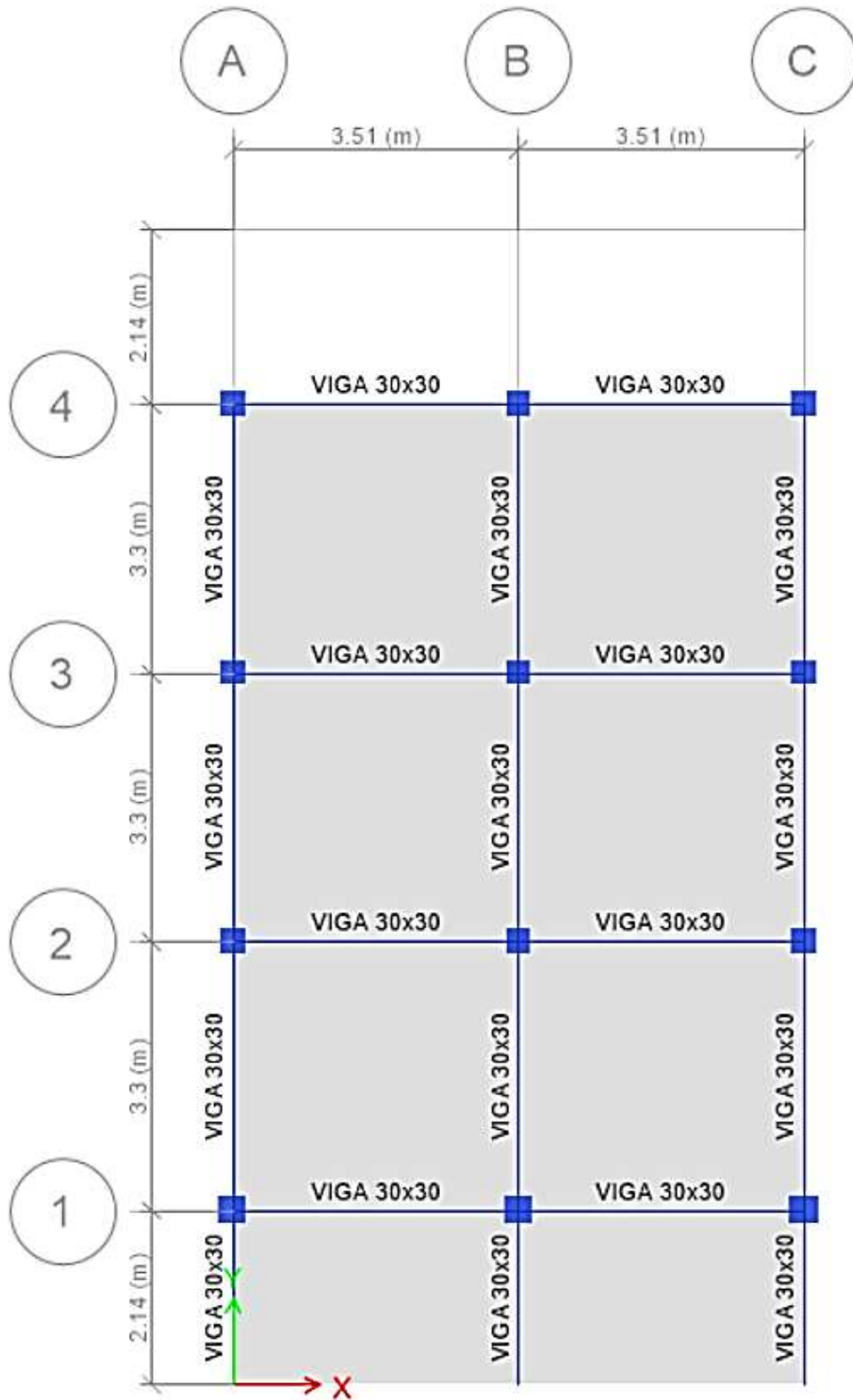
Luego del análisis como resultado se obtuvo las secciones definitivas con las cuales la estructura es capaz de soportar las cargas gravitacionales y sísmicas a las cuales estará sometida, dichas secciones se expondrán a continuación en las Figuras 9, 10, 11 y 12.

Figura 9. Vista de secciones en planta N+2.60 en hormigón armado



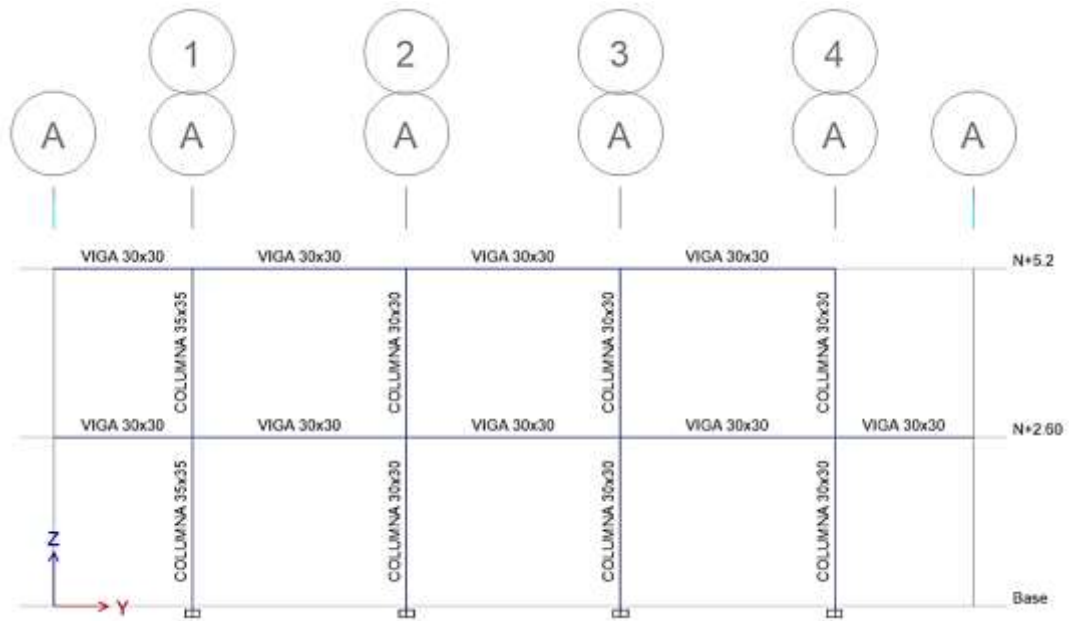
Fuente: ETABS 2016

Figura 10. Vista de secciones en planta N+5.20 en hormigón armado



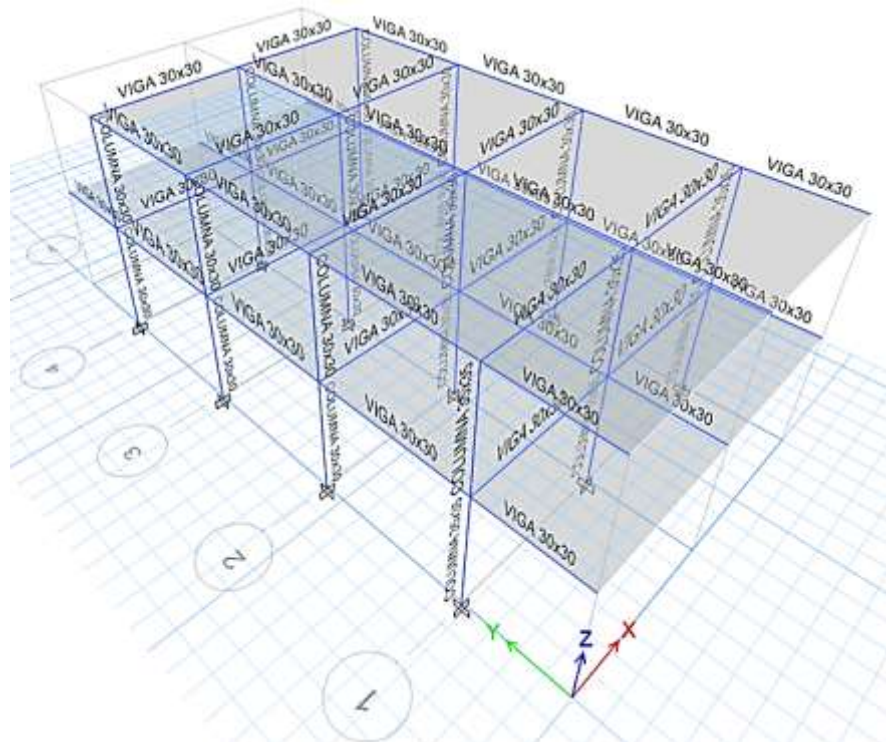
Fuente: ETABS 2016

Figura 11. Vista de secciones en elevación pórtico A, B y C en hormigón armado



Fuente: ETABS 2016

Figura 12. Vista 3D de secciones en hormigón armado



Fuente: ETABS 2016

3.6. Derivas de Piso

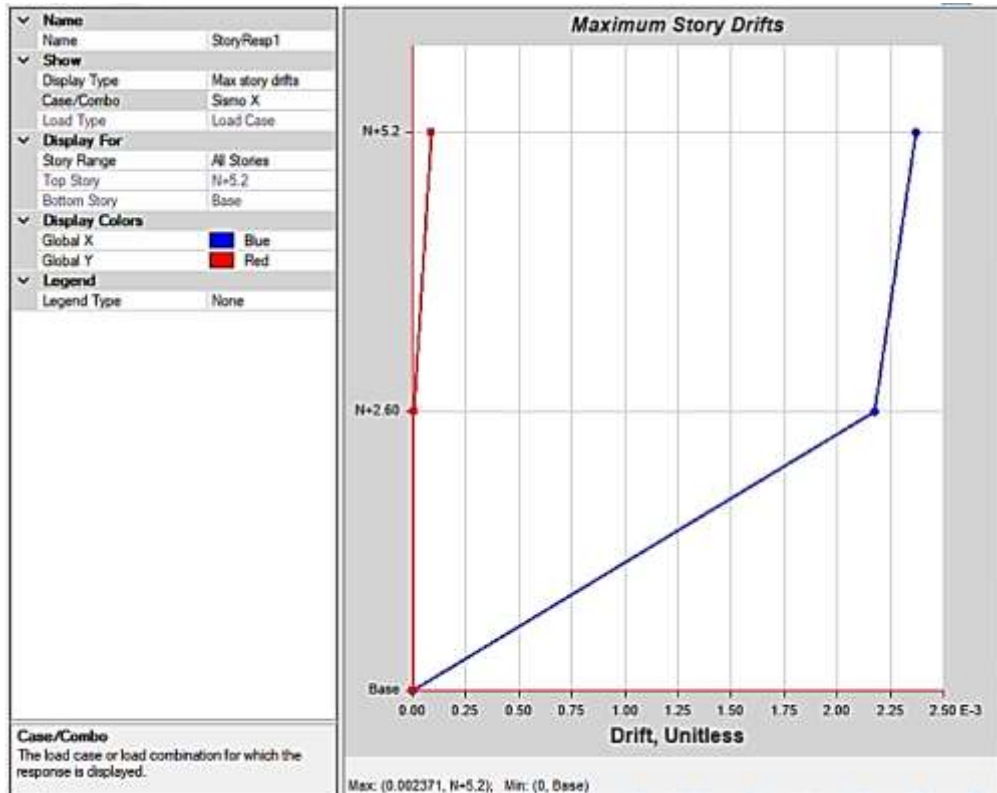
En las figuras 13 y 14 se muestran las derivas de piso por sismo en X y por sismo en Y respectivamente, la tabla 11 se muestra las derivas inelásticas, las mismas que cumplen con lo establecido en la norma, siendo menores al 2%.

Tabla 11. Derivas Inelásticas en hormigón armado

	Elástica	Inelástica
Sismo X	0,002371	1,07%
Sismo Y	0,002219	1,00%

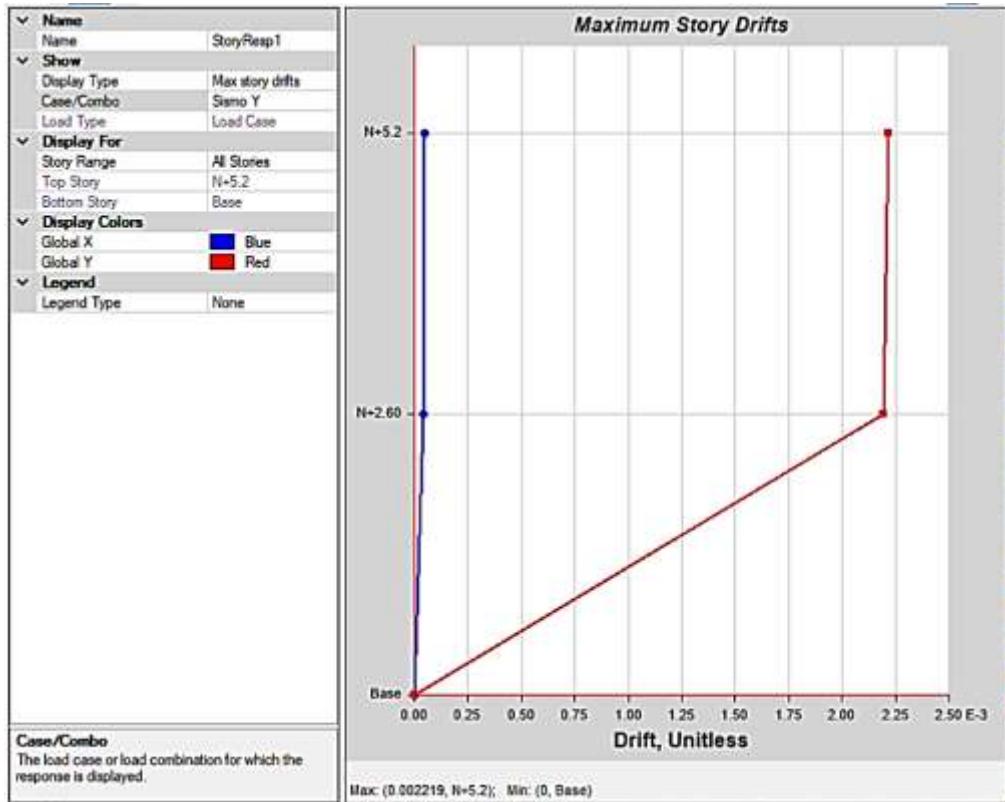
Elaboración: Tesista Javier Olivo

Figura 13. Deriva Sismo en X en hormigón armado



Fuente: ETABS 2016

Figura 14. Deriva Sismo en Y en hormigón armado



Fuente: ETABS 2016

3.7. Torsión en Planta

Para el chequeo de torsión de la estructura, una vez que ya se tienen las secciones definitivas, en el programa utilizaremos la tabla de “Modal Participating Modal Ratios”, que es las masas de participación modal.

Utilizaremos las celdas de RX, RY y RZ para la determinación de la torsión.

Tabla 12. Datos de participación modal en hormigón armado

Caso	Modo	RX	RY	RZ
Modal	1	0	0,1564	0,0383
Modal	2	0,1473	0	0

Fuente: ETABS 2016

Como criterio de diseño se tomará un porcentaje de torsión máxima del 20% en los dos primeros modos.

Se deberá sumar los tres valores (RX, RY, y RZ) y luego RZ dividirlo para esta sumatoria esto se realiza para cada modo de vibración de la estructura.

$$\%Modo1 = \frac{RZ}{RX + RY + RZ} * 100\%$$

$$\%Modo1 = \frac{0.0383}{0 + 0.1564 + 0.0383} * 100\%$$

$$\%Modo1 = 19.67\%$$

En la tabla 13 se tiene los porcentajes de torsión de la estructura en hormigón armado de los dos primeros modos.

Tabla 13. Tabla resumen de cálculo de torsión en hormigón armado

Caso	Modo	RX	RY	RZ	Sumatoria	% Torsión
Modal	1	0	0,1564	0,0383	0,1947	19,67%
Modal	2	0,1473	0	0	0,1473	0,00%

Elaboración: Tesista Javier Olivo

3.8. Cimentación para la estructura de hormigón armado

3.8.1. Predimensionamiento

Tomamos las cargas de servicio las cuales se transfieren a la cimentación del análisis de la estructura realizada en el software Etabs.

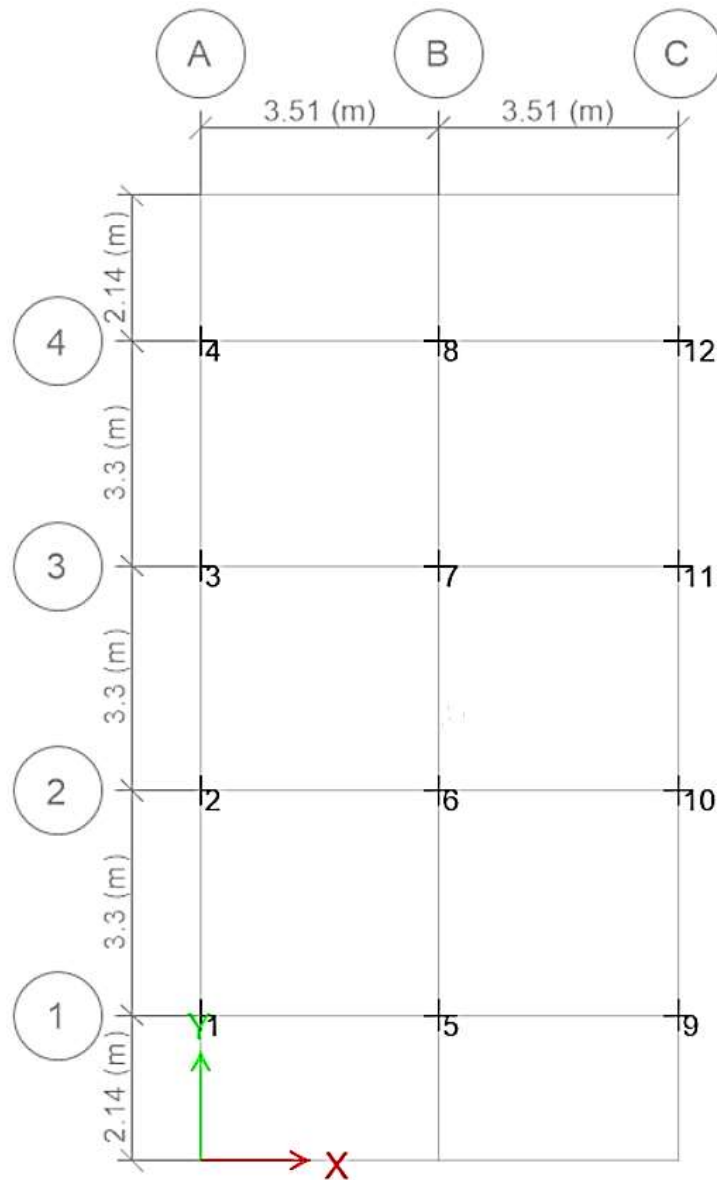
Se asumirá la capacidad portante del suelo de 15ton/m².

Tabla 14. Cargas Transmitidas a la cimentación en hormigón armado

Punto	Carga Muerta (CM) ton/m²	Carga Viva (CV) ton/m²	Carga de servicio ton/m²	Carga última ton/m²
1	13.49	1.79	15.29	19.06
2	10.42	1.40	11.83	14.75
3	10.99	1.44	12.43	15.50
4	9.07	1.44	10.51	13.18
5	25.87	3.90	29.78	37.30
6	20.87	3.18	24.06	30.15
7	21.90	3.26	25.16	31.50
8	18.13	3.29	21.42	27.03
9	13.49	1.79	15.29	19.06
10	10.42	1.40	11.83	14.75
11	10.99	1.44	12.43	15.50
12	9.07	1.44	10.51	13.18

Fuente: ETABS 2016

Figura 15. Ubicación de cargas de la cimentación en hormigón armado



Fuente: ETABS 2016

Tabla 15. Cargas para prediseño de plintos

Caso	Ejes	Carga de servicio ton/m ²	Carga última ton/m ²
1	A (1-2-3-4), C (1-2-3-4)	15.29	19.06
2	B1	29.78	37.30
3	B (2-3-4)	25.16	31.50

Elaboración: Tesista Javier Olivo

Se predimensionará las secciones de los plintos para cada caso, se realizará iteraciones entre la capacidad de carga que se asumió para el suelo y el área de fundación.

$$A = \frac{Ps}{\sigma_s}$$

Donde:

A = área de fundación

Ps = Carga de servicio (ton)

Os = Capacidad portante del suelo (ton/m²)

- **Determinación de secciones de los plintos Caso 1**

$$A1 = \frac{Ps}{\sigma_s} = \frac{15.29\text{ton}}{15\text{ton}/\text{m}^2} = 1.02\text{m}^2$$

$$B1 = \sqrt{A1} = \sqrt{1.02\text{m}^2} = 1.01\text{m}$$

Sección asumida (1.20 x 1.20) m

- **Determinación de secciones de los plintos Caso 2**

$$A2 = \frac{Ps}{\sigma_s} = \frac{29.78\text{ton}}{15\text{ton}/\text{m}^2} = 1.99\text{m}^2$$

$$B2 = \sqrt{A2} = \sqrt{1.99\text{m}^2} = 1.45\text{m}$$

Sección asumida (1.45 x 1.45) m

- **Determinación de secciones de los pintos Caso 3**

$$A3 = \frac{Ps}{\sigma s} = \frac{25.16\text{ton}}{15\text{ton/m}^2} = 1.68\text{m}^2$$

$$B3 = \sqrt{A3} = \sqrt{1.68} = 1.29\text{m}$$

Sección asumida (1.30 x 1.30) m

Tabla 16. Resumen de secciones

Caso	Ejes	Sección (m)
1	A (1-2-3-4), C (1-2-3-4)	1.20 x 1.20
2	B1	1.45 x 1.45
3	B (2-3-4)	1.30 x 1.30

Elaboración: Tesista Javier Olivo

3.1.1. Coeficiente de Balasto

A continuación, se muestra una tabla donde se encuentra los valores de Coeficiente de Balasto en función de la capacidad de carga del suelo. Dicho valor se ingresará en el software Safe.

Como la capacidad de carga se asumió de 15ton/m² el coeficiente de balasto seleccionado de la tabla es de 3.10kg/cm³.

Tabla 17. Módulo de Winkler

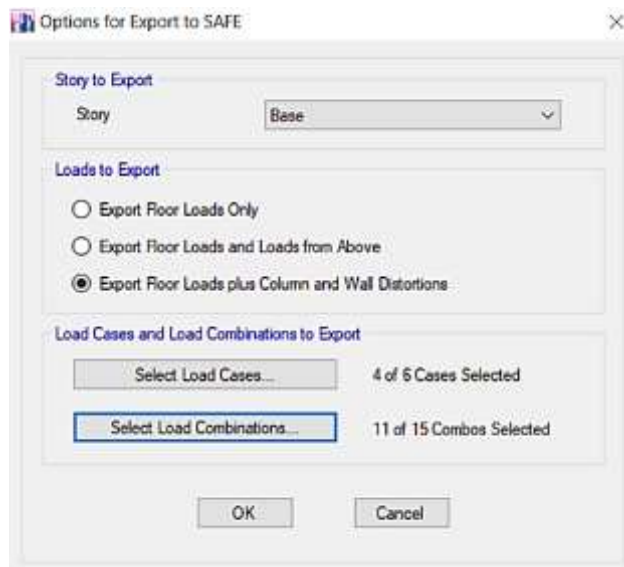
Esf Adm (kg/cm ²)	Winkler (kg/cm ³)	Esf Adm (kg/cm ²)	Winkler (kg/cm ³)	Esf Adm (kg/cm ²)	Winkler (kg/cm ³)
0.25	0.65	1.55	3.19	2.85	5.70
0.30	0.78	1.60	3.28	2.90	5.80
0.35	0.91	1.65	3.37	2.95	5.90
0.40	1.04	1.70	3.46	3.00	6.00
0.45	1.17	1.75	3.55	3.05	6.10
0.50	1.30	1.80	3.64	3.10	6.20
0.55	1.39	1.85	3.73	3.15	6.30
0.60	1.48	1.90	3.82	3.20	6.40
0.65	1.57	1.95	3.91	3.25	6.50
0.70	1.66	2.00	4.00	3.30	6.60
0.75	1.75	2.05	4.10	3.35	6.70
0.80	1.84	2.10	4.20	3.40	6.80
0.85	1.93	2.15	4.30	3.45	6.90
0.90	2.02	2.20	4.40	3.50	7.00
0.95	2.11	2.25	4.50	3.55	7.10
1.00	2.20	2.30	4.60	3.60	7.20
1.05	2.29	2.35	4.70	3.65	7.30
1.10	2.38	2.40	4.80	3.70	7.40
1.15	2.47	2.45	4.90	3.75	7.50
1.20	2.56	2.50	5.00	3.80	7.60
1.25	2.65	2.55	5.10	3.85	7.70
1.30	2.74	2.60	5.20	3.90	7.80
1.35	2.83	2.65	5.30	3.95	7.90
1.40	2.92	2.70	5.40	4.00	8.00
1.45	3.01	2.75	5.50		
1.50	3.10	2.80	5.60		

Fuente: Interacción Suelo-Estructura: Semi-espacio de Winkler [25]

3.8.2. Modelación de la cimentación

Exportamos los datos de la estructura analizada en Etabs al programa Safe para diseñar la cimentación.

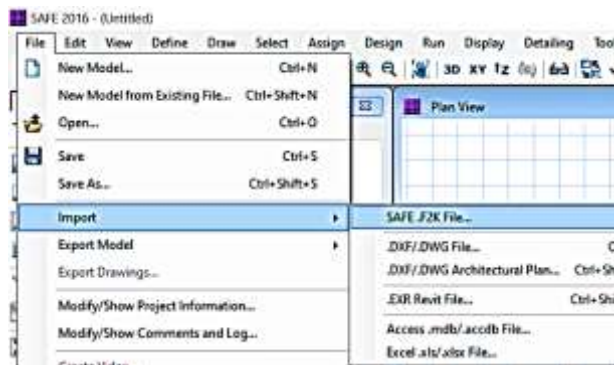
Figura 16. Cuadro de diálogo de exportación



Fuente: ETABS 2016

Luego ese archivo lo importamos al programa Safe.

Figura 17. Cuadro de diálogo de importación



Fuente: ETABS 2016

Luego de esto, definimos los materiales tal como se hizo en Etabs, también se define las propiedades del suelo.

Figura 18. Definición de propiedades del suelo

The image shows a software dialog box titled "Soil Subgrade Property Data". It is divided into three main sections:

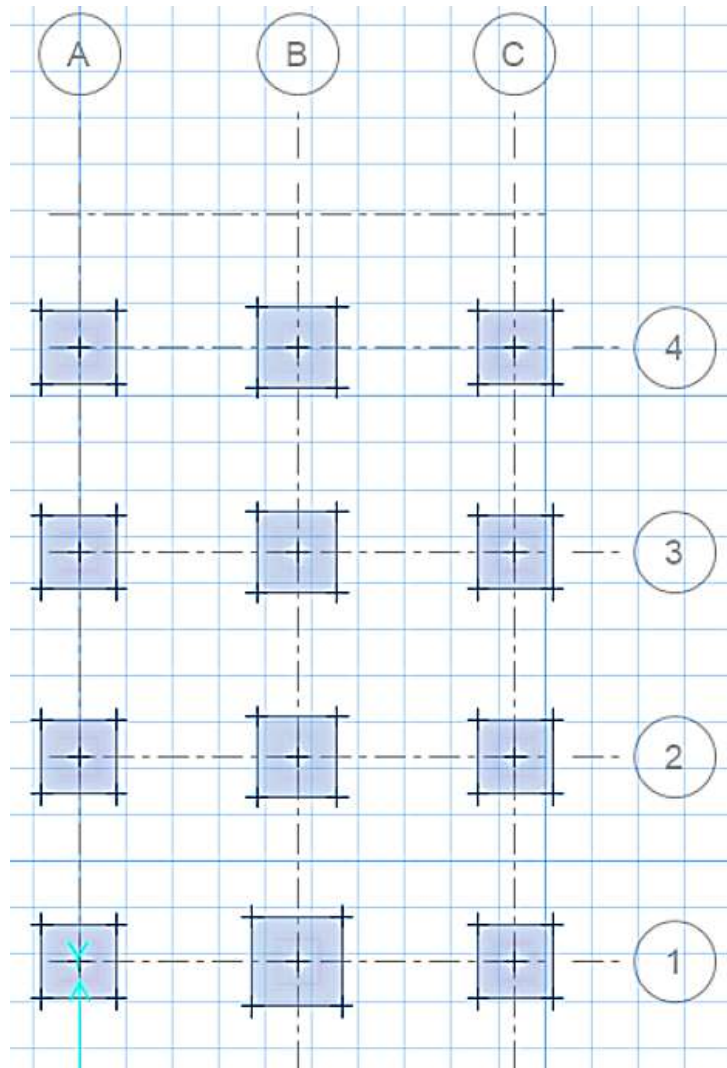
- General Data:** Contains a text field for "Property Name" with the value "15ton/m²", a color selection area for "Display Color" (currently cyan) with a "Change..." button, and a "Property Notes" field with a "Modify/Show Notes..." button.
- Property:** Contains a text field for "Subgrade Modulus (Compression Only)" with the value "3.1E+00" and the unit "kgf/cm³".
- Nonlinear Option (Nonlinear Cases Only):** Contains four radio button options: "None (Linear)", "Tension Only", "Compression Only" (which is selected), and "Elasto-Plastic". Below these are four text input fields for "Compression Stiffness", "Compression Strength", "Tension Stiffness", and "Tension Strength", all of which are currently empty.

At the bottom of the dialog are two buttons: "OK" and "Cancel".

Fuente: SAFE 2016

Dibujamos la cimentación con el valor de las diferentes secciones que fueron prediseñados anteriormente.

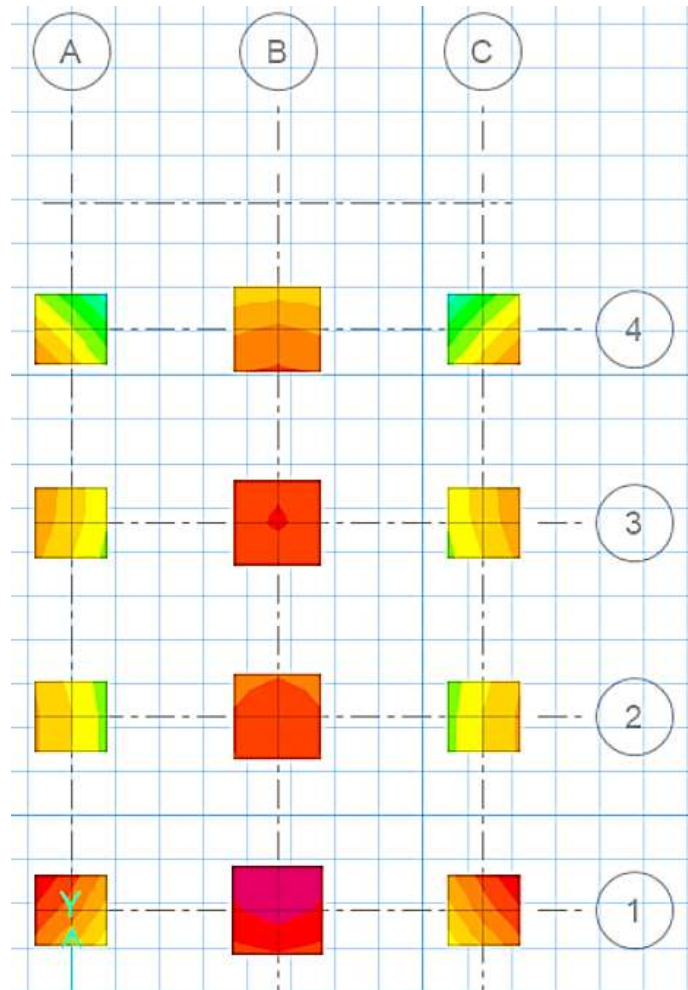
Figura 19. Esquema de cimentación en hormigón armado



Fuente: SAFE 2016

Se debe chequear que la respuesta de las zapatas sea menor al esfuerzo admisible del suelo, en este caso de 15 ton/m².

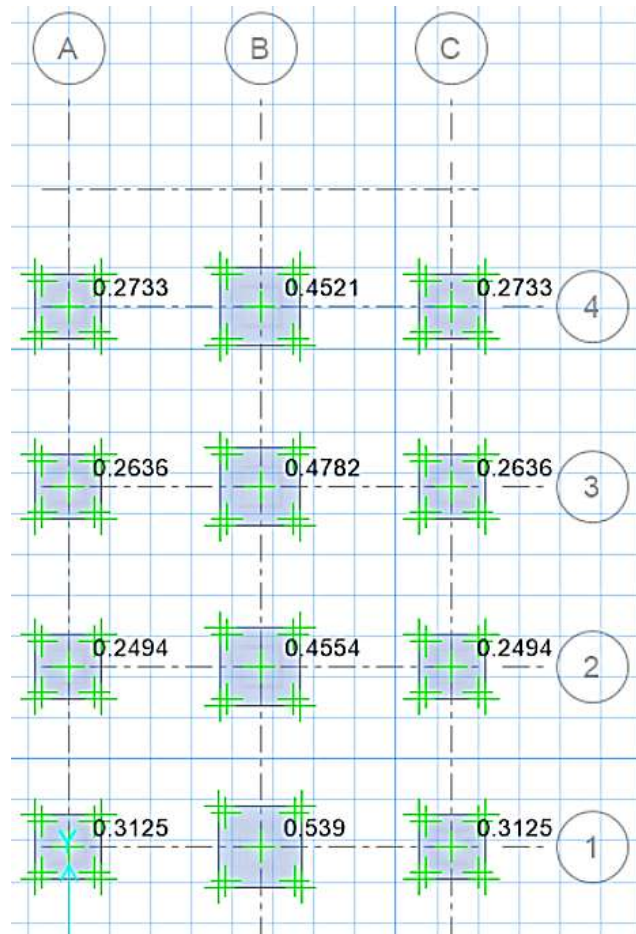
Figura 20. Presión de zapatas en hormigón armado



Fuente: SAFE 2016

En este caso todas cumplen con la sollicitación, luego se debe chequear el punzonamiento para saber si la altura es la correcta. Se debe verificar que ningún valor sea mayor a 1.

Figura 21. Punzonamiento de zapatas en hormigón armado



Fuente: SAFE 2016

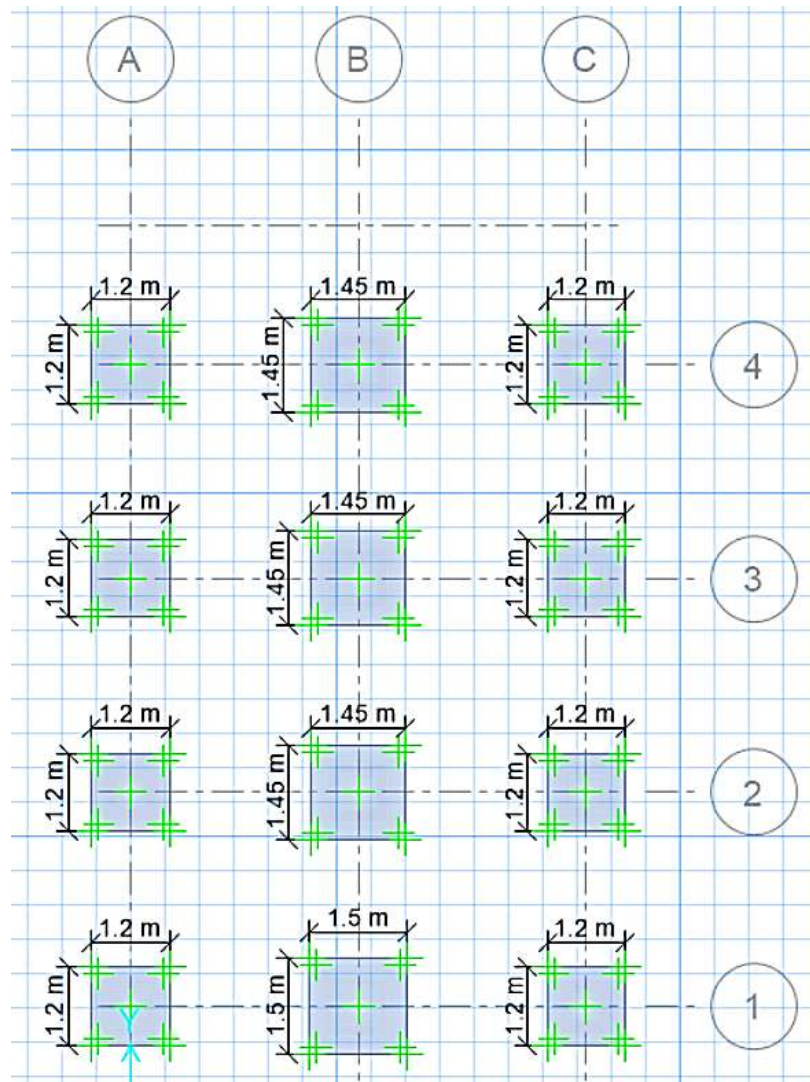
Después de realizar los chequeos correspondientes y que todo cumple, se tiene las siguientes secciones definitivas de plintos, con una altura de 30cm.

Tabla 18. Resumen de secciones definitivas para hormigón armado

Plinto	Ejes	Sección (m)
1	A (1-2-3-4), C (1-2-3-4)	1.20 x 1.20
2	B1	1.50 x 1.50
3	B (2-3-4)	1.45 x 1.45

Elaboración: Tesista Javier Olivo

Figura 22. Esquema de cimentación para hormigón armado



Fuente: SAFE 2016

3.9. Análisis constructivo

Para este análisis se procederá a determinar las cantidades de obra de la estructura que requiere la estructura en hormigón armado para así posteriormente realizar el cálculo del presupuesto referencial y el tiempo en días que conllevará su construcción. El presupuesto será únicamente de la construcción de la estructura.

3.9.1. Presupuesto referencial

Los precios unitarios de los rubros que intervienen en la construcción de dicha estructura se los determinaron a partir de los precios unitarios que se encuentran en la revista de la Cámara de la Construcción de Ambato del 2021. [26] Terminado esto se obtendrá el presupuesto referencial en obra gris de la vivienda la cual se presenta en la tabla 19.

Tabla 19. Presupuesto Referencial en hormigón armado

Presupuesto Referencial Hormigón Armado					
N#	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1. Trabajos Preliminares					
1.1	Limpieza y desbroce	m ²	141,48	1,53	216,46
1.2	Replanteo y nivelación	m ²	141,48	0,73	103,28
2. Movimiento de Tierras					
2.1	Excavación de cimientos	m ³	10,80	6,72	72,58
2.2	Desalojo	m ³	10,80	8,59	92,77
2.3	Tendido y compactado	m ²	141,48	5,92	837,56
3. Estructura					
3.1	Hormigón Simple 180kg/cm ² para Replanteo	m ³	2,01	156,84	315,25
3.2	Hormigón Simple 210kg/cm ² Plinto	m ³	7,45	152,60	1136,87
3.3	Hormigón Simple 210kg/cm ² Columnas	m ³	8,71	221,86	1933,18
3.4	Hormigón Simple 210kg/cm ² Cadenas de Amarre	m ³	3,61	200,72	724,85
3.5	Hormigón Simple 210kg/cm ² Vigas	m ³	12,13	233,86	2837,61
3.6	Acero de Refuerzo	kg	4682,95	1,93	9038,09
3.7	Losa Alivianada Hormigón 210kg/cm ² e=15cm	m ²	193,03	31,01	5985,86
4. Pisos					
4.1	Contrapiso Hormigón Simple 180kg/cm ² e=7cm	m ³	14,15	19,56	276,73
				TOTAL	23404,15

Elaboración: Tesista Javier Olivo

Se tiene un costo total de 23404.15 dólares americanos para llevar a cabo la obra gris.

3.9.2. Tiempos de Construcción

El tiempo referencial de construcción en hormigón armado se basó en los rubros que se calculó para el presupuesto, se utilizaron los rendimientos por día de cada uno y con ello en la tabla 20 se presenta el tiempo que se estima para cada actividad.

Tabla 20. Tiempo de construcción en hormigón armado

Tiempos de Construcción en Hormigón Armado					
N#	Rubro	Unidad	Cantidad	Rend. Día	Días
1. Trabajos Preliminares					
1.1	Limpieza y desbroce	m ²	141,48	60,00	2,36
1.2	Replanteo y nivelación	m ²	141,48	80,00	1,77
2. Movimiento de Tierras					
2.1	Excavación de cimientos	m ³	10,80	10,00	1,08
2.2	Desalojo	m ³	10,80	70,00	0,15
2.3	Tendido y compactado	m ²	141,48	8,00	17,69
3. Estructura					
3.1	Hormigón Simple 180kg/cm ² para Replanteo	m ³	2,01	10,00	0,20
3.2	Hormigón Simple 210kg/cm ² Plinto	m ³	7,45	12,00	0,62
3.3	Hormigón Simple 210kg/cm ² Columnas	m ³	8,71	8,00	1,09
3.4	Hormigón Simple 210kg/cm ² Cadenas de Amarre	m ³	3,61	9,00	0,40
3.5	Hormigón Simple 210kg/cm ² Vigas	m ³	12,13	10,00	1,21
3.6	Acero de Refuerzo	kg	4682,95	317,00	14,77
3.7	Losa Alivianada Hormigón 210kg/cm ² e=15cm	m ²	193,03	8,00	24,13
4. Pisos					
4.1	Contrapiso Hormigón Simple 180kg/cm ² e=7cm	m ³	14,15	25,00	0,57
				TOTAL	66,04

Elaboración: Tesista Javier Olivo

Se estima un tiempo de 66 días con 1 hora para efectuar la obra gris de la estructura con material de hormigón armado.

CAPITULO IV

ANÁLISIS ESTRUCTURAL CON CONTENEDORES

4.1. Introducción

Para el desarrollo del capítulo a continuación, se parte del modelo arquitectónico anteriormente analizado en hormigón armado, la cual consta de una vivienda unifamiliar de dos plantas, pero en este caso se lo adecuó utilizando contenedores de 40 pies de longitud, por lo que el diseño es el mismo cambiando únicamente su estructura.

Se analizará cada una de las secciones estructurales que posee el contenedor, donde se verificará que cumpla todos los chequeos de seguridad para la vivienda.

Los resultados obtenidos del análisis de la estructura del contenedor, permitirán compararlos con los datos en hormigón armado, y así poder emitir un criterio de cuál de los dos es mejor estructural como económicamente.

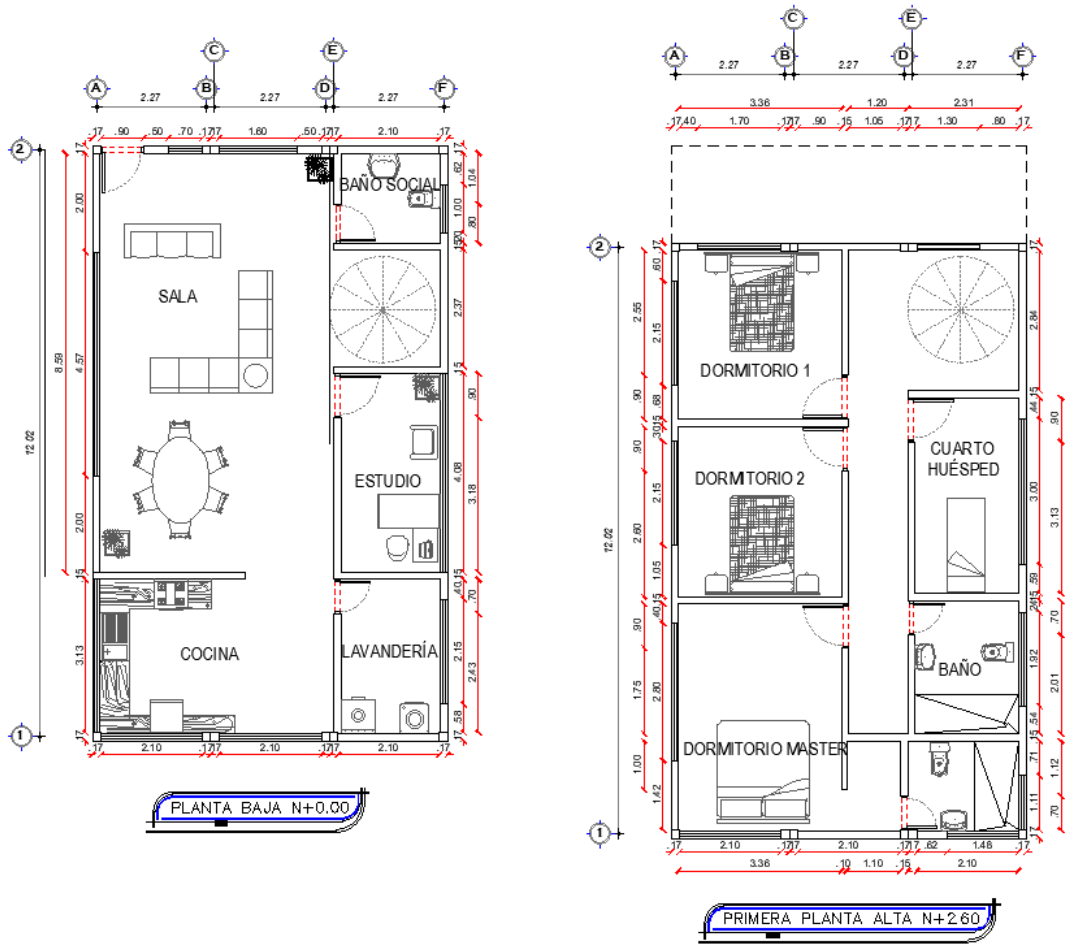
4.2. Descripción arquitectónica

Consta de 6 contenedores colocados 3 en la planta baja y 3 en la planta superior, están colocados dejando un volado de 2.14m.

Como se muestra en la Figura 23 los ejes verticales sí coinciden en cada planta, pero los ejes horizontales no coinciden ya que se colocarán los contenedores dejando un volado a cada extremo de los contenedores.

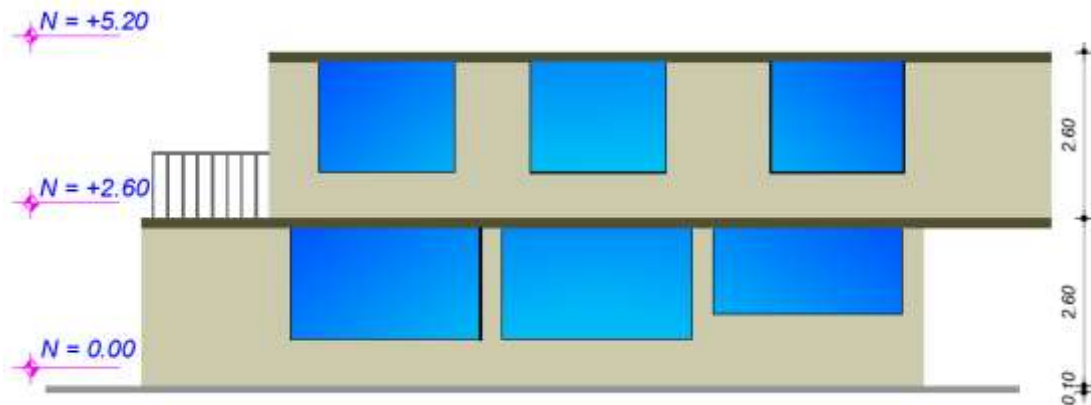
Las distancias entre los ejes verticales B – C y D – E son muy cortas, esto se debe a que ahí es donde se unen los contenedores paralelamente. Tendrá una distancia de 4.5 cm entre dichos ejes.

Figura 23. Configuración arquitectónica para contenedores



Elaboración: Tesista Javier Olivo

Figura 24. Vista en elevación de casa con contenedores

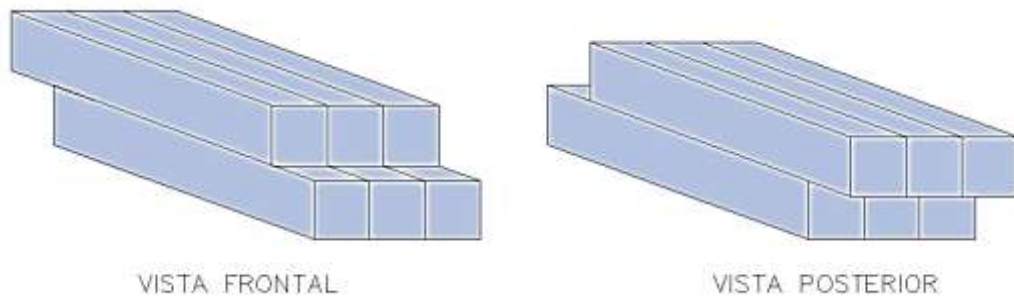


Elaboración: Tesista Javier Olivo

Presenta las siguientes características:

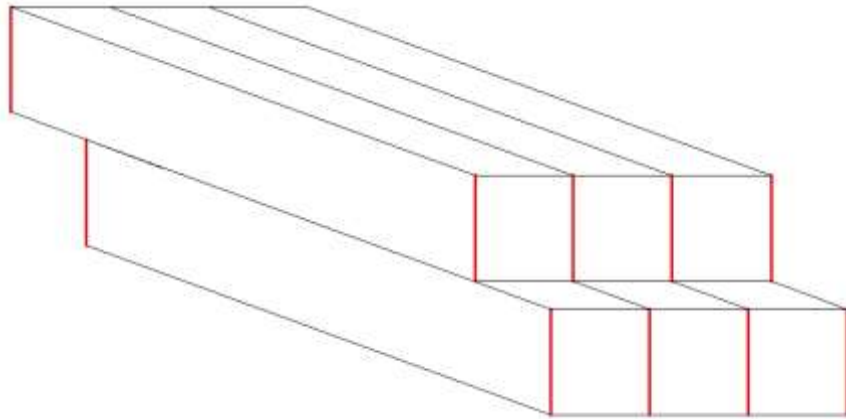
- Luz máxima entre ejes de 12.02m, esto debido a la longitud del contenedor.
- 6 ejes en sentido vertical y 2 ejes en sentido horizontal, estos últimos no coinciden en los dos niveles debido a la ubicación de los contenedores, en la Figura 25 se aprecia la configuración estructural que tendrán los contenedores.
- 12 columnas no continuas en cada piso de la casa por la configuración estructural de los contenedores, cada contenedor posee 4 pilares, al ser 6 contenedores en cada piso, se tiene las 12 columnas. En la Figura 26 se presenta la disposición de las columnas de color rojo.

Figura 25. Configuración estructural de los contenedores



Elaboración: Tesista Javier Olivo

Figura 26. Disposición de columnas de los contenedores



Elaboración: Tesista Javier Olivo

4.2.1. Materiales

- Densidad del acero: 7850kg/m^3
- Límite de fluencia del acero del contenedor: $f_y = 3515\text{kg/cm}^2$ [27]
- Módulo de elasticidad del acero: $E=2100000\text{kg/cm}^2$

4.2.2. Cargas

- **Carga Viva**

Para la carga viva se tomará la que recomienda la Norma Ecuatoriana de la Construcción del 2015.

CV = 0.2 ton/m² (NEC 2015 – CARGAS (NO SÍSMICAS) 4.2 Carga viva:
sobrecargas mínimas – Tabla 9. Pág29.) [23]

- **Carga Muerta en N+5.20**

Instalaciones: 0.03 ton/m²

Cielo raso: 0.012 ton/m²

Panel metálico 2mm: 0.0157 ton/m²

CM = 0.0577 ton/m²

- **Carga Muerta en N+2.60**

Instalaciones: 0.03 ton/m²

Cielo raso: 0.012 ton/m²

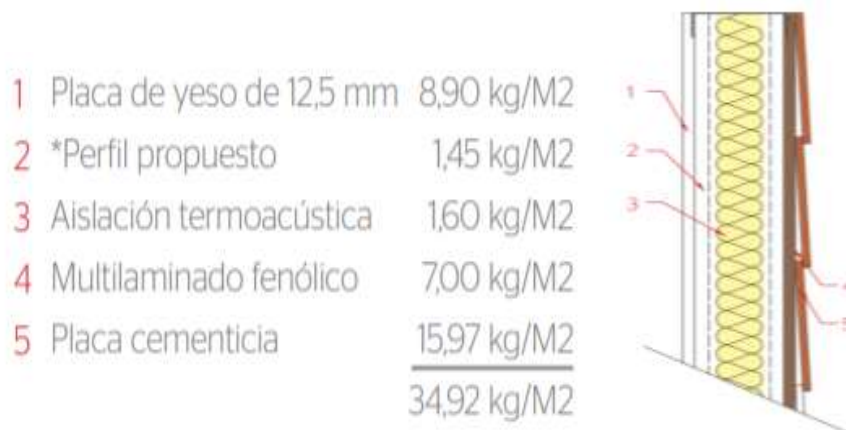
Panel (pared): 0.03492 ton/m² [28]

Panel metálico 2mm: 0.0157 ton/m²

CM = 0.09262 ton/m²

La Figura 27 nos presenta el detalle de una pared liviana que se utilizará para la casa con contenedores con sus respectivos pesos.

Figura 27. Estructura de pared ligera



Fuente: Manual de apoyo Steel Frame [28]

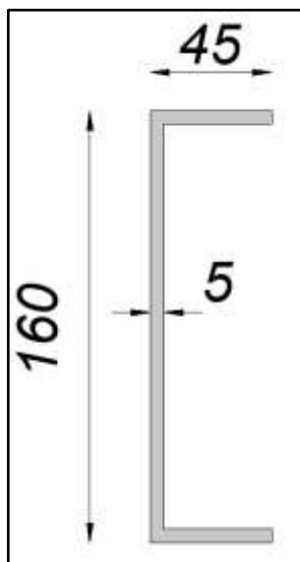
4.3. Secciones de elementos estructurales

Las secciones de los elementos estructurales que conforman la estructura de un contenedor se toman de la publicación “Evaluation, modeling, and análisis of shipping container building structures”. En dicho documento se detalla cada una de las secciones de la estructura del contenedor con sus dimensiones tal como se muestran a continuación.

4.3.1. Viga longitudinal inferior (Viga 1)

Se sitúa en el borde inferior de cada uno de los lados del contenedor y se une a los herrajes esquineros formando así la subestructura del mismo. En la Figura 28 se muestra la sección del miembro estructural mencionado con sus dimensiones en milímetros. [27]

Figura 28. Sección transversal de viga longitudinal inferior

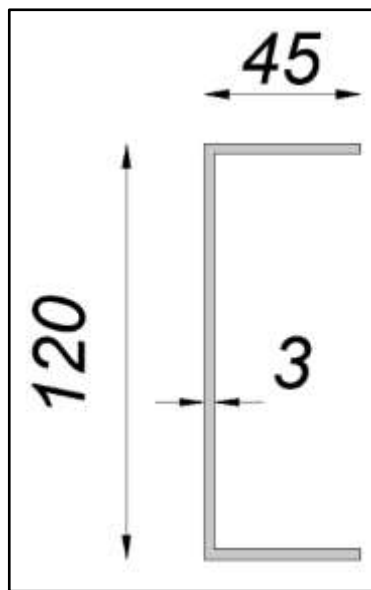


Elaboración: Tesista Javier Olivo

4.3.2. Vigas transversales (Viga 2)

Son vigas que se encuentran en la parte inferior del contenedor que sirven para soportar el piso del mismo. Se conectan entre las vigas longitudinales. La sección de estas vigas se muestra en la Figura 29 en milímetros. [27]

Figura 29. Sección transversal de viga transversal

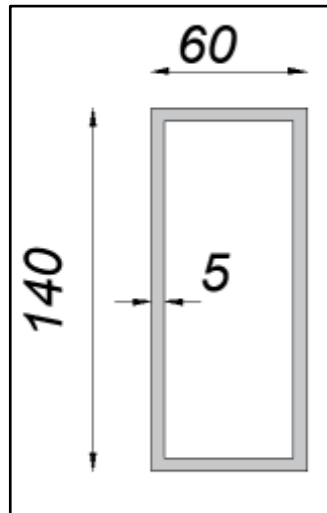


Elaboración: Tesista Javier Olivo

4.3.3. Viga frontal inferior (Viga 3)

Este elemento se sitúa en el borde inferior frontal del contenedor. En la Figura 30 se muestra la sección de dicha viga con sus dimensiones en milímetros. [27]

Figura 30. Sección transversal la Viga frontal inferior

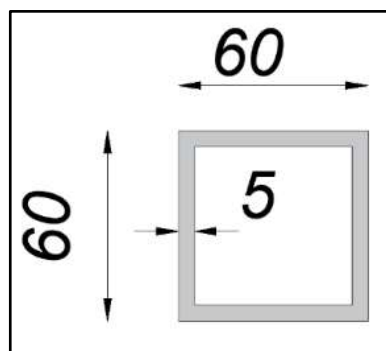


Elaboración: Tesista Javier Olivo

4.3.4. Viga frontal y longitudinal superior (Viga 4)

Se sitúa en el borde frontal de la parte superior del contenedor. En la Figura 31 se muestra la sección de dicha viga en milímetros. [27]

Figura 31. Sección transversal de viga frontal superior

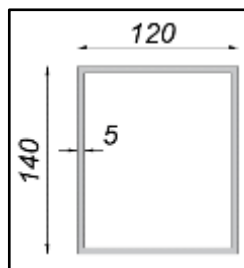


Elaboración: Tesista Javier Olivo

4.3.5. Vigas superior e inferior posteriores (Viga 5)

Cada una se ubican en la parte inferior y superior respectivamente, de la abertura de la puerta del contenedor que se une a los herrajes esquineros en el marco extremo de estas puertas. En la Figura 32 se muestra la sección de dicha viga en milímetros. [27]

Figura 32. Sección transversal de viga superior e inferior posteriores

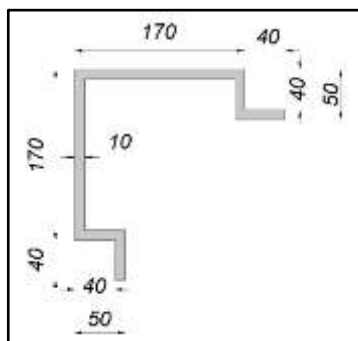


Elaboración: Tesista Javier Olivo

4.3.6. Pilares frontales (Columna 1)

Elemento estructural vertical situado en la parte frontal del contenedor que sirven de columnas, se unen a las esquinas inferior y superior. En la Figura 33 se muestra la sección de estos pilares en milímetros. [27]

Figura 33. Sección transversal de viga superior e inferior posteriores

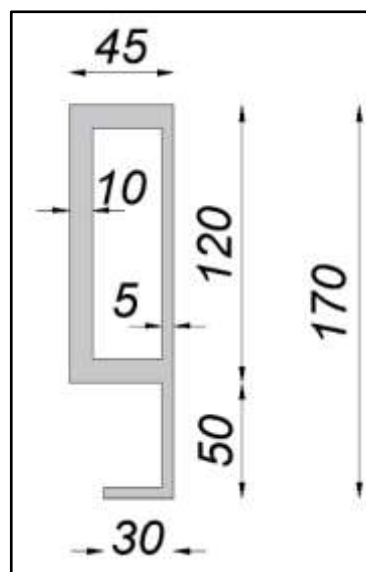


Elaboración: Tesista Javier Olivo

4.3.7. Pilares posteriores (Columna 2)

Este elemento estructural está localizado en la parte posterior del contenedor a los lados de las puertas, sirven de columnas. La sección de estos pilares se muestra en la Figura 34 en milímetros. [27]

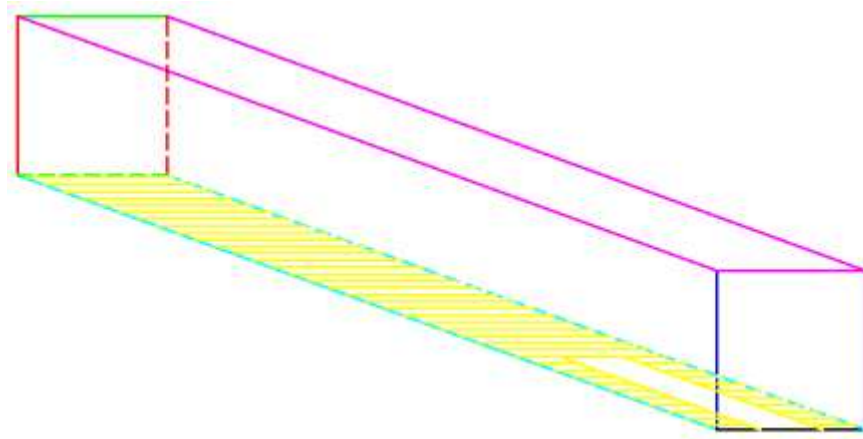
Figura 34. Sección transversal de viga superior e inferior posteriores



Elaboración: Tesista Javier Olivo

Estas son las secciones que se modelaran en el software para realizar el análisis estructural. Estas secciones ya son estandarizadas y se construyen los contenedores, por ello no se realizó calculo alguno para determinar estas secciones. En la figura 35 se puede apreciar el lugar de cada sección que se analizó anteriormente.

Figura 35. Estructura de un contenedor



- VIGAS LONGTUDINALES INFERIORES (VIGA 1)
- VIGAS TRANSVERSALES (VIGA 2)
- VIGA FRONTAL INFERIOR (VIGA 3)
- VIGA FORNTAL Y LONGITUDINAL SUPERIOR (VIGA 4)
- VIGAS SUPERIOR E INFERIOR POSTERIORES (VIGA 5)
- PILARES FRONTALES (COLUMNA 1)
- PILARES POSTERIORES (COLUMNA 2)

Elaboración: Tesista Javier Olivo

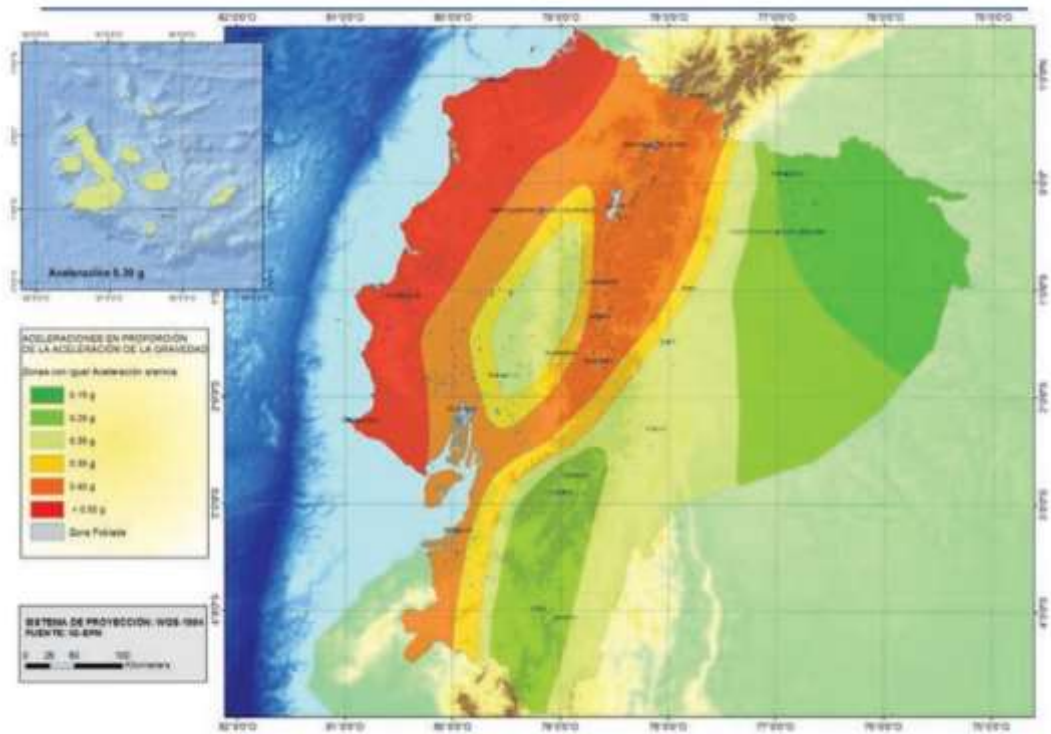
4.4. Análisis estático equivalente

Se obtuvo lo siguiente utilizando las fórmulas presentadas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 con valores de la ciudad de Ambato y un suelo tipo D tal como se lo realizó en el análisis de la estructura en hormigón armado.

4.4.1. Zonificación sísmica y factor Z

Se debe determinar el valor de Z para analizar el comportamiento de la estructura dependiendo del lugar donde se edificará. Z es la aceleración máxima que se espera para el sismo de diseño. En la tabla 21 se puede apreciar el coeficiente Z.

Figura 36. Zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z



Fuente: NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sismorresistente [24]

Tabla 21. Coeficiente Z

Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor Factor Z	0.15	0.25	0.3	0.35	0.40	>0.5
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Fuente: NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sismorresistente [24]

Ambato se encuentra en la Zona Sísmica V, por lo tanto, su coeficiente Z es de 0.4.

4.4.2. Coeficientes de perfil de suelo

Estos coeficientes se determinan dependiendo del tipo de suelo y la zona sísmica anteriormente revisada.

Tabla 22. Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto (Fa)

Tipo de perfil del suelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.3	0.35	0.40	≥ 0.5
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	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1	0.85
F	Clasificación de los perfiles de suelo					

Fuente: NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sismorresistente [24]

Tabla 23. Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca (Fd)

Tipo de perfil del suelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.3	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	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	Clasificación de los perfiles de suelo					

Fuente: NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sismorresistente [24]

Tabla 24. Comportamiento no lineal de los suelos (Fs)

Tipo de perfil del suelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.3	0.35	0.40	≥0.5
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	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Clasificación de los perfiles de suelo					

Fuente: NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sismorresistente [24]

Al igual que para la estructura de hormigón armado asumiremos un suelo tipo D para la ciudad Ambato y por ello la zona sísmica es V, los coeficientes de perfil de suelo son los siguientes:

- Fa = 1.20
- Fd = 1.19
- Fs = 1.28

Con estos valores calcularemos el periodo de vibración Tc.

$$T_c = 0.55 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0.55 * 1.28 * \frac{1.19}{1.20}$$

$$T_c = 0.698$$

También se calcula el periodo límite de vibración To.

$$T_o = 0.1 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_o = 0.1 * 1.28 * \frac{1.19}{1.20}$$

$$T_o = 0.127$$

El periodo de vibración T_a se calcula mediante la expresión:

$$T_a = C_t * h_n^\alpha$$

Donde:

- C_t = Coeficiente que depende del tipo de edificio
- h_n = altura máxima de la edificación

los valores de C_t y de α se obtienen de la tabla 25.

Tabla 25. Valores de C_t y α

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramiento	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Fuente: NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sismorresistente [24]

$$T_a = C_t * h_n^\alpha$$

$$T_a = 0.073 * (5.20)^{0.75}$$

$$T_a = 0.251$$

$$T_o \leq T_a \leq T_c$$

$$0.127 \leq 0.251 \leq 0.698$$

4.4.3. Espectro de respuesta elástico de aceleraciones

Se calcula el espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a con la expresión:

$$S_a = n * Z * F_a$$

Como ya conocemos Z y F_a , n la obtenemos de los siguientes valores:

- $n = 1.80$ Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas)
- $n = 2.48$ Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos
- $n = 2.60$ Provincias del Oriente

Como la ciudad de Ambato pertenece a la Sierra, el valor de n es de 2.48, y calculamos S_a .

$$S_a = 2.48 * 0.4 * 1.20$$

$$S_a = 1.19$$

4.4.4. Cortante basal

Para el cálculo de cargas sísmicas equivalentes, se obtiene el cortante basal:

$$V = \frac{I * S_a(T_a)}{R * \emptyset_p * \emptyset_e} * W$$

Se ha optado por un valor de R de 2.5 para estructuras de acero conformado en frío, el factor de irregularidad en elevación \emptyset_e de 0.9 por poseer una irregularidad geométrica al tener un volado, el factor de irregularidad en planta \emptyset_p de 1 ya que no presenta

irregularidad alguna, todo es simétrico y el peso de la estructura se la obtuvo del software con el que se realizó el análisis.

Figura 37. Peso de la estructura con contenedores

Story	Load Case/Combo	Location	P tonf
N +5.20	Dead	Top	5.719
N +5.20	Dead	Bottom	6.7898
N +2.60	Dead	Top	17.9999
N +2.60	Dead	Bottom	19.1068

Fuente: ETABS 2016

$$V = \frac{1 * 1.19}{2.5 * 1 * 0.9} * 19.11ton$$

$$V = 0.528 * 19.11ton$$

$$V = 10.10ton$$

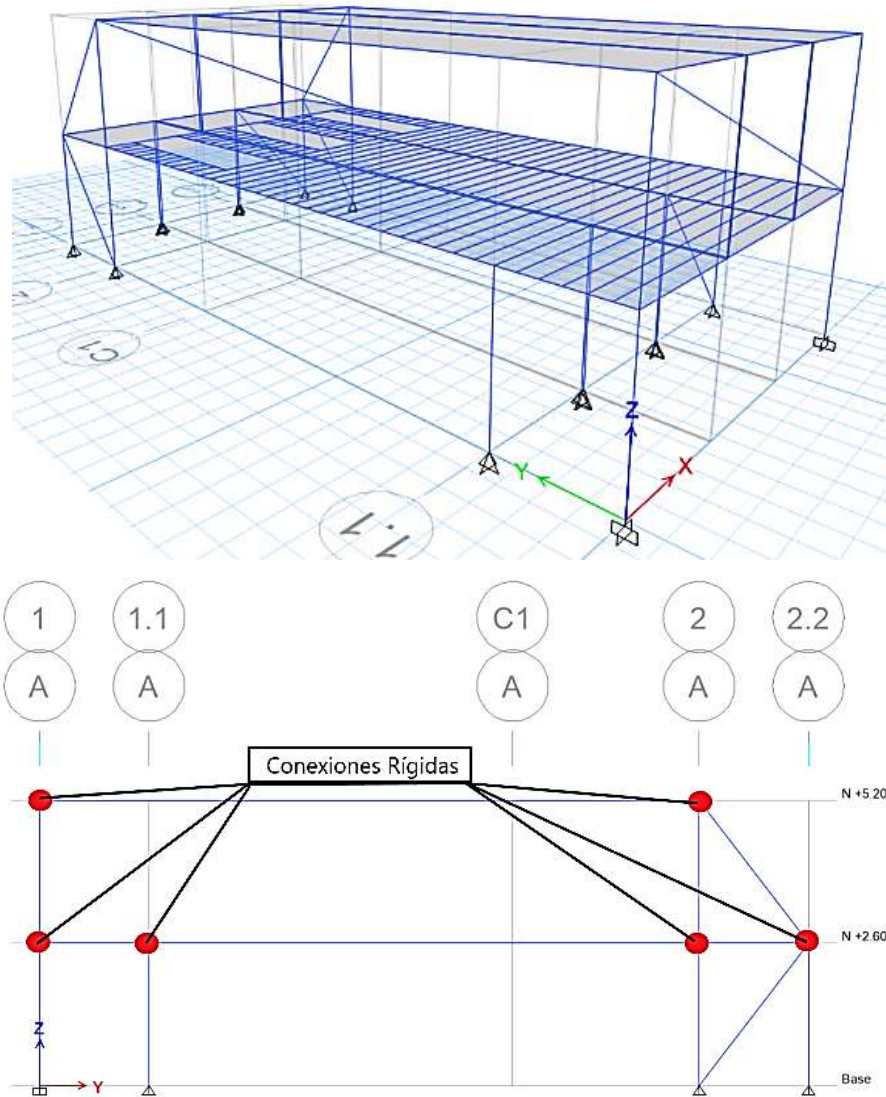
El cortante basal está formado del 52.80% de la carga muerta que tiene la estructura.

4.5. Análisis de grados de libertad en nudos y apoyos

4.5.1. Conexiones rígidas (Soldadas) en nudos

Para el modelado de la estructura se le asignará conexión rígida a los nudos que componen la unión entre vigas principales – columnas y las que forman los nudos de unión vigas principales – columnas de refuerzo. Se utilizará soldadura continua de penetración completa, con esto se permitirá la continuidad de los elementos estructurales y restringiendo la rotación igual o superiores al 90%.

Figura 38. Conexiones rígidas de la estructura del contenedor

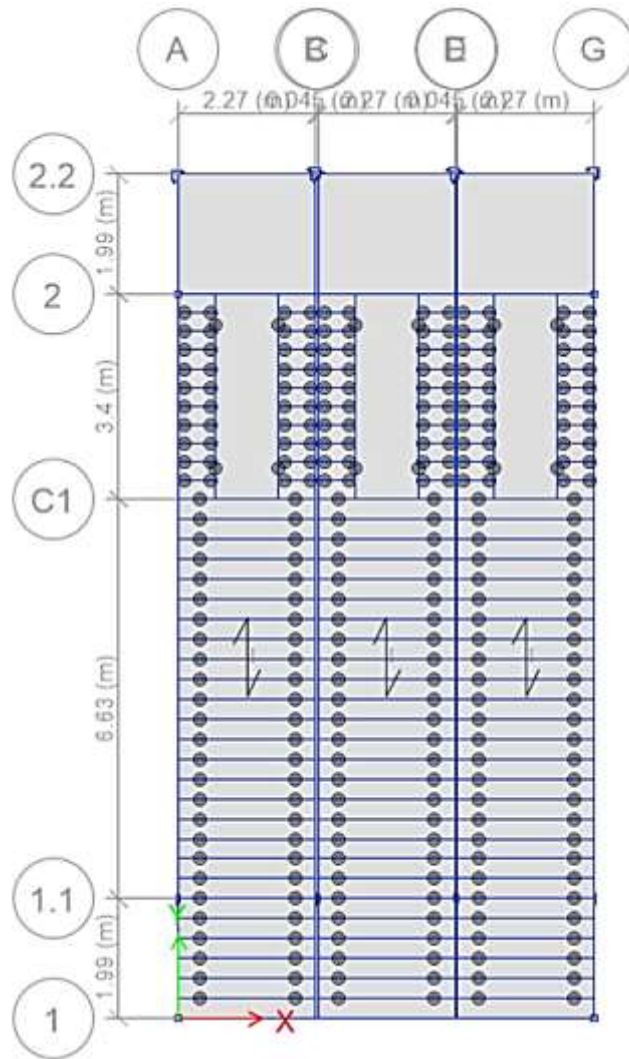
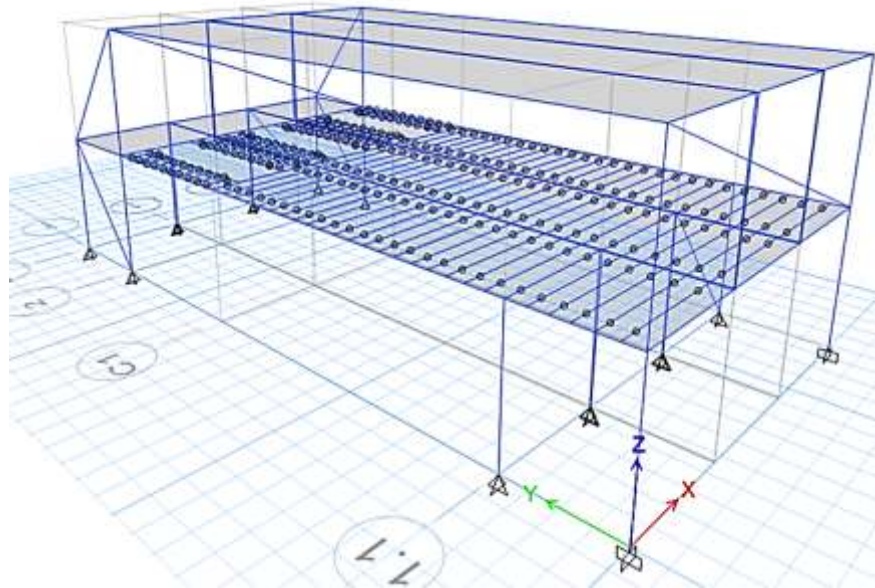


Fuente: ETABS 2016

4.5.2. Conexiones flexibles o articuladas en nudos

Para el modelado de la estructura del contenedor se le asignará conexiones flexibles a aquellos nudos que componen la unión de vigas principales – vigas secundarias, consideramos conexiones que transmiten solamente cortante.

Figura 39. Conexiones flexibles de la estructura del contenedor

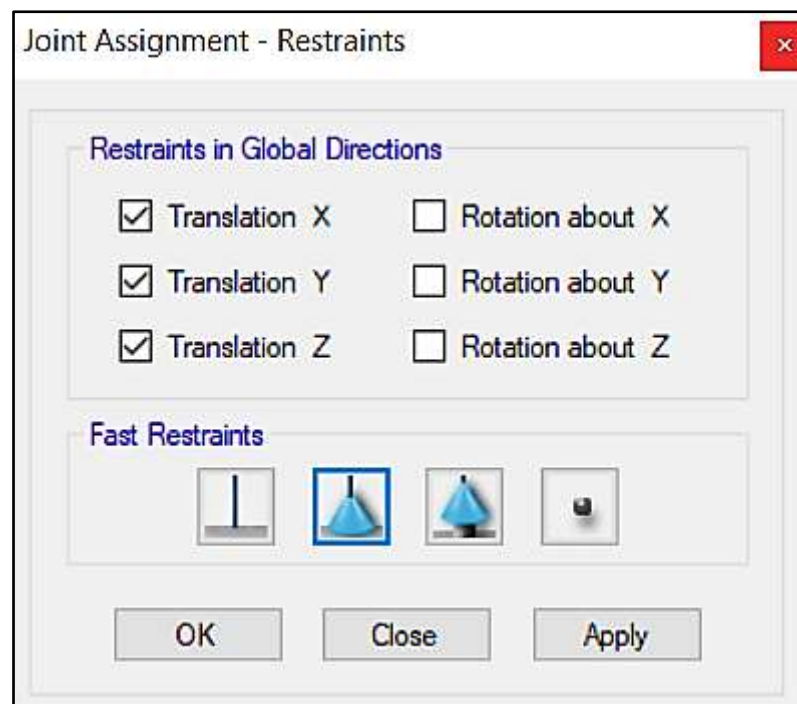


Fuente: ETABS 2016

4.5.3. Apoyos articulados

Para fijar la estructura del contenedor a la cimentación se utilizará apoyos articulados con el fin de restringir movimientos de traslación bajo cargas gravitacionales y sísmicas. [5]

Figura 40. Apoyos flexibles



Fuente: ETABS 2016

4.6. Modelamiento computacional

Una vez determinado las secciones de los elementos estructurales que componen el contenedor, se procede al modelamiento donde se utilizará el software Etabs para analizar el comportamiento de este y verificar que cumpla los parámetros de diseño.

El material utilizado se muestra en la Figura 41.

Figura 41. Material acero del contenedor

Material Property Data

General Data

Material Name: 50ksi

Material Type: Steel

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

Specify Weight Density Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 7.849 tonf/m³

Mass per Unit Volume: 0.80038 tonf-s³/m⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 21000000 tonf/m²

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C

Shear Modulus, G: 8076923.08 tonf/m²

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

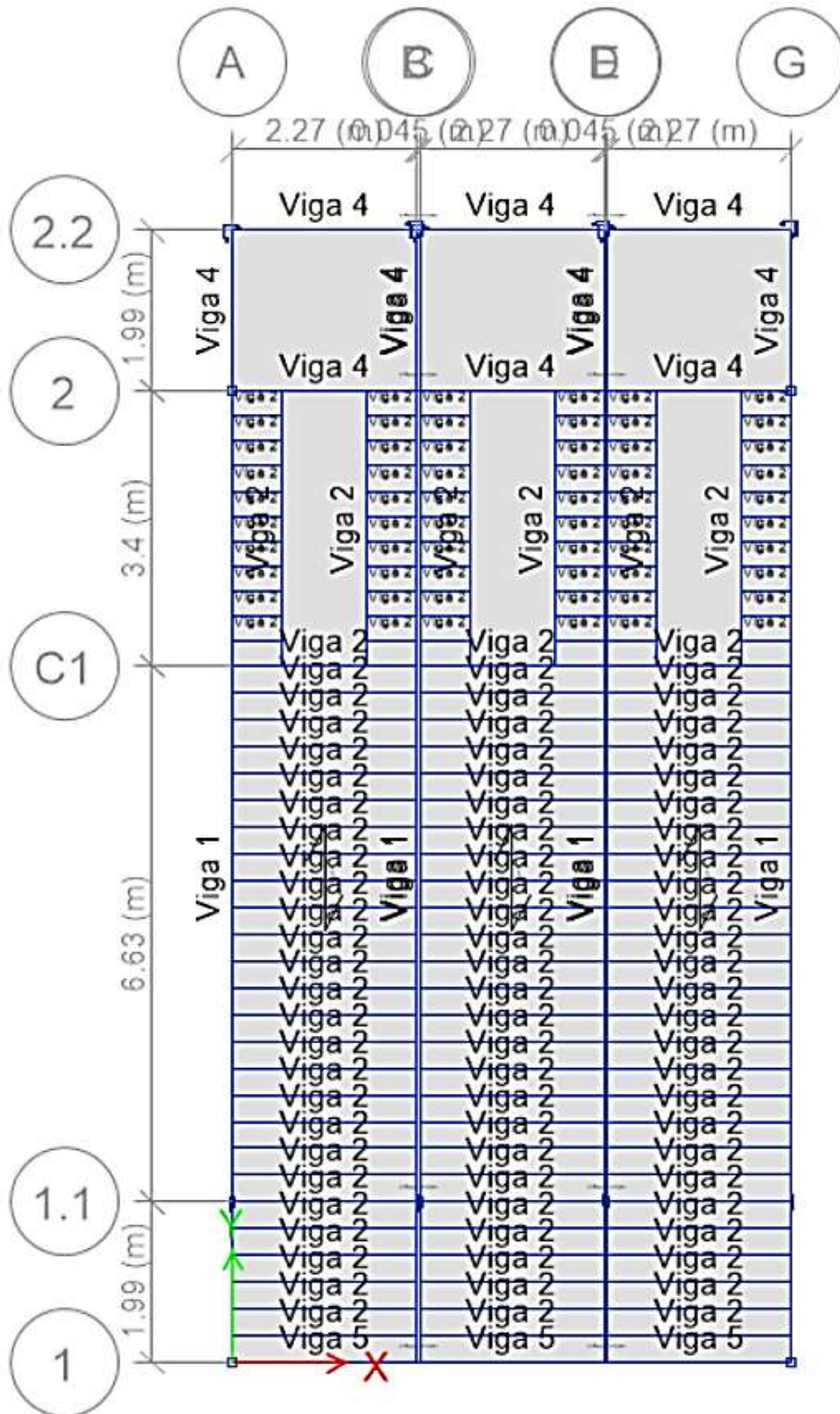
Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

Fuente: ETABS 2016

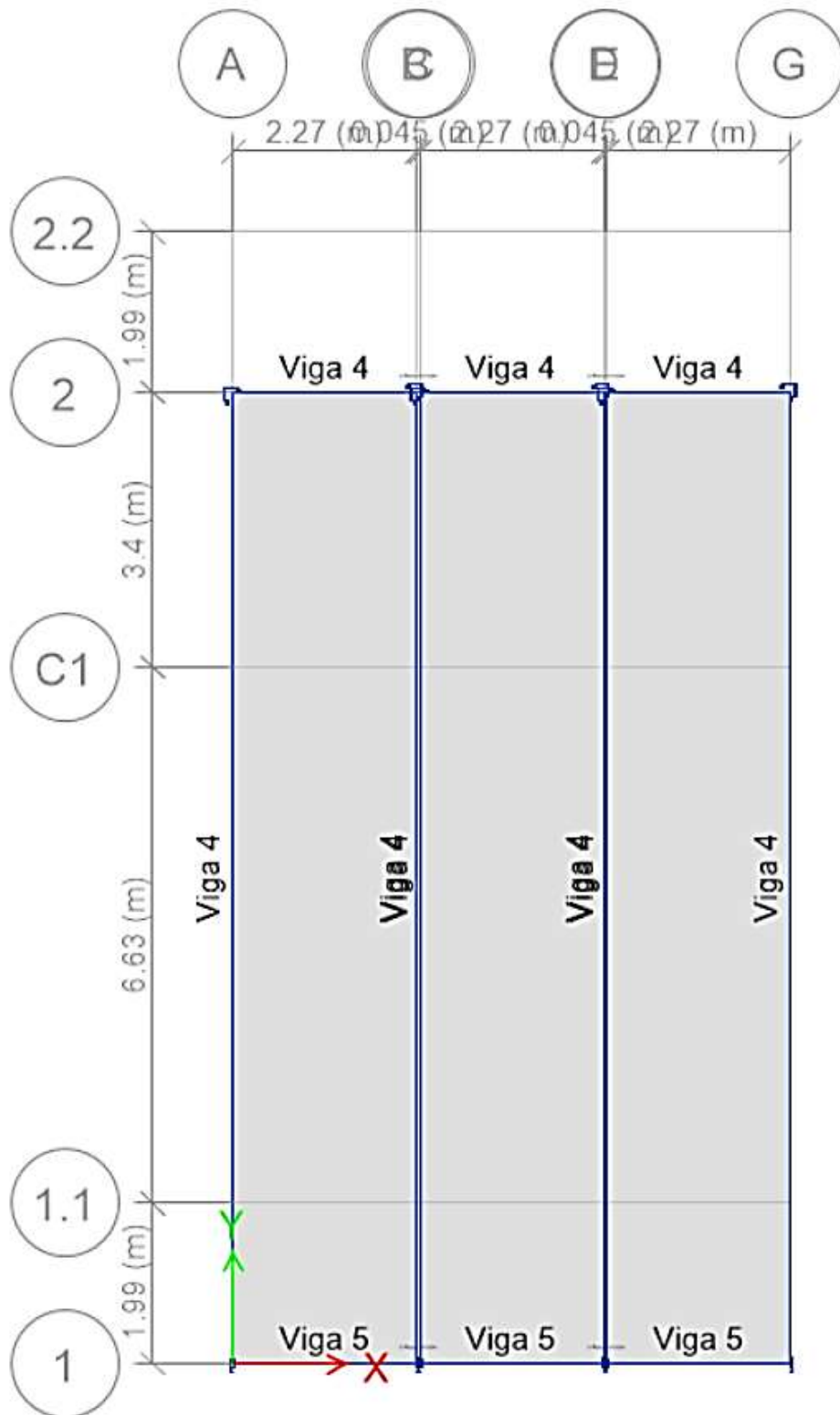
Luego del análisis en las figuras 42, 43, 44, 45, 46 y 47, se muestra los modelos estructurales definitivos, donde se aprecia que la colocación de refuerzos permitirá que los contenedores resistan las cargas gravitacionales y las cargas sísmicas a las que estará sometida. Estos refuerzos son tubos metálicos estructurales de sección cuadrada de 10cm x 10cm con un espesor de 2mm y otro de las mismas dimensiones, pero con espesor de 4mm.

Figura 42. Vista de secciones en planta N+2.60 con contenedores



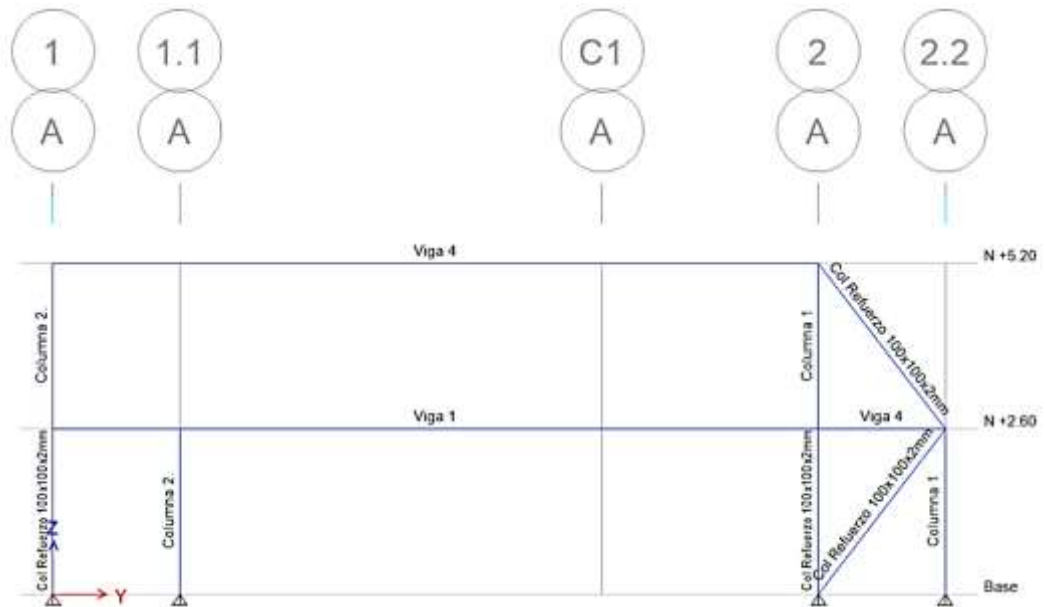
Fuente: ETABS 2016

Figura 43. Vista de secciones en planta N+5.20 con contenedores



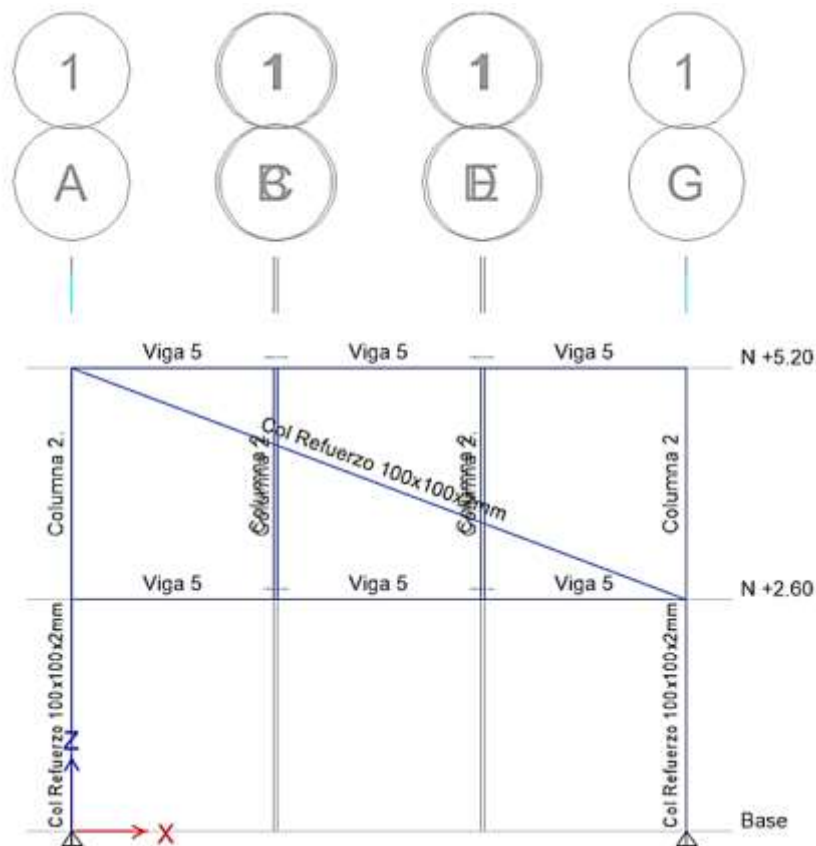
Fuente: ETABS 2016

Figura 44. Vista de secciones en elevación ejes A y G con contenedores



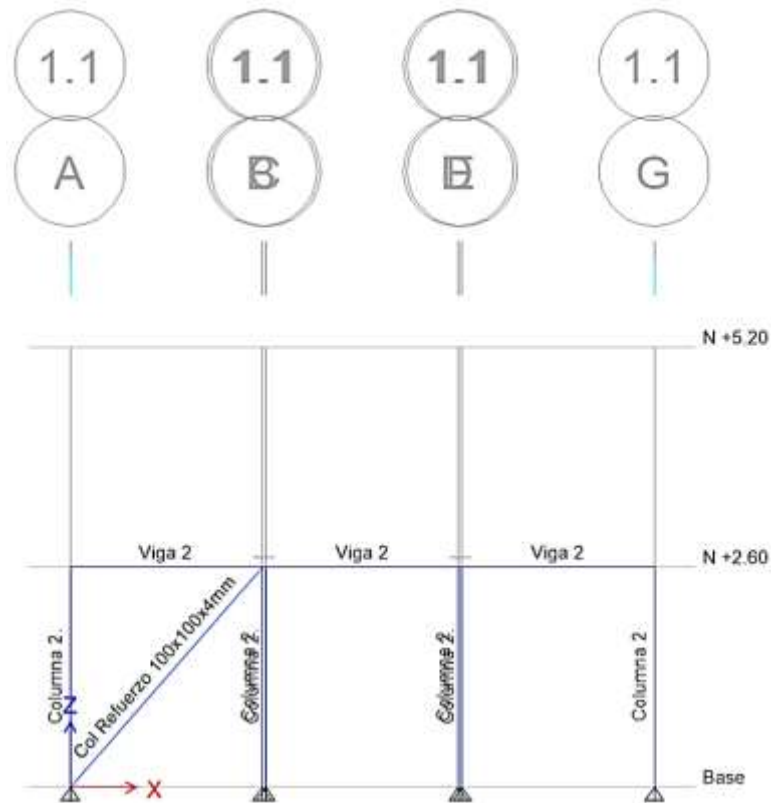
Fuente: ETABS 2016

Figura 45. Vista de secciones en elevación ejes 1 y 2 con contenedores



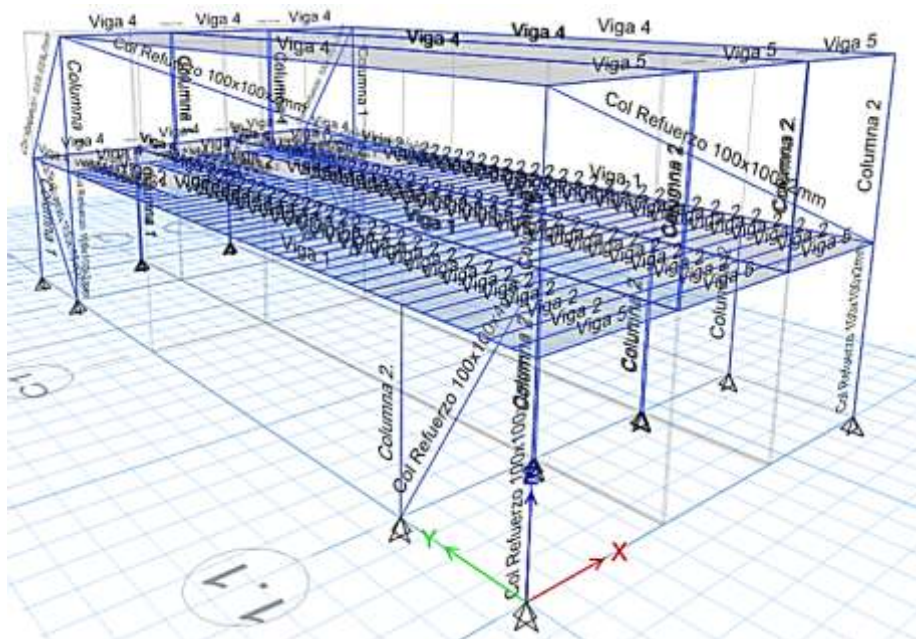
Fuente: ETABS 2016

Figura 46. Vista de secciones en elevación ejes 1.1 y 2.2 con contenedores



Fuente: ETABS 2016

Figura 47. Vista 3D de secciones con contenedores



Fuente: ETABS 2016

4.7. Derivas de Piso

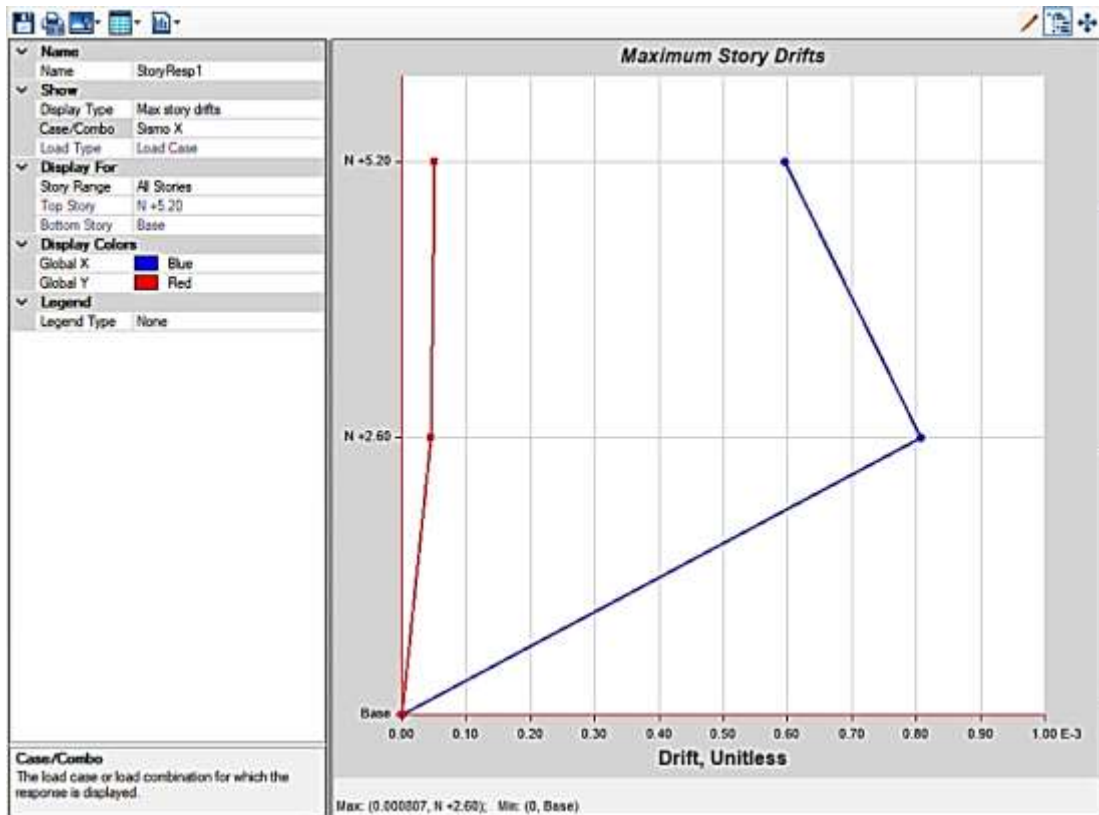
Una vez que se ha arriostrado la estructura y controlada la torsión, las figuras 48 y 49 se muestran las derivas de piso por sismo en X y por sismo en Y respectivamente, en la tabla 26 se muestra las derivas inelásticas, las mismas que cumplen con lo establecido en la norma, siendo menores al 2%.

Tabla 26. Derivas Inelásticas con contenedores

	Elástica	Inelástica
Sismo X	0,000807	0.15%
Sismo Y	0,001188	0.22%

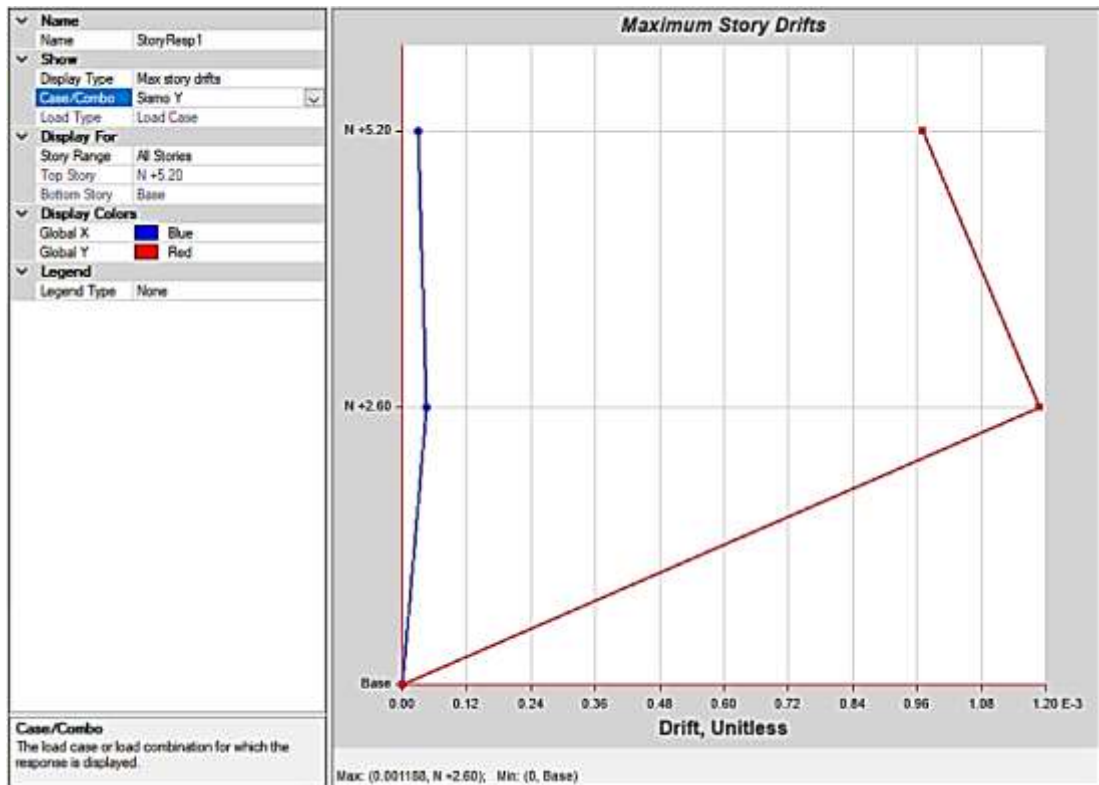
Elaboración: Tesista Javier Olivo

Figura 48. Deriva Sismo en X con contenedores



Fuente: ETABS 2016

Figura 49. Deriva Sismo en Y con contenedores



Fuente: ETABS 2016

4.8. Torsión en Planta

Para el chequeo de torsión de la estructura en los contenedores, una vez que ya colocaron riostras, en las tablas de resultados del programa utilizaremos la de “Modal Participating Modal Ratios”, que es las masas de participación modal. Utilizaremos las celdas de RX, RY y RZ para la determinación de la torsión.

Tabla 27. Datos de participación modal con contenedores

Caso	Modo	RX	RY	RZ
Modal	1	0,1282	0,01731	0,01946
Modal	2	0,007391	0,0964	0,0243

Fuente: ETABS 2016

Como criterio de diseño se tomará un porcentaje de torsión máxima del 20% en los dos primeros modos de vibración.

Se sumará los tres valores dados por la tabla (RX, RY, y RZ) y luego RZ dividirlo para esta sumatoria.

$$\%Modo1 = \frac{RZ}{RX + RY + RZ} * 100\%$$

$$\%Modo1 = \frac{0.01946}{0.1282 + 0.01731 + 0.01946} * 100\%$$

$$\%Modo1 = 11.80\%$$

En la tabla 28 se tiene los porcentajes de torsión de la estructura con contenedores de los dos primeros modos.

Tabla 28. Tabla resumen de cálculo de torsión con contenedores

Caso	Modo	RX	RY	RZ	Sumatoria	% Torsión
Modal	1	0,1282	0,01731	0,01946	0,1650	11.80%
Modal	2	0,007391	0,0964	0,0243	0,1281	18.97%

Elaboración: Tesista Javier Olivo

4.9. Cimentación para la estructura de contenedores

4.9.1. Predimensionamiento

Tomamos las cargas de servicio las cuales se transfieren a la cimentación del análisis de la estructura con contenedores modelada en el software Etabs.

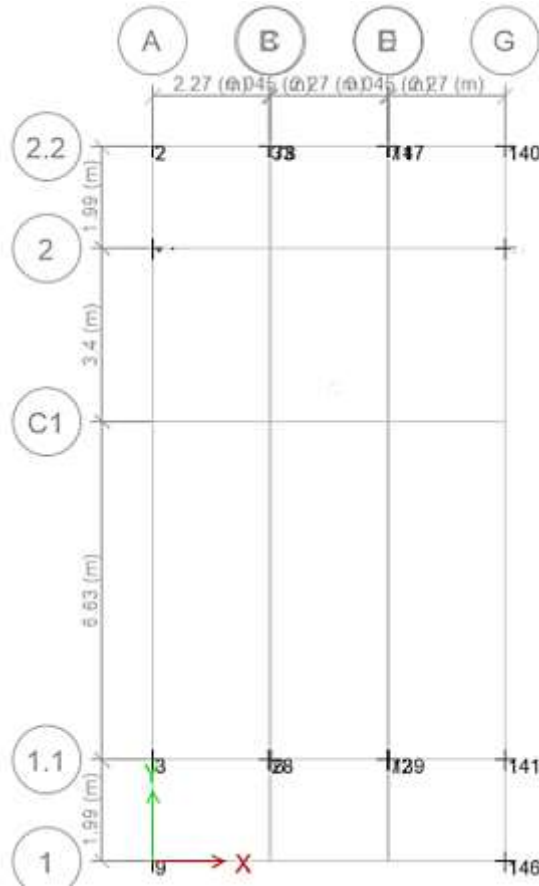
Se asumirá la capacidad portante del suelo de 15ton/m².

Tabla 29. Cargas Transmitidas a la cimentación en hormigón armado

Punto	Carga Muerta (CM) ton/m²	Carga Viva (CV) ton/m²	Carga de servicio ton/m²	Carga última ton/m²
2	0.81	1.72	2.53	3.73
3	1.04	1.46	2.51	3.60
28	1.30	2.13	3.44	4.99
33	0.34	0.49	0.84	1.20
9	1.13	3.06	4.20	6.26
6	1.25	2.19	3.44	5.00
71	0.34	0.49	0.83	1.20
72	1.29	2.21	3.51	5.10
78	0.32	0.45	0.78	1.12
139	1.30	2.23	3.53	5.14
140	0.79	1.77	2.56	3.78
141	0.99	1.40	2.39	3.43
146	1.14	3.09	4.24	6.32
147	0.32	0.43	0.76	1.09

Fuente: ETABS 2016

Figura 50. Ubicación de cargas de la cimentación con contenedores



Fuente: ETABS 2016

Tabla 30. Cargas para prediseño de plintos

Caso	Ejes	Carga de servicio ton/m ²	Carga última ton/m ²
1	2.2 (A-B-C-D-E-G)	7.04	10.24
	1.1 (A-B-C-D-E-G)		
	1 (A-G)		

Elaboración: Tesista Javier Olivo

Se predimensionará las secciones de los plintos para el único caso seleccionado, se realizará iteraciones entre la capacidad de carga que se asumió para el suelo y el área de fundación.

$$A = \frac{Ps}{\sigma_s}$$

Donde:

A = área de fundación

Ps = Carga de servicio (ton)

Os = Capacidad portante del suelo (ton/m²)

- **Determinación de secciones de los pintos Caso 1**

$$A = \frac{Ps}{\sigma_s} = \frac{7.04\text{ton}}{15\text{ton}/\text{m}^2} = 0.47\text{m}^2$$

$$B = \sqrt{A3} = \sqrt{0.47\text{m}^2} = 0.68\text{m}$$

Sección asumida (0.70 x 0.70) m

Tabla 31. Resumen de secciones

Plinto	Ejes	Sección (m)
1	2.2 (A-B-C-D-E-G)	0.70 x 0.70
	1.1 (A-B-C-D-E-G)	
	1 (A-G)	

Elaboración: Tesista Javier Olivo

4.9.2. Coeficiente de Balasto

A continuación, se muestra una tabla donde se encuentra los valores de Coeficiente de Balasto en función de la capacidad de carga del suelo. Dicho valor se ingresará en el software Safe.

Como la capacidad de carga se asumió de 15ton/m² el coeficiente de balasto seleccionado de la tabla es de 3.10kg/cm³, el mismo tomado para la cimentación de hormigón armado.

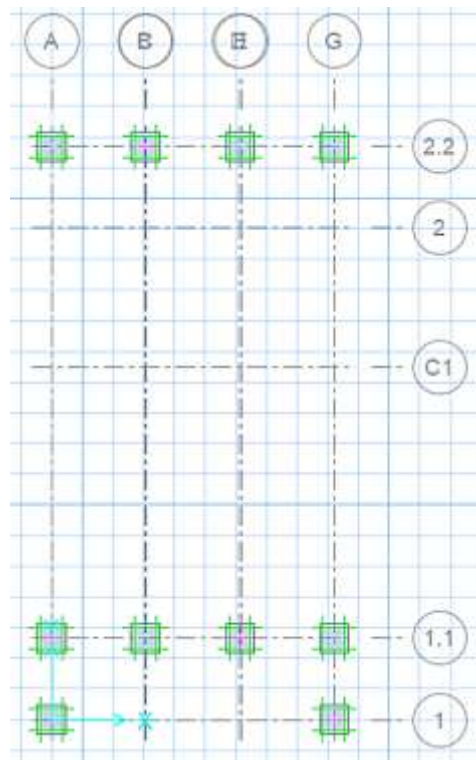
4.9.3. Modelación de la cimentación

Exportamos los datos de la estructura analizada en Etabs al programa Safe para diseñar la cimentación, luego ese archivo lo importamos al programa Safe.

Después, definimos los materiales, también se define las propiedades del suelo, el mismo proceso que se realizó en el cálculo de la cimentación anterior.

Por último, dibujamos la cimentación con el valor de las diferentes secciones que fueron prediseñados anteriormente.

Figura 51. Esquema de Zapatas



Fuente: SAFE 2016

$$V_{pu} = 1.5 * q_{real} * A_p$$

$$V_{pu} = 1.5 * 14.99 \text{ton/m}^2 * 0.49 \text{m}^2$$

$$V_{pu} = 11.02 \text{ton}$$

$$b_o = 2 * (0.3 \text{m} + 0.25 \text{m}) + 2 * (0.3 \text{m} + 0.25 \text{m})$$

$$b_o = 2.2 \text{m}$$

$$\delta_{pu} = \frac{11.02 \text{ton}}{0.75 * 2.2 \text{m} * 0.25 \text{m}}$$

$$\delta_{pu} = 26.72 \text{ton/m}^2$$

$$\delta_{adm} = 0.53 * \sqrt{210 \text{kg/cm}^2 * 2}$$

$$\delta_{adm} = 15.36 \text{kg/cm}^2 = 151.17 \text{ton/m}^2$$

$$\delta_{adm} > \delta_{pu} \quad OK$$

Después de realizar los chequeos correspondientes y que todo cumple, se tiene que las secciones prediseñadas son las definitivas, de 0.7m x0.70m con una altura de 25cm.

4.10. Análisis constructivo

Para este análisis se procederá a determinar las cantidades de obra que se requieren para la construcción de la estructura con contenedores y para su posterior cálculo de presupuesto referencial y el tiempo en días de su construcción.

4.10.1. Presupuesto referencial

Los precios unitarios de los rubros que intervienen en la construcción de la estructura utilizando contenedores se los determinaron a partir de los precios unitarios que se presentan en la revista de la Cámara de la Construcción de Ambato del 2021. Además, para el precio de los contenedores se solicitó una proforma sobre el costo de los mismos a “Core Premium”, una empresa dedicada a la comercialización de contenedores de la ciudad de Quito. Terminado esto se obtendrá el presupuesto referencial en obra gris de la vivienda la cual se presenta en la tabla 32.

Tabla 32. Presupuesto Referencial con contenedores

Presupuesto Referencial con Contenedores					
N#	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1. Trabajos Preliminares					
1.1	Limpieza y Desbroce	m ²	141,48	1,53	216,46
1.1	Replanteo y nivelación	m ²	141,48	0,73	103,28
2. Movimiento de Tierras					
2.1	Excavación de cimientos	m ³	1,50	6,72	10,08
2.2	Desalojo	m ³	1,50	8,59	12,89
2.3	Tendido y compactado	m ²	141,48	4,74	670,62
3. Estructura metálica - Contenedores					
3.1	Contenedores 40" HC incluye transporte y colocación	U	6,00	3406,67	20440,02
3.2	Estructura metálica	kg	297,90	4,55	1355,43
4. Estructura					
4.1	Hormigón Simple 210kg/cm ² Plinto	m ³	1,50	152,60	228,90
4.2	Acero de Refuerzo fy=4200kg/cm ² (plintos)	kg	83	1,93	160,19
TOTAL					23197,87

Elaboración: Tesista Javier Olivo

El costo final de la obra gris utilizando contenedores es de 23197.87 dólares americanos.

4.10.2. Tiempos de construcción

El tiempo referencial de construcción utilizando contenedores se basó en los rubros que se calculó para el presupuesto, se utilizaron los rendimientos de cada uno y con ello en la tabla 33 se presenta el tiempo que se estima para cada actividad determinando así el tiempo total.

Tabla 33. Tiempo de construcción con contenedores

Tiempo de Construcción con Contenedores					
N#	Rubro	Unidad	Cantidad	Rend. Día	Días
1. Trabajos Preliminares					
1.1	Limpieza y Desbroce	m ²	141,48	60,00	2,36
1.1	Replanteo y nivelación	m ²	141,48	80,00	1,77
2. Movimiento de Tierras					
2.1	Excavación de cimientos	m ³	1,50	10,00	0,15
2.2	Desalojo	m ³	1,50	70,00	0,02
2.3	Tendido y compactado	m ²	141,48	8,00	17,69
3. Estructura metálica - Contenedores					
3.1	Contenedores 40" HC incluye transporte y colocación	U	6,00	3,00	2,00
3.2	Estructura metálica	kg	297,90	400,00	0,74
4. Estructura					
4.1	Hormigón Simple 210kg/cm ² Plinto	m ³	1,50	12,00	0,13
4.2	Acero de Refuerzo fy=4200kg/cm ² (plintos)	kg	83	317,00	0,26
TOTAL					25,11

Elaboración: Tesista Javier Olivo

Se requiere aproximadamente 25 días con 1 hora para llevar a cabo la obra gris con contenedores.

CAPITULO V

ANÁLISIS COMPARATIVO

5.1. Peso de la estructura

Gracias al modelamiento computacional que se realizó en el software de cada sistema de construcción, fue posible obtener el peso muerto en toneladas de cada uno de ellos, dando como resultado los valores que se presentan en la tabla 34.

Tabla 34. Tabla de comparación de peso de estructuras

Comparación: Peso de Estructura		
	Hormigón Armado	Contenedores
Peso (tonf)	174,76	19,11

Elaboración: Tesista Javier Olivo

Se evidencia una gran diferencia entre los pesos de cada estructura. Los datos señalan que la estructura utilizando contenedores representa el 10.9% del peso de la estructura en hormigón armado, es decir pesa 9 veces menos.

5.2. Carga Viva y Carga Muerta

En la tabla 35 que se muestra a continuación presenta las cargas viva y muerta que soporta cada estructura y la relación entre carga viva y carga muerta.

Tabla 35. Tabla de comparación de carga viva y carga muerta

Carga Viva y Carga Muerta		
	Hormigón Armado	Contenedor
CM (ton/m ²)	0,725	0,09262
CV (ton/m ²)	0,2	0,2

Elaboración: Tesista Javier Olivo

La carga viva es la misma para ambos sistemas constructivos por ser una vivienda, sin embargo, por otro lado, la carga muerta presenta una gran diferencia, esto se debe al material utilizado en cada uno de ellos.

5.3. Cortante Basal

A continuación, en la tabla 36 se presenta los datos obtenidos de cortante basal de cada una de las estructuras. El peso muerto de la estructura y el coeficiente R que dispone la NEC-SE-DS del 2015, son valores que influyen en el cálculo de la cortante basal.

Tabla 36. Tabla de comparación de cortante basal

Comparación: Cortante Basal		
	Hormigón Armado	Contenedor
Cortante Basal (ton)	38,53	10.10
R	6	2.5
V%	22,04%	53%

Elaboración: Tesista Javier Olivo

Se puede apreciar que el cortante basal de la estructura con contenedores es la mitad de su peso a diferencia de la de hormigón armado que llega a ser la quinta parte de su peso. Sin embargo, el valor de la cortante del contenedor es muy bajo en comparación a la de hormigón armado.

5.4. Derivas de piso

Como se mostró en los capítulos anteriores las derivas de piso de cada sistema constructivo, a continuación, se presenta la tabla comparativa de los mismos.

Tabla 37. Tabla de comparación de derivas de piso

Derivas de Piso				
	Hormigón Armado		Contenedor	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
Deriva Elástica	0,002371	0,002219	0,000807	0,001188
Deriva Inelástica	1,07%	1,00%	0,15%	0,22%

Elaboración: Tesista Javier Olivo

Teniendo como deriva inelástica un valor referencial máximo del 2%, observamos que la estructura en hormigón armado presenta valores muy superiores a los datos obtenidos con la estructura de contenedores.

En el sistema constructivo de hormigón armado se optimizó las secciones de sus elementos estructurales, por el contrario, en los contenedores se colocaron arriostramientos de manera que cada uno de ellos cumplan con las derivas máximas.

Sin embargo, en la estructura de contenedores se logró obtener derivas muy pequeñas.

5.5. Torsión en planta

De la misma manera al optimizar cada estructura para cumplir con las derivas, también se lo hizo con la torsión en planta, teniendo como referencia una torsión máxima del 20%.

Tabla 38. Tabla de comparación de torsión en planta

Torsión en Planta		
	Hormigón Armado	Contenedor
Primer Modo	19,67%	11,80%
Segundo Modo	0,00%	18,97%

Elaboración: Tesista Javier Olivo

Como se puede apreciar en la tabla 38, la estructura en contenedores presenta más porcentaje de torsión comparado con la de hormigón armado, sin embargo, el primer modo de vibración de la estructura de hormigón armado se acerca al límite.

5.6. Costo de construcción

En la tabla 39 se aprecia los costos de las obras, se aprecia un ligero costo menor el utilizar contenedores que con hormigón armado.

Se muestra una diferencia de 206.28 dólares americanos.

Tabla 39. Tabla de comparación de costos

Comparación: Costo de obra gris		
	Hormigón Armado	Contenedor
Costo	23404,15	23197.87
Costo/m²	131,15	129,99

Elaboración: Tesista Javier Olivo

5.7. Tiempos de construcción

La tabla 40 muestra los tiempos que tardan construir cada estructura. Resulta más rápido construir con contenedores.

Tabla 40. Tabla de comparación de tiempos de construcción

Comparación: Tiempo de Construcción		
	Hormigón Armado	Contenedor
Tiempo en días	66,04	25.11

Elaboración: Tesista Javier Olivo

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Una vez realizado el análisis de las estructuras en los sistemas constructivos de hormigón armado y con contenedores, se concluye que la estructura de contenedores presenta un mejor comportamiento estructural, esto debido a que los contenedores ya son diseñados para soportar grandes fuerzas y climas extremos, su construcción dura menos días y es ligeramente menos costosa en comparación a la de hormigón armado.
- Las secciones de la estructura de contenedores son insuficientes para resistir cargas gravitacionales y sísmicas, es por ello que requiere de refuerzos estructurales como son las riostras para cumplir con los parámetros de diseño, dando como resultado derivas muy pequeñas en comparación con el hormigón armado. Sin embargo, estas riostras pueden ser omitidas ya que los contenedores poseen paneles metálicos, las cuales harían el trabajo de las riostras, lo mismo que ahorraría un porcentaje de su costo total.
- La estructura de contenedores tiene un peso menor muy significativo, siendo el 10.9% del peso de la estructura de hormigón armado ya que este último posee más volumen de su material.
- Los costos de las estructuras varían en 206.28 dólares americanos, un valor no muy considerable al momento de tomar la decisión de edificar con cualquiera de estos sistemas constructivos, sin embargo, en tiempos de construcción la estructura de contenedores es más rápida ya que demora 41 días menos que en hormigón armado siendo una gran ventaja.

6.2. Recomendaciones

- Realizar un análisis estructural con contenedores mediante elementos finitos, donde se modele al contenedor con sus paneles, ya que se podría obtener datos mucho más cercanos a la realidad.
- Efectuar más estudios con distintos esquemas de configuración estructural de los contenedores y con más de dos pisos.
- Implantar una nueva normativa que permita guiar el sistema constructivo con contenedores en Ecuador.
- Investigar el porcentaje de impacto ambiental entre el sistema constructivo con contenedores y los sistemas tradicionales en el país.

6.3. Referencias bibliográficas

- [1] M. F. Antivero, «La implementación de la vivienda container. Una resolución sustentable al problema habitacional en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.,» Universidad de Palermo, Argentina, 2014.
- [2] G. A. Say García, «EDIFICACIONES HABITACIONALES CON CONTENEDORES MARÍTIMOS,» Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2018.
- [3] A. García Auladell, «Cálculo y diseño de plataforma flotante a base de contenedores de 40',» Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, 2014.
- [4] K. A. Armijos Mendoza, «MODELOS DE VIVIENDAS BIOCLIMÁTICAS A PARTIR DE CONTENEDORES MARÍTIMOS RECICLADOS PARA ZONAS MARGINALES DE GUAYAQUIL,» UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL, Guayaquil, 2019.
- [5] M. G. Avilés Goyes, «EVALUACIÓN, ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE VIVIENDA A BASE DE CONTENEDORES RECICLADOS PARA LA PARROQUIA PEDERNALES,» Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, 2018.
- [6] «Contenedores, una opción arquitectónica que llega a Ambato,» *La Hora*, p. A2, 06 Junio 2019.
- [7] J. G. Avila Archundia, «Uso de contenedores de carga para proyectos de edificación,» Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 2015.
- [8] G. B. Barragán Ordóñez y M. G. Siavichay Alvarado, «POTENCIALIDADES DE UN CONTENEDOR, ANÁLISIS COMPARATIVO, DISEÑO Y DIRECCIÓN DE UN EJERCICIO ARQUITECTÓNICO,» UNIVERSIDAD DE CUENCA, Cuenca, 2014.
- [9] M. F. Córdova Reyes, «ESTUDIO COMPARATIVO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO EN HORMIGÓN Y ACERO, EN UN EDIFICIO,» Universidad de Cuenca, Cuenca, 2014.
- [10] P. A. Baquerizo Sánchez, «Estudio comparativo técnico-económico de una edificación con estructura de hormigón armado y estructura de acero,» Universidad de Especialidades Espíritu Santo, Samborondón, 2017.
- [11] R. G. Solis, E. I. Moreno y E. Arjona, «Resistencia de concreto con agregado de alta absorción y baja relación a/c,» *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción - ALCONPAT*, vol. Volumen 2, n° 1, pp. 21 - 29, 2012.

- [12] C. P. Navarro Peñaherrera, DISEÑO ALTERNATIVO DE UN EDIFICIO SISMORESISTENTE DE OCHO PISOS QUE SEA EL MAS ADECUADO Y ECONÓMICO PARA LOS POBLADORES DE LA CIUDAD DE AMBATO, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2009.
- [13] E. B. Barrera Valle, «Proyecto de investigación del destino final de los contenedores de carga marítima,» Institución Universitaria Tecnológico De Antioquia, Medellín, 2017.
- [14] M. J. Rodríguez, R. Castillo y F. Valverde, «Uso de acero corten en puentes de Costa Rica,» PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE, Costa Rica, 2011.
- [15] J. D. Infante Páez, ELEMENTOS DE UNIÓN PARA CONTENEDORES DE CARGA MARITIMOS - USO DE ESTRUCTURAS RECICLADAS PARA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES EN ALTURA, Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2014.
- [16] S. C. Zabaleta Zeas, «DISEÑO DE UNA VIVIENDA CON CONTENEDORES DE CARGA APLICANDO MATERIALES REUTILIZABLES AL DISEÑO INTERIOR EN LA CIUDAD DE CUENCA-ECUADOR,» Universidad de Cuenca, Cuenca, 2016.
- [17] K. P. Narváez González, Intervención del interior de contenedores como refugio para emergencias invernales en el Cantón Urdaneta Parroquia Catarama, Provincia de Los Ríos, Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2016.
- [18] R. Calavia Gracia, "ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS DE CONTENEDORES METÁLICOS MODIFICADOS Y ESTUDIO DE SU UTILIZACIÓN COMO ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS", Zaragoza: Universidad de Zaragoza, 2010.
- [19] E. A. Flores Mena, «Modelación, Diseño Estructural Comparativo y Propuesta de Ampliación Vertical de la Edificación FLORES MENA, ubicada en la ciudad de Quito - Ecuador, sector Cofavi,» Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, 2018.
- [20] E. Chavez, Dirección, *Diseño de Estructuras Sismoresistentes en Hormigón Armado con la NEC-15 aplicando Etabs*. [Película]. Ecuador: CECAEST - Centro de Capacitación Estructural, 2021.
- [21] Requisitos y Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14), Estados Unidos: American Concrete Institute, 2014.
- [22] C. A. Páez Vargas, DETERMINACIÓN DE LA CARGA PERMANENTE DEBIDA AL PESO DE MAMPOSTERÍA DE BLOQUE EN

EDIFICACIONES DE VIVIENDA, Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2014.

- [23] NEC, Cargas (No Sísmicas), Ecuador: Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015.
- [24] NEC-SE-DS, Peligro Sísmico, diseño sismoresistente, Ecuador: Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015.
- [25] N. Morrison, «Interacción Suelo-Estructura: Semi-espacio de Winkler,» Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 1993.
- [26] Modus Vivendi, Ambato: Cámara de la Construcción de Ambato, 2021.
- [27] K. A. Giriunas, Evaluation, Modeling, and Analysis of Shipping Container Building Structures, Columbus, Estados Unidos: The Ohio State University, 2012.
- [28] Barbieri, Manual de apoyo - Steel Frame, Argentina, 2015.